

Bearbeitung von Aufzeichnungen
einiger Weltbeben

von

B. Gutenberg-Darmstadt.

Mit 2 Textfiguren.

Sonderabdruck aus den Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft Bd. 40. Heft 1

FRANKFURT A. M.

FRANKFURT A. M.
IM SELBSTVERLAGE DER SENCKENBERGISCHEN NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT
KOMMISSIONSVERLAG: W. JUNK, BERLIN W 15, SÄCHSISCHE STR. 68.

1925

Bearbeitung von Aufzeichnungen einiger Weltbeben

von

B. Gutenberg-Darmstadt.

Mit 2 Textfiguren.

Sonderabdruck aus den Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft Bd. 40, Heft 1

FRANKFURT A. M.

IM SELBSTVERLAGE DER SENCKENBERGISCHEN NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT

KOMMISSIONSVERLAG: W. JUNK, BERLIN W 15, SÄCHSISCHE STR. 68.

1925

Im Selbstverlage der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt a. M.

1883 u. 1884. Band XIII, 41 Tafeln. 147 Seiten		Mk. 20.—
Lucae, Die Statistik und Mechanik der Quadrupeden an dem Skelet eines <i>Lemur</i> und eines <i>Choloepus</i> . (Tafel XVI existiert nicht)	23 Tafeln	Mk. 6.—
Boettger, Die Reptilien und Amphibien von Marokko II	1 Tafel	" 1.50
Körner, Beiträge zur vergleichenden Anatomie des Kehlkopfs	1 "	" 1.—
Leydig, Über die einheimischen Schlangen	2 Tafeln	" 3.—
Noll, Fritz, Entwicklungsgeschichte der <i>Veronica</i> -Blüte	3 "	" 1.50
Lucae, Zur Sutura transversa squamae occipitis	4 "	" 1.50
Körner, Weitere Beiträge zur vergleichenden Anatomie des Kehlkopfs	1 Tafel	" 1.50
Probst, Natürliche Warmwasserheizung als Prinzip d. klimat. Zust. d. geol. Form.	1 "	" 2.—
Richters, Beitrag zur Crustaceenfauna des Behringsmeeres	1 "	" 1.—
Strahl, Über Wachstumsvorgänge an Embryonen von <i>Lacerta agilis</i>	5 Tafeln	" 3.—
1886. Band XIV, 25 Tafeln. 665 Seiten		Mk. 25.—
Reichenbach, Studien zur Entwicklungsgeschichte des Flußkrebse	19 Tafeln	Mk. 15.—
Wolff, Morph. Beschr. eines Idioten- und eines Mikrocephalen-Gehirns	3 "	" 2.—
v. Bedriaga, Beiträge zur Kenntnis der Lacertiden-Familie	1 Tafel	" 6.—
Jännicke, Beiträge zur vergleichenden Anatomie d. Geraniaceae	1 "	" 1.—
Möschler, Beiträge zur Schmetterlingsfauna von Jamaica	1 "	" 3.—
1887 u. 1888. Band XV, 15 Tafeln, 11 Textfiguren, 1 Karte. 437 Seiten		Mk. 30.—
Geyler und Kinkelin, Oberpliocän-Flora aus den Baugruben des Klärbeckens bei Niederrad und der Schleuße bei Höchst a. M.	4 Tafeln	vergriffen
Möschler, Beiträge zur Schmetterlingsfauna der Goldküste	1 Tafel	Mk. 3.—
Noll, Fritz, Exp. Untersuch. über das Wachstum der Zellmembran	1 "	" 3.—
Noll, F. C., Beiträge zur Naturgeschichte der Kieselschwämme	3 Tafeln	" 3.—
Andreae und König, Der Magnetstein vom Frankenstein	2 Textfiguren	" 2.—
Edinger, Untersuchung. über die vergleich. Anatomie des Gehirns. I. Das Vorderhirn	4 "	vergriffen
Blum, Die Kreuzotter und ihre Verbreitung in Deutschland	9 Textfiguren und 1 Karte	Mk. 2.—
1889—1891. Band XVI, 32 Tafeln, 1 Porträt. 692 Seiten		Mk. 40.—
Simroth, Die von E. v. Oertzen in Griechenland ges. Nacktschnecken	1 Tafel	Mk. 1.50
Boettger, Die von E. v. Oertzen aus Griechenland und Kleinasien mitgebrachten Vertreter der Gattung <i>Clausilia</i>	1 "	" 2.—
Möschler, Die Lepidopteren-Fauna von Portorico	1 " 1 Porträt und	" 5.—
v. Lendenfeld, Das System der Spongien	1 "	" 4.—
Leydig, Das Parietalorgan der Amphibien und Reptilien	7 Tafeln	vergriffen
Chun, Die Canarischen Siphonophoren in monogr. Darstellung. I. <i>Stephanophyes superba</i> aus der Familie der Stephanophyiden	7 "	Mk. 6.—
Engelhardt, Über die Tertiärpflanzen von Chile und Nachtrag von Ochsenius	14 "	" 5.—
1884—1892. Band XVII, 15 Tafeln, 1 Porträt. 531 Seiten		Mk. 30.—
Saalmüller, Lepidopteren von Madagaskar I.	7 Tafeln	} Mk. 30.—
Saalmüller und v. Heyden, Lepidopteren von Madagaskar II.	1 Porträt und 8 Tafeln	
1892—1895. Band XVIII, 33 Tafeln, 33 Textfiguren. 455 Seiten		Mk. 28.—
Edinger, Untersuchungen über d. vergl. Anatomie d. Gehirns. II. Das Zwischenhirn	5 Tafeln	Mk. 8.—
Chun, Die Canarischen Siphonophoren in monogr. Darstellung. II. Die Monophyiden	9 Textfiguren und 5 "	" 6.—
v. Jhering, Die Süßwasser-Bivalven Japans	1 Textfigur und 1 Tafel	" 2.—
Engelhardt, Flora aus den unteren Paludinenschichten des Caplagrabens	9 Tafeln	" 3.—
Thost, Mikroskopische Studien an Gesteinen des Karabagh-Gaus	1 Tafel	" 1.—
Simroth, Über einige Aetherien aus den Kongofällen	3 Textfiguren und 1 "	" 1.—
Simroth, Zur Kenntnis d. portugies. u. ostafrik. Nacktschneckenfauna. 2 Textfigur. und	2 Tafeln	" 1.50
Möbius, Australische Süßwasseralgen. II	2 "	" 1.50
Andreae, Zur Kenntnis der fossilen Fische des Mainzer Beckens	1 Tafel	" 1.—
Heider, Beiträge zur Embryologie von <i>Salpa fusiformis</i> Cuv.	18 Textfiguren und 6 Tafeln	" 6.—
1895 u. 1896. Band XIX, 38 Tafeln, 22 Textfiguren. 386 Seiten		Mk. 50.—
Engelhardt, Über neue Tertiärpflanzen Süd-Amerikas	9 Tafeln	Mk. 4.—
Reis, Zur Kenntnis des Skeletts von <i>Acanthodes Bronni</i> Agassiz	6 "	" 2.50
Weigert, Beiträge zur Kenntnis der normalen menschlichen Neuroglia	13 "	vergriffen
Leydig, Zur Kenntnis der Zirbel- und Parietalorgane	4 "	Mk. 4.—
Simroth, Über bekannte und neue Urocycliden	8 Textfiguren und 2 "	" 2.—
Edinger, Untersuchungen über d. vergl. Anatomie d. Gehirns. III. Neue Stud. üb. d. Vorderh. d. Reptil.	14 Textfiguren und 4 "	" 10.—
1896—1902. Band XX, 25 Tafeln, 42 Textfiguren. 426 Seiten		Mk. 35.—
Kinkelin, Einige seltene Fossilien des Senckenbergischen Museums. 2 Textfiguren und	6 Tafeln	Mk. 3.—
Reis, Das Skelett der Pleuracanthiden	1 Tafel	" 3.—
Edinger, Untersuchungen über d. vergl. Anatomie d. Gehirns. IV. Neue Stud. üb. d. Zwischenh. d. Reptilien	3 Tafeln	" 6.—
Möbius, Der japanische Lackbaum, <i>Rhus vernicifera</i> DC.	29 Textfiguren und 1 Tafel	" 2.—
Engelhardt, Über Tertiärpflanzen vom Himmelsberg bei Fulda	5 Tafeln	" 3.—
Hagen, Schmetterlinge von den Mentawej-Inseln	2 "	" 3.—
Edinger, Untersuchungen über d. vergl. Anatomie d. Gehirns. V. Untersuch. üb. d. Vorderh. d. Vögel	11 Textfiguren und 7 "	" 18.—

Bearbeitung von Aufzeichnungen einiger Weltbeben

von

B. Gutenberg-Darmstadt.

Die Bearbeitung der Aufzeichnungen von Fernbeben diente ursprünglich in erster Linie dazu, die „Laufzeitkurven“ zu verbessern, d. h. festzustellen, welche Zeit die verschiedenen Wellenarten brauchen, um bei den verschiedenen Herdentfernungen vom Herde zur Station zu gelangen. Daneben sollten Herdlage und Herdtiefe des Bebens festgestellt werden. Die neueren Untersuchungen (vgl. 9 und 10 des Literaturnachweises am Schlusse) haben jedoch gezeigt, daß eine ganze Reihe von Problemen durch derartige Untersuchungen ihrer Lösung nähergebracht werden kann; die Zusammenstellung der Ergebnisse am Schlusse der vorliegenden Arbeit möge als weitere Bestätigung hierfür dienen. Die Laufzeitkurven scheinen jetzt abgesehen von einigen sehr großen Herdentfernungen im Mittel genügend genau bekannt sein. Wichtiger ist hier jetzt die Frage, woher die Abweichungen vom Mittel rühren, die zweifellos in vielen Fällen reell vorhanden sind. Auch hier wird im Laufe der Untersuchung ein Hinweis versucht.

1. Teil. Das Tongabebeben vom 26. Juni 1917.

1. Das Beobachtungsmaterial.

Der folgenden Bearbeitung liegen die Originalaufzeichnungen (O), Kopieen (K) von solchen, und Stationsberichte (B), letztere meist nach dem Bericht der Seismol. Comm. of the British Assoc., von den in Tabelle 1 angegebenen Stationen zu Grunde. Allen, welche die vorliegenden sowie die anschließenden Untersuchungen durch Zusendung von Material unterstützt haben, insbesondere Herrn Geh. Rat O. HECKER in Jena, sei an dieser Stelle nochmals gedankt.

Tabelle 1. Verzeichnis der Stationen und ihrer Herdentfernungen Δ .

Nr.	Δ°	Ort		Nr.	Δ°	Ort		Nr.	Δ°	Ort	
1	1,9	Apia	K	16	94,3	Quito	O	31	145,5	Jugenheim	O
2	37,1	Sydney	B	17	99,3	La Paz	B	32	146,2	Wien	O
3	39,5	Honolulu	B	18	103,6	Calkutta	B	33	146,3	Paris	B
4	43,3	Melbourne	B	19	104,1	Washington	B	34	146,5	Hohenheim	O
5	47,7	Adelaide	B	20	106,0	Ottawa	K	35	146,8	München	O
6	69,2	Mizusawa	B	21	108,8	Harvard	B	36	147,8	Zürich	O
7	69,3	Nagoya	B	22	132,4	Pulkovo	B	37	147,9	Besançon	B
8	69,9	Osaka	B	23	134,8	Upsala	K	38	148,6	Zagreb	B
9	71,3	Berkeley	O	24	137,7	Dyce	B	39	152,0	Marseille	B
10	71,4	Lick	O	25	139,2	Eskdalemuir	K	40	153,1	Rocca di Papa	B
11	71,7	Manila	K	26	141,9	Hamburg	O	41	153,5	Barcelona	K
12	76,1	Tucson	B	27	142,4	Potsdam	O	42	153,6	Tortosa	K
13	77,7	Victoria	B	28	143,2	De Bilt	K	43	157,9	Cartuja	O
14	78,9	Batavia	K	29	144,1	Jena	O	44	158,2	Algier	B
15	79,1	Zi-ka-wei	O	30	144,4	Uccle	B	45	158,8	San Fernando	K

2. Der Herd und die Herdzeit.

Da die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen in den obersten Schichten des pazifischen Ozeans nicht genau genug bekannt ist, kann man aus den Aufzeichnungen von Apia allein den Herd nur angenähert finden. Es erschien am vorteilhaftesten, zunächst den Herd graphisch aus den Angaben von Stationen mit etwa gleicher Eintrittszeit zu bestimmen, wie dies bei den mitteleuropäischen Beben (5) geschehen war. Besitzen zwei Stationen gleiche Eintrittszeiten, so liegt der Herd auf dem Mittellot ihrer Verbindungslinien, dessen Verlauf auf Grund der Rechnung (Vgl. 5) gezeichnet werden kann. Ist an einer Station der Beginn des direkten longitudinalen Vorläufers einige Sekunden früher als an einer anderen, so läßt sich aus der Laufzeitdifferenz mit hinreichender Genauigkeit die Differenz der Entfernungen beider Stationen und aus der angenäherten Herdlage auch der Punkt bestimmen, der im Azimut der ersten Station gleich weit vom Herd entfernt ist wie die zweite. Je weiter beide Stationen von einander entfernt sind, und je näher ihre Verbindungslinie durch den Herd geht, desto genauer ist das Verfahren. Durch den Schnitt mehrerer derartiger Mittellote erhält man den Herd, ohne daß man mehr voraussetzt als gleichzeitiges Eintreffen der ersten Vorläufer an gleich weit vom Herd entfernten Punkten. Diese Voraussetzung muß allerdings in jedem Falle geprüft werden, da mehrere Laufzeitkurven $P_n, P_1, P_2 \dots$ existieren, auf die wir noch mehrfach eingehen werden.

Bei dem Material des vorliegenden Bebens erwiesen sich folgende Kombinationen als geeignet: I. Berkeley-Manila, II. Lick-Mizusawa, III. Calkutta-Washington, IV. Batavia-Tucson, V. La Paz-Washington, VI. Batavia-Zikawei.

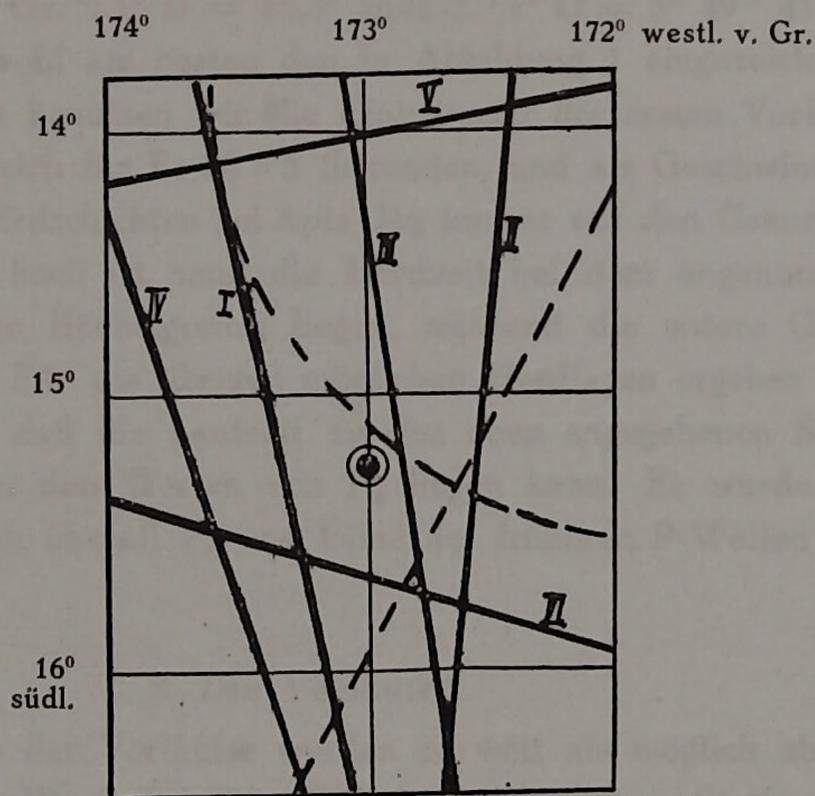


Abb. 1. Standlinien für den Herd des Tongabebens am 26. 6. 1917.

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis: Die sich aus den Kombinationen I bis IV ergebenden Großkreise stimmen verhältnismäßig gut zusammen und zeigen unter der Voraussetzung, daß die Wellen zu den beiden Stationen jeder Kombination gleich schnell gelaufen sind, daß der Herd des Bebens etwa 173° westl. v. Gr. (ca. $\pm 1/2^\circ$) gelegen hat, d. h. wie G. ANGENHEISTER (15) schon festgestellt hat am Abfall des Tongaplateaus zur Tongarinne, nicht in dieser. Dagegen

läßt sich die geographische Breite B des Herdes weniger sicher feststellen. Der von ANGENHEISTER gefundene Wert $B = 16^\circ$ südl. ist zwar noch möglich, doch sprechen die beiden Linien V und VI dafür, daß er nördlicher gelegen hat. Einen weiteren Anhaltspunkt liefert das Azimut, das sich aus den Amplituden des ersten Einsatzes in Apia ergibt und nach ANGENHEISTER $S 29^\circ W$ betrug (in der Abb. gestrichelt). Schließlich ergibt sich für die Laufzeitdifferenz $S-P$ in Apia der Wert von 12 Sekunden (unsicher) aus der Vertikalkomponente, 16 Sek. aus den Horizontalkomponenten. Den gleichen Wert zeigen im Mittel auch die Nachbeben. Dem Werte von 16 Sek. würde in Europa bei einer Herdtiefe von 25 km eine Herddistanz von 130 km entsprechen. Nun ist aber die Wellengeschwindigkeit im Pazifik um $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ größer als in Europa (genauere Zahlen sind noch nicht bekannt), wir kommen demnach auf eine Herdentfernung von etwa 170 km von Apia. Es wurde daher als weiterer mutmaßlicher geometrischer Ort für den Herd ein Kreis mit $1\frac{3}{4}^\circ$ Radius um Apia gezeichnet. Einen weiteren Anhalt geben die Eintrittszeiten der ersten Vorläufer an den Stationen bis 100° Herddistanz. Unter Benutzung der Angaben der Stationen Nr. (s. Tab. 1) 2, 9, 10, 11, 14, 15 und 17 sowie der Laufzeitkurven von A. MOHOROVIČIĆ (8) wurden für diese Wellen die Fehler berechnet, die sich ergeben, wenn man den Herd $173^\circ W$ annimmt und seine geographische Breite zwischen $14\frac{1}{2}^\circ$ und $16\frac{1}{2}^\circ$ südl. von $\frac{1}{10}$ zu $\frac{1}{10}$ Grad variiert. Hierbei ergab sich, daß in Sydney P_1 nach A. MOHOROVIČIĆ aufgezeichnet worden sein muß. Für die übrigen Stationen ergab sich ein Minimum der Fehlerquadratsumme für $B = 15,3^\circ$ südl. Hiernach wurden als Herdkoordinaten L und B sowie als Herdzeit O für die weitere Rechnung angenommen (Unsicherheit geschätzt):

$$L = 173,0^\circ W. v. Gr. \pm 1^\circ \quad B = 15,3^\circ \text{ südl. } \pm \frac{1}{2}^\circ \quad O = 5^h 49^m 41^s \pm 5^s$$

Dieser Herd entspricht auch wohl am besten den in Abbildung 1 eingezeichneten Standlinien.

Zur Prüfung der Herdzeit benutzen wir die Eintrittszeit der ersten Vorläufer (P) in Apia (Tab. 2). Als Laufzeit ergibt sich für P : 28 ± 5 Sekunden, und als Geschwindigkeit der Longitudinalwellen in den obersten Erdschichten bei Apia $7\frac{1}{3}$ km/sec mit den Grenzen 6 und 9 km/sec. Da der Wert 9 zweifellos zu hoch ist, muß die Herdzeit bei dem angenommenen Herd tatsächlich unter der angegebenen Höchstgrenze liegen, während die untere Grenze wohl kaum unterschritten werden dürfte. Für die übrigen möglichen Herdlagen ergeben sich Unterschiede bis höchstens 3 Sekunden, so daß die Laufzeit zu den oben angegebenen Stationen mit Ausnahme von Sydney nicht unter den Werten von P_n liegen kann. Es wurde also an den angegebenen Stationen tatsächlich überall P_n und keine der früheren P -Wellen aufgezeichnet mit Ausnahme von Sydney.

3. Die Vorläufer.

Die Einsatzzeiten der Vorläufer wurden so weit als möglich abgelesen, sonst die in den Berichten angegebenen Werte benutzt. Für die europäischen Stationen wurden außerdem die aufgezeichneten Kurven nach den Komponenten getrennt in gleichem Maßstabe untereinander gezeichnet. Es fand sich hierbei keine Welle, von der man hätte annehmen können, daß sie den Kern transversal durchlaufen hat. Es ergab sich weder eine Welle, welche die zu erwartenden Eigenschaften der direkten Transversalwelle durch den Kern (S') gezeigt hätte, deren Brennpunkt allerdings möglicherweise in einer Herdentfernung von etwa 140° in ein Gewirr von anderen Wellen fällt, noch ein Anzeigen

Tabelle 2. Eintrittszeiten der Vorläufer. (Zu ergänzen ist 5h oder 6h).

Nr.	Δ °	P	eP ^c	iP ^c ·eP ^c	PP	$\overline{S_c P_c P}$	PPP	$\overline{S_c P_c S}$	S (bis Nr.20)	$\overline{S_c P_c SP}$	PPS	SS	SSS	Weitere Einsätze
1	1,9	m s 50 09	.	.	m s .	.	.	.	m s 50 21	.	.	.	.	.
2	37,1	56 54	.	.	58 30	.	.	.	02 30	.	.	.	.	.
3	39,5	57,0	.	.	.	.	.	.	03,5	.	.	.	.	.
4	43,3	57 06	.	.	59 24	.	.	.	04 12	.	.	m s 7 36	.	.
5	47,7	58,0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6	69,2	00 48	.	.	.	.	.	.	09 48	.	.	.	.	m s 09 21
7	69,3	00 29	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8	69,9	00 49	.	.	.	.	.	.	10 12	.	.	.	.	.
9	71,3	01 00	.	.	04 19	.	.	.	10 22	.	.	15,4	18,8	01 33
10	71,4	00 57	.	.	.	.	.	.	10 21	.	.	.	.	01 14
11	71,7	01 00	.	.	03 57	.	.	.	10 34	.	.	15,3	19,0	5,0 5,3 6,3 8,1 20,0
12	76,1	01 33	.	.	.	.	.	.	11 26	.	.	.	.	11,7
13	77,7	01 56	.	.	.	.	.	.	10 51	.	.	.	.	.
14	78,9	01 42	.	.	04 50	.	m 6,6	.	11 39	.	.	.	20,5	3,5 4,2 5,5 7,9 9,2 13,9 21,3
15	79,1	01 39	.	.	04,8?	.	6,6	.	11 51	.	.	.	.	2,0 8,3 11,3 14,9 16,0 19,0
16	94,3	(00 00)*	.	.	(04 13)*	.	m (6,1)*	(10,5)*	(11,0)*	.	.	(18,6)*	.	*) Zeitkorr. unbekannt.
17	99,3	03 31	.	.	.	.	.	.	15 08	.	.	22,0	.	9,5
18	103,6	03 48	.	.	.	.	.	.	15,8	.	.	.	.	.
19	104,1	03 49	.	.	.	.	.	14,8	.	.	.	.	.	.
20	106,0	e04 05	m s 08 08?	.	08 36?	.	.	14 28	16 08?	.	.	23,2	29,7	7 26 17,6 (PS)
21	108,8	03 55	.	.	08 35	.	.	14 27	$\overline{S_c P_c P_c S}$	.	.	.	.	17,8 (PS)
22	132,4	05 52	08 53	.	11 24	m i 12,5!	.	.	m 18,2	m 21,5	m 24,2	.	.	.
23	134,8	.	08 58	.	11,7	14,6	16,2	18,2	21,5	24,2	29,4	35,2	.	13,7 23,5 25,2 28,4 31,5 38,5
24	137,7	.	09 17	.	12 12	.	.	.	.	.	.	.	.	.
25	139,2	06 32	09 04	.	12 12	13,0	m s 15 27	16 33	.	.	24,3	30,6	.	20,1 20,8 27,5 41,2 23,4 (PS)
26	141,9	.	09 08	9 ^s ; 33 ^s	12 33	m s i 12 45	15 50	15,9	19 24	.	24,7	30,8	37,0	10,4 11,1 13,0 17,4 21,2 26,1
27	142,4	.	09 09	.	12,4	12 39	.	15,7	19 15	22,7	24,5	30,7	36,3	10,8 11,9 13,3 21,0 23,6 26,3
28	143,2	06 56	09 13	.	.	12 50	.	16,0	19,5	22,9	25,0	31,0	36,5	11,2 13,9 14,3 17,4 27,6 34,5
29	144,1	.	09 15	20 ^s	.	13 21	16 04	16,3	19 32	22 48	25,5	30,5	.	10,2 11,8 12,1 17,2 19,0 21,4 24,7
30	144,4	.	09 13	.	12 33	.	.	.	.	23,0	.	31,3	37,8	[27,0
31	145,5	.	09 16	2 ^s	12,8	.	.	16,0	19,9	22,9	26,2	31,6	.	20,9 28,4 29,8
32	146,2	.	09 20	0,7 ^m	.	13 12	15,9	16,9?	19,8	23,2	25,6	31,7	37,5	17,5 28,5 29,6 33,9 35,2 43,7
33	146,3	.	09 21	.	.	13 11	16 04	.	.	23,1	.	.	.	14,6
34	146,5	.	09 24	18 ^s	.	13 19	15 32	16 41	19 39	23 18	25,8	31,9	37,0	10,5 11,6 22,5 39,0 43,9 47,0
35	146,8	.	09 21	3 ^s ; 33 ^s	.	13 10	.	16,5	19,6	23 14	25,7	32,1	37,9	17,5 21,3 27,2 33,0 42,7 45,9
36	147,8	.	09 22	16 ^s	.	13 13	16 05	.	20 03	23 19	26,0	32,3	38,2	10,3 11,5 12,5 25,0 29,0 35,5 40,0
37	147,9	.	09 27	.	.	.	.	.	19 57	.	.	.	.	[46
38	148,6	.	09 23	.	.	.	.	.	.	23,5	.	.	.	23,0
39	152,0	.	09 41	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	18,8
40	153,1	.	09 31	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	18,8
41	153,5	.	09 36	17 ^s	.	13 17	17,3	.	20,4	23,9	26,9	33,4	39,0	11,2 14,3 25,4 28,3
42	153,6	.	09 33	.	.	13 30	17,6?	.	20,1	23,5	27,2	33,5	.	15,2 26,1 36,2
43	157,9	.	09 39	.	.	13 13	.	.	.	24,2	27,2	34,1?	.	11,3 15,0 19,2 22,0 32,2 42,9
44	158,2	.	09 38	.	14 00	.	18 00	.	.	.	.	.	.	.
45	158,8	.	09 39	.	14,0	.	18,6	17,4	20,7	24,3	27,2	34,0	40,7	11,8 14,9 22,8 25,7 30,7 44,8

Tabelle 3. Beobachtete minus berechnete Laufzeiten der Vorläufer.
(Angaben bei ganzen Zahlen in Sekunden, bei Dezimalen in Minuten).

Nr.	Δ °	P	P'	PP	$\overline{S_c P_c P}$	PPP	$\overline{S_c P_c S}$	S bezw. $\overline{S_c P_c P_c S}$	PS bezw. $\overline{S_c P_c S P}$	PPS	SS	SSS
2*	37,1	- 16	.	+ 3	.	.	.	- 24	.	.	.	.
3*	39,5	- 27	.	.	.	.	.	$\pm 0,0$	.	.	.	.
4*	43,3	- 10	.	- 13	.	.	.	- 8	.	.	+ 3	.
5*	47,7	- 28	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6*	69,2	+ 3	.	.	.	.	.	- 5	.	.	.	.
7*	69,3	- 17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8*	69,9	- 1	.	.	.	.	.	+ 8	.	.	.	.
9	71,3	+ 2	.	+ 20	.	.	.	+ 2	.	.	- 0,1	$\pm 0,0?$
10	71,4	- 1	± 0	.	.	.	.
11	71,7	± 0	.	- 4	.	.	.	+ 9	.	.	- 0,3	+ 0,2
12*	76,1	+ 6	.	.	.	.	.	+ 9	.	.	.	.
13*	77,7	+ 21	.	.	.	.	.	(- 42)	.	.	.	.
14	78,9	+ 0	.	- 8	.	- 0,3	.	- 7	.	.	.	- 0,3
15	79,1	- 3	.	- 0,2?	.	- 0,3	.	+ 3	.	.	.	.
17*	99,3	- 1	.	.	.	.	.	+ 7	.	.	- 2	.
18*	103,6	- 4	.	.	.	.	.	+ 0,2	.	.	.	.
19*	104,1	- 5	.	.	.	.	+ 0,3	.	.	.	.	.
20	106,0	+ 2	+ 13?	+ 6?	.	.	- 0,2	.	$\pm 0,0$	.	- 0,3	+ 1,5
								$\overline{S_c P_c P_c S}$				
21*	108,8	- 21	.	- 20	.	.	- 0,4	.	- 0,3	.	.	.
22*	132,4	- 13	- 15	- 17	.	.	.	.	.	.	.	.
23	134,8	.	- 14	- 0,3	- 0,2	- 0,4	- 0,1	- 0,2	.	+ 0,3	- 0,3	$\pm 0,0$
24*	137,7	.	± 0	- 2	.	.	.	.	.	.	.	.
25	139,2	- 3	- 16	- 21	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	+ 0,1	.	+ 0,2	- 0,4	$\pm 0,0$	.
								$\overline{S_c P_c S P}$				
26	141,9	.	- 17	- 6	- 0,2	.	- 0,6	+ 0,3	.	- 0,5	- 0,3	- 0,5
27	142,4	.	- 17	- 0,3	- 0,4	.	- 0,8	+ 0,1	- 0,3	- 0,8	- 0,5	- 0,6
28	143,2	+ 2	- 15	.	- 0,3	.	- 0,7	+ 0,3	- 0,1	- 0,5?	- 0,2	- 0,6
29	144,1	.	- 14	.	+ 0,2	.	- 0,4	+ 0,2	- 0,3	- 0,1	- 0,3	.
30*	144,4	.	- 17	- 20	.	.	.	.	- 0,2	.	- 1,0	- 0,4
31	145,4	.	- 16	.	- 0,3	.	- 0,7	+ 0,4	- 0,5	+ 0,3	- 0,2	.
32	146,2	.	- 14	.	+ 0,1	- 0,4	+ 0,2?	+ 0,3	- 0,2	- 0,3	- 0,2	- 0,1
33*	146,3	.	- 13	+ 6	.	- 13	.	.	- 0,3	.	.	.
34	146,5	.	- 11	.	+ 0,1	- 27	$\pm 0,0$	+ 0,1	- 0,2	- 0,2	- 0,1	- 0,7
35	146,8	.	- 14	.	$\pm 0,0$	.	- 0,2	$\pm 0,0$	- 0,3	- 0,4	+ 0,1	+ 0,1
36	147,8	.	- 16	.	$\pm 0,0$	- 22	.	+ 0,3	- 0,3	- 0,2	+ 0,1	+ 0,1
37*	147,9	.	- 11	.	.	.	.	+ 0,2	.	.	.	.
38*	148,6	.	- 16	.	.	.	.	.	- 0,2	.	.	.
39*	152,0	.	- 5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
40*	153,1	.	- 17	.	.	.	.	.	.	.	.	.
41	153,5	.	- 12	.	$\pm 0,0$	+ 0,2	.	+ 0,1	- 0,3	- 0,2	+ 0,1	- 0,3
42	153,6	.	- 15	.	+ 0,2	+ 0,5?	.	- 0,2	- 0,7	$\pm 0,0$	+ 0,2	.
43	157,9	.	- 14	.	- 0,1	.	.	.	- 0,4	- 0,6	$\pm 0,0?$	.
44*	158,2	.	- 18	- 17	.	- 0,2	.	.	.	.	.	.
45	158,8	.	- 18	- 0,3?	.	+ 0,8	+ 0,4	$\pm 0,0$	- 0,4	- 0,8	- 0,3	+ 0,1

Die mit * bezeichneten Angaben nach Berichten, die übrigen nach eigenen Messungen.

für die Welle $\overline{P_c S_c S}$, die im Mantel longitudinal, im Kern (Index c) transversal und dann im Mantel ebenfalls transversal (oder in umgekehrter Reihenfolge) verläuft und in großen Herddistanzen ebenfalls einen Brennpunkt haben muß, falls sie existiert. Dagegen zeigte sich die Welle $\overline{S_c P_c P}$ (im Kern longitudinal, im Mantel einmal transversal, einmal longitudinal) besonders in Upsala sehr schön, wie schon früher (vgl. 6 mit Abb.) festgestellt worden ist. Tabelle 2 gibt die Eintrittszeiten der Vorläufer. Mit P ist die Longitudinalwelle bezeichnet, die den Kern nicht durchlaufen hat. Die Eintrittszeiten sind vielfach zu früh gegenüber der Rechnung (vgl. Tabelle 3), zum Teil handelt es sich hierbei offenbar um anormal frühe Wellen P_1 oder P_2 nach A. MOHORVIČIĆ (8). Ob die großen Abweichungen von -27 , -28 und -21 Sek. als P_3 -Wellen anzusprechen sind, erscheint in Anbetracht der Tatsache, daß es sich in allen Fällen um Stationen mit besonders schwach vergrößernden Instrumenten handelt, sehr zweifelhaft! Eine Erklärung für die verschiedenen Wellengruppen bei P werden wir bei der Betrachtung des Japanbebens versuchen.

P' , die Longitudinalwelle durch den Kern, traf rund 15 Sekunden früher ein als die Rechnung ergibt. Zum Teil kann diese Differenz an der Unsicherheit der Herdzeit liegen, zum Teil an einer ähnlichen Erscheinung, wie sie die P-Wellen zeigen, so daß wir also auch P'_1 -Wellen usw. hätten, doch ist es auch möglich, daß die Laufzeit der P' -Wellen wirklich etwas kleiner, die Geschwindigkeit der Wellen also etwas größer ist als seither angenommen wurde. Die Differenz liegt jedoch an der Grenze der Beobachtungsgenauigkeit.

Die direkte Transversalwelle S wurde ungefähr den normalen Laufzeiten von S_n entsprechend festgestellt, ebenso die an der Erdoberfläche reflektierte Wechselwelle PS (in 3 Fällen beobachtet), während die zweimal an der Erdoberfläche reflektierte Wechselwelle PPS (= PSP = SPP) wie üblich zu früh kam.

Die ein- und zweimal an der Erdoberfläche reflektierten Longitudinalwellen PP und PPP sowie die entsprechenden Transversalwellen SS und SSS kamen genau wie dies auch schon die früheren Untersuchungen gezeigt haben zu früh.

Es bleiben nun noch die Wellen, die den Kern longitudinal, den Mantel ein- oder zweimal transversal durchlaufen haben: $\overline{S_c P_c P} = \overline{P_c P_c S}$ und $\overline{S_c P_c S}$ (Über die Symbole dieser Wellen vgl. z. B. 6. Zur Charakterisierung der Kerngrenze wurde einem Vorschlage von J. B. MACELWANE entsprechend der Index c an Stelle des früher benutzten 4 verwandt). Die erste dieser beiden Wellen besitzt theoretisch (vgl. 6) in 132° Herddistanz einen Brennpunkt. Die Beobachtungen bestätigen dies, in Upsala ($134,8^\circ$) ist es die stärkste Welle im Gebiet der Vorläufer und sie nimmt bei wachsender Herddistanz schnell ab. Auch die beobachteten Eintrittszeiten stimmen gut mit den berechneten überein. Der Beginn der anderen Welle, $\overline{S_c P_c S}$, ist meist unscharf, die Eintrittszeiten stimmen ungefähr. Trifft diese Welle auf die Erdoberfläche, so wird außer einer Transversalwelle, welche die gleiche Bahn nochmals zurücklegt und daher nicht beobachtbar ist, eine Longitudinalwelle reflektiert. Die so entstehende Welle (vgl. 6) $\overline{S_c P_c SP}$ ist sehr kräftig, sie traf meist etwas zu früh ein wie die übrigen an der Erdoberfläche reflektierten Wellen.

Transversalwellen durch den Kern wurden wie schon erwähnt nicht beobachtet.

Das wesentlichste Ergebnis unserer Zusammenstellung ist also die Feststellung, daß die Wellen, welche den Erdkern longitudinal passieren, die vorausberechneten Eigenschaften besitzen (6), daß also unsere Annahmen über die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen im

Erdkern im wesentlichen zutreffen, und daß dieser Transversalwellen nicht oder nur stark geschwächt passieren läßt.

Die Untersuchung der Amplitudenverhältnisse bei den Vorläufern kommt bei dem vorliegenden Beben infolge des starken Wechsels der Amplituden nur wenig in Frage. Wichtig ist außer dem schon erwähnten Brennpunkt bei $\overline{S_c P_c P}$ die Feststellung des Brennpunktes von P' . Während in Potsdam (Herddistanz $142,4^\circ$) P' noch recht schwach war, zeigt die Aufzeichnung in De Bilt ($143,2^\circ$) und noch viel ausgeprägter in Jena ($144,1^\circ$) einen sehr scharfen großen Einsatz, der im letzten Falle fast alle anderen übertrifft. Der Brennpunkt liegt also genau den im Jahre 1914 gefundenen Ergebnissen entsprechend in etwa 143° Herddistanz.

Auffallend ist schießlich die Tatsache, daß bei den Wellen durch den Erdkern das Maximum der Bewegung erst relativ viel später einzutreffen pflegt als bei den Vorläuferwellen, die den Erdkern nicht passiert haben. Es spricht das dafür, daß zunächst gebeugte Wellen eintreffen, die vielleicht auch an dem zu früh festgestellten Beginn von P' bei diesem besonders starken Beben schuld sind.

4. Die Oberflächen- und Wiederkehrwellen.

Oberflächenwellen mit Perioden über 1 Minute sind bei diesem Beben nur an wenigen Stationen aufgezeichnet worden und auch da meist unsicher. Tabelle 4 gibt einen Überblick über diese Wellen. Wiederkehr von Wellen mit Perioden über 1 Minute wurde nirgends beobachtet.

Tabelle 4. Eintrittszeiten und Geschwindigkeiten von Oberflächenwellen mit Perioden von mehr als 1 Sekunde.

Station	Ottawa	De Bilt	Jena	München	Zürich	San Fernando
Δ (Grad)	106,0	134,2	144,1	146,8	147,8	158,8
Eintrittszeit	6h 34?	6h 52?	6h 50?	6h 52 $\frac{1}{2}$?	6h 52 $\frac{1}{4}$?	6h 53?
v km/sec.	4,39?	4,28?	4,44?	4,35?	4,41?	4,69?

Die Perioden der Vorläufer, der Oberflächenwellenmaxima mit Perioden unter 30 Sekunden, der Maxima der Wiederkehrwellen und der Nachläufer sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Auf diese Werte sowie auf die

Geschwindigkeit der Oberflächenwellen mit verschiedenen Perioden (Tabelle 6) wird bei der Besprechung der entsprechenden Ergebnisse bei dem folgenden Beben eingegangen. Im übrigen sei auf die Ausführungen bei der Bearbeitung des Atacamabebens vom 10. Nov. 1922 (10) verwiesen. Das gleiche gilt für die

Amplituden, die Untergrundfaktoren und die Extinktionskoeffizienten, die in den Tabellen 7 und 8 zusammengestellt sind. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß in Apia dicht am Herd entgegen der üblichen Ansicht die Wiederkehrwellen schwach sind.

2. Teil. Das Japanbeben am 1. September 1923 um 2^h 58 $\frac{1}{2}$ ^m

5. Die Nahstationen.

Die vorliegende Bearbeitung der Aufzeichnungen des Japanbebens an den Nahstationen stützt sich vor allem auf die von K. SUDA (1) veröffentlichten Angaben, die in Tabelle 9 mit „B“

bezeichnet sind. Nur von einzelnen Stationen lagen gedruckte Abbildungen (D in Tab. 9) aus verschiedenen Veröffentlichungen (1—4) vor, vor allem konnten die Originale (O) von Zikawei benutzt werden. In Tabelle 9 sind die Einsatzzeiten zusammengestellt, bei Sendai, Nagasaki und Zikawei nach eigenen Ablesungen.

Bei der Schreibweise der Ortsnamen, die bei den verschiedenen japanischen Autoren differiert, wurden die Angaben von K. SUDA (1) benutzt, wo solche fehlten, die von Imamura (2).

Tabelle 5. Vorherrschende Perioden verschiedener Wellen. Tongabebeben.

Station	Δ°	Charakteristische Periode T in Sekunden bei								
		P	P'	PP	Max (T < 30 s)	WII	WIII	WIV	C	CII
Apia	1,9	2	.	.	.	11?	.	.	6—8	.
Berkeley	71,3	6	.	8	22	21; 18	20	.	15—16	16—18
Lick	71,4	5 $\frac{1}{2}$	.	.	25; 18	22; 19	.	.	15—16	.
Manila	71,7	9; 5	.	6	24	24; 18	16; 14	.	14—18	16—17
Batavia	78,9	.	.	.	21	21	17	.	17	17
Zi-ka-wei	79,1	14	.	16	24	20	.	.	17—19	18
Ottawa	106,0	4?	.	.	24	20	20	.	16—17	17—18
Upsala	134,8	.	7	10	24	20	25; 20	.	17—18	16
Eskdalemuir	139,2	6	9	12	24	20	20	20?	16—17	17
Hamburg	141,9	.	7; 10	8; 13	21	21	21	20	.	15—16
Potsdam	142,4	.	.	.	21	19	19	.	.	16
De Bilt	143,2	15	6; 14	18?	24	20	.	.	.	17
Jena	144,1	.	12	8	22	20	16	20	17—18	.
Jugenheim	145,5	.	12	12	21	18	21	.	.	18
Wien	146,2	.	2; 5	.	22	22	.	.	18	16—17
Hohenheim	146,5	.	12	.	21	20	18; 22	16	17	16
München	146,8	.	8	.	24	21	26; 22	20	17	16—18
Zürich	147,8	.	5; 7	.	21	20	.	.	17	16—18
Barcelona	153,5	.	8	.	24	20	24	.	.	17—18
Tortosa	153,6	.	13	.	24	.	.	.	.	.
Cartuja	157,9	.	.	.	24	20	.	.	.	15—17
San Fernando	158,8	.	15	.	20?	22?	20	22	.	18

6. Die Lage des Herdes.

Bisher wurden u. a. folgende Koordinaten und Herdzeiten für das Beben gefunden:

Länge L	Breite B	Herdzeit	Autor	aus
139° 21,8'	34° 58,6'	2 ^h 58 ^m 32 ^s	Imamura (2)	Mikros. Beob.
Im mittleren Teil		2 58 26	Suda (1)	" " Epizentr.
der Sagami Bai		2 58 17	"	" " Herd
ca 139 $\frac{1}{3}$ ° östl.	35° nördl.			
ca 139 $\frac{1}{4}$ " "	34 $\frac{3}{4}$ " "	Südende	"	Makros. " Epiz. I
ca 139 $\frac{2}{5}$ " "	35 $\frac{1}{3}$ " "	Nordende	"	" " " I
ca 139 $\frac{2}{3}$ " "	34 $\frac{3}{4}$ " "	Südende	"	" " " II
ca 139 $\frac{1}{4}$ " "	35 $\frac{1}{5}$ " "	Nordende	"	" " " II

Da wir im vorliegenden Falle zahlreiche herdnahe Stationen mit gleichen oder fast gleichen Eintrittszeiten besitzen, können wir wieder die bei dem vorigen Beben (Vgl. 1. Teil, 2) benutzte Methode anwenden. Dabei können wir bei zwei Stationen, an deren einer der Beginn des Bebens

B. Gutenberg: Bearbeitung von Aufzeichnungen einiger Weltbeben.

Tabelle 6. Geschwindigkeiten von Oberflächenwellen mit verschiedenen Perioden
(in km/sec bzw. sec). Tongabebeben.

Station	Δ°	Geschwindigkeit von Querwellen ¹⁾ mit Perioden von										Geschwindigkeit von R-Wellen mit Perioden von										Maximum der Wiederk.-Wellen			
		> 30	30 29	28-26	25	24	23	22	21	20	19 18	> 40	40-35	34; 32	31 30	27-25	24	23	22	21	20	19-18	W II	W III	W IV
Berkeley	71,3	4,03 ⁵⁾	3,98	.	.	.	3,86	.	3,80	3,65	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,47	3,43	.
Lick	71,4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,91	3,70	3,44	.	.
Manila	71,7	3,86 ⁷⁾	.	.	4,10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,41	3,44	3,09	3,44	.
Batavia	78,9	4,00 ⁵⁾	.	3,66	.	.	.	3,11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2,95	3,46	3,59	.	.
Zi-ka-wei	79,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,34	3,83 ²⁾	.	.	.
Ottawa	106,0	3,86 ⁵⁾	.	.	3,58	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,45	3,82	3,54	.	.
Upsala	134,8	3,81 ⁵⁾	.	3,61	.	.	3,28	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,37	3,78	3,35	.	.
Eskdalemuir	139,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,39	3,41	3,64 ²⁾
Hamburg	141,9	.	3,64	.	.	3,46	.	3,39	3,39	2,73	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,11	3,46	3,37	3,43	.
Potsdam	142,4	.	.	3,51	.	.	.	.	.	.	.	.	3,82 ⁵⁾	3,18	3,48	3,31	3,38	.
De Bilt	143,2	.	.	3,55	.	.	.	3,44	3,31	3,23	.	.	3,83 ⁵⁾	3,15	3,44	3,39	.	.
Jena	144,1	.	.	.	.	3,48	3,31	.	.	3,05	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,10	3,39	3,34	.
Jugenheim	145,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,90 ³⁾	3,29	3,37	3,51	.	.
Wien	146,2	.	.	.	3,65	.	3,34	.	3,04	.	.	.	.	3,89 ³⁾	3,21	3,34	3,34	.	.
Hohenheim	146,5	3,81 ⁵⁾	.	.	.	3,58	.	.	3,09	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,53	3,47	3,41	.
München	146,8	3,79 ⁵⁾	.	.	3,43	.	3,27	3,13	.	2,74	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,15	3,36	3,53	3,52	.
Zürich	147,8	.	3,60	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,90 ³⁾	3,33	.	.	.
Barcelona	153,5	.	3,73	3,54	.	.	3,38	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,28	3,25	3,58	.	.
Tortosa	153,6	{ 3,90 ⁴⁾	.	.	3,59	.	3,52	.	.	3,14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cartuja	157,9	{ 3,83 ⁵⁾	.	3,68	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
San Fernando	158,8	.	3,85	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3,37	3,44	3,34	.

¹⁾ Unter „Querwellen“ sind Oberflächenwellen verstanden, bei denen die Bewegung senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erheblich vorherrscht, unter „R-Wellen“ solche, bei denen die Bewegung in der Fortpflanzungsrichtung stärker war. Bei ersteren ist außerdem die Vertikalkomponente meist relativ sehr gering, bei letzteren etwa von gleicher Größenordnung wie die Horizontalkomponente.

2) T = 48 s, 3) T = 45 s, 4) T = 40 s, 5) T = 36 s, 6) T = 34 s, 7) T = 32 s.

Tabelle 7. Horizontalamplituden in μ und Untergrundsfaktoren u bei den Oberflächenwellen. Tongabebeben.

Station	Δ	Horizontalamplitude mit Perioden von 20–24 sec. bei:					Q: R bei:		Untergrundsfaktor ¹⁾ u bei:			
		R (Maximum)-	Q-Wellen	W _{II}	W _{III}	W _{IV}	M	W _{II}	M		W _{II}	
								N-S	E-W	N-S	E-W	
Apia ²⁾	1,9	> 1700	.	> 50	.	.	.	.	.	.	.
Berkeley	71,3	(450)	1700	(20)	(1)	.	.	.	.	.	.
Lick	71,4	(1800)	.	50	.	.	.	.	.	.	.
Manila	71,7	2500	.	90	6	.	.	.	.	.	.
Batavia	78,9	700	900	80	4	.	1,3	0,7	.	.	.	
Zi-ka-wei	79,1	(1500)	.	(50)	.	.	.	.	.	.	.
Ottawa	106,0	450	700	120	10	.	.	.	.	.	.
Upsala	134,8	925	450	120	7	.	0,5	0,9	0,7	0,5	1,0	0,7
Hamburg	141,9	(1400)	.	(300)	20	4	(0,7)	0,6	1,1	0,9	1,8	1,0
Potsdam	142,4	550	550	90	5	.	1,0	(1,0)	0,5	0,6	0,6	0,5
De Bilt	143,2	1400	1350	200	.	.	0,9	1,0	1,2	1,3	1,3	1,3
Jena	144,1	≥ 1700	1200	250	6	(5)	$\geq 0,7$	.	1,4	1,1	.	1,4
Jugenheim	145,5	1900	.	200	12	.	.	.	1 ^{1/2}	.	1 ^{1/3}	.
Wien	146,2	650	1300	160	.	.	2,0	(4)	0,6	1,3	0,5	1,0
Hohenheim	146,5	850	1100	150	6	1 ^{1/2}	1,2	1,0	0,6	.	0,7	.
München	146,8	1150	1030	270	12	2	0,9	0,9	1,0	1,1	1,7	1,4
Zürich	147,8	870	675	130	.	.	0,8	1,4	0,8	0,7	0,8	0,7
Barcelona	153,5	2400	1000	300	9	.	0,4	0,2	2,0	1,0	1,7	0,9
Tortosa	153,6	.	(2000)	(300)	.	.	.	.	.	.	.	.

¹⁾ bei den europäischen Stationen entspricht die N-S-Komponente den R-Wellen, die E-W-Komponente den Querwellen. ²⁾ Vertikalkomponente.

Tabelle 8. Extinctionskoeffizienten k bei den Oberflächenwellen mit Perioden von etwa 20–24 Sekunden (Einheiten der 5. Dezimale). Tongabebeben.

Station	Δ	Extinktionskoeffizient k, berechnet aus				
		M; W _{III}	W _{II} ; W _{IV}	M; W _{II}	W _{III} ; W _{IV}	W _{II} ; W _{III}
Berkeley	71,3	35	.	36	.	33
Lick	71,4	.	.	38	.	.
Manila	71,7	27	.	30	.	22
Batavia	78,9	27	.	23	.	32
Zi-ka-wei	79,1	.	.	27	.	.
Ottawa	106,0	20	.	19	.	21
Upsala	134,8	23	.	33	.	20
Hamburg	141,9	22	19	44	19	16
Potsdam	142,4	23	.	45	.	18
De Bilt	143,2	.	.	43	.	.
Jena	144,1	25	19	38	.	23
Jugenheim	145,5	26	.	61	.	26
Wien	146,2	.	.	60	.	.
Hohenheim	146,5	27	22	50	29	20
München	146,8	23	25	36	41	20
Zürich	147,8	.	.	51	.	.
Barcelona	153,5	27	.	60	.	22

Tabelle 9. Eintrittszeiten von Wellen an Nahstationen. (Zu ergänzen 2h bzw. 3h.) Japanbeben.

Nr.	Ort	Δ (km)	P		\bar{P}		S (?)		\bar{S}		$S_1 S$		Differenz bei			
			min	sec	min	sec	m	s	m	s	m	s	P sec	\bar{P} sec	\bar{S} sec	
1	Numadzu	D	45	—	58	39	—	—	—	—	—	—	(+ = zu spät beob.)	- 1	—	—
2	Tokyo	D	61	—	58	44	—	—	58	54	—	—		+ 2	—	+ 3
3	Mera	D	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—
4	Kumagaya	B	92	—	58	51	—	—	—	—	—	—		+ 3	—	—
5	Tukuba	B	124	—	58	53	—	—	—	—	—	—		0	—	—
6	Matsumoto	B	152	—	59	04 ?	—	—	—	—	59	30		+ 6 ?	—	—
7	Choshi	B	152	—	58	57	—	—	—	—	—	—		- 1	—	—
8	Mito	B	159	—	58	54	—	—	—	—	—	—		- 5	—	—
9	Nagano	B	176	—	58	56	—	—	—	—	—	—		- 6	—	—
10	Takayama	B	200	59	03	—	—	—	—	—	—	—		- 3	—	—
11	Nagoya	B	213	59	05	—	—	—	59	38	—	—		- 2	—	+ 1
12	Gifu	B	221	59	02	—	—	—	—	—	—	—		- 6	—	—
13	Takata	B	221	59	11	—	—	—	59	45	—	—		+ 3	—	+ 7
14	Tsu	B	226	59	11	—	—	—	—	—	—	—		+ 2	—	—
15	Kanazawa	B	269	—	—	—	—	—	59	56	—	—		—	—	+ 2
16	Hikone	B	272	59	14	—	—	—	—	—	—	—		- 1	—	—
17	Niigata	B	287	59	14	—	—	59	48	—	—	—		- 3	—	—
18	Kyoto	B	317	—	59	33 ?	—	—	—	—	—	—		—	+ 5	—
19	Yagi	B	329	59	21	—	—	—	—	—	—	—		- 1	—	—
20	Yamagata	B	338	—	59	39	—	—	—	—	—	—		—	+ 7	—
21	Sendai	D	350	59	21	59	28	59	40	00	09	—		- 4	- 6	- 8
22	Osaka	B	356	59	24	—	—	—	—	—	—	—		- 1	—	—
23	Kobe	D	378	59	28	—	—	—	—	—	—	—		0	—	—
24	Siomisaki	B	382	(59	35)	—	—	—	—	—	—	00	38	(+ 6)	= (- 4)	—
25	Ishinomaki	B	390	59	30	—	—	59	27	—	—	—		0	—	—
26	Wakayama	B	395	—	—	—	—	00	02	—	—	—		—	—	—
27	Midusawa	B	475	59	40	—	—	—	—	—	—	—		+ 2	—	—
28	Akita	B	489	—	—	—	—	00	10	—	—	—		—	—	—
29	Okayama	B	494	—	59	55	—	—	—	—	—	01	06	—	- 5	—
30	Tadotsu	B	516	59	42	—	—	—	—	—	—	—		- 4	—	—
31	Mijako	B	536	—	00	10	00	43	—	—	—	—		—	+ 3	—
32	Matsujama	B	630	59	58	—	—	01	16	—	—	—		- 2	—	—
33	Hamada	B	669	00	06	—	—	01	43	—	—	—		+ 1	—	—
34	Hakodate	B	730	00	13	—	—	01	52	—	—	—		0	—	—
35	Oita	B	739	00	16	—	—	(00	46)	—	—	—		+ 2	—	—
36	Simonoseki	B	763	00	22	—	—	(02	52)	—	—	02	17	+ 5	—	—
37	Miyazaki	B	817	00	21	—	—	02	05	—	—	—		- 1	—	—
38	Fukuoka	B	832	00	22	—	—	02	04	—	—	—		- 4	—	—
39	Kumamoto	B	837	00	23	—	—	02	33	—	—	—		- 3	—	—
40	Kagoshima	B	908	00	36	—	—	02	37	—	—	—		0	—	—
41	Nagasaki	D	908	00	30	—	—	02	13	—	—	—		- 5	—	—
42	Otomari	B	1292	01	20	—	—	03	40 ?	—	—	—		- 3	—	—
43	Zi-ka-wei	O	1721	02	14	—	—	05	24	—	—	—		0	—	—

n Sekunden (n klein) früher als an der anderen festgestellt wurde, annehmen, daß die erstere $5\frac{1}{2}n$ km für Herdentfernungen unter 180 km (\bar{P}) und $8n$ km für größere Distanzen (P) näher an dem angenähert bekannten Herd liegt als die zweite. Diese speziellen Werte gelten nur für herdnahe Stationen außerhalb des pazifischen Ozeans.

Die zahlreichen geometrischen Örter, die sich so aus dem in Tabelle 9 zusammengestellten Material ergeben, schneiden sich auf einem relativ engen Gebiet, und man erhält als Herdkoordinaten

$$L = 139^{\circ} 15' \text{ östl. v. Gr. } B = 35^{\circ} 20' \text{ nördl. (ca. } \pm 10 \text{ km)}$$

in guter Übereinstimmung mit den makroseismischen Beobachtungen sowie den Richtungsangaben der einzelnen Stationen. Das entsprechende Epizentrum liegt in der Sagami-Bai nahe deren Nordküste in der Nähe der Mündung des Sagamiflusses.

7. Die Herdtiefe und die Herdzeit.

Zur Bestimmung der Herdtiefe gibt es für den Fall, daß die Eintrittszeiten mehrerer Welleneinsätze an vielen Nahstationen bekannt, die absoluten Zeiten jedoch nicht ganz sicher sind, zwei Möglichkeiten, die beide voraussetzen, daß die Wellengeschwindigkeiten in den obersten Erdschichten am Herde die gleiche Größe haben wie in Europa, also z. B. für pazifische Herde nicht anwendbar sind: Entweder bestimmt man die Zeitdifferenz zwischen dem Einsatz der Longitudinalwelle \bar{P} , die nur in den obersten 57 km gelaufen ist (vgl. 6 S. 334) und dem Einsatz der Welle P , die auch in die darunter liegende Schicht eingedrungen ist, oder man vergleicht eine graphische Darstellung aller Einsatzzeiten mit den Laufzeitkurven für verschiedene Herdtiefen, die bis jetzt nur für Europa und gleichartig aufgebaute Teile der Erdoberfläche vorliegen.

Beim Betrachten der Diagramme fällt sofort auf, daß an den Stationen 1, 2 und 3 (Tab. 9) die Einsätze relativ viel größer sind als z. B. an den Stationen 23 und 41. In den Tabellen von Suda ist leider nur die Amplitude des Beginnes der Bewegung in mm angegeben ohne näheres über die Perioden und Instrumentalkonstanten. Letztere liegen auf Grund von älteren Angaben z. T. vor. Nimmt man außerdem an, daß die Perioden bei dem Beginn des Bebens klein waren gegenüber den Eigenperioden der Instrumente, was ziemlich sicher in den meisten Fällen zutrifft (Kagoshima gibt als Wellenperiode 2,4 Sek., Zikawei 3 Sek., Tokyo 2,3 Sek.), so lassen sich die Amplituden wenigstens der Größenordnung nach finden; einige grobe Abweichungen sind allerdings auch nicht ausgeschlossen, falls an einzelnen Stationen andere Instrumente in Betrieb waren. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Größenordnung der Amplituden des ersten Einsatzes, die sich unter diesen Voraussetzungen ergeben. Die Werte liegen mit Ausnahme von Choshi, Nagano und Takayama, wo vielleicht die Angaben schwach vergrößernder Pendel an Stelle der üblichen benutzt wurden, recht regelmäßig. Auffallend ist der Sprung in ca. 270 km Herddistanz, der sich so deuten läßt, daß bis dahin \bar{P} , von da ab P (vielleicht auch schon in Nagano und Takayama?) angegeben wurde, das viel schwächer ist als \bar{P} (vgl. 5). Besonders deutlich sind P und \bar{P} in der Aufzeichnung der N-S-Komponente in Sendai (Herdentfernung 350 km) zu erkennen (Abb. 2); die Zeitdifferenz zwischen beiden Einsätzen beträgt mindestens 7 Sek., vielleicht bis 4 Sek. mehr; der Beginn von P ist sehr schwach und daher etwas unsicher. Dies würde in Mitteleuropa einer Herdtiefe von mindestens 30 km, bzw. bei größerer Zeit-

differenz zwischen P und \bar{P} bis 55 km entsprechen. Das Diagramm ist im Anfange der Aufzeichnung der Ost-West-Komponente des Bebens vom 16. Nov. 1911 (Herd Schwäbische Alb) in Aachen A (Herdentfernung 350 km; vgl. Abb. 71 im Beiheft zu 5) sehr ähnlich, und es erscheint nicht ausgeschlossen, daß wie im zuletzt genannten Falle auch bei der Aufzeichnung des Japanbebens in Sendai der Beginn von P nicht zu erkennen oder höchstens durch eine kleine Ausbuchtung der Kurve angedeutet ist, und demnach die Herdtiefe des Bebens näher an 55 als an 30 km liegt. An einzelnen Stationen scheint P überhaupt nicht festgestellt worden zu sein (vgl. Tab. 9).

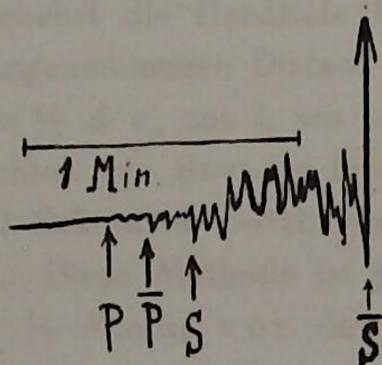


Abb. 2. Beginn der Ost-West-Komponente der Aufzeichnung des Bebens am 1. September 1923 2^h 58^{1/2}^m in Sendai. (Nach 2a). Handpause.

Die zweite Methode wurde folgendermaßen ausgeführt: Alle Einsätze wurden in großem Maßstabe in ein Koordinatennetz (Eintrittszeit als Funktion der Herddistanz) eingetragen und in gleichem Maßstabe die Laufzeitkurven von A. MOHORVIČIĆ (7) für 0, 25, 45 und 57 km

Tabelle 10. Überschlagn über die Amplituden A (in mm) des ersten Einsatzes.

Ort	Δ	A	Ort	Δ	A	Ort	Δ	A
Numadzu	45	>10	Gifu	221	1,3	Hakodate	730	0,09
Tokyo	61	8	Tsu	226	0,7	Oita	739	0,06
Matsumoto	152	15	Kanazawa	269	2,4	Hukuoka	832	0,18
Choshi	152	0,2	Hikone	272	0,2	Kumamoto	837	0,01
Hamamatsu	156	10	Niigata	287	0,1	Kagoshima	908	0,02
Mito	159	11	Kyoto	317	0,05	Nagasaki	908	0,02
Nagano	176	0,6	Kobe	387	0,05	Otomari	1292	0,2
Takayama	200	0,4	Hiroshima	630	0,05	Zi-ka-wei	1721	0,5
Nagoya	213	1,1	Matsujama	630	0,01	Taihoku	2024	0,4

Herdtiefe auf Pauspapier gezeichnet. Durch Auflegen und Verschieben der letzteren ergab sich, daß für kleine Herddistanzen die Kurven für 45 km Herdtiefe am besten paßten, für große die Kurven für 25 km Herdtiefe. In Wirklichkeit scheint die Herdtiefe zwischen beiden Werten gelegen zu haben, falls die Wellengeschwindigkeit in der Erdkruste in Japan nicht zu stark von der in Europa verschieden ist.

Als Herdzeit, die bei dem letzten Verfahren direkt abgelesen werden kann, ergab sich 2^h 58^m 30^s bis 31^s in allen Fällen. Die Epizentralzeit ist bei 25 km Herdtiefe 2^h 58^m 35^s, bei 45 km Herdtiefe etwa 3 Sekunden später.

Beide Methoden zeigen zweifelsfrei, daß die Wellengeschwindigkeiten in den obersten Schichten in Japan nicht wesentlich verschieden von denen

in Europa sind und jedenfalls nicht mit den im pazifischen Ozean gefundenen übereinstimmen.

H. P. BERLAGE (17) hat einen anderen Weg versucht, auf den B. GUTENBERG (16) wohl zuerst hingewiesen hatte, um die Herdtiefe zu finden: Außer der einmal etwa in der Mitte zwischen Herd und Station an der Erdoberfläche reflektierten Welle existiert bei jeder von 0 verschiedenen Herdtiefe eine weitere Welle, die vom Herde aus ziemlich steil nach oben verläuft, dicht bei dem Epizentrum an der Erdoberfläche reflektiert wird und dann fast parallel zur direkten Welle zur Station läuft. Je tiefer der Herd liegt, desto später nach P kommt diese Welle an, und man kann umgekehrt die Herdtiefe h aus der Zeitdifferenz d , mit der diese beiden Wellen in der als groß angenommenen Distanz unter dem Einfallswinkel i eintreffen, berechnen. Es ist angenähert $h = \frac{1}{2} d v_0 \cos i$, wo v_0 die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen in den obersten Erdschichten ist. BERLAGE fand, daß in Zürich bei dem Japanbeben zwei ähnlich aussehende Wellen in 7 Sekunden Zeitabstand aufeinander folgten. Es wäre demnach $h = \frac{1}{2} \cdot 7 \cdot 6 \cdot 0,92 = \text{ca. } 20 \text{ km}$. Diese Methode ist jedoch sehr unsicher, denn einmal hat A. MOHOROVIČIĆ (8) nicht nur bis $\frac{1}{2}$ Minute vor den normalen P_n -Wellen die mehrfach erwähnten P_1 -, P_2 -Wellen usw. festgestellt, sondern auch ähnlich Wellenzüge nach P_n , deren Ursache noch ungeklärt ist. An dieser Stelle sei daher auf eine Tatsache hingewiesen, die anscheinend fast stets seither stillschweigend übergangen wurde (Ausnahmen: z. B. K. ULLER, der sich mit diesen Problemen theoretisch viel beschäftigt hat, J. B. MACELWANE (19), P. BYERLY jr. (18) u. a.): die Wellen verändern auf ihrer Bahn ihre Form, und es besteht außerdem die Möglichkeit, daß sich die im Herde ausgelösten Wellen mit variablen Gruppengeschwindigkeiten, die von der Form der Welle und ihrer Periode abhängen, fortpflanzen. Die Frage, ob bei den seismischen Wellen ähnlich wie bei Wasserwellen eine „Gruppengeschwindigkeit“ besteht, die etwas kleiner ist als die Geschwindigkeit der einzelnen Welle, d. h. ob die ursprüngliche Welle nach und nach abnimmt, während eine unmittelbar hinter ihr folgende Welle anwächst usw., ist ebensowenig irgendwie eindeutig beantwortet worden wie das von GALITZIN angeschnittene Problem der Dispersion der Vorläuferwellen, d. h. der Frage, ob im Erdinnern die Wellengeschwindigkeit mit der Periode variiert. Die seitherigen Untersuchungen sprechen zwar dagegen, doch wäre es denkbar, daß die verschiedenen P-Einsätze, die wir mehrfach erwähnten, durch Dispersion zu Stande gekommen sind; bei der festgestellten Bevorzugung gewisser Perioden bei den Vorläufern müßten gewisse Geschwindigkeiten besonders oft vorkommen, und die beobachteten Laufzeitkurven $P_n, P_1 \dots$ würden Laufzeitkurven für die Wellen mit den am meisten vorkommenden Perioden sein. Andererseits besitzen die Laufzeitkurven für die verschiedenen P-Wellen Zeitunterschiede von der Größenordnung der Periode dieser Wellen, so daß man vielleicht auch P_n als die Hauptwelle in der Gruppe, die vorhergehenden als im Verlöschen begriffene Wellen ansehen könnte. Die im folgenden festgestellte Tatsache, daß bei dem Japanbeben an den europäischen Stationen die frühen Wellen seltener beobachtet wurden als an den pazifischen, dürfte im Aufbau der obersten Schichten begründet sein; vielleicht spielt die Unstetigkeitsschicht in 57 km Tiefe in Europa hier eine Rolle. Die angeschnittenen Probleme sind jedenfalls zur Zeit weder theoretisch noch durch Beobachtung so weit untersucht, daß man mehr als Vermutungen äußern könnte. Andererseits zeigt sich, wie wenig von der oben erwähnten Methode zur Herdtiefenbestimmung aus Wellen mit Zeitdifferenzen von wenigen Sekunden im Bereiche von P zu erwarten ist. Analoges gilt für die Methode von TURNER (22).

Zur Kontrolle der Laufzeitkurven für größere Entfernungen muß man sich für eine Herdtiefe entscheiden. Es wurde eine solche von 25 km gewählt, also als Epizentralzeit $2^h 58^m 35^s$, da die Laufzeitkurven von A. MOHOROVIČIĆ (8) für P und S, die als die besten Kurven für Fernbeben für diese beiden Wellen gelten dürften, für 25 km Herdtiefe berechnet sind. Für 45 km Herdtiefe wäre die Epizentralzeit 3^s später, für größere Entfernungen wäre aber bei P etwa der gleiche Betrag, bei S etwas mehr, an den Laufzeiten für 25 km Herdtiefe in Abzug zu bringen, so daß hierdurch das Ergebnis kaum beeinflußt wird.

In Tabelle 9 wurden nun noch die Differenzen beobachtete-berechnete Eintrittszeiten für die Nahstationen eingetragen. Sie liegen innerhalb der Zeitgenauigkeit für die japanischen Stationen. Solche, bei denen der erste Einsatz mehr als 10 Sekunden vor der berechneten Zeit lag, wurden ausgeschaltet, wie dies auch schon IMAMURA getan hat. Trägt man die Abweichungen bei \bar{P} bzw. bei P in eine Karte ein, so fallen positive und negative Werte in den verschiedenen Richtungen vom Herd aus gleichmäßig durcheinander. Es folgt hieraus, daß bei der Bestimmung der Lage des Herdes wohl kaum ein größerer Fehler vorhanden ist. Die von K. SUDA vermutete verschieden schnelle Ausbreitung der Wellen nach verschiedenen Seiten vom Herd aus dürfte einmal durch eine zu weit nach Süden angenommene Herdlage, zum Teil auch durch die Nichtunterscheidung von P und \bar{P} bedingt sein.

8. Die Eintrittszeiten der Vorläufer an den herdfernen Stationen.

Für die Untersuchung der Eintrittszeiten in größerer Entfernung vom Herd waren von den in Tabelle 11 angegebenen Stationen zum Teil Originale (O) oder Kopien (K) vorhanden. Diese wurden neu ausgemessen. Soweit nur Berichte (B) vorlagen, wurden diese benutzt. Die Diagramme der europäischen Stationen wurden untereinander abgezeichnet, um sie besser vergleichen zu können. Hierbei ergab sich, daß der Beginn von P fast überall Welle für Welle übereinstimmte, und zwar zeigt sich in den Diagrammen (die wahre Bodenbewegung war anders!) zunächst eine schwache halbe Welle nach Südwesten (Dilatation), nach etwa 8 Sekunden folgt ein stärkerer Einsatz nach Nordosten, dann ein Rückschwingen nach Südwesten, wobei die Periode ca. 12 Sekunden betrug, jedoch nicht sicher meßbar war, da die Wellen von kürzeren Zacken überlagert sind. In den meisten Fällen folgte dann erst die Maximalbewegung des Pendels, die einer Bodenbewegung nach Nordosten entsprach und etwa 24 Sekunden nach Beginn des Bebens aufgezeichnet wurde. Die Amplituden nehmen dann unregelmäßig ab. Auch die Aufzeichnungen der Vertikalkomponenten zeigen das Maximum etwa 24 Sekunden nach Beginn und zwar entsprechend einer Bodenbewegung nach unten, während der erste Stoß der Dilatation entsprechend nach oben erfolgte.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den zweiten Vorläufern. Hier zeigen die Ost-West-Komponenten in Upsala, Potsdam, Hamburg, Wien und Jena als ersten starken Einsatz deutlich einen Impuls des Bodens nach Westen, dagegen auf dem Feldberg i. T., in München, Ravensburg, Zürich nach Osten. Die Erklärung ist einfach: Während wir es bis zu 83° Herdentfernung mit der direkten Transversalwelle S zu tun haben, liegt bei größeren Herdentfernungen der Einsatz $\bar{S}_c P_c S$ vor, der von der Welle herrührt, die den Kern longitudinal, den Mantel vorher und nachher transversal durchlaufen hat.

In größeren Distanzen treten andere ähnlich gebaute Wellen auf, die wir schon bei der Be-

Tabelle 11. Eintrittszeiten (zu ergänzen: 3h).

Nr.	O r t	△	E i n t r i t t s z e i t v o n							Weitere Einsätze (* Vgl. auch am Schluß der Tabelle)	
			P m s	PP m s	PPP m s	$\overline{S_c P_c S}$ m s	S m s	PS m	SS m		
44	Manila	K	26,5	4 11				9 39			4 m 56 s; 5 m 06 s; 6 m 51 s
45	Malabar	K	50,8	7 38?	9 55			15,1			
46	Batavia	K	51,6	7 37	9 21?			14 57			16 m 47 s; 21 m 02 s; 23,0 m
47	Honolulu	K	55,9	8 28	36?			16 06		21,0	11,2; 13,9
48	Abisko	B	67,4	9 28				18 37			
49	Victoria B.C.	B	68,6	9 40				18 43			
50	Upsala	K	73,5	10 03	13 03			19,7	20,3		10,7; 14 m 24 s; 16 m 03 s
51	Berkeley	O	74,8	10 16				20 09			27,2; 29,0
52	Lick	O	75,6	10 23				20 11			
53	Saskatoon	B	75,8	10 25				20 09			
54	Potsdam	O	80,6	10 45	13 53			21 01		26,6?	11 03; 11 45; 12 50*
55	Hamburg	O	80,9	10 47	14,0			21 11	21,9	26 ^{1/2}	SSS: 30; — 12,2*
56	Wien	O	82,3	10 54	14,2			21 26	21,8?	26,2	11 00; 11,7; 13 09
57	Jena	O	82,3	10 53	14,1			21 23		25,9	11,6; 15,0; 16,8*
58	Belgrad	B	82,6	11 00	14 39			21 27	22 18		15 44; 11 24; 23 58
59	De Bilt	K	83,9	11 03	14,2			21 33			12 41; 16,5; 18 03*
60	Zagreb	B	84,1	11 04				21 28			
61	Feldberg	O	84,1	11,1	14 29	16 28	21 31	21 36	22 00	27 49	SSS: 30 14; — 11 23*
62	Dyce	B	84,4	11 01			(20 56)?				
63	Sarajewo	B	84,4	11 05			21 33				
64	München	O	84,4	11 03	14,4	16,9	21 40			26,7	12,0; 13,4; 17,7; 23,0
64a	Christchurch	B	84,5	10 54	14 36		21 18				
65	Hohenheim	O	84,5	11 08	14 36	16,9	21,4	21 34	22,4	26,9	SSS: 30,6; — 11 57*
66	Mostar	B	85,0	11 14	14 16			22 34			11 40; 12 14; 17 42
67	Karlsruhe	O	85,1	11 12	14,7	15,8	21 48		22,2	27,3	SSS: 30,8; — 18,7*
68	Innsbruck	B	85,1	11 14	14 39		21 32				
69	Uccle	B	85,2	11 09			21 43				
70	Sinj	B	85,3								11 47; 21 47
71	Ravensburg	O	85,5	11 11	14 44	16 40	21,7		22,6	26,0?	11 59; 12,6; 17,2; 24,0
72	Straßburg	B	85,7	11 12			21 45				
73	Travnik	B	85,9								11 33; 22 28
74	Zürich	O	86,5	11 13	14 46		21 40	22 02			11 36; 12 04; 16,3*
75	Chur	B	?	11 18			21 45				
76	Paris	B	87,5	11 23							
77	Neuchâtel	B	87,7	11 26			21 56				
78	Firenze	B	87,9	11 32			22 02				
79	Valle de Pompei	B	88,6	11 21			21 14?				
80	Rocca di Papa	B	88,7	11 28			21 36				
81	Ottawa	K	93,3	11 48	15,2		22 34				13 22; 19,8; 25,9; 27,0
82	Toronto	B	93,5	11 48			22 35	22 54			19 38; 23 06; 38 37
83	Barcelona	K	93,8		15 53	17 57	22 33	23 05	23 50	29,5	12 05; 18 50; 21,3; 25,1
84	Tortosa	K	95,0	12 05	15 55		22,9		25,0		SSS: 34,7; 17 38; 19,6
85	Halifax	B	97,4	12 00	15 50		23 00			29 18	
86	Toledo	B	97,6	12 04			23 00				
87	Washington	O	98,5		16 26		22 59	23 37	25 31		12 31; 32,5
88	Coimbra	B	98,8	12 12	16 16	18 16	23 03				
89	Cartuja	O	99,8	12 33	16 28					30,9	18,6; 22,9; 24,0; 27,5
90	San Fernando	K	101,5	12 27	16 44		23,0				15,6; 23,2; 23 56; 26,9

Nr.	O r t	△	P'	PP	$\overline{P_c P_c S}$	PPP	$\overline{S_c P_c S}$	SS	SSS	Weitere Einsätze
91	Kapstadt	K	132,2		20 15	21 23	23 ^{1/2}	38,3		31,7; 33,4; 35,8; 49,3
92	La Paz	K	149,0	18 26				41,3		19,0; 20,6; 21,5; 23,0*
93	Rio de Janeiro	K	167,4	18 52	23 30	22,9	26,2	44,3	50,3	24,4; 28,2; 30 ^{1/2} ; 33,2*

Weitere Einsätze:

Nr.	O r t	△	Eintrittszeit	Nr.	O r t	△	Eintrittszeit
50	Upsala	73,5	20,8; 21,8; 24,2; 26,7; 29,2	65	Hohenheim	84,5	12,9; 16,8; 23,6; 24,1; 27,6; 32,3
54	Potsdam	80,6	14 45; 15,8; 18,0; 22,0; 23,3; 29,7	67	Karlsruhe	85,1	26,7; 32,6; 35,5
55	Hamburg	80,9	12,9; 16,7; 17,8; 23,8; 25,9; 28,9	74	Zürich	86,5	17,9; 24,1; 25,6; 28,3; 29,6
57	Jena	82,3	20,9; 23,5; 25,0; 27,3; 34 ^{1/2}				32,3; 33,6; 36,8; 38,5
59	De Bilt	83,9	23,2; 23,9; 25,6; 31,5	92	La Paz	149,0	24,9; 27,0; 32,9; 34,6; 47,0
61	Feldberg	84,1	17,9; 20,0; 24,0	93	Rio de Janeiro	167,4	35,0; 36,7; 40,8; 48,0; 56,2

trachtung des Tongabebens im 1. Teil besprochen. Besonders erwähnt sei der Einsatz von $\overline{P_c P_c S}$ in Kapstadt (Herdentfernung $132\frac{1}{4}^\circ$), der in der Nähe der Brennpunktdistanz von ca. 132° dort außerordentlich kräftig ist analog wie in Upsala bei dem Tongabeben.

In Tabelle 12 wurden dann die Differenzen zwischen den berechneten Laufzeiten (nach den Laufzeittabellen in 6) und den beobachteten eingetragen (+ bedeutet zu spät beobachtet) und zwar einmal getrennt nach eigenen Ablesungen und Berichten, dann innerhalb der beiden Abteilungen nach europäischen und außereuropäischen Stationen.

Die Ergebnisse stimmen mit den bei dem Tongabeben gewonnenen im Prinzip überein. Die Tabelle 12 zeigt, daß fast an allen europäischen Stationen das Beben mit dem normalen Einsatz P_n begann und zwar innerhalb der Beobachtungsfehler zur berechneten Zeit. Insbesondere geben alle mit den besonders empfindlichen Galitzinpendeln ausgerüsteten Stationen (in der Tabelle durch * gekennzeichnet) den Beginn 1—2 Sekunden vor dem berechneten P_n . Die ebenfalls mit sehr empfindlichen Instrumenten ausgerüstete Station Zürich gibt vielleicht P_1 (2 Sek. zu spät oder P_n 6 Sek. zu früh). Bei den übrigen drei europäischen Stationen, die P_1 registriert zu haben scheinen, und den beiden mit P_2 in ca. 98° Herddistanz, wo P schon recht schwach ist, kann die Angabe durch eine Unruhewelle oder sonst eine Fehlerquelle verursacht sein, da alle diese Stationen Instrumente älterer Konstruktion besitzen. Anders liegt der Fall bei den außereuropäischen Stationen. Hier scheinen die meisten Einsätze P_1 und P_2 reell zu sein. In Manila sind insbesondere mehrere Einsätze mit stark wachsenden Amplituden deutlich zu erkennen. Noch frühere Einsätze P_3 , P_4 , P_5 sind zweifellos bei diesem außergewöhnlich schweren Beben ebensowenig aufgetreten wie bei dem Chilebeben 1922 oder dem in Teil 1 behandelten Tongabeben.

Die einmal reflektierte Longitudinalwelle kam auch bei diesem Beben etwas zu früh, die zweimal reflektierte war selten genauer ablesbar. Für die direkten Transversalwellen S gilt ähnliches wie für P . Die beobachteten Eintrittszeiten von $\overline{S_c P_c S}$, das wir schon erwähnten, stimmen gut zu den berechneten Werten. SS kam ähnlich wie bei dem Tongabeben etwa $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Minute zu früh. Die direkte Longitudinalwelle P' durch den Kern wurde nur an den beiden fernsten Stationen beobachtet, die Abweichungen von -6 und -9 Sekunden sind etwas geringer als die bei dem Tongabeben gefundenen. Schließlich traf auch $\overline{P_c P_c S}$, dessen Laufzeitkurve genau wie die von $\overline{S_c P_c S}$ zuerst theoretisch gefunden worden war (vgl. 6) in den beiden Fällen, in denen es zur Beobachtung gelangte, innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit der Rechnung entsprechend ein.

9. Die Perioden und Amplituden der Vorläufer.

Die Perioden der Vorläufer waren wie erwähnt infolge von Überlagerungen nicht sehr genau feststellbar. Bei den Longitudinalwellen lagen sie meist zwischen 6 und 12 Sekunden, doch kamen daneben auch kürzere Perioden vor.

Die Amplituden der Vorläufer wurden bestimmt, und das Verhältnis $PP:P$ gebildet (Tab. 13). Das Ergebnis bestätigt die früheren Resultate (vgl. z. B. 6 Seite 318). Von besonderem Interesse ist es, den Untergrundfaktor für diese Wellen festzustellen. Ist a die mittlere Amplitude einer Welle in einem größeren Gebiet, in dem sich ihre Amplitude nicht stark ändert, auf den Mittelpunkt reduziert unter Berücksichtigung aller physikalischen Einflüsse, b die an

Tabelle 12. Differenzen der beobachteten Eintrittszeiten gegenüber den berechneten (+ = zu spät beobachtet).

a) Nach eigenen Messungen.

O r t (* = Galitzinpendel)	Δ	Differenzen in Sekunden bzw. Bruchteilen von Minuten bei										
		P ₂	P ₁	P _N	PP	PPP	$\overline{S_C P_C S}$	S ₂	S ₁	S _N	SS	
Upsala	73,5			- 2 s	- 5 s						± 0	
Potsdam	80,6			± 0	-11						+ 2	- 0,1 m
Hamburg	80,9			± 0	- 7						+ 8	- 0,2
Wien	82,3			- 1	- 6						+ 9	- 0,9
Jena	82,3			- 2	-11						+ 7	- 0,1
De Bilt *	83,9			- 1	-0,3 ^m						± 0	
Feldberg	84,1			+ 4	- 4 s	- 8 s	- 0,1 ^m				- 1	+ 0,3
München	84,4		+ 4 =	- 4	- 7	+ 0,3 ^m	+ 0,1					- 0,8
Hohenheim	84,5			± 0	± 0	+ 0,3	- 0,2		- 1			- 0,6
Karlsruhe	85,1			+ 1	+ 1	± 0	+ 0,1					- 0,4
Ravensburg	85,5			- 1	+ 2	- 7 s	$\pm 0,0$					- 1,3
Zürich	86,5		+ 2		± 0		+ 0,1					
Barcelona	93,8				+ 3		0,0		+ 2			- 0,2
Tortosa	95,0			± 0	- 4		+ 0,2					
Cartuja	99,8			+ 4	-10							- 0,1
San Fernando	101,5		- 3		+ 9		0,0					
Zi-ka-wei *	19,1			± 0					+ 3 s			
Manila	26,5	+ 1 s										
Malabar	50,8		+ 4 ?		+ 8 s					+ 0,3 ^m		
Batavia	51,6		- 3		-15 ?					+ 4 s		
Honolulu	55,9			+ 8						- 5 s	+ 0,4 m	
Berkeley	74,8			+ 3						+11 s		
Lick	75,6			+ 5						+ 4		
Ottawa	93,3		± 0		-0,4 ^m		+ 0,2					
Washington	98,5				$\pm 0,0$		$\pm 0,0$	+ 3 s				
Kapstadt	132,2				-31 s	- 0,1 ^m				$\pm 0,0^m$		+ 0,2
La Paz	149,0		P' {	- 9				$\overline{P_C P_C S}$ {				$\pm 0,0$
Rio de Janeiro	167,4			- 6	-36	+ 0,5				+ 0,2			- 0,3

b) Nach Berichten.

Abisko *	67,4			- 1							+11	
Belgrad	82,6			+ 3	+15						+ 3	
Zagreb	84,1			- 1							- 7	
Dyce	84,4		+ 2									
Sarajewo	84,4			- 2							- 5	
Mostar	85,0			+ 4	-27							
Innsbruck	85,1			+ 3	- 4		- 0,2					
Uccle *	85,2			- 2			+ 0,1					
Straßburg *	85,7			- 2			+ 0,1					
Paris *	87,5			- 2								
Neuchâtel	87,8			- 1			$\pm 0,0$					
Firenze	87,9			+ 4			$\pm 0,0$					
Valle de Pompei	88,6		- 2				- 0,6					
Rocca di Papa	88,7			- 4			- 0,4					
Toledo	97,6	± 0					+ 0,3					
Coimbra	98,8	+ 2			+ 1	- 34 s	+ 0,5					
Victoria B. C.	68,6			+ 4							- 2	
Saskatoon	75,8			+ 6							- 4	
Christchurch	84,5	+ 1			± 0		- 0,3					
Toronto	93,5		- 1				+ 0,2				- 4	
Halifax	97,4	- 2			-10		+ 0,4					- 0,9 ^m

einer Station in diesem Gebiet beobachtete Amplitude dieser Welle, so definieren wir den Untergrundfaktor u für die betr. Welle und Station durch die Beziehung $b = u \cdot a$. Ein großer Wert von u bedingt also relativ starke Amplituden der betr. Wellenart an dem gewählten Orte (vgl. z. B. 6 Seite 315 und 328). P ist für derartige Untersuchungen infolge der vielfachen Amplitudensprünge nur schwer zu verwenden; bei PP lassen sich diese Einflüsse leichter eliminieren. Es ergab sich so Tabelle 14. Die Methode ist natürlich nur für ein Gebiet mit zahlreichen Stationen durchführbar, und die Tabelle 14 als erster derartiger Versuch für die Vorläufer zu bewerten.

Tabelle 13. Amplituden bei P und Amplitudenverhältnis $PP:P$ horizontal.
(Eingeklammerte Zahlen beziehen sich auf das Beben am 2. September.)

O r t	Δ °	Periode	Amplitude in μ		PP:P
			N-S	E-W	
Zi-ka-wei	15,5	14	210	430	—
Batavia	51,6	6	36	26	2,2 (1,9)
Honolulu	55,9	8	50	65	0,8
Upsala	73,5	13	35	27	0,3
Berkeley	74,8	4	6	7	.
Lick	75,6	4	4	10	.
Potsdam	80,6	5	3 ^{1/2}	10	1 ^{1/2}
Hamburg	80,9	12	26	20	2 ^{1/2} (2 ^{1/2})
Wien	82,3	7	35	50	1,1 (1,6)
Jena	82,3	12	28	25	0,9
De Bilt	83,9	10	13	37	2 (1 ^{1/2})
München	84,4	10	30	23	2 (1 ^{1/2})
Hohenheim	84,5	11	12	20	1,0
Ravensburg	85,5	11	17	20	0,8
Zürich	86,5	4	8	5 ^{1/2}	1,1
Ottawa	93,3	.	5 ^{3/4}	.	2
Barcelona	93,8	.	1	.	10
Cartuja	99,8	.	1 ^{1/2}	.	4
San Fernando	101,5	.	.	.	>10

Tabelle 14. Untergrundfaktoren u für PP .

O r t	Potsdam	Hamburg	Jena	Wien	De Bilt	Feldberg	München
u	0,5	3,2	0,7	1,8	0,6	(0,3)	1,6
O r t	Hohenheim	Ravensburg	Karlsruhe	Zürich			
u	(0,5)	1,0	(0,5)	(0,3)			

10. Die Geschwindigkeit der Maximalwellen.

Ganz analog wie bei der Untersuchung des Chilebebens wurden Oberflächenwellen mit vorwiegender Querkomponente ohne starke Vertikalbewegung (Quer-, Q-Wellen, transversale Oberflächenwellen, vereinzelt auch Love-Wellen genannt) und Wellen mit Amplituden vorwiegend in der Fortpflanzungsrichtung und mit Vertikalkomponenten von gleicher Größenordnung (Wellen ähnlich den Rayleighwellen, R-Wellen) ausgesucht und ihre Eintrittszeiten, Perioden und Amplituden gemessen. Die sich ergebenden Geschwindigkeiten sind in den Ta-

bellen 15 und 16 zusammengestellt, die bei der Untersuchung über die Dispersion der Oberflächenwellen (9) wesentliche Dienste leisteten. Der Unterschied zwischen kontinentalen und pazifischen Bahnen ist zweifelsfrei erkennbar (vgl. auch Tabelle 6).

Wellen mit Perioden von wesentlich mehr als 1 Minute wie bei dem Chilebeben 1922 (10) waren nirgends sicher erkennbar.

Tabelle 15. Fortpflanzungsgeschwindigkeit für Oberflächen-Querwellen (km/sec).
(Eingeklammerte Zahlen gelten für das Beben am 2. September 1923).
Die Werte für kleine Perioden rühren möglicherweise schon von Nachläufern her.

Periode } in sec. } :	60-70	45	40	35	32	30	28	25	24	22	20	19	18	17	16
Upsala						3,56				3,47				3,30	2,98
Potsdam						3,45						3,26			
Hamburg						3,45					3,34		(3,28)		3,26
Jena											3,09				(3,17)
De Bilt	3,85		3,63	(3,65)		(3,43)			3,32					3,00	(3,27)
Wien	4,20	3,87								3,25	3,22				
"		(3,90)											(3,27)		(3,11)
Feldberg						3,51		3,32	3,12						
"				(3,47)			(3,39)		(3,18)			(3,12)		(3,09)	
München								(3,43)	3,41		3,34			(3,29)	(3,17)
Hohenheim	4,22										3,44			3,16	3,01
Ravensburg	4,36														3,27
Zürich									3,52		3,44	3,31			
Cartuja			3,59				3,36		3,27						
Japan — Europa Mittel	4,16	3,89	3,61	(3,56)	—	3,48	3,37	3,38	3,30	3,36	3,31	3,23	3,27	3,17	3,16
Manila															3,47
Batavia				(3,91)		3,45				3,39					2,75
Malabar	4,21									3,04					
Längs Ostasien	(4,21)			(3,91)		(3,45)				3,22					3,11
Berkeley					4,34					4,27	4,22		4,22		4,08
Lick						4,37				4,30				4,17	4,00
Honolulu									4,32					4,06	
La Paz			4,34	3,86							(3,85)				
Durch Pazifik			(4,34)	(3,86)	(4,34)	(4,37)			(4,32)	4,29	4,03		(4,22)	4,11	4,04
Ottawa (Kurilen- Amerika)				4,27		3,72				3,46		3,17			

Eine merkwürdige Erscheinung läßt sich übereinstimmend an den Aufzeichnungen in Honolulu, Berkeley und Lick feststellen: An allen drei Stationen zeigte sich besonders in den Ost-West- und Vertikalkomponenten nach Abflauen der Maximalwellen ein neues Anschwellen der Bewegung; es trafen an allen drei Stationen etwa $\frac{1}{2}$ Stunde lang regelmäßige Sinuswellen mit Perioden von 16—18 Sekunden ein, deren Maximum in Honolulu in der Ost-West-Komponente bis fast $\frac{3}{4}$ des Maximums der normalen Oberflächenwellen erreichte und in Honolulu etwa um 3^h 47^m, in Lick in der Ost-West-Komponente etwa um 4^h 04^m, in der Vertikalkomponente etwa um 3^h 54^m aufgezeichnet wurde.

11. Die Perioden der Oberflächenwellen und Nachläufer.

Tabelle 17 enthält die wesentlichsten Angaben über die in Frage kommenden Perioden. Der Vergleich der einzelnen Werte in den Tabellen 5 und 17 läßt den Einfluß des durchlaufenen Gebietes auf die Nachläuferperioden klar erkennen. Nähere Angaben wurden bereits an anderer Stelle (9 und 20) gemacht.

Tabelle 16. Fortpflanzungsgeschwindigkeit in km/sec für Oberflächenwellen vom Charakter der Rayleighwellen.

(Eingeklammerte Zahlen gelten für das Beben vom 2. September 1923).

Die Werte für kleine Perioden rühren möglicherweise schon von Nachläufern her.

Periode in sec.:	36	27	24	23	21	20	19	18	17	16	15	14	13
Upsala									2,83			2,66	
Potsdam													2,68
Hamburg										2,91	2,70		
"											(2,94)		(2,76)
Jena										2,92		2,81	2,71
"													(2,74)
De Bilt			3,15								2,86		2,79
"						(3,02)				2,96			2,72
Wien								3,03		2,71	2,68	(2,82)	
Feldberg													2,74
"													(2,81)
München												2,85	(2,81)
Hohenheim	3,85								2,66				
Ravensburg												2,69	
Zürich								2,96				2,83	
Cartuja					3,11					2,91			
Japan — Europa (Mittel)	(3,85)		(3,15)		(3,11)	(3,02)		3,00	2,75	2,88	2,80	2,78	2,75
Batavia				3,11								2,45	
Berkeley										2,68?			
Honolulu		4,32	3,91						3,09		2,38?		
La Paz		3,71			3,52	3,43							
Durch Pazifik (Mittel)		4,02	(3,91)		(3,52)	(3,43)			(3,09)				

12. Die Amplituden der Oberflächenwellen.

In Tabelle 18 wurden die Amplituden der Oberflächenwellen eingetragen. Hier ist neben dem Einfluß der Konstantenbestimmung besonders die Reibung des Schreibstiftes bei mechanischer Registrierung störend, die man z. Teil direkt an dem Aussehen einzelner Diagramme erkennen kann. Aus den Amplituden läßt sich nun der Extinktionsfaktor k berechnen und zwar besonders leicht (vgl. z. B. 6 Seite 329), wenn an einer Station außer den direkten Oberflächenwellen M auch wiederkehrende Maxima aufgezeichnet wurden. So ergaben sich die Werte für k in Tabelle 19 und in Tabelle 8 im 1. Teil. Benutzt man die Angaben verschiedener Stationen, so muß man die Wirkung des Untergrundes vernachlässigen und außerdem den Wert k_1 von k für einen bestimmten Weg Δ_1 kennen. Es ist dann, wenn a_1 und a_2 die Amplituden an zwei

Stationen mit den Entfernungen Δ_1 und Δ_2 vom Herd sind, für die Strecke Herd- Δ_2 unter der Voraussetzung, daß k_1 und k_2 für die betr. Strecken je konstant sind und kein Energieumsatz stattfindet (etwa durch Reflexion oder Brechung an vertikalen Unstetigkeitsflächen):

$$k_2 = \frac{1}{\Delta_2} \left(4,6 \log \frac{a_1 T_2}{a_2 T_1} + 2,3 \log \frac{\sin \Delta_1}{\sin \Delta_2} + k_1 \Delta_1 \right),$$

wo T_1 und T_2 die Perioden der betr. Wellen sind. Die so erhaltenen Werte sind in Tabelle 19 mit k' bezeichnet. Der Berechnung wurde entsprechend dem Mittel an den europäischen

Tabelle 17. Perioden T von Oberflächenwellen und Nachläufern in Sekunden. (Wellen mit Perioden über 28 sec wurden bei M nicht berücksichtigt. W_{II} z. T. durch direkte Nachläufer gestört).

O r t	Δ o	T im Amplitudenmax.			T Nachläufer		T bei W_{II} (1. Sept.)	
		1. September		2. Sept.	1. Sept.	2. Sept.	Maximalw.	Nachl.
		N—S	E—W					
Upsala	73,5	20	17	.	15	.	15	13—17
Potsdam	80,6	16	16	.	14	.	15	15
Hamburg	80,9	.	.	16	13	13	13	14
Wien	82,3	21	20	16	13	13	17	13
Jena	82,3	13	20	15	14	14	16	12—16
De Bilt	83,9	15	17	13 22	12	14	15	15
Feldberg	84,1	.	24	21	14	14	15	15
München	84,4	14	20	16	14	12 ^{1/2}	15	.
Hohenheim	84,5	16	19	.	14	.	14	14
Karlsruhe	85,1	16	.	14	13	.	20	15
Ravensburg	85,5	15	.	.	14	.	16	14
Zürich	86,5	17	18	.	14	.	16	.
Barcelona	93,8	.	24	.	14	.	17	15
Cartuja	99,8	18	20	.	15	.	17	16
San Fernando	101,5	.	.	18	.	.	.	.
Manila	26,5	15	.	.	12	.	10?	.
Malabar	50,8	20	18	.	15	.	17?	.
Batavia	51,6	22	23	14	15	15	15?	.
Honolulu	55,9	17	16 u. 24	.	15	.	20?	.
Berkeley	74,8	18	20	.	16	.	16?	.
Lick	75,6	17	17	.	16	.	12?	.
La Paz	149,0	22?	20	21	.	.	18?	15?
Ottawa	93,3	.	19	.	16	.	15?	15?
Rio de Janeiro	167,4	.	.	.	.	.	.	16?

Stationen zu Grund gelegt: $a_1 = 1500 \mu$, $\Delta_1 = 1000 \text{ km}$, $k_1 = 0,00017$ (k aus W_{II} und W_{III}) für das Beben am 1. 9., analog $a_1 = 650 \mu$ für das Beben am 2. 9. 23. Die so gewonnenen Werte von k und k' gelten für folgende Strecken:

k aus W_{II} und W_{III} oder k' aus M : Herd-Station,

k „ W_I „ W_{IV} „ k' „ W_{II} : Herd-Gegenpunkt-Station,

k „ W_I „ W_{II} : Kleine Werte bedeuten, daß M relativ zu W_{II} einen großen Extinktionsfaktor besitzt und umgekehrt.

k „ W_I „ W_{III} oder aus W_{II} und W_{IV} : Herd-Gegenpunkt-Station-Herd,

k „ W_{III} : Herd-Station-Gegenpunkt-Herd-Station.

Auf Grund dieser Zusammenstellung ergeben sich die in Tabelle 20 angegebenen Mittelwerte. Die einzelnen Werte stehen in Anbetracht der Beobachtungsfehler in vorzüglicher Übereinstimmung mit einander. (Über ihre Deutung vgl. 9 oder 20).

Von Interesse wäre nun auch eine Feststellung der Extinktionsfaktoren der Vorläufer im Erdinnern. Hier lassen sich jedoch die Ergebnisse von den Aufzeichnungen aus Herddistanzen über 40° nicht verwerten, da die Änderungen der Amplituden in größeren Distanzen in erster Linie durch die Schichtung des Erdinnern bedingt sind. Immerhin kann man aus den Werten der Amplituden von P in Tabelle 13 wohl schließen, daß die Extinktion der Wellen im Erdinnern nicht sehr groß ist.

Tabelle 18. Amplituden in μ ($= 1/1000$ mm) (eingeklammert die zugehörigen Perioden) der direkten Quer- (Q) und Rayleigh- (R)-Wellen sowie der Wiederkehrwellen W_{II} und W_{III} .

Ort	Δ o	1. September 1923					2. September 1923				
		Q_M (Periode < 30 sec.)	R_M	Q:R ca.	W_{II}	W_{III}	Q_M (Periode < 30 sec.)	R_M	Q:R ca.	W_{II}	W_{III}
Upsala	73,5	1200 (18)	900 (15)	$1\frac{1}{3}$	20 (15)	$2\frac{1}{2}$ (15)	.	.	.	.	.
Potsdam	80,6	[1800] (16)	[1500] (15)	$1\frac{1}{4}?$	[30] (15)	[7] (15)	.	.	.	.	.
Hamburg	80,9	.	.	.	30 (13)	13 (15)	700 (16)	750 (15)	1	4 (15)	1 (14)
Wien	82,3	2000 (21)	1800 (19)	1.1	40 (16)	20 (20)	800 (16)	700 (13)	1	6 (13)	$1\frac{1}{2}$ (13)
Jena	82,3	1350 (20)	1250 (12)	1	15 (16)	4 (12)	350 (15)	500 (13)	$\frac{3}{4}$	2 (14)	.
De Bilt	83,9	[3600] (17)	[2500] (15)	$1\frac{1}{2}?$	[50] (15)	[20] (19)	420 (22)	270 (13)	$1\frac{1}{2}$	9 (17)	2 (17)
Feldberg	84,1	[2800] (24)	.	.	[25] (15)	$[5\frac{1}{2}]$ (15)	850 (21)	450 (13)	2	$1\frac{1}{2}$ (15)	.
München	84,4	1100 (20)	900 (14)	$1\frac{1}{4}$	30 (15)	$4\frac{1}{2}$ (13)	700 (16)	750 (16)	1	6 (14)	.
Hohenheim	84,5	1300 (16)	[1000] (16)	$1\frac{1}{4}?$	20 (14)	4 (14)	.	.	.	.	.
Karlsruhe	85,1	[700] (16)	[680] (14)	1?	[20] (20)	$[1\frac{3}{4}]$ (13)	[100] (13)	[200] (14)	$\frac{1}{2}?$	[4] (13)	.
Ravensburg	85,5	[1200] (15)	[1000] (14)	$1\frac{1}{4}?$	[35] (16)	[3] (14)	.	.	.	.	.
Zürich	86,5	2000 (17)	1100 (14)	$1\frac{3}{4}$	50 (16)	.	.	.	.	.	.
Barcelona	93,8	[1400] (24)	.	.	[30] (17)	[3] (17)	.	.	.	.	.
Cartuja	99,8	800 (20)	1100 (21)	$\frac{3}{4}$	40 (17)	10 (17)	.	.	.	.	.
Manila	26,5	.	[2500] (15)	.	[20] (10)	.	.	.	.	.	.
Batavia	51,6	850 (16)	1150 (23)	$\frac{3}{4}$	12? (15)	.	.	350 (14)	.	4 (16)	.
Honolulu	55,9	1800 (24)	1900 (24)	1	60? (20)	12 (12)	.	.	.	.	.
Berkeley	74,8	500 (18)	.	.	≤ 10 (16)	.	.	.	.	.	.
Lick	75,6	700 (16)	.	.	≤ 7 (11)	.	.	.	.	.	.
La Paz	149,0	200 (20)	250 (20)	$\frac{3}{4}$	120 (18)	.	25 (22)	.	.	15 (18)	.
Ottawa	93,3	[800] (19)	.	.	.	7 [15]	.	.	.	.	.

Mit eckigen Klammern eingeklammerte Zahlen sind aus einer Komponente interpoliert.

13. Die Untergrundfaktoren.

Untersuchungen über die Untergrundfaktoren (vgl. Abschnitt 9) wurden zuerst von H. REICH (11) ausgeführt. In Tabelle 21 wurden außer den Werten für die Japanbeben auch die für das Atacamabeben vom 10. 11. 22 und für das Tongabeben (Tabelle 7) gefundenen Werte zusammengestellt, und die sich hieraus ergebenden Mittelwerte gebildet. Die drei Werte von H. REICH, der die reziproken Zahlen in seiner Untersuchung berechnet hatte, stimmen gut mit den von uns gefundenen überein. Für die übrigen Stationen hatte REICH nicht genügend Material und umgekehrt fehlen uns Werte für die andern Stationen von REICH. (Königsberg 1, Göttingen 0,6, bezogen auf Pulkovo = 1).

Tabelle 19. Extinktionskoeffizienten k (Einheiten d. 5. Dezimale) für Oberflächenwellen.

Spalte 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
O r t	Δ °	1. September 1923 k berechnet aus			2. September 1923 k berechnet aus			1. September 1923 k' berechnet aus			2. Sept. 1923 k' aus
		M W_{II}	M W_{III}	W_{II} W_{III}	M W_{II}	M W_{III}	W_{II} W_{III}	M	W_{II}	W_{III}	M
Upsala	73,5	35	30	24	.	.	.	24	32	30	.
Potsdam	80,6	38	29	18	.	.	.	.	.	.	.
Hamburg	80,9	(31)	(22)	12	45	32	13	.	30	23	18
Wien	82,3	33	25	15	45	32	16	11	28	21	13
Jena	82,3	43	29	10	54	.	.	20	35	27	31
De Bilt	83,9	39	27	14	35	26	13	.	.	21	28
Feldberg	84,1	41	29	15	57	.	.	.	.	.	13
München	84,4	32	26	20	46	.	.	14	31	27	17
Hohenheim	84,5	41	28	15	.	.	.	20	33	27	.
Karlsruhe	85,1	34	29	20	36	.	.	.	.	.	.
Ravensburg	85,5	34	.	25	.	.	.	.	30	28	.
Zürich	86,5	40	.	.	.	.	.	10	28	.	.
Barcelona	93,8	36	28	20	.	.	.	.	.	.	.
Cartuja	99,8	36	23	13	.	.	.	20	31	23	.
Mittel		37	27	17	45	30	14	18	31	25	20
Manila	26,5	27?	.	.	.	.	.	48	.	.	.
Malabar	50,8	32?	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Batavia	51,5	33?	.	.	30	.	.	54	34?	.	56
Mittel		31	.	.	30	.	.	51	(34)	.	(56)
Honolulu	55,9	24?	24	23?	.	.	.	23	24?	24	.
Berkeley	74,8	$\geq 30?$	.	.	.	.	.	46	37	.	.
Lick	75,6	$\geq 40?$	.	.	.	.	.	38	39	.	.
La Paz	149,0	17?	25	25	9?	.	.	38	31	30	32
Mittel		.	25	(25)	(9)	.	.	41	36	30	(32)
Ottawa	93,3	.	23	.	.	.	.	.	.	.	.
Kapstadt	132,0	10	20	(51)	.	.	.	28	29	24	.

Tabelle 21 zeigt in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von REICH, daß die Bewegungen in Hamburg am stärksten aufgezeichnet werden, es folgen München und Wien. Umgekehrt ist die Bewegung besonders gering in Zürich, wo außerdem der Untergrund anscheinend am stärksten gedämpft ist und nicht zu Eigenschwingungen neigt (vgl. 6), ferner zeigen Karlsruhe, Hohenheim, Upsala und Potsdam verhältnismäßig geringe Bewegung. Man darf dabei allerdings nicht übersehen, daß solche auch durch starke Reibung des Schreibstiftes bei mechanischer Registrierung vorgetäuscht sein kann. Die Mittelwerte für Europa werden etwa in De Bilt bei leicht schwingendem, wenig gedämpftem Untergrund und in Jena erreicht.

3. Teil. Die beiden stärksten Nachbeben des Japanbebens vom 1. 9. 1923 und andere Japanbeben.

14. Die Herdbestimmung.

Kennt man die genaue Lage eines Erdbebenherdes und die Eintrittszeiten an einer Reihe von Stationen, und findet in der Nähe des ersten Herdes ein weiteres Beben statt, so läßt sich

aus dessen Aufzeichnungen durch Vergleich mit denen des ersten sein Herd rasch und genau bestimmen (vgl. z. B. 12). Ist die Laufzeitdifferenz zwischen zwei Vorläufern an einer Station beim zweiten Beben um einige Sekunden kleiner oder größer als beim ersten, so ergibt sich aus der Laufzeitkurve, um wieviel km der Herd des zweiten Bebens näher oder weiter gegenüber der betr. Station lag als der des ersten. Hat man mehrere Stationen mit derartigen Angaben auf verschiedenen Seiten des Herdes, so läßt sich dessen Lage schon recht genau finden. Andererseits erhält man unter Benutzung der berechneten Entfernungsdifferenzen die Laufzeiten des ersten Einsatzes und aus dessen beobachteten Eintrittszeiten die Herdzeit. Man kann dann bei Vorhandensein weniger Angaben von Nahstationen den Herd sehr genau finden. Die folgenden Anwendungen lassen das Verfahren leicht erkennen.

15. Das Beben am 2. September 1923, 2h 47m.

Bei dem Hauptbeben am 1. September waren im Epizentralgebiet fast alle Uhren außer Gang gebracht oder gestört worden; in den nächsten Tagen funktionierte auch die Zeitübertragung von Tokyo aus nicht, so daß die Zeitangaben der japanischen Stationen noch wesentlich unsicherer waren als am 1. September. Wendet man die gleiche Methode der Herdbestimmung

Tabelle 20. Mittelwerte für den Extinktionsfaktor k .

Wellenweg	k aus Tabelle 19 (Spalte eingeklammert) in Einheiten der 5. Dezimale	Mittel
Japan — Europa	17 (5), 14 (8), 18 (9), 20 (12)	0,00017
Ostrand von Asien	51 (9), 56? (12)	0,00053
Japan — Honolulu	23? (5), 23 (9)	0,00023
Japan — Pazifik — Amerika	25? (5), 41 (9), 32? (12)	0,00036
Japan — Pazifik — Südamerika — Europa	31 (10)	0,00031
Desgl. + Japan — Europa	27 (4), 30 (7)	0,00028
Desgl. + nochmals Japan — Europa	25 (11)	0,00025

wie bei dem Hauptbeben an (Mittellote auf den Verbindungslinien von Punkten mit gleicher Eintrittszeit), so ergeben sich Schnittpunkte, die im Mittel etwa 1° weiter nördlich liegen als am 1. September, also in der Nähe der Station Kumagaya. Andererseits können wir nach der im vorigen Abschnitt angegebenen Methode die Entfernungen der Fernstationen durch Vergleich der Aufzeichnungen dieses Bebens mit denen des Hauptbebens und die Herdzeit finden. Man sieht (Tabelle 22), daß in Europa bei dem zweiten Beben die Differenz der Eintrittszeiten zwischen den ersten und zweiten Vorläufern überall kleiner ist als bei dem ersten Beben, worauf übrigens sofort A. DE QUERVAIN aufmerksam gemacht hat. Die entsprechende Entfernungsdifferenz beträgt $1-2^\circ$. Der Einsatz $\overline{S_c P_c S}$, der für größere Entfernungen benutzt werden muß, ist für dieses Verfahren weniger geeignet als S , da seine Laufzeitkurve fast parallel zu der Kurve für P verläuft. Den Entfernungsdifferenzen für Herdentfernungen über 85° ist daher quantitativ kein großes Gewicht beizulegen. Batavia zeigt ungefähr die gleiche Differenz wie bei dem Hauptbeben, für die nordamerikanischen Stationen ergeben sich etwas kleinere Entfernungen. Dabei wird vorausgesetzt, daß bei beiden Beben an jeder Station die gleichen Einsätze bei beiden Beben, also beide Male P_n oder P_1 usw. vorliegen. Schließlich sei darauf hingewiesen, daß bei dem Hauptbeben P in Christchurch (Neu-Seeland) etwa 10 Sekunden

Tabelle 21. Untergrundsfaktoren u.

Ort	Atacamabeben 10. 11. 22				Tongabeben 26. 6 17				Japanbeben 1923				Mittel	Nach H. Reich (11)	
	N-S		E-W		N-S		E-W		N-S		E-W				Vorläufer
	M	W _{II}	M	W _{II}	M	W _{II}	M	W _{II}	1. 9.	2. 9.	1. 9.	2. 9.			
Barcelona	1,1	2,4?	.	.	2,0	1,7	1,0	0,9	.	.	0,8	.	.	1 ^{1/2}	bezogen auf Pulkovo = 1
Zürich	0,8	0,5	.	.	0,8	0,8	0,7	0,7	1,2	1,2	.	.	0,3	^{2/3}	
De Bilt	0,7	0,7	.	.	1,2	1,3	1,3	1,3	1,8	2,0	0,5	0,8	0,6	1	
Karlsruhe	0,7	0,8	.	.	.	.	.	.	.	0,5	0,4	.	0,5	^{2/3}
Ravensburg	1,0	0,7	1,0	0,7	.	.	.	.	0,6	.	.	.	1,0	^{3/4}
Hohenheim	0,8	1,0	.	.	0,6	0,7	.	.	0,9	.	.	.	0,5	^{2/3}	
München	1,3	1,2	1,1	1,7	1,0	1,7	1,1	1,4	0,8	0,8	1,5	1,0	1,6	1 ^{1/2}	
Jena	.	.	1,4	0,5	1,4	.	1,1	1,4	1,1	0,8	0,7	1,0	0,7	1	
Hamburg	1,4	2,7	.	2,7	1,1	1,8	0,9	1,0	.	1,7	.	0,8	3,2	1 ^{3/4}	
Wien	2,1	0,7	1,0	1,0	0,6	0,5	1,3	0,7	1,8	1,8	0,7	1,1	1,8	1 ^{1/2}	
Upsala	0,8	1,0	0,8	1,3	0,7	1,0	0,5	0,7	0,8	.	0,7	.	.	^{2/3}	
Potsdam	.	.	.	.	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	.	0,9	.	0,5	^{2/3}

Tabelle 22. Eintrittszeiten für das Beben um 2h 47m am 2. September 1923.

Ort		Hauptbeben am 1. Sept. 1923			Beben am 2. September			Differenz S-P oder $\overline{S_c P_c S-P}$ (+ = größer) am 2. 9.	Entsprechende Entfern.-Differenz (+ = weiter) am 2. 9.	Epi-zentral-zeit 2h
		Δ	S-P	$\overline{S_c P_c S}$ - P	S-P	$\overline{S_c P_c S}$ - P	P 2h bez. 3h			
			Min. Sek.	Min. Sek.	Min. Sek.	Min. Sek.	Min. Sek.			
Zi-ka-wei	O	15 ^o ,6	3 10		3 05		50 31	- 5	- 0 ^o ,5	46 55
Batavia	K	51,6	7 20		7,3?		55,7?	ca 0?	ca \pm 0?	46,5?
Abisko	B	67,4	9 09		9 01		57 41	- 8	- 1 ^o ,3	46 54
Victoria	B	68,6	9 03		9 03		57 44	\pm 0	\pm 0,0	46 50
Hamburg	O	80,9	10 24		10 15		58 59	- 9	- 1,8	46 57
Wien	O	82,3	10 32		10 21		59 05	- 11	- 2,2	46 58
Jena	O	82,3	10 30		10 16		59 05	- 14	- 2,8	47 01
Belgrad	B	82,6	10 27		10 01		59 29	- 26	- 5,2	-
De Bilt	K	83,9	10 30		10 24		59 15	- 6	- 1,2	46 54
Zagreb	B	84,1	10 24		10 24		59 16	\pm 0	\pm 0,0	46 46
Feldberg	O	84,1		10 29		10 25	59 16	- 4	- 1,4	46 54
Dyce	B	84,4		9 55		10 14	59 08	+ 19	+ 6 ^{1/2}	-
Sarajewo	B	84,4		10 28		10 25	59 19	- 3	- 1,0	46 53
München	O	84,4		10 37		10 23	59 18	- 14	- 5	47 15
Christchurch	B	84,5		10 24		-	59 12	-	-	-
Karlsruhe	O	85,1		10 36		10 26	59 24	- 10	- 3 ^{1/2}	47 09
Innsbruck	B	85,1		10 18		10 19	59 28	+ 1	+ 0,3	46 51
Uccle	B	85,2		10 34		10 27	59 20	- 7	- 2,4	46 57
Straßburg	B	85,7		10 33		10 24	59 26	- 9	- 3,2	47 05
Zürich	B	86,5		10 27		10 22	59 26	- 5	- 0,8	46 52
Firenze	B	87,9		10 30		10 12	00 05	- 18	- 6	-
Rocca di Papa	B	88,7		10 08		10 41	59 38	+ 33	-	-
Ottawa	B	93,3		10 46		10 38	59 52	- 8	- 3	46 47
Toronto	B	93,5		10 47		10 30	00 00	- 17	- 6 ^{1/2}	-
Barcelona	B	93,8		10 34		10 39	00 00	+ 5	+ 2	-
Tortosa	K	95,0		10 49		10 27	00 10	- 21	- 8	-
Toledo	B	97,6		10 56		10 54	00 19	- 2	- ^{3/4}	46 39
Coimbra	B	98,8		11 08		?	00 20	?	?	46 46

Mittel: 46 55

früher eintraf ($= P_1$) als an den darüberstehenden europäischen Stationen, bei dem vorliegenden Beben nur einige Sekunden, wonach der Herd den europäischen Stationen relativ zu Neuseeland bei dem zweiten Beben näher gelegen hätte.

Als Epizentralzeit ergibt sich nach Tabelle 22 in recht guter Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Stationen $2^h 46^m 55^s$, der mittlere Fehler des Rechenergebnisses ist $\pm 9^s$. Hieraus und aus den Eintrittszeiten des ersten Einsatzes an den Nahstationen (Tabelle 23) lassen sich nun die Laufzeiten für diese berechnen, und aus letzteren findet man nach den Laufzeitkurven die Herddistanz, andererseits die Laufzeitdifferenzen (und damit auch die Entfernungsdifferenzen) gegenüber dem Hauptbeben.

Tabelle 23. Eintrittszeiten und hieraus berechnete Herdentfernungen für Nahstationen für das Beben um $2^h 46^m 55^s$ am 2. September 1923.

Ort	Lage zum Herd	P (bezw. \bar{P})	Laufzeit	Δ km	Diffz. Laufzeit sec	Ort	Lage zum Herd	P (bezw. \bar{P})	Laufzeit	Δ km	Diff. Laufzeit sec
Numadzu	W	47 ^m 11 ^s	0 ^m 16 ^s	115	+ 14	Siomisaki	SW	48 ^m 18 ^s	1 ^m 23 ^s	610	+ 23
Tokyo	N	46 55	0 0	0	- 9	Ishinomaki	N	47 34	0 39	270	- 16
Choshi	NE	47 05	0 10	80	- 12	Wakayama	SW	47 47	0 52	370	-
Nagano	NW	47 18	0 23	155	+ 2	Akita	N	48 17	1 22	600	-
Takayama	NW	47 33	0 38	260	+ 10	Okayama	W	48 17	1 22	600	+ 2
Nagoya	W	47 40	0 45	315	+ 15	Tadotsu	W	48 04	1 09	500	+ 2
Gifu	NW	47 19	0 24	160	- 3	Hamada	W	48 31	1 36	720	+ 5
Takata	NW	47 23	0 28	180	- 8	Hakodate	N	48 21	1 26	640	- 8
Tsu	W	47 41	0 46	320	+ 10	Oita	W	48 43	1 48	810	+ 7
Kanazawa	N	47 57	1 02	445	-	Simonoseki	W	48 46	1 51	840	- 4
Hikone	W	47 54	0 59	420	+ 20	Fukuoka	W	48 50	1 55	860	+ 8
Niigata	N	47 31	0 36	245	- 3	Nagasaki	W	48 45	1 50	830	- 5
Kyoto	W	47 40	0 45	315	-	Otomari	N	49 24	2 29	1140	- 16
Kobe	W	47 44	0 49	345	+ 6						

Zeichnet man um die einzelnen Stationen Kreise mit den berechneten Herdentfernungen, so streuen diese über ein größeres Gebiet. Der Schwerpunkt der Schnittpunkte liegt in der Nähe von Tokyo und Kumagaya. Trägt man schließlich die Werte der letzten Spalte der Tabelle 23 in eine Karte ein, so ergibt sich (vgl. die Richtungsangaben Spalte 2 der Tab.), daß die Aufzeichnungen an den nördlichen Stationen fast überall kürzere, an den südwestlichen größere Laufzeiten bei dem zweiten Beben ergeben. Nach alledem wird man den Herd des Bebens auf etwa $B = 36 \frac{3}{4}^\circ$ n. Br., $L = 139 \frac{1}{2}^\circ$ östl. v. Gr. annehmen müssen. Von japanischen Forschern wurde u. a. gefunden:

$$\begin{array}{lll} \text{Imamura (2)} & B = 30^\circ 40' (??) & L = 140^\circ 20' \\ \text{Suda (1)} & B = 34,9^\circ & L = 140,1^\circ \end{array}$$

In Anbetracht der Unsicherheit lassen sich natürlich die Laufzeiten nach den herdfernen Stationen nicht nachprüfen. Soweit sich andere Beobachtungen (Oberflächenwellen) verwerten lassen, ist dies bereits im 2. Teil geschehen.

16. Das Beben am 2. September 1923, 9h 27m.

Für das vorliegende Beben, das etwas schwächer als das vorige war, gilt ähnliches wie für jenes. Sein Herd lag nach Tabelle 24 nur ganz wenig näher an Europa und Nordamerika.

Tabelle 24. Eintrittszeiten für das Beben um 9h 27m am 2. September 1923.

O r t		S—P bezw.		P 2 ^h	Differenz von S—P 9h 27m—2h 47	Epizentral- zeit 9h 27m
		S _c	P _c S—P			
Zi-ka-wei	O	3m	11s	30m45s	+ 6s	03s
Abisko	B	8	57	37 52	— 4	09
Victoria	B	9	00	37 56	— 3	05
Jena	O	10	18	39 17	+ 2	13
Zagreb	B	10	21	39 28	— 3	01
Hamburg	B	10	12	39 11	— 3	12
Innsbruck	B	10	13	39 41	— 6	10
De Bilt	B	10	23	39 26	— 1	06
Straßburg	B	10	25	39 35	+ 1	13
Uccle	B	10	24	39 32	— 3	12
Zürich	B	10	23	39 38	+ 1	03
Mittel						08 + 5s

Ort (B)	Richtung vom Herd	P 9 ^h	Laufzeit für P	△ hieraus ber.	Laufzeitdifferenz 9h27m-2h47m	Ort (B)	Richtung vom Herd	P 9 ^h	Laufzeit für P	△ hieraus ber.	Laufzeitdifferenz 9h27m-2h47m
Numadzu	W	27m45s	0m33s	220	+ 17s	Ishinomaki	N	27m51s	0m44s	310	+ 5s
Tokyo	N	27 04	— 04	(0)	— 4	Wakayama	SW	27 37	0 29	190	— 13
Choshi	NE	27 12	+ 04	40	— 6	Akita	N	27 51	0 43	300	— 19
Nagano	NW	27 31	23	150	0	Okayama	W	28 08	1 00	430	— 2
Takayama	NW	27 50	42	290	+ 5	Matsuyama	W	28 34	1 26	640	?
Nagoya	W	28 01	53	380	+ 8	Hamada	W	29 01	1 53	850	+ 14
Gifu	NW	27 15	07	60	— 17	Hakodate	N	28 35	1 27	650	+ 1
Takata	NW	27 38	30	190	+ 2	Oita	W	28 52	1 44	780	— 4
Tsu	W	27 46	38	260	— 8	Fukuoka	W	29 04	1 56	880	+ 1
Niigata	N	27 44	36	240	0	Kumamoto	SW	29 16	2 08	970	?
Yamagata	N	27 50	42	290	?	Nagasaki	W	29 02	1 54	860	+ 4
Kyoto	W	28 00	52	370	+ 7	Otomari	N	20 36	2 28	1130	— 1
Kobe	W	28 00	52	370	+ 3						

Nach den Angaben der japanischen Stationen lag er ebenfalls vielleicht ein wenig weiter nach Norden oder Nordwesten. Wir finden als wahrscheinlichste Koordinaten etwa:

$$B = 36^{1/3}{}^{\circ} \text{ nördl.} \quad L = 139^{1/4}{}^{\circ} \text{ westl.} \quad \text{Epizentralzeit } 9^{\text{h}} 27^{\text{m}} 08^{\text{s}}$$

Nach Suda wäre $B = 35,4^{\circ}$ $L = 139,8^{\circ}$
 „ Imamura „ $B = 35^{\circ} 28'$ $L = 140^{\circ} 32'$

doch lag genau wie bei dem vorigen Beben der Herd offenbar in Japan selbst und nicht in oder an der Küste der Sagami-Bai.

17. Die Beben am 21. Januar 1906 und am 20. Februar 1913.

Von mehreren älteren Japanbeben liegen Bearbeitungen von S. SZIRTES vor (z. B. 13, 14). In den meisten Fällen kam dieser zu dem Ergebnis, daß anscheinend die Geschwindigkeit der Vorläuferwellen von dem durchlaufenen Gebiet abhängt. Besonders sollte dies für die beiden Beben vom 21. 1. 1906 und vom 20. 2. 1913 gelten. Um zunächst die Herdlage für diese beiden Beben festzustellen, wenden wir wieder die in Abschnitt 14 beschriebene Methode an. Wir finden (Tabelle 25), daß bei beiden Beben der Herd mehrere Grad näher an Europa gelegen

Tabelle 25. Berechnung der Herdzeit für die Beben am 21. 1. 06 (a) und 20. 2. 13 (b).

Ort	Δ 1. 9. 23	S-P (bezw. $\overline{S_c P_c S-P}$)			Differenz		Δ a	Δ b	P		Epizentralzeit	
		1. 9. 23	21. 1. 06	20. 2. 13	a minus	b minus			a	b	a	b
		Min. Sek.	Min. Sek.	Min. Sek.	1. 9. 23 Sek.	1. 9. 23 Sek.			13h/14h Min. Sek.	9h Min. Sek.	13h Min. Sek.	8h Min. Sek.
Zi-ka-wei	15 ^o ,5	3 02	2 21	3 28	- 41	+ 26	11 ^o ,5	18 ^o ,1	52 15	3 36	49 28	59 21
Batavia	51,4	7 20	?	7 55	?	+ 35	?	56,9	?	8 58	?	59 07
Upsala	73,8	9 42	?	8 55	?	- 48	?	65,9	?	10 15	?	59 28
Potsdam	80,9	10 16	9 37	9 52	- 39	- 24	73,9	76,6	01 14	10 37	49 41	58 48
Jena	82,6	10 30	9 48	9 51	- 42	- 39	74,8	75,3	01 22	11 03	49 44	59 23
Sarajewo	84,6	10 28	9 45	9 54	- 43	- 34	76,4	78,1	00 54	11 17	49 07	59 20
München	84,7	10 37	?	10 02	?	- 35	?	79,9	?	11 14	?	59 18
Innsbruck	85,4	10 18	?	9 56	?	- 22	?	81,1	?	11 17	?	59 04
Uccle	85,5	10 24	?	9 59	?	- 35	?	79,0	?	11 15	?	59 14
Straßburg	86,0	10 33	9 56	10 08	- 37	- 25	79,0	81,2	01 41	11 18	49 40	59 05

haben muß als bei dem Hauptbeben am 1. September 1923, ferner bei dem Beben am 21. 1. 1906 westlicher (Zikawei 4° herdnäher), am 20. 2. 1913 nördlicher (Zikawei 2½° weiter, Batavia 5½° weiter vom Herd). Als Epizentralzeit ergibt sich ungefähr 13^h 49^m 40^s am 21. 1. 06 und 8^h 59^m 15^s am 20. 2. 13. Mit Hilfe dieser Werte und der Eintrittszeiten von P an den japanischen Stationen lassen sich nun die Laufzeiten für P und daraus die Herddistanzen der betr. Stationen finden. Kreise um diese mit den gefundenen Radien zeigen dann, in welcher Gegend der Herd lag.

Tabelle 26. Laufzeiten für P bei dem Beben am 21. 1. 06.

Ort	P 13h		Laufzeit	Δ km	Ort	P 13h		Laufzeit	Δ km
	Min.	Sek.				Min.	Sek.		
Mito	50	33	0 53	375	Kobe	50	30	0 50	350
Tokyo	50	31	0 54	380	Tadotsu	50	23	0 43	300
Tsukuba	51	15	1 35	420	Zi-ka-wei	52	15	2 35	1200
Mizusawa	51	45	2 05	620	Taihoku	53	20	3 40	1720
Osaka	50	28	0 48	340	Manila	54	23	3 43	2270

Für das Beben am 21. 1. 1906 ergaben sich die in Tabelle 26 zusammengestellten Laufzeiten und Herdentfernungen und daraus die

$$\begin{aligned} \text{Herdkoordinaten } B &= \text{ca. } 37^\circ \text{ nördl.} & L &= \text{ca. } 135^\circ \text{ östl. v. Gr.} \\ \text{Früher fanden S. Szirtes} & 29^\circ 21' & & 139^\circ 14' \\ \text{F. Omori} & 34^\circ 23' & & 143^\circ 26' \end{aligned}$$

Während also die beiden letzteren den Herd weit südlich bzw. südöstlich von Japan verlegten, lag er in Wirklichkeit nordwestlich der Küstenstation Fukui. Durch dieses Ergebnis entfallen alle Folgerungen, die SZIRTES gezogen hatte.

Ganz analog ergibt sich für das Beben vom 20. 2. 1913:

$$\begin{aligned} \text{Herdentfernung von Tokyo} & 5^\circ 21' & \text{von Zikawei} & 19^\circ 41' \\ \text{„ Osaka} & 8^\circ 09' & \text{„ Taihoku} & 23^\circ 35' \end{aligned}$$

Herdkoordinaten	B = 42° nördl.	L = 140 ^{1/2} ° östl. v. Gr.
Früher fanden S. Szirtes	40° 20'	143°
A. Sieberg	41 ^{3/4}	141 ^{1/4} aus makros. Beob.
Nach Diagramm Irkutsk	42,4	140,7 im Stationsbericht
" " Pulkovo	43,9	144,9 " "

In Anbetracht des geringen Beobachtungsmaterials von Nahstationen ist die Übereinstimmung zwischen dem aus mikroseismischen Daten nach der angegebenen Methode gefundenen Herd und dem aus makroseismischen Beobachtungen von A. SIEBERG gefundenen Epizentrum als sehr befriedigend zu bezeichnen. Im übrigen werden auch hierbei die Folgerungen, die S. SZIRTES in bezug auf verschieden schnelle Fortpflanzung der Vorläufer nach verschiedenen Richtungen gezogen hat, hinfällig.

Die beiden zuletzt behandelten Fälle zeigen einmal, daß man aus Bebenaufzeichnungen mit unsicheren Herdangaben keine Schlüsse ziehen soll, dann aber auch, daß man selbst mit wenigen und alten mikroseismischen Beobachtungen unter Benutzung eines genau bearbeiteten Bebens mit nahe gelegenen Herd recht brauchbare Ergebnisse erhalten und in Fällen, in denen die makroseismischen Beobachtungen keinen eindeutigen Schluß über das Epizentrum zulassen, zum Mindesten die Gegend bis auf ca. 100 km angeben kann, in welcher der Herd gelegen hat.

18. Zusammenstellung der Ergebnisse.

1. Der Herd des Hauptbebens in Japan am 1. September 1923 lag etwa 40 ± 10 km tief unter der Sagami-Bai, das Epizentrum war wenige km von der Mündung des Sagami-Flusses entfernt. Das Beben fand um $2^h 58^m 30^s \pm 2^s$ statt, die Epizentralzeit ist $2^h 58^m 36^s \pm 3^s$ (Unsicherheit geschätzt).
2. Die Wellengeschwindigkeiten in den obersten Schichten in Japan stimmen innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit mit den in Europa gefundenen überein, auch eine sprungweise Zunahme der Geschwindigkeit ist analog wie in Europa vorhanden, dagegen bestehen zweifellos erhebliche Unterschiede zwischen dem Aufbau der Oberflächenschichten bei Apia einerseits und Europa und Japan andererseits (vgl. 20).
3. Bei dem Japanbeben ließ sich kein Unterschied in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Vorläuferwellen nach verschiedenen Richtungen feststellen und zwar weder in Japan selbst noch nach den fernen Beobachtungsstationen.
4. Bei dem Japanbeben trafen in Europa die Longitudinal- und Transversalwellen innerhalb der Beobachtungsfehler zu der Zeit ein, die sich nach den Laufzeitkurven von A. MOHORVIČIĆ für die normalen Wellen P_n ergibt. Nur vereinzelt finden sich, auch bei dem starken Tongabebeben am 26. 6. 1917, vorher P_1 - bzw. S_1 -Wellen, während P_2 -Wellen sehr selten waren und P_3 -Wellen bei dem Japanbeben überhaupt nicht zur Aufzeichnung kamen, während es sich bei dem Tongabebeben in drei Fällen nicht entscheiden ließ, ob P_3 -Wellen beobachtet wurden, oder ob es sich um Beobachtungsfehler handelte. Noch frühere Einsätze wurden bestimmt nicht registriert. Auffallend ist, daß bei dem Japanbeben keines der besonders empfindlichen Galitzinpendel in Europa einen Einsatz vor der normalen P-Welle erkennen ließ.
5. Die übrigen Wellen verhielten sich genau wie bei früher untersuchten Beben, insbesondere kamen die an der „Erdoberfläche“ reflektierten Vorläufer vorwiegend zu früh, was viel-

leicht auf eine Reflexion an einer tieferen Schicht, etwa der Grenze zwischen Sial und Sima schließen läßt. Die Longitudinalwellen P' durch den Erdkern kamen etwas früher (im Mittel ca. 10, vereinzelt bis 18 Sekunden) als die Laufzeitkurven angeben. Die Wechselwellen durch den Erdkern trafen der Theorie entsprechend ein, soweit sie den Kern longitudinal passieren. Die Herddistanz der Brennpunkte entspricht ebenfalls der Theorie. Die Entfernung, von der ab $\overline{S_c P_c S}$ vor S kommt, ließ sich durch Vergleich des Aussehens der Wellen bei dem Japanbeben auf 83° festlegen.

6. Wellen, welche den Erdkern transversal durchlaufen haben, waren nicht feststellbar.
7. Die Oberflächenwellen zeigen normale Dispersion und zwar in verschiedenem Umfange je nach dem Gebiet, das sie durchlaufen haben. Die einzelnen gefundenen Werte bilden eine wesentliche Stütze für die Theorie, daß in Eurasien die Grenze zwischen Sial und Sima in etwa 55 km Tiefe liegt, während im pazifischen Ozean das Sima (fast?) bis zur Oberfläche aufragt (vgl. 20).
8. Die Oberflächen- und Nachläuferwellenperioden zeigen ebenfalls deutliche Unterschiede je nach den Bahnen, welche die Wellen durchlaufen haben.
9. Die Extinktionsfaktoren für die Oberflächenwellen sind in Eurasien beträchtlich kleiner als bei dem Überschreiten der Pazifikküsten; die Ursache hierfür ist die Energiezerspaltung bei der Reflexion und Brechung der Wellen an den vertikalen Materialgrenzen am Rande des pazifischen Ozeans. Bei der Überschreitung der Küsten des atlantischen Ozeans fehlt diese Erscheinung.
10. Die Untergrundfaktoren wurden für eine Reihe von Stationen sowohl für die 1. Vorläufer wie für Oberflächenwellen bestimmt.
11. Die Herde der beiden stärksten Beben am 2. September 1923 lagen nördlich und nordwestlich vom Herd des Hauptbebens am 1. September in der Nähe von Kumagaya.
12. Die von S. SZIRTES bei früheren japanischen Beben gefundenen Unterschiede der Wellengeschwindigkeiten bei den Vorläufern waren nicht reell, sondern durch falsche Annahme des Herdes vorgetäuscht. Insbesondere lag der Herd des Bebens vom 21. Januar 1906 nicht südöstlich von Japan im pazifischen Ozean, sondern in der Nähe der Nordwestküste Japans.

Literatur.

1. K. SUDA, On the great Japanese earthquake Memoirs Imp. Marine observatory, Kobe, Japan, Vol. 1, Nr. 4, Seite 137, 1924.
2. A. IMAMURA, Imp. Earthquake Invest. Comm., Seismological notes Nr. 6, Tokyo 1924.
- 2a. K. SHIRATORI, Notes on the destructive earthquake 1923, Japan. Journ. of astron. and geophysics, Vol. 2, S. 174, 1925.
3. Bericht des Observatoriums in Nagasaki für 1923.
4. E. GHERZI, Notes de Sismologie, Nr. 5, Zi-ka-wei, 1924.
5. B. GUTENBERG, Die mitteleuropäischen Beben , Zentralbüro der Intern. Seismol. Assoc., herausgeg. von O. HECKER, Straßburg, 1915.
6. B. GUTENBERG, Theorie der Erdbebenwellen in „Erdbebenkunde“ von A. SIEBERG, GUST. FISCHER, Jena 1923.
7. A. MOHOROVIČIĆ, Laufzeitkurven für Nahbeben, seither nur handschriftlich vorhanden, erscheinen demnächst im Druck.
8. Ders., Hodografi longitudinalnih Rad. jugoslav. Vol. CCXXVI.
9. B. GUTENBERG, Der Aufbau der Erdkruste . . . Zeitschr. für Geophysik, Bd. I, Heft 3, 1925.
10. Ders., Das Erdbeben in Atacama. II. Veröff. der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena, herausg. von O. HECKER, Heft 3, 1924, sowie Nachtrag hierzu, Jena 1925.

11. H. REICH, Über die Intensität der Hauptphase... Göttinger Nachr. 1921, S. 93.
 12. C. MAINKA, Ortsbestimmung von Erdbebengebieten... Zeitschr. für angewandte Geophysik Heft 2, S. 43, 1922.
 13. S. SZIRTES, Seismogramme des japanischen Erdbebens am 21. 1. 1906. Veröff. des Zentralbüros der intern. Seismol. Assoc. Straßburg.
 14. Ders., Das mikroseismische Material des Japanbebens am 20. 2. 1913. Mitt. des Zentralbür. d. int. seismol. Assoc. Straßburg Nr. 5, 1914, S. 112. Beilage zu GERLAND's Beitr. z. Geophysik Bd. XIII.
 15. G. ANGENHEISTER, Beobachtungen an pazifischen Beben. Göttinger Nachr. 1921.
 16. B. GUTENBERG, Zeitschr. für angewandte Geophysik, S. 75, 1924.
 17. H. P. BERLAGE, Anhang zum Jahresber. des Schweizer Erdbebendienstes 1923, Zürich 1924, S. 35.
 18. P. BYERLY jr., Bull. of the Seismol. Soc. of America, Bd. 14, S. 91, 1924.
 19. J. B. MACELWANE, A study of the relation between the periods of elastic waves.... Bull. of the Seismol. Soc. of America, Bd. 13, 1923.
 20. B. GUTENBERG, Der Aufbau der Erde, Verlag BORNTÄGER, Berlin 1925.
 21. A. SIEBERG, Mitteilungen über Erdbeben im Jahre 1913, Jena 1921.
 22. H. H. TURNER, On the arrival of earthquake waves.... Geophysical suppl. to the Monthly notices of the Roy. Astron. Soc., Vol 1 Nr 1, 1922.
-