

Veröffentlichungen
der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena

Herausgegeben vom Direktor

Heft 16a

Die
Ausbreitung von Erdbebenwellen
in großen Herdentfernungen

bei dem

Südseebeben vom 26. Juni 1924

Von

G. Krumbach

Mit 16 Abbildungen im Text



Jena

Verlag von Gustav Fischer

1934

Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena

- Heft 1: Die Verbreitung der Erdbeben auf Grund neuerer makro- und mikro-seismischer Beobachtungen und ihre Bedeutung für Fragen der Tektonik.** Von Dr. August Sieberg, Privatdozent für Geophysik an der Univers. Jena. Mit einer farb. seismisch-tektonischen Weltkarte. 96 S. gr. 8° 1922 Rmk 1.60*
- Heft 2: Die Explosionskatastrophe von Oppau am 21. September 1921 nach den Aufzeichnungen der Erdbebenwarten.** Von Prof. Dr. Oscar Hecker, Jena. Mit 5 Tafeln. 18 S. gr. 8° 1922 Rmk —.60
- Heft 3: Zur Gründung der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena.** Von O. Hecker. Mit 2 Abbild. im Text. — **Das Erdbeben in der chilenischen Provinz Atacama am 10. November 1922.** Von A. Sieberg und B. Gutenberg. Mit 2 Abbild. im Text und 18 Tafeln mit Seismogrammen. 48 S. gr. 8° 1924 Rmk 4.50*
- Heft 4: Das mitteleuropäische Erdbeben vom 16. November 1911.** Bearbeitung der makroseismischen Beobachtungen. Von Dr. A. Sieberg und Dr. R. Lais. Mit 8 Abbild. im Text und 2 farb. Isoleistenkarten. 106 S. gr. 8° 1925 Rmk 10.—*
- Heft 5: Ueber die Laufzeiten der Vorläufer- und Wechselwellen bei Erdbeben in ihrer Beziehung zur Schichtung der Erdrinde.** Von G. Krumbach. 19 S. gr. 8° 1926 Rmk 1.—
- Heft 6: Das Einsturzbeben in Thüringen vom 28. Januar 1926.** Von A. Sieberg und G. Krumbach. Mit 6 Abbild. im Text und 1 Isoleistenkarte. 32 S. gr. 8° 1927 Rmk 1.50*
- Heft 7: Seismische Registrierungen in Jena.** 1. Oktober 1926 bis 31. Dezember 1927. Von G. Krumbach. 23 S. gr. 8° 1928 Rmk 1.—
- Heft 8: Das Erdbeben in Japan am 7. März 1927.** 11 Tafeln (26×38 cm) mit Seismogrammen und 4 S. Text. Lex. 8° 1928 Rmk 3.—*
- Heft 9: Beiträge zu einer experimentellen Seismik.** Von O. Meisser. Mit 68 Abbild. im Text. V, 77 S. gr. 8° 1929 Rmk 4.50*
- Heft 10: Seismische Registrierungen in Jena 1. Januar bis 31. Dezember 1928.** Von G. Krumbach. 24 S. gr. 8° 1929 Rmk 1.20*
- Heft 11: Die wichtigsten Erdbeben des Jahres 1924 und ihre Bearbeitung.** Von G. Krumbach und A. Sieberg. Lex. 8° Rmk 6.—*
- Heft 12: Entstehung und Ausbreitung Deutscher Erdbeben in ihrer Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen.** Von Fritz Nennstiel. Mit 8 Karten im Text. 43 S. gr. 8° 1930 Rmk 3.—*
- Heft 13: Seismische Registrierungen in Jena, 1. Januar bis 31. Dezember 1929.** Von G. Krumbach. 21 S. gr. 8° 1930 Rmk 2.—*
- Heft 14: Seismische Registrierungen in Jena, 1. Januar bis 31. Dezember 1930.** Von G. Krumbach. 20 S. gr. 8° 1931 Rmk 1.60
- Heft 15: Tätigkeitsbericht der Reichsanstalt für Erdbebenforschung für die Zeit vom April 1930 bis März 1931.** 12 S. gr. 8° 1931 Rmk 1.—

Veröffentlichungen
der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena
Herausgegeben vom Direktor
Heft 16a

Die
Ausbreitung von Erdbebenwellen
in großen Herdentfernungen
bei dem
Südseebeben vom 26. Juni 1924

Von
G. Krumbach

Mit 16 Abbildungen im Text



Jena
Verlag von Gustav Fischer
1934

Bei der Drucklegung dieses Heftes wurden die restlichen Mittel der früheren Internationalen Seismologischen Assoziation mit verwendet. Die Seismogramme des untersuchten Erdbebens und die Konstanten der Instrumente sind in einem Sonderheft (16b, 1931) veröffentlicht.

Denjenigen Seismometerstationen, die ihre Originalkurven oder deren Kopien für die Bearbeitung zur Verfügung stellten, sei auch an dieser Stelle der Dank ausgesprochen.

A. Sieberg.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Ältere Bearbeitungen des Südseebebens vom 26. Juni 1924.	1
Gesichtspunkte für die vorliegende Bearbeitung	2
Das Beobachtungsmaterial und seine Auswertung	3
I. Orientierender Überblick über die wichtigsten Untersuchungsergebnisse	5
II. Die Epizentralbestimmung	9
Methoden und ihre Anwendung auf das Beben vom 26. Juni 1924	9
Das Epizentrum des Bebens vom 26. Juni 1924	14
III. Der erste Vorläufer	15
Die normale Vorläuferwelle P_n	15
Die Kernwelle P_1' und ihre Abspaltungen p_1' und P_2'	18
Die reflektierte Welle P_cP	23
Die Perioden des ersten Vorläufers	24
Charakteristische Merkmale des ersten Vorläufers	25
Übersicht über die Einsätze hinter der P-Welle.	25
IV. Die Reflexionen des ersten Vorläufers	28
1. Die 1. Reflexion P_{R1}	28
Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven	28
Die Abspaltung der $S_cP_c\bar{P}$ -Welle	29
Perioden und Schwingungsbild von P_{R1}	32
Eine unbekannte Phase zwischen P_{R1} und P_{R2}	32
2. Die 2. Reflexion P_{R2}	33
Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven	33
Perioden und Schwingungsbild	35
3. Die 3. Reflexion P_{R3}	35
Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven	35
Perioden und Schwingungsbild	37
4. Die 4. Reflexion P_{R4}	37
Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven	37

	Seite
V. Die vor der S_n-Phase gelegenen Wechselwellen	38
1. $\overline{S_c P_c S}$	38
Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven	38
Perioden und Schwingungsbild	40
2. $\overline{S_c P_c P_c S}$	42
Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven	42
Perioden und Schwingungsbild	43
3. Eine Zwischenphase	44
 VI. Der zweite Vorläufer S_n	 44
Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven	44
Perioden und Schwingungsbild	46
 VII. Weitere Wechselwellen im Bereich des zweiten Vorläufers	 46
1. PS	46
2. $\overline{S_c P_c SP}$	47
3. Der Bereich der Welle PPS	50
Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven	50
Transversale Kernwellen S_1' und S_2' ?	52
Perioden und Schwingungsbild	57
 VIII. Die Reflexionen der Transversalwelle	 58
1. Die 1. Reflexion S_{R1}	58
2. Die 2. Reflexion S_{R2}	60
3. Die 3. Reflexion S_{R3}	63
4. Weitere Einsätze	65
 IX. Hauptphase und Nachläuferwellen	 65
Geschwindigkeit der Hauptwellen L_1 und L_2	65
Perioden der Hauptphase und Nachläuferwellen	67
 Literatur	 67

Einleitung.

Unter den stärkeren Erdbeben des Jahres 1924 nimmt das Beben vom 26. Juni, dessen Herd im Südpazifischen Ozean in der Nähe der Macquarie-Inseln lag, eine besondere Stellung ein. Durch sein auffallend weit südlich gelegenes Epizentrum erwies es sich als besonders geeignet für eine Untersuchung der *Ausbreitung von Erdbebenwellen in großen Herdentfernungen*. Denn gerade die instrumentell gut ausgerüsteten europäischen Stationen liegen nahezu im Gegenpunkt des Herdes. Es ist daher bei dem guten Beobachtungsmaterial eine sehr genaue zeitliche Analyse der Erdbebendiagramme möglich. Ebenso gestattet aber auch die große Anzahl dieser Stationen eine genaue Feststellung der Realität der einzelnen Einsätze durch einen Vergleich ihrer Aufzeichnungen und sichert so in weitem Maße die gefundenen Ergebnisse.

Als Beobachtungsmaterial können einschließlich der Berichte die Aufzeichnungen von 118 Stationen verwertet werden. Es ist dann die Aufgabe der vorliegenden Bearbeitung, mit Hilfe dieser reichhaltigen instrumentellen Daten die Ausbreitung der seismischen Wellen, das Erscheinen bestimmter Wellengruppen im Seismogramm, sowie die charakteristischen Merkmale im Schwingungsbild systematisch über den ganzen Beobachtungsbereich zu verfolgen und vorhandene Gesetzmäßigkeiten in Abhängigkeit vom Wellenweg zu bestimmen.

Den Stationen, die durch Übersendung von Diagrammen und Kopien die Ausführung dieser Arbeit förderten, sei besonderer Dank ausgesprochen.

Ältere Bearbeitungen des Südseebebens vom 26. Juni 1924. Während des Verlaufes der vorliegenden Bearbeitung kam bereits unabhängig eine Untersuchung des gleichen Bebens durch J. B. MACELWANE (2), S. J., heraus. Ebenso enthielt das „International Summary“ von TURNER (5) eine Epizentralbestimmung, sowie auch eine Zusammenstellung des Beobachtungsmateriales, wie es von den einzelnen Stationen angegeben wurde.

Die Fertigstellung vorliegender Bearbeitung zögerte sich durch die Herstellung der Reproduktionen des umfangreichen Kurvenmaterials hinaus. Soweit es möglich war, wurden die ganzen Seismogramme bis zum Einsatz der Hauptphase wiedergegeben. Dabei umfaßt dieses Material noch zehn weitere Beobachtungsstationen gegenüber MACELWANE (2). Hierbei handelt es sich in der Hauptsache um Originaldiagramme von deutschen Stationen, so daß gerade für den Bereich der weiten Herdentfernungen eine sehr wichtige Erweiterung des Beobachtungsmaterials vorliegt. Führen daher die beiden Bearbeitungen des gleichen Bebens unabhängig voneinander zu gleichen Ergebnissen, so bilden die so gewonnenen objektiven Resultate eine wesentliche Stütze der bisherigen Untersuchungen und auch eine sichere Grundlage für weitere Arbeiten.

Andererseits aber auch ermöglicht das reichhaltige Beobachtungsmaterial bei einem so gut ausgeprägten Beben, wie in dem vorliegenden Falle, mehrere Bearbeitungen nebeneinander nach ganz verschiedenen Gesichtspunkten.

Gesichtspunkte für die vorliegende Bearbeitung. Bei der Bearbeitung der Jahresberichte der seismischen Station in Jena wurde darauf hingewiesen, die Einteilung von Seismogrammen nicht nur nach einzelnen Einsätzen vorzunehmen, da die meisten Phasen im Seismogramm oft aus einer Gruppe von mehreren Schwingungen bestehen. Um daher auch im Bericht ein möglichst deutliches Bild der bearbeiteten Aufzeichnung zu geben, erscheint es von Wichtigkeit, eine Einteilung der Seismogramme nach Phasengruppen unter Angabe der charakteristischen Merkmale innerhalb einer Gruppe (mehrere Einsätze, Maxima, Periodenwechsel) vorzunehmen. Diese Phasengruppen bilden die Grundlage für die Untersuchungen über charakteristische Seismogrammformen. Denn es wurde wiederholt die Beobachtung gemacht, daß Seismogramme von Beben mit gleichen Herdentfernungen, jedoch aus verschiedenen Herdgebieten, verschiedenes Aussehen besitzen. Systematische Beobachtungen dieser charakteristischen Erscheinungen werden voraussichtlich zu Erkenntnissen über den Herdvorgang, sowie auch über die Einflüsse des von den Wellen durchlaufenen Weges führen.

Auch bei derartigen Untersuchungen bildet die Aufstellung von Laufzeitkurven für die einzelnen Phasen die wichtigste Grundlage. Denn die Laufzeitkurven der verschiedenen Einsätze lassen erst die Zusammengehörigkeit der Beobachtungen mehrerer Stationen erkennen.

Dabei liefern die so gewonnenen Ergebnisse auch einen wesentlichen Beitrag zu dem eigentlichen Laufzeitkurvenproblem. Es war

zwar schon früher der Nachweis (7) gebracht worden, daß die bestehenden allgemeinen Laufzeitkurven nur einen gewissen Mittelwert darstellen, weil fast jedes Beben seine eigene Laufzeitkurve besitzt, deren Verlauf von Epizentralregion, Herdtiefe und Vorgänge bei der Auslösung abhängen kann. Trotzdem aber werden Laufzeituntersuchungen stets eine prinzipielle Bestätigung des allgemeinen Verlaufes der Kurven und das Erscheinen der Phasen im Seismogramm in Abhängigkeit von der Herdentfernung erkennen lassen, so daß doch wesentliche Verbesserungen der vorhandenen Ergebnisse erzielt werden können.

Es bleibt bei allen diesen Erwägungen auch stets noch zu berücksichtigen, daß die Laufzeitkurven die wichtigste Unterlage für die Erforschung des Aufbaus des Erdganzen sind. Zwar zeigt ein Vergleich der Ergebnisse, die seit den Untersuchungen mit den ersten Laufzeitkurven erzielt worden sind, daß auf Grund der Verbesserungen dieser Kurven nichts Wesentliches an den Grundanschauungen geändert wurde. Aber gerade in den weiten Herdentfernungen sind eine Reihe von theoretisch vorausgesagten Wellengruppen, die sich auf diese Grundanschauungen stützen, noch nicht genügend gesichert. Eine wiederholte Feststellung der entsprechenden Wellen im Seismogramm würde dann umgekehrt ein sicheres Kriterium für die gemachten Voraussetzungen sein.

Ebenso sind, wie auch schon früher gezeigt wurde (8), in den großen Herdentfernungen eine Reihe gut ausgeprägter Einsätze im Seismogramm vorhanden, für die bisher keine Deutung angegeben werden konnte.

Das Beobachtungsmaterial und seine Auswertung. Vergleicht man die Zusammenstellung der Seismogramme von diesen Beben, so lassen sich, da Seismogramme aus allen Entfernungsbereichen vorliegen, gewisse Folgerungen über die Zweckmäßigkeit der verschiedenen instrumentellen Einrichtungen ziehen. Allgemein läßt sich feststellen, daß, abgesehen vielleicht von der Aufzeichnung der Longitudinalwelle in großen Herdentfernungen, eine Vergrößerung von 250fach ausreichend erscheint. Stärkere Vergrößerungen, wie sie zum Teil bei den Galitzin-Horizontalseismometern angewendet werden, führen vielfach zu Überlagerungen der Kurvenzüge bei starken Beben. Es ist dadurch eine Analyse der Aufzeichnung zum mindesten sehr erschwert, wenn nicht sogar unmöglich gemacht. Noch ungünstiger werden diese Aufzeichnungen, wenn aus Ersparnisgründen bei optischer Registrierung beide Horizontalkomponenten auf dem gleichen Streifen in wenigen Millimetern Abstand registrieren.

Andererseits besteht als Nachteil bei Anwendung einer mittleren Vergrößerung von 250fach bei Fernbeben, daß bei zusammenfassenden Arbeiten, wie die vorliegende, nur besonders starke, gut ausgeprägte Beben herangezogen werden können. Bei vergleichenden Bearbeitungen aus gleichen Herdgebieten würde dann allerdings die Anwendung stärkerer Vergrößerungen wesentliche Vorteile auch durch eine gute Aufzeichnung schwächerer Beben in größeren Herdentfernungen und der damit verbundenen Vermehrung des Beobachtungsmateriales bieten.

Eine gute Bestätigung für die Zweckmäßigkeit der Anwendung einer 200- bis 250fachen Vergrößerung bilden sowohl die sehr guten Aufzeichnungen der Milne-Shaw-Seismometer in Kanada, sowie die der Wiechert-Seismometer in Deutschland.

Für die Aufzeichnung der Vertikalkomponente der Bodenbewegung, die allgemein geringere Amplituden zeigt, erscheint eine weitere Verbreitung stark vergrößernder Vertikalseismometer zweckmäßig. Denn vielfach ermöglichte erst die Verwendung von hochperiodigen, empfindlichen Galitzin-Vertikalseismometern eine genaue Untersuchung der am Kern gebeugten longitudinalen Vorläuferwellen.

Die angegebenen Konstanten der Instrumente lassen erkennen, daß in manchen Fällen bei Reibung und Dämpfung das Optimum der Leistungsfähigkeit nicht ganz erreicht ist.

Die Bearbeitung des Beobachtungsmateriales geschieht nach den Gesichtspunkten, wie sie in den regelmäßigen Berichten der Station *Jena* (6) angegeben sind. Demnach besteht allgemein die Aufgabe der Untersuchungen der Seismogramme für große Herdentfernungen mehr darin, alle vorhandenen Einsätze objektiv zu bestimmen und ihre Charakteristika aufzustellen, als einfach in der Bestätigung vorhandener Laufzeitkurven, deren Verlauf sich zum Teil nur auf theoretische Erwägungen stützt. Es werden also die Auswertungen völlig unabhängig von vorhandenen Laufzeitkurven vorgenommen und zusammengehörige Einsätze für sich zusammengefaßt. Die so gewonnenen empirischen Kurven werden dann zum Schluß mit etwa bereits vorhandenen Laufzeitkurven verglichen. Dieses objektive und umfangreiche Beobachtungsmaterial aus großen Herdentfernungen wird dann sicherlich weitere Kenntnisse über die Konstitution des tiefen Erdinnern vermitteln können und somit das Grundproblem der instrumentellen Erdbebenforschungen seiner endgültigen Lösung näher bringen.

Aus wirtschaftlichen Gründen mußte leider vorläufig davon abgesehen werden, das gesamte Beobachtungsmaterial in den Einzelbearbeitungen für jede Station zu veröffentlichen.

I. Orientierender Überblick über die wichtigsten Untersuchungsergebnisse.

Da vor der Bearbeitung dieses Bebens schon eine Reihe von Herdbestimmungen vorlagen, wurden zunächst verschiedene allgemeine Methoden einer Epizentralbestimmung angewandt und diskutiert, um die Gültigkeit der Wahl des benutzten Epizentrums darzulegen.

Ohne Rücksicht auf irgendwelche bestehende Laufzeitkurven wurden die einzelnen Seismogramme analysiert und die Einsatzzeiten in ein Laufzeitschema eingetragen. Die sich auf diese Art zwanglos ergebenden Laufzeitkurven wurden jede einzelne für sich untersucht und später erst die Ergebnisse mit bestehenden Laufzeitkurven verglichen.

Die direkte Vorläuferwelle P_n konnte bis 18500 km Herdentfernung verfolgt werden. Nur in wenigen Fällen wurde eine vor dem Haupteinsatz gelegene, schwächere Phase p beobachtet.

Die Kernwelle P' tritt bei diesem Beben möglicherweise schon bei 11000 km Entfernung auf, wo im Bereich der Reflexion P_{R1} zwei Einsätze unterscheidbar sind, von denen sich der erste als P' deuten läßt.

Die Laufzeitkurve P' gliedert sich in 3 Äste. Vor dem eigentlichen Einsatz P'_1 liegt von 15000 km Herdentfernung ab ein kleiner Einsatz p' mit einer Zeitdifferenz von 8—12 sec. Das Ergebnis stützt sich hauptsächlich auf die guten Beobachtungsdaten der europäischen Stationen. Die Laufzeitkurve der dritten Welle, P_2' , läßt sich durch eine gerade Linie darstellen:

$$P_2' = T_0 + 20^m 02^s + \frac{(\Delta - 16\,500) \text{ km}}{27,0 \text{ km/sec.}}$$

Die Periodenwerte der direkten Welle P_n liegen bei 8 sec., während bei der Kernwelle vorwiegend Perioden von 5 sec., sowie Vielfache davon, 10 und 15 sec. auftreten, wobei bei P_2' die längeren Perioden überwiegen.

Im ganzen Entfernungsbereich besteht trotz wechselnder Perioden der erste Vorläufer aus einer *Gruppe von drei Schwingungen*.

Die Beobachtungen der Reflexion P_{R1} zeigen keine Abweichung von der normalen Laufzeitkurve, die daher jetzt durch das gute Beobachtungsmaterial in den großen Herdentfernungen sehr gesichert wird. Von 12800 bis 15000 km findet eine Aufspaltung der Einsätze statt, wobei die zunächst später liegende $S_c P_c \bar{P}$ -Welle höhere Perioden als P_{R1} aufweist. Im Gegensatz zu früheren Beobachtungen wird in großen Entfernungen diese Kernwelle nicht festgestellt. Die Perioden der

P_{R1} -Welle haben ihre Häufungsstelle bei etwa 12 sec. Als Schwingungsbild beobachtet man drei bis vier Schwingungen.

Zwischen P_{R1} und P_{R2} lassen eine Reihe guter Stationen zwischen 17000 und 18000 km Herdentfernung einen weiteren Einsatz erkennen, dessen Laufzeitkurve nahezu parallel der X-Achse verläuft. Die Laufzeit ist 25,1 min.

Die Laufzeitkurve der P_{R2} -Welle tritt deutlich in Entfernungen > 15000 km auf, und läßt sich durch eine Gerade:

$$T = T_0 + 25^m 19^s + \frac{(\Delta - 15000) \text{ km}}{15,2 \text{ km/sec.}}$$

darstellen. Die Laufzeitkurve für dieses Beben liegt später als die früher aufgestellten Kurven P_{R2} . Die Hauptperiode ist bei etwa 12 sec.

Die Beobachtungen der P_{R3} -Welle sind wesentlich lückenhafter als die früheren Einsätze. Eine Gegenüberstellung der Beobachtungen mit der theoretischen Kurve $P_{R3}(\Delta) = 4P\left(\frac{\Delta}{4}\right)$ zeigt geringe Übereinstimmung. Die Laufzeitkurve in größeren Herdentfernungen genügt der Gleichung: $T = T_0 + 29^m 31^s + \frac{(\Delta - 15500) \text{ km}}{20,0 \text{ km/sec.}}$. Diese Kurve liegt wesentlich anders als die theoretische Kurve. Die mittlere Periode ist etwa 12 sec.

Für die P_{R4} -Welle ist nur geringes Beobachtungsmaterial vorhanden. Die Laufzeiten liegen früher, als nach der Theorie zu erwarten ist (siehe Abb. 11).

Vor der S-Welle liegen im Diagramm die beiden Wechselwellen $\overline{S_c P_c S}$ und $\overline{S_c P_c P_c S}$, die ihren Weg zum Teil durch den Erdkern genommen haben. $\overline{S_c P_c S}$ beginnt bei 10320 km. Zwischen 14700 und 17500 km tritt trotz eines guten Beobachtungsmaterials eine Lücke auf. In größeren Entfernungen ist dann diese Welle wieder sehr deutlich. Eine Gegenüberstellung mit früheren Untersuchungen dieser Phase läßt große, charakteristische Abweichungen der einzelnen Beben untereinander erkennen, so daß es schwierig ist, eine einheitliche allgemeine Laufzeitkurve zu zeichnen. Die Hauptperioden liegen zwischen 8—10 sec. Das Schwingungsbild ist in größeren Herdentfernungen meist ausgedehnt.

Die Beobachtungen der $\overline{S_c P_c P_c S}$ -Welle zeigen bis 15000 km Entfernung keine wesentliche Abweichung von der Gutenberg-Kurve (1). Dann aber wird bei einem umfangreichen Beobachtungsmaterial eine systematische Abweichung beobachtet, so daß bei 19000 km Herdentfernung die Laufzeitkurve dieses Bebens um etwa 50 sec. früher liegt.

Zwischen 17200 und 18000 km Herdentfernung liegen zwischen P_{R3} und P_{R4} eine Reihe weiterer Einsätze, die von MACELWANE als $\overline{S_c P_c P}$ bezeichnet wurden.

Der zweite Vorläufer S_n wird mit Sicherheit bis 11000 km beobachtet. Das Beobachtungsmaterial zeigt größere Abweichungen, die besonders aus der Diskussion über die Epizentralbestimmung deutlich hervorgehen. Es gewinnt den Anschein, als ob die Einsatzzeiten in allen Bereichen später liegen, als nach der mittleren Laufzeitkurve zu erwarten ist. Der Periodenmittelwert liegt bei 15 sec. Außerdem kommen auch verschiedentlich sehr hohe Werte vor.

An Wechselwellen werden hinter den zweiten Vorläufer PS, $\overline{S_c P_c SP}$ sowie PPS beobachtet.

Das Beobachtungsmaterial von PS zeigt gegenüber früheren Beobachtungen keine Besonderheiten. Die Perioden liegen vorwiegend bei 20 sec.

Das beste und umfangreichste Material innerhalb dieser Wellengruppe wird bei der $\overline{S_c P_c SP}$ -Welle beobachtet. Es ergibt sich eine Laufzeitkurve von der Form:

$$T = T_0 + 30^m 07^s + \frac{(\Delta - 12\,500) \text{ km}}{18,75 \text{ km/sec.}}$$

Diese zeigt Abweichungen bis zu 20 sec. von der Gutenberg-Kurve. Bei den Perioden bestehen zwei Häufungsstellen bei 10 und 16—18 sec. Das Schwingungsbild dieser Welle ist außerordentlich charakteristisch. Man beobachtet meist eine Doppelschwingung oder einen scharfen Einzeleinsatz.

Der Bereich der direkten Wechselwelle PPS ist besonders interessant. Bis 15000 km ergeben sich für die Beobachtungszeiten zunächst keinerlei Abweichungen von den älteren Laufzeitkurven. Von 15000 km Entfernung gruppieren sich die Einsätze eines sehr guten Beobachtungsmaterials um eine Laufzeitkurve:

$$T = T_0 + 34^m 30^s + \frac{(\Delta - 15\,000) \text{ km}}{13,3 \text{ km/sec.}}$$

Diese Kurve ist wesentlich stärker gegen die Abszisse geneigt, als dem weiteren Verlauf der PPS-Welle entsprechen würde. Es muß sich daher um eine selbständige Laufzeitkurve handeln. Fernerhin ergibt sich dann auch, daß eine Fortsetzung der PPS-Kurve über 17000 km hinaus durch Beobachtungen gestützt ist. Diese Laufzeitkurve genügt der Gleichung:

$$T = T_0 + 25^m 37^s + \frac{(\Delta - 10\,000) \text{ km}}{8,9 \text{ km/sec.}}$$

Auch noch früher als die beiden genannten Wellen liegt eine weitere Einsatzgruppe im Seismogramm.

Es findet also ab 15000 km Herdentfernung eine Aufspaltung der PPS-Welle in drei Äste statt. Die beiden zeitlich früheren Wellen wurden von anderen Autoren als S_1' und S_2' , also als transversale Kernwellen,

bezeichnet. Sollte daher diese Deutung richtig sein, so müßte auch hier die Beziehung gelten: $\frac{V_P}{V_S} = \frac{T_S}{T_P} = \sqrt{3} = 1,73$. Ein Vergleich mit den entsprechenden Longitudinalwellen P_1' und P_2' führt zu einer Bestätigung. Es wurde gefunden $1,75 < \frac{T_{S_1'}}{T_{P_1'}} < 1,79$ und $1,81 < \frac{T_{S_2'}}{T_{P_2'}} < 1,83$.

Diese Werte liegen also innerhalb derselben Grenzen, wie die von MOHORVIČIĆ (3) für die normalen Vorläuferwellen P_n und S_n gefundenen. Dieses Ergebnis ist damit von weittragender Bedeutung. Weitere Bestätigungen der Phasen S_1' und S_2' und damit der endgültige Beweis der Existenz von Transversalwellen im Erdkern würde die Untersuchungen über den Aufbau des tiefen Erdinnern vor neue Aufgaben stellen.

Von den drei Wellengruppen liegen die Periodenwerte bei PPS am niedrigsten (15 sec.) und bei S_2' am höchsten (20 sec.).

Die Einsätze der S_{R_1} -Welle liegen im ganzen Bereich früher, als nach den bisherigen Ergebnissen zu erwarten war. Über 15000 km Herdentfernung wird die Gleichung erfüllt:

$$T = T_0 + 40^m 33^s + \frac{(\Delta - 15\,000) \text{ km}}{9,26 \text{ km/sec.}}$$

Die S_{R_1} -Welle besteht aus zwei Phasen, einer langperiodigen Emersio, aus der sich der eigentliche Einsatz deutlich absetzt. Dieses Charakteristikum beginnt bei etwa 7000 km Herdentfernung. Die Zeitdifferenz zwischen beiden Einsätzen beträgt im Mittel 0,8 Min. Die Perioden sind, wie auch schon früher bei anderen Beben beobachtet wurde, allgemein sehr lang. Werte von 30—40 Sek. wurden wiederholt festgestellt.

Auch bei S_{R_2} ist dasselbe Schwingungsbild wie bei S_{R_1} . Die Laufzeitkurve der langperiodigen Emersio liegt von 16000 km ab in ca. 1 min. Abstand vor dem eigentlichen Einsatz. Die Laufzeitkurve der S_{R_2} -Welle hat die Form: $T = T_0 + 42^m 42^s + \frac{(\Delta - 14\,000) \text{ km}}{7,9 \text{ km/sec.}}$. Zwischen 17000 und 18350 km liegt eine Abspaltung, die parallel zur X-Achse mit einer Laufzeit von 52,6 min. verläuft. Die Perioden liegen im allgemeinen über 20 sec.

Das Beobachtungsmaterial von S_{R_3} ist sehr spärlich. Erst im Bereich der großen Herdentfernungen läßt sich eine Laufzeitkurve zeichnen: $T = T_0 + 43^m 47^s + \frac{(\Delta - 13\,000) \text{ km}}{6,8 \text{ km/sec.}}$.

Bei den Hauptwellen wird der Einsatz der unregelmäßigen, langperiodigen Welle (L_1) und der regelmäßigen Hauptphase (L_2) unterschieden. Allgemein ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeit von 4,03 km/sec.

Der verhältnismäßig hohe Wert ist vermutlich auf den vorwiegend ozeanischen Wellenweg bei allen Stationen zurückzuführen. Die Beobachtungen aus Originaldiagrammen ergeben für sich folgendes Bild:

$\mathfrak{B}_{L_1, \text{ocean}} = 4,45 \text{ km/sec.}$; $\mathfrak{B}_{L_1, \text{kont}} = 4,25 \text{ km/sec.}$; $\mathfrak{B}_{L_2, \text{kont}} = 3,75 \text{ km/sec.}$
 Dann besteht folgender Zusammenhang:

$$\frac{\mathfrak{B}_{\text{kont}}}{\mathfrak{B}_{\text{ocean}}} = 0,94; \quad \frac{\mathfrak{B}_{L_1}}{\mathfrak{B}_{L_2}} = 0,88.$$

Die Periodenmessung ergab für die amerikanischen Stationen, also bei vorwiegend ozeanischem Wellenweg, Werte von 20 sec. und mehr, während die europäischen Stationen solche von 18—20 sec. besitzen. Beachtenswert ist, daß die Nachläuferwellen allgemein kleinere Perioden als die Hauptphase aufweisen.

II. Die Epizentralbestimmung.

Methoden und ihre Anwendung auf das Beben vom 26. Juni 1924.

Wie in der Einleitung erwähnt, gingen der vorliegenden Bearbeitung bereits 3 Epizentralbestimmungen voraus:

1. KRUMBACH:

$$\varphi = 56,3^{\circ} \text{ sdl.}; \quad \lambda = 158^{\circ} \text{ ö. v. Gr. } \quad O = 1^{\text{h}} 37^{\text{m}} 23^{\text{s}} \quad (4)$$

2. MACELWANE:

$$\varphi = 56^{\circ} 56' \pm 14' \text{ sdl.}; \quad \lambda = 155^{\circ} 38' \pm 77' \text{ ö. v. Gr.} \\
 O = 1^{\text{h}} 37^{\text{m}} 25^{\text{s}} \pm 2^{\text{s}} \quad (2)$$

3. TURNER:

$$\varphi = 57^{\circ} \text{ sdl.}; \quad \lambda = 159^{\circ} \text{ ö. v. Gr. } \quad O = 1^{\text{h}} 37^{\text{m}} 20^{\text{s}} \quad (5)$$

Diese Gegenüberstellungen und auch die Fehlerangaben bei MACELWANE zeigen eine gewisse Schwierigkeit in der Epizentralbestimmung bei diesem Beben, die in der Hauptsache auf einen Mangel von guten Stationen in der Nähe des Herdgebietes zurückzuführen ist.

Da aber eine möglichst genaue Kenntnis des Epizentrums die wichtigste Grundlage für jede Bearbeitung eines Bebens bildet, muß zunächst entschieden werden, welcher von den drei Herden als Ausgangspunkt für die weiteren Untersuchungen zu wählen ist.

Für die allgemeine Bearbeitung in der Zusammenstellung der „*Gut ausgeprägten Beben des Jahres 1924* (4)“ wurden nur die Angaben der einzelnen Stationsberichte verwertet. Für diese Bearbeitung wurde das Beobachtungsmaterial durch Diagramme und Auswertungen von Stationen innerhalb 10000 km Herdentfernung wesentlich erweitert. Mit diesen Ergänzungen wird zunächst eine genaue Prüfung der bereits vorliegenden Ergebnisse vorgenommen.

Die verschiedenen Methoden zur Epizentralbestimmung seien im einzelnen wiedergegeben, um Möglichkeiten und Wege darzulegen, die bei etwas komplizierten Epizentralbestimmungen verwendet werden können.

Das Wichtigste ist zunächst eine Prüfung, welche Stationen eines vorliegenden Beobachtungsmaterials für eine Epizentralbestimmung überhaupt in Frage kommen.

Zu diesem Zwecke wird zunächst aus den Herdentfernungen Δ_{S-P} die Herdzeit O berechnet. Stark abweichende Werte von O zeigen die herausfallenden Stationen an. Die folgende Tabelle (1) enthält das Ergebnis dieser Rechnung.

Tabelle 1. Das Beobachtungsmaterial der näheren Stationen.

Station	Einsatzzeit		Entfernung Δ_{S-P}	O_{S-P}	Δ_{Korr}
	P	S			
	h m s	h m s	km	h m s	km
Wellington .	1 41 45	1 45 15	2 100	1 37 16	2 150
Riverview ..	42 38	46 58	2 700	37 06	2 670
Malabar	48 02	56 47	7 300	37 07	7 200
Batavia	48 10	57 02	7 450	37 06	7 400
Manila	{ 49 32 49 37	(59 31)	{ 8 900 8 700	37 14 —	{ 8 950
Kapstadt ...	50 00	2 00 30	9 600	37 07	9 520
La Plata ...	50 04	{ 00 29 00 35	{ 9 500 9 600	37 16 37 11	{ 9 600
Zi-ka-wei ..	50 43	01 50	10 400	37 10	10 400
Im Mittel..				1 ^h 37 ^m 10 ^s	

Die Übereinstimmung in der Herdzeit erscheint für die angegebenen Stationen ausreichend. Daher wurde eine Epizentralbestimmung mit den Werten Δ_{S-P} nach dem Verfahren von ROSENTHAL-KLOTZ (9), und zwar aus Zweckmäßigkeitsgründen für die Stationen der südlichen Halbkugel durchgeführt.

Bei der praktischen Ausführung gehen die Standlinien für die Stationen Riverview, Batavia, Malabar und Kapstadt nahezu durch einen Punkt, während die Herdentfernung von Wellington viel zu groß erscheint. Ebenso fallen die Beobachtungsergebnisse von La Plata ganz heraus. Es ergibt sich als Epizentrum (1)

$$\varphi_1 = 57,0^\circ \text{ sdl.}, \lambda_1 = 162,5^\circ \text{ ö. v. Gr.}$$

Tabelle 2. Beobachtungsergebnisse für Epizentrum (1).

Station	Entfernung Δ_{S-P}	Δ_1	Stoßzeit O_1	Δ_2	Stoßzeit O_2
	km	km	h m s	km	m s
Wellington .	2 100	1 960	6 37 32	2 000	37 27
Riverview .	2 700	2 710	37 06	2 680	11
Malabar . .	7 300	7 270	37 09	7 190	13
Batavia . . .	7 450	7 410	37 08	7 320	16
Manila . . .	{ 8 900 { 8 700	8 820	37 18	8 770	26
La Plata . .						9 600	9 110	37 36	9 150	34
Kapstadt . .	9 600	9 340	37 21	9 300	22

Die für Wellington berechnete Stoßzeit liegt für das Epizentrum (1) gegenüber den übrigen Stationen viel zu spät. Aus diesem Grunde wurde bei den Herdkoordinaten zunächst eine Längskorrektur angebracht.

$$\varphi_2 = 57^\circ \text{ sdl.},$$

$$\lambda_2 = 161^\circ \text{ ö. v. Gr.}$$

Die Werte für dieses Epizentrum (2) sind auch in der obigen Tabelle enthalten und zeigen kein befriedigendes Ergebnis.

Der nächste Weg ist jetzt, auf Grund der in Tabelle 1 gefundenen mittleren Herdzeit eine allgemeine Korrektur an den aus S—P gefundenen Herdentfernungen anzubringen. Auch diese korrigierten Werte sind in der Tabelle (1) enthalten. Es ergibt sich nach dem graphischen Verfahren folgendes Epizentrum:

$$\varphi_3 = 57,2^\circ \text{ sdl.}, \lambda_3 = 159,5^\circ \text{ ö. v. Gr.}$$

Das Ergebnis für dieses Epizentrum ist:

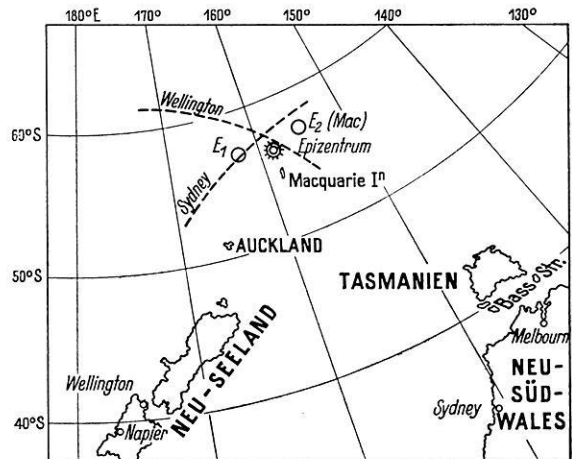


Abb. 1. Epizentralgebiet des Bebens vom 26. Juni 1924.

- Standlinien.
- E_1 : 1. Näherung aus Δ_{S-P} .
- E_2 : Bearbeitung von MACELWANE.
- * Endgültiges Epizentrum dieser Bearbeitung.

Station	Entfernung		O	Station	Entfernung		O
	Δ_{korr}	Δ_{ber}			Δ_{korr}	Δ_{ber}	
	km	km	m s		km	km	m s
Wellington .	2 150	2 070	37 16	Manila	8 950	8 720	37 23
Riverview .	2 670	2 670	37 07	Kapstadt . . .	9 520	9 240	37 26
Malabar . . .	7 200	7 130	37 15	La Plata . . .	9 600	9 190	37 31
Batavia . . .	7 400	7 260	37 12				

Auch diese Ergebnisse zeigen keine gute Übereinstimmung.

Unter den angeführten Stationen haben Kapstadt und La Plata bei gleichen Einsatzzeiten P auch die gleiche Epizentralentfernung.

Station	Einsatzzeit P	Entfernung $\Delta_{\text{S-P}}$	φ	λ
	h m s	km		
Kapstadt	1 50 00	9 600	33° 56' sdl.	18° 29' ö. v. Gr.
La Plata	1 50 04	9 600	33° 54' sdl.	57° 51' w. v. Gr.

Da nach der Lage der beiden Stationen für diese Untersuchungen deren Breiten als gleich angesehen werden können, scheint es möglich, den mittleren Meridian zwischen beiden Stationen als Meridian des Epizentrums anzusehen und die Breite aus der Epizentraldistanz $\Delta = 9600$ km zu berechnen. Die Durchführung führt zu den Koordinaten:

$$\varphi = 52^\circ 50' \text{ sdl.}, \lambda = 160^\circ 10' \text{ ö. v. Gr.}$$

Diese Werte stehen aber in keinem Zusammenhang mit den übrigen Ergebnissen.

Geht man jetzt von der Vermutung aus, daß die aus S—P bestimmte Epizentralentfernung von Wellington mit einem gewissen Fehler behaftet ist, so besteht die Möglichkeit, aus den Daten der übrigen Stationen und der Einsatzzeit des ersten Vorläufers von Wellington, eine verbesserte Entfernung zu bestimmen.

Aus den aus S—P bestimmten Entfernungen berechnet man für jede Station die absolute Laufzeit der P-Wellen vom Herde zur Station und die Differenz der Einsatzzeiten $P_{\text{Station}} - P_{\text{Wellington}}$. Aus diesen Werten ergibt sich dann die Laufzeit der P-Welle vom Epizentrum, sowie auch die Herdentfernung für Wellington.

Station	Entfernung	Laufzeit	Einsatzzeiten		T_P (Wellington)	Δ (Wellington)
	Δ_{S-P}	T_P	$P_{Stat.}$	$P_{Well.}$		
	km	m s	m	s	m s	km
Riverview	2 700	5 32		53	4 39	2 200
Malabar .	7 300	10 55	6	17	38	2 180
Batavia .	7 450	11 04	6	25	39	2 200
Manila ..	{ 8 900	{ 12 18	7	47	31 ?	—
	{ 8 700	{ 12 08				
La Plata	{ 9 500	{ 12 48	8	19	34	2 150
	{ 9 600	{ 12 53				
Kapstadt	9 600	13 33	8	58	35	2 160
Zi-ka-wei	10 400	12 53	8	15	38	2 190
Mittelwert					4 ^m 37 ^s	2 170 km

Im Laufe der Untersuchungen sind also zwei verbesserte Werte für die Epizentralentfernung von Wellington gewonnen worden. Der erste Wert $\Delta = 2170$ km entspricht einer mittleren Epizentralzeit, der zweite der Einsatzzeit des ersten Vorläufers von Wellington in Verbindung mit den aus der Laufzeitdifferenz S—P gewonnenen Entfernungen der übrigen Stationen.

Die korrigierten Werte von Wellington werden jetzt mit den Beobachtungsergebnissen von Riverview verbunden, die sich auf die guten Aufzeichnungen mehrerer Instrumente stützen.

Die beiden Ansätze:

Wellington	Riverview	φ	λ
2150 km	2670 km	57 ^o .3 sdl.	158 ^o ö. v. Gr.
2170 km	.	57 ^o .3 sdl.	157 ^o .8 ö. v. Gr.

führen zu folgenden Ergebnissen:

Station	Entfernung	Stoßzeit			Entfernung	Stoßzeit	
	Δ_1	O_1				Δ_2	O_1
	km	h	m	s	km	m	s
Wellington . .	2 140	1	37	12	2 160	37	09
Riverview . .	2 660		37	10	2 650	37	12
Malabar . . .	7 050		37	22	7 020	37	24
Batavia . . .	7 210		37	20	7 170	37	23
Manila	8 660		37	31	8 640	37	27
La Plata . . .	9 240		37	29	9 240	37	29
Zi-ka-wei . . .	10 420		37	08	10 400	37	10
Misusawa . . .	10 840		37	14	10 830	37	14
La Paz	10 760		37	25	10 740	37	25
Rio de Janeiro	10 870		37	22	10 880	37	21

Das Epizentrum des Bebens vom 26. Juni 1924. Es zeigt sich aus allen diesen Ansätzen, daß bei diesen Beben alle Verfahren, die sich nur auf die Benutzung der Laufzeitdifferenz S—P stützen, zu keinem befriedigenden Resultat führen.

Man kann jetzt noch die Einsatzzeiten des 1. Verläufers allgemein zur Verbesserung eines der Näherungswerte zugrunde legen, da diese Zeitangaben im allgemeinen mit geringeren Fehlern als die Zeitangaben S—P behaftet sind. Das auf diesem Wege gefundene Epizentrum ist dann:

$\varphi_0 = 56,3^0$ sdl., $\lambda_0 = 158,0^0$ ö. v. Gr., die Stoßzeit $0 = 1^h 37^m 23^s$.

Dieses Epizentrum ist dasselbe, wie in dem Bericht von 1924 (4) früher angegeben wurde. Auch das erweiterte Stationsmaterial für Entfernungen, welche kleiner sind als 11000 km, fügt sich zwanglos zu den bisherigen Daten ein.

Zum Schluß seien die drei zitierten Epizentralbestimmungen mit den Abweichungen des 1. Vorläufers von der benutzten Laufzeitkurve gegenübergestellt.

Tabelle 3. Vergleich der Epizentralbestimmungen.

Station	Δ_{S-P}	Δ ber.	()	T ber. — T beob.		
				KR.	MAC.	TUR.
	km	km	h m s	s	s	s
Wellington . .	2 100	2 020	1 37 23	—2	—14	+1
Riverview . . .	2 700	2 560	37 20	+3	—3	—8
Sydney	2 560	2 560	37 25	—2	—	—10
Apia	5 350	5 380	37 23	0	—5	+5
Malabar	7 300	6 990	e 37 24	{ —1	.	+3
			i 37 26				{ —3
Batavia	7 450	7 130	e 37 24	{ —1	+13	+3
			i 37 26				{ —3
Manila	8 700	8 600	e 37 29	{ —6	+14	+3
			i 37 32				{ —9
Kapstadt	9 600	9 260	37 21	+2	.	+3
La Plata	9 600	9 310	37 26	—3	.	+9
Honolulu	10 070	9 560	e 37 19	{ +4	.	0
			i 37 24				{ —1
Zi-ka-wei	11 000	10 320	37 13	+10	—1	—10
Mizusawa . . . .	.	10 730	37 19	—4	.	—10
La Paz . . . . .	.	10 850	e 37 21	{ +2	.	0
			i 37 23				{ 0
Rio de Janeiro .	.	10 970	e 37 12	{ +11	+5	{ +5
			i 37 20				{ —3	{ —2

Die Abweichungen der Beobachtungsergebnisse von MACELWANE (2) und TURNER (5) entsprechen deren eigenen Angaben in den oben

zitierten Arbeiten. Aus dieser Gegenüberstellung gewinnt es den Anschein, als ob die in dieser Bearbeitung vorgenommene Epizentralbestimmung, sowie auch die benutzte *Jenaer mittlere Laufzeitkurve von 1929* (4) bei diesem Beben den wirklichen Verhältnissen am besten entspricht. Die Schwierigkeiten bei der Epizentralbestimmung aus der Laufzeitdifferenz S—P liegen offenbar in der allgemeinen Unsicherheit für die Bestimmung der Einsatzzeit des 2. Vorläufers begründet, wie auch die beigefügten Diagramme erkennen lassen.

Infolge dieser Unsicherheit kann der gefundene Wert für die Epizentralkoordinaten nur eine Näherung sein. Daher wurde auch die Angabe der Herdlage in Bruchteilen von Graden gemacht.

Diese erneute Epizentralbestimmung mit erweitertem Beobachtungsmaterial ergibt also keinen Unterschied gegenüber den Angaben im Jenaer Katalog der „*Stärkeren Registrierungen des Jahres 1924*“. Wenn daher die verschiedenen Ansätze zur Epizentralbestimmung ausführlich besprochen sind, so geschah es hauptsächlich, um die Anwendungsmöglichkeit verschiedener Wege und Methoden an einem besonders instruktiven Beispiel zu veranschaulichen.

III. Der erste Vorläufer.

Die normale Vorläuferwelle P_n . In dem Katalog der stärkeren Beben des Jahres 1924 waren für das vorliegende Beben die Abweichungen von der Laufzeitkurve für Stationen bis 11000 km Herdentfernung angegeben worden (Rio de Janeiro). Bei dieser neuen Bearbeitung kam eine Reihe Stationen innerhalb dieses Intervalles hinzu.

Station	δ	Station	δ	Station	δ
	s		s		s
Wellington	— 2	Apia	0	Johannisburg . . .	— 21
Melbourne	+ 46	Santiago	— 9	Colombo	+ 13
Sydney-Hector . .	+ 6	Kapstadt	— 2	Nagasaki	+ 7
Adelaide	+ 22	Honolulu	+ 4	Osaka	+ 6
Perth	+ 2	Hongkong	+ 4	Nagoya	+ 28
Suwa	3 ^m 49 ^s	Taihoku	— 17	Calcutta	+ 1

Von großer Bedeutung für die Richtigkeit des früher gewählten Epizentrums ist, daß gerade die Einsatzzeit von Wellington, der dem Herde am nächsten gelegenen Station, sich der Laufzeitkurve ohne nennenswerte Abweichungen anpaßt. Eine weitere Stütze der bisherigen Resultate ist auch die Aufzeichnung von Apia, die in einer Kopie der Bearbeitung von MACELWANE beigefügt war.

Gewisse geringfügige Unterschiede gegenüber der ersten Bearbeitung in bezug auf die Abweichungen von der Laufzeitkurve sind darauf zurückzuführen, daß bei der neuen Untersuchung schon die verbesserte Laufzeitkurve von 1929 verwendet wurde.

Bei dem erweiterten Beobachtungsmaterial der Stationen unter 11000 km Herdentfernung treten zum Teil nicht unerhebliche Abweichungen auf. Ein Vergleich der Daten über die instrumentellen Einrichtungen zeigt jedoch, daß den Aufzeichnungen dieser Stationen weniger Gewicht zuzuordnen ist.

Ein Vergleich der in den Stationsberichten angegebenen Werte mit den für diese Bearbeitung vorliegenden Originalaufzeichnungen oder Kopien ergab keine nennenswerten Unterschiede.

Tabelle 4. Das Beobachtungsmaterial der Vorläuferwelle P_n.

Station	Ent- fernung	T _{ber.}			T _{beob.}			δ	δ Mac	Station	Ent- fernung	T _{ber.}			T _{beob.}			δ	δ Mac
		h	m	s	h	m	s					h	m	s	h	m	s			h	m	s
Wellington .	2 020	1	41	43	1	41	45	— 2	— 14	Nagoya . .	10 360	50	52	50	24	+ 28	.	.	
Melbourne .	2 270		42	10		41	26	+ 44	.	Mizusawa .	10 730	51	10	51	06	+ 4	.	.	
Sydney-R. .	2 560		42	40	e 42 37	42 39	+ 3	+ 1	— 3	La Paz . .	10 850	51	15	e 51 13	51 23	+ 2	+ 8	.	.
Sydney . . .	2 560		42	40		42 36	+ 4	.	.	Calcutta .	10 900	51	17		51 16	+ 1	.	.	
Adelaide . .	2 800		43	04		43 42	+ 22	.	.	Rio de Jan.	10 970	51	19	e 51 08	51 15	+ 11	+ 4	.	.
Perth . . .	4 210		45	00		44 58	+ 2	.	.	Hyderabad	10 980	51	20		51 33	— 13	.	.	
Suwa . . .	4 570		45	25		41,6	3m 49s	.	.	Bombay . .	11 450	51	39		51 29	+ 10	.	.	
Apia	5 380		46	22	e 46 22	46 34	0	— 12	— 5	Simla . . .	12 300	52	02		52 06	— 4	.	.	
Malabar . .	6 990		47	59	e 48 00	48 04	— 1	— 5	.	Mazatlan .	12 460	52	19	52 04	52 25	+ 15	— 6	.	.
Batavia . .	7 150		48	09	e 48 08	48 10	+ 1	— 1	+ 13	Pasadena .	12 750	52	31		52 19	+ 12	— 19	.	.
Manila . . .	8 600		49	26	e 49 32	49 37	— 6	— 11	+ 14	Berkeley .	12 860	52	35		52 39	— 4	— 3	.	.
Santiago . .	9 040		49	48		49 57	— 9	— 17	.	Victoria . .	13 710	53	11		53 12	— 1	— 3	.	.
Kapstadt . .	9 260		49	58		50 00	— 2	.	.	Heluan . .	14 950	53	59		54 10	— 11	.	.	
La Plata . .	9 310		50	02		50 04	— 2	.	.	Chicago . .	15 170	54	08		54 13	— 5	+ 7	.	.
Honolulu . .	9 560		50	13	e 50 09	50 14	+ 4	— 1	.	Sverdlovsk.	15 260	54	11		54 12	— 1	.	.	
Hongkong . .	9 650		50	18		50 14	+ 4	.	.	Ottawa . .	16 160	54	48	? 54 37	55 09	+ 11?	+ 2	.	.
Taihoku . .	9 670		50	19		50 36	— 17	.	.	Budapest .	17 070	55	23	? 55 09	55 58	+ 14	.	.	
Johannisburg	9 700		50	21		50 42	— 21	.	.	Straßburg .	17 820	55	55		55 58	— 3	.	.	
Colombo . .	9 920		50	31		50 18	+ 13	— 4	.	Uccle . . .	18 160	56	08		56 10	— 2	.	.	
Nagasaki . .	10 240		50	48		50 41	+ 7	.	.	Paris . . .	18 180	56	08		56 00	+ 8	.	.	
Zi-ka-wei .	10 320		50	51		50 41	+ 10	— 1	.	De Bilt . .	18 180	56	08		56 11	— 3	.	.	
Osaka . . .	10 330		50	51		50 45	+ 6	.	.	Oxford . .	18 560	56	24		56 33	— 9	.	.	

Die Laufzeitkurve der P_n -Wellen kann demnach bis zu einer Entfernung von 18560 km (Oxford) verfolgt werden. Gerade auch die Ergebnisse der 5 weitesten Stationen, Straßburg, Uccle, Paris, De Bilt, Oxford zeigen auffallend geringe Abweichungen von der Laufzeitkurve. Damit ist auch eine weitere Bestätigung für die Richtigkeit des gewählten Epizentrums und die Gültigkeit der Laufzeitkurven gegeben. Registriert wurde die P_n -Welle in großen Herdentfernungen nur von den Galitzin-Seismometern.

Für das Epizentrum von MACELWANE (2) dagegen liegt im Laufzeitschema die mittlere Laufzeitkurve unterhalb der Beobachtungspunkte. Es besteht daher die Möglichkeit, die bessere Übereinstimmung auf die abweichende Herdlage zurückzuführen, da die Herdentfernungen in beiden Bearbeitungen bei den weiteren Stationen um über 150 km differieren.

Allgemein zeigt ein Vergleich der beiden Bearbeitungen,

daß wohl im ganzen Bereich die Abweichungen von der benutzten Laufzeitkurve geringer sind als bei MACELWANE.

Bei einer Reihe von Stationen wird bei dem 1. Vorläufer ein doppelter Einsatz ep und iP beobachtet. Hierbei fällt auf, daß die früheren Einsätze der mittleren Laufzeitkurve von 1929 entsprechen, während die scharfen Einsätze iP später eintreffen, als nach der Laufzeitkurve zu erwarten ist (s. Tabelle 5, S. 18).

Das Beobachtungsmaterial ist nicht umfangreich genug, um eine Gesetzmäßigkeit in den Aufspaltungen des 1. Vorläufers erkennen zu lassen. Die gefundenen Werte sind meist kleiner

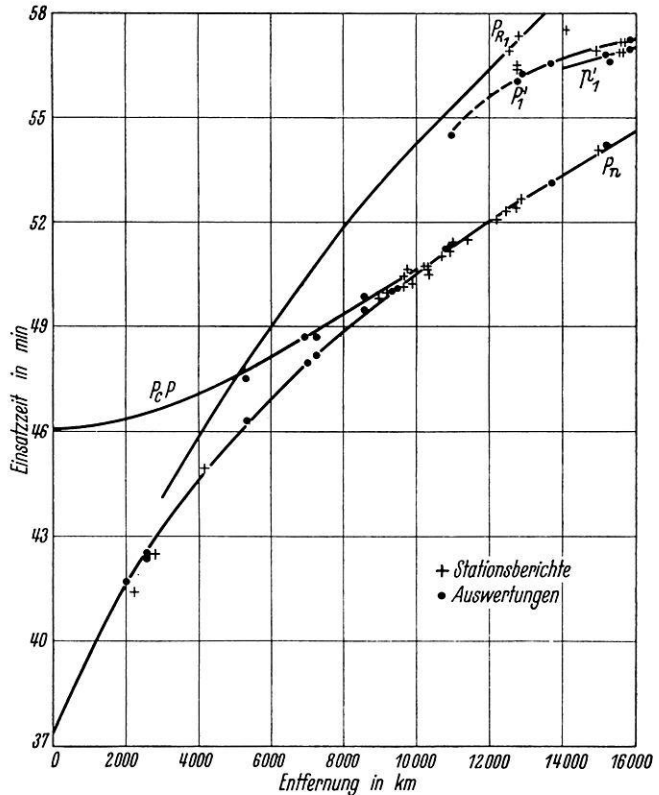


Abb. 2. Einsatzzeiten der Vorläuferwellen bis $\Delta = 16000$ km.

Tabelle 5. Aufspaltung der P_n -Welle.

Station	Entfernung	p	P	δ
	km	h m s	m s	s
Riverview	2 560	1 42 37	42 39	2
Apia	5 380	46 22	46 34	12
Malabar	6 990	48 00	48 04	4
Batavia	7 150	48 08	48 10	2
Manila	8 600	49 32	49 37	5
Honolulu	9 560	50 09	50 14	5
La Paz	10 850	51 13	51 23	10
Rio de Janeiro .	10 970	51 08	51 15	7

als die bei MOHORoviČIĆ (3) allgemein festgestellten Zeitdifferenzen.

Die Kernwelle P_1' und ihre Abspaltungen p_1' und P_2' . Nach den bisherigen Erfahrungen macht sich die Schattenwirkung des Erdkernes, welche aus dem Amplitudenverhältnis der direkten Wellen und der ersten Reflexion beobachtet wird, bei einer Entfernung von 102° (11300) km bemerkbar. Bei diesem Beben überwiegt die Amplitude der 1. Reflexion bereits bei den Stationen geringerer Entfernung, Rio de Janeiro ($\Delta = 10970$ km) und Hyderabad ($\Delta = 10980$ km).

Im Diagramm von Rio de Janeiro (EW) tritt bei der Einsatzgruppe im Bereich der ersten Reflexion P_{R1} innerhalb der Gruppe ein deutlicher Charakterwechsel auf. Der 2. Teil dieser Gruppe läßt sich ohne weiteres auf Grund früherer Laufzeitkurven als 1. Reflexion deuten. Der erste Teil muß also einer früheren Phase entsprechen. Es besteht daher die Möglichkeit, diesen Einsatz als Kernwelle P' anzusehen, da eine Extrapolation der Jenaer Laufzeitkurve von 1929 für diese Entfernung eine Laufzeit ergibt, die nur um + 7 sec. von den Beobachtungen abweicht. Auffallend ist dabei die starke Amplitude dieses Einsatzes. Leider aber ist gerade das Beobachtungsmaterial in diesem Bereich unzureichend, um weitere sichere Schlüsse zu ermöglichen.

Bis zu einer Entfernung von 12750 km (Veracruz) liegen für die Kernwelle P' nur die Ergebnisse von Berichten vor, die sehr große Unsicherheiten enthalten. Das Material der weiter entfernten Stationen paßt sich recht gut der bereits vorhandenen Laufzeitkurve an. Zwischen 12750 und 15000 km liegt als einzige Beobachtungsstation Victoria (13710 km) vor, von deren Aufzeichnung eine Kopie zur benutzt wurde.

Von 15000 km ab stand ein umfangreiches Material zur Verfügung, das gegenüber der Bearbeitung von MACELWANE (2) durch weitere

Originaldiagramme von Stationen mit großen Herdentfernungen eine sehr wesentliche Erweiterung erfuhr.

Betrachtet man zunächst die Aufzeichnungen in Entfernungen größer als 17000 km, so bemerkt man eine Eigentümlichkeit. Die eigentliche P'-Welle setzt sich aus 2 Wellengruppen zusammen, die mit p_1' und P_1' bezeichnet werden mögen. Dabei ist p_1' eine vor dem eigentlichen Einsatz gelegene Welle kleinerer Amplituden. Hieraus folgt bei Berücksichtigung beider Einsätze eine Aufspaltung der Laufzeitkurve in 2 Äste, wie sie ähnlich bereits bei der direkten Welle in anderen Herdentfernungen beobachtet wurde.

Von 17600 km ab verlaufen beide Kurvenäste fast parallel zur Abszissenachse. Die Laufzeit für p_1' beträgt $20^{\text{min}} 07^{\text{sec}}$ und für P_1' $20^{\text{min}} 15^{\text{sec}}$. Es liegt sofort die Vermutung nahe, daß dieses Ergebnis über die Beobachtungsgenauigkeit hinausgeht. Jedoch wird diese Tatsache durch eine große Reihe von Registrierungen gestützt. Dabei handelt es sich um Stationen, die instrumentell sehr gut ausgerüstet sind und bei den meist mit größeren Papiergeschwindigkeiten als 12 mm/min registriert wurde.

Von einer Entfernung $\Delta = 18500$ km ab wird nur der spätere Einsatz P_1' beobachtet.

Die Zeitdifferenz zwischen beiden Einsätzen beträgt 8 sec. und ist daher auch in guter Übereinstimmung mit den von MOHORVIČIĆ (3) schon früher beobachteten Werten für die P_n -Phase.

Untersucht man die Aufspaltung der P'-Welle auch in den geringeren Entfernungen, so werden 2 Einsätze in den Seismogrammen von Toronto ($\Delta = 15810$ km), Ottawa ($\Delta = 16160$ km), Wien ($\Delta = 17280$ km) und San Fernando ($\Delta = 17500$ km) beobachtet. Ebenso enthält der Bericht von Washington 2 Angaben.

Auf Grund dieses Materiales liegt es nahe, diese Einsätze als Fortsetzung der oben gefundenen Wellen anzusehen. Die spätere Kurve P_1' biegt dann bei $\Delta = 17700$ km um und geht bei $\Delta = 16000$ km in die bisher angenommene Laufzeitkurve der P'-Welle über. Die zweite Kurve der früheren Einsätze p' verläuft nicht ganz parallel zur Hauptkurve, sondern es beträgt die Laufzeitdifferenz bei $\Delta = 15500$ km etwa 12 sec.

Wenn auch das Beobachtungsmaterial nicht sehr umfangreich ist, so spricht doch die Zuverlässigkeit der instrumentellen Einrichtung der in Frage kommenden Stationen für die Realität der beiden Kurvenäste. Die beiden Kurven gewinnen dadurch an Sicherheit, daß sich Einzelbeobachtungen aus Berichten gruppenweise den beiden Kurven anpassen. Außerdem stimmt die Kurve der stärkeren Einsätze bis 17000 km Herd-

entfernung bis auf 2 sec. mit der mittleren P'-Kurve überein, während die größte Differenz 6 sec. beträgt.

Zwischen 17000 km und 17500 km Herdentfernung liegen die Beobachtungen meist auf dem früher gelegenen Ast. Die beifolgende Tabelle gibt die obigen Zusammenhänge wieder.

Tabelle 6. Laufzeitkurven der Kernwelle P₁' in großen Herdentfernungen.

Herd- entfernung	P' alt		p ₁ ' neu		δ	P ₁ ' neu		δ	P'—p'
	m	s	m	s	s	m	s	s	s
11 000	17	16	.	.	.	.	.	.	.
500		52	.	.	.	.	.	.	.
12 000	18	19	.	.	.	18	19	0	.
500		39	.	.	.		39	0	.
13 000		54	.	.	.		54	0	.
500	19	06	.	.	.	19	06	0	.
14 000		16	.	.	.		16	0	.
500		25	.	.	.		25	0	.
15 000		34	19	22	+12		34	0	+12
500		43		31	+12		43	0	+12
16 000		51		40	+11		51	0	+11
500		57		49	+8		58	—1	+9
17 000	20	03		57	+6	20	05	—2	+8
500		07	20	05	+2		12	—5	+7
600		08		07	+1		14	—6	+7
700		09		07	+2		15	—6	+8
18 000		10		07	+3		15	—5	+8
500		13		07	+6		15	—2	+8
19 000		16		07	+9		15	—1	+8

P₂'. Die von I. LEHMANN (10) und J. B. MACELWANE (2) bereits angegebene Kurve im Bereich der Kernwelle hat auch durch das erweiterte Beobachtungsmaterial eine starke Stütze gefunden. Die gute Übereinstimmung des reichhaltigen Beobachtungsmaterials läßt den Verlauf der Kurve sehr genau festlegen. Auffallend ist, daß die Beobachtungszeiten der Stationen in größerer Herdentfernung, Oxford und Stonyhurst, ziemlich stark von der allgemeinen Kurve abweichen, obwohl die Einsätze in den Registrierungen sehr scharf und deutlich sind.

Nach I. LEHMANN ergibt sich für die Laufzeiten dieser Welle folgende Gesetzmäßigkeit:

$$T = T_0 + 20^m 46^s + (\Delta - 160^\circ) \cdot 4, 2 \text{ sec. } (T_0 = \text{Stoßzeit im Epizentrum}).$$

Nach J. B. MACELWANE:

$$T = T_0 + 19^m 29^s + (\Delta - 140^\circ) \cdot 4,5 \text{ sec.}$$

In dieser Arbeit ergab sich folgenden Zusammenhang:

$$P_2' = T_0 + 20^m 02^s + \frac{(\Delta - 16\,500) \text{ km}}{27,0 \text{ km/sec.}}$$

$$\text{oder } T = T_0 + 20^m 04^s (\Delta - 149^0) \cdot 4,1 \text{ sec.}$$

In der vorliegenden Bearbeitung läßt sich also P_2' in einer um 11^0 geringeren Herdentfernung als bei I. LEHMANN beobachten, aber erst um 9^0 größerer Entfernung als bei J. B. MACELWANE. Verlängert man die P_2' -Kurve über ihren Schnittpunkt mit der P_1' -Kurve hinaus, so stimmen der 1. Einsatz von Ithaka und Athen, sowie der 2. Einsatz von Ottawa wesentlich besser zu dieser Kurve als zu einer der beiden anderen Kurven p_1' und P_1' . Es spricht sogar eine gewisse

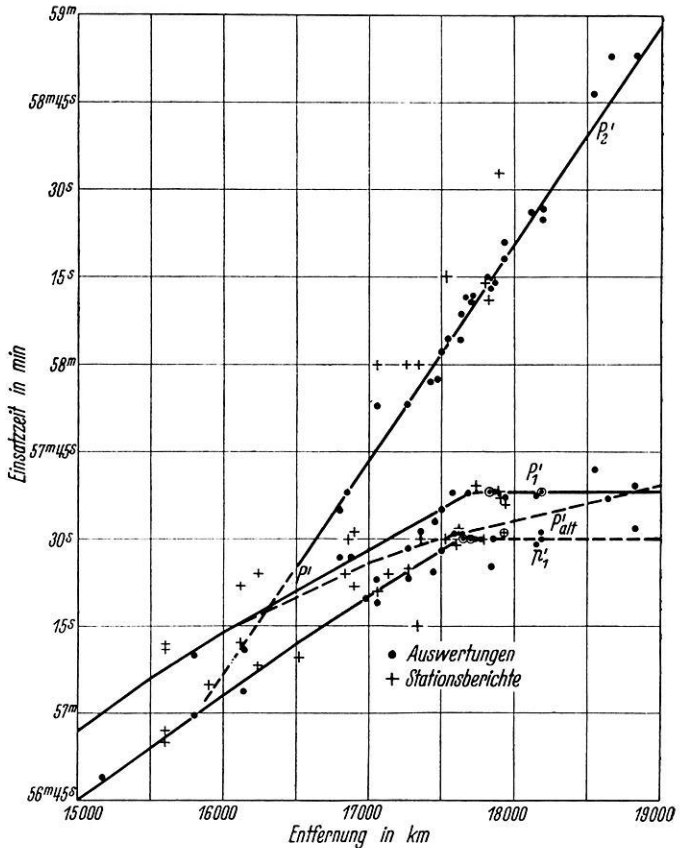


Abb. 3. Einsatzzeiten der p_1' , P_1' u. P_2' -Wellen.

Wahrscheinlichkeit, den Einsatz als P_2' zu deuten, da der früher liegende Einsatz p_1' oft sehr schwach und die Abweichung von P_1' zu groß ist.

Zum Vergleich der 3 Kurven sei ihr Anfangspunkt auf die gleiche Herdentfernung umgerechnet:

$$M: T = T_0 + 20^m 59^s + (\Delta - 160^0) \times 4,5 \text{ s}$$

$$L: = T_0 + 20^m 46^s + (\Delta - 160^0) \times 4,2 \text{ s}$$

$$K: = T_0 + 20^m 49^s + (\Delta - 160^0) \times 4,1 \text{ s}$$

Diese Gegenüberstellung zeigt, daß die Kurve von MACELWANE im Laufzeitschema wesentlich höher (10 bzw. 13 sec.) liegt als die beiden übrigen und wesentlich steiler verläuft. Die beiden letzteren Kurven fallen fast innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit zusammen, da sie in 2—3 sec. Abstand nahezu parallel laufen.

Vergleich der beobachteten und berechneten Laufzeit bei der weitesten Station (Eskdalemuir, $\Delta = 169,4^{\circ}$):

Autor	Berechnet		Beobachtung
	Laufzeit	Einsatzzeit	
MACELWANE . . .	21 ^m 41 ^s	1 ^h 59 ^m 04 ^s	} 1 ^h 58 ^m 53 ^s
LEHMANN	21 ^m 26 ^s	1 ^h 58 ^m 49 ^s	
KRUMBACH	21 ^m 28 ^s	1 ^h 58 ^m 51 ^s	

Diese Gegenüberstellung zeigt sehr deutlich den wesentlich abweichenden Verlauf der MACELWANE-Kurve.

Tab. 7. Die Beobachtungsergebnisse der p_1' -, P_1' - und P_2' -Wellen.

Station	Ent- fernung	P_1' ber.		δ	P_1' ber.		δ	P_2' ber.		δ
		h	m		h	m		h	m		h	m
Rio de Janeiro	10 970	.	.	.	54 37	54 30	+7	.	.	.
Pasadena	12 750	.	.	.	56 09	56 04	+5	.	.	.
Balboa	12 780	.	.	.	56 10	56 23	-13	.	.	.
Berkeley	12 860	.	.	.	56 12	56 14	-2	.	.	.
Viktoria	13 710	.	.	.	56 33	56 34	-1	.	.	.
Heluan	14 950	.	.	.	56 56	56 53	+3	.	.	.
Chicago	15 170	56 48	56 49	-1	.	.	.	.	.	.
Swerdlovsk . . .	15 260	56 50	56 40	+10	.	.	.	.	.	.
Georgetown . . .	15 600	56 55	56 57	-2	.	.	.	.	.	.
Washington . . .	15 600	56 55	56 55	0	57 08	57 12	-4	.	.	.
Cheltenham . . .	15 600	56 55	.	.	57 08	57 11	-3	.	.	.
Toronto	15 810	57 00	57 00	0	57 11	57 10	+1	.	.	.
Ithaka	15 900	57 01	(57 05)	-4	.	.	.	(57 03)	(57 05)	-2
Athen	16 120	57 05	(57 12)	-7	57 16	57 22	-6	(57 11)	(57 12)	-1
Ottawa	16 160	57 06	(57 04)	+2	57 17	57 11	+6	(57 12)	(57 11)	+1
Northfield . . .	16 240	57 07	57 08	-1	.	.	.	.	.	.
Kučino	16 400	57 10	56 53	+17	.	.	.	.	.	.
Trenta	16 520	57 10	.	.	57 21	57 19	+2	.	.	.
Belgrad	16 800	57 17	.	.	57 25	57 27	-2	57 36	57 35	+1
Halifax	16 840	57 17	.	.	57 26	57 24	+2	.	.	.
Mostar	16 860	57 18	.	.	57 26	57 30	-4	.	.	.
Neapel	16 880	57 18	.	.	57 26	{ 57 29 27	{ -3 -1	57 39	57 { 35 42	+1
Lemberg	16 900	57 18	.	.	57 27	{ 57 31 25	{ -4 +2	.	.	.
Ischia	16 900	57 18	.	.	57 27	57 22	+5	.	.	.
Pulkowo	16 980	57 19	57 20	-1	.	.	.	.	.	.
Rocca di Papa	17 060	57 21	57 19	+2	57 29	57 23	+6	57 46	57 53	-7

Tab. 7. (Fortsetzung.)

Station	Ent- fernung	P ₁ ' ber.		δ	P ₁ ' ber.		δ	P ₂ ' ber.		δ
		beob.			beob.			beob.		
		km	h m s		h m s	h m s		h m s	h m s		h m s
Budapest . . .	17 070	57 21	57 21	0	.	.	.	57 46	58 00	—14
Algiers	17 140	57 22	57 24	—2	.	.	.	.	.	.
Florenz	17 280	57 24	57 25	—1	.	.	.	57 56	58 00.	—4
Toledo	17 360	57 25	.	.	57 33	57 31	+2	.	.	.
Malaga	17 460	57 27	57 24	+3	57 34	(57 38)	(—4)	58 01	57 57	+4
Cartuja	17 470	57 27	.	.	57 34	57 33	+1	58 01	57 57	+4
San Fernando .	17 500	57 28	57 28	0	57 35	57 35	0	58 02	58 02	0
Innsbruck . . .	57 520	57 28	57 30	—2	.	.	.	58 03	58 15	—12
München	17 580	57 29	57 30	—1	57 36	(57 38)	—2	58 05	58 04	+1
Barcelona . . .	17 600	57 30	57 29	+1	.	.	.	.	.	.
Chur	57 620	57 30	57 32	—2	.	.	.	.	.	.
Tortosa	17 640	57 30	57 30	0	.	.	.	58 07	58 04	+3
Ravensburg . .	17 660	57 30	57,5	0	57 37	?	.	58 08	58 ⁸ / ₁₀	—1
Upsala	17 680	57 30	57,5	0	57 38	57 38	0	58 09	58,2	—3
Zürich	17 700	57 30	57,5	0	57 38	?	.	58 10	58 11	—1
Potsdam	17 720	57 30	57,5	0	57 38	57,6	+2	58 10	58 12	—2
Moncalieri . . .	17 740	57 30	.	.	57 38	57 39	—1	.	.	.
Neuchâtel . . .	17 780	57 30	57 30	0	.	.	.	58 13	58 11	+2
Lissabon	17 820	57 30	(57 20)	+10	.	.	.	58 14	58 11	+3
Straßburg . . .	17 820	57 30	(57 25)	+5	57 38	57 38	0	58 14	58 15	—1
Heidelberg . . .	17 820	57 30	.	.	57 38	57 38	0	58 14	58 13	+1
Göttingen . . .	17 860	57 30	57,5	0	57 38	57 38	0	59 16	58 14	+2
Feldberg	17 890	57 30	.	.	57 38	57 38	0	58 16	58 33	—17
Besançon	17 900	57 30	.	.	57 38	57 37	+1	.	.	.
Coimbra	57 940	57 30	57 31	—1	57 38	57 37	+1	58 18	58 18	0
Hamburg	17 940	57 30	57 31	—1	57 38	57 37	+1	58 18	58 21	—3
Uccle	18 160	57 30	57 29	+1	57 38	57 37	+1	58 26	58 26	0
Paris	18 180	57 30	57 31	—1	57 38	57 38	0	58 27	58 25	+2
De Bilt	18 180	57 30	57 30	0	57 38	57 38	0	58 27	58 27	0
Oxford	18 560	57 30	.	.	57 38	57 42	—4	58 40	58 50	—10
West-Bromwich	18 650	57 30	.	.	57 38	57 39	—1	58 44	58 53	—9
Stonyhurst . . .	18 740	57 30	.	.	57 38	57 37	+1	58 47	58 57	—10
Eskdalemuir . .	18 830	57 30	57 32	—2	57 38	57 39	—1	58 51	58 53	—2
Edinburgh . . .	18 840	57 30	57 32	—2	57 38	57 42	—4	58 52	59 00	—8

Die reflektierte Welle P_cP. Die am Kern reflektierte Vorläuferwelle wird mit Sicherheit nur an den Stationen Apia, Malabar, Batavia, Manila, La Plata und Honolulu beobachtet. Das spärliche Beobachtungsmaterial von 6 Stationen auf 11000 km Herdentfernung läßt keinerlei sichere Schlüsse zu.

Die Perioden des 1. Vorläufers. In dem folgenden Diagramm (Abb. 4) sind ganz allgemein die gemessenen Vorläuferperioden der der 1. Vor-

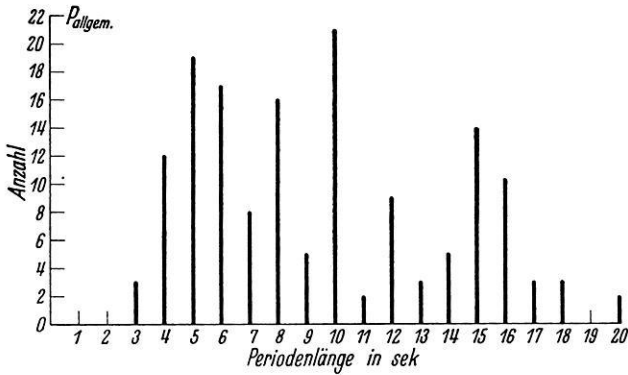


Abb. 4. Periodenhäufigkeit beim 1. Vorläufer.

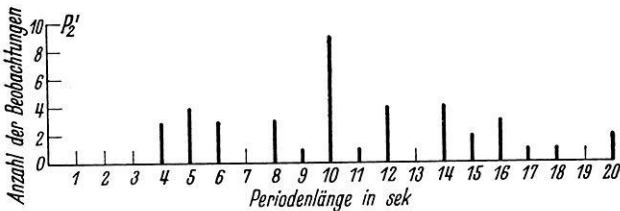
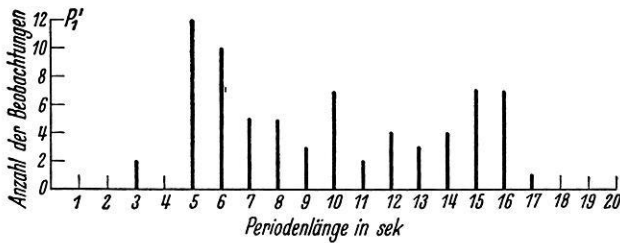
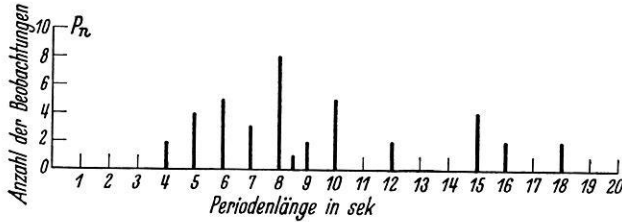


Abb. 5. Periodenhäufigkeit der einzelnen P-Phasen.

Herdentfernungen mit Instrumenten höherer Eigenperiode ausgerüstet sind (Galitzin- und Wiechert-Seismometer).

Nach dem Häufigkeitsdiagramm liegt demnach für die normale Welle P_n die vorherrschende Periode bei 8 sec.

phase zugehörigen Wellen eingezeichnet.

Es bestehen 4 ausgesprochene Häufungsstellen:

1. $T = 4-6$ sec.;
2. $T = 8$ sec.;
3. $T = 10$ sec.;
4. $T = 15$ sec.

Um etwa bestehende Unterschiede zwischen den einzelnen Vorläuferwellen erkennen zu lassen, seien weiter die Häufigkeitsdiagramme für die 3 Hauptphasen P_n , P_1 , P_2 einzeln aufgetragen.

In diesen Diagrammen läßt sich die Abhängigkeit der Periode von der Herdentfernung nicht erkennen. Bei der Zusammenfassung der Periodenwerte stellte sich jedoch deutlich heraus, daß im allgemeinen bei den nähergelegenen Stationen kürzere, bei den entfernteren Stationen längere Perioden auftraten. Allerdings gilt hierbei zu berücksichtigen, daß gerade die Stationen in größeren

Bei den Kernwellen beobachtet man 5 sec., 10 sec. und 15 sec., also vorwiegend Vielfache von 5 sec. Dabei besitzt die später gelegene Kernwelle P_2' allgemein längere Perioden als P_1' .

Charakteristische Merkmale für den ersten Vorläufer. Fast in dem ganzen Bereich setzt sich die erste Vorläufergruppe deutlich als Gruppe von 3 Schwingungen zusammen. Diese Eigentümlichkeit bleibt trotz wechselnder Perioden in allen Komponenten erhalten. Allerdings hat es den Anschein, als ob zwischen 11000 und 16000 km das Schwingungsbild *unregelmäßig* ist. In den größeren Entfernungen tritt die unregelmäßige Schwingungsform neben der Gruppenbildung zu 3 Schwingungen auf.

Tabelle 8. Übersicht über die Einsätze hinter der P-Welle.

+ = Stationsbericht, * = Auswertung MACELWANE, ◆ = Auswertung nach Diagrammen oder Kopien.

Station	Ent- fernung km	PR_1	$ScPcP$	PR_2	PR_3	PR_4	$ScPcS$	$ScPcPcS$	S	PS	$ScPcSP$
Wellington . . .	2060	.	.	.	.	.	.	.	◆	.	.
Melbourne . . .	2270	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Sydney R . . .	2560	◆	.	.	.	.	.	.	◆	.	.
Sydney H . . .	2560	.	.	.	.	.	.	.	◆	.	.
Adelaide . . .	2800	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Perth	4210	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Suwa	4570	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Apia	5380	◆	.	.	*	.	.	.	◆	◆	.
Malabar	6690	.	.	◆	.	.	.	.	◆	.	.
Batavia	7130	◆	.	◆	◆	.	.	.	◆	◆	.
Manila	8600	◆	.	*	*	.	.	.	◆	.	.
Santiago	9040	?	.	*	*	*	.	*	*	*	.
Kapstadt	9260	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
La Plata	9310	◆	.	.	.	◆?	.	.	◆	.	.
Honolulu	9560	◆	.	*	.	.	.	.	◆	.	.
Hongkong. . . .	9650	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.
Taihoku	9670	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Johannisburg . .	9700	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Colombo	9920	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Nagasaki	10240	.	.	.	.	.	.	.	*	.	.
Zi-ka-wei	10320	*	.	*	*	.	*	*	*	*	.
Osaka	10330	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Kobe	10340	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Nagoya	10360	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mizusawa	10370	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Kodai-Kanal . .	10740	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.
La Paz	10850	◆	.	*	.	◆	◆	.	.	◆	.
Calcutta	10900	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.

IV. Die Reflexionen des ersten Vorläufers.

1. Die 1. Reflexion P_{R1}.

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Die P_{R1}-Welle läßt sich nach dem vorhandenen Beobachtungsmaterial in dem ganzen Entfernungsbereich verfolgen. Die Übereinstimmung mit der Bezugskurve (*Jenaer Laufzeitkurven von 1929*) ist im allgemeinen sehr gut. Besonders eng schließt sich das Beobachtungsmaterial in großen Herdentfernungen an die bestehende Laufzeitkurve an. Diese Tatsache bestätigt die Richtigkeit des gewählten Epizentrums und die Gültigkeit der Bezugskurve.

Tabelle 9. Beobachtungsergebnisse der P_{R1}-Welle.

Station	Ent- fernung	T ber.			δ	T beob.		Station	Ent- fernung	T ber.			δ	T beob.	
		km	h	m		s	s			m	s	km		h	m
Riverview . .	2 560	1	43	09	−9	je 43,1 i 43 18	Sverdlovsk .	15 260		59	45	+22	59	23	
Apia	5 380		48	09	−10	48 19	Georgetown .	15 600	2	00	00	−32	00	32	
Batavia . . .	7 130		50	30	.	je 50 58 i 51 12	Washington .	15 600		00	00	−2	00	02	
Manila	8 660		52	40	+16	je 52,0 i 52 24	Cheltenham .	15 600		00	00	−38	00	38	
Santiago . . .	9 040		53	09	.	? 53 53	Toronto . . .	15 810		00	12	−2	00	14	
La Plata . . .	9 310		53	28	−3	53 31	Ithaka	15 900		00	18	+3	00	15	
Johannisburg .	9 700		53	56	−16	54 12	Ottawa	16 160		00	30	0	00	30	
Honolulu . . .	9 560		53	45	−13	53 58	Northfield . .	16 240		00	36	−3	00	39	
Zi-ka-wei . . .	10 320		54	38	+24	54 14	Kučino	16 400		00	43	—	—		
La Paz	10 850		55	15	+12	55 03	Belgrad	16 800	2	01	05	+20	00	45	
Rio de Janeiro	10 970		55	24	{+15 +7	55 09 55 17	Halifax	16 840		01	07	−15	01	22	
Hyderabad . .	10 980		55	24	{−8 −20	e 55 32 i 55 44	Valle di P. . .	16 860		01	08	+1	01	07	
Tacubaya . . .	12 570				.	56 55	Neapel	16 880		01	09	−2	01	11	
Pasadena . . .	12 750		57	14	+11	57 03	Pulkowo	16 980		01	15	−34	01	49	
Lick Obs. . . .	12 840		57	20	−9	57 29	Rocca di Papa	17 060		01	19	+11	(01 08)		
Berkeley . . .	12 860		57	20	−1	57 21	Budapest . . .	17 070		01	21	+20	01	01	
Tucson	13 000		57	29	−12	57 41	Algiers	17 140		01	24	+2	01	22	
Merida	13 330		57	49	—	—	Florenz	17 280		01	31	+10	01	21	
Victoria	13 710		58	12	{+10 +0	NS 58 02 EW 58 12	Wien	17 280		01	31	+6	01	25	
Sitka	13 940		58	26	−27	58 53	Toledo	17 390		01	38	−19	01	57	
Viecqes	14 450		58	59	−1	59 00	Malaga	17 460		01	41	+14	01	27	
St. Louis . . .	14 760		59	14	0	59 14	Cartuja	17 470		01	42	−16	01	58	
Heluan	14 950		59	26	+1	59 25	San Fernando	17 500		01	43	.	01	00	
Chicago	15 170		59	38	+14	59 24	München	17 580		01	48	0	01	48	
							Barcelona . . .	17 600		01	48	−23	02	11	
							Tortosa	17 640		01	51	+16	01	45	
							Ravensburg . .	17 660		01	52	+4	01	48	
							Upsala	17 680		01	53	+3	01	50	
							Zürich	17 700		01	54	+6	01	48	
							Potsdam	17 720		01	55	+10	01	45	

Tabelle 9. (Fortsetzung.)

Station	Ent- fernung	T ber.			δ	T beob.			Station	Ent- fernung	T ber.			δ	T beob.		
		h	m	s		s	m	s			h	m	s		s	m	s
Hohenheim . .	17 740	01	56	+6	01	50	Hamburg . . .	17 940	02	07	+4	02	03				
Lissabon . . .	17 820	02	00	-5	02	05	Uccle	18 160	02	16	+5	02	11				
Straßburg . . .	17 820	02	00	+6	01	54	Paris	18 180	02	18	-2	02	20				
Heidelberg . .	17 820	02	00	+2	01	58	De Bilt	18 180	02	18	+3	02	15				
Göttingen . . .	17 860	02	01	+1	02	00	Oxford	18 560	02	36	-10	02	46				
Feldberg	17 890	02	03	-2	02	05	Stonyhurst . .	18 740	02	43	+5	02	38				
Coimbra	17 940	02	07	-3	02	10	Eskdalemuir . .	18 830	02	50	-8	02	58				

Die Abspaltung der $\overline{S_cP_cP}$ -Welle. Nach den Untersuchungen von B. GUTENBERG (1) findet im Bereich der großen Herdentfernungen eine Aufspaltung der Laufzeitkurve der 1. Reflexion statt. Der zweite Ast wird als Kernwelle $\overline{S_cP_cP}$ gedeutet, deren Brennpunkt bei 15000 km Herdentfernung liegen soll.

Das Beobachtungsmaterial dieses Bebens zeigt bereits bei $\Delta = 12780$ km (Pasadena) und $\Delta = 13750$ km (Victoria) im Bereich der 1. Reflexion eine deutliche Doppelgruppe. Nach den vorhandenen Registrierungen läßt sich die Laufzeitkurve der $\overline{S_cP_cP}$ -Welle bis zu 16500 km, dem Schnittpunkt mit der Laufzeitkurve P_{R1} , verfolgen. Soweit die Registrierungen in diesem Bereich vorliegen, ließ sich innerhalb der Gruppe der 1. Reflexion ein deutlicher Periodenwechsel und Amplitudenzunahme feststellen. Charakteristisch ist, daß die $\overline{S_cP_cP}$ -Welle eine höhere Schwingungsperiode besitzt.

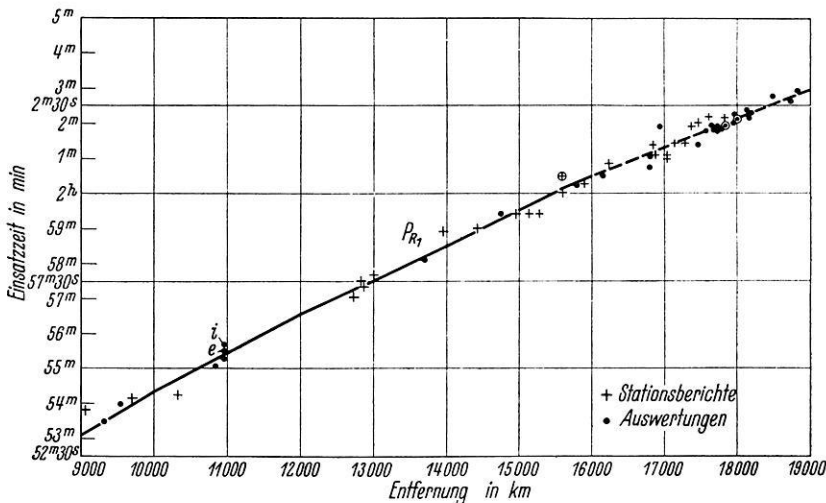


Abb. 6. Einsatzzeiten der P_{R1} -Welle.

Trotz eines sehr umfangreichen Beobachtungsmateriales wurde bei diesem Beben in Entfernungen $\Delta > 15000$ km das Auftreten der $\overline{S_c P_c P}$ nicht mit Sicherheit festgestellt. Daher muß, im Gegensatz zu MACELWANE, der auch in diesem Bereich für eine Reihe von Stationen die beiden Phasen angibt, das Vorhandensein der $\overline{S_c P_c S}$ -Welle bei diesem Beben in großen Entfernungen in Frage gestellt werden.

Tabelle 10. Perioden von P_{R1} und $\overline{S_c P_c P}$.

Station	Δ	Periode P_{R1}	Periode $\overline{S_c P_c P}$	Bemerkungen
	km	s	s	
Pasadena . . .	12 750	7	.	nach MACELWANE
Victoria	13 750	8	14	
Chicago	15 170	5	12	
Washington . .	15 600	.	7	nach MACELWANE
Toronto	15 810	{ N 10	{ 12	
		{ E 7	{ 12	
Ottawa	16 160	.	15	

Die Nachprüfung der Originaldiagramme führt zu dem folgenden Ergebnis:

Tabelle 11. Übersicht über die Beobachtungen der $\overline{S_c P_c P}$ -Welle

Ent- fernung	Station	$\overline{S_c P_c P}$	Ent- fernung	Station	$\overline{S_c P_c P}$	Ent- fernung	Station	$\overline{S_c P_c P}$
km			km			km		
16 880	Neapel .	sehr unsicher	17 500	San Fernando	nicht vor-	17 890	Feldberg . .	nach MACEL-
17 070	Budapest	Angabe P_{R1}			handen			WANE
		(MACELWANE)	17 580	München . .	dgl.	17 940	Coimbra . .	nicht vor-
		entspricht	17 660	Ravensburg .	„			handen
		$\overline{S_c P_c S}$	17 680	Upsala . . .	„	17 940	Hamburg . .	dgl.
17 280	Wien .	nicht vor-	17 720	Potsdam . .	„	18 160	Uccle . . .	sehr unsicher
		handen	17 740	Hohenheim .	„	18 180	Paris	nach MACEL-
17 380	Toledo .	nach MACEL-	17 820	Lissabon . .	nach MACEL-			WANE
		WANE			WANE	18 560	Oxford . . .	nicht vor-
14 460	Malaga .	nicht vor-	17 820	Straßburg .	dgl.			handen
		handen	17 820	Heidelberg .	sehr unsicher	18 740	Stonyhurst .	20 sec. zu
17 470	Cartuja .	nach MACEL-	17 860	Göttingen .	nicht vor-			früh
		WANE			handen	18 830	Eskdalemuir	fraglich

Die Zahl der negativen Ergebnisse in diesem Bereich ist also überwiegend.

Das Diagramm der Periodenhäufigkeit zeigt ein Vorherrschen mehrerer Periodengruppen. Die erste Gruppe liegt zwischen 5 und 9 sec., die zweite Gruppe zwischen 10 und 12 sec. und die 3. Gruppe zwischen 14 und 16 sec.

Trägt man die Perioden der 1. Reflexion in Abhängigkeit von der Herdentfernung auf, so ist das Beobachtungsmaterial im Anfangsbereich sehr spärlich. Zwischen 8000 und 11000 km Herdentfernung liegen eine Reihe von Stationen in verschiedenen Azimuten mit Perioden von 10—12 sec. Innerhalb von Entfernungen von 12500 km bis 16500 km ist das Beobachtungsmaterial von ausschließlich nordamerikanischen Stationen vorhanden. Bei diesen Stationen sind die Periodenwerte 6—9 sec. Häufiger besteht auch der Einsatz in der 1. Reflexion aus einer Doppelgruppe, von der der 1. Teil die kleineren Perioden besitzt.

Nach diesem Ergebnis besteht die Möglichkeit, daß die gefundenen Periodenwerte charakteristisch sind für Entfernungen von 12500 km an, um so mehr, als auch in Entfernungen größer als 16500 km bis 17500 bei europäischen Stationen Perioden unter 10 sec. vorherrschen.

Von 17500 km an gruppieren sich die Perioden um 12 und 16 sec. Auffallend ist, daß sogar

Perioden von 20—22 sec. vorkommen. Auch sind die Perioden innerhalb der einzelnen Komponenten verschieden, so daß die Vermutung besteht, daß im Bereich der 1. Reflexion mehrere verschiedenartige Wellen mit deutlich unterschiedenen Schwingungsrichtungen überlagern,

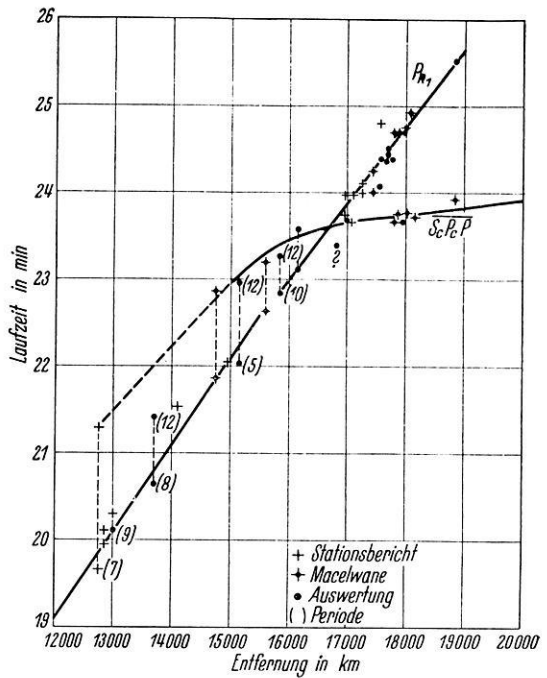


Abb. 7. Aufspaltung der P_{R1} -Welle.

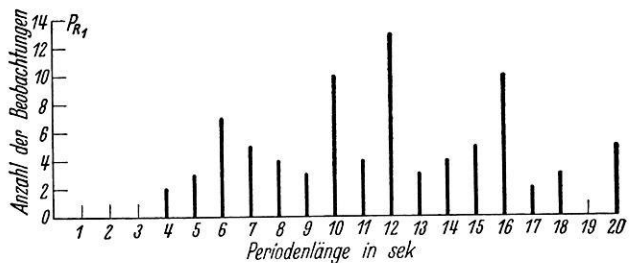


Abb. 8. Periodenhäufigkeit bei P_{R1} .

so daß je nach der Schwingungsart die eine oder die andere von den betreffenden Apparatkomponenten besser aufgezeichnet werden.

Ein Vergleich der Perioden von P_n und P_{R1} zeigt, daß sich die Hauptgruppen der Perioden im Häufigkeitsdiagramm der P_{R1} -Wellen mit denen der direkten Vorläuferwellen decken. Innerhalb der Periodengruppe von 10—12 sec. scheint das Maximum bei den reflektierten Wellen mehr nach 12 sec. verschoben zu sein.

Charakteristische Merkmale der 1. Reflexion. Im Bereich der einmal reflektierten Longitudinalwelle sind im allgemeinen sehr wenig charakteristische Schwingungsbilder zu erkennen. Bei Riverview ($\Delta = 2560$ km), wo die erste Reflexion zuerst beobachtet wird, treten 4 gleichmäßige Schwingungen auf, ebenso bei Batavia ($\Delta = 7130$ km) und Manila ($\Delta = 8660$ km). La Plata ($\Delta = 9310$ km) zeigt in EW, 35 sec. vor P_{R1} , eine scharf abgesetzte Gruppe von 3 Schwingungen. Ähnlich liegt es bei Honolulu ($\Delta = 9560$ km) mit 45 sec. und La Paz (EW, $\Delta = 10850$ km) mit 12 sec.

Von Rio de Janeiro ($\Delta = 10970$ km) ab liegt auch 45 sec. vor der 1. Reflexion eine Gruppe längerer Perioden, die man als P' -Welle (s. o.) deuten kann. Wieweit die bei dieser Betrachtung gefundene Aufspaltung bereits zu P' gehört, muß ein umfangreicheres Beobachtungsmaterial in diesen Bereich zeigen.

Ab Hyderabad ($\Delta = 10900$ km) ist die ganze Reflexionsgruppe nicht so deutlich ausgeprägt und daher auch keine charakteristische Grundform erkennbar. Von 13710 km ab (Victoria) wird die $\overline{S_c P_c P}$ -Welle, unmittelbar an die 1. Reflexion anschließend, beobachtet. Die Amplituden der $\overline{S_c P_c P}$ -Welle sind meist wesentlich stärker als die von P_{R1} . Dabei ist der Schwingungscharakter in der EW-Komponente sehr viel deutlicher ausgeprägt. Die $\overline{S_c P_c P}$ -Welle bildet vielfach eine Gruppe von 4 Schwingungen.

Belgrad und Neapel, die in einem anderen Azimut wie die gleichweiten amerikanischen Stationen liegen, zeigen sehr wenig deutliche Einsätze für die ganze Gruppe der ersten Reflexion.

In den größeren Entfernungen, wo ausschließlich die eigentliche 1. Reflexion beobachtet wird, sind vielfach nur kurze Einsatzgruppen vorhanden. Dabei werden in diesem Bereich Gruppen von 2—4 Schwingungen nebeneinander beobachtet, ohne daß sich irgendwelche besonderen Gesetzmäßigkeiten feststellen lassen.

Eine unbekannt Phase zwischen P_{R1} und P_{R2} in grossen Herdentfernungen. Abgesehen von der wiederholt bestätigten Phase $\overline{S_c P_c S}$ beobachtet man in dem Laufzeitschema, in das ohne Berücksichtigung

etwa vorhandener Laufzeitkurven die Einsätze der einzelnen Wellengruppen eingezeichnet wurden, im Bereich von 17000—18000 km eine Gruppe von Einsätzen, deren Laufzeitkurve fast parallel mit der X-Achse verläuft. Die Laufzeit beträgt 26,1 Min. Allerdings zeigen bei einem Stationsmaterial von 28 Stationen nur 8 diese Welle. Die erste Station ist Lemberg, wo diese Welle als S bezeichnet wurde, ein Zeichen für die Deutlichkeit des Einsatzes. Andererseits aber wieder lassen gerade zwei im Laufzeitschema benachbarte Stationen trotz des Vorhandenseins von Originalregistrierungen die Welle nicht gleichmäßig erkennen. Trotz dieser Unstimmigkeit aber scheint nach den bei diesem Beben gemachten Beobachtungen eine weitere Prüfung bei anderen Beben innerhalb dieses Entfernungsbereiches sehr wesentlich.

2. Die 2. Reflexion P_{R2} .

Allgemeine Ergebnisse. In der nachstehenden Tabelle befindet sich das gesamte Beobachtungsmaterial der P_{R2} -Welle. Die Abweichungen beziehen sich auf die für dieses Beben aufgestellte Laufzeitkurve.

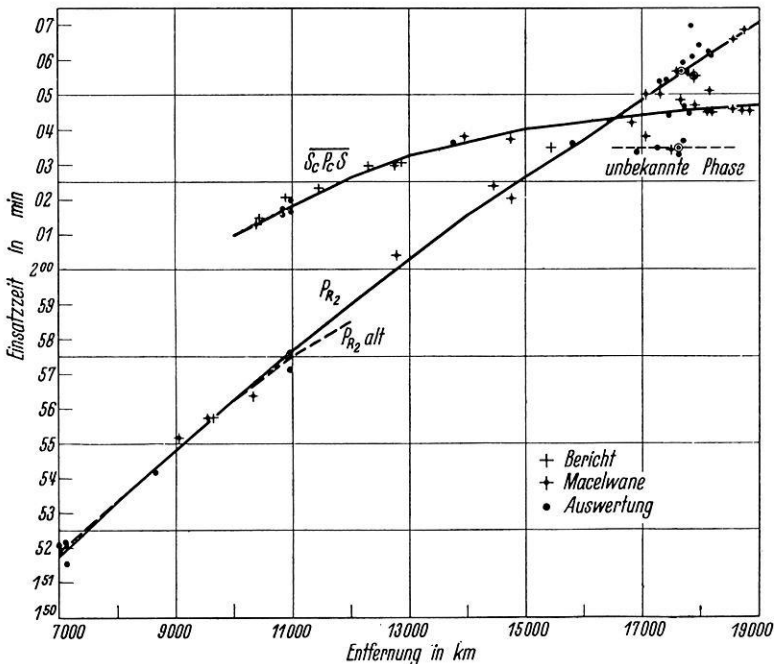


Abb. 9. Laufzeitkurven der P_{R2} und $S_C P_C S$ -Welle.

Die P_{R2} -Welle wird mit Sicherheit etwa von 7000 km ab beobachtet. Eine große Lücke ist im Beobachtungsmaterial zwischen 11000 und 15000 km vorhanden. Die Beobachtungen in Entfernungen größer als 15000 km gruppieren sich um eine gerade Linie.

Es ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$T = T_0 + 25^m 19^s + \frac{(\Delta - 15000 \text{ km})}{15,2 \text{ km/sec}}; \quad 15000 \text{ km} < \Delta < 19000 \text{ km}$$

Diese Gesetzmäßigkeit, sowie auch die vereinzelt Beobachtungsergebnisse erfordern, zunächst für dieses Beben, eine gewisse Abänderung der bestehenden Laufzeitkurve. Von 9000 km ab scheinen allgemein die beobachteten Laufzeiten später als nach den älteren Laufzeitkurven zu liegen. Die Laufzeitkurve der P_{R2} -Welle unter Angabe der Abweichungen von der älteren Kurve ist in Tabelle 12a aufgestellt.

Tabelle 12. Laufzeiten und Perioden der Einsätze der P_{R2} -Welle.
+ Bericht. * MACELWANE. ◆ Eigene Auswertung.

	Station	Entfernung	T ber.		δ	T beob.		τ
			m	s		m	s	
		km						
◆	Malabar . . .	6 990	51	43	— 19	52	02	12
◆	Batavia . . .	7 130	51	53	— 16	e 51,5 i 52	09	8 4
*	Manila . . .	8 660	54	19	+ 4	i 54	15	12
*	Santiago . . .	9 040	54	54	— 15	55	09	—
*	Honolulu . . .	9 560	55	38	(— 5)	(55	43)	—
+	Hongkong . . .	9 650	55	47	+ 1	55	46	—
*	Zi-ka-wei . . .	10 320	56	44	+ 22	56	22	12
◆	La Paz . . .	10 850	57	20				
◆	Rio de Janeiro	10 970	57	39	+ 27	57,2		15
◆	Hyderabad . .	10 980	57	39	+ 7	57	32	12
*	Balboa . . .	12 780	00	02	— 25	00	27	
+	Viecques . . .	14 450	02	04	— 21	02	25	
*	St. Louis . . .	14 760	02	25	+ 25	02	00	
+	Ann Arbour . .	15 440	03	11	— 19	03	30	
◆	Toronto . . .	15 810	03	35	+ 1	03	34	11
*	Budapest . . .	17 070	04	59	— 1	05	00	
*	Florenz . . .	17 280	05	13	+ 13	05	00	23
◆	Wien . . .	17 280	05	13	— 11	05	24	13
◆	Toledo . . .	17 390	05	20	— 14	05	34	12
*	Tortosa . . .	17 640	05	36	— 1	(05	37)	
◆	Ravensburg . .	17 660	05	38	— 4	05	42	10
◆	Upsala . . .	17 680	05	39	— 3	05,7		16
*	Zürich . . .	17 700	05	40	— 14	05	54	10
◆	Potsdam . . .	17 720	05	42	+ 2	05	40	7
*	Lissabon . . .	17 820	05	48	+ 20	(05	28)	12
*	Straßburg . . .	17 820	05	48	+ 17	(05	31)	
◆	Heidelberg . .	17 820	05	48	— 72	07	00	11
◆	Göttingen . . .	17 860	05	51	— 15	06,1		15
◆	Coimbra . . .	17 940	05	56	— 30	06	26	16
◆	Hamburg . . .	17 940	06	56	+ 2	05	54	6
◆	Uccle . . .	18 160	06	11	— 7	06	18	13

Tabelle 12. (Fortsetzung.)

	Station	Entfernung	T ber.	δ	T beob.	τ
*	Paris	18 180	06 12	+ 2	06 10	14
◆	De Bilt	18 180	06 12	+ 1	06 11	20
*	Oxford	18 560	06 37	+ 2	06 35	14
*	Stonyhurst . . .	18 740	06 49	} + 17 - 2	i ₁ 06 32	10
					i ₂ 06 51	

Tabelle 12a. Laufzeitkurven der P_{R2}-Welle.

Entfernung	T neu	δ	T alt	Δ	T neu
km	m s	s	m s	km	m s
7 000	14 20	+ 8	14 28	13 000	22 55
500	15 08			500	23 32
8 000	15 56	- 1	15 55	14 000	24 09
500	16 42			500	44
9 000	17 27	- 2	17 25	15 000	25 19
500	18 11			500	52
10 000	18 54	- 2	18 52	16 000	26 25
500	19 36			500	58
11 000	20 18	- 12	20 06	17 000	27 31
500	58			500	28 04
12 000	21 38	- 30	21 08	18 000	37
500	22 17			500	29 10
13 000	55			19 000	43

Perioden und Schwingungsbild. Die Zusammenfassung aller beobachteten Perioden ergibt einen Mittelwert von etwa 12 sec. Ebenso liegt deren Häufungsstelle bei 12 sec. Dann aber treten auch eine größere Anzahl von Werten in der Größenordnung von 14—16 sec. auf. Demnach läßt sich kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Perioden der P_{R2}-Welle und der direkten Vorläuferwelle erkennen.

Die Untersuchung des Schwingungsbildes ergab keine besonders charakteristischen Gruppenformen. Häufiger waren Gruppen von 3 und 6 Schwingungen vorhanden.

3. Die 3. Reflexion. P_{R3}.

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Vergleicht man die Beobachtungsergebnisse im Bereich der P_{R3}-Welle mit vorhandenen, bzw. theoretisch bestimmten Laufzeitkurven, so sind die Abweichungen derartig unregelmäßig und groß, so daß es zunächst schwierig erscheint, eine Laufzeitkurve für dieses Beben aufzustellen. Bis etwa 15000 km Herdentfernung ist das Material ziemlich lückenhaft. In größeren Ent-

fernungen treten vielfach $\overline{S_c P_c P_c S}$ und P_{R_3} nebeneinander auf. Die Tabelle 13 zeigt einen allgemeinen Überblick über die Beobachtungen der P_{R_3} -Welle unter Berücksichtigung der bestehenden Laufzeitkurven.

Tabelle 13. Laufzeiten und Perioden der P_{R_3} -Welle.

	Station	Ent- fernung		T ber.		δ	T beob.		s	Bemerkungen
		km	m	s	s		m	s		
*	Apia . . .	5 380	49	23					(8)	
◆	Batavia . .	7 310	52	59	$\left\{ \begin{array}{l} -17 \\ -1 \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} NS \\ EW \end{array} \right\}$	53	16	6	
										53	00
*	Manila . .	8 660	55	39	—				—	
*	Santiago . .	9 040	56	27	—7		56	34		
*	Zi-ka-wei .	10 320	58	39	+8		58	31	(12)	
*	La Paz . .	10 850	59	37	+25		59,2			
◆	Rio de Jan.	10 970	59	47	$\left\{ \begin{array}{l} +23 \\ +19 \end{array} \right.$		59	22	(10)	
										28
◆	Hyderabad	10 980	59	48	—4	}	59	09		
								59	52	15
+	Mazatlan .	12 460	02	07	+18		01	49		
*	Pasadena .	12 750	02	25	+60		01	25	(10)	
*	Balboa . .	12 780	02	29	—27		02	56		
◆	Victoria . .	13 710	03	47	+10		03	37	19	
◆	Toronto . .	15 810	06	27	—9	e	06	36		
◆	Ottawa . .	16 160	06	59	$\left\{ \begin{array}{l} +22 \\ -1 \end{array} \right.$	e	06	37	11	Vielleicht $\overline{S_c P_c P_c S}$ Kreuzungspunkt P_{R_3} und $\overline{S_c P_c P_c S}$?
						i	07	00	22	
*	Northfield .	16 240	07	07	—32		07	39		
+	Rocca di Papa	17 060	08	03	—9		08	12	7	
*	Budapest . .	17 070	08	04	—16		08	20		
◆	Wien . . .	17 280	08	19	—10		08	29	11	
*	Cartuja . .	17 470	08	36	+4		08	32	(12)	
◆	München . .	17 580	08	43	+1		08	42	16	
◆	Ravensburg	17 660	08	47	+9		08	38		
◆	Upsala . .	17 680	08	48	—10		08	58	10	
◆	Straßburg .	17 820	08	55	—7		09	02	12	
◆	Göttingen .	17 820	08	55	—1		08	56	$\left\{ \begin{array}{l} 15 \\ Z 10 \end{array} \right.$	
*	Feldberg . .	17 890	09	03	—31		09	34		
◆	Hamburg . .	17 940	09	07	+19		08,8		18	?
*	Uccle . . .	18 160	09	23	—10		09	33		Undeutlich
*	Paris . . .	18 180	09	24	+20		09	04	(12)	
◆	De Bilt . .	18 180	09	24	+27		18	57	12	
*	Oxford . .	18 560	09	51	+27		09	29!!	12	
*	Eskdalemuir	18 830	10	07	+33		09	34		

Betrachtet man jedoch die Beobachtungen in Entfernungen > 15000 km für sich, so läßt sich für diesen Bereich unabhängig eine

Laufzeitkurve zeichnen. Das Beobachtungsmaterial gruppiert sich um eine mittlere Kurve:

$$T = T_0 + 29^m 31^s + \frac{(\Delta - 15000) \text{ km}}{20,0 \text{ km/sec.}}$$

Die Tabelle 14 ergibt den Zusammenhang der Beobachtungsergebnisse mit dieser Kurve.

Tabelle 14. Die P_{R_3} -Welle in Entfernungen > 15000 km.

Station	Ent- fernung	T ber.	δ	T beob.	Station	Ent- fernung	T ber.	δ	T beob.
	km	m s	s	m s		km	m s	s	m s
Cheltenham . . .	15 600	06 59	+10	06 49	Straßburg . . .	17 820	08 50	-12	09 02
Toronto	15 810	07 09	+7	06 36	Heidelberg . . .	17 820	08 50	-10	09,0
Ottawa	16 160	07 27	+4	07 02	Göttingen	17 860	08 52	-4	08 56
Northfield	16 240	07 31	-8	07 23	Hamburg	17 940	08 56	+8	08,8
Rocca di Papa . . .	17 060	08 12	-2	08 14	Uccle	18 160	09 03	+25	08 38
Budapest	17 070	08 12	-8	08 20	Paris	18 180	09 04	0	09 04
Wien	17 280	08 23	-6	08 29	De Bilt	18 180	09 04	+7	08 57
Cartuja	17 470	08 34	+2	08 32	Oxford	18 550	09 24	-5	09 29
München	17 580	08 38	-4	08 42	Stonyhurst	18 650	09 31	+12	09 19
Ravensberg	17 630	08 40	+2	08 38	Eskdalemuir	18 830	09 40	+6	09 34
Upsala	17 680	08 43	-15	08 58					

Diese Kurve weicht erheblich von der theoretischen P_{R_3} -Kurve ab, so daß es unmöglich erscheint, die beiden Kurven in irgendeiner Form in Zusammenhang zu bringen.

Perioden. Als mittlere Periode der P_{R_3} -Welle wird 12 sec. beobachtet. Ebenso liegt die Häufungsstelle bei 12 sec.

Schwingungsformen. Im allgemeinen treten keine charakteristischen Schwingungsbilder auf. Infolge des Zusammentreffens mit der $\overline{S_c P_c P_c S}$ -Welle bleibt das Schwingungsbild meist verwaschen. In manchen Fällen wurden jedoch Gruppen von 3, wie auch Doppelschwingungen beobachtet.

4. Die 4. Reflexion P_{R_4} .

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Das Beobachtungsmaterial für die P_{R_4} -Welle ist ziemlich spärlich. Nur im Entfernungsbereich > 17000 km sind eine Anzahl Einsätze vorhanden. Als Vergleichskurve dient die theoretische Kurve $T_{\Delta} = 5 \cdot T_{\Delta/5}$. Es gewinnt aber den Anschein, als ob die aus der P_n -Welle errechnete Laufzeitkurve für P_{R_4} im Laufzeitschema zu hoch verläuft, da vorwiegend positive Abweichungen festgestellt werden.

Tabelle 15. Laufzeiten und Perioden der P_{R4} -Welle.

	Station	Entfernung	T ber.	δ	T beob.	Periode τ
		km	m s	s	m s	s
*	Pasadena	12 750	03 43	+ 7	03 36	.
+	Sitka	13 840	05 25	— 14	05 39	.
◆	Wien	17 280	10 23	+ 13	10 10	10
◆	München	12 580	10 53	+ 27	10 26	12
◆	Upsala	17 680	11 03	— 9	$\left\{ \begin{array}{l} e \ 10,7 \\ i \ 11 \ 12 \end{array} \right.$	.
*	Straßburg	17 820	11 13	$\left\{ \begin{array}{l} + \ 38 \\ - \ 35 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 10 \ 35 \\ 11 \ 48 \end{array} \right.$	.
◆	Heidelberg	17 820	11 13	$\left\{ \begin{array}{l} + \ 13 \\ - \ 32 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} e \ 11,0 \\ i \ 11 \ 45 \end{array} \right.$	.
◆	Göttingen	17 860	11 18	+ 48	10,5	.
*	Feldberg	17 890	11 20	+ 3	i 11 17	.
◆	Hamburg	17 940	11 23	+ 42	10 41	.
*	Paris	18 180	11 43	+ 39	11 04	.
◆	De Bilt	18 180	11 43	+ 16	11 27	.
*	Oxford	18 560	12 18	+ 47	11 31	.
*	Stonyhurst	18 740	12 28	+ 46	11 42	.

V. Die vor der S_n -Phase gelegenen Wechselwellen.

1. $\overline{S_cP_cS}$.

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Nach dem vorliegenden Beobachtungsmaterial beginnt die $\overline{S_cP_cS}$ -Welle mit Sicherheit erst bei 10320 km (Zi-ka-wei). Die Diagramme von Santiago (9040 km), La Plata (9310 km) lassen keine besonders deutlichen Einsätze erkennen. Zi-ka-wei zeigt nach MACELWANE $\overline{S_cP_cS}$ und S nebeneinander, die Registrierung von La Paz (10850 km) jedoch nur $\overline{S_cP_cS}$. Die letzte Station mit beiden Einsätzen ist Berkeley (12860 km), bei der nur der Bericht vorliegt. Von dieser Entfernung ab fehlt S bei diesem Beben vollständig.

Die $\overline{S_cP_cS}$ -Welle läßt sich in den Aufzeichnungen bis 14760 km verfolgen. In größeren Entfernungen liegt eine Lücke im Beobachtungsmaterial, obwohl gerade in diesem Entfernungsbereich eine Reihe guter Diagramme vorhanden sind (Toronto, $\Delta = 15810$ km; Ottawa, $\Delta = 16160$ km). In Entfernungen > 17500 km wird, vorwiegend nach MACELWANE (2), $\overline{S_cP_cS}$ wieder beobachtet und zwar bis $\Delta = 18830$ km Eskdalemuir). Eine allgemeine Bestätigung durch das neue Material der deutschen Stationen ist in diesem Bereich nicht mit Sicherheit feststellbar. Besonders deutliche Einsätze treten bei den Stationen Uccle, De Bilt und Oxford auf.

Für die allgemeine Laufzeitkurve der $\overline{S_cP_cS}$ -Wellen liegen eine ganze Reihe von speziellen Untersuchungen vor. Als Vergleichskurve sei die ursprüngliche Kurve von B. GUTENBERG (1) zugrunde gelegt. Die neue Kurve — Jena 1929 — stimmte mit dieser bis 11000 km völlig überein. Zwischen 11000 und 12000 km treten Abweichungen von über 10 sec. auf. Die Laufzeiten waren allgemein zu groß gegenüber GUTENBERG.

Nach dem Beobachtungsmaterial des vorliegenden Bebens zeigt die $\overline{S_cP_cS}$ -Kurve sehr gute Übereinstimmung mit der GUTENBERG-Kurve.

Bis 15000 km sind die Abweichungen außerordentlich gering. Die maximale Abweichung in den größten Herdentfernungen beträgt +9 sec., während allgemein der mittlere Fehler ± 5 sec. ist. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Zeiten bei GUTENBERG auf 0,1 min. genau angegeben sind.

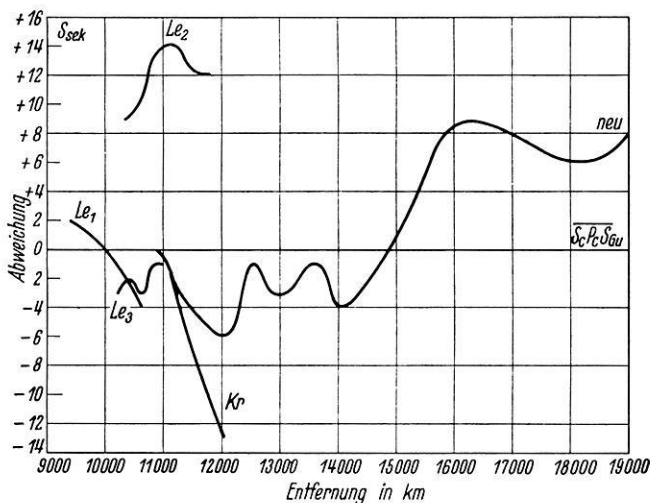


Abb. 10. Vergleich von Laufzeitkurven der $\overline{S_cP_cS}$ -Welle.

$$\delta = T_{\text{Gutenberg}} - T_{\text{beob.}}$$

L 1: Beben vom 18. 7. 1928

L 2: Beben vom 24. 10. 1930

L 3: Beben vom 13. 11. 1925

Kr.: Mittlere Laufzeitkurve von KRUMBACH (1929).

} nach J. LEHMANN.

Aus dem Vergleich der angegebenen Kurven mit anderem Beobachtungsmaterial für die $\overline{S_cP_cS}$ -Phase zeigt sich schon die große

Schwierigkeit, für diese Welle eine einheitliche Laufzeitkurve aufzustellen. Nach J. LEHMANN (11) ergaben sich aus einem besonders guten Beobachtungsmaterial für $\overline{S_cP_cS}$ folgende Zusammenhänge:

Beben I (18. VII. 1928):

$$T = 23^m 36^s + \frac{(\Delta - 10000) \text{ km}}{17,8 \text{ km/sec}}; 9400 < \Delta < 10600 \text{ km}$$

Beben II (24. X. 1930):

$$T = 24^m 18^s + \frac{(\Delta - 11100) \text{ km}}{23,0 \text{ km/sec}}; 10500 < \Delta < 11800 \text{ km}$$

Beben III (13. XI. 1925):

$$T = 23^m 54^s + \frac{(\Delta - 10500) \text{ km}}{19,8 \text{ km/sec}}; 10200 < \Delta < 11100 \text{ km}$$

Jede einzelne dieser Kurven gilt nur für einen verhältnismäßig kleinen Bereich. Trotz der Überlappung der 3 Bereiche läßt sich aber infolge der verschiedenen scheinbaren Oberflächengeschwindigkeiten keine einheitliche Laufzeitkurve zwischen 9400 km und 12000 km aufstellen.

Einen Überblick über diese Schwierigkeiten zeigt am besten eine Gegenüberstellung der Laufzeitkurven, verglichen mit der Ausgangskurve von GUTENBERG ($\delta = \overline{S_c P_c S_{Gu}} - \overline{S_c P_c S}$).

Tabelle 16. Vergleich der Laufzeiten $\overline{S_c P_c S}$.

Δ	T neu			δ			T alt			δ			Le ₁			δ			Le ₂			δ			Le ₃			δ			Gu	
	m	s	s	m	s	s	m	s	s	m	s	s	m	s	s	m	s	s	m	s	s	m	s	s	m	s	s	m	s			
9 400	.	.	.	23	04	0	23	02	+2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	23	04
600	.	.	.	15	0	.	14	+1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15
800	.	.	.	25	0	.	25	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25
10 000	.	.	.	36	0	.	36	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	36
200	.	.	.	46	0	.	47	-1	.	.	.	.	23	49	-3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	46
400	.	.	.	57	0	.	58	-1	23	48	+9	.	59	-2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	57
600	.	.	.	24	06	0	24	10	-4	.	56	+10	24	09	-3	24	06	24	06		
800	.	.	.	18	0	.	.	.	.	24	05	+13	19	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	18
11 000	24	28	0	28	0	14	+14	29	-1	24	28	24	28		
200	.	39	-3	39	-3	.	.	.	.	.	22	+14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	36
400	.	47	-3	49	-5	.	.	.	.	.	31	+13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	44
600	.	56	-4	25	00	-8	.	.	.	.	40	+12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	52
800	25	05	-5	10	-10	.	.	.	.	.	48	+12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	00
12 000	.	14	-6	21	-13	25	08		
500	.	34	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	33
13 000	.	52	-3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	49
500	26	07	-1	26	06		
14 000	.	19	-4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15
500	.	29	-2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	27
15 000	.	37	+1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	38
500	.	44	+4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	48
16 000	.	50	+9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	59
500	.	56	+8	27	04		
17 000	27	01	+8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	09
500	.	06	+7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	13
18 000	.	11	+6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17
500	.	15	+6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21
19 000	.	17	+8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25

Perioden und Schwingungsbild. Nur 16 Stationen ermöglichen eine einwandfreie Feststellung der Perioden. Vorwiegend treten Perioden

im Bereich 8—10 sec. auf. Größere Periodenwerte sind selten vorhanden.

Als Schwingungsgruppe wurde bei der S_cP_cS -Welle vielfach eine Gruppe von 3 Schwingungen beobachtet. Die Stationen in größeren Herdentfernungen zeigten ausgedehntere Phasengruppen.

Tabelle 17. Die Beobachtungsergebnisse für die S_cP_cS -Welle.

	Station	Entfernung	T ber.		δ	T beob.		T Periode
			m	s		m	s	
		km						
*	Santiago . . .	9 040				nicht!		
*	Zi-ka-wei . . .	10 320	01	14	0	01	14	(10)
+	Kodai-Kanal . .	10 330	01	18	— 8	01	26	.
◆	La Paz	10 850	01	43	— 5	E 01	48	17
					+ 5	N $\left\{ \begin{array}{l} e \\ i \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} 00,9 \\ 01 \end{array} \right\}$	12
+	Calcutta . . .	10 900	01	46	— 16		02 02	.
◆	Rio de Janeiro .	10 970	01	50	— 10	EW $\left\{ \begin{array}{l} e \\ i \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} 01 \ 38 \\ 02 \ 00 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 10 \\ 13 \end{array} \right\}$
◆	Hyderabad . .	10 980	01	50	$\left\{ \begin{array}{l} + 19 \\ + 12 \end{array} \right\}$	N 01	31	$\left\{ \begin{array}{l} 8 \\ 9 \end{array} \right\}$
+	Bombay	11 450	02	15	— 4	E 01	38	.
+	Dehra Dun . .	12 180	02	49	— 28	? 03	17	.
+	Simla	12 300	02	51	— 3	02	54	.
*	Pasadena . . .	12 750	03	02	+ 5	02	57	.
+	Berkeley . . .	12 860	03	04	+ 2	03	02	9
◆	Victoria	13 710	03	36	— 1	03	37	$\left\{ \begin{array}{l} NS \ 19 \\ EW \ 13 \end{array} \right\}$
*	Sitka	13 940	03	42	— 7	03	49	.
*	St. Louis . . .	14 760	03	56	+ 14	03	42	.
*	Valle di Pomp.	16 860	04	23	+ 8	04	15	(10)
◆	Cartuja	17 470	04	28	+ 3	04	25	(9)
◆	Ravensburg . .	17 630	04	30	— 12	04	42	.
◆	Tortosa	17 640	04	30	— 18	04,8		10
◆	Upsala	17 680	04	32	— 10	04,7		12
◆	Straßburg . . .	17 820	04	32	+ 1	04	31	(6)
*	Feldberg . . .	17 890	04	33	— 13	04	46	.
*	Uccle	18 160	04	36	$\left\{ \begin{array}{l} - 25 \\ + 14 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 05 \ 01 \\ 04 \ 22 \end{array} \right\}$		11
*	Paris	18 180	04	36	+ 2	04	34	.
◆	De Bilt	18 180	04	36	+ 9	04	27	.
*	Oxford	18 560	04	38	+ 2	04	36	8
*	Stonyhurst . .	18 740	04	39	+ 8	04	31	.
*	Eskdalemuir . .	18 830	04	39	+ 16	04	23	.

2. $\overline{S_c P_c P_c S}$ -Welle.

Allgemeines. Die $\overline{S_c P_c P_c S}$ -Welle wird von etwa 9000 km an beobachtet (Santiago), wo die S- und $\overline{S_c P_c P_c S}$ -Einsätze nebeneinander festgestellt werden. In diesem Bereich liegen im allgemeinen S und $\overline{S_c P_c P_c S}$ verhältnismäßig dicht beieinander, so daß es oft schwierig ist, einen gefundenen Einsatz einer dieser Kurven mit Sicherheit zuzuordnen. Das vorhandene Beobachtungsmaterial ist bis 15000 km in guter Übereinstimmung mit der von GUTENBERG angegebenen Kurve. In größerer Entfernung aber liegen die Einsätze wesentlich früher im Seismogramm, so daß bei 19000 km Abweichungen von etwa 50 sec. auftreten.

Tabelle 18. Vergleich der Laufzeitkurven.

Entfernung	T	δ	T_{Gu}	Entfernung	T	δ	T_{Gu}
km	m s	s	m s	km	m s	s	m s
15 000	28 42	0	28 42	17 000	30 12	— 18	30 30
500	29 07	— 2	29 09	500	30 30	— 24	30 54
16 000	29 30	— 6	29 36	18 000	30 47	— 31	31 18
500	29 52	— 11	30 03	500	31 03	— 40	31 43
17 000	30 12	— 18	30 30	19 000	31 18	— 50	32 08

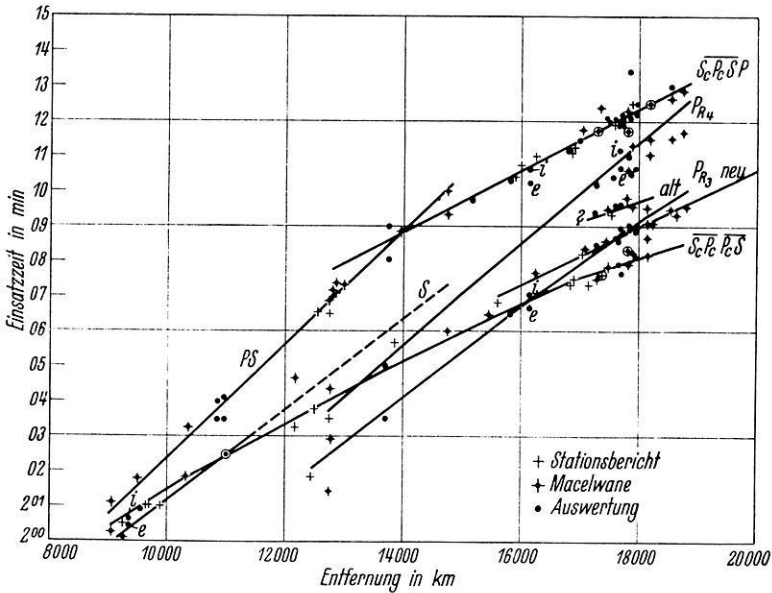


Abb. 11. Der Bereich der S-Phase.

Tabelle 19. Die Beobachtungsergebnisse der $\overline{S_c P_c P_c S}$ -Welle.

	Station	Entfernung	T ber.	δ	T beob.	τ	Bemerkungen
		km	m s	s	m s	s	
*	Santiago . . .	9 040	00 26	+ 10	00 16		
+	Kapstadt . . .	0 260	00 40	+ 10	00 30		? S
◆	Honolulu . . .	9 560	00 58	+ 1	00 57	11	desgl.
+	Hongkong . . .	9 650	01 03	+ 5	00 58		„
+	Johannisbg. . .	9 700	01 06	+ 6	01 00		„
+	Colombo . . .	9 920	01 11	+ 11	01 00		„
*	Zi-ka-wei . . .	10 320	01 47	- 5	01 52		
+	Dehra Dun . . .	12 180	03 28	+ 11	03 17		
+	Oaxaca	12 500	03 46	- 5	03 51		
+	Pasadena . . .	12 750	04 00	- 22	04 22		
◆	Victoria . . .	13 710	04 54	- 4	04 58		
*	St. Louis . . .	14 760	05 52	- 8	06 00		
*	Ann Arbour . .	15 440	06 27	- 3	06 30		
+	Cheltenham . .	15 600	06 35	- 14	06 49		
◆	Toronto	15 810	06 44	+ 8	N 06 36	11	
◆	Ottawa	16 160	06 59	- 1	07 00	22—15	
+	Halifax	16 840	07 29	+ 11	07 18		
+	Valle di Pompei	16 860	07 30	0	07 30		
+	Algiers	17 140	07 40	+ 22	07 18		
*	Florenz	17 280	07 46	+ 13	07 33		
+	Venedig	17 340	07 47	+ 9	07 38		
+	Padua	17 360	07 48	+ 10	07 38		
*	Cartuja	17 470	07 52	0	07 52		
◆	Tortosa	17 640	08 00	+ 3	07 57	10	
◆	Upsala	17 680	08 00	+ 22	07 38	12	
*	Lissabon	17 820	08 04	+ 9	i ₁ 07 55		
◆	Heidelberg . .	17 820	08 04	- 14	08 18	11	
◆	Straßburg . . .	17 820	08 04	- 17	08 21	8	
*	Feldberg	17 890	08 07	- 10	08 17	9	
◆	Hamburg	17 940	08 08	- 3	08 11	10	
*	Uccle	18 160	08 15	+ 3	08 12		
*	Stonyhurst . .	18 740	08 34	- 17	08 51		
*	Eskdalemuir . .	18 830	08 36	- 33	{ 09 09 09 18		

Perioden und Schwingungsbild. Über die bei der $\overline{S_c P_c P_c S}$ -Welle vorherrschenden Perioden läßt sich kein klares Bild gewinnen, da zu wenig Kurvenmaterial im Original oder Kopie vorliegt. Die wenigen vorhandenen Werte liegen im Bereich von 10 sec. Gesetzmäßigkeiten in den Schwingungsbildern lassen sich nicht erkennen.

3. Zwischenphase zwischen P_{R3} und P_{R4} .

Zwischen 17200 km und 18000 km gehen aus dem Beobachtungsmaterial eine Reihe von Einsätzen hervor, von MACELWANE als $P_c S_c S$ bezeichnet, deren Laufzeitkurve nahezu parallel der X-Achse verläuft.

Tabelle 20. Beobachtungsmaterial.

Station	Entfernung	T	τ	Bemerkungen
	km	m s	s	
◆ Wien	17 280	09 23	9	Einzeleinsatz NS
★ Cartuja	17 470	09 32	.	
★ Innsbruck	17 520	09,3	.	
◆ München	17 580	—	.	fehlt
◆ Tortosa	17 640	09 44	15	Einzeleinsatz
◆ Ravensberg	17 660	.	.	fehlt
◆ Upsala	17 680	09 38	10	Gruppe von 3
◆ Straßburg	17 820	09 48	.	Nur EW
★ Feldberg	17 890	09 34	.	

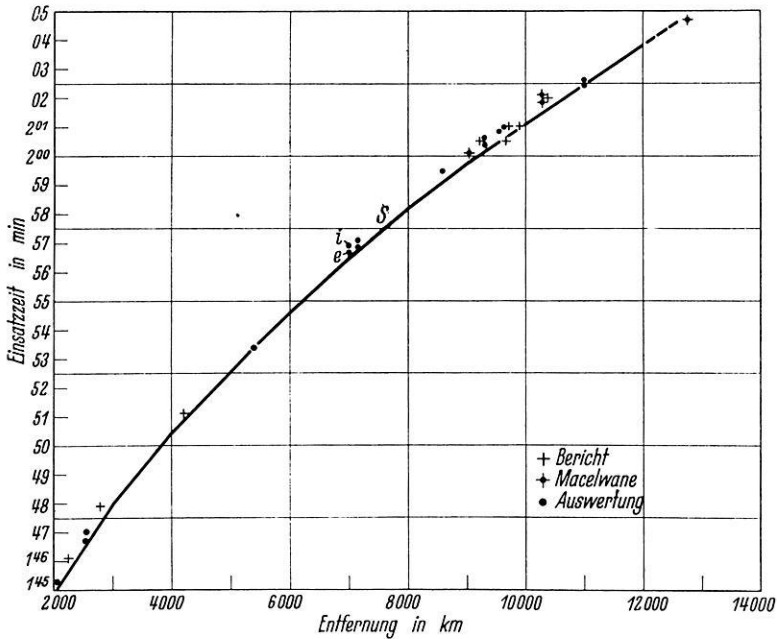


Abb. 12. Laufzeitkurve der S-Welle.

VI. Der zweite Vorläufer S_n .

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Das Beobachtungsmaterial für die S_n -Welle ist verhältnismäßig spärlich, insbesondere da die meisten der gut ausgerüsteten Beobachtungsstationen in größeren Entfernungen liegen, in denen keine S-Wellen mehr auf-

Tabelle 21. Beobachtungsergebnisse für die S_N-Welle.

	Station	Entfernung		T	δ	T		Periode τ	Bemerkungen
		km	m s	beob.		s	m s			s
◆	Wellington . .	2 020	45 13		-2	N 45 15	22		
+	Melbourne. . .	2 270	45 53		-13	E 45 15	27		
◆	Sydney	2 560	46 48		+6	46 06	.		
						46 42	16		
						Z { ^e 46 37	50		
						i 47 04	11		
◆	Riverview . . .	2 560	46 48		-13	NS { ⁱ 47 01	10		
						46 57	12		
						EW { ⁱ 46 59	15		
						i 47 00	12		
+	Adelaide . . .	2 800	47 30		-24	47 54	.		
+	Perth	4 210	50 54		-9	51 03	.		
◆	Apia	5 380	53 27		+2	53 25	20		
						{ ^e 54 44	34		
◆	Malabar	6 690	56 38		-9	i 56 47	.		
						E 56 41	25		
						{ ^e 56 5	? 40		
◆	Batavia	7 130	56 45		-8	E { ⁱ ₁ 56 53	11		
						i ₂ 57 04	10		
						N i 57 02	8		
◆	Manila	8 600	59 11		-20	N 58 37	18		
						E 59 31	6		
*	Santiago	9 040	59 49		-15	00 04	17		
+	Kapstadt	9 260	00 07		-23	00 30	.		Vielleicht $\overline{S_cP_cP_cS}$
						E e 00 28	18		
◆	La Plata	9 310	00 12		-16	i 00 36	18		
						N 00 35	33; 36		
◆	Honolulu	9 560	00 32		-25	00 57	11		
*	Hongkong	9 650	00 39		-19	00 58	.		? $\overline{S_cP_cP_cS}$
+	Johannisburg . .	9 700	00 43		-17	01 00	.		dgl.
+	Colombo	9 900	00 59		-1	01 00	.		
*	Zi-ka-wei	10 320	01 31		-34	02 05	18		?
+	Osaka	10 330	01 31		-37	02 08	.		?
						E 02 34	13		
◆	Rio de Janeiro	10 970	02 27		-7	N { ^e 02 35	.		
						i 02 56	19		
◆	Hyderabad . . .	10 980	02 27		-4	02 31	15		
*	Balboa	12 170	—		—	04 38	.		
						04 20	12		
*	Berkeley	12 860	—		—	04 38	.		

treten. Außerdem ist, wie schon bei der Epizentralbestimmung festgestellt wurde, eine gewisse Unsicherheit, bzw. Unstimmigkeit, im Be-

obachtungsmaterial vorhanden. Allgemein aber hat es den Anschein, als ob die für S beobachteten Laufzeiten größer sind, als nach den vorhandenen Laufzeitkurven zu erwarten ist. Dabei liegt allerdings eine gewisse Schwierigkeit im Bereich von 3000 bis 11000 km, wo die Einsätze der $S_c P_c P_c S$ -Welle und S-Welle eng zusammenliegen, so daß infolge von Überlagerung eine Unsicherheit in der Einsatzzeit bewirkt wird oder überhaupt eine Trennung der Einsätze unmöglich erscheint. Bei der Streuung des Beobachtungsmaterial ist die Unsicherheit zu groß, um eine spezielle Laufzeitkurve für dieses Beben festzustellen.

Perioden. Bei manchen Stationen beginnt der Einsatz der S-Welle mit einer Halbwelle längerer Periode, so daß zwei Einsätze e und i beobachtet werden. Die Schwankung der Periodenwerte ist sehr groß. Bei dem Haupteinsatz ist der kleinste Wert 6 sec., der größte 34 sec. Die meisten Werte liegen jedoch zwischen 10 und 20 sec. Der Mittelwert liegt bei 15 sec. Dabei hat es den Anschein, daß allgemein größere Periodenwerte vorwiegen. Gesetzmäßigkeiten in der Ausbildung der Einsatzgruppe treten bei dem geringen Beobachtungsmaterial nicht deutlich hervor.

VII. Weitere Wechselwellen im Bereich des 2. Vorläufers.

1. PS.

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Für die Beurteilung der Einsatzzeiten, die der PS-Welle entsprechen, wurde die GUTENBERG-Kurve gewählt. Irgendwelche systematischen Abweichungen bestehen nicht. Ebenso ergab eine neuere Kurve von J. LEHMANN:

$$PS = T_0 + 26^m 43^s + \frac{(\Delta - 11100) \text{ km}}{10,8 \text{ km/sec.}}; 10500 < \Delta < 11700 \text{ km,}$$

die auch nur unwesentlich von der älteren Kurve abweicht, daher auch kein anderes Bild.

Tabelle 22. Beobachtungsergebnisse der PS-Welle.

	Station	Ent- fernung	T ber.		δ	T beob.		Periode τ	Be- merkungen
			km	m		s	s		
◆	Apia . . .	5 380	53	37	— 8	53	45	12	
◆	Batavia . .	7 130	57	07	+ 3	E 57,4 N 57,4		6; 20 6	
*	Santiago .	9 040	00	45	— 23	01	08	21	
*	Honolulu .	9 560	01	41	— 7	01	48	22	
*	Zi-ka-wei .	10 320	02	54	— 20	03	14	15	
◆	La Paz . .	10 850	03	42	.	e 03 32 i 03 58		22	
◆	Rio de Jan.	10 970	03	57	— 12	E 04 09 N 04,0		17	
◆	Hyderabad.	10 980	04	00	+ 37	03	23	30?	undeutlich

Tabelle 22. (Fortsetzung.)

	Station	Ent- fernung	T ber.	δ	T beob.	Periode τ	Be- merkungen
+	Tacubauya .	12 570	06 34	0	06 34	.	} kein PS
+	Veracruz .	12 740	06 50	+ 26	06 24	.	
*	Pasadena .	12 750	06 50	+ 2	06 48	22	
*	Balboa . .	12 780	06 55	— 23	07 18	.	
+	Lick Obs. .	12 840	06 55	— 11	07 06	24	
+	Berkeley .	12 860	07 01	+ 5	06 56	20	
*	Tucson . .	13 000	07 15	— 2	07 17	.	
◆	Victoria . .	13 710	08 18	} + 11 { — 1	N 08 07	{ 16 { 15	
*	Sitka . . .	13 940	08 41		— 12			E 08 19	.
*	St. Louis .	14 760	09 51	— 9	10 00	11	
◆	Göttingen .	17 860	—	—	13 25	12	
*	Oxford . .	18 550	.	.	13 00	—	

Perioden und Schwingungscharakter. Das Beobachtungsmaterial für die PS-Welle ist wenig umfangreich. Die Periodenübersicht zeigt ein Vorwiegen längerer Perioden. Der Mittelwert würde bei etwa 20 sec. liegen und kann nur die Größenordnung der Periodenwerte angeben. Charakteristische Merkmale über die Schwingungsform lassen sich nicht erkennen.

2. Die $\overline{S_cP_cSP}$ -Welle.

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Unter allen Wellengruppen, insbesondere der der Wechselwellen, liefert dieses Beben für die $\overline{S_cP_cSP}$ -Welle ein außerordentlich umfangreiches und gutes Beobachtungsmaterial. Die Beobachtungen gruppieren sich mit hinreichender Genauigkeit um eine Laufzeitkurve der Form:

$$T = T_0 + 30^m 07^s + \frac{(\Delta - 12\,500) \text{ km}}{18,75 \text{ km/sec.}}; \quad 12\,500 < \Delta < 20\,000$$

Von der bisher von GUTENBERG (1) aufgestellten Kurve ergeben sich Abweichungen. Durchschnittlich werden kürzere Laufzeiten beobachtet, so daß die Laufzeitkurve dieses Bebens parallel zur X-Achse verschoben scheint. Es ergeben sich folgende Zusammenhänge:

Entfernung	T Gut.		δ	T neu		Entfernung	T Gut.		δ	T neu	
	m	s		m	s		m	s		m	s
115 ⁰	30,1	— 16	30	22	150 ⁰	34,1	+ 17	33	49		
120 ⁰	30,8	— 3	30	51	155 ⁰	34,6	+ 18	34	18		
125 ⁰	31,5	+ 9	31	21	160 ⁰	35,1	+ 19	34	47		
130 ⁰	32,0	+ 9	31	51	165 ⁰	35,6	+ 20	35	16		
135 ⁰	32,6	+ 15	32	21	170 ⁰	36,1	+ 21	35	45		
140 ⁰	33,1	+ 15	32	51	175 ⁰	36,5	+ 16	36	14		
145 ⁰	33,6	+ 16	32	20	180 ⁰	37,0	+ 17	36	43		

Tabelle 23. Das Beobachtungsmaterial der \overline{ScPcSP} -Welle.

	Station	Entfernung	T ber.	δ	T beob.	Peri- ode
		km	m s	s	m s	s
*	Berkeley . .	12 860	07 49	+ 28	07 21	22
◆	Victoria . .	13 710	08 38	— 22	09 00	10
*	St. Louis . .	14 760	09 31	+ 10	09 21	
◆	Chicago . .	15 170	09 53	+ 5	09 48	16
◆	Toronto . .	15 810	10 26	} + 7	Ni 10 19	15
					E { i 10 19 i 10 56	15
+	Ithaca . . .	15 900	10 31	+ 6	10 25	
+	Athen . . .	16 120	10 42	} — 3	NS { e 09 55 10 45	8
					EW { e 09 54 10 55	8
◆	Ottawa . . .	16 160	10 46	} + 8 + 16	NS { e 10 15 i 10 38	25
					EW { e 10,0 i 10 30	23
*	Northfield .	16 240	10 50	— 13	11 03	12
◆	Belgrad . .	16 800	11 19	+ 8	e 11 11	18
+	Halifax . .	16 840	11 21	+ 17	11 04	
+	Ischia . . .	16 900	11 24	+ 10	11 14	
◆	Pulkowo . .	16 980	11 30	+ 4	11 26	10
*	Budapest . .	17 070	11 33	— 11	i 11 44	
*	Florenz . .	17 280	11 45	— 4	i 11 49	
◆	Wien . . .	17 280	11 45	} + 4 — 7 + 10	Ne 11 41	9
					Ee 11 52	16
◆	Toledo . . .	17 360	11 49	— 38	Ze 11 35	20
*	Cartuja . .	17 470	11 54	— 13	i 12 27	12
◆	San Fernando	17 500	11 56	— 4	12,0	28
◆	München . .	17 580	12 01	} — 5 — 3	Ni 12 06	16
					Ei 12 04	18
+	Barcelona .	17 600	12 02	+ 9	i 11 53	
◆	Ravensburg .	17 630	12 04	} + 14 + 8	E 11 50	6
					N 11 56	10
◆	Tortosa . .	17 640	12 04	+ 4	12,0	22
◆	Upsala . . .	17 680	12 07	— 5	12,2	16
◆	Zürich . . .	17 700	12 07	} + 13 + 10	Ne 11 54	16
					Ee 11 57	20
◆	Potsdam . .	17 720	12 08	+ 8	i 12 00	} 14; 30
*	Lissabon . .	17 820	12 13	— 5	i 12 18	
*	Straßburg .	17 820	12 13	— 2	i 12 15	

Tabelle 23. (Fortsetzung.)

	Station	Entfernung	T ber.		δ	T beob.		Peri- ode
			km	m		s	s	
◆	Heidelberg .	17 820	12	13	} — 5 — 10	N 12,3	10	10
◆	Göttingen .	17 860	12	14		} — 13 + 8	E i 12 23	18	18
+	Besançon . .	17 900	12	17	} — 13 — 17		E 12,1	12 30	20
◆	Coimbra . . .	17 940	12	17		} + 5 — 3	i 12 34	12,2	18
◆	Hamburg . . .	17 940	12	17	} + 9 + 6		i 12 36	E 12 24	6
*	Paris	18 180	12	33		} + 6 — 6	N ⁽¹⁾ i 12 27	2) i 12 39	6
◆	De Bilt . . .	18 180	12	33	} + 10 + 7		i 12 35	i 12 53	8
*	Oxford	18 550	12	45				
*	Stonyhurst .	18 740	13	00				

Perioden und Schwingungsbild. Bei der großen Anzahl von Beobachtungen ist in diesem Falle die Aufstellung eines Häufigkeitsdiagrammes für die gemessenen Perioden möglich.

Nach diesem Diagramm bestehen 2 Häufungsstellen, bei 10 sec. und bei 16—18 sec. Das Gesamtmittel beträgt 15 sec. Eine Gesetzmäßigkeit über die Abhängigkeit der Perioden von der Entfernung ließ sich nicht feststellen. Ausgezeichnete Bereiche für bestimmte Perioden bestehen anscheinend nicht. Die verhältnismäßig kurzen Perioden bei De Bilt sind vermutlich auf kurzperiodische Einregulierung der Seismometer zurückzuführen.

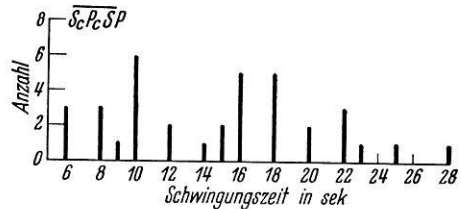


Abb. 13. Periodenhäufigkeit der $\overline{S_cP_cSP}$ -Welle.

Das Schwingungsbild für die $\overline{S_cP_cSP}$ -Welle erscheint außerordentlich charakteristisch. Der Einsatz besteht meist aus einer Doppelschwingung innerhalb des ganzen Beobachtungsbereiches. Teilweise treten aber auch sehr scharfe Einzeleinsätze auf.

Insgesamt handelt es sich trotz des komplizierten Aufbaus des Wellenweges um eine äußerst markante Welle, deren Laufzeitkurve sich für diese Beben besonders gut bestimmen ließ. Ebenso wichtig ist auch die durchgehend festgestellte Doppelschwingung für den ganzen Bereich.

3. Der Bereich der Wechselwelle PPS.

Allgemeines. Vergleicht man die Beobachtungsergebnisse der Einsätze für die PPS-Welle mit der von GUTENBERG aufgestellten Laufzeitkurve für diese Wellengruppe, so zeigt sich bis etwa 12000 km keinerlei Besonderheit. Von den zwischen 12000 und 15000 km gelegenen Einsätzen scheint eine ganze Reihe gegenüber dieser Kurve zu spät zu liegen. Über 15000 km hinaus werden dann wieder eine große Anzahl Einsätze beobachtet, die zunächst im weiteren Verlauf der GUTENBERG-Kurve zu liegen scheinen und die zum Teil schon in der Auswertung von MACELWANE mit S_2' bezeichnet werden.

Betrachtet man die Beobachtungen von 15000 km bis 19000 km für sich, so passen sich diese einer geradlinigen Laufzeitkurve an von der Form:

$$T = T_0 + 34^m 30^s + \frac{(\Delta - 15000) \text{ km}}{13,3 \text{ km/sec.}}$$

Ein Versuch, diesen Ast der Laufzeitkurve mit dem bekannten Verlauf der PPS-Welle zu vereinigen, stößt auf große Schwierigkeit. Ebenso würde dann die Laufzeitkurve der PPS-Welle im Bereich der großen Herdentfernungen eine stärkere Krümmung gegen die Abszissenachse erfahren müssen, als im Bereich der kleineren Entfernungen. Es ergibt sich daher das Resultat, daß von 15000 km ab eine selbständige Laufzeitkurve beginnt. Überdies beobachtet man zwischen 17000 und 19000 km eine weitere Einsatzgruppe, die sich auch um eine gerade Laufzeitkurve gruppieren mit einer scheinbaren Oberflächengeschwindigkeit von 8,9 km/sec. In der Verlängerung dieser Geraden liegt auch das Beobachtungsmaterial der PPS-Welle in Entfernungen > 10000 km, so daß also zwanglos sich die Laufzeitkurve für die PPS-Welle ergibt:

$$T = T_0 + 25^m 37^s + \frac{(\Delta - 10000) \text{ km}}{8,9 \text{ km/sec.}}$$

Es besteht daher folgende Laufzeitabelle für PPS:

Ent- fernung	T	δ	T_{Gut}	Ent- fernung	T	δ	T_{Gut}
km	m s	s	m s	km	m s	s	m s
4 000	13 04	.	.	12 000	29 21	— 3	29 18
5 000	15 21	.	.	13 000	31 13	— 9	31 04
6 000	17 33	.	.	14 000	33 05	— 25	32 40
7 000	19 40	.	.	15 000	34 57	— 45	34 12
8 000	21 43	.	.	16 000	36 49	— 60	35 49
9 000	23 42	+ 1	24 43	17 000	38 41	— 103	36 58
10 000	25 37	— 1	25 36	18 000	40 33	.	.
11 000	27 29	+ 1	27 30	19 000	42 25	.	.

Zum Vergleich ist die ursprüngliche GUTENBERG-Tabelle angeführt.

Von 12000 km ab erkennt man eine systematische Abweichung. Diese ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß auch von GUTENBERG die oben angegebene Kurve als Verlängerung der PPS-Kurve angesehen wurde.

Tabelle 24. Beobachtungsmaterial für die PPS-Welle.

	Station	Ent- fernung	T ber.			δ	T beob.		Perioden τ
			km	h	m		s	s		m	s
◆	Batavia	7 150	1	57	25	+ 1	57,4	6; 20	
◆	Manila	8 600	2	00	18	+ 18	00,0	12	
*	Santiago	9 040		01	10	+ 2	01 08	21	
*	Zi-ka-wei	10 320		03	35	- 1	03 36	.	
◆	Rio de Janeiro	10 970		04	50	+ 12	N 04 38 E 04 51	26 13	
◆	Hyderabad	10 980		04	52	+ 6	04 46!	15	
*	Pasadena	12 750		08	06	+ 9	07 57	18	
*	Balboa H.	12 780		08	07	- 17	08 24	.	
*	Lick Obs.	12 840		08	18	0	08 18	25	
*	Berkeley	12 860		08	19	- 3 + 5	N 08 22 08 14	18 18	
+	Tucson	13 000		08	36	- 25	09 01?	.	
+	Merida	13 330		09	12	+ 16	08 56	.	
◆	Victoria	13 710		09	54	+ 6	09 48	28	
*	St. Louis	14 760		11	51	+ 4	11 47	.	
◆	Chicago	15 170		12	33	+ 4	12 29	13	
◆	Toronto	15 810		12	50	- 10	13,0	22	
*	Budapest	17 070		16	11	+ 11	16 00	.	
◆	Wien	17 280		16	35	- 6 + 8 - 3	16 41 16 23 16 38	11 11 8	
◆	Toledo	17 360		16	44	- 19	17 03	14	
*	Cartuja	17 470		16	58	+ 11	16 47!	—	
◆	München	17 580		17	11	- 7 - 11	N 17 18 E 17 22	. .	
◆	Tortosa	17 640		17	16	+ 22	16 54	15	
◆	Ravensburg	17 630		17	16	- 43	17 59?	11	
◆	Upsala	17 680		17	19	+ 11	17 08	16	
◆	Zürich	17 700		17	23	- 23	17 46	12	
◆	Potsdam	17 720		17	23	- 37	18 00?	11	
*	Straßburg	17 820		17	36	+ 16	17 20	.	
◆	Heidelberg	17 820		17	36	+ 18	17 18	10	
◆	Coimbra	17 940		17	52	+ 10	17 42	16	
*	Oxford	18 550		18	57	- 3	19 00	.	
*	Stonyhurst	18 740		19	09	0	19 09	.	

Transversale Kernwellen S₁' und S₂'? Von etwa 15000 km ab werden im Bereich der PPS-Phase im ganzen 3 Einsätze beobachtet, von denen der erste der von GUTENBERG berechneten S₁'-Welle, der zweite der PPS-Welle und der dritte der oben genannten Kurve S₂' entspricht. Die Beobachtungen ergeben für S₁' die untenstehende Laufzeitkurve, wobei als Vergleich die entsprechende GUTENBERG-Kurve herangezogen wurde.

Δ	T		Δ	T		δ	T _{Gu}
km	m	s	km	m	s	s	m
11 000	30	42	13 000	33	07	.	.
200	31	01	14 000		52	.	.
400		19	14 500	34	12	+ 42	34.9
600		36	15 000		32	+ 34	35.1
800		52	16 000	35	07	+ 17	35.4
12 000	32	07	17 000		37	+ 5	35.7
200		21	18 000	36	02	— 2	36.0
400		34	19 000		22	— 10	36.2
600		46	.	.	.	.	.
800		57	.	.	.	.	.

Sollten die im Bereich der PPS-Phase gefundenen Wellen S₁' und S₂' den Wellen im Bereich der ersten Vorphase P₁' und P₂' entsprechen, so müßten die Laufzeiten T_S' und T_P' entsprechend dem Geschwindigkeitsverhältnis $V_{\text{long}}:V_{\text{trans}} = \sqrt{3}$ im Verhältnis $\sqrt{3} = 1,73$ stehen.

Bei der Aufstellung dieser Beziehung blieb der Einfluß der Herdtiefe gegenüber der Größe des Wellenweges unberücksichtigt.

Ent- fernung	P ₁ '		S ₁ '		T _S '/T _P '	Ent- fernung	P ₂ '		S ₂ '		T _S '/T _P '
km	m	s	m	s		km	m	s	m	s	
11 000	17	16	30	42	1.77	16 500	20	02	36	22	1.81
12 000	18	19	32	07	1.75	17 000		20	37	00	1.82
13 000		54	33	07	1.75	17 500		39		38	1.82
14 000	19	16		52	1.75	18 000		57	38	15	1.83
15 000		34	34	32	1.76	18 500	21	16		53	1.82
16 000		51	35	07	1.77	19 000		34	39	30	1.83
17 000	20	05		37	1.77	.	.	.	.	.	.
18 000		15	37	02	1.78	.	.	.	.	.	.
19 000		15		22	1.79	.	.	.	.	.	.

Die Übereinstimmung des gefundenen Quotienten mit dem theoretisch geforderten Wert $\sqrt{3}$ bleibt genau in den gleichen Grenzen, wie bei den direkten Wellen P und S. Beispielsweise variiert der entsprechende Quotient in einer Arbeit von MOHORVIČIĆ (3) für die direkten Vorläufer zwischen 1,76 und 1,84.

Tabelle 25. Beobachtungsmaterial der S₁' und S₂'-Welle.

	Station	Ent- fernung	S ₁ '				S ₂ '					
			T ber.	δ	T beob.	τ	T ber.	δ	T beob.	τ		
		km	m	s	s	m	s	s	m	s	s	
*	Hyderabad . .	10 980	08	03	+4	07	59	.	.	.	.
*	Pasadena . . .	12 750	10	17	+17	10	00	35	.	.	.	
*	Balboa	12 780	10	18	-17	10	35	.	.	.	.
*	Lick Obs. . . .	12 840	10	25	+13	10	12	32	.	.	.	
*	Berkeley . . .	12 680	10	25	.	?N	09	13	12	.	.	
E						10	13	24
Z						09	03	14
◆	Victoria . . .	13 710	11	03	-42	N	11	45	34	.	.	
*	St. Louis. . . .	14 760	11	45	-36	12	21	15	.	.	.	
*	Chicago	15 170	12	00	+11	11	49	20	.	.	.	
+	Ann Arbour . .	15 440	.	.	.	.	.	12 26	-4	12	30
◆	Toronto	15 810	12	23	0	12	23	12	◆	12	53	
◆	Ottawa	16 160	12	34	-7	12	41	14	◆	13	19	
*	Northfield . .	16 240	.	.	.	.	.	13 26	+3	13	23
*	Valle di Pomp.	16 860	12	55	-41	13	36	.	*	14	12	
*	Budapest . . .	17 070	.	.	.	.	.	14 28	-4	14	32
*	Florenz	17 280	.	.	.	.	.	14 45	-2	14	47
◆	Wien	17 280	.	.	.	.	.	14 45	+15	Z	14 30
*	Toledo	17 360	13	08	-1	13	09	.	◆	14 50	-16	
NE									15 06	.		
*	Cartuja	17 470	.	.	.	.	.	14 58	+19	NW	14 48
+	Innsbruck . . .	17 520	.	.	.	.	.	15 01	-5	15,1	.
◆	München	17 580	.	.	.	.	.	.	◆	15 07	-1
N									15 08	18		
*	Tortosa	17 640	13	16	+3	13	13	13	◆	15 11	-2	
◆	Ravensburg . .	17 630	.	.	.	.	.	.	◆	15 11	-3
E									15 14	16		
◆	Zürich	17 700	.	.	.	.	.	15 15	+1	N	15 20
◆	Potsdam	17 720	.	.	.	.	.	15 19	+1	15	18
*	Moncalieri . . .	17 740	.	.	.	.	.	15 19	-1	15	20
*	Lissabon. . . .	17 820	13	20	-16	13	36	.	15 25	-3	15 28	
*	Straßburg . . .	17 820	13	20	-15	13	35	.	◆	15 25	-1	
◆	Heidelberg . .	17 820	.	.	.	.	.	15 25	-1	15	26
◆	Göttingen . . .	17 860	13	20	-5	13	25	.	15 26	o	e	
i									15 34	.		
*	Feldberg	17 890	.	.	.	.	.	15 30	+32	14	58
◆	Coimbra	17 940	.	.	.	.	.	15 31	-11	15	42
◆	Hamburg	17 940	.	.	.	.	.	15 31	+4	15	27
*	Paris	18 180	13	29	+15	13	04	14	*	15 53	+24	
*	Uccle	18 160	13	29	+4	13	25	22	*	15 53	+24	
*	De Bilt	18 180	.	.	.	.	.	15 53	+13	15	40
*	Oxford.	18 560	13	33	+33	13	00	.	*	15 19	-7	
*	Stonyhurst . .	18 650	13	38	+23	13	15	.	*	16 27	+7	

Demnach scheint doch offenbar die Existenz der transversalen Kernwellen sicher zu sein. Damit aber besteht ein Widerspruch, auf den in einer Arbeit von E. WIECHERT (12) hingewiesen wurde. Bei der Gültigkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses $\sqrt{3}$ innerhalb des Erdkerns, was also einem gleichmäßigen Rückgang von Longitudinal- und Transversalgeschwindigkeit im Erdinnern entspricht, würde die Zusammendrückbarkeit im Innern $K = 3,9 \times 10^6$ Atm. betragen

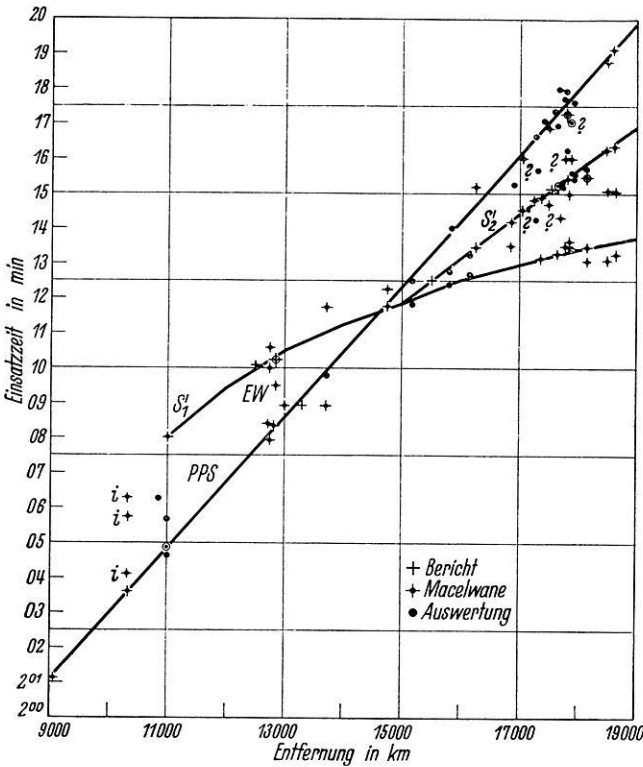


Abb. 14. Der Bereich der PPS-Welle.

tungen, ob diese Wellengruppen wirklich als reine Transversalwellen durch den Kern anzusprechen sind.

Bemerkenswert ist noch, daß in der neuesten Zusammenstellung der Laufzeitkurven von GUTENBERG (14) im Handbuch der Geophysik eine S' -Welle nicht besonders berücksichtigt wurde (s. Tab. 25, S. 53).

Vergleicht man das Beobachtungsmaterial der 3 Wellengruppen, die von etwa 15000 km ab nebeneinander zu erwarten sind, so erscheint das Beobachtungsmaterial der S_1 -Welle gegenüber der vorläufig als S_2' bezeichneten Welle sehr spärlich, insbesondere ist im Bereich der großen Herdentfernung kaum eine weitere Bestätigung der Beobachtungsergebnisse von MACELWANE (2) erfolgt. Für S_2' besteht eine starke

gegenüber der von $6,3 \times 10^6$ innerhalb der Zwischenschicht (13). Dieser Widerspruch führte E. WIECHERT (12), unter der Voraussetzung des Fehlens von Transversalwellen in größeren Herdentfernungen, zu der Annahme eines flüssigen Erdkerns.

Die Existenz von Transversalwellen sowie der starke Rückgang der Geschwindigkeit im Innern würde jedoch einen flüssigen Erdkern ausschließen. Es bedarf daher noch weiterer sorgfältiger Beobach-

Tabelle 26. (Fortsetzung.)

Station	Ent- fernung km	PPS	S_1'	S_2'	$SR_1(1)$	$SR_1(2)$	$SR_2(1)$	$SR_2(2)$	$SR_2(3)$	SR_2
Rio Tinto	17 860	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Tortosa	17 640	◆	*	◆	◆	◆	◆	◆	.	◆
Ravensburg	17 660	◆	.	◆	◆	◆	.	.	.	.
Upsala	17 680	◆	.	.	◆	◆	◆	◆	◆	.
Zürich	17 700	◆	.	◆	.	◆	◆	◆	◆	◆
Potsdam	17 720	◆	.	◆	.	◆	.	.	◆	.
Moncalieri	17 740	.	.	+	.	.	◆	.	.	.
Hohenheim	17 740	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Neuchâtel	17 780	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lissabon	17 820	.	.	*	.	*	.	◆	◆	.
Straßburg	17 820	*	.	*	*	.	*	*	.	.
Heidelberg	17 820	◆	.	◆	◆	◆	.	.	.	.
Göttingen	17 860	.	.	◆	◆	◆	.	.	?	.
Feldberg	17 890	.	.	*	*	*	*	*	.	*
Besançon	17 900	.	.	.	.	◆	.	.	.	.
Coimbra	17 940	◆	.	◆	◆	◆	.	◆	◆	.
Hamburg	17 940	.	.	◆	◆	◆	.	◆	◆	◆
Ucele	18 160	.	*	*	*	.	.	*	*	.
Paris	18 180	.	*	*	*	*	.	.	.	.
De Bilt	18 180	.	.	*	*	*	*	*	.	.
Bergen	18 370	.	.	.	.	.	.	◆	◆	.
Kew	18 550	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Oxford	18 560	◆	.	*	.	*	.	.	.	*
Westbromwich	18 650	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Stonyhurst	18 740	◆	.	*	.	*	.	*	.	*
Bidstone	18 750	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dyce	18 800	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Eskdalemuir	18 830	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Edinburgh	18 840	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Häufung der Beobachtungsergebnisse. Die Einsätze der PPS-Welle treten gegenüber der S_2' -Welle weit zurück. Auffallend ist das Fehlen der PPS-Welle bei La Plata, Honolulu, La Paz, obwohl nähere und weitere Stationen diesen Einsatz zeigen. Ebenso fehlt S_1' im Bereich von 17500 km, während PPS und S_2' beobachtet werden.

Perioden. Ausgesprochene Gesetzmäßigkeiten über Periodenwerte lassen sich nicht feststellen. Es scheint, daß der mittlere Periodenwert von PPS am niedrigsten (13 sec.), von S_1' höher (15 sec.) und von S_2' am höchsten (um 20 sec.) liegt. Dabei kommen jedoch auch auffallend hohe Werte bei PPS (25—28 sec.) und besonders bei S_2' (32—35 sec.) vor. Bei allen 3 Wellengruppen sind Einzeleinsätze oder eine Doppelschwingung vorherrschend.

VIII. Die Reflexionen der Transversalwelle.

1. Die 1. Reflexion S_{R1} .

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Die S_{R1} -Welle wird von etwa 4000 km ab beobachtet. Das Schwingungsbild ist meist eine langperiodige emersio, aus der sich der eigentliche Einsatz deutlich abhebt. Die zahlreichen Beobachtungsergebnisse lassen erkennen, daß es sich um eine gut ausgeprägte Phase im Diagramm handelt, die in allen Herdentfernungen deutlich beobachtet wird. In der folgenden Tabelle wird für dieses Beben die beobachtete Laufzeitkurve dargestellt mit ihren Abweichungen von der *Laufzeitkurve* 1929, bzw. von der theoretischen Kurve $T_{\Delta} = 2 T_{\Delta/2}$.

Tabelle 27. Die Laufzeitkurve der S_{R1} -Welle.

Entfernung			T	δ	T	Entfernung			T	δ	T	
			neu		alt				neu		alt	
km	m	s		s	m	s	km	m	s	s	m	s
5 000	17	46	—	40	18	26	13 000	36	44	+ 22	36	22
6 000	20	32	—	33	21	05	14 000	38	43	+ 31	38	12
7 000	23	11	—	22	23	33	15 000	40	33	+ 34	39	59
8 000	25	43	—	14	25	57	16 000	42	21	+ 33	41	48
9 000	28	08	—	1	28	09	17 000	44	09	+ 41	43	28
10 000	30	26	+	13	30	13	18 000	45	57	+ 59	44	58
11 000	32	38		0	32	38	19 000	47	45	+ 77	46	28
12 000	34	44	+	12	34	32						

In dieser Laufzeitabelle entspricht der Kurvenast über 15000 km der Gleichung:

$$T = T_0 + 40^m \ 33^s + \frac{(\Delta - 15000) \text{ km}}{9,26 \text{ km/sec.}}$$

Bei den geringeren Herdentfernungen beobachtet man die Einsätze dieses Bebens wesentlich früher, als nach der Theorie, bzw. nach der alten Laufzeitkurve zu erwarten war. Von etwa 11000 km ab jedoch liegen die Einsatzzeiten der gut ausgeprägten Einsätze zum Teil wesentlich später als bei der theoretischen Kurve. Die Aufspaltung der Gesamtphase S_{R1} beginnt bereits bei etwa 7000 km Herdentfernung (Batavia) und erstreckt sich über alle Herdentfernungen. Die Zeitdifferenz zwischen dem Auftauchen und dem scharfen Einsatz ist für alle Entfernungen ziemlich gleich und beträgt im Mittel 0,8 min.

Die Tabelle zeigt die Abweichungen der einzelnen Einsätze von der oben angegebenen Laufzeitkurve. Trotz der Deutlichkeit der gut ausgeprägten S_{R1} -Phase treten stärkere Abweichungen von der Laufzeitkurve auf, die ihre Erklärung in der Zusammensetzung der Phase aus dem Doppeleinsatz e und i finden.

Tabelle 28. Die Beobachtungsergebnisse der S_{R1} -Welle.

	Station	Ent- fernung	T ber.		δ_1	T_1 beob.		δ_2	T_2 beob.		Perioden	
			m	s		s	m		s	s	m	s	$\tau_1$	$\tau_2$
+	Perth	4 210	.	.	.	.	.	.	53	31	.	.
◆	Apia	5 380	56	31	.	.	.	+ 1	56	32	.	.
◆	Batavia . . .	7 130	00	51	{ + 35 + 45	N 00	16	+ 11	i 00	40	.	8
◆	Manila	8 600	4	33		E 00,1	.	+ 35	i 00	16	.	8
*	Santiago . . .	9 040	5	37	.	e 04,0	.	+ 9	04	24	.	.
◆	La Plata . . .	9 310	6	14	.	.	.	{ + 39 + 23	E 05	35	.	28
*	Honolulu . . .	9 560	6	49	+ 47	e 06	02		+ 10	N 05	51	.	28
+	Hongkong . . .	9 650	7	02	.	.	.	0	06	39	11	24
+	Nagasaki . . .	10 240	8	20	.	.	.	+ 14	07	02	.	.
*	Zi-ka-wei . . .	10 320	8	31	+ 20	08	11	+ 5	08	06	.	.
◆	La Paz	10 850	9	39	.	.	.	+ 21	08	26	.	8
◆	Rio de Jan. . .	10 970	9	57	+ 57	09,0	.	+ 17	N 09	18	.	28
◆	Hyderabad . .	10 980	9	59	+ 25	e 09	34	+ 9	09	40	.	17
+	Veracruz . . .	12 740	13	36	+ 40	i 10	08	.	i 10	08	.	16
*	Pasadena . . .	12 750	13	37	+ 39	.	.	.	.	.	.	.
*	Balboa	12 780	13	41	.	.	.	- 8	.	.	.	.
*	Lick Obs. . . .	12 840	13	48	+ 54	12	54	+ 16	13	49	.	.
*	Berkeley . . .	12 860	13	50	.	.	.	{ + 2 - 7	N 13	48	36	.
*	Tucson	13 000	14	07	.	.	.		- 9	E 13	57	36
◆	Victoria . . .	13 710	15	30	.	.	.	+ 33	14	16	.	.
*	Sitka	13 940	15	56	.	.	.	+ 13	14	57	.	24
+	Viecques . . .	13 940	15	56	.	.	.	+ 13	15	43	.	.
+	St. Louis . . .	14 440	16	54	.	.	.	+ 32	16	12	.	.
*	Chicago	14 760	17	29	.	.	.	0	17	29	.	.
*	Georgetown . .	15 170	18	14	56	17	18	+ 6	i 18	08	.	.
*	Washington . .	15 600	19	01	.	.	.	+ 1	19,0	.	.	.
*	Cheltenham . .	15 600	19	01	+ 30	18	31	.	.	.	.	.
*	Cheltenham . .	15 600	19	01	+ 42	18	19	.	.	.	.	.
◆	Toronto	15 810	19	22	{ + 22 + 29	19,0	.	- 10	19	32	.	10
+	Ithaca	15 900	19	33		+ 33	18	53	- 12	19	34	.	46
◆	Ottawa	16 160	20	01	+ 60	19	00	.	.	.	.	.
*	Northfield . . .	16 240	20	09	.	.	.	+ 17	19	44	.	45
◆	Belgrad	16 800	21	11	+ 56	19,0	.	+ 16	19	45	.	45
+	Valle di Pomp.	16 860	21	17	+ 52	20	15	+ 1	20	17	.	20
◆	Neapel	16 880	21	19	.	.	.	- 8	21,2	.	.	^{15/22}
◆	Pulkowo	16 980	21	30	+ 36	20	24	.	.	.	.	.
*	Budapest . . .	17 070	21	39	+ 19	20	24	.	N 21,6	.	.	18
*	Florenz	17 280	22	02	.	.	.	{ - 17 + 13	E 21,1	.	.	34
*	Florenz	17 280	22	02	.	.	.		- 22	21	49	20
*	Florenz	17 280	22	02	.	.	.	- 22	22	24	28	.

Tabelle 28. (Fortsetzung.)

	Station	Ent- fernung	T ber.		δ_1	T_1 beob.		δ_2	T_2 beob.		Perioden	
			m	s		s	m		s	s	m	s
◆	Wien	17 280	22	02	+ 32	21,5		o	E 22,0			. 17
								+ 10	Nf 21 52			. 17
								- 28	i 22 30			. 17
◆	Toledo	17 360	22	11	.	? 20 07		- 2	* 22 13			. 20
★	Cartuja	17 470	22	22	+ 54	21 28		.	.			. .
◆	München	17 580	22	35	+ 60	eN 21,5		+ 5	e E 22,5			. 14
					+ 47	i 21 48		- 13	iNE 22 48			. 14
★	Barcelona	17 600	22	37	.	.		o	22 37			. .
◆	Tortosa	17 640	22	41	+ 54	i 21 47		+ 41	e 22,0			20 20
								- 11	i 22 52			
◆	Ravensburg	17 630	22	41	+ 41	22,0		+ 17	N 22 24			. 24
								- 19	E 23,0			. .
◆	Upsala	17 680	22	45	+ 1 ^m 27	21,3		- 1	22 46			. 40
◆	Zürich	17 700	22	48	.	.		+ 18	22,5			. 22
◆	Potsdam	17 720	22	50	.	.		+ 5	22 45			. 30
★	Lissabon	17 820	23	00	+ 42	22 18		- 41	23 41			. .
★	Straßburg	17 820	23	00	+ 1 ^m 05	21 55		.	.			. .
◆	Heidelberg	17 820	23	00	+ 30	22,5		- 2	23 02			10 10
◆	Göttingen	17 860	23	06	+ 60	22,1		o	23,1			. 30/40
★	Feldberg	17 890	23	09	+ 83	21 46		+ 26	22 43			. .
★	Besançon	17 900	23	09	.	.		+ 9	23,0			. .
◆	Coimbra	17 940	23	13	+ 53	22 20		- 11	23,4			24 28
◆	Hamburg	17 940	23	13	+ 43	e 22,5		- 4	i 23 17!			. 32
★	Uccle	18 160	23	37	+ 40	22 57!		.	.			. .
★	Paris	18 180	23	39	+ 57	22 42		+ 24	23 15			. .
★	De Bilt	18 180	23	39	+ 1 ^m 09	22,5		+ 15	23 24			. .
★	Oxford	18 550	24	20	.	.		- 8	24 28			. .
★	Stonyhurst	18 650	24	29	.	.		.	25 16			. .

Perioden. Die Perioden der eigentlichen S_{R1} -Phase sind im allgemeinen sehr lang. Diese Erscheinung wurde schon häufiger bei Bearbeitung der regelmäßigen Stationsberichte beobachtet. Beispielsweise traten in Entfernungen von etwa 9000 km (Japanische Beben) in Jena sehr gut ausgeprägte Einsätze im Bereich der S_{R1} -Phase mit langen Perioden auf. Bei diesem Beben wurden Perioden von 30 bis 40 sec. und darüber wiederholt beobachtet. Eine Abhängigkeit von der Entfernung war nicht erkennbar.

2. Die 2. Reflexion S_{R2} .

Allgemeine Ergebnisse und Laufzeitkurven. Die S_{R2} -Welle ist in ihrem ganzen Wellenbereich ziemlich deutlich ausgeprägt, so daß sich eingehende Untersuchungen anstellen lassen. Eine Lücke scheint im Bereich

zwischen 9000 km und 11000 km vorzuliegen, da selbst Stationen mit guten Seismogrammen, Manila, La Plata, La Paz, keine Einsätze zeigen.

Nach den vorliegenden Beobachtungen treten im Bereich der S_{R2} -Welle 3 Äste auf. Von etwa 16000 km Herdentfernung spaltet sich die eigentliche S_{R2} -Welle in 2 Äste, deren Laufzeitkurven nahezu parallel in etwa 1 min.

Abstand verlaufen. In der Regel ist der früher gelegene Einsatz eine langperiodige emersio, aus der sich der Haupteinsatz scharf abhebt. In manchen Fällen ist jedoch der erste Einsatz auch gut ausgeprägt. Die zweite Abzweigung ist eine Laufzeitkurve, die mit einer Laufzeit von 52,6 min. parallel der X-Achse verläuft. Sie beginnt bei diesem Beben bei etwa 17300 km Herdentfernung (Florenz) mit einem deutlichen Einsatz und trifft bei 18350 km auf die Hauptkurve.

Zwischen 6000 und 13000 km entspricht das Beobachtungsmaterial der früher angegebenen Laufzeitkurve. Irgendwelche Veränderungen schienen wegen der verhältnismäßig geringen Anzahl von Beobachtungen nicht durchführbar. Von 13000 km ab paßten sich die Beobachtungen einer geraden Linie an.

Damit bestehen also im Bereich der großen Herdentfernungen 3 Laufzeitkurven:

$$T_1 = T_0 + 46^m 42^s + \frac{(\Delta - 16000) \text{ km}}{7,9 \text{ km/sec}}$$

$$T_2 = T_0 + 42^m 42^s + \frac{(\Delta - 14000) \text{ km}}{7,9 \text{ km/sec}}$$

$$T_3 = T_0 + 52^m 37^s, 17300 < \Delta < 18350 \text{ km}$$

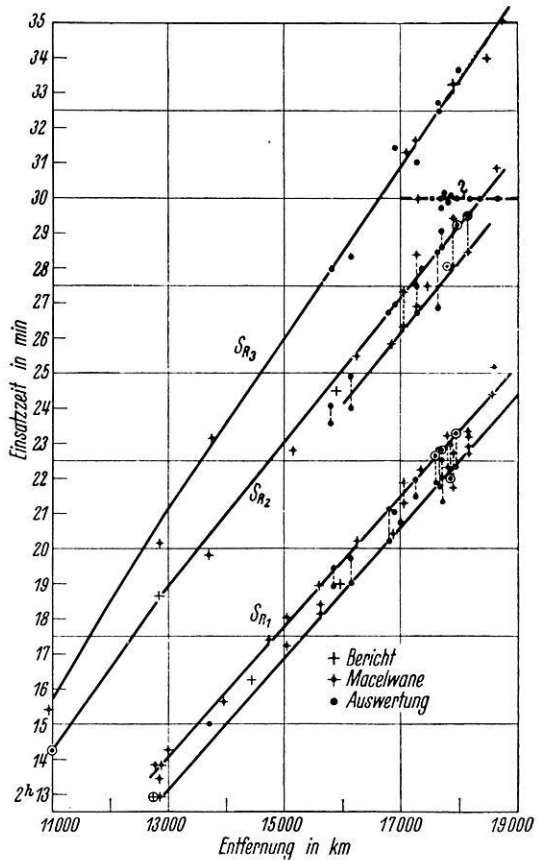


Abb. 15. Der Bereich der reflektierten Transversalwellen.

Tabelle 29. Uebersicht über die Laufzeitkurven der S_{R_2} -Welle.

Entfernung	T alt	Entfernung	T ₁	T ₂	δ	T alt
km	m s	km	m s	m s		m s
6 000	22 54	13 000	.	.	.	41 21
7 000	26 06	14 000	.	43 27	—10	43 37
8 000	29 07	15 000	.	45 33	—14	45 47
9 000	31 57	16 000	46 39	47 39	—18	47 57
10 000	34 32	17 000	48 45	49 45	—17	50 02
11 000	36 57	18 000	50 51	51 51	—1	51 52
12 000	39 12	19 000	52 57	53 57	+20	53 37

Einsätze der 3. Phase von S_{R_2} .

Station	Entfernung	T ber.	δ	T beob.
	km	m s	s	m s
Florenz	17 280	52 37	0	i 52 37!!
Upsala	17 680	52 37	+10	i 52 27!!
Zürich	17 700	52 37	+1	52,6
Potsdam	17 720	52 37	—6	52 43
Lissabon	17 820	52 37	+4	52 33!!
Göttingen	17 860	52 37	+1	52,6
Coimbra	17 940	52 37	+2	52 35
Hamburg	17 940	52 37	+1	52,6
Uccle	18 180	52 37	0	i 52 37
Bergen	18 370	52 37	—2	52 39

Tabelle 30. Beobachtungsergebnisse der S_{R_2} -Welle.

	Station	Ent- fernung	T ₂ ber.	δ	T ₂ beob.	T ₁ ber.	δ	T ₁ beob.	Perioden		Bemer- kungen
									τ ₁	τ ₂	
		km	m s	s	m s	m s	s	m s	s	s	
◆	Apia	5 380	.	.	{ e 57 23 48 11	.	.	.	10	.	
◆	Malabar	6 990	03 29	{ —20 +3	N i 03 49 E i 03 26	.	.	.	21	.	
◆	Manila	8 600	08 12	sehr un- deutlich
*	Santiago	9 040	09 26	—11	09 37	.	.	.	—	.	
◆	Rio de Janeiro	10 970	14 16	0	14 16	.	.	.	26	.	
◆	Hyderabad	10 980	14 17	+1	14 16	.	.	.	17	.	
+	Berkeley	12 860	18 34	—6	18 40	.	.	.	12	.	
*	Victoria	13 710	20 12	+23	19 49	.	.	.	24	.	
*	Chicago	15 170	23 18	+30	22 48	.	.	.	32	.	
◆	Toronto	15 810	24 37	+32	i ₂ 24 05	23 37	± 0	23 37	30	23	
+	Ithaka	15 900	24 49	+19	24 30	.	.	.	.	.
◆	Ottawa	16 160	25 22	+28	i 24 54	24 22	+22	24,0	24	.	
*	Northfield	16 240	25 32	—2	25 34	.	.	.	22	.	

Tabelle 30. (Fortsetzung.)

	Station	Ent- fernung	T ₂ ber.		δ	T ₂ beob.		T ₁		δ	T ₁ beob.		Perioden		Bemer- kungen		
			m	s		m	s	m	s		m	s	s	s			
◆	Belgrad . . .	16 800	26	43	— 4	26	47	.	.	.	.	34	.	.	
★	Valle di Pomp.	16 860	.	.	.	.	.	25	50	— 4	25	54	.	.	
◆	Napoli-Vom..	16 880	26	53	— 1	26,9	.	.	.	.	.	17	.	.	
★	Budapest . . .	17 070	27	16	— 4	i ₂ 27	20 !!	26	16	— 4	i ₁ 26	20	.	.			
★	Florenz . . .	17 280	27	43	— 44	i ₂ 28	27	26	43	— 10	i ₁ 26	53	.	26			
◆	Wien	17 280	27	43	{	+ 27	N	27	16	{	26	43	+ 3	e 26	40	39	50
					{	+ 15	E	27	28	}							
◆	Toledo . . .	17 360	27	53	— 5	27	58		
★	Cartuja . . .	17 470	28	06	+ 27	27	39	.	.	.	.	30	.	.	
◆	Tortosa . . .	17 640	28	29	+ 10	i 28	19 !!	27	29	+ 41	e 26,8	20	> 60				
◆	Upsala . . .	17 680	28	34	— 76	i 29	50	27	34	— 128	29	42	36	22			
◆	Zürich . . .	17 700	28	36	{	+ 6	29,5	.	.	.	.	.	.	.
					{	— 22	28	58	.	.	.	.	.	.
★	Moncálieri . .	17 740	.	.	.	.	.	27	42	— 24	28	06	.	.	
★	Straßburg . .	17 820	.	.	.	.	.	27	51	— 2	27	53	.	.	
★	Feldberg . . .	17 890	29	01	— 28	29	29	28	01	— 16	28	17	.	.			
◆	Coimbra . . .	17 940	29	07	— 7	29	14	.	.	.	.	28	.	.	
◆	Hamburg . . .	17 940	29	07	+ 1	29,1	.	.	.	.	.	24	.	.	
★	Uecle	18 160	29	34	+ 6	29	28	.	.	.	.	.	.	.
★	De Bilt . . .	18 180	29	36	— 3	29	39	28	36	+ 7	28	29	.	.			
◆	Bergen	18 370	30	01	— 1	30	02	.	.	.	.	.	.	.
★	Stonyhurst .	18 650	30	36	— 22	30	57	.	.	.	.	.	.	.

Perioden und Schwingungsbild. Von den 23 gemessenen Periodenwerten liegen nur vier unterhalb einer Periode von 20 sec. Zwischen 20 sec. und 30 sec. wurden 13 Werte beobachtet. Außerdem waren 6 Werte von 30 sec. und darüber vorhanden. Eine allgemeine Gesetzmäßigkeit ließ sich nicht beobachten.

In den meisten Fällen trat die S_{R2}-Welle als Doppelgruppe auf, bei der sich aus einer langperiodigen Emersio der eigentliche Einsatz heraushob.

3. Die 3. Reflexion S_{R3}.

Allgemeine Beobachtungsergebnisse und Laufzeitkurven. Während bei der S_{R2}-Welle noch ein ziemlich reiches Beobachtungsmaterial vorhanden war, treten die Einsätze der S_{R3}-Welle sehr stark zurück. Trotz des umfangreichen Stationsmaterials sind nur wenig Einsätze beobachtet. Selbst die vorhandenen Beobachtungen streuen ziemlich, so daß es kaum möglich ist, für dieses Beben spezielle Kurven aufzustellen. Um daher die Einsätze überhaupt einer Kurve zuordnen zu können, wurde als Ausgangskurve eine theoretische Kurve zugrunde gelegt:

$S_{R3} = 2 S_{R1}$ für $\Delta S_{R3} = 2 \cdot \frac{1}{2} \Delta S_{R1}$. Erst im Bereich der großen Herdentfernungen ließ sich eine mittlere Laufzeitkurve zeichnen.

$$S_{R3} = T_0 + 43^m 47^s + \frac{(\Delta - 13000) \text{ km}}{6,8 \text{ km/sec.}}$$

Die zum Vergleich der Beobachtungen verwendete Laufzeitkurve hat folgende Form:

Entfernung	T alt	δ	T neu	Entfernung	T alt	δ	T neu
km	m s	s	m s	km	m s	s	m s
10 000	35 32	.	.	15 000	48 57	+ 16	48 41
11 000	38 22	.	.	16 000	51 28	+ 20	51 08
12 000	41 06	.	.	17 000	53 56	+ 21	53 35
13 000	43 46	- 1	43 47	18 000	56 21	+ 19	56 02
14 000	46 23	+ 9	46 14	19 000	58 46	+ 17	58 29

Tabelle 31. Das Beobachtungsmaterial der S_{R3} -Welle.

	Station	Entfernung	T ber.	δ	T beob.	τ
		km	m s	s	m s	s
*	Honolulu . . .	9 560	12 59	- 11	i 12 24 i 13 10	.
*	Rio de Janeiro .	10 970	15 42	+ 16	15 26	24
*	Berkeley	12 860	20 46	+ 37	20 09	9
*	Victoria	13 710	22 58	- 14	23 12	.
◆	Toronto	15 810	28 02	+ 2	28,0	.
◆	Ottawa	16 160	28 51	+ 32	28 19	30
◆	Napoli-Vom. . .	16 880	30 41	- 47	31 28	35
*	Budapest . . .	17 070	31 08	- 9	31 17	.
*	Florenz	17 280	31 40	+ 6	31 34	.
◆	Wien	17 280	31 40	+ 40	31,0	18
◆	Tortosa	17 640	32 32	- 14	32 46	20
◆	Zürich	17 700	32 41	+ 5	32,6	25
*	Feldberg	17 890	33 10	- 7	33 17	.
◆	Hamburg	17 940	33 16	- 24	33 40	lg.
*	Oxford	18 560	34 47	+ 47	34 00	.
*	Stonyhurst . . .	18 740	35 14	+ 10	35 04	.

Perioden und Schwingungsbild. Bei dem verhältnismäßig geringen Beobachtungsmaterial lassen sich keine besonderen Angaben über die Perioden machen. Jedoch hat man den Eindruck, daß bei der 3. Reflexion des 2. Vorläufers längere Perioden vorherrschen. Charakteristische Phasenmerkmale lassen sich nicht aufstellen.

4. Weitere Einsätze zwischen S_{R3} und Hauptphase.

Bei einer Reihe von Stationen zeigen die Seismogramme zwischen der S_{R3} -Welle und der Hauptphase einzelne, zum Teil gut ausgeprägte Welleneinsätze. Diese treten jedoch nicht gleichmäßig bei allen Stationen auf, so daß es nicht möglich ist, diese Einsätze einer bestimmten Wellenart bzw. einer Laufzeitkurve zuzuordnen. Sie wurden daher nur in den Einzelauswertungen aufgeführt.

Zusammenfassend läßt sich noch über das Auftreten von Einsätzen im Seismogramm bemerken, daß im allgemeinen bei den Stationen im großen Herdentfernungen, also vorwiegend bei den europäischen Stationen, die Ost-Westkomponente besser ausgeprägt ist und viel mehr Einzelheiten erkennen läßt, als die Nord-Süd-Komponente.

IX. Die Hauptphase und Nachläuferwellen.

Die *Geschwindigkeit der Hauptwellen L_1 und L_2* . Bei der Untersuchung der Hauptwellen wurden, soweit es möglich war, die Einsatzzeiten der meist unregelmäßig ausgebildeten langperiodigen Bewegungen L_1 und die der gleichmäßigen sinusförmigen Bewegungen L_2 unterschieden. Für jede einzelne Station wurde dann die Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt. Das nachstehende Häufigkeitsdiagramm ergibt eine allgemeine Übersicht über die vorkommenden Geschwindigkeiten der Hauptwellen.

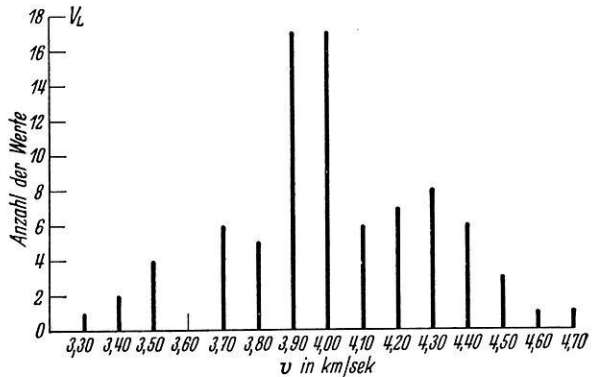


Abb. 16. Die Geschwindigkeitsverteilung bei den Hauptwellen.

Abgesehen von sehr großen Abweichungen lagen die Geschwindigkeitswerte zwischen 3,30 km/sec. und 4,70 km/sec. Die Zusammenfassung der einzelnen Werte geschah in der Form, daß die Tabelle der Geschwindigkeiten in 1/10 km/sec. eingeteilt wurde und die Werte größer als 0,05 sec. dem höheren Zehntel zugeordnet werden.

Das Häufigkeitsdiagramm zeigt ein gut ausgeprägtes Maximum zwischen 3,90 km/sec. und 4,00 km/sec., sowie eine Anreicherung der Beobachtungen im Bereich der Geschwindigkeit von 4,30 km/sec.

Die beobachteten Geschwindigkeiten ergeben den allgemeinen Mittelwert $V = 4,03$ km/sec.

Zum Vergleich des Einflusses des Wellenweges auf die Geschwindigkeit der Oberflächenwellen wird die Lage der einzelnen Stationen in bezug auf das Epizentrum untersucht. Vorwiegend ozeanischer Wellenweg liegt vor bei den pazifischen und auch den meisten nordamerikanischen Stationen. Wellenwege mit stärkerem kontinentalem Anteil und hauptsächlich bei den europäischen Stationen vorhanden. Diese Einteilung verläuft fast parallel mit einer Einteilung nach Entfernung, d. h. Stationen mit größeren Herdentfernungen als 16120 km haben vorwiegend ozeanischen Wellenweg. Eine Untersuchung des gesamten Beobachtungsmaterials nach dieser Einteilung zeigt keine Besonderheiten. Es ergibt sich:

$$\mathfrak{B}_{\text{ocean}} = 4,04 \text{ km/sec.}; \mathfrak{B}_{\text{kont}} = 4,02 \text{ km/sec.}$$

Nimmt man jedoch eine Auslese der Stationen vor, bei denen die Aufzeichnungen zur Bearbeitung vorhanden sind, also die Auswertung nach einheitlichen Gesichtspunkten erfolgt ist, so scheinen Unterschiede vorhanden zu sein.

Es ergeben sich folgende Geschwindigkeiten:

$$\mathfrak{B}_{L_1 \text{ ocean}} = 4,45 \text{ km/sec. (9 Stationen)}$$

$$\mathfrak{B}_{L_1 \text{ kont}} = 4,25 \text{ km/sec. (15 Stationen)}$$

$$\mathfrak{B}_{L_2 \text{ kont}} = 3,75 \text{ km/sec.}$$

Nach Untersuchungen von E. TAMM (15) über den Unterschied der Wellengeschwindigkeit der Oberflächenwellen in Abhängigkeit vom Wellenweg ergab sich:

$$\frac{\mathfrak{B}_{\text{kont}}}{\mathfrak{B}_{\text{ocean}}} = \frac{3,801 \text{ km/sec}}{3,897 \text{ km/sec}} = 0,97.$$

Bei diesem Beben wurden höhere Geschwindigkeiten gefunden:

$$\frac{\mathfrak{B}_{\text{kont}}}{\mathfrak{B}_{\text{ocean}}} = \frac{4,25 \text{ km/sec}}{4,45 \text{ km/sec}} = 0,94.$$

Dieses Geschwindigkeitsverhältnis ist in recht guter Übereinstimmung mit dem Ergebnis von E. TAMM. Die höheren Einzelgeschwindigkeiten haben offenbar ihre Ursache in dem sehr starken ozeanischen Anteil des Wellenweges bei allen Stationen infolge der extremen Lage des Herdes im Süd-Pazifik.

Infolge der größeren Anzahl der europäischen Stationen ließ sich auch der Unterschied der beiden Wellengruppen L_1 und L_2 feststellen.

Es ist:

$$\frac{\mathfrak{B}_{L_1}}{\mathfrak{B}_{L_2}} = 0,88.$$

Perioden der Hauptphase und Nachläuferwellen. Eine systematische Untersuchung der Periodenwerte in Abhängigkeit von Entfernung und Wellenweg konnte bei der verhältnismäßig geringen Anzahl von Registrierungen der Hauptphase nicht völlig durchgeführt werden. Die Stationseinteilung geschah nach den gleichen Gesichtspunkten wie bei der Geschwindigkeitsuntersuchung für die Hauptphase. Allgemein wird das bekannte Anwachsen der Periodenlänge mit zunehmender Herdentfernung beobachtet.

Bei den Stationen mit vorwiegend ozeanischem Wellenweg, also bei den meisten amerikanischen Stationen, werden große Periodenwerte in der Größenordnung von 20 sec. und mehr festgestellt.

Europäische Stationen zeigen Perioden von 18—20 sec. in der Hauptphase. Bei den Nachläuferwellen treten Perioden von 15, 16 und 18 sec. in der Hauptsache auf. Beachtenswert ist hierbei der Unterschied zwischen den Perioden der Hauptphase und denen der Nachläuferwellen.

Die Erscheinungen der schnellen Oberflächenwellen wurden eingehend von J. B. MACELWANE (2) diskutiert. Interessant jedoch dürfte der Hinweis sein, daß die in Riverview anscheinend bei dem Wiechert-1000-kg-Seismograph deutlich beobachtete X_1 -Welle bei den Aufzeichnungen der beiden Mainka-Horizontalseismographen mit getrennten Komponenten fehlen.

Literatur.

1. GUTENBERG, B., Laufzeitkurven in „SIEBERG, A., Erdbebenkunde“, Jena 1923.
2. MACELWANE S. J., J. B., The South Pacific Earthquake of June 26. 1924. Gerl. Beitr. z. Geophys. **28**, 1930.
3. MOHOROVIČIĆ, S. u. A., Hodografi... Rad jugoslav. Akadem., 1921.
4. KRUMBACH, G., u. SIEBERG, A., Die wichtigeren Beben des Jahres 1924 und ihre Bearbeitung. Veröff. d. Reichanst. f. Erdbebenforsch. Heft 11, Jena 1930.
5. TURNER, H., International Summary 1924.
6. KRUMBACH, G., Seismische Registrierungen in Jena 1931 ff. Veröff. d. Reichanst. f. Erdbebenforsch. Heft 18, Jena 1932.
7. Ders., Zur Frage der Laufzeitkurven II. Zeitschr. f. Geophys. **5**, 1929.
8. CONRAD, V., Einsätze in Fernbebendiagrammen. Gerl. Beitr. z. Geophys. **24**, 1929/30.
9. ROSENTHAL-KLOTZ, Stereographische Projektion in „SIEBERG, A., Erdbebenkunde“, Jena 1923.
10. LEHMANN, I., P' as read from the records of the earthquake of June 26., 1929. Gerl. Beitr. z. Geophys. **26**, 1930.

11. Dies., u. PLETT, G., Untersuchungen der europäischen Registrierungen der Erdbeben vom 18. 7. 1928, 24. 10. 1930 und 13. 11. 1925. Gerl. Beitr. z. Geophys. **36**, 1932.
 12. WIECHERT, E., Die Beschaffenheit des Erdinnern. Nachr. d. Ges. d. Wiss. Göttingen 1924.
 13. KRUMBACH, G., „Seismik“ in Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 25, Leipzig) 1931.
 14. GUTENBERG, B., Handbuch der Geophysik, Bd. 4, Berlin 1929.
 15. TAMS, E., Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Oberflächenwellen. Zbl. f. Mineral. 1921.
-