

Werk

Jahr: 1938

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:14

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0014

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0014

LOG Id: LOG_0064

LOG Titel: Ausgleichung der besten Stationsbeobachtungen mitteleuropäischer Erdbeben

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

[3] E. V. Appleton: Regularities and irregularities in the ionosphere. I. Proc. Roy. Soc. London (A) **162**, 451—479 (1937).

[4] W. von Bezold: Zur Theorie des Erdmagnetismus. Sitzungsber. Berlin, Math. u. naturw. Mitt. IV, S. 271—306 (1897).

[5] H. Rudolph: Der Einfluß der Sonne auf den elektrischen und magnetischen Zustand der Erde, 61 S. Leipzig, Verlag Otto Hillmann, 1936.

[6] A. Wigand: Die Feinstruktur des luftelektrischen Feldes. Zeitschr. f. Geophys. **5**, 319—321 (1929).

[7] H. Rudolph: Der Einfluß der Sonne auf den elektrischen und magnetischen Zustand der Erde, S. 34—40. Leipzig, Verlag Otto Hillmann, 1936.

[8] H. Rudolph: Über die Heßsche Höhenstrahlung. Astron. Nachrichten **262**, 29—32 (1937), Nr. 6266.

[9] Ivo Ranzi: Sugli agenti di ionizzazione dell' alta atmosfera. Nuovo Cimento N. s. **14**, 145—170 (1937).

Ausgleichung der besten Stationsbeobachtungen mitteleuropäischer Erdbeben

Von **Gerhard Schmerwitz**, Jena. — (Mit 6 Abbildungen)

(Im Rahmen von Arbeiten der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena sind nachfolgende systematische Untersuchungen erweiterten Umfangs durchgeführt worden.)

Inhaltsübersicht

Einleitung. Abgrenzung des Nahbebenbereichs.

Teil I. Koordinatenberechnung.

- a) Bemerkungen zu den bisherigen Verfahren der Berechnung rechtwinkliger Koordinaten auf der Erdoberfläche für seismische Auswertungen.
- b) Ableitung rechtwinkliger Koordinaten für den Nahbebenbereich.

Teil II. Ausgleichung.

- a) Die Berechnungsgrundlagen für das Ausgleichungsverfahren.
- b) Praktische Handhabung des Verfahrens für 5 Unbekannte.
- c) 1. Vollständige Durchführung der Rechnung an einem Beispiel.
2. bis 12. Hauptwerte der Rechnungen für die herangezogenen Beben mit endgültigen Herdwerten, jeweiligen Fehlerbereichen und wahrscheinlichsten Stationszeitverbesserungen.

Teil III. Folgerungen aus den Ausgleichungsergebnissen.

- a) Die Genauigkeit der Herdangaben.
- b) Über Systematik in den Stationsfehlern.
- c) Richtungsabhängigkeit der Verbesserungen.
- d) Verlagerung der Herdtiefe bei Nachbeben.

Teil IV. Hauptergebnis.

- a) Abnahme der Wellengeschwindigkeit mit der Herdtiefe.
- b) Erklärung der Geschwindigkeitsabnahme.

Teil I. Es wird nachgewiesen, daß die in der geophysikalischen Literatur sehr verbreitete Voraussetzung, den Parallelkreis als die eine Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems anzusehen, Fehler in der Stationslage bis zu 20 km in etwa 500 km Entfernung vom Epizentrum verursacht. Die Einordnung der Stationen in ein rechtwinkliges sphärisches Koordinatensystem wird unter Ableitung der hierfür notwendigen Korrekturen durchgeführt. — *Teil II.* Bei der Auswertung der Erdbebenstationsbeobachtungen müssen fünf Unbekannte aus den verschiedenen Zeiteinsätzen der Erdbebenwellen ermittelt werden. Die Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate ist daher auf fünf Elemente zugleich zu erstrecken: Die Koordinaten x und y ; die Herdzeit t_0 ; die Herdtiefe z und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v . Hierzu erforderliche lineare Gleichungen werden durch Reihenentwicklung erhalten. Nur so lassen sich die Werte der fünf Elemente ohne jeden Zwang und ohne Willkür bestimmen. Das Verfahren wurde auf 12 Bebenbeobachtungen mit je 7 bis 22 Stationen angewendet. — *Teil III und IV.* In einer Fehlerrechnung wird gezeigt, daß die bisher immer nur abgeschätzte Genauigkeit der Herdtiefenbestimmung und der Geschwindigkeit viel zu hoch veranschlagt worden ist. Weiter wird nachgewiesen, daß die Geschwindigkeit mit der Herdtiefe abnimmt. Mit dieser Feststellung ist der P*-Schicht und anderen hypothetischen Schichtungen hoher Geschwindigkeitswerte innerhalb der oberen Erdkruste die Beobachtungsgrundlage entzogen. Bei Heranziehung von 89 Stationszeiten von P-Wellen und 49 von S-Wellen gibt eine eingehende Erörterung der übrigbleibenden Stationsfehler die Möglichkeit, eine Reihe von Fragen mit größerer Sicherheit zu beantworten, als es bisher geschehen konnte. Das betrifft vor allem den Einfluß des geologischen Untergrundfaktors, Lageveränderung von Nachbeben gegenüber dem Hauptbeben, die Frage der Herdgestalt (ob nahezu punktförmiger oder ausgedehnter Herd), die Genauigkeit des Stationszeitdienstes, systematische Fehler der Stationen usw.

Einleitung: **Abgrenzung des Nahbebenbereichs**

Die Verwendung der Methode der kleinsten Quadrate zur Ausgleichung der Beobachtungsfehler von Nahbeben hat in der Seismik seit einer Veröffentlichung von V. Inglada [1] vermehrte Beachtung gefunden. Schon früher ist auf dieses Verfahren zurückgegriffen und z. B. von L. Geiger [2] eine sehr ausführliche Anwendung jedoch ausschließlich auf Fernbeben und nur für drei Bebenelemente mitgeteilt worden.

Da in dem besonderen Verfahren von V. Inglada von den fünf unbekanntenen Elementen auch nur drei (und zwar die unwesentlichen) ausgeglichen werden und dieses Verfahren außerdem nicht einwandfrei ist (siehe Teil IIa), konnte die Anwendung der Ausgleichsrechnung auf Nahbeben bisher keine überzeugende Wirkung ausüben.

In der vorliegenden Bearbeitung wurden als Nahbeben im Vergleich zu den bisherigen Abgrenzungen nur solche Beben angesehen, die einer stärker einschränkenden Bedingung unterworfen waren. Die Herdentfernung der Stationen durfte hier nicht mehr als 500 km betragen. Der Nachteil einer so engen Gebietsabgrenzung der Nahbeben wird durch die Anwendbarkeit eines rechtwinkligen, d. h. kartesischen Koordinatensystems weitgehend ausgeglichen, wie das Ergebnis der Rechnungen erst im weiteren Verlauf der Ausführungen erweisen wird.

Die auch sonst zugelassene Voraussetzung, daß der Ausbreitungsweg der Wellen vom Herd zur Station in erster Näherung durch einen geraden Strahl ersetzt werden kann, soll auch bei diesen Rechnungen zunächst gestattet sein. Mit dieser Voraussetzung ist die Annahme verbunden, daß entweder die Geschwindigkeit in den durchlaufenen Schichten konstant ist oder, was den wirklichen Verhältnissen näherkommen wird, daß der zugrunde gelegte Geschwindigkeitswert ein Mittelwert ist, der aus den Differenzen der Einsatzzeiten unter Beziehung auf einen geraden Strahlweg erhalten wird. Eine ausführliche Erörterung, ob und wie weit ein von der Geraden abweichender Strahlverlauf auf die Resultate von Einfluß ist, wird zweckmäßigerweise erst dann anzustellen sein, wenn die zunächst vereinfachte Grundannahme zu irgendwelchen systematischen und wesentlichen Abweichungen führen sollte.

Teil I: **Koordinatenberechnung**

a) Bemerkungen zu den bisherigen Verfahren der Berechnung rechtwinkliger Koordinaten auf der Erdoberfläche für seismische Auswertungen. Innerhalb der erwähnten Begrenzung der Stationsentfernungen kann der Bereich der Erdoberfläche als eine Ebene angesehen werden, in welcher entsprechend der Genauigkeit der seismischen Messungen mit rechtwinkligen Koordinaten gerechnet werden kann.

Aus der Landesvermessung ist bekannt, daß man einen Meridianstreifen in einer Breite von 200 km sogar bei den hohen geodätischen Anforderungen als eben ansehen darf. Wenn wir für seismische Zwecke die Streifenbreite auf das Fünffache erhöhen, so ist das erlaubt, weil hier ein mehr als hundertfach größerer Betrag des Fehlers der Ortsbestimmung, der in diesem Falle noch unter $1^{\circ}/_{00}$ liegen würde, ohne weiteres zuzulassen ist. Die Genauigkeit der seismischen Daten ist auch dann immer noch erheblich kleiner. Die besonderen Forderungen, welche die Gauß-Krüger-Koordinaten erfüllen, auch für die vorliegenden seismischen Anwendungen zu stellen, würde eine Übertreibung bedeuten. Hier genügen bereits einfache rechtwinklige, sphärische (sogenannte Soldnersche) Koordinaten.

In einer großen Zahl von Nahbebenbearbeitungen des letzten Jahrzehnts ist der geodätischen Frage der richtigen Berechnung des rechtwinkligen Koordinatensystems leider eine etwas zu geringe Sorgfalt gewidmet worden. In den Bearbeitungen wird die y -Achse des rechtwinkligen Systems in den Meridian (nach Norden +) gelegt, was einwandfrei ist. Die x -Achse wird jedoch fast immer mit dem Parallelkreis identifiziert, was falsch ist [1] S. 83; [3] S. 166; [4] S. 145; [5] S. 212; [6] S. 249.

Die Fehler, die hierdurch begangen werden, übersteigen in unseren Breiten bei 250 km Stationsentfernung bereits 5 km in der Ortsangabe, bei 450 km schon 20 km. Derartige Fehler müssen das Vertrauen in die großzügigen geologischen

Folgerungen, die in manchen Arbeiten oft schon aus einem einzigen abweichenden Stationswert gezogen werden, erheblich einschränken.

So wird z. B. von V. Inglada, trotzdem er in der Veröffentlichung 1928 [1] fordert, daß die Stationsentfernungen 350 km nicht übersteigen sollen, in der Veröffentlichung 1929 [7] infolge der erwähnten irrtümlichen Verwendung des Parallelkreises u. a. die Station Rocca di Papa mit einer Ortsabweichung in der y -Achse von etwa 75 km bedacht. Unter solchen Umständen erübrigt es sich, die hieran anschließend auf 0.1 km genau ausgerechnete Epizentrallage und Herdtiefe einer weiteren Erörterung zu unterziehen.

In einer Reihe von Arbeiten, die sich auf das rechtwinklige Koordinatensystem und das hierauf aufgebaute Ausgleichungsverfahren von V. Inglada stützen, wird zur Berechnung des Stationsabstandes auch die Methode von E. Wiechert [8] hinzugezogen, die vollkommen einwandfreie Resultate liefert, vorausgesetzt, daß man sie entsprechend dem Titel der Arbeit richtig verwendet. Falsch ist es jedoch, dort in den beiden Werten b und l , aus deren Wurzel der Quadratsummen sich die Entfernungen berechnen, rechtwinklige Koordinaten eines festen in der Erdoberfläche liegenden Systems zu sehen. Das ist eine unzulässige Auslegung der Ableitungen, für die höchstwahrscheinlich die von Wiechert gewählte Bezeichnung „Pythagorasformel“, S. 178, Veranlassung gegeben hat. Diese „Pythagorasformel“ ist auch aus einem wirklichen Pythagoras abgeleitet, der jedoch, wie eine genauere Nachrechnung der Darstellung zeigt, in einer Ebene senkrecht zur Äquatorebene, aber nicht in der Erdoberfläche liegt.

Ein rechtwinkliges System ist außer durch einen Meridian nur durch den senkrecht zu diesem verlaufenden Großkreis bestimmt. Wenn zwar auch die Parallelkreise einen Meridian unter rechtem Winkel schneiden, so verlaufen sie jedoch, bezogen auf den Großkreis, der den Meridian in dem gleichen Punkt rechtwinklig kreuzt, in einiger Entfernung mit erheblichen Abweichungen. Auch läuft eine Welle, wie allgemein bekannt ist, in einer Großkreis-Schnittebene auf dem kürzesten Wege vom Herd zur Station, also niemals auf einem Parallelkreisbogen. In der Veröffentlichung von E. Wiechert wird auch nur von der Entfernung zweier Orte gesprochen, jedoch an keiner Stelle von rechtwinkligen Koordinaten. Die Zusammensetzung einer Größe aus Quadratsummen ist zwar ein hinreichendes Kennzeichen für rechtwinklige Koordinaten, aber nicht dafür, daß alle Quadratsummen dem gleichen Achsensystem angehören.

b) Ableitung rechtwinkliger Koordinaten für den Nahbebenbereich. Die folgenden Ausführungen sind so gehalten, daß sie sowohl an die Berechnung von E. Wiechert wie an die Tabellen von Ellipsoidwerten, die u. a. in dem Handbuch der Vermessungskunde von Jordan enthalten sind, angeschlossen werden können.

Als bekannt vorausgesetzt wird ein festliegendes Zentrum oder Näherungsepizentrum E (Fig. 1), das den Koordinatenursprung darstellt. Aus den geographischen Koordinaten der betreffenden Station St läßt sich dann auf Grund der

$SB = b_{\text{Wiechert}} + AB$ zu berechnen. Außerdem muß man sich noch davon überzeugen, wie groß der Unterschied von SB und der Projektion: SX ist. Letzteres soll zunächst geschehen.

Tabelle 1. Die Hauptkorrekturen für den Übergang von geographischen auf rechtwinklige sphärische Koordinaten

$\Delta \lambda$	$\varphi: 45^\circ$	40° (50°)	30° (60°)	20° (70°)	10° (80°)
$0^\circ 00'$	0.00 km	0.00 km	0.00 km	0.00 km	0.00 km
$30'$	0.12 ..	0.12 ..	0.105 ..	0.08 ..	0.04 ..
$45'$	0.27 ..	0.27 ..	0.23 ..	0.17 ..	0.09 ..
$1^\circ 0'$	0.48 ..	0.48 ..	0.42 ..	0.31 ..	0.17 ..
$10'$	0.66 ..	0.65 ..	0.57 ..	0.42 ..	0.23 ..
$20'$	0.86 ..	0.85 ..	0.75 ..	0.55 ..	0.29 ..
$30'$	1.09 ..	1.08 ..	0.95 ..	0.70 ..	0.37 ..
$40'$	1.35 ..	1.33 ..	1.17 ..	0.87 ..	0.46 ..
$50'$	1.65 ..	1.63 ..	1.43 ..	1.06 ..	0.57 ..
$2^\circ 0'$	1.94 ..	1.91 ..	1.68 ..	1.25 ..	0.66 ..
$10'$	2.28 ..	2.24 ..	1.97 ..	1.46 ..	0.78 ..
$20'$	2.64 ..	2.60 ..	2.28 ..	1.70 ..	0.90 ..
$30'$	3.03 ..	2.99 ..	2.63 ..	1.95 ..	1.04 ..
$40'$	3.45 ..	3.40 ..	2.99 ..	2.22 ..	1.18 ..
$50'$	3.90 ..	3.84 ..	3.38 ..	2.50 ..	1.33 ..
$3^\circ 0'$	4.36 ..	4.30 ..	3.78 ..	2.80 ..	1.49 ..
$10'$	4.85 ..	4.79 ..	4.21 ..	3.12 ..	1.66 ..
$20'$	5.39 ..	5.30 ..	4.67 ..	3.46 ..	1.84 ..
$30'$	5.94 ..	5.85 ..	5.15 ..	3.82 ..	2.03 ..
$40'$	6.52 ..	6.41 ..	5.65 ..	4.19 ..	2.23 ..
$50'$	7.12 ..	7.01 ..	6.17 ..	4.57 ..	2.43 ..
$4^\circ 0'$	7.75 ..	7.64 ..	6.72 ..	4.98 ..	2.65 ..
$10'$	8.40 ..	8.28 ..	7.29 ..	5.40 ..	2.87 ..
$20'$	9.10 ..	8.95 ..	7.88 ..	5.85 ..	3.11 ..
$30'$	9.80 ..	9.65 ..	8.50 ..	6.30 ..	3.36 ..
$40'$	10.55 ..	10.40 ..	9.14 ..	6.77 ..	3.61 ..
$50'$	11.30 ..	11.14 ..	9.80 ..	7.26 ..	3.87 ..
$5^\circ 0'$	12.10 ..	11.90 ..	10.50 ..	7.76 ..	4.14 ..
$10'$	12.90 ..	12.70 ..	11.20 ..	8.30 ..	4.42 ..
$20'$	13.75 ..	13.55 ..	11.92 ..	8.84 ..	4.70 ..
$30'$	14.6 ..	14.40 ..	12.72 ..	9.40 ..	5.00 ..
$40'$	15.5 ..	15.30 ..	13.45 ..	9.97 ..	5.31 ..
$50'$	16.5 ..	16.2 ..	14.3 ..	10.6 ..	5.63 ..
$6^\circ 0'$	17.4 ..	17.1 ..	15.1 ..	11.2 ..	5.95 ..
$10'$	18.4 ..	18.1 ..	15.9 ..	11.8 ..	6.28 ..
$20'$	19.4 ..	19.1 ..	16.8 ..	12.4 ..	6.63 ..
$30'$	20.4 ..	20.1 ..	17.7 ..	13.1 ..	6.98 ..
$40'$	21.5 ..	21.2 ..	18.6 ..	13.8 ..	7.35 ..
$50'$	22.5 ..	22.2 ..	19.5 ..	14.5 ..	7.70 ..
$7^\circ 0'$	23.5 ..	23.3 ..	20.5 ..	15.2 ..	8.10 ..

Es ist $\sin y = \sin SB \cdot \sin \alpha$. Da die Winkel klein sind, kann geschrieben werden: $y = SB \cdot \left(1 - \frac{\delta^2}{2}\right)$. Hier ist $\alpha = \sphericalangle EBS$ und $\delta = \sphericalangle SXB$. Die Korrektur $\left(1 - \frac{\delta^2}{2}\right)$ ist nahezu = 1, d. h. der Unterschied von SX und SB kann im allgemeinen unberücksichtigt bleiben, oder höchstens zur Entscheidung über die Abrundung berücksichtigt werden.

Der sehr kleine Winkel δ berechnet sich aus dem sphärischen Dreieck ENB über α . Es ist $\cos \alpha = \sin \Delta\lambda \cdot \sin \varphi_1$. In dem Dreieck SXB , das wegen seiner geringen Größe auch als ebenes Dreieck angesehen werden kann, ist $\delta = 90^\circ - \alpha$. Somit:

$$\sin \delta = \sin \Delta\lambda \cdot \sin \varphi_1.$$

Da $\Delta\lambda \leq 7^\circ$, ist $\delta \leq 0.005$, also eine Korrektur, die, falls überhaupt, dann nur bei größeren Entfernungen an dem Gesamtbetrag von SB anzubringen ist.

Der Hauptbetrag der Korrektur leitet sich erst aus dem Unterschied von SA und SB ab. In dem sphärischen Dreieck ENB ist: $\sin c = \frac{\sin a}{\sin \alpha} = \frac{\sin a}{\cos \delta} = \frac{\sin a}{1 - \frac{\delta^2}{2}}$
 $= \sin a \cdot \left(1 + \frac{\delta^2}{2}\right)$. Wobei $c = NB$ und $a = NE$ gesetzt ist. Die Näherungen sind zulässig, da es sich um die Berechnung von Korrekturen handelt, für die eine Genauigkeit von 1% vollkommen ausreichend ist. Denn für den Gesamtbetrag der Koordinaten ist nur eine Fehlergrenze von $1/100$ zugrunde gelegt. Man erhält weiter:

$$\sin c - \sin a = \frac{\delta^2}{2} \cdot \sin a, \text{ da } c = a + \Delta y,$$

wobei $\Delta y = AB$;

$$\cos a \cdot \Delta y = \left(\frac{\delta^2}{2} + \frac{\Delta y^2}{2}\right) \cdot \sin a,$$

$$\Delta y = \left(\frac{\delta^2}{2} + \frac{\Delta y^2}{2}\right) \cdot \operatorname{ctg} \varphi_1 \approx \frac{\delta^2}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varphi_1,$$

falls $\delta^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \varphi_1 \ll 1$ ist, d. h. unter Ausschluß der nahen Umgebung des Pols ($\varphi_1 \leq 80^\circ$).

Somit berechnet sich nach Einsetzung des obigen Wertes für δ Δy in km. Es ist $\Delta y = \frac{R}{2} \cdot \sin^2 \Delta\lambda \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1$. R = mittlerer Erdradius. Hauptkorrektur daher:

$$\Delta y = \frac{R}{4} \sin^2 \Delta\lambda \cdot \sin 2\varphi_1.$$

Diese ist in der Tabelle 1 für verschiedene Breiten berechnet und in Fig. 2 graphisch dargestellt.

Sie ist (+) positiv in den Quadranten I und II, (–) negativ in III und IV. Sie muß in jedem Falle an den Wiechertschen b -Werten angebracht werden, falls die rechtwinkligen Koordinaten in einem System mit der Ordinate im Meridian durch den Ursprung berechnet werden sollen. Da nach Wiechert nur die Entfernung s bekannt ist, muß zur Bestimmung der x -Koordinate $x = \sqrt{s^2 + y^2}$ gebildet werden. Hier liegen nun wirklich rechtwinklige Koordinaten vor; daher kann der Pythagoras in seiner vollen Bedeutung verwendet werden.

Wenn die Tabellen der Krümmungsradien des Erdsphäroids zur Verfügung stehen, wie sie z. B. in dem Handbuch der Vermessungskunde abgedruckt sind,

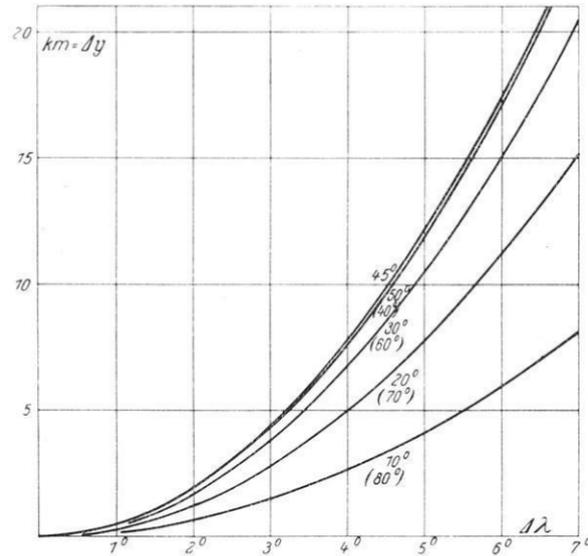


Fig. 2. Korrekturen, die bei dem Übergang vom Parallelkreis auf den Großkreis für rechtwinklige Koordinaten erforderlich sind

den. Das steht keineswegs im Widerspruch dazu, daß bei der Ordinate, also senkrecht dazu, eine Vertauschung beider zu den abgeleiteten, unzulässig hohen Abweichungen führt.

Die Ordinate y läßt sich sowohl aus der Tabelle von Wiechert, wie aus den Tabellen mittlerer Meridiankrümmungsradien zwischen S und A , multipliziert mit dem Breitenunterschied, mit gleichem Vorteil berechnen. Die Korrektur Δy erübrigt sich jedoch auch in diesen beiden Fällen nicht und muß in ihrem vollen Betrag angebracht werden. Die kleine Verbesserung $\left(1 - \frac{\delta^2}{2}\right)$ ist wiederum nur bei größeren Strecken erforderlich.

oder die Tables de l'Ellipsoïde de Référence internationale der Union Géodésique[9], so kann die Berechnungsarbeit erheblich verkürzt werden. Man findet in den Tabellen die Abszisse x unmittelbar, wenn man bedenkt, daß der Unterschied EX gleich dem Abstand des Punktes S vom Meridian gesetzt werden kann. Dieser x -Wert ist bei 1^o/100 Genauigkeitsforderung in dem bereits abgegrenzten Bereich gleich der Parallelkreisbogenlänge multipliziert mit $\Delta \lambda$. In diesem Falle darf statt auf einem Großkreis längs des Parallelkreises gemessen werden

Teil II: Ausgleichung

a) Die Berechnungsgrundlagen für das Ausgleichungsverfahren. Erst wenn die Umrechnung der Stationsangaben auf rechtwinklige Koordinaten richtig durchgeführt worden ist, kann das eigentliche Ausgleichungsverfahren in Angriff genommen werden.

Die Notwendigkeit einer erneuten Durchrechnung zahlreicher z. T. bereits früher ausgewerteter Beben ist schon durch die Ausführungen des Teiles I begründet. Darüber hinaus sollen bei dieser Gelegenheit auch sämtliche neueren Beobachtungen an Nahbeben von dem Einfluß unsicherer hypothetischer Grundannahmen befreit werden.

Die fünf Werte: Fortpflanzungsgeschwindigkeit, Herdzeit und drei Lagekoordinaten sind die Unbekannten. Die Stationskoordinaten liegen fehlerfrei vor. Die Zeiteinsätze in den Seismogrammen sind die allein mit Fehlern behafteten Meßgrößen, welche zur Verfügung stehen. Das ist die den Voraussetzungen der Ausgleichungstheorie genau entsprechende Ausgangslage.

Bei den Anforderungen, die an exakte Rechnungen gestellt werden müssen, ist es nicht zulässig, etwa einen nach Gutdünken festgelegten Wert der Geschwindigkeit einzusetzen, mit diesem und einem unsicheren Epizentrum eine Laufzeitkurve aufzustellen, deren Werte dann als feststehende Größen anzusehen und eine Herdtiefenbestimmung mit ihnen gesondert vorzunehmen. Bei diesem Verfahren bekommt man kaum mehr heraus, als man hineingesteckt hat und wird außerdem noch zu einer Überschätzung der Genauigkeit verleitet. Auch werden die Besonderheiten jedes Bebens durch diese dogmatischen Festlegungen der Grundelemente unterdrückt, da nur wenige oder gar keine Wertveränderungen zugelassen sind. Somit besteht eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit dafür, daß aus der fünffachen Mannigfaltigkeit der Kombinationsmöglichkeiten der unbekannt Herdwerte bisher alle Werte immer zugleich richtig herausgeholt worden sind. Die viel zu niedrigen Genauigkeitsgrenzen für Herdtiefen, z. B. von ± 1 km und darunter, und der Geschwindigkeiten von \bar{P} von ± 0.015 km/sec sind eine notwendige Folge dieser Methode.

Eine Kritik der gleichen Art ist schon an verschiedenen Stellen ausgesprochen worden — besonders deutlich und sehr ausführlich in letzter Zeit von L. D. Leet [10, 11]. Auch bei H. P. Berlage [12] kann eine kritische Darstellung der Auswertungsverfahren, soweit sie sich dort schon auf Grund der herangezogenen Arbeiten übersehen ließen, nachgelesen werden.

Schon bei Beschränkung auf diese wenigen Hinweise zeigt sich die Notwendigkeit der Forderung nach einem von derartigen Fehlern freien Verfahren, dessen praktische Anwendung im folgenden abgeleitet wird.

In der Fig. 3 sei H der unbekannt Herd des Bebens, dessen Dimensionen im Vergleich mit den Stationsentfernungen zunächst als punktförmig angenommen werden sollen. (Abweichungen von dieser Annahme werden bei den folgenden

Rechnungen keineswegs unterdrückt, sondern gerade hierdurch sicher herausgeholt. (Siehe z. B. III c.) Die unbekanntenen Herdkoordinaten seien x_0, y_0, z_0 . Die Erdbebenstationen St haben die Werte x_n, y_n und z_n . Die Koordinate z_n ist, wie die Untersuchungen gezeigt haben, sowohl bei Berücksichtigung der Meereshöhe wie der Erdkrümmung ohne wesentlichen Einfluß auf die Resultate und kann bei Bezug auf eine mittlere Stationshöhe gleich Null gesetzt werden. Als Meßgrößen wurden die Ankunftszeiten der direkten \bar{P} - und \bar{S} -Wellen (nach Mohorovičić) herangezogen. Aus den Einsätzen dieser Wellen läßt sich in Verbindung mit den Stationskoordinaten die Berechnung der fünf Unbekannten $x_0, y_0, z_0, v_{\bar{P}}$ (bzw. $v_{\bar{S}}$) und t_0 durchführen. Eine Verwendung der P_n -Einsätze

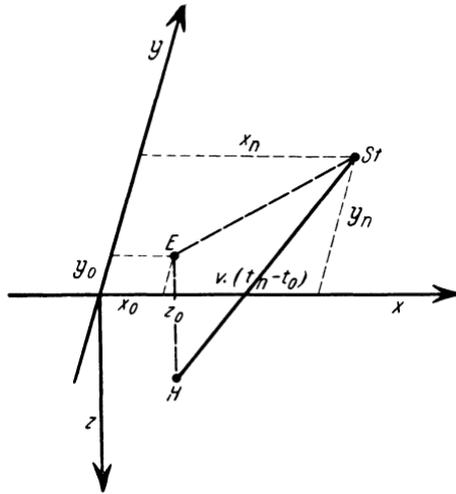


Fig. 3. Lage und Koordinaten von Herd, Epizentrum und Station

zur Ausgleichung ist wegen der Vermehrung der Unbekannten und des Ausfalls der Nahstationen infolge Unterschreitung der Zahl der notwendigen Gleichungen nicht in gleicher Weise möglich. Darüber hinaus erscheinen besonders alle übrigen bei Nahbeben vermuteten Welleneinsätze noch viel zu wenig gesichert, als daß es sich lohnen würde, auf diese ein genaueres und umfangreiches Rechenverfahren anzuwenden.

Aus der Fig. 3 ist abzulesen, daß:

$$\left. \begin{aligned} v \cdot (t_1 - t_0) &= \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + z_0^2} \\ v \cdot (t_2 - t_0) &= \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + z_0^2} \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

Man erhält somit ebenso viele Gleichungen, als Stationen vorhanden sind, von der Form:

$$F_n = \frac{1}{v} \sqrt{(x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2 + z_0^2} + t_0 - t_n = 0.$$

D. h. es muß in jedem Falle die Funktion der fünf Veränderlichen:

$$F_n = F_n(x_0, y_0, z_0, t_0, v) = 0$$

sein.

Falls die Zahl der Gleichungen F_1, F_2, \dots, F_n die Zahl der Unbekannten übertrifft, muß entsprechend der Unsicherheit der Zeitbestimmungen t_1, t_2, \dots, t_n mit Widersprüchen gerechnet werden. Die Funktionen werden dann nicht immer zugleich Null sein, sondern bei festen Werten der fünf Unbekannten für alle n Gleichungen irgendwelche Abweichungen aufweisen, die hier in Form der erforderlichen Verbesserungen v_1, v_2, \dots, v_n eingeführt werden. Es ist üblich, statt mit den Fehlern mit den Verbesserungen zu rechnen, die sich ja nur durch das Vorzeichen unterscheiden. Aus der Gesamtheit der Gleichungen wird so das *System der Fehlergleichungen* gebildet:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \frac{1}{v} \cdot \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + z_0^3 + t_0 - t_1}, \\ v_2 &= \frac{1}{v} \cdot \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + z_0^3 + t_0 - t_2}, \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Die Methode der kleinsten Quadrate läßt sich aber auf diese Form der Funktionen nicht anwenden, da die Gleichungen in bezug auf die fünf Unbekannten nicht linear sind. Man ist daher genötigt, Näherungswerte einzusetzen und für die im Vergleich zum Gesamtwert kleinen Korrekturen die Funktion in eine Reihe zu entwickeln. Diese kann bei den ersten Gliedern abgebrochen werden, wodurch die erforderlichen linearen Gleichungen entstehen. Sollten nach der Ausrechnung der ersten Näherung die Korrekturen noch zu groß sein, so muß das Verfahren noch einmal wiederholt werden.

Die Näherungswerte des Erdbebenherdes seien: $(x_0), (y_0), (z_0), (t_0)$ und (v) . Die unbekanntesten besten Herdwerte machen die Zufügung der kleinen ebenfalls unbekanntesten Korrekturen x, y, z, v, τ erforderlich. Daher ist:

$$\begin{aligned} x_0 &= (x_0) + x, & y_0 &= (y_0) + y, & z_0 &= (z_0) + z, & v &= (v) + v, \\ & & & & & & & & & & t_0 &= (t_0) + \tau. \end{aligned}$$

Die Entwicklung in eine Taylorsche Reihe unter Fortlassung der Glieder höherer Ordnung ergibt:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{1(0)} + \frac{\partial F_{1(0)}}{\partial (x_0)} \cdot x + \frac{\partial F_{1(0)}}{\partial (y_0)} \cdot y + \frac{\partial F_{1(0)}}{\partial (z_0)} \cdot z + \frac{\partial F_{1(0)}}{\partial (v)} \cdot v + \frac{\partial F_{1(0)}}{\partial (t_0)} \cdot \tau, \\ F_2 &= F_{2(0)} + \frac{\partial F_{2(0)}}{\partial (x_0)} \cdot x + \frac{\partial F_{2(0)}}{\partial (y_0)} \cdot y + \frac{\partial F_{2(0)}}{\partial (z_0)} \cdot z + \frac{\partial F_{2(0)}}{\partial (v)} \cdot v + \frac{\partial F_{2(0)}}{\partial (t_0)} \cdot \tau, \\ &\dots \dots \dots \\ F_n &= F_{n(0)} + \frac{\partial F_{n(0)}}{\partial (x_0)} \cdot x + \frac{\partial F_{n(0)}}{\partial (y_0)} \cdot y + \frac{\partial F_{n(0)}}{\partial (z_0)} \cdot z + \frac{\partial F_{n(0)}}{\partial (v)} \cdot v + \frac{\partial F_{n(0)}}{\partial (t_0)} \cdot \tau. \end{aligned}$$

zienten behandelt. Die Tatsache, daß es sich mit drei Unbekannten wesentlich bequemer rechnen läßt als mit fünf, reicht zu einer Rechtfertigung dieses Verfahrens nicht aus.

b) Praktische Handhabung des Verfahrens für fünf Unbekannte. Aus den in der Anzahl beliebigen, jedoch mehr als fünf betragenden Fehlergleichungen [2] werden in bekannter Weise (siehe z. B. Jordan) die fünf *Normalgleichungen* zusammengestellt. Sie haben die Form:

$$\begin{aligned} [aa] \cdot x + [ab] \cdot y + [ac] \cdot z + [ad] \cdot v + [ae] \cdot \tau + [al] &= 0 \\ [ab] \cdot x + [bb] \cdot y + [bc] \cdot z + [bd] \cdot v + [be] \cdot \tau + [bl] &= 0 \\ [ac] \cdot x + [bc] \cdot y + [cc] \cdot z + [cd] \cdot v + [ce] \cdot \tau + [cl] &= 0 \\ [ad] \cdot x + [bd] \cdot y + [cd] \cdot z + [dd] \cdot v + [de] \cdot \tau + [dl] &= 0 \\ [ae] \cdot x + [be] \cdot y + [ce] \cdot z + [de] \cdot v + [ee] \cdot \tau + [el] &= 0. \end{aligned}$$

Hierzu kommt noch [ll] für die Berechnung des mittleren Fehlers. In diesem fünfzeiligen Schema werden zur Vermeidung von Schreibearbeit die unterhalb der Diagonale [aa], [bb], . . ., [ee] stehenden Glieder fortgelassen, da sie zu den darüberstehenden symmetrisch angeordnet sind. Durch die eckigen Klammern [] werden die Summen der Koeffizientenprodukte ausgedrückt. Es bedeuten z. B.:

$$\begin{aligned} [aa] &= a_1^2 + a_2^2 + a^2 + \dots + a_n^2, \\ [ab] &= a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 + \dots + a_n b_n, \\ [el] &= e_1 l_1 + e_2 l_1 + e_3 l_3 + \dots + e_n l_n, \\ [ll] &= l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + \dots + l_n^2 \text{ usw.} \end{aligned}$$

Die Auflösung der fünf Gleichungen mit den fünf Unbekannten erfolgt nach einem von Gauß gegebenen Verfahren. Hierbei kommt eine besondere von ihm eingeführte Bezeichnungsweise zur Verwendung, welche außer einer erheblichen Verkürzung der Rechnungen zugleich den Vorteil enthält, daß der Koeffizient des letzten Gliedes als Gewichtskoeffizient des mittleren Fehlers der zugehörigen Unbekannten erscheint und außerdem die verbesserte Fehlerquadratsumme erhalten wird. Da dieses Verfahren, von geodätischen Fachkreisen abgesehen, nur wenig geläufig ist, wird es im folgenden für fünf Unbekannte ausführlich mitgeteilt, zumal die genauen Angaben aller für die Rechnung notwendigen Einzelglieder auch in der Fachliteratur nicht immer zu finden sind. Darüber hinaus soll hiermit auch die Möglichkeit einer eingehenden Kontrolle und Nachrechnung sowie einer weiteren Anwendung dieses Verfahrens erleichtert werden.

Aus dem Schema (siehe S. 364) werden die folgenden *Endgleichungen* zur Ermittlung der fünf Unbekannten entnommen:

$$\left. \begin{aligned} [aa] \cdot x + [ab] \cdot y + [ac] \cdot z + [ad] \cdot v + [ae] \cdot \tau + [al] &= 0 \\ [bb \cdot 1] \cdot y + [bc \cdot 1] \cdot z + [bd \cdot 1] \cdot v + [be \cdot 1] \cdot \tau + [bl \cdot 1] &= 0 \\ [cc \cdot 2] \cdot z + [cd \cdot 2] \cdot v + [ce \cdot 2] \cdot \tau + [cl \cdot 2] &= 0 \\ [dd \cdot 3] \cdot v + [de \cdot 3] \cdot \tau + [dl \cdot 3] &= 0 \\ [ee \cdot 4] \cdot \tau + [el \cdot 4] &= 0. \end{aligned} \right\} (4)$$

Schema der Auswertung von fünf Normalgleichungen

$$[bb \cdot 1] = [bb] - \frac{[ab]}{[aa]} \cdot [ab],$$

$$[bc \cdot 1] = [bc] - \text{,,} \cdot [ac],$$

$$[bd \cdot 1] = [bd] - \text{,,} \cdot [ad],$$

$$[be \cdot 1] = [be] - \text{,,} \cdot [ae],$$

$$[bl \cdot 1] = [bl] - \text{,,} \cdot [al],$$

$$[cc \cdot 1] = [cc] - \frac{[ac]}{[aa]} \cdot [ac],$$

$$[cd \cdot 1] = [cd] - \text{,,} \cdot [ad],$$

$$[ce \cdot 1] = [ce] - \text{,,} \cdot [ae],$$

$$[cl \cdot 1] = [cl] - \text{,,} \cdot [al],$$

$$[cc \cdot 2] = [cc \cdot 1] - \frac{[bc \cdot 1]}{[bb \cdot 1]} \cdot [bc \cdot 1],$$

$$[cd \cdot 2] = [cd \cdot 1] - \text{,,} \cdot [bd \cdot 1],$$

$$[ce \cdot 2] = [ce \cdot 1] - \text{,,} \cdot [be \cdot 1],$$

$$[cl \cdot 2] = [cl \cdot 1] - \text{,,} \cdot [bl \cdot 1],$$

$$[dd \cdot 2] = [dd \cdot 1] - \frac{[bd \cdot 1]}{[bb \cdot 1]} \cdot [bd \cdot 1],$$

$$[de \cdot 2] = [de \cdot 1] - \text{,,} \cdot [be \cdot 1],$$

$$[dl \cdot 2] = [dl \cdot 1] - \text{,,} \cdot [bl \cdot 1],$$

$$[dd \cdot 3] = [dd \cdot 2] - \frac{[c \cdot d \cdot 2]}{[cc \cdot 2]} \cdot [cd \cdot 2],$$

$$[de \cdot 3] = [de \cdot 2] - \text{,,} \cdot [ce \cdot 2],$$

$$[dl \cdot 3] = [dl \cdot 2] - \text{,,} \cdot [cl \cdot 2],$$

$$[ee \cdot 4] = [ee \cdot 3] - \frac{[de \cdot 3]}{[dd \cdot 3]} \cdot [de \cdot 3],$$

$$[el \cdot 4] = [el \cdot 3] - \text{,,} \cdot [dl \cdot 3],$$

$$[ll \cdot 5] = [ll \cdot 4] - \frac{[el \cdot 4]}{[ee \cdot 4]} \cdot [el \cdot 4].$$

$$[dd \cdot 1] = [dd] - \frac{[ad]}{[aa]} \cdot [ad],$$

$$[de \cdot 1] = [de] - \text{,,} \cdot [ae],$$

$$[dl \cdot 1] = [dl] - \text{,,} \cdot [al],$$

$$[ee \cdot 1] = [ee] - \frac{[ae]}{[aa]} \cdot [ae],$$

$$[el \cdot 1] = [el] - \text{,,} \cdot [al],$$

$$[ll \cdot 1] = [ll] - \frac{[al]}{[aa]} \cdot [al],$$

$$[ee \cdot 2] = [ee \cdot 1] - \frac{[be \cdot 1]}{[bb \cdot 1]} \cdot [be \cdot 1],$$

$$[el \cdot 2] = [el \cdot 1] - \text{,,} \cdot [bl \cdot 1],$$

$$[ll \cdot 2] = [ll \cdot 1] - \frac{[bl \cdot 1]}{[bb \cdot 1]} \cdot [bl \cdot 1],$$

$$[ee \cdot 3] = [ee \cdot 2] - \frac{[ce \cdot 2]}{[cc \cdot 2]} \cdot [ce \cdot 2],$$

$$[el \cdot 3] = [el \cdot 2] - \text{,,} \cdot [cl \cdot 2],$$

$$[ll \cdot 3] = [ll \cdot 2] - \frac{[cl \cdot 2]}{[cc \cdot 2]} \cdot [cl \cdot 2],$$

$$[ll \cdot 4] = [ll \cdot 3] - \frac{[dl \cdot 3]}{[dd \cdot 3]} \cdot [dl \cdot 3],$$

Die nach der Ausgleichung noch übrigbleibende Fehlerquadratsumme $[v v]$ ist gleich dem zuletzt bestimmten Glied $[ll \cdot 5]$.

Alle fünf Unbekannten lassen sich hieraus unmittelbar durch Einsetzen in der Reihenfolge von unten nach oben bestimmen. Bei dieser Zusammenstellung (4) sind *keine* Glieder (wie bei den Normalgleichungen S. 367, S. 369 usw.) fortgelassen.

Die mittleren Fehler der einzelnen Korrekturen (und somit auch aller fünf Herdwerte) ergeben sich dann unter Berücksichtigung ihrer verschiedenen Gewichte:

$$m_x = \sqrt{\frac{[vv]}{(n-m) \cdot [aa \cdot 4]}}; \quad m_y = \sqrt{\frac{[vv]}{(n-m) \cdot [bb \cdot 4]}};$$

$$m_z = \sqrt{\frac{[vv]}{(n-m) \cdot [cc \cdot 4]}}; \quad m_v = \sqrt{\frac{[vv]}{(n-m) \cdot [dd \cdot 4]}}; \quad m_\tau = \sqrt{\frac{[vv]}{(n-m) \cdot [ee \cdot 4]}};$$

wobei $m = 5$ die Zahl der Unbekannten, n die Zahl der Stationen bedeutet. Eine gute Anleitung für die Berechnung der Gewichte der einzelnen Fehler $[aa \cdot 4]$ usw. findet man in der Hütte und auch im Kohlrausch [20].

Durch Einsetzen der ermittelten Korrekturen in die Normalgleichungen und weiter in die Fehlergleichungen kann (bzw. muß) man sich von der Richtigkeit der Lösungsrechnung überzeugen. Sind die Korrekturen zu groß ausgefallen, so wird man zwischen den Fehlergleichungen (2) und (3) Differenzen finden, die darauf hinweisen, daß die erste Näherung nicht ausreichend gewesen ist, um die vereinfachte Reihenentwicklung der Funktion zu gewährleisten. Es muß dann noch eine weitere Näherung mit den verbesserten Herdkoordinaten durchgeführt werden. Um einwandfreie Ergebnisse zu erhalten, wurden bei den Beispielen oft mehrere Näherungen durchgerechnet. Von diesen Rechnungen ist jedoch hier immer nur die jeweilige letzte Ausgleichung eingehend aufgeführt worden.

c) Vollständige Durchführung der Rechnung an einem Beispiel. *1. Schwarzwald-Beben II vom 30. Dezember 1935.* $3^h36^m11.6^s$. (Nach Seismogrammauswertung von W. Hiller [15].)

Ursprung der rechtwinkligen Koordinaten: $\lambda = 8^00.0'$,
 $\varphi = 48^00.0'$.

Bei diesem Beispiel war im Gegensatz zu den übrigen nicht genau das Näherungsepipentrum als Ursprung gewählt worden. Es mußte daher nachträglich noch eine Verschiebung des Koordinatensystems vorgenommen werden.

Rechtwinklige Stationskoordinaten

	x_n	y_n	$(x_0) - x_n$	$(y_0) - y_n$
1. Straßburg . . .	— 17.28 km	+ 65.0 km	+ 33.3 km	+ 4.0 km
2. Meßstetten . . .	+ 69.94 „	+ 20.65 „	— 53.9 „	+ 48.3 „
3. Stuttgart . . .	+ 87.72 „	+ 86.40 „	— 71.7 „	— 17.4 „
4. Heidelberg . . .	+ 52.34 „	+ 155.8 „	+ 36.3 „	— 86.8 „
5. Basel	— 31.40 „	— 51.07 „	+ 47.4 „	+ 120.1 „
6. Ravensburg . .	+ 120.9 „	— 22.85 „	— 104.9 „	+ 91.9 „
7. Zürich	+ 43.88 „	— 70.03 „	— 27.9 „	+ 139.0 „
8. Neuchâtel . . .	— 79.30 „	— 110.95 „	+ 95.3 „	+ 180.0 „
9. Chur	+ 117.2 „	— 126.7 „	— 101.2 „	+ 195.7 „

Stationseinsätze von \bar{P}

	$(z_0) - z_n$	Beben II	Beben I
1.	39.6 km	36 ^m 20.4 ^s	7 ^m 52.4 ^s
2.	40.0 „	26.4	58.0
3.	39.5 „	26.6	58.1
4.	39.3 „	29.5	8 ^m 1.5
5.	38.5 „	36.4	7.5
6.	38.4 „	37.8	9.5
7.	38.6 „	38.0	9.2
8.	36.8 „	48.5	19.7
9.	36.3 „	52.4	23.7

Die Erdkrümmung und die Stationshöhe, die in den Werten $(z_0) - z_n$ enthalten sind, wurden bei den weiteren Beispielen nicht mehr berücksichtigt, da sie einen Einfluß von weniger als 10% auf die Ergebnisse verursachen. In der 3. und 4. Spalte sind abgesehen von dem Vorzeichenwechsel die Stationskoordinaten in bezug auf den Näherungsherd angegeben. Die fünf Näherungswerte waren: $(x_0) = + 16.0$ km, $(y_0) = + 69.0$ km, $(z_0) = 40$ km, $(t_0) = 3^h 36^m 11.30^s$, $(v_{\bar{P}}) = 5.50$ km/sec.

Mit diesen Angaben sind die folgenden Rechnungen auf etwa $1^0/_{00}$ (der Ablesegrenze des Rechenschiebers) genau durchgeführt worden, d. h. ungefähr zehnmal genauer, als die Endwerte überhaupt erhalten werden. Hierin liegt kein Widerspruch; sondern diese Maßnahme ist durch die Notwendigkeit einer rückwärts durchzuführenden Kontrolle der Rechnungen begründet. Bei ungenaueren Ausgangswerten würden sich bei den hinzukommenden vielfachen Multiplikationen und Divisionen bis zur Lösung der Normalgleichungen die Abrundungsfehler so stark auswirken, daß eine sichere Kontrolle der Resultate nicht mehr möglich wäre. Die Mitführung von 0.1 km und 0.01 sec bei den Rechnungen bedeutet also keineswegs, daß dieses auch die Fehlergrenzen sind. Hierfür ist allein nur die nach S. 365 durchzuführende Berechnung der mittleren Fehler maßgebend.

Mit dem Rechenschieber sind in dem Beispiel des Schwarzwaldbebens II (abgesehen von den Werten l_1, l_2, \dots, l_n , welche, um die entsprechende Genauigkeit von etwa $1^0/_{00}$ zu erhalten, die Heranziehung der Logarithmentafel erforderten) folgende Werte der Koeffizienten nach S. 362 ermittelt worden:

$$\begin{aligned}
 a_1 = -0.1163, & \quad b_1 = +0.0140, & \quad c_1 = +0.1388, & \quad d_1 = -1.716, & \quad e_1 = +1.00, & \quad l_1 = +0.334 \\
 a_2 = -0.1186, & \quad b_2 = +0.1062, & \quad c_2 = +0.0879, & \quad d_2 = -2.736, & \quad e_2 = +1.00, & \quad l_2 = -0.064 \\
 a_3 = -0.1558, & \quad b_3 = -0.0378, & \quad c_3 = +0.0857, & \quad d_3 = -2.770, & \quad e_3 = +1.00, & \quad l_3 = -0.084 \\
 a_4 = -0.0648, & \quad b_4 = -0.1550, & \quad c_4 = +0.0702, & \quad d_4 = -3.373, & \quad e_4 = +1.00, & \quad l_4 = +0.338 \\
 a_5 = +0.0640, & \quad b_5 = +0.1621, & \quad c_5 = +0.0520, & \quad d_5 = -4.450, & \quad e_5 = +1.00, & \quad l_5 = -0.603 \\
 a_6 = -0.1320, & \quad b_6 = +0.1156, & \quad c_6 = +0.0483, & \quad d_6 = -4.790, & \quad e_6 = +1.00, & \quad l_6 = -0.198 \\
 a_7 = -0.03455, & \quad b_7 = +0.1721, & \quad c_7 = +0.0478, & \quad d_7 = -4.855, & \quad e_7 = +1.00, & \quad l_7 = +0.015 \\
 a_8 = +0.0837, & \quad b_8 = +0.1582, & \quad c_8 = +0.03233, & \quad d_8 = -6.85, & \quad e_8 = +1.00, & \quad l_8 = +0.431 \\
 a_9 = -0.0824, & \quad b_9 = +0.1593, & \quad c_9 = +0.0296, & \quad d_9 = -7.38, & \quad e_9 = +1.00, & \quad l_9 = -0.500
 \end{aligned}$$

Diese Koeffizienten führen unmittelbar zu den Normalgleichungen für dieses Beben:

$$\begin{aligned}
 0.0916 \cdot x - 0.00572 \cdot y - 0.0165 \cdot z + 1.322 \cdot v - 0.324 \cdot \tau + 0.1022 &= 0 \\
 0.1566 \cdot y + 0.0292 \cdot z - 4.05 \cdot v + 0.695 \cdot \tau - 0.1809 &= 0 \\
 0.0485 \cdot z - 2.09 \cdot v + 0.593 \cdot \tau + 0.01628 &= 0 \\
 197.2 \cdot v - 38.9 \cdot \tau + 2.98 &= 0 \\
 9.00 \cdot \tau - 0.331 &= 0 \\
 [ll] &= 1.076.
 \end{aligned}$$

Diese Normalgleichungen (fünf Gleichungen mit fünf Unbekannten) sind nach dem Schema S. 364 zu lösen. Nach Aufstellung der Endgleichungen (4) findet man hierbei folgende Korrektionswerte, von deren Richtigkeit man sich durch Einsetzen in die Normalgleichungen überzeugt:

$$\begin{aligned}
 x &= -1.30 \text{ km}, \quad y = +1.90 \text{ km}, \quad z = -3.3 \text{ km}, \\
 v &= +0.065 \text{ km/sec}, \quad \tau = +0.34 \text{ sec};
 \end{aligned}$$

außerdem die Summe der Fehlerquadrate nach der Ausgleichung: $[vv] = 0.628$. Die Gewichtskoeffizienten berechnen sich hierbei zu: $[aa \cdot 4] = 0.0553$; $[bb \cdot 4] = 0.0613$; $[cc \cdot 4] = 0.00120$; $[dd \cdot 4] = 3.29$; $[ee \cdot 4] = 0.0525$. Diese Werte sind ebenso wie die Fehlerquadrate immer positiv. Nach Anbringung der Korrekturen ergeben sich die wahrscheinlichsten Herdwerte dieses Bebens einschließlich der Fehlergrenzen:

$$\begin{aligned}
 x_0 &= +14.7 \text{ km } (\pm 1.7), \quad y_0 = +70.9 \text{ km } (\pm 1.6), \quad z_0 = 37 \text{ km } (\quad 11) \\
 v_p &= 5.57 \text{ km/sec } (\pm 0.22), \quad t_0 = 11.64 \text{ sec } (\pm 1.7).
 \end{aligned}$$

Da die Korrekturen nicht sehr groß sind, lassen sich die Stationszeitverbesserungen aus den Gleichungen (3) durch Einsetzen von x, y, z, v, τ unmittelbar bestimmen. Es ist die für die einzelnen Stationen wahrscheinlichste Zeitverbesserung:

$$\begin{aligned}
 v_1 &= -0.020 \text{ sec}, \quad v_4 = +0.019 \text{ sec}, \quad v_7 = +0.253 \text{ sec}, \\
 v_2 &= +0.164 \text{ ,,}, \quad v_5 = -0.500 \text{ ,,}, \quad v_8 = +0.411 \text{ ,,}, \\
 v_3 &= -0.074 \text{ ,,}, \quad v_6 = +0.062 \text{ ,,}, \quad v_9 = -0.332 \text{ ,,}.
 \end{aligned}$$

Die Quadratsumme dieser Zahlen ist 0.629, eine Bestätigung der Ziffer, die vorher schon aus dem Rechenschema erhalten wurde. Die Summe aller Verbesserungen muß den Wert Null ergeben, was hier auch mit ausreichender Annäherung zutrifft. Die Genauigkeit bis auf 0.001 sec dient nur der Rechenkontrolle.

Hauptwerte der Rechnungen für die herangezogenen Beben mit endgültigen Herdwerten, jeweiligen Fehlerbereichen und wahrscheinlichsten Stationszeitverbesserungen. 2. Schwarzwaldbeben I vom 30. Dezember 1935. $3^{\text{h}}7^{\text{m}}42.3^{\text{s}}$. Die Stationskoordinaten sind die gleichen wie vorher. Da für den Herd auch die

gleichen Näherungswerte eingesetzt wurden, außer $t_0 = 3^{\text{h}}7^{\text{m}}42.50^{\text{s}}$, sind auch die Koeffizienten der Normalgleichungen in diesem Fall die gleichen mit Ausnahme der l -Werte. Es ist daher zu ersetzen:

$$\begin{aligned} l_1 &= -0.466, & l_4 &= -0.462, & l_7 &= +0.015, \\ l_2 &= -0.464, & l_5 &= -0.503, & l_8 &= +0.431, \\ l_3 &= -0.384, & l_6 &= -0.698, & l_9 &= -0.600. \end{aligned}$$

An den vorhergehenden Normalgleichungen sind nur die letzten Werte jeder Zeile abzuändern. Diese müssen hier lauten:

$$[a] = +0.235, [b] = -0.157, [c] = -0.234, [d] = +11.7, [e] = -3.13.$$

Außerdem ist hier $[l] = 2.08$.

Die Ausrechnung führt dann zu den Korrekturen:

$$\begin{aligned} x &= -1.93 \text{ km}, & y &= +0.16 \text{ km}, & z &= +5.6 \text{ km}, \\ v &= -0.028 \text{ km/sec}, & \tau &= -0.23 \text{ sec}, & [vv] &\text{ wird } 0.65. \end{aligned}$$

Somit sind die endgültigen Herdwerte dieses Bebens einschließlich der Fehlergrenzen:

$$\begin{aligned} x_0 &= +14.1 \text{ km } (\pm 1.7), & y_0 &= +69.2 \text{ km } (\pm 1.6), & z_0 &= 46 \text{ km } (\pm 11), \\ v_{\bar{p}} &= 5.47 \text{ km/sec } (\pm 0.21), & t_0 &= 42.3 \text{ sec } (\pm 1.7). \end{aligned}$$

Die wahrscheinlichsten Zeitverbesserungen der einzelnen Stationen lauten hier:

$$\begin{aligned} v_1 &= -0.09 \text{ sec}, & v_4 &= -0.11 \text{ sec}, & v_7 &= +0.28 \text{ sec}, \\ v_2 &= +0.12 \text{ ,,}, & v_5 &= -0.42 \text{ ,,}, & v_8 &= +0.44 \text{ ,,}, \\ v_3 &= +0.24 \text{ ,,}, & v_6 &= -0.25 \text{ ,,}, & v_9 &= -0.27 \text{ ,,} \end{aligned}$$

Bemerkungen. Für die eingehendere Durchrechnung (1) wurde das Beben II gewählt, da bei dem Eliminationsverfahren bei I zufällig nur wenig von Null verschiedene Rechenwerte auftraten.

Der vielleicht unerwartet hohe Betrag des Fehlers der Herdzeit rührt von der Unsicherheit der Bestimmung der Herdtiefe und der Geschwindigkeit her.

Die Ausgleichung der beiden Beben war zunächst mit Einschluß der Station Karlsruhe vorgenommen worden. Für diese ergab sich jedoch bei I eine Verbesserung von -3.5 sec, für II eine solche von -3.6 sec. Da hier offensichtlich ein grober Fehler in der Zeitbestimmung vorliegt, wurden die weiteren Ausgleichungen ohne diese Station durchgeführt. Es sei noch betont, daß das Gesamtergebn nach Weglassung dieser Station nicht merklich beeinflusst wurde. Daß diese Station herausfällt, ist schon von W. Hilfer [15] vermutet worden. Der genaue Betrag kann jedoch erst bei einer Ausgleichung festgestellt werden.

3. *Beben von Nord-Brabant am 20. November 1932.* 23^h36^m47.5^s. (Nach Seismogramm-Auswertung von R. H. Gees [3].) Koordinatensprung: $\lambda = 6^{\circ}0.0'$; $\varphi = 51^{\circ}0.0'$.

Rechtwinklige Stationskoordinaten		\bar{P} -Einsätze	
x_n	y_n		
1. De Bilt	— 56.0 km	+ 122.8 km	37 ^m 3.9 ^s
2. Uccle	— 115.7 ..	— 21.0 ..	13.7
3. Frankfurt	+ 174.9 ..	— 84.3 ..	39.3
4. Göttingen	+ 275.1 ..	+ 68.3 ..	49.0
5. Helgoland	+ 123.5 ..	+ 355.9 ..	51.0
6. Karlsruhe	+ 176.3 ..	— 218.5 ..	56.9
7. Hamburg	+ 263.8 ..	+ 292.1 ..	38 ^m 0.5
8. Paris	— 257.6 ..	— 237.8 ..	1.1
9. Jena	+ 392.2 ..	+ 7.5 ..	9.8
10. Zürich	+ 195.1 ..	— 400.8 ..	26.9

Näherungsannahmen für die Herdkoordinaten: $(x_0) = -36.0$ km, $(y_0) = +68.0$ km, $(z_0) = 40$ km, $(v_{\bar{P}}) = 5.50$ km/sec, $(t_0) = 36^m 47.2^s$.

Hiermit werden folgende Normalgleichungen berechnet:

$$\begin{aligned}
 0.159 \cdot x + 0.00412 \cdot y - 0.00525 \cdot z + 9.20 \cdot v - 0.653 \cdot \tau + 0.315 &= 0 \\
 0.154 \cdot y - 0.00133 \cdot z - 4.79 \cdot v + 0.306 \cdot \tau - 0.242 &= 0 \\
 0.01733 \cdot z - 2.41 \cdot v + 0.323 \cdot \tau - 0.048 &= 0 \\
 1285 \cdot v - 105.1 \cdot \tau + 41.8 &= 0 \\
 + 10.0 \cdot \tau - 3.18 &= 0 \\
 [U] &= 3.58.
 \end{aligned}$$

Endgültige Herdwerte nach Einsetzen der Korrekturen, die als Lösungen dieser Normalgleichungen erhalten wurden:

$$\begin{aligned}
 x = -36.0 \text{ km } (\pm 3.0), \quad y = +69.5 \text{ km } (\pm 2.5), \quad v_{\bar{P}} = 5.48 \text{ km/sec } (\pm 0.11), \\
 z = 35 \text{ km } (\pm 18), \quad t_0 = 47.5 \text{ sec } (\pm 1.7), \quad [vv] = 2.10.
 \end{aligned}$$

Wahrscheinlichste Verbesserungen der Stationszeitangaben:

$$\begin{aligned}
 v_1 = -0.20 \text{ sec}, \quad v_5 = +0.56 \text{ sec}, \quad v_9 = +0.68 \text{ sec}, \\
 v_2 = +0.43 \text{ ,,}, \quad v_6 = -0.07 \text{ ,,}, \quad v_{10} = -0.02 \text{ ,,}, \\
 v_3 = +0.06 \text{ ,,}, \quad v_7 = -0.67 \text{ ,,}, \\
 v_4 = -0.57 \text{ ,,}, \quad v_8 = -0.47 \text{ ,,}
 \end{aligned}$$

Bemerkungen. Rechnet man in der erwähnten Arbeit [3] für die dort nach dem Laufzeitverfahren angegebenen Herdwerte die übrigbleibenden Stationsverbesserungen aus, so erhalten von den 10 Stationen 4 einen Fehler von 1 sec und darüber. Die Fehlerquadratsumme wird dort etwa 3.5mal größer als hier. Es leuchtet daher auch ohne weitere Erklärungen ein, daß die durch die Ausgleichung gefundenen Herdwerte dem wirklichen Bebenvorgang wesentlich besser entsprechen. Zum Vergleich der Tabellen der dort ausgeführten Berechnung der rechtwinkligen Stationskoordinaten ist auch hier das gleiche Näherungsepipentrum

gewählt worden. Die Fehler in den Ortsangaben von Göttingen und Hamburg von 7.5 km, für Jena von 14.7 km dürften schon für sich allein gesehen die Zulänglichkeit der Endergebnisse in [3] erheblich beeinträchtigen.

4. *Beben von Oberschwaben vom 27. Juni 1935.* Beben I 17^h19^m31.8^s. (Nach Seismogramm-Auswertung von W. Hiller [15]). Koordinatenursprung: $\lambda = 9^{\circ} 28.0'$; $\varphi = 48^{\circ} 2.5'$.

Rechtwinklige Stationskoordinaten			\bar{P} -Einsätze
	x_n	y_n	
1. Ravensburg . . . +	11.00 km	— 28.71 km	19 ^m 38.0 ^s
2. Meßstetten . . . —	37.49 ..	+ 15.70 ..	39.8
3. Stuttgart . . . —	20.13 ..	+ 81.12 ..	46.1
4. Zürich —	66.91 ..	— 74.44 ..	49.0
5. Chur +	5.28 ..	— 132.5 ..	54.8
6. Straßburg . . . —	125.47 ..	+ 61.76 ..	56.1
7. München . . . +	159.4 ..	+ 13.80 ..	59.5
8. Neuchâtel . . . —	190.9 ..	— 112.9 ..	20 ^m 9.5
9. Basel —	141.8 ..	— 54.0 ..	—

Näherungsannahmen für den Herd:

$$(x_0) = 0.0 \text{ km}, (y_0) = 0.0 \text{ km}, (z_0) = 20 \text{ km}, (v_{\bar{P}}) = 5.80 \text{ km/sec}, (t_0) = 31.70 \text{ sec.}$$

Normalgleichungen:

$$\begin{aligned} 0.1119 \cdot x - 0.00507 \cdot y + 0.01369 \cdot z - 1.957 \cdot v + 0.9685 \cdot \tau + 0.08095 &= 0 \\ 0.1064 \cdot y + 0.00941 \cdot z - 0.901 \cdot v + 0.2006 \cdot \tau + 0.0456 &= 0 \\ 0.01929 \cdot z - 0.820 \cdot v + 0.9308 \cdot \tau + 0.01186 &= 0 \\ + 118.9 \cdot v - 27.6 \cdot \tau - 4.63 &= 0 \\ 8.00 \cdot \tau + 0.853 &= 0 \end{aligned}$$

$$[ll] = 0,592.$$

Endgültige Herdwerte nach der Ausgleichung:

$$\begin{aligned} x_0 &= -0.2 \text{ km } (\pm 1.0), \quad y_0 = -0.4 \text{ km } (\pm 1.2), \quad z_0 = 21 \text{ km } (\pm 10), \\ v_{\bar{P}} &= 5.856 \text{ km/sec } (\pm 0.16), \quad t_0 = 31.77 \text{ sec } (\pm 1.0), \quad [vv] = 0.37. \end{aligned}$$

Wahrscheinlichste Stationszeitverbesserungen:

$$\begin{aligned} v_1 &= +0.11 \text{ sec}, \quad v_4 = +0.13 \text{ sec}, \quad v_7 = -0.14 \text{ sec}, \\ v_2 &= -0.25 \text{ ,,}, \quad v_5 = -0.15 \text{ ,,}, \quad v_8 = +0.18 \text{ ,,}, \\ v_3 &= +0.37 \text{ ,,}, \quad v_6 = -0.26 \text{ ,,} \end{aligned}$$

5. *Oberschwaben-Beben I; \bar{S} -Einsätze.* Koordinatensprung und Stationskoordinaten wie bei \bar{P} . Stationseinsätze:

1. 19 ^m 42.1 ^s	4. 20 ^m 1.7 ^s	9. 20 ^m 16.3 ^s
2. 45.4	7. 18.5	
3. 57.0	8. 36.6	

Näherungsannahmen für den Herd:

$$(x_0) = + 1.0 \text{ km}, \quad (y_0) = - 1.0 \text{ km}, \quad (z_0) = 19 \text{ km}, \quad v_{\bar{s}} = 3.50 \text{ km/sec}, \\ (t_0) = 32.00 \text{ sec.}$$

Normalgleichungen:

$$\begin{aligned} 0.316 \cdot x + 0.0464 \cdot y + 0.0359 \cdot z - 6.81 \cdot \nu + 0.648 \cdot \tau - 0.342 &= 0 \\ 0.208 \cdot y + 0.0231 \cdot z - 3.56 \cdot \nu + 0.275 \cdot \tau - 0.254 &= 0 \\ + 0.0476 \cdot z - 3.10 \cdot \nu + 0.482 \cdot \tau - 0.158 &= 0 \\ 801 \cdot \nu - 65.8 \cdot \tau + 43.1 &= 0 \\ 7.00 \cdot \tau - 3.49 &= 0 \end{aligned}$$

$$[ll] = 2.426.$$

Wahrscheinlichste Herdwerte nach der Ausgleichung:

$$x_0 = - 0.2 \text{ km } (\pm 0.4), \quad y_0 = + 0.5 \text{ km } (\pm 0.5), \quad z_0 = 16 \text{ km } (\pm 4), \\ v_{\bar{s}} = 3.47 \text{ km/sec } (\pm 0.03), \quad t_0 = 32.37 \text{ sec } (\pm 0.6), \quad [rr] = 0.065.$$

Wahrscheinlichste Stationszeitverbesserungen:

$$\begin{aligned} v_1 &= + 0.059 \text{ sec}, & v_4 &= - 0.081 \text{ sec}, & v_9 &= + 0.165 \text{ sec.} \\ v_2 &= - 0.116 \text{ ,,}, & v_5 &= - 0.052 \text{ ,,}, \\ v_3 &= + 0.073 \text{ ,,}, & v_8 &= - 0.063 \text{ ,,} \end{aligned}$$

6. *Beben II von Oberschwaben vom 28. Juni 1935.* 9^h9^m34.8^s. Koordinatenursprung und Stationskoordinaten wie bei \bar{P} . Stationseinsätze für \bar{S} :

1. 9 ^m 43.7 ^s	5. 10 ^m 12.8 ^s	9. 10 ^m 18.2 ^s
2. 47.2	7. 20.5	
3. 59.0	8. 38.4	

Näherungsannahmen für den Herd:

$$(x_0) = + 1.0 \text{ km}, \quad (y_0) = - 1.0 \text{ km}, \quad (z_0) = 10 \text{ km}, \quad (v_{\bar{s}}) = 3.50 \text{ km/sec}, \\ (t_0) = 34.80 \text{ sec.}$$

Normalgleichungen:

$$\begin{aligned} 0.292 \cdot x - 0.00399 \cdot y + 0.0137 \cdot z - 5.17 \cdot \nu + 0.455 \cdot \tau + 0.0700 &= 0 \\ 0.265 \cdot y + 0.0163 \cdot z - 4.91 \cdot \nu + 0.371 \cdot \tau - 0.1255 &= 0 \\ 0.01524 \cdot z - 1.633 \cdot \nu + 0.2627 \cdot \tau - 0.00855 &= 0 \\ 837.5 \cdot \nu - 67.4 \cdot \tau + 5.07 &= 0 \\ + 7.00 \cdot \tau - 0.365 &= 0 \end{aligned}$$

$$[ll] = 0.2026.$$

Wahrscheinlichste Herdwerte nach der Ausgleichung:

$$x_0 = - 0.3 \text{ km } (\pm 0.5), \quad y_0 = + 0.4 \text{ km } (\pm 0.5), \quad z_0 = 9 \text{ km } (\pm 7), \\ v_{\bar{s}} = 3.496 \text{ km/sec } (\pm 0.04), \quad t_0 = 34.84 \text{ sec } (\pm 0.7), \quad [vv] = 0.103.$$

Wahrscheinlichste Stationszeitverbesserungen:

$$\begin{aligned} v_1 &= + 0.099 \text{ sec.}, & v_5 &= - 0.122 \text{ sec.}, & v_9 &= + 0.194 \text{ sec.} \\ v_2 &= - 0.175 \text{ ,,}, & v_7 &= - 0.029 \text{ ,,}, \\ v_3 &= + 0.082 \text{ ,,}, & v_8 &= - 0.051 \text{ ,,} \end{aligned}$$

Bemerkungen zu den vorhergehenden drei Berechnungen:

7 Stationen ist die Mindestzahl, die für die Ausgleichungen hier als erforderlich angesehen wurde. Die sehr geringe übrigbleibende Fehlerquadratsumme der letzten beiden Auswertungen der Stationseinsatzzeiten kann sowohl durch eine gute Ablesbarkeit und Auswertung wie auch zum Teil durch die kleine Stationszahl gegenüber der Zahl der Unbekannten erklärt werden. Da die Fehlertheorie an einen größeren Überschuß von Messungen gebunden ist, soll den Angaben der Fehlerbereiche bei diesen beiden Beispielen keine allzu große Bedeutung beigemessen werden.

Im Fall 4 bis 6 wurden kleine Korrekturen infolge Stationshöhe und Erdkrümmung bereits in den Einsatzzeiten angebracht. Die Möglichkeiten hierzu gaben vorangegangene, hier nicht aufgeführte Ausgleichungen, mit denen schon recht gute Näherungen berechnet worden waren. Ihre Auswirkung lag wegen der geringen Größe (0.1 sec und kleiner) wieder weit unterhalb der Fehlergrenze der Resultate.

7. *Beben von Oberitalien (Karnische Alpen) vom 8. Juni 1934.* 3^h17^m2.6^s.
(Nach Seismogramm-Auswertung von P. Caloi [5].) Koordinatenursprung:
 $\lambda = 12^{\circ}28.0'$; $\varphi = 46^{\circ}18.0'$.

	Rechtwinklige Stationskoordinaten		Stationseinsätze:	
	x_n	y_n	\bar{P}	\bar{S}
1. Treviso	— 17.2 km	— 70.4 km	17 ^m 14.2 ^s	17 ^m 23.3 ^s
2. Venedig	— 10.1 „	— 96.8 „	18.0	30.8
3. Padua	— 46.6 „	— 99.8 „	20.2	34.5
4. Triest	+ 100.2 „	— 72.2 „	22.3	38.6
5. München	— 63.9 „	+ 205.6 „	41.8	18 ^m 6.6
6. Chur	— 223.4 „	+ 65.2 „	44.9	12.4
7. Piacenza	— 216.0 „	— 136.8 „	48.0	18.7
8. Ravensburg	— 213.8 „	+ 168.8 „	50.1	22.8
9. Zagreb	+ 273.1 „	— 47.9 „	50.3	25.3
10. Prato	— 110.4 „	— 267.6 „	52.6	29.7
11. Florenz	— 97.4 „	— 279.6 „	54.6	31.5
12. Zürich	— 293.5 „	+ 125.9 „	58.2	38.1
13. Wien	+ 289.3 „	+ 223.6 „	18 ^m 4.6	49.4
14. Stuttgart	— 240.7 „	+ 279.7 „	7.5	54.0
15. Neuchâtel	— 418.5 „	+ 93.8 „	15.8	19 ^m 10.1

Näherungsannahmen für den Herd:

$$(x_0) = 0.0 \text{ km}, (y_0) = 0.0 \text{ km}, (z_0) = 30 \text{ km}, (v_{\bar{P}}) = 5.70 \text{ km/sec}, (t_0) = 2.0 \text{ sec.}$$

Dieser Ansatz führte sowohl für \bar{P} wie für \bar{S} (bei der Näherungsannahme $v_{\bar{S}} = 3.40 \text{ km/sec}$) zu starken negativen Korrekturen: — 40 km bzw. — 110 km für z_0 . Da für so hohe negative Korrekturen kein realer physikalischer Grund zu erkennen ist, kann in diesen zunächst nur ein Hinweis auf eine sehr geringe Herdtiefe gesehen werden. Die Größe dieser an sich unsinnigen Werte, welche den Herd über die Erdoberfläche verlegen würden, spricht jedoch keineswegs gegen die Ausgleichungsmethode; denn diese ist, wie zu Beginn vorausgesetzt wurde, nur zulässig, wenn die Korrektionswerte klein gegenüber dem Grundwert sind, was hier nicht zutrifft.

Diesem Umstand ist in dem Ansatz von vornherein dadurch Rechnung zu tragen, daß $z = 0$ als Voraussetzung eingeführt wird. Es sind dann Normalgleichungen für vier Unbekannte aufzustellen. Diese lauten hier für die \bar{P} -Wellen:

$$\begin{aligned} 0.226 \cdot x - 0.0136 \cdot y - 6.96 \cdot \nu + 0.758 \cdot \tau - 0.874 &= 0, \\ 0.236 \cdot y + 0.496 \cdot \nu + 0.386 \cdot \tau + 0.803 &= 0, \\ 1028 \cdot \nu - 114.6 \cdot \tau + 1.19 &= 0, \\ + 15.0 \cdot \tau + 0.57 &= 0, \\ [ll] &= 19,61. \end{aligned}$$

Wahrscheinlichste Herdwerte nach der Ausgleichung:

$$\begin{aligned} x_0 = + 4.6 \text{ km } (\pm 2.5), \quad y_0 = - 4.2 \text{ km } (\pm 2.8), \quad v_{\bar{P}} = 5.79 \text{ km/sec } (\pm 0.11), \\ t_0 = 2.55 \text{ sec } (\pm 0.9); \quad [vv] = 12.56. \end{aligned}$$

Wahrscheinlichste Stationszeitverbesserungen:

$$\begin{array}{lll} v_1 = + 0.31 \text{ sec}, & v_6 = - 1.18 \text{ sec}, & v_{11} = - 1.33 \text{ sec}, \\ v_2 = + 0.72 \text{ ,,} & v_7 = - 1.02 \text{ ,,} & v_{12} = + 0.47 \text{ ,,} \\ v_3 = + 1.06 \text{ ,,} & v_8 = + 0.59 \text{ ,,} & v_{13} = + 0.80 \text{ ,,} \\ v_4 = + 0.44 \text{ ,,} & v_9 = - 0.88 \text{ ,,} & v_{14} = - 0.17 \text{ ,,} \\ v_5 = - 1.22 \text{ ,,} & v_{10} = - 0.47 \text{ ,,} & v_{15} = + 1.73 \text{ ,,} . \end{array}$$

8. *Auswertung der \bar{S} -Einsätze.* Koordinaten und Nullpunkt wie bei \bar{P} . Mit den gleichen Näherungsannahmen wie dort, außer für $t_0 = 3.0 \text{ sec}$ und $(v_{\bar{S}}) = 3.40 \text{ km/sec}$, werden folgende Normalgleichungen für vier Elemente abgeleitet:

$$\begin{aligned} 0.634 \cdot x - 0.0382 \cdot y - 32.8 \cdot \nu + 1.27 \cdot \tau - 1.71 &= 0 \\ 0.666 \cdot y + 2.35 \cdot \nu + 0.647 \cdot \tau + 0.527 &= 0 \\ 8134 \cdot \nu - 322 \cdot \tau + 193 &= 0 \\ + 15.0 \cdot \tau - 4.82 &= 0 \\ [ll] &= 18.99. \end{aligned}$$

Wahrscheinlichste Herdwerte nach der Ausgleichung:

$$\begin{aligned} x_0 = + 1.8 \text{ km } (\pm 1.2), \quad y_0 = + 1.2 \text{ km } (\pm 1.3), \quad v_{\bar{S}} = 3.32 \text{ km/sec } (\pm 0.03), \\ t_0 = 1.39 \text{ sec } (\pm 0.7). \quad [vv] = 8.12. \end{aligned}$$

Wahrscheinlichste Stationszeitverbesserungen:

$$\begin{array}{lll} v_1 = + 0.35 \text{ sec}, & v_6 = - 0.47 \text{ sec}, & v_{11} = - 0.45 \text{ sec}, \\ v_2 = + 0.30 \text{ ,,} & v_7 = + 0.31 \text{ ,,} & v_{12} = - 0.19 \text{ ,,} \\ v_3 = + 0.61 \text{ ,,} & v_8 = + 0.80 \text{ ,,} & v_{13} = + 1.55 \text{ ,,} \\ v_4 = - 0.25 \text{ ,,} & v_9 = - 0.95 \text{ ,,} & v_{14} = - 1.20 \text{ ,,} \\ v_5 = - 0.53 \text{ ,,} & v_{10} = - 0.65 \text{ ,,} & v_{15} = + 0.84 \text{ ,,} . \end{array}$$

Bemerkungen. Wenn die aus \bar{P} und \bar{S} berechneten Lagekoordinaten des Herdes nicht innerhalb des Fehlerbereiches zusammenfallen, so kann das unter anderem darauf zurückgeführt werden, daß bei den verhältnismäßig großen Ab-

messungen dieses Herdes (siehe auch III, c) die mittleren Ursprungspunkte beider Wellenarten an verschiedenen Stellen des Herdraumes gelegen haben. Demgegenüber liefern die mehr punktförmig konzentrierten Herdvorgänge nach den Berechnungen mit beiden Wellen gut übereinstimmende Herdkoordinaten (Beben von Oberschwaben und Bodenseebeben).

9. Nordtiroler Beben vom 8. Oktober 1930. $23^{\text{h}}27^{\text{m}}7.4^{\text{s}}$. (Nach Seismogramm-Auswertungen von H. Gräfe [4].) Koordinatenursprung: $\lambda = 10^{\circ}45.0'$; $\varphi = 47^{\circ}25.0'$.

	Rechtwinklige Stationskoordinaten		Stationseinsätze:	
	x_n	y_n	\bar{P}	\bar{S}
1. Innsbruck	+ 49.0 km	— 17.04 km	27 ^m 18.7 ^s	27 ^m — ^s
2. Ravensburg	— 85.1 „	+ 41.4 „	25.2	33.5
3. München	+ 63.9 „	+ 81.45 „	27.4	—
4. Chur	— 92.5 „	— 62.28 „	24.7	36.7
5. Nördlingen	— 19.12 „	+ 159.3 „	36.5	—
6. Zürich	— 164.0 „	— 3.07 „	36.4	53.1
7. Hohenheim	— 113.1 „	+ 145.7 „	39.8	—
8. Stuttgart	— 114.4 „	+ 151.7 „	40.7	28 ^m 1.2
9. Karlsruhe	— 171.1 „	+ 179.8 „	52.0	—
10. Venedig	+ 123.5 „	— 219.7 „	54.6	—
11. Straßburg	— 220.0 „	+ 134.1 „	53.6	22.4
12. Heidelberg	— 147.2 „	+ 222.4 „	55.0	24.0
13. Neuchâtel	— 288.4 „	— 39.6 „	56.8	31.0
14. Eger	+ 117.0 „	+ 297.8 „	28 ^m 4.0	40.0
15. Ljubljana	+ 291.5 „	— 144.9 „	6.1	41.8
16. Frankfurt	— 163.7 „	+ 313.8 „	10.4	48.0
17. Graz	+ 356.7 „	— 27.2 „	9.5	50.9
18. Jena	+ 58.6 „	+ 391.7 „	18.0	—
19. Florenz	+ 40.9 „	— 404.3 „	19.2	29 ^m 6.0
20. Wien	+ 416.5 „	+ 107.3 „	23.9	12.8
21. Zagreb	+ 406.4 „	— 164.5 „	25.3	14.5
22. Leipzig	+ 114.6 „	+ 437.0 „	—	17.6
23. Göttingen	— 54.5 „	+ 459.6 „	29.9	20.1

Für die Ausgleichung der \bar{P} -Einsätze wurden sämtliche Stationen außer Nr. 22. verwendet.

Näherungsannahmen:

$$(x_0) = -4.0 \text{ km}, \quad (y_0) = -2.0 \text{ km}, \quad (z_0) = 25 \text{ km}, \quad (v_{\bar{P}}) = 5.70 \text{ km/sec}, \\ (t_0) = 8.00 \text{ sec.}$$

Normalgleichungen:

$$\begin{aligned} 0.334 \cdot x - 0.0951 \cdot y + 0.00653 \cdot z + 2.05 \cdot \nu + 0.1897 \cdot \tau + 0.2918 &= 0 \\ 0.3278 \cdot y - 0.02084 \cdot z + 8.89 \cdot \nu - 1.103 \cdot \tau - 0.2137 &= 0 \\ 0.01567 \cdot z - 2.97 \cdot \nu + 0.485 \cdot \tau + 0.1107 &= 0 \\ 1804 \cdot \nu - 181.9 \cdot \tau - 39.88 &= 0 \\ 22.0 \cdot \tau + 5.12 &= 0 \end{aligned}$$

$$[U] = 21.83.$$

Wahrscheinlichste Werte nach der Ausgleichung:

$$x_0 = -4.7 \text{ km } (\pm 2.4), \quad y_0 = -2.5 \text{ km } (\pm 2.2), \quad z_0 = 31 \text{ km } (\pm 38), \\ v_{\bar{P}} = 5.68 \text{ km/sec } (\pm 0.15), \quad t_0 = 7.42 \text{ sec } (\pm 2.0). \quad [vv] = 20.38.$$

Der verhältnismäßig hohe Betrag der Fehlerquadratsumme ist durch die große und geometrisch einseitige Ausdehnung des Herdes bedingt (siehe S. 383). Es besteht daher Veranlassung zu dem Hinweis, daß die wirklichen Fehlergrenzen ganz erheblich kleiner sind als sich hier rein formal bei Voraussetzung eines punktförmigen Herdes ergibt.

Die wahrscheinlichsten Stationszeitverbesserungen sind:

$$\begin{array}{lll} v_1 = -0.1 \text{ sec}, & v_9 = -0.8 \text{ sec}, & v_{17} = +1.95 \text{ sec}, \\ v_2 = -0.8 \text{ ,,}, & v_{10} = -2.4 \text{ ,,}, & v_{18} = -0.1 \text{ ,,}, \\ v_3 = -0.1 \text{ ,,}, & v_{11} = -0.9 \text{ ,,}, & v_{19} = -0.3 \text{ ,,}, \\ v_4 = +2.2 \text{ ,,}, & v_{12} = -0.4 \text{ ,,}, & v_{20} = +0.4 \text{ ,,}, \\ v_5 = +0.1 \text{ ,,}, & v_{13} = +1.3 \text{ ,,}, & v_{21} = +0.2 \text{ ,,}, \\ v_6 = -0.4 \text{ ,,}, & v_{14} = +0.7 \text{ ,,}, & v_{23} = -0.4 \text{ ,,}, \\ v_7 = +0.4 \text{ ,,}, & v_{15} = -0.5 \text{ ,,}, & \\ v_8 = +0.5 \text{ ,,}, & v_{16} = -0.4 \text{ ,,}, & \end{array}$$

10. *Ausgleichung der \bar{S} -Einsätze.* Stationskoordinaten wie bei \bar{P} . Stations-einsätze, siehe 9. Die Ausgleichung führte zunächst ähnlich wie in dem Fall des Karnischen Bebens zu stark negativen Korrekturen von z : -44 km. Daher wurde für diese Wellen die Voraussetzung $z = 0$ in die Ausgangsgleichungen verlegt. Näherungsannahmen:

$$(x_0) = 0.0 \text{ km}, \quad (y_0) = 0.0 \text{ km}, \quad (v_{\bar{S}}) = 3.40 \text{ km/sec}, \quad (t_0) = 5.0 \text{ sec}.$$

Die Normalgleichungen für vier Unbekannte lauten dann:

$$\begin{array}{r} 0.771 \cdot x - 0.154 \cdot y + \quad 10.6 \cdot v + \quad 0.527 \cdot \tau + \quad 0.650 = 0 \\ \quad 0.615 \cdot y + \quad 33.6 \cdot v - \quad 1.18 \cdot \tau - \quad 0.339 = 0 \\ \quad \quad \quad 12956 \cdot v - 427 \quad \cdot \tau + 138.1 = 0 \\ \quad \quad \quad \quad \quad 16.0 \cdot \tau - \quad 5.09 = 0 \\ [ll] = 12.90. \end{array}$$

Wahrscheinlichste Herdwerte nach der Ausgleichung:

$$x_0 = +1.8 \text{ km } (\pm 1.6), \quad y_0 = +0.7 \text{ km } (\pm 1.3), \quad v_{\bar{S}} = 3.42 \text{ km/sec } (-0.04), \\ t_0 = 6.08 \text{ sec } (\pm 1.0). \quad [vv] = 9.39.$$

Die wahrscheinlichsten Stationszeitverbesserungen sind:

$$\begin{array}{llll} v_2 = -0.30 \text{ sec}, & v_{11} = -1.73 \text{ sec}, & v_{15} = -0.23 \text{ sec}, & v_{20} = -0.48 \text{ sec}, \\ v_4 = +1.62 \text{ ,,}, & v_{12} = -0.45 \text{ ,,}, & v_{16} = +0.90 \text{ ,,}, & v_{21} = +0.16 \text{ ,,}, \\ v_6 = +0.29 \text{ ,,}, & v_{13} = -0.30 \text{ ,,}, & v_{17} = +0.16 \text{ ,,}, & v_{22} = +0.74 \text{ ,,}, \\ v_8 = +0.02 \text{ ,,}, & v_{14} = -0.50 \text{ ,,}, & v_{19} = -0.72 \text{ ,,}, & v_{23} = +0.82 \text{ ,,}. \end{array}$$

Bemerkungen zu diesem Beben und den Fehlerresten siehe in Teil III.

11. Bodensee-Beben vom 31. Januar 1935. 13^b39^m30.9^s. (Nach Seismogramm-Auswertungen von W. Hiller [17].) Koordinatenursprung: $\lambda = 9^{\circ}1.0'$; $\varphi = 47^{\circ}42.0'$.

	Rechtwinklige Stationskoordinaten		Stationseinsätze:		
	x_n	y_n	\bar{P}	\bar{S}	(Q)
1. Ravensburg . . .	+ 44.7 km	+ 9.5 km	39 ^m 39.0 ^s	39 ^m 46.0	(44.4) ^s
2. Zürich	— 32.95 ..	— 36.75 ..	39.6	46.9	(46.0)
3. Meßstetten . . .	— 4.04 ..	+ 53.55 ..	40.1	47.6 ^s	
4. Basel	— 108.0 ..	— 16.8 ..	50.5	40 ^m 4.1	
5. Stuttgart	+ 13.0 ..	+ 119.1 ..	51.95	7.0	
6. Straßburg	— 92.3 ..	+ 99.1 ..	—	11.4	
7. Karlsruhe	— 44.1 ..	+ 145.95 ..	58.0	17.0	
8. Neuchâtel	— 156.3 ..	— 76.0 ..	40 ^m 1.9	23.8	
9. München	+ 192.9 ..	+ 52.8 ..	—	31.0	
10. Jena	+ 180.5 ..	+ 362.8 ..	42 2	41 ^m 31.7	
11. Göttingen	+ 65.8 ..	+ 428.2 ..	47.6	42.3	

Bei den \bar{P} -Wellen wurden die Stationen 6 und 9 nicht verwendet.

Mit dem Näherungsepizentrum im Koordinatennullpunkt und den Näherungsannahmen für die Herdtiefe von 20 km und $(v_{\bar{P}}) = 5.75$ km/sec ergab sich für z eine Korrektur von -20 km; bei einer zweiten Näherung mit $(z_0) = 5$ km führte die Ausgleichung auf eine z -Korrektur von -38 km. Die Vergrößerung der Korrektur ist durch den kleineren Koeffizienten c bei der Ausgleichung bedingt. Siehe hierzu auch S. 362. Somit deuten diese Resultate, da sich für z keine gegenüber dem Gesamtwert kleinen Korrekturen ergeben, wieder auf ein nahe an der Oberfläche gelegenes Beben hin.

Im Gegensatz hierzu führte jedoch die Ausgleichung der aus der erwähnten Arbeit entnommenen \bar{S} -Einsätze zu einer Herdtiefe von über 40 km. Da die \bar{S} -Einsätze insbesondere bei Nahstationen verglichen mit den \bar{P} -Einsätzen wesentlich unsicherer zu erkennen sind, muß letzteren ein erheblich größeres Gewicht beigelegt werden. D. h. der Herd wird mit größerer Wahrscheinlichkeit nicht sehr tief gelegen haben. Wenn außerdem beachtet wird, daß die als Q -Wellen (Oberflächen-Scherungswellen) bezeichneten Einsätze von den \bar{S} -Wellen bei einem oberflächennahen Beben nicht zu trennen sind und daher auch den \bar{S} -Wellen zugeordnet werden können, so läßt sich der Widerspruch innerhalb der Fehlergrenzen beseitigen. Es wurden daher die in der Bearbeitung [17] S. 85 etwas früher gefundenen Q -Einsätze hier als \bar{S} -Einsätze angesehen.

Man erhält zunächst für \bar{P} mit den Näherungsannahmen:

$$(x_0) = 0.0 \text{ km}, (y_0) = 0.0 \text{ km}, (v_{\bar{P}}) = 5.70 \text{ km/sec}, (t_0) = 31.0 \text{ sec}$$

folgende Normalgleichungen:

$$\begin{aligned} 0.108 \cdot x + 0.0476 \cdot y - 0.218 \cdot r + 0.217 \cdot \tau - 0.105 &= 0 \\ 0.169 \cdot y + 5.35 \cdot r - 0.650 \cdot \tau + 0.0537 &= 0 \\ 417 \cdot r - 47.6 \cdot \tau + 12.6 &= 0 \\ + 9.00 \cdot \tau - 1.20 &= 0 \end{aligned}$$

$$[ll] = 0.798.$$

Die wahrscheinlichsten Herdwerte sind dann:

$$x_0 = + 0.8 \text{ km } (\pm 0.8), \quad y_0 = + 0.6 \text{ km } (\pm 0.8), \quad v_{\bar{P}} = 5.65 \text{ km/sec } (\pm 0.02), \\ t_0 = 30.90 \text{ sec } (\pm 0.2). \quad [v\bar{v}] = 0.247.$$

Die wahrscheinlichsten Stationsverbesserungen:

$$v_1 = - 0.18 \text{ sec}, \quad v_4 = - 0.09 \text{ sec}, \quad v_8 = - 0.10 \text{ sec}, \\ v_2 = + 0.20 \text{ ,,}, \quad v_5 = + 0.01 \text{ ,,}, \quad v_{10} = + 0.26 \text{ ,,}, \\ v_3 = + 0.21 \text{ ,,}, \quad v_7 = - 0.15 \text{ ,,}, \quad v_{11} = - 0.15 \text{ ,,}.$$

12. Für die \bar{S} -Wellen wurden bei den erwähnten Umänderungen folgende Näherungsannahmen aufgestellt:

$$(x_0) = 0.0 \text{ km}, \quad (y_0) = 0.0 \text{ km}, \quad (z_0) = 15 \text{ km}, \quad (v_{\bar{S}}) = 3.30 \text{ km/sec}, \quad (t_0) = 30.50 \text{ sec}.$$

Diese Annahmen führen zu den Normalgleichungen:

$$0.434 \cdot x + 0.115 \cdot y + 0.01115 \cdot z + 1.695 \cdot v + 0.289 \cdot \tau - 0.599 = 0 \\ 0.546 \cdot y - 0.0402 \cdot z + 31.8 \cdot v - 1.416 \cdot \tau - 0.483 = 0 \\ + 0.0300 \cdot z - 4.59 \cdot v + 0.477 \cdot \tau + 0.0719 = 0 \\ 4222 \cdot v - 173.7 \cdot \tau - 47.0 = 0 \\ + 11.0 \cdot \tau + 1.78 = 0 \\ [ll] = 4.152.$$

Hieraus folgen die wahrscheinlichsten Herdwerte:

$$x_0 = + 1.3 \text{ km } (\pm 1.3), \quad y_0 = 0.0 \text{ km } (\pm 1.3), \quad z_0 = 11 \text{ km } (\pm 13), \\ v_{\bar{S}} = 3.32 \text{ km/sec } (\pm 0.03), \quad t_0 = 30.75 \text{ sec } (\pm 1.1). \quad [v\bar{v}] = 2.75.$$

Die wahrscheinlichsten Stationszeitverbesserungen sind:

$$v_1 = + 0.10 \text{ sec}, \quad v_5 = - 0.05 \text{ sec}, \quad v_9 = - 0.25 \text{ sec} \\ v_2 = + 0.17 \text{ ,,}, \quad v_6 = + 0.55 \text{ ,,}, \quad v_{10} = + 1.11 \text{ ,,}, \\ v_3 = - 0.37 \text{ ,,}, \quad v_7 = - 0.06 \text{ ,,}, \quad v_{11} = - 0.93 \text{ ,,}, \\ v_4 = + 0.10 \text{ ,,}, \quad v_8 = - 0.37 \text{ ,,},$$

Bemerkungen. Ein Vergleich der Endwerte der \bar{S} -Auswertung, in der die Herdtiefe als Unbekannte einging, und der vorhergehenden \bar{P} -Auswertung, bei der diese Tiefe festgelegt werden mußte, zeigt deutlich die Auswirkung dieses Verfahrens der Reduktion der Zahl der Unbekannten auf die Fehlerangaben der Herdzeit und der Geschwindigkeit.

Trotz der Festlegung $(z) = 0$ für die Rechnungen bleibt in Anbetracht der Herdtiefenbestimmungsfehler bei sämtlichen so ausgeglichenen Beben vollkommen offen, wo diese Herde in dem Bereich zwischen 0 und etwa 10 km Tiefe gelegen haben. Innerhalb dieser Grenzen lassen sich bei der zur Zeit vorhandenen Stationsdichte und Registrierengenauigkeit keine sicheren Unterscheidungen treffen.

Teil III: Folgerungen aus den Ausgleichsergebnissen

a) Die Genauigkeit der Herdangaben. Die beiden Schwarzwaldbeben geben hinsichtlich der Verteilung der Stationen und der Auswertung ein Vorbild dafür, was als Mindestmaß an Material für eine brauchbare Nahbebenausgleichung zu fordern ist, wenn aus den Beobachtungen der Stations-Zeiteinsätze einigermaßen gesicherte Schlüsse gezogen werden sollen.

Die Berechnung des mittleren Fehlers auf dem langen Weg über die Ausgleichung könnte unter Umständen von Seiten, denen dieses Verfahren nicht geläufig ist, als Ergebnis einer Theorie ohne praktische Bedeutung angesehen werden. Daß dieser Einwand nicht berechtigt ist, kann sehr deutlich durch ein kurzes und direktes Verfahren der Fehlerberechnung gezeigt werden. Es sei z. B. der mittlere Fehler der Herdtiefenbestimmung zu ermitteln. Hierfür differenziert man die Funktion z nach x_0 , y_0 , v und t_0 . Wobei

$$z = \sqrt{(t_1 - t_0)^2 \cdot v^2 - (x_1 - x_0)^2 - (y_1 - y_0)^2}.$$

Man bildet das Differential:

$$\Delta z = \frac{\partial z}{\partial x_0} \cdot \Delta x + \frac{\partial z}{\partial y_0} \cdot \Delta y + \frac{\partial z}{\partial v} \cdot \Delta v + \frac{\partial z}{\partial t_0} \cdot \Delta t.$$

Der mittlere Fehler M_z kann dann hieraus unmittelbar angegeben werden:

$$M_z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x_0}\right)^2 \cdot \Delta^2 x + \left(\frac{\partial z}{\partial y_0}\right)^2 \cdot \Delta^2 y + \left(\frac{\partial z}{\partial v}\right)^2 \cdot \Delta^2 v + \left(\frac{\partial z}{\partial t_0}\right)^2 \cdot \Delta^2 t}.$$

Nehmen wir als praktischen Durchschnittswert 30 km Herdtiefe an, dann wird an der Stelle $x_0 = 0$; $y_0 = 0$ und $t_0 = 0$:

$$M_z = \sqrt{\frac{x_1^2 \cdot (\Delta x)^2 + y_1^2 \cdot (\Delta y)^2 + v^2 t_1^4 \cdot (\Delta v)^2 + t_1^2 v^4 (\Delta t)^2}{30^2}}.$$

Und weiter nach Einsetzen der für einen geringen Fehlerbetrag in z sehr günstigen Voraussetzungen: mittlere Stationsentfernung = 80 km; $\Delta t = \pm 0.3$ sec; $\Delta x = \Delta y = \pm 2$ km; $\Delta v = \pm 0.15$ km/sec in M_z wird:

$$M_z = \sqrt{\frac{110\,000}{900}} \cong \pm 11 \text{ km.}$$

Die zugrunde gelegten Fehlervoraussetzungen stimmen hier in ihrem Betrag etwa mit den Berechnungsergebnissen der Ausgleichung der ersten beiden Beispiele überein. Das Ergebnis der kurzen Ableitung bestätigt, soweit diese dazu in der Lage ist, die Größenordnung des Fehlers, die sich bereits aus der Ausgleichungsrechnung ergeben hat. Dieser Fehler liegt erheblich höher, als ihn die subjektiven Abschätzungen bisheriger Bearbeitungen ergeben haben.

Wenn bedacht wird, daß dieser hohe Betrag bereits bei der äußerst günstigen Lage und Auswertung der Stationen auftritt, so ist es vollkommen ungerechtfertigt, den Herdtiefenbestimmungen aus fünf oder noch weniger Stationen, die bei fast allen (außer den hier bearbeiteten) Nahbeben noch ganz erheblich ungünstiger liegen, eine größere praktische Bedeutung beizumessen.

Da es in keiner Gegend der Erde zur Zeit ein dichteres und besseres Stationsnetz gibt als in Süddeutschland, einschließlich der ebenfalls guten Stationen der unmittelbaren Nachbarschaft, können die hier ermittelten Fehlergrenzen, insbesondere für die Herdtiefe als Mindestmaß auf jedes bisher bearbeitete Nahbeben übertragen werden. Daher sind Fehlerangaben der Herdtiefen von ± 5 km und darunter mit den bisherigen Ergebnissen der Stationsbeobachtungen bei genauen Rechnungen nicht vereinbar. ± 10 km ist als die Grenze anzusehen, die sich bei dem heutigen Zustand des besten Stationsnetzes für Herdtiefenbestimmungen innerhalb der oberen etwa 50 km dicken Erdkruste erreichen läßt.

Was die Angaben über die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten betrifft, so sind diese bisher überhaupt keiner Fehlerbetrachtung, die sich direkt an die Meßgrößen lehnt, unterzogen worden. Mit der Berechnung der Geschwindigkeitswerte selbst steht es nicht viel besser, denn in sämtlichen Laufzeitbearbeitungen wird der erforderliche Wert subjektiv ausgewählt und hiermit irgendeine der bekannten Laufzeittabellen bekräftigt. Mit einer wirklichen Geschwindigkeitsbestimmung hat eine derartige Auswertung, die sich überdies auch nur mit der Projektion auf die Erdoberfläche befaßt, nur wenig zu tun.

Zu einer falschen Beurteilung der Geschwindigkeitsbestimmungen wird man auch durch ein Verfahren von Jeffreys [18, 19] verleitet, bei dem die aus anderen Arbeiten entlehnten Epizentralkoordinaten als konstante Größen angesetzt werden und dieses Material nur nach dem v - und t -Wert ausgeglichen wird. Die Folgen einer solchen Methode sind äußerst niedrige (etwa fünffach zu kleine) Fehlergrenzen für v_p . Man vergleiche die Angaben für das Nordtiroler Beben dieser und jener Bearbeitung.

Zu diesen Abweichungen führt im wesentlichen die Tatsache, daß dort die Stationsgleichungen statt mit fünf nur mit zwei Unbekannten belastet werden.

Die Unzuverlässigkeit der Angaben der Gesamtfehler bei Jeffreys wird noch dadurch erhöht, daß das zugrunde gelegte Stationsbeobachtungsmaterial zum größten Teil veraltet ist. Ein Beben wie das Süddeutsche vom 16. November 1911 und die Oppau-Katastrophe können wegen der für heutige Ansprüche unzureichenden Zeitbestimmungen der Stationseinsätze zu irgendwelchen Berechnungen nicht mehr herangezogen werden. Die zahlreichen Auswertungen und nachträglichen Verbesserungsversuche, welche gerade mit diesen beiden Musterbeispielen angestellt worden sind, sollten nur noch der Vergangenheit bzw. der Geschichte der Seismik überlassen bleiben.

Für die vorliegenden Ausgleichungen wurde, um den Resultaten einen möglichst hohen Grad der Genauigkeit zu geben, das Material nur auf die neusten Bearbeitungen beschränkt. So erschien z. B. aus der zuvor erwähnten Veröffent-

lichung [18, 19] nur ein einziges Beben einigermaßen verwendbar. Und selbst bei dieser strengen Auswahl ist die Fehlergrenze immer noch so hoch, daß eine Sicherung der Aussagen nur durch Häufung von sehr vielen Beben erreicht werden kann.

In Zusammenhang mit den Betrachtungen dieses Abschnitts ist darauf hinzuweisen, daß eine weitere Verbesserung und Präzisierung unserer Kenntnisse der obersten Erdkruste nur noch zu erwarten ist, wenn an die Arbeitsmethoden der Zukunft erhöhte Anforderungen gestellt werden. Diese betreffen u. a.: Einheitliche Zusammenfassung des Stationsdienstes, Vermehrung der Stationen in herdnahen Gebieten, Vereinheitlichung der Instrumente bei möglichst weitem Vergrößerungsspielraum, Sicherung der Zeitangaben. Derartige Forderungen, die z. T. auch von W. Hiller abgeleitet worden sind, ergeben sich wohl bei jeder eingehenden Bearbeitung von Erdbeben-Stationenbeobachtungen.

b) Über Systematik in den Stationsfehlern. In der Tabelle 2 sind diejenigen Stationen, die mehrmals bei den verschiedenen Bebenbearbeitungen Meßbeiträge lieferten, zusammengestellt. Hiernach läßt sich besser übersehen, ob und wieweit die Abweichungen für die einzelnen Stationen in dem gleichen Sinn auftreten. Es müßten so z. B. bei einem Stationsuntergrund mit geringerer Fortpflanzungsgeschwindigkeit positive (+) Verbesserungen, für einen Untergrund mit größerer Geschwindigkeit negative (—) Verbesserungen auftreten — vorausgesetzt, daß dieser Einfluß der geologischen Oberflächenschicht von 1 bis 2 km Mächtigkeit auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen überhaupt in der Größenordnung dieser Fehler liegt. Für eine genauere Abgrenzung dieses Einflusses können für die Stationen, die mindestens sechs Meßwerte aufweisen, die Stationsdurchschnittswerte gebildet werden. Zum Vergleich heranzuziehende geologische Profile würden eine gesonderte umfangreiche Bearbeitung von Fachkreisen erfordern.

Auf Grund der Zusammenstellung der Tabelle kann man jedoch schon jetzt feststellen, daß dieser Einfluß der Oberflächengeologie auf die Laufzeit der Erdbebenwellen höchstens $\frac{1}{10}$ bis $\frac{2}{10}$ sec beträgt. Von dieser Feststellung bleibt diejenige Tatsache vollkommen unberührt, daß die rein energetischen Auswirkungen der Erdbebenwellen, wie insbesondere makroseismische Bearbeitungen gezeigt haben, durch den unmittelbaren geologischen Untergrund eine Beeinflussung erfahren.

Daß ein in ungefähr entsprechendem Maße auffälliger Einfluß der geologischen Oberflächenschichtung auf die Laufzeiten nicht besteht, zeigen 1. die erwähnten Stationsdurchschnittswerte in jeder Zeile, die kaum für eine Station eine irgendwie bevorzugte Richtung der Verbesserungen aufweisen und darüber hinaus auch sehr klein sind; 2. müßten bei jedem Beben, wo Stationen mit \bar{P} - und \bar{S} -Werten vorhanden sind, die letzteren, wenn auch nicht in jedem einzelnen Fall, so doch im Durchschnitt überwiegend im Verhältnis $\sqrt{3}:1$ größere übrigbleibende Abweichungen aufweisen — was offensichtlich auch nicht der Fall ist.

Es ist daher für die vorhergehenden Rechnungen als nachträgliche Rechtfertigung anzusehen, wenn die Wellenausbreitung in jeder Richtung als unabhängig von der Oberflächengeologie angesehen worden ist.

Tabelle 2. Zusammenstellung der übrigbleibenden Stationszeitverbesserungen in den Fällen, wo die gleiche Station mehr als dreimal aufgetreten ist

Station	Schwarzwald		Nord- Brabant	Oberschwaben		Oberitalien		Nordtirol		Bodensee	
	Beben I	Beben II		Beben I	Beben II	\bar{P}	\bar{S}	\bar{P}	\bar{S}	\bar{P}	\bar{S}
1. Ravensburg	— 0.25	+ 0.06		+ 0.11	+ 0.06	+ 0.10	+ 0.80	— 0.8	— 0.3	+ 0.18	+ 0.10 sec
2. Meßstetten	+ 0.12	+ 0.16		— 0.25	— 0.12	— 0.18				+ 0.21	— 0.37 „
3. Stuttgart	+ 0.24	— 0.07		+ 0.37	+ 0.07	+ 0.08	— 0.17	— 1.20	+ 0.5	+ 0.01	— 0.05 „
4. Zürich	+ 0.28	+ 0.25	— 0.02	+ 0.13	— 0.08		+ 0.47	— 0.19	— 0.4	+ 0.20	+ 0.17 „
5. Chur	— 0.27	— 0.33		— 0.15		— 0.12	— 1.18	— 0.47	+ 2.2	+ 1.6	
6. Straßburg	— 0.09	— 0.02		— 0.26					— 0.9	— 1.7	+ 0.55 „
7. München				— 0.14	— 0.05	— 0.03	— 1.12	— 0.53	— 0.1		— 0.25 „
8. Neuchâtel	+ 0.44	+ 0.41		+ 0.18	— 0.06	— 0.05	+ 1.73	+ 0.84	+ 1.3	— 0.3	— 0.10
9. Basel	— 0.42	— 0.50				+ 0.17					— 0.09
10. Heidelberg	— 0.11	+ 0.02							— 0.4	— 0.45	
11. Frankfurt			+ 0.06						— 0.4	+ 0.9	
12. Göttingen			— 0.57						— 0.4	+ 0.8	— 0.15
13. Karlsruhe			— 0.07						— 0.8		— 0.15
14. Jena			+ 0.68						— 0.1		+ 0.26
15. Venedig							+ 0.72	+ 0.30	— 2.4		
16. Zagreb							— 0.88	— 0.95	+ 0.2	+ 0.16	
17. Florenz							— 1.33	— 0.45	— 0.3	— 0.7	
18. Wien							+ 0.80	+ 1.55	+ 0.4	— 0.5	
[v v]	0.67	0.63	2.10	0.37	0.066	0.10	12.6	8.0	20.3	9.3	0.25
$\sqrt{\frac{v v}{n-1}}$	0.29	0.28	0.48	0.23	0.1	0.13	0.95	0.75	0.98	0.79	0.18
n	9	9	10	8	7	7	15	15	22	16	9

Schwieriger zu entscheiden ist diejenige Frage, woher der wesentliche Anteil der Fehler der Tabelle 2 rührt. Die übrigbleibenden Verbesserungen verhalten sich weitgehend ungeordnet; Uhrenfehler, Zeitbestimmungsfehler, Fehler durch unklare Einsätze u. dgl. werden sich hier überlagern. Die Summe der Fehlerquadrate $[vv]$ bzw. der in der folgenden Zeile der Tabelle aufgeführte mittlere Stationszeitfehler, kann als vergleichendes Maß für die Güte der jeweiligen Bearbeitungsfähigkeit oder der Bearbeitung eines Bebens angesehen werden, wenn im Mittel auch gleich gute und gleich entfernte Stationen zugrunde liegen und der Herdraum keine Besonderheiten aufweist (siehe III c). Eine vergleichende Feststellung über die Resultate kann daher bei dem vorliegenden Material summarisch nur dahin getroffen werden, daß die Beben außerhalb der Alpen einheitlichere und besser verwendbare Stationszeiten lieferten als die aus dem Alpengebiet selbst. Zu dieser Feststellung gibt der folgende Abschnitt einige Ergänzungen.

c) Richtungsabhängigkeit der Verbesserungen. In den Fig. 4 und 5 sind für die beiden Beispiele mit den zahlreichsten Stationen und gleichzeitig größten übrigbleibenden Verbesserungen diese Verbesserungen nach den Himmelsrichtungen in Bezug auf das Epizentrum aufgetragen.

Man findet gelegentlich in einigen Arbeiten aus den Abweichungen des Zeiteinsatzes einer einzigen Station um 1 bis 2 sec vom mittleren erwarteten Wert die Ansicht abgeleitet, daß der Erdbebenvorgang im Herd nicht, wie meist angenommen, zentralsymmetrisch, d. h. im Vergleich zur Wellenlänge nahezu punktförmig vonstatten gegangen ist; sondern gleichzeitig auf einer Herdlinie von 10 bis 20 km Länge (genauer: in einem vorwiegend in einer Richtung sich erstreckenden Herdraum) entstanden ist. In einem solchen Fall müßten die Stationen, die etwa in der Verlängerung dieser Linie liegen, gegenüber den senkrecht dazu befindlichen einen entsprechend verfrühten Einsatz zeigen; d. h. ihre bei einer Ausgleichung übrig bleibende zeitliche Verbesserung muß positiv sein und negativ für die etwa senkrecht zu dieser Linie liegenden Stationen. Ein derartiger Schluß erscheint, wenn er, wie bei H. Gräfe für das Nordtiroler Beben nur aus einer einzigen Zeitabweichung (der Station Chur) gezogen wird, nicht sehr überzeugend. Da jeder Station einmal ein reiner Meßfehler dieses Betrages unterlaufen kann (siehe z. B. Station Karlsruhe [15]), sollte eigentlich aus der Zeitabweichung einer einzigen Station keine geologische oder geophysikalische Folgerung gezogen werden.

In dem vorliegenden Fall bestanden jedoch noch andere Anhaltspunkte, die mit besser gesicherten Grundlagen auf ein Verhalten in der angedeuteten Richtung hinweisen. Daher sollen die Fehler (bzw. die übrigbleibenden Verbesserungen) an Hand der Fig. 4 etwas eingehender erörtert werden. Diese Verbesserungen sind, bezogen auf das Azimut jeder Station, vom Epizentrum aus gesehen von Osten über Norden nach Westen aufgetragen. Das Gebiet von 0 bis 180° umfaßt also den nördlichen Stationsbereich, das andere den südlichen. Ausgehend von der Näherungsannahme eines linienhaften Herdes läßt sich hier die

unter dieser Voraussetzung zu fordernde doppelte Periode der Stationsabweichungen vom mittleren Wert bei einem vollen Umlauf des Azimuts wohl kaum verkennen. Wenigstens in dem südlichen Bereich (d. h. in dem der Alpen) erscheint diese sehr deutlich ausgeprägt. Die beiden Maxima liegen in der Richtung von Chur

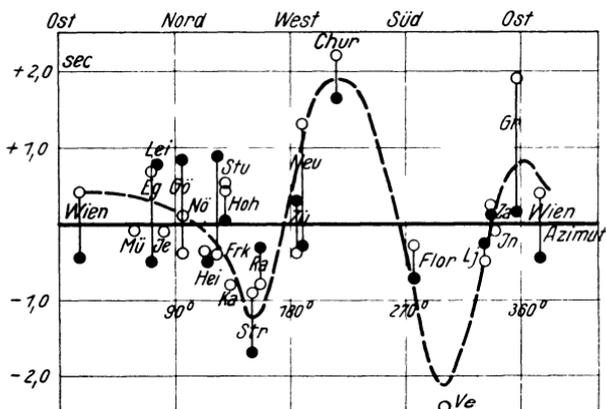


Fig. 4*). Azimutverteilung der übrigbleibenden Zeitverbesserungen des Nordtiroler Bebens vom 8. Okt. 1930. \circ = \bar{P} -Einsätze. \bullet = \bar{S} -Einsätze. Azimut der Stationen in bezug auf das Epizentrum als Abszisse

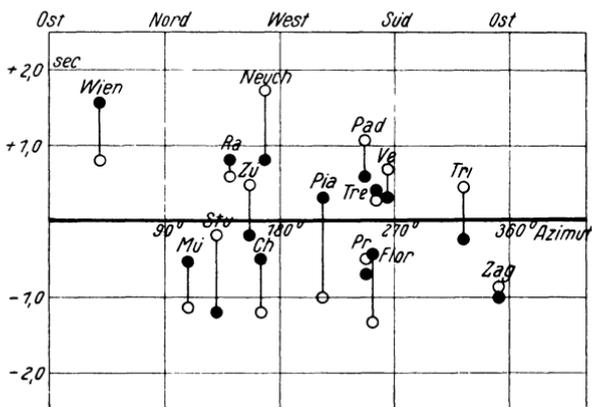


Fig. 5. Azimutverteilung wie in Fig. 4, jedoch für das Beben in den Karnischen Alpen vom 8. Juli 1934

einerseits und Graz, Wien andererseits; die Minima in der Richtung von Straßburg und entgegengesetzt in der von Venedig. Sie ergeben somit die Längs-erstreckung dieses Herdes in weitgehender Übereinstimmung mit der Längs-

*) Anm. b. d. Korr. Eine inzwischen durchgeführte Ausgleichung von 18 \bar{P}_n -Einsätzen bestätigt und ergänzt den Kurvenverlauf vollständig. Genauere Angaben hierzu folgen später.

erstreckung der Alpen. Diese Feststellung, die hier auf mehr als 10 Stationen gestützt werden kann, gibt zugleich ein Beispiel für die Leistungsfähigkeit der Ausgleichsrechnung. Gegenüber jeder aus irgendeinem anderen (z. B. Laufzeitkurven-) Verfahren ableitbaren Zeitabweichung besitzen diese übrigbleibenden wahrscheinlichsten Stationszeitverbesserungen allein den Vorrang, sowohl systematische wie regellose Fehler aufzudecken.

Hier muß auf die vorwiegend geophysikalische Frage über den Materialzustand der oberen Erdkruste eingegangen werden, die ausführlich in diesem Zusammenhang wohl zum ersten Mal von W. Hiller [20] aufgerollt worden ist. Man könnte ohne das eindeutige Ergebnis des vorhergehenden Abschnittes nicht ohne weiteres entscheiden, ob in diesem Fall (wie allgemein) ein Ereignis in der Erdkruste bei einer Herdausdehnung von 10 bis 20 km auf $\frac{1}{10}$ bis $\frac{2}{10}$ sec gleichzeitig, d. h. schneller als die Ausbreitungszeit einer Longitudinalwelle auf dieser Strecke, vor sich gehen kann. Es ist nach Fig. 4 jedoch kaum anders denkbar, als daß bei einem großräumigen Druck der Alpen quer zu ihrer Längsrichtung oder wahrscheinlicher einem Zug in der Richtung der Herdlinie (Scherung) diese Frage bejahend zu beantworten ist und ein Block von diesen Ausmaßen (bis 20 km) als starres Gebilde angesehen werden muß.

Eine Erklärung der Fig. 4 durch einen Unterschied in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den verschiedenen Richtungen ist abzulehnen, weil 1. diese Erscheinung auch bei allen übrigen Beben auftreten müßte, 2. die Abweichung der \bar{S} -Einsätze fast doppelt so groß wie die der \bar{P} -Einsätze sein müßte.

Die bereits früher von Hiller und Gräfe aus den Stoßrichtungen und von Kraus aus den makroseismischen Bearbeitungen bezüglich der Herdform gezogenen ähnlichen Folgerungen werden somit durch dieses Auswertungsverfahren bestätigt und präzisiert.

Bei dem Karnischen Beben läßt sich keine Aussage über das Vorhandensein einer einfachen geometrischen Form des Herdraumes ableiten. Die Ausdehnung der Herdgebiete der übrigen Beben muß geringer gewesen sein. Ihre Dimensionen kann man etwa mit dem Wellenweg veranschlagen, der in der Zeit des mittleren Fehlers der Stationseinsätze zurückgelegt wird. Das sind ungefähr 2 km.

d) Verlagerung der Herdtiefe bei Nachbeben. Die beiden Beispiele (1; 2 und 5; 6), die hierzu herangezogen werden konnten, deuten darauf hin, daß der auslösende erste Herd mit sehr großer Wahrscheinlichkeit tiefer gelegen hat als der nachfolgende. Es bleibt eine Aufgabe, an weiterem Material in zukünftigen Untersuchungen festzustellen, ob diese Verlagerung der Herde bei Nachbeben immer in der gleichen Richtung erfolgt und, wie in diesen beiden Beispielen, von unten nach oben fortschreitet. Wenn es gelingt, die hierfür erforderlichen Stationsbeobachtungen der Ausgleichsrechnung zuzuführen, so würde ein weiterer Beitrag zur Aufklärung der Herdvorgänge geliefert werden können. Hierbei besteht ein gewisser Vorteil darin, daß die Messungen der Differenz der Herdtiefen mit einem kleineren Fehler behaftet sind als die absoluten Herdtiefenbestimmungen selbst.

Teil IV: **Hauptergebnis**

a) Abnahme der Wellengeschwindigkeit mit der Herdtiefe. In der Fig. 6 sind sämtliche Ausgleichsergebnisse der Herdtiefen- und Geschwindigkeitswerte zusammengestellt. Nur ein einziger Wert, ein aus den Wiechertschen Sprengversuchen [21] stammender Geschwindigkeitswert $v_{\bar{p}} = 5.98 \text{ km/sec}$, der in die Figur aufgenommen worden ist, wurde hier nicht durch Ausgleichung abgeleitet. Außer dieser vorbildlichen, bisher an Genauigkeit noch nicht übertroffenen Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Longitudinalwellen, konnte leider kein weiteres gleichartiges Ergebnis verwertet werden.

Eine Abschätzung des Fehlers der Wiechertschen Bestimmung kann auf folgende Weise durchgeführt werden: Gegenüber einem natürlichen Beben fallen vier Unbekannte x, y, z und die Herdzeit t fort. Bei 13 Meßpunkten, die den Sprengversuchen zugrunde lagen, stehen z. B. gegenüber den 9 Meßpunkten des besten Bebenmaterials, des Schwarzwaldbebens, unter der Annahme gleicher Zeitablesungsgenauigkeit die mittleren Fehler im Verhältnis

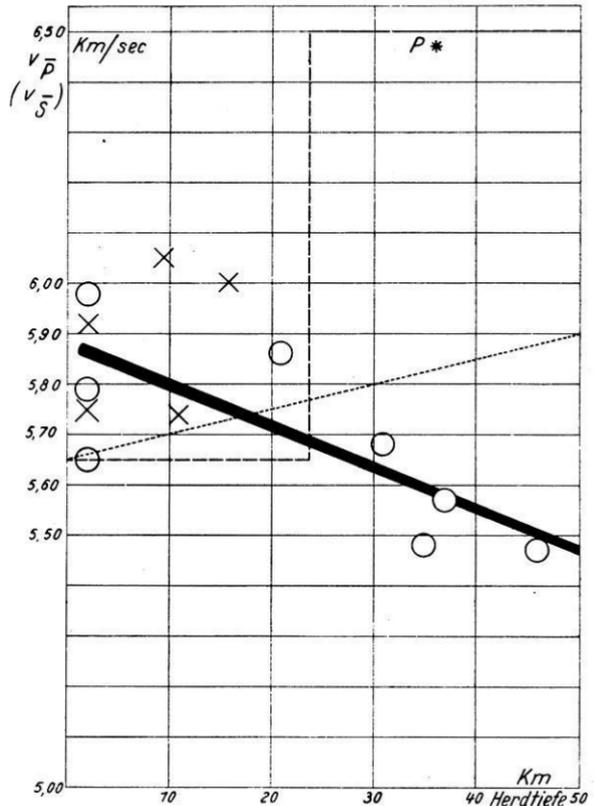


Fig. 6. Sämtliche hier ausgeglichenen Herdtiefen und Geschwindigkeitswerte in Zusammenhang aufgetragen. $v_{\bar{s}}$ -Werte (X) mit $\sqrt{3}$, dem Verhältnis der Longitudinal- zur Transversalwellengeschwindigkeit, heraufmultipliziert

$$\sqrt{\frac{13-1}{9-5}} = \sqrt{\frac{12}{4}} = \sqrt{3} = 1.7 : 1.$$

Da aber die Zeitangaben und Ablesungen bei Sprengversuchen erheblich genauer sind als im Durchschnitt bei dem Stationszeitdienst, kann der Fehler dieses Wertes höchstens als etwa halb so groß veranschlagt werden.

Die durch Kreuze vermerkten, mit $\sqrt[3]{\bar{S}}$ heraufmultiplizierten \bar{S} -Werte sind nicht ganz mit dem gleichen Gewicht zu bewerten wie die \bar{P} -Werte, da bei den zahlreichen nahen Stationen der \bar{P} -Einsatz, soweit er vor P_n eintritt, sehr viel schärfer erfaßbar ist. Außerdem steht der Faktor $\sqrt[3]{\bar{S}}$ nicht mit absoluter Genauigkeit fest.

Die bisher vertretenen Anschauungen über den Verlauf der Wellengeschwindigkeit mit zunehmender Tiefe in der Erdkruste lassen sich bei genauerer Betrachtung dieser Meßpunkte nicht mehr aufrecht erhalten. Wenn auch hier der Fehlerbereich immer noch groß ist, so ist er jedenfalls ganz erheblich kleiner als bei allen bisher durchgeführten Nahbebenuntersuchungen — trotz der dort meist niedriger angesetzten, jedoch subjektiv bemessenen Fehlergrenzen. Auch ist bisher noch niemals versucht worden, eine von willkürlichen Annahmen unabhängige Aussage über die v -Werte zu geben, mit denen die Frage der Tiefenabhängigkeit der Geschwindigkeit überhaupt geprüft werden konnte. Die Zahl und die einheitliche Lage der Meßpunkte reicht zumindest zu der Feststellung voll aus, daß weder die kontinuierliche Zunahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe (punktierte Linie), die von einem Teil der Seismiker vermutet wurde, noch die wesentlich höhere sprunghafte Geschwindigkeitszunahme in der P^* -Schicht (gestrichelte Linie) existiert. Da die Beobachtungsergebnisse bis an die Mohorovičić-Schicht heranreichen, ohne ihren Charakter zu ändern, bleibt für jene Schicht, die schon wesentlich eher auftreten sollte, kaum ein Platz übrig.

Der von Wiechert gefundene hohe Wert für \bar{P} von 5.98 km/sec, der bisher gegenüber den für oberflächennahe Schichten mehr oder weniger hypothetisch geforderten Werten zwischen 5.6 und 5.7 wegen seiner erheblichen Abweichung kaum eine Anerkennung gefunden hat, erhält auf Grund dieser Untersuchungen außer einer Bestätigung noch eine besondere Bedeutung, die kurz erläutert werden soll.

An der Fig. 6 ist zu erkennen, daß die bisher bei den (provisorischen) Laufzeitkurvenauswertungen benutzten $v_{\bar{P}}$ -Werte zwischen 5.6 und 5.7 km/sec mit dem Durchschnittswert dieser Untersuchungen von 5.65 km/sec für eine Herdtiefe von 20 bis 30 km in guter Übereinstimmung stehen. Der letztgenannte Wert behält daher für die ersten Näherungsauswertungen eines Nahbebens seine Berechtigung. Bei einer genaueren Untersuchung ist dieser Wert jedoch nur einer bestimmten Herd- oder Schichttiefe zuzuordnen, wobei dem von Wiechert gefundenen Wert die Bedeutung eines oberen Grenzwertes für die Herdtiefe Null (genauer: für die mittlere Tiefe des Grundgebirges von etwa 2 km) zukommt. Würden die bisherigen Anschauungen beibehalten und bei einem Ausgangswert von $v_{\bar{P}} = 5.98$ km/sec an der Oberfläche eine Geschwindigkeitszunahme mit der Tiefe noch weiterhin behauptet werden, so tritt ein Widerspruch zu den Auswertungsergebnissen auf, der weit größer ist, als die Grenze der Meßgenauigkeit zuläßt.

Der von Wiechert bestimmte Wert kann hiernach nicht mehr als lokal bedingt angesehen werden. Für die sichere Aufdeckung lokaler Unterschiede

größerer Gebiete der Erdkruste müßten die Methoden und die Messungen zunächst erst noch ganz erheblich verfeinert werden. Die bisherigen Messungen zeigen jedenfalls, soweit man sich auf unabhängige Auswertungen einwandfreier neuzeitlicher Registrierungen beschränkt, daß bei der mehrfachen Überschneidung der Gebiete der hier abgeleitete Zustand der oberen Erdkruste nicht durch eine Erklärung mit lokalen Erscheinungen ersetzt werden kann. Wenn die Meßpunkte um die in Fig. 6 gezogene abfallende Gerade z. T. noch erheblich streuen, so ist das, wie man sich durch eingehende Nachrechnung des Abschnittes II c überzeugt, allein als eine Folge der Auswertungs- und Meßgenauigkeit anzusehen.

Eine sehr wesentliche Bestätigung für die Anschauung, daß gemäß Fig. 6 eine allgemeine Eigenschaft der oberen Erdkruste vorliegen kann, geben die erst kürzlich erschienenen Veröffentlichungen von L. D. Leet [10, 11]. Hier wurden entsprechende Versuche zu denen von E. Wiechert in Nordamerika ausgeführt. Es ergab sich für $v_{\bar{p}}$ an der Oberfläche der Wert 6.01 km/sec mit etwa der gleichen Genauigkeit wie in Deutschland. Außerdem wurde der Nachweis geliefert, daß ein ähnlicher Wert auch für den Westen von USA., für Kalifornien anzusetzen ist. Für genauere Angaben tieferer Schichten bis zu etwa 50 km herab fehlt in diesem Land die dem europäischen Netz entsprechende Stationsdichte und das hierauf beruhende notwendige Mindestmaß an Erdbebenmaterial, so daß dort die Schlüsse bezüglich tieferer Schichtungen, P^* od. dgl. noch weniger Bedeutung haben, als ihnen schon für Europa zuzumessen ist.

b) Erklärung der Geschwindigkeitsabnahme. Da in den Geschwindigkeitswerten, die in der Fig. 6 eingetragen sind, immer nur die Mittelwerte von der betreffenden Tiefe bis zur Erdoberfläche vorliegen, muß die wirkliche Differenz dieser Werte noch etwas größer sein, als aus der Figur unmittelbar abzulesen ist. Für eine Durchführung exakter Rechnungen in dieser Hinsicht ist jedoch noch einiges Material zukünftiger Beben abzuwarten. Auf Grund der vorliegenden Messungen kann mit einer Geschwindigkeitsabnahme von etwa 5 bis 10% gerechnet werden. 10% würde eine Abnahme von $v_{\bar{p}}$ an der Oberfläche von ungefähr 5.90 km/sec auf 5.30 km/sec in 50 km Tiefe bedeuten. An der von Mohorovičić gefundenen Schichtgrenze in dieser Tiefe springt dann die Geschwindigkeit auf den bekannten hohen Betrag von P_n von 8.0 km/sec.

Die Geschwindigkeit elastischer Wellen ist proportional $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$. Welche und wie große Zustandsänderungen von E und ρ sind mit zunehmender Tiefe innerhalb der Erdkruste zu erwarten? Bedenkt man, was den Einfluß auf E betrifft, daß fast die Hälfte der gesamten Temperaturzunahme schon in diesen ersten 50 km, d. h. auf kaum 1% des Weges bis zum Erdmittelpunkt erzielt wird und daß außerdem dE/dt negativ ist und im Durchschnitt für die meisten Stoffe — $2 \cdot 10^{-4}$ auf 1°C beträgt, so müßte eigentlich schon ohne Kenntnis der Folgerungen des

vorhergehenden Abschnitts eine Geschwindigkeitsabnahme in dieser Größenordnung gefordert werden.

Die Voraussetzung von etwa 1000° C Temperaturzunahme bis in 50 km Tiefe bedeutet eine gleichzeitige Abnahme von E um $\frac{2}{10}$ des Gesamtbetrages. Hiermit

Tabelle 3. Geographische Koordinaten aller hier verwendeten Stationen

	λ	φ
1. Ravensburg	+ 9°36.83'	+ 47°47.00'
2. Meßstetten	8 57.75	48 10.90
3. Stuttgart	9 11.60	48 46.25
4. München	11 36.52	48 08.76
5. Heidelberg	8 43.25	49 23.93
6. Frankfurt	8 27	50 13
7. Göttingen	9 57.9	51 32.8
8. Karlsruhe	8 24.73	49 00.65
9. Jena	11 34.92	50 56.13
10. Wien	16 21.70	48 14.88
11. Innsbruck	11 23.8	47 15.7
12. Nördlingen	10 29.43	48 50.92
13. Hohenheim	9 12.75	48 43.0
14. Graz	15 26.9	47 04.6
15. Leipzig	12 23.5	51 20.1
16. Hamburg	9 58.87	53 33.57
17. Helgoland	7 53.3	54 10.9
18. Zürich	8 34.83	47 22.12
19. Chur	9 32.20	46 51.0
20. Neuchatel	6 57.43	46 59.85
21. Basel	7 34.97	47 32.40
22. Straßburg	7 45.95	48 35.08
23. Paris	2 29.62	48 48.57
24. Eger	12 23	50 05
25. De Bilt	5 11.0	52 06.0
26. Uccle	4 21.51	50 47.92
27. Zagreb	15 58.87	45 48.92
28. Ljubljana	14 31	46 03
29. Venedig	12 20.25	45 25.73
30. Florenz	11 15.40	43 46.67
31. Prato	11 05.5	43 53.0
32. Treviso	12 14.75	45 40
33. Padua	11 52.30	45 24.01
34. Triest	13 45.13	45 38.6
35. Piacenza	9 43.48	45 02.12

ist auch eine Größenordnung von dv/v von 10% (unter Berücksichtigung der Wurzelbeziehung) für diesen Bereich ohne Zwang erklärbar. In dieser Überschlagsrechnung müßte bei genauerem Verfahren noch die Einwirkung der

Dichtezunahme einbezogen werden, die in dem gleichen Sinn liegt, jedoch kaum die gleiche Größenordnung erreichen wird.

Von einer sicher im entgegengesetzten Sinn liegenden Wirkung der Druckzunahme kann bei diesen Überschlagsrechnungen abgesehen werden, da selbst bei der Voraussetzung linearer Zunahme des Druckes bis zum Erdzentrum die Wellengeschwindigkeit sich auf dem Gesamtweg nur um 50% ändert. Somit würde bei einem Hundertstel dieses Weges eine Änderung um nur 1% schon eine weitgefaßte obere Grenze für diesen Druckeinfluß darstellen und dieser hier ohne Einfluß bleiben.

Bei einer Darstellung des Wellenweges der Erdbebenstrahlen in der oberen Erdkruste sind diese nicht mehr mit der gleichen Krümmung wie im übrigen Erdinnern zu versehen. Wenn für dieses Stück eine Krümmung zuerkannt wird, was mit einer Geschwindigkeitsänderung gleichbedeutend ist, so ist diese nach den vorliegenden Untersuchungen mit der Erdkrümmung gleichgerichtet.

Herangezogene Veröffentlichungen

[1] V. Inglada: Die Berechnung der Herdkoordinaten eines Nahbebens. Gerlands Beitr. z. Geophys. **19**, 73—98 (1928).

[2] L. Geiger: Herdbestimmung bei Erdbeben aus den Ankunftszeiten. Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen 1910, S. 331—349.

[3] R. H. Gees: Die Wellenausbreitung der Erdbeben vom 20. Nov. 1932 (Nordbrabant) und 7. Juni 1931. Zeitschr. f. Geophys. **13**, 159—179 (1937).

[4] H. Gräfe: Das Nordtiroler Beben vom 8. Okt. 1930. I. Teil. Ebenda **8**, 144—154 (1932).

[5] P. Caloi: Studio Microsismico del Terremoto delle Prealpi Carniche dell' Giugno 1934. Bolletino del Com. per la Geod. e la Geofis. del Consiglio Naz. delle Ricerche **5**, 209—234 (1935).

[6] V. Conrad: Das Schwadorfer Beben vom 8. Okt. 1927. Gerlands Beitr. z. Geophys. **20**, 240—277 (1928).

[7] V. Inglada: Contribucion al Estudio del Sismo Pirenaico (Canal de Berdun) de 10. de Julio de 1923. Sonderabdruck Madrid 1929, S. 9.

[8] E. Wiechert: Entfernungsberechnung von Orten auf der Erde bei kleineren Abständen. Zeitschr. f. Geophys. **1**, 177—182 (1924/25).

[9] Tables de l'Ellipsoïde de Référence international. Paris Secrétariat de l'association de Géod. de l'Union géod. et géophys. intern. (1935).

[10] L. D. Leet: Seismological data on surface layers in New-England. Bull. Seism. Soc. Am. **26**, 129—145 (1936).

[11] L. D. Leet: Travel Times for New England. Ebenda **28**, 45—48 (1938).

[12] H. P. Berlage: Handb. d. Geophys. Bd. IV. Erdbeben. S. 500—517.

[13] V. Inglada: Auszüge aus verschiedenen Arbeiten. Zeitschr. f. Geophys. **3**, 195—200 (1927).

[14] F. Kohlrausch: Lehrb. d. prakt. Phys., 14. Aufl., S. 22. Verlag Teubner. 1923.

[15] W. Hiller: Seismische Ber. d. Württ. Erdbebenwarte, Anhang S. 12—13, Jahrg. 1935.

[16] W. Hiller: Das Oberschwäbische Erdbeben am 27. Juni 1935. S.-A. aus d. Württ. Jahrb. f. Statist. u. Landeskd., S. 209—226 (Jahrg. 1934/35).

[17] W. Hiller: Die Erdbeben am Untersee (Bodensee) vom 31. Jan. 1935. Jahresber. u. Mitt. d. Oberrhein. Geol. Ver. **25**, 81—92 (1936).

[18] H. Jeffreys: A Redisussion of some near earthquakes. Monthly Not. Roy. Astr. Soc. **3**, 131—156 (1933).

[19] H. Jeffreys: A further study of near earthquakes. Ebenda **4**, 196—225 (1937).

[20] W. Hiller: Die Herdform des Schwäbischen Bebens am 30. August 1928. Gerlands Beitr. z. Geophys. **22**, 103—114 (1929).

[21] E. Wiechert: Untersuchung der Erdrinde mit Hilfe von Sprengungen. Geol. Rundschau **17**, 343 (1926).

Jena, Reichsanstalt für Erdbebenforschung, Juli 1938.

**Änderungen des Mitglieder-Verzeichnisses (1937)
der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft. Stand vom 1. Dez. 1938**

Neuaufnahmen:

193. BURGER, A., Dr., Berlin-Pankow, Wilhelm-Kuhr-Straße 3.
194. Ne de Bataafsche Petroleum Maatschappij, Gravenhage (Holland).
195. Das Ahnenerbe e. V., Berlin C 2, Raupachstraße 9.
196. GEES, ROLF-HEINZ, Dr., Berlin-Neuwestend, Reichstraße 8, 2^l.
197. Institut für technische Physik an der Technischen Hochschule, Stuttgart.
198. HAGEMANN, VINCENT, Dr., Berlin W 35, Potsdamer Straße 89.
199. KELLER, WILLIBALD, Verlagsbuchhändler, Leipzig, Hindenburgstraße 94.
200. Landesanst. f. Gewässerkr. u. Hauptnivelements, Berlin W 8, Behrenstraße 68—70.
201. MEYER, OTTO, Magnetisches Observatorium Wingst, Post Höftgrube (Niederelbe).
202. Piepmeyer & Co., Kommanditgesellschaft, Kassel-Wilhelmshöhe.

Adressenänderungen:

3. ANDRÉE, K., Prof. Dr., Vorst. d. Geophys. Warte d. Albertus-Universität, Königsberg i. Pr., Lange Reihe 4.
13. BOCK, R., Prof. Dr., Berlin SW 87, Bachstraße 7.
21. Ungarische Seismologische Landesanstalt, Budapest V, Deák Ferencu. 12.
24. BURMEISTER, FR. Dr., München 9, Schlotthauerstraße 3 (Dienststelle: Magnetisches Observatorium Fürstenfeldbruck, Oberbayern).
51. Geolog.-mineralog. Institut d. Universität Köln, Zülpicher Straße 47.
57. Geophysikalische Warte Königsberg i. Pr., Lange Reihe 4.
78. JENSEN, CHR., Prof. Dr., Hamburg 20, Breitenfelderstraße 70.
85. KÖHLER, R., Dr., Westf. Berggewerkschaftskasse, Bochum, Vidumerstraße 7.
93. KRUMBACH, G., Reg.-Rat b. d. Reichsanst. f. Erdbebenf., Jena, Leo-Sachse-Straße 4.
105. Lehr- und Forschungsinstitut für Meteorologie der Universität (bisher Luftamt München), München 2, Gabelsbergerstraße 55.
111. MEINARDUS, Prof. Dr., Bonn a. Rh., Hans-Schemm-Straße 16.
114. MENZEL, HEINZ, Königsberg i. Pr., Geophys. Warte d. Albertus-Univ., Lange Reihe 4.
122. MÖLLER, FR., Dr., Frankfurt a. M., Dahlmannstraße 9^l.
125. MÜLLER, M., Dozent Dr., Bln.-Charlottenburg, Hardenbergstraße 37.
174. STENZ, E., Dr., Observatorium Kasprowy Wierch, Zakopane (Polen).
182. TRAPPE, FR., Dr., Falkensee (Bezirk Berlin), Schönwalder Straße 19.
188. WIENERT, KARL, Dr., Königsberg i. Pr., Geophysikalische Warte der Albertus-Universität, Lange Reihe 4.

Verstorben:

66. HECKER.
69. HERGESELL.

Ausgetreten:

19. BRINKMANN.
49. GELLA.
90. KOSCHMIRDER.
138. POLLAK.

Es wird gebeten, Änderungen der Anschrift mitzuteilen
dem Vorsitzenden: Prof. Dr. J. Bartels, Geophysik. Instit. Telegraphenberg, Potsdam;
dem Schriftleiter: Prof. Dr. G. Angenheister, Geophysik. Instit., Göttingen, Herzberger Landstr. 180.

Schriftwalter: G. Angenheister, Göttingen. — Anzeigenleiter: Wilhelm Zimmermann, Braunschweig.
Druck u. Verlag: Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig: I. v. W. g.; z. Z. gilt Anzeigenpreisliste No 2.
Printed in Germany