ZEITSCHRIFT

FÜR

GEOPHYSIK

Sonderband

aus Anlaß des dreißigjährigen Bestehens

der

Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft

Schriftleitung: B. Brockamp, Münster i. W.

1953

FRIEDR. VIEWEG & SOHN · BRAUNSCHWEIG

Die Entwicklung der Sprengseismik

Von **Ludger Mintrop**, Essen-Werden[1])

Mit 24 Abbildungen

Den ersten Anwendungen der Refraktions- und Reflexions-Seismik in der Erforschung von Gebirgsschichten und nutzbaren Lagerstätten ging eine 70jährige instrumentelle und erkenntnistheoretische Entwicklung voraus. Heute gibt die Erdölindustrie der Welt bei der für die Erhaltung ihres Lebens unumgänglich notwendigen Suche nach neuen Erdölfeldern täglich eine Million Dollar für die Sprengseismik aus. Rund tausend Feldtrupps sind tätig, und die Zahl der Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker, die sich mit der theoretischen und praktischen Lösung der gestellten Aufgaben befassen, geht in die Zehntausende.

Vor Jahren hat der Verfasser in der Zeitschrift „Öl und Kohle" über Anwendungen des seismischen Verfahrens im Erdölbergbau und ihre wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Auswirkungen ausführlich berichtet [1]. Aus Anlaß des 30jährigen Bestehens der Deutschen Seismologischen Gesellschaft, die im Jahre 1924 den Namen Deutsche Geophysikalische Gesellschaft angenommen hat, sei in diesem Sonderband ein kurzer Überblick über die Entwicklungsgeschichte der Sprengseismik gegeben, in bezug auf weitere Einzelheiten aber auf die Abhandlung in „Öl und Kohle" verwiesen.

In weiten Kreisen der Physiker und Geophysiker wird angenommen, daß die Sprengseismik ihre Entstehung der physikalischen Erdbebenforschung verdankt. Beide Disziplinen sind aber genau gleich alt.

Die physikalische Erdbebenforschung begann im Jahre 1848 mit einer Abhandlung des Engländers *William Hopkins*, der zuerst praktischer Landwirt war, dann Mathematiker und vielgesuchter Tutor — zu seinen Schülern in Cambridge gehörten u. a. *Stokes*, *Thomson* und *Maxwell* — und später Geologe und Präsident der Geological Society wurde. *Hopkins* wandte zum ersten Male die Brechungs- und Reflexionsgesetze der Optik auf die Ausbreitung der Erdbebenwellen an [2].

Im gleichen Jahre veröffentlichte der irische Ingenieur und Industrielle *Robert Mallet* seinen ausführlichen Vortrag vor der Irischen Akademie in Dublin über die Dynamik der Erdbeben [3], in dem er Messungen der bei Sprengungen entstehenden elastischen Bodenwellen in verschiedenen an der Erdoberfläche anstehenden Gesteinen vorschlug. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen sollten im Vergleich mit Geschwindigkeitsmessungen an Erdbebenwellen und in Verbindung mit Laboratoriumsversuchen an Gesteinsproben unter hohen Drücken Schlüsse auf die Beschaffenheit der in der Tiefe liegenden Schichten ermöglichen. Der physikalischen Erdbebenforschung und der Spreng-

[1]) Prof. Dr. phil. Dr. mont. h. c. Ludger Mintrop, Essen-Werden, Barkhovenallee 36

seismik fehlten damals die später üblich gewordenen Methoden der seismischen Erforschung des Erdinnern und der Erdkruste. Bei der Entwicklung dieser Verfahren, die vor fünf Jahren in einer ausführlichen Abhandlung des Verfassers in der Zeitschrift „Naturwissenschaften" geschildert worden ist [4], hat die Sprengseismik entscheidende Impulse gegeben.

In den Jahren 1851—1861 führte *Mallet* mit Unterstützung durch den berühmten englischen Physiker *Charles Wheatstone* und den Astronom *Robinson* ein umfangreiches Programm von sprengseismischen Untersuchungen aus, bei denen Sprengladungen bis zu 5500 kg Schwarzpulver verwendet wurden. Die Übertragung des Sprengmomentes bis zu 2 km Entfernung erfolgte durch eine elektrische Leitung auf einen neben einem Quecksilberhorizont stehenden Chronographen, der im Augenblick der ersten sichtbaren Erzitterung des Quecksilbers gestoppt wurde. Als höchste Geschwindigkeit wurden 500 m/sek im Granit gemessen und die große Diskrepanz gegenüber den bei Laboratoriumsversuchen an Gesteinsproben errechneten bis zu zehnmal größeren Geschwindigkeiten auf „Verluste infolge der Schichtung der Gesteine in der Erde" zurückgeführt. Da bei Erdbebenbeobachtungen seinerzeit auch nur eine Höchstgeschwindigkeit von 700 m/sek „festgestellt" worden war, haben die Vertreter der physikalischen Erdbebenforschung und der Sprengseismik ihre Versuchsergebnisse jahrzehntelang gegenseitig gelobt, nicht ahnend, daß die verwendeten Seismoskope zu unempfindlich waren, um an ihnen den Einsatz des longitudialen Vorläufers erkennen zu können.

Die Illusion von der Richtigkeit der ermittelten Geschwindigkeit wurde jäh zerstört, als der amerikanische General der Pioniere und Doktor der Rechte von Harvard, *Henry Larcon Abbot* [5], in den Jahren 1876 und 1885 bei Verwendung der gleichen instrumentellen Anordnungen, wie *Mallet* sie benutzt hatte, aber bei Ladungen bis zu 112 000 kg des Sprengstoffes „rack the rock" plus einer „Beiladung" von 22 000 kg Dynamit in 280 km Entfernung von der Sprengstelle eine Durchschnittsgeschwindigkeit der ersten Welle von 6,24 km/sek fand[1]).

Mit diesen Versuchsergebnissen hat die Sprengseismik der physikalischen Erdbebenforschung den ersten großen Dienst erwiesen.

Um die physikalische Erdbebenforschung und die Sprengseismik sehr verdient gemacht hat sich auch der Engländer *John Milne*. Von ihm stammt das in der Abb. 1 wiedergegebene mechanisch registrierte Dreikomponenten-Seismogramm zu einer Sprengung im Jahre 1881, das erste seiner Art [6].

Die Franzosen *F. Fouqué & M. Lévy* führten im Jahre 1889 sprengseismische Messungen in Bergwerken aus, bei denen zum ersten Male photographische Registrierung verwendet wurde [7]. Die Abb. 2 zeigt ein dabei gewonnenes Seismogramm.

Es folgte nun zunächst eine fast 20jährige Pause in der Entwicklung von photographisch registrierenden Feldseismographen, aber der „in dieser Stille" erzielte Fortschritt war bahnbrechend. An die Stelle eines Quecksilber-

[1]) Bei der Helgoländer Sprengung von 4 Millionen kg Munition am 18. April 1947 wurde für die Entfernung von 325 km bis Göttingen eine Durchschnittsgeschwindigkeit des ersten Vorläufers von 6,93 km/sek berechnet.

Horizontes, wie ihn noch *Fouqué & Lévy* benutzt hatten, trat ein von *Emil Wiechert* in Göttingen konstruiertes, außerordentlich empfindliches Instrument, das die Bodenschwingungen bis zu 50 000fach vergrößert aufzeichnete. In der Abb. 3 ist ein im Jahre 1908 vom Verfasser mit dem *Wiechert*schen Instrument aufgenommenes, 1909 veröffentlichtes [8] Horizontal-Seismogramm von einer Sprengung von 6 kg Gelatine in 1720 m Entfernung wiedergegeben, in dem Vorläufer und Hauptwellen sehr klar voneinander getrennt erscheinen.

Im gleichen Jahre führte der Verfasser auf dem Hainberg bei Göttingen mit demselben Feldseismographen umfangreiche Untersuchungen durch, bei denen die Bodenschwingungen durch ein auf Kosten des Verfassers errichtetes und betriebenes Fallwerk erzeugt wurden. Die Abb. 4 zeigt ein in 510 m Entfernung aufgenommenes, im Jahre 1910 veröffentlichtes [9] Horizontal-Seismogramm. Die Indikator-Vergrößerung des Instrumentes betrug 50 000, die Fallhöhe einer 4000 kg schweren Stahlkugel 14 m.

Auf Grund der bei den Versuchen mit dem *Wiechert*schen Instrument gemachten Erfahrungen konstruierte der Verfasser im Laufe des nächsten Jahrzehntes verschiedene neue, leichter transportable Feldseismographen [8 bis 15], darunter einen Dreikomponenten-Apparat [15] für die gleichzeitige Registrierung horizontaler und vertikaler Bodenschwingungen. In der Abb. 5 ist ein im Jahre 1912 vom Verfasser mit diesem Instrument aufgenommenes Seismogramm einer Sprengung von 400 kg Nitroglyzerin in 1037 m Entfernung wiedergegeben. Während die Vorläufer in allen drei Komponenten ungestört sind, werden die langen Wellen durch den bei *L* einsetzenden Luftschall überlagert. Diese Störung fällt in dem vom Verfasser im Jahre 1918 aufgenommenen Vertikal-Seismogramm der Abb. 6, das die durch ein aufschlagendes Gewicht ausgelösten Bodenschwingungen zeigt, fort. Ein Vergleich mit dem unteren Seismogramm in der gleichen Figur ergibt eine qualitativ völlige Übereinstimmung der Aufzeichnung von natürlichen und künstlichen Erdbeben. Es lag demnach nahe, die Lehren der physikalischen Erdbebenforschung auf die Erforschung von Gebirgsschichten und nutzbaren Lagerstätten anzuwenden.

Der von zahlreichen Lichtbildern mit Seismogrammen der verschiedensten Art begleitete Vortrag des Verfassers „Über künstliche Erdbeben" auf dem im Jahre 1910 in Düsseldorf stattgefundenen Internationalen Kongreß für Bergbau, Hüttenwesen, Angewandte Mechanik und Praktische Geologie [9] schloß mit den Worten: „Die seismische Wissenschaft und mit ihr die Geologie messen den Untersuchungen über die Ausbreitung von Impulsen in der Erdrinde, über deren Wucht und zeitliches Auftreten man beliebig verfügen kann, eine besondere Bedeutung bei, wenn dabei zuverlässige Zahlen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption gewonnen werden, die ihrerseits Aufschluß über die Elastizität der durchdrungenen Materie geben. Ferner interessieren die Ausbildung der einzelnen Phasen der Bewegungen in Abhängigkeit von der Entfernung vom Ursprungsort der Erschütterung sowie die Reflexionen der verschiedenen Wellenarten. Beobachtungen an künstlichen Erdbeben schließen die Kette der Untersuchungen über die Ausbreitung der Erdbebenwellen." Der Vortrag ist in den Berichten der Abteilung für Praktische

Geologie des genannten Kongresses im Druck erschienen, auszugsweise auch in englischer und französischer Sprache[1]).

Sieben Jahre später kam der Verfasser gelegentlich eines „Kuraufenthaltes" in Bad Wildungen dazu, die Fülle des in einem Jahrzehnt angehäuften Beobachtungsmaterials einer eingehenden Sichtung zu unterziehen und den Versuch zu machen, Laufzeitkurven zu künstlichen Erdbeben aufzustellen, was bis dahin von keiner Seite geschehen war. Die Abb. 7 zeigt eine solche am 27. August 1919 aufgestellte Laufzeitkurve und die Abb. 8 ein am 4. Juni 1918 registriertes Seismogramm dazu. Die Laufzeitkurve ist in ihrem ersten Teil, der damaligen „Usance" in der physikalischen Erdbebenforschung entsprechend, gekrümmt gezeichnet, obgleich die Beobachtungen auch die Zeichnung einer gebrochenen Laufzeitkurve zuließen bzw. von einem „unvoreingenommenen" Auswerter geradezu forderten. Im weiteren Verlauf geht die Kurve aber unbestreitbar in eine Gerade über. Wendet man nun die gleiche Konstruktion der Stoßstrahlen und Wellenfronten an, wie sie von *Wiechert* und *Zöppritz* [16] im Jahre 1907 gezeigt worden ist (Abb. 9), so ergibt sich die überraschende Tatsache, daß von derjenigen Entfernung an, in der die Laufzeitkurve in eine gerade Linie übergeht, ein Stoßstrahl an der Grenze zwischen dem Deckgebirge und der unterliegenden Schicht mit der höheren Wellengeschwindigkeit entlang läuft (Abb. 10). In der physikalischen Erdbebenforschung waren die Strahlen immer gekrümmt gezeichnet worden, aber auch da, wo sie gradlinig verlaufen würden, müßten sie wegen der Erdkrümmung die Oberfläche wieder erreichen. In den kleinen Entfernungen bei Sprengungen, wenigstens soweit sie zur Lagerstättenerkundung benutzt werden, fällt der Einfluß der Erdkrümmung praktisch fort, aber dennoch kehren die refraktierten Wellen auch jenseits der Entfernung der Totalreflexion zur Erdoberfläche zurück. Das war bisher ein Geheimnis, dessen Lüftung von der allergrößten wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Bedeutung werden sollte. Es war jetzt zum ersten Male möglich, durch Erregung und Aufzeichnung elastischer Wellen an der Erdoberfläche Mächtigkeit und Art der unter der Erdoberfläche liegenden Gesteinsschichten zu ermitteln, ohne Bohrungen niederzubringen.

Das seismische Refraktionsverfahren war gefunden!

Ein Beispiel aus der seismischen Lagerstättenforschung ist in den Abb. 11 und 12 dargestellt. Die Laufzeitkurve der direkten Welle ist ebenso gradlinig wie die der indirekten Welle, die in dem Seismogramm der Abb. 12 besonders klar in die Erscheinung tritt.

O. v. Schmidt hat im Jahre 1927 die in der Abb. 13 wiedergegebene Schlierenaufnahme der an der Grenze zwischen übereinanderstehenden Flüssigkeiten mit verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Schallwellen verlaufenden Kopfwelle [17] veröffentlicht und dazu bemerkt: „Es ist ganz interessant, sich daran zu erinnern, daß die derzeitige Erfindung der Sprengseismik von *Mintrop*, auf der alle obigen Experimente und Überlegungen beruhen, damals jahrelang als mit den Gesetzen der Brechung unvereinbar

[1]) Das tatsächliche Auftreten von Reflexionen in Seismogrammen von künstlichen Erdbeben ist vom Verfasser erstmalig im Jahre 1912 in einem Vortrage auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Münster erwähnt worden [10].

und daher als unmöglich erachtet wurde. Dann aber, als Hunderte von Untersuchungen der Wirtschaft enorme praktische Gewinne gebracht hatten, wurde das Verfahren als eine ‚Selbstverständlichkeit' hingestellt."

Ganz selbstverständlich war die Entdeckung nicht, denn nach einer Aussage von Professor *Angenheister*, langjährigem Mitarbeiter und Nachfolger von *Wiechert* auf dem Göttinger Lehrstuhl für Geophysik, vor dem Patentsenat des Reichsgerichtes am 28. Juni 1930 hat *Wiechert* das Auftreten der Grenzwelle zunächst stark bezweifelt und sich erst durch die Versuchsergebnisse des Verfassers überzeugen lassen (Reichsgerichtsentscheidung vom 28. Juni 1930, I, 281/27) [18].

Im Jahre 1921 begann *Wiechert* nach Beratung mit dem Verfasser und mit instrumenteller sowie finanzieller Unterstützung durch die Seismos mit fernsprengseismischen Untersuchungen, da es jetzt möglich geworden war, die Grenzflächen zwischen verschiedenen Schichten der Erdkruste mit großer Genauigkeit zu ermitteln.

Mit der Entdeckung der Grenzwelle hat die Sprengseismik der physikalischen Erdbebenforschung den zweiten großen Dienst erwiesen!

Am 15. August 1920 hielt der Verfasser, der sich über die praktische Bedeutung des Verfahrens vom Augenblick der Entdeckung der Grenzwelle an völlig im klaren war, auf der Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Hannover den ersten öffentlichen Vortrag über die Ermittlung des Aufbaues von Gebirgsschichten aus seismischen Beobachtungen [19]. Die Begeisterung unter den Geologen war außerordentlich groß, und noch am gleichen Tage erhielt der Verfasser von dem damaligen Direktor des Mineralogisch-Geologischen Instituts in Hamburg, Professor Dr. *Georg Gürich*, eine Einladung zu sprengseismischen Untersuchungen in der Umgebung der Erdgasquelle von Neuengamme. Die Feldarbeiten begannen bereits am 1. September 1920 und umfaßten Refraktions- und Reflexionsschießen auf Profillinien und in Fächerstrahlen. In der Abb. 14 sind Grundriß und Profil zusammengezeichnet, beide im November 1920. Das Profil zeigt insbesondere auch Reflexionen.

Das Reflexionsverfahren

Die Abb. 15 enthält drei von den zahlreichen vom Verfasser bei Neuengamme aufgenommenen Seismogrammen, in denen kurz nach der Ankunft der ersten Welle außerordentlich scharfe Welleneinsätze mit großer Amplitude folgen, die vom Verfasser als Reflexionen gedeutet worden sind, weil ihr Zeitabstand von der direkten Welle mit zunehmender Sprengentfernung abnimmt. In der Abb. 16 sind die Laufzeitkurven für beide Wellen und außerdem das Reflexionsprofil dargestellt. Das Seismogramm der Abb. 17 zeigt drei ebenfalls im Jahre 1920 bei Neuengamme beobachtete Reflexionen von verschieden tiefen Horizonten. Bei *L* setzt der von der Sprengung erzeugte Luftschall ein.

Reflexionen sind später von dem Verfasser und einigen seiner Mitarbeiter in der am 4. April 1921 gegründeten Seismos, Gesellschaft zur Erforschung von Gebirgsschichten und nutzbaren Lagerstätten in Hannover, häufiger gemessen und zur Deutung der Lagerungsverhältnisse im Untergrund herangezogen worden. Die Abb. 18 enthält zwei Seismogramme mit Reflexionen

am Salzstock von Meissendorf aus den Jahren 1922/23, an dem im Jahre 1920 auch das Refraktions-Seismogramm der Abb. 12 aufgenommen worden war.

Im Jahre 1926 begannen auch vom Göttinger Institut aus reflektionsseismische Eisdickenmessungen in den Alpen durch *Mothes*, *Brockamp* u. a., die später dann auf der *Wegener*schen Grönlandexpedition in größerem Maßstab durchgeführt wurden. Die erste Veröffentlichung darüber ist im Jahre 1926 in der Zeitschrift für Geophysik erschienen.

Ein Trupp der Seismos fand am 22. September 1926 am Westufer des Calcasieu-Sees in Louisiana mittels Refraktionsschießen den rd. 1000 m tiefen Salzdom East-Hackberry, auch Kelso-Bayou genannt [20]. Außer dem refraktionsseismischen Wellenfrontenverfahren ist zur Ermittlung der Form und Tiefe des Domes auch Reflexionsseismik herangezogen worden. Die Abb. 19 zeigt 3 Seismogramme von 3 nebeneinander aufgestellten mechanisch-optischen Pendeln und die Abb. 20 ein Profil durch den Salzdom. Die erste auf Grund der seismischen Feststellungen angesetzte Bohrung Caldwell Nr. 1 wurde am 18. August 1927 fündig.

Die heute übliche Zentralregistrierung wurde von einem Trupp der Seismos unter der Führung von *O. Rellensmann* erstmalig am 4. November 1923 bei einem Refraktionsschießen in Mexiko angewendet (Abb. 21), sie war aber bereits in dem am 9. Juni 1920 angemeldeten und am 9. Januar 1922 herausgegebenen englischen reflexionsseismischen Patent von *John William Evans & Willis Bevan Whiteney* beschrieben worden [18] und [21].

Wie einer Veröffentlichung des Physik-Professors an der Universität von Oklahoma, *William Schriever*, in der Zeitschrift Geophysics vom Oktober 1952 zu entnehmen ist [22], gründeten die Amerikaner Dr. *John Clarence Karcher*, Physiker im Bureau of Standards in Washington, Dr. *William P. Haseman*, vordem Direktor des Physikalischen Instituts der Universität von Oklahoma, Dr. *Irving Perrin*, früher Direktor des Geologischen Instituts der gleichen Universität, Dr. *W. Ohern*, der Direktor der Geologischen Landesanstalt von Oklahoma war, und *Frank Buttram* von der gleichen Anstalt im Jahre 1921 die Geological Engineering Company zum Zwecke der Ausführung der von *Karcher*, *Eckhardt* und *McCollum* im Frühjahr 1919 in Washington erörterten Idee seismischer Reflexionsmessungen. Dr. *E. A. Eckhardt*, jetzt Vicepresident und Assistant Director of the Gulf Research and Development Company, sowie Dr. *Burton McCollum*, später President of the McCollum Exploration Company, übernahmen die Beratung der Gesellschaft gegen Überlassung von Anteilen an derselben. Am 4. Juni 1921 wurden in Oklahoma unter Verwendung von zwei nebeneinander aufgestellten Geophonen die ersten Feldversuche mit Reflexionen gemacht, denen weitere in den dortigen Erdölgebieten folgten, insbesondere in Verbindung mit der Marland Oil Company in Poncacity. Aber bereits ein halbes Jahr später wurden die Arbeiten eingestellt. *Schriever* berichtet darüber: „Funds for the experimental work was so meager that the program was abandoned about January 25, 1922. *Karcher* then returned to the National Bureau of Standards as Research Physicist. Later in 1923, he accepted a position with the Westen Electric Company in Chicago. Reflection Seismograph Prospecting for Petroleum had not yet achieved any noteworthy

results, but the fundamental idea had been shown to be correct; only adequate financial resources were needed to develop the techniques into the most valuable of Petroleum exploration methods."

Während den bereits genannten englischen Erfindern *Evans* und *Whiteney*, wie aus ihrem Patent hervorgeht [21], die Grenzwelle völlig unbekannt war, sind *McCollum* und *Karcher* damals nicht mit den refraktierten Wellen zurechtgekommen. Um die Schwierigkeiten der Deutung der Seismogramme zu vermeiden, schlägt *McCollum* in seiner Patentanmeldung vom 14. August 1922, der die Erteilung des Patents am 5. Juni 1928 gefolgt ist, vor, die Sprengung bis zu mehreren tausend Fuß über der Erdoberfläche vorzunehmen und das Geophon möglichst vertikal darunter aufzustellen, damit nach dem Luftschall nur noch Reflexionen aus dem Untergrund im Seismogramm erscheinen. Die Höhe der Sprengung sollte entsprechend der mutmaßlichen Tiefe der Reflexions-Horizonte variiert werden [18], [23].

Die Beherrschung der Refraktionsseismik war Voraussetzung für die Entwicklung der Reflexionsseismik.

Im Auftrage der Marland Oil Company, deren Vizepräsident der bekannte holländische Geologe Dr. *W. A. J. Van Waterschoot Van der Gracht* war, begann ein aus dem Obersteiger *Otto Weietershagen*, dem Feinmechaniker *George Schwiening* und dem Verfasser bestehender Trupp der Seismos am 24. Juli 1923 mit refraktionsseismischen Untersuchungen bei Poncacity in dem gleichen Gebiet, in dem die Geological Engineering Company von *Karcher* und seinen Mitarbeitern tätig gewesen war. Die Ergebnisse überzeugten die Marland von der Brauchbarkeit des Verfahrens, und der Trupp, der vom Frühjahr 1924 ab an der Golfküste wirkte, wurde auf 6 Personen verstärkt und mit 3 Feldseismographen ausgerüstet. Im Juni des gleichen Jahres entdeckte ein zweiter für die Gulf Oil Production Company arbeitender Trupp der Seismos, dem der Seismologe Dr. *Otto Geussenhainer*, der Chefmechaniker *Paul Liebrecht* und der technische Assistent *Fritz Röltgen* angehörten, den Salzdom Orchard in Texas mit Refraktionsmessungen. Als die erste unter Mitwirkung des Verfassers angesetzte Bohrung am 19. November 1924 den Caprock in der vorausgesagten Tiefe angetroffen hatte [24] und im nächsten Jahre von der Seismos noch eine Anzahl weiterer Dome gefunden worden waren, begann an der Golfküste eine Jagd ohnegleichen nach Salzdomen. Der Präsident der Society of Exploration Geophysicists, Dr. *Sigmund Hammer* [25], schreibt dazu in seiner Abhandlung „Geophysical Exploration Comes of Age" in der Zeitschrift Geophysics vom July 1952: „Seismic (and gravity) crews were brought from Europe to the Gulf Coast in the early 1920's to aid in the search for salt dome oil fields. The spectacular success of these early geophysical surveys is well documented in published articles, textbooks, and technical monographs."

Die großen Erfolge der Seismos riefen die Amerikaner wieder auf den Plan [22]. Der bekannte Erdölgeologe Dr. *E. De Golyer*, damals Vice-President of the Amerada Petroleum Corporation, der bereits im Herbst 1922 seinen Mitarbeiter Dr. *D. C. Barton* nach Hannover zur Seismos geschickt hatte, um mit dem seismischen Verfahren bekannt zu werden, veranlaßte Dr. *Karcher*,

seine Stellung bei der Western Electric Company aufzugeben, nachdem die Amerada beschlossen hatte, zunächst für 3 Jahre jährlich hunderttausend Dollar für sprengseismische Untersuchungen bereitzustellen. Die Arbeiten begannen an der Golfküste und führten im Jahre 1926 zur Entdeckung des Salzdomes Moss Bluff für die Gulf Oil Corporation mittels Refraktionsmessungen. Gleichzeitig wurden in Oklahoma Reflexionsmessungen aufgenommen, die Dr. *E. E. Rosaire* im Auftrage der Amerada durchführte. In der Abb. 22 ist ein von *Westby* [26] veröffentlichtes Reflexions-Seismogramm aus Oklahoma mit 6 „Spuren" wiedergegeben. In Deutschland begannen die ersten Reflexionsmessungen mit zentraler Registrierung im Jahre 1932 auf Veranlassung und mit Unterstützung des Verfassers durch Dr. *Friedrich Trappe* bei der Seismos. Die Abb. 23 zeigt ein im Ruhrbezirk aufgenommenes fünfspuriges Reflexions-Seismogramm mit bemerkenswert scharfen Einsätzen [27]. Seitdem hat das Reflexionsverfahren sowohl instrumentell wie auch wellentheoretisch eine außerordentliche Weiterentwicklung erfahren. Statt der Verwendung von mehr oder weniger tiefen Schußbohrlöchern werden auch „Luftsprengungen" vorgenommen, die in Deutschland im Jahre 1927 bei der Seismos versucht, wegen der in dichtbesiedelten Gebieten aber kaum erträglichen Knallwirkungen aufgegeben worden sind. Anfang der dreißiger Jahre hat dann Dr. *O. v. Schmidt* bei Erdölprospektionen in Venezuela Gebrauch davon gemacht und in der Zeitschrift für Geophysik ausführlich darüber berichtet [28]. Die Abb. 24 enthält 4 vom Verfasser bereits im Jahre 1918 aufgenommene Seismogramme von 4 Sprengungen in gleicher Entfernung von dem Seismographen, aber in 2 m Höhe über dem Erdboden [12]. Die Kurven zeigen eine außerordentlich weitgehende Kongruenz, wie sie bei Sprengungen in Bohrlöchern nicht erzielt werden kann. Das Verfahren ist von dem Amerikaner *T. C. Poulter* in neuerer Zeit sehr ausgebaut worden [29].

Wenn der Verfasser das Glück hatte, die Grenzwelle zu entdecken und das seismische Verfahren der Refraktion und Reflexion zu inaugurieren, so gebührt an erster Stelle der Dank aller Nutznießer des Verfahrens dem Altmeister der physikalischen Erdbebenforschung, Geheimrat Professor Dr. *Emil Wiechert*, der in Göttingen den ersten Feldseismographen schuf, mit dem der Verfasser die ersten „in allen Einzelheiten lesbaren" Seismogramme von künstlichen Erdbeben gewann.

Bei der Einführung des Verfahrens über die Seismos direkt oder indirekt in alle Erdölländer der Welt wurde der Verfasser von zahlreichen Mitarbeitern unterstützt, deren in der eingangs erwähnten Abhandlung in der Zeitschrift Öl und Kohle dankbar namentlich gedacht worden ist.

In welcher hilflosen Lage sich die Erdölprospektion zur Zeit der Einführung des seismischen Verfahrens befand, geht in erschütternder Weise aus einer Veröffentlichung des amerikanischen Petroleum-Geologen *W. F. Henniger* der Gulf Production Company in Houston, Texas, in dem im Jahre 1926 von der American Association of Petroleum Geologists herausgegebenen Werk „Geology of Saltdom-Oilfields" hervor [30]. Nach *Henniger* sind von 1917—1924 an der Golfküste mit einem Kostenaufwand von 20 Millionen Dollar 675 Suchbohrungen nach unbekannten Salzdomen ausgeführt

worden, wobei indessen nur ein einziger Dom gefunden wurde. Diesem einen Fund innerhalb von 7 Jahren stehen in den 15 Jahren von 1924—1939 *hundertundneunundfünfzig* geophysikalisch — in erster Linie seismisch — gefundene Dome gegenüber [31].

In den zwanziger Jahren war der Sitz der Seismos, Hannover, das Reiseziel von Beauftragten großer Erdölgesellschaften und Montankonzernen aus USA, Mexiko, Columbien, England, Holland, Schweden, Polen, Spanien und anderen Ländern, die sich über das neue Verfahren informieren und es in ihren Interessengebieten einsetzen wollten. Aus Texas kamen sogar „wildcatters" nach Hannover, da es ihnen nicht mehr gelingen wollte, Geldgeber für „Guesswells" zu finden, wenn nicht eine sprengseismische Untersuchung des in Aussicht genommenen Bohrgeländes vorausgegangen war.

Die Zukunft der Erdölindustrie der Welt steht und fällt mit der Entdeckung neuer Erdölfelder, bei deren Auffindung den geophysikalischen Verfahren, insbesondere der Sprengseismik, eine immer noch wachsende Bedeutung zukommt.

Literatur

[1] *Mintrop, L.:* Über Anwendungen des seismischen Verfahrens im Erdölbergbau und ihre wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Auswirkungen. Z. Öl u. Kohle, 39, 269, v. 8. 3. 1943.

[2] *Hopkins, W.:* Researches in Physical Geology. Report Brit. Ass. Adv. of Sc., Part II, Sec. 2, p. 33, London 1848.

[3] *Mallet, R.:* On the Dynamic of Earthquakes. Trans. Irish Acad. Vol. XXI, P. 1, p. 51, 1848.

[4] *Mintrop, L.:* Hundert Jahre physikalische Erdbebenforschung und Sprengseismik. Z. Naturwissenschaften, 34. Jahrg. (1947), S. 258.

[5] *Abbot, H. L.:* On the Velocity of Transmission of Earth-Waves. Battalion Press. Nr. XL, 1876. Am. J. of Science, Vol. XV, p. 178.

[6] *Milne, J.:* Seismic Experiments. Trans. Seismological Soc. Japan. Vol. 8, p. 178. 1885.

[7] *Fouqué, F., & Lévy, M.:* Expériences sur la Vitesse de Propagation des Secousses dans des Sols divers. Mem. Acad. Sc. Tome XXX, Nr. 2, p. 57, Paris 1889.

[8] *Mintrop, L.:* Die Erdbebenstation der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum. Z. Glückauf, 45. Jahrg. (1909), S. 357.

[9] *Mintrop, L.:* Über künstliche Erdbeben. Verh. Intern. Kongr. Düsseldorf 1910, Ber. Praktische Geologie, S. 98.

[10] *Mintrop, L.:* Über seismographische Aufzeichnungen von Bodenerschütterungen durch Verkehrseinrichtungen, Maschinen, Sprengungen und dergleichen künstliche Erdbeben. Verh. Ges. D. Naturforscher u. Ärzte. 84. Vers. 1912, Teil 2,1, S. 201.

[11] *Mintrop, L.:* Über die Ausbreitung der von den Massendrücken einer Großgasmaschine erzeugten Bodenschwingungen. Diss. Göttingen 1911.

[12] *Mintrop, L.:* Geophysikalische Verfahren zur Erforschung von Gebirgsschichten und Lagerstätten. Essener Sammelwerk 1942, S. 455.

[13] *Mintrop, L.:* Erschütterungsmesser. DRP. Kl. 42c, Gruppe 43, Nr. 303 344 vom 25. 7. 1917 u. Nr. 303 345 vom 5. 8. 1917.

[14] *Mintrop, L.:* Feldseismograph. DRG. 670 330 vom 6. 8. 1917.

[15] *Galitzin, B.:* Vorlesungen über Seismometrie. Petersburg 1912. Deutsch von *O. Hecker* 1914.

[16] *Wiechert, E., u. Zoeppritz, K.:* Über Erdbebenwellen. K. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. 1907.
[17] *Schmidt, O. v.:* Neue Erklärung des Kurzwellenumlaufes um die Erde. Z. Techn. Phys. **17** (1936), S. 443.
[18] *Mintrop, L.:* Zur Geschichte des seismischen Verfahrens zur Erforschung von Gebirgsschichten und nutzbaren Lagerstätten. Hannover 1930. Selbstverlag der Seismos. Deutsch und Englisch.
[19] *Mintrop, L.:* Ermittlung des Aufbaues von Gebirgsschichten aus seismischen Beobachtungen. Z. D. Geol. G. 72 (1920) Mo.-Ber. S. 369 bis 370.
[20] *Bauernschmidt jr., A. J.:* East-Hackberry-salt-dome, Cameron Parish, Louisiana. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geologists. Vol. XV, p. 247, 1931.
[21] *Evans, J. W., & Whitney, W. B.:* Improvements in and relating to Means for Investigation the Interior of the Earth's Crust. Englisches Patent Nr. 174 095 vom 9. 7. 1920. Z. D. Geol. Ges. Bd. 72, Jahrg. 1920. Monatsber. 8—10. Glückauf (1920), S. 752.
[22] *Schriever, William:* Reflection Seismograph Prospecting-How it startet. Z. Geophysics, Vol. XVII, No. 4, p. 936, October 1952.
[23] *McCollum, Burton:* Method and Apparatur for Determining the Contour of Subterranean Strata. USA-Patent Nr. 1 672 945 vom 14. 8. 1922/5. Juni 1928.
[24] *Triplett, Gr.:* Seismograph proves successful on Coast. Oil Weekly, Vol. 35, p. 36, 1924.
[25] *Hammer, Sigmund:* Geophysical Exploration Comes of Age. Z. Geophysics, Vol. XVII, No. 1, July 1952, p. 435.
[26] *Westby, G. H.:* The discovery by reflection seismograph of a small producing structure in Omulgee County, Oklahoma. J. Assoc. Petrol. Geophysicists **6** (1935), S. 44.
[27] *Trappe, Fr.:* Die Anwendungen des seismischen Reflexionsverfahrens im Kohlenbergbau. Z. Glückauf, 71. Jahrg. 1935, S. 577.
[28] *Schmidt, Q. v.:* Sprengseismische Untersuchungen. Z. Geophysik, 11. Jahrg. 1935, S. 83.
[29] *Poulter, Th. C.:* The Poulter Seismic Method of Geophysical Exploration. Z. Geophysics, Vol. XV, No. 2, April 1950, p. 181.
[30] *Hennigeer, W. F.:* Occurence of sulphur water in the Gulf Coast of Texas and Louisiana and their significance in locating new domes. Symposium: Geology of Salt Dome Oil Fields. 1926, p. 774.
[31] *Thyssen-Bornemisza, St. v.:* Die Bedeutung der Geophysik beim Auffinden von Erdöllagerstätten in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Z. Öl und Kohle, 35. Jahrg. (1939), S. 113.

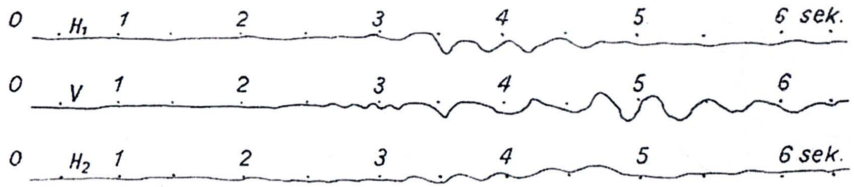

Abb. 1. Mechanisch registriertes Drei-Komponenten-Seismogramm zu einer Sprengung von 1 kg Dynamit in 65 m Entfernung. *John Milne* 1881

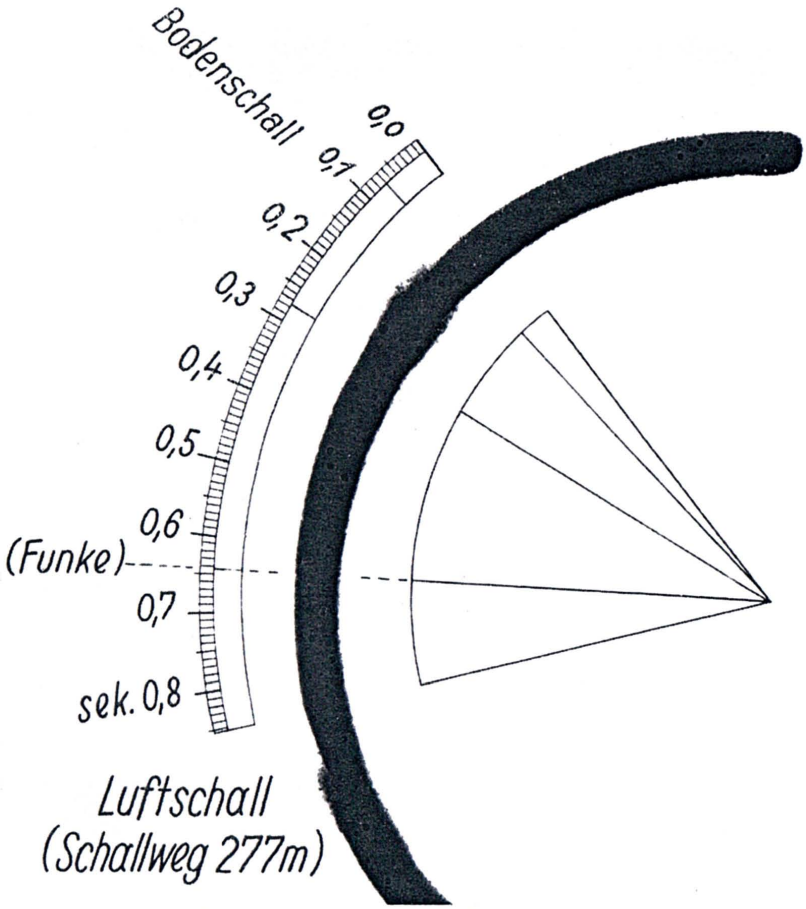

Abb. 2. Photographisch registriertes Horizontal-Seismogramm zu einer Sprengung von 4 kg Schwarzpulver in 145 m Entfernung. *F. Fouqué & M. Lévy* 1889.

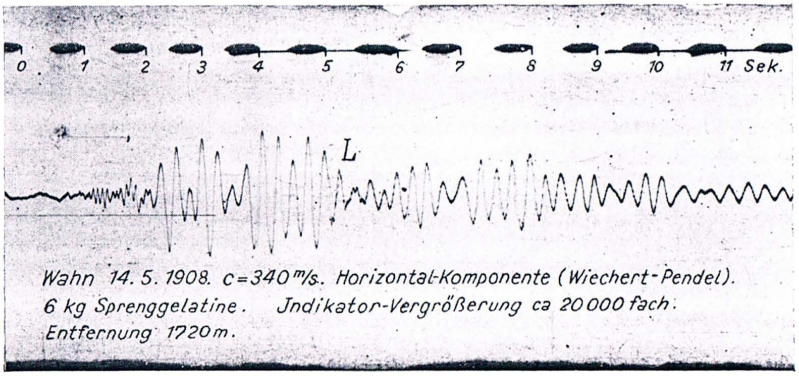

Abb. 3. Photographisch registriertes Horizontal-Seismogramm zu einer Sprengung von 6 kg Gelatine in 1720 m Entfernung. *L. Mintrop* 1908.

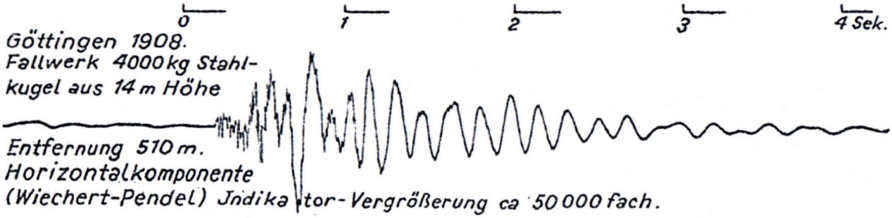

Abb. 4. Photographisch registriertes Horizontal-Seismogramm zu Fallwerksversuchen. *L. Mintrop* 1918.

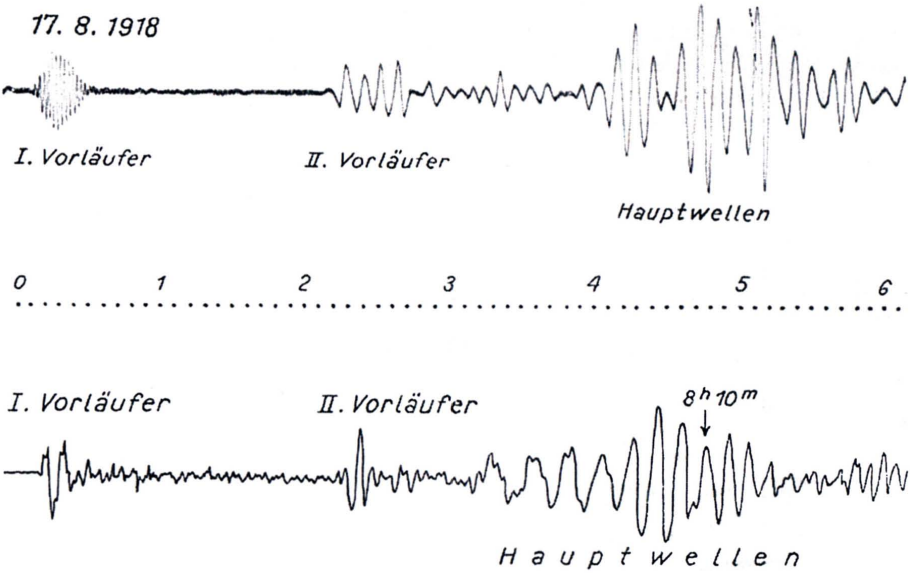

Abb. 6. Oben: Photographisch registriertes Vertikal-Seismogramm zum Aufschlag eines Gewichtes von 100 kg aus 60 m Höhe. *L. Mintrop* 1918. Unten: Mechanisch registriertes Horizontal-Seismogramm eines Erdbebens in 2450 km Entfernung. *E. Wiechert.*

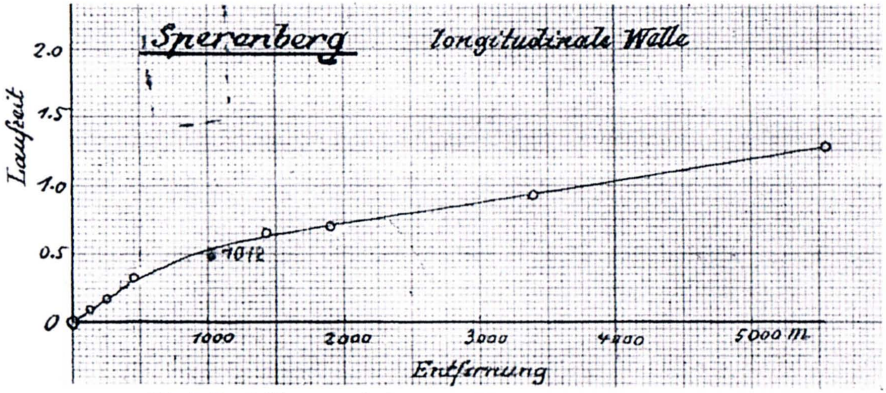

Abb. 7. Laufzeitkurve nach Spreng — Seismogrammen. *L. Mintrop* 1918.

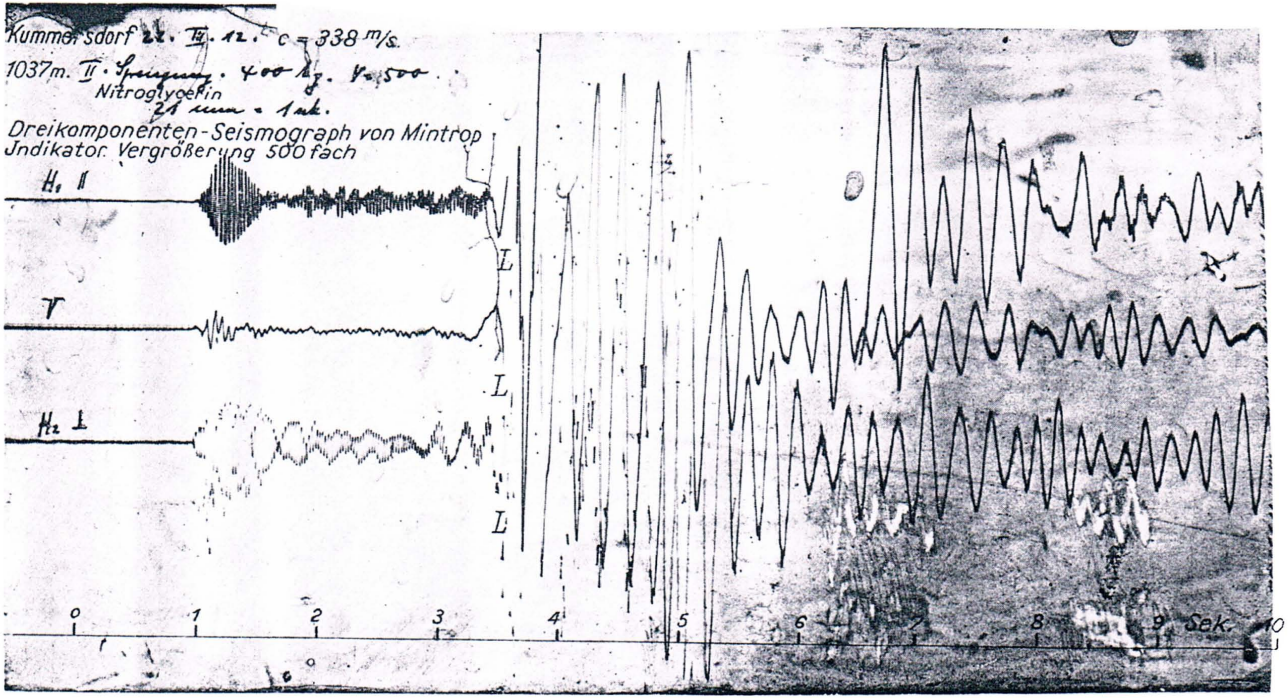

Abb. 5. Photographisch registriertes Drei-Komponenten-Seismogramm zu einer Sprengung von 400 kg Nitroglycerin in 1037 m Entfernung. *L. Mintrop* 1912.

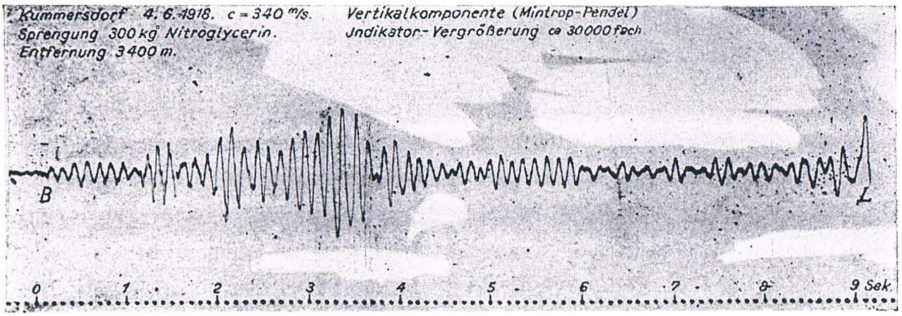

Abb. 8. Photographisch registriertes Vertikal-Seismogramm zu einer Sprengung von 300 kg Nitroglycerin in 3400 m Entfernung. *L. Mintrop* 1918.

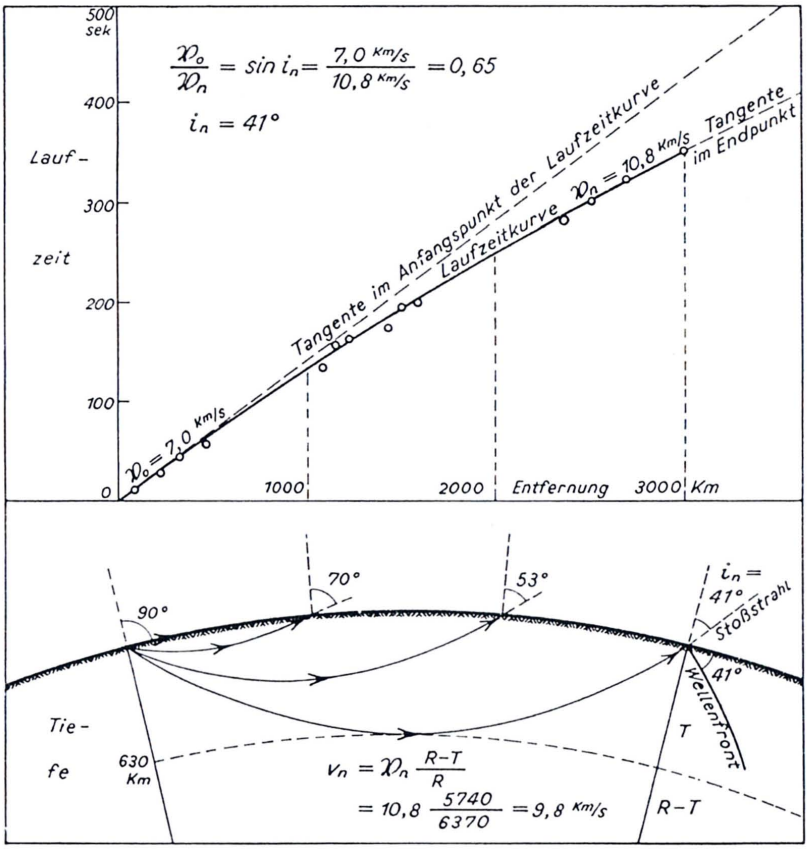

Abb. 9. Laufzeitkurve, Stoßstrahlen und Wellenfronten bei Erdbeben. *E. Wiechert u. K. Zöppritz* 1907.

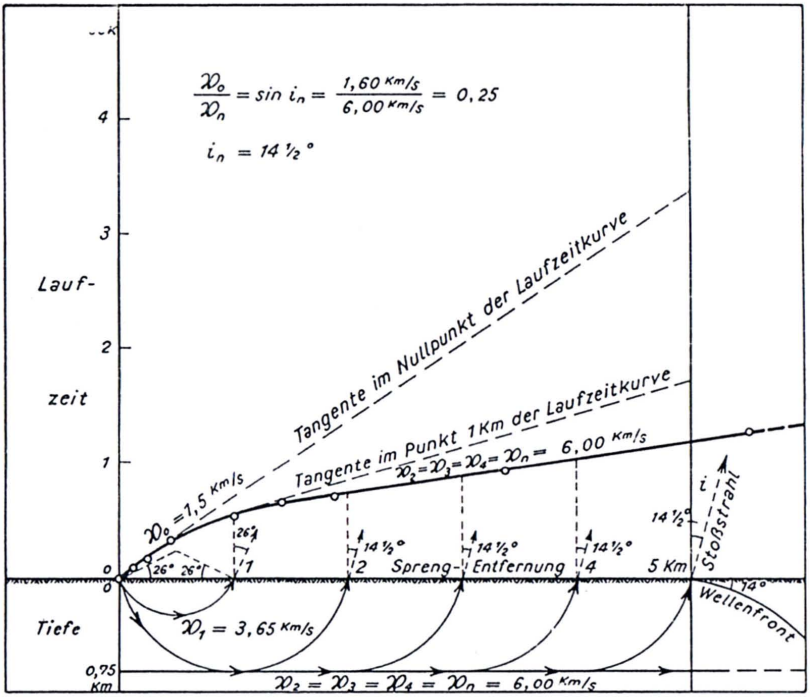

Abb. 10. Laufzeitkurve, Stoßstrahlen und Wellenfronten bei Sprengungen. *L. Mintrop* 1919.

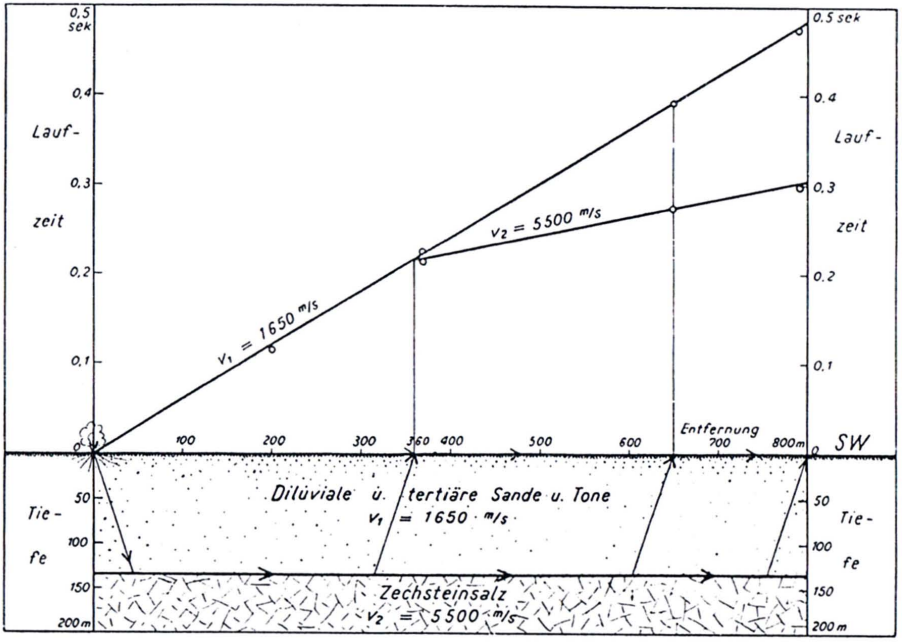

Abb. 11. Laufzeitkurven und Profil zu sprengseismischen Untersuchungen auf dem Salzstock Meissendorf. *L. Mintrop* 1920.

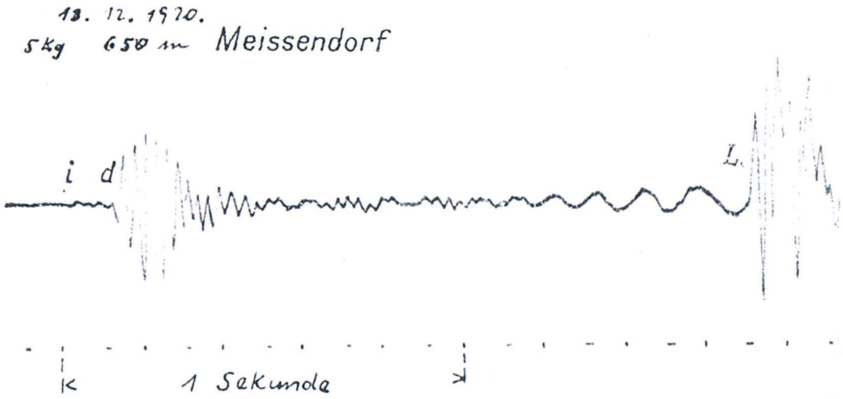

Abb. 12. Photographisch registriertes Vertikal-Seismogramm zu einer Sprengung von 5 kg Dynamit in einer Entfernung von 650 m auf dem Salzstock von Meissendorf. *L. Mintrop* 1920.

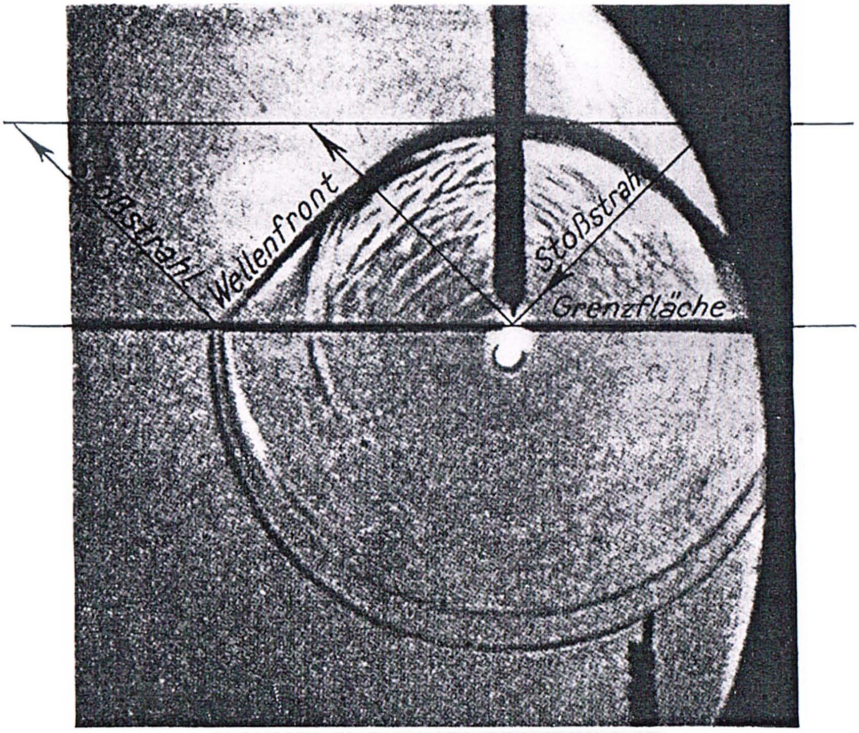

Abb. 13. Stoßstrahlen und Wellenfronten in einer Schlierenaufnahme von *O. v. Schmidt* 1937.

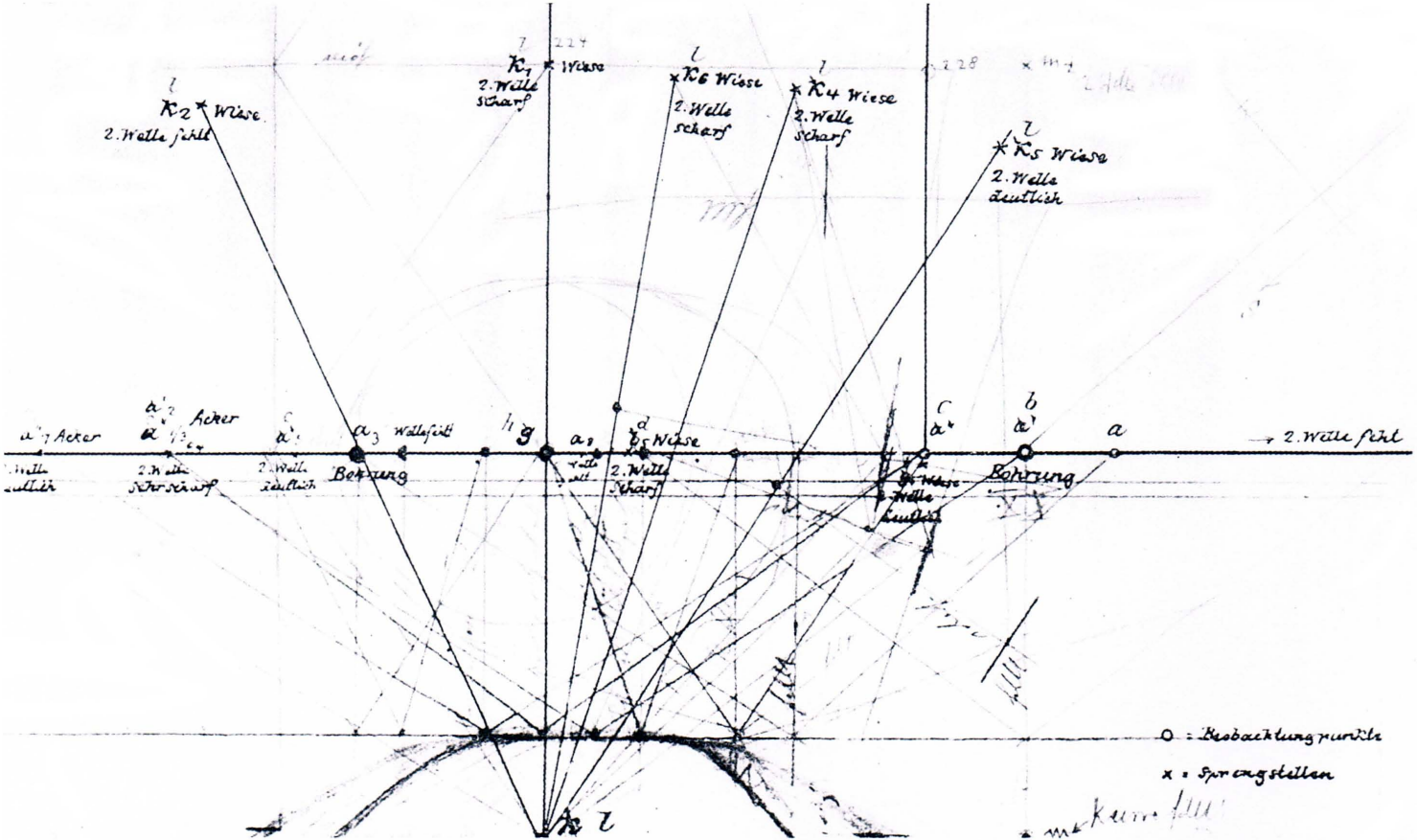

Abb. 14. Lageplan und Profil zu Refraktions- und Reflexionsmessungen bei Neuengamme. *L. Mintrop* 1920.

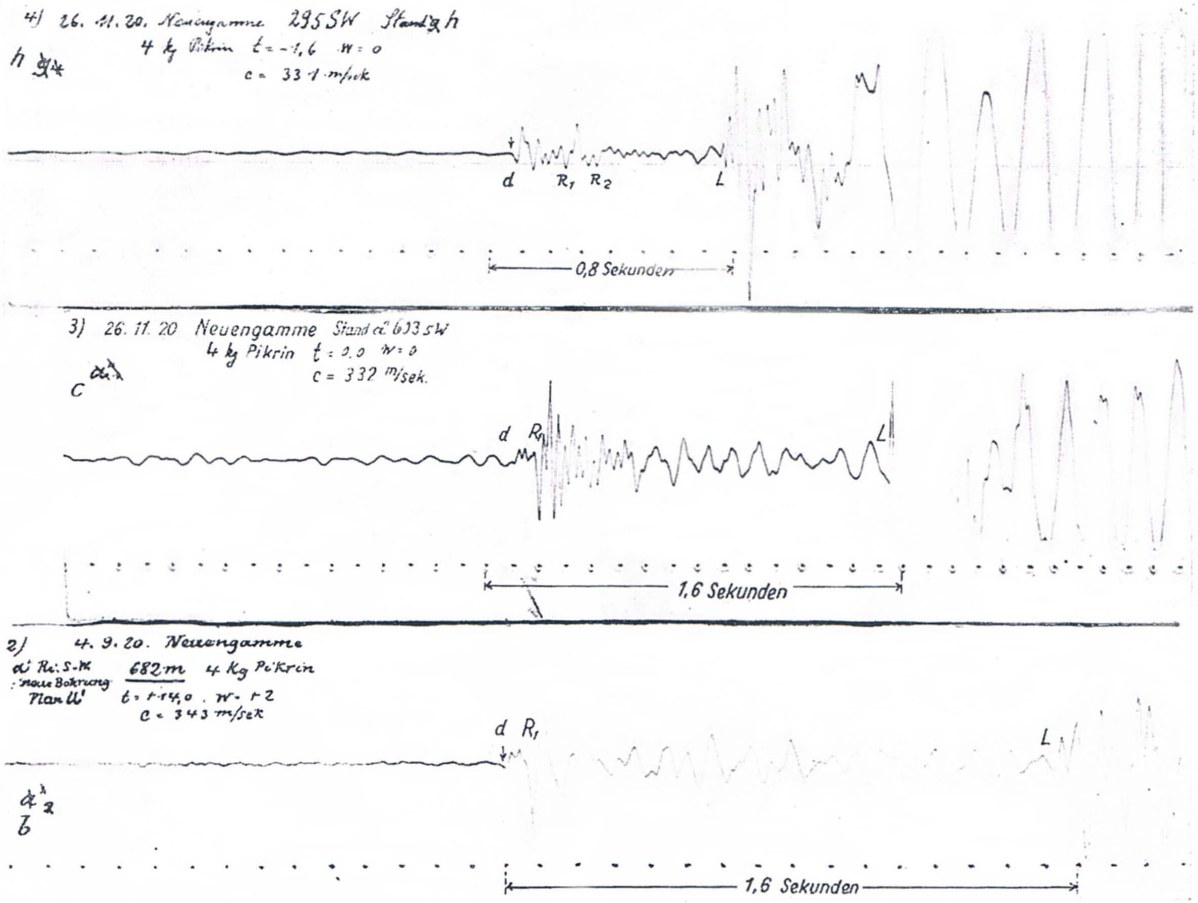

Abb. 15. Drei photographisch registrierte Vertikal-Seismogramme von Neuengamme mit Reflexionen. *L. Mintrop* 1920.

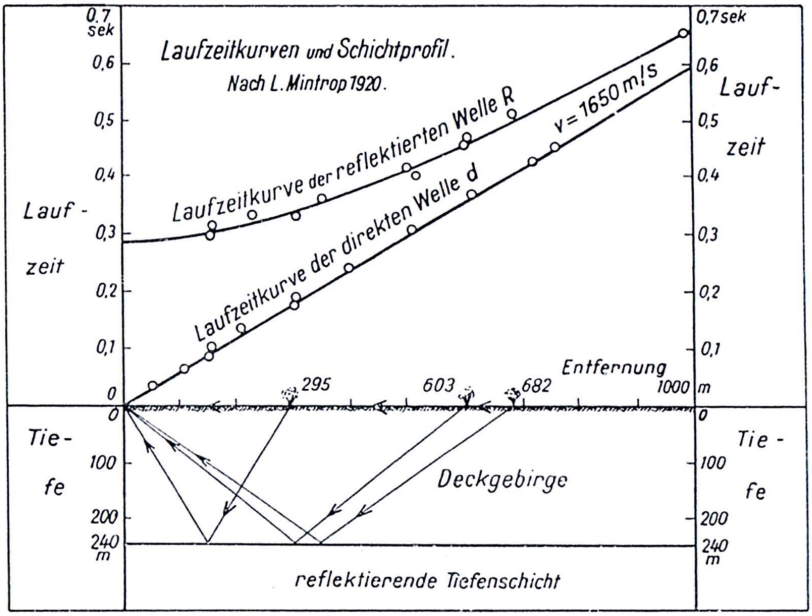

Abb. 16. Laufzeitkurve der direkten und einer reflektierten Welle sowie Profil zu sprengseismischen Untersuchungen bei Neuengamme. *L. Mintrop* 1920.

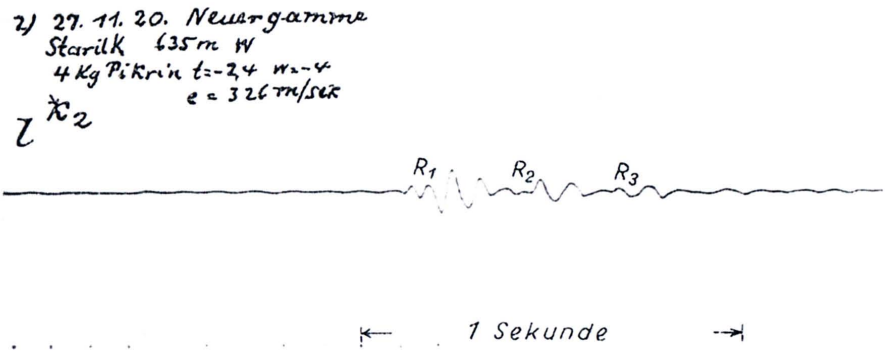

Abb. 17. Photographisch registriertes Vertikal-Seismogramm von Neuengamme mit drei Reflexionen. *L. Mintrop* 1920.

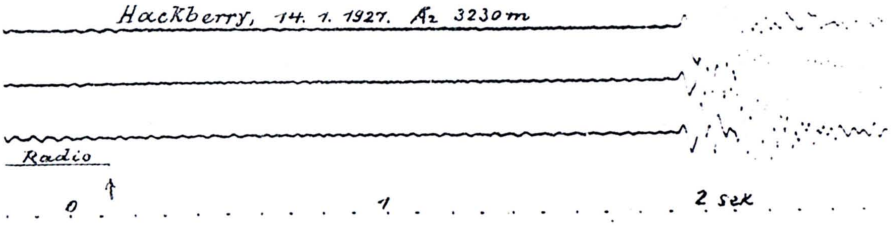

Abb. 19. Dreifaches photographisch registriertes Reflexions-Seismogramm vom Salzdom East Hackberry in Louisiana. Seismos 1927.

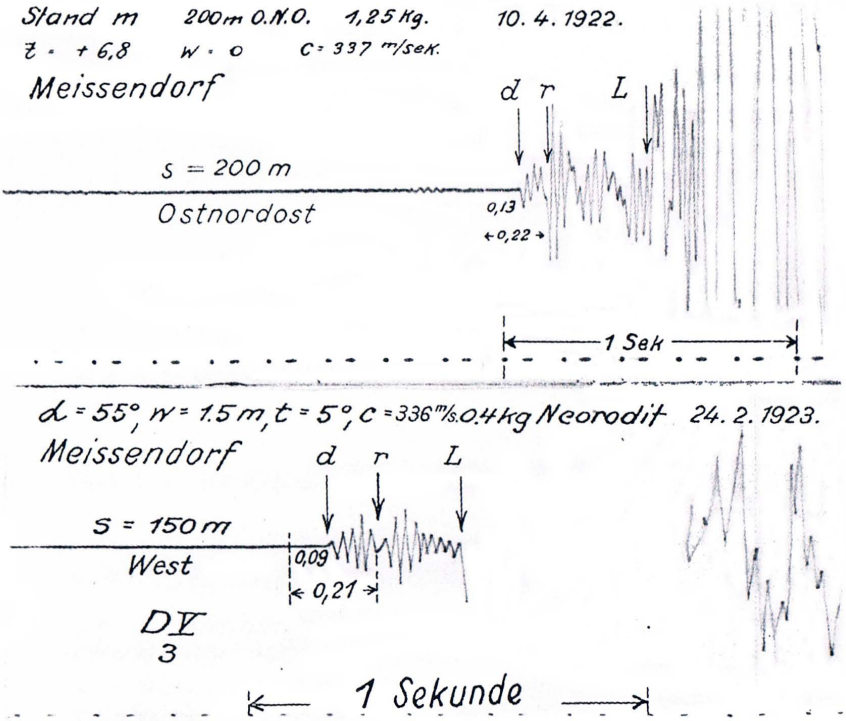

Abb. 18.
Zwei photographisch registrierte Vertikal-Seismogramme von Meissendorf mit Reflexionen. Seismos 1922/23.

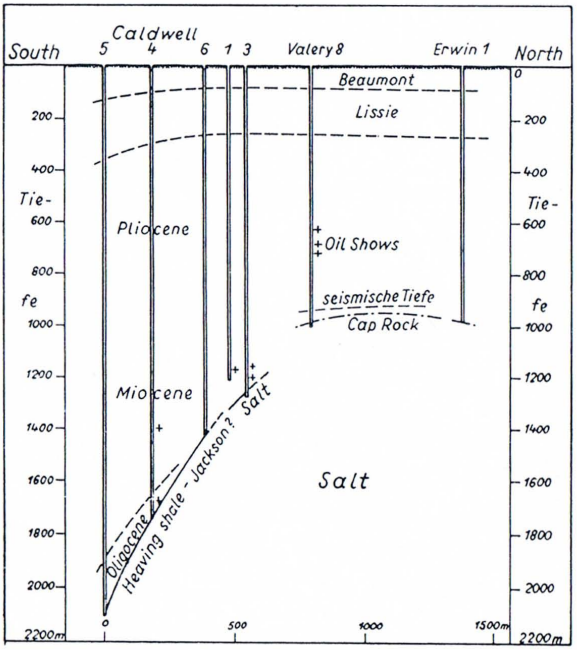

Abb. 20.
Profil durch den Salzdom East Hackberry in Louisiana mit Reflexionshorizont. Seismos 1927.

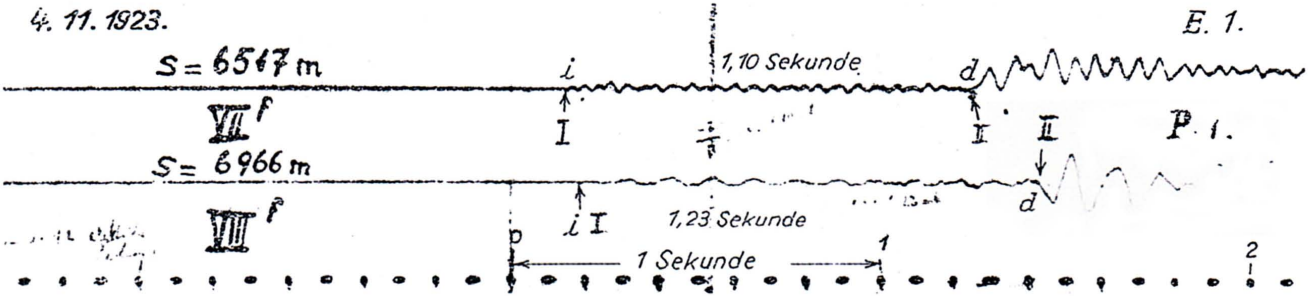

Abb. 21. Zwei photographisch zentralregistrierte Vertikal-Seismogramme. Seismos 1923.

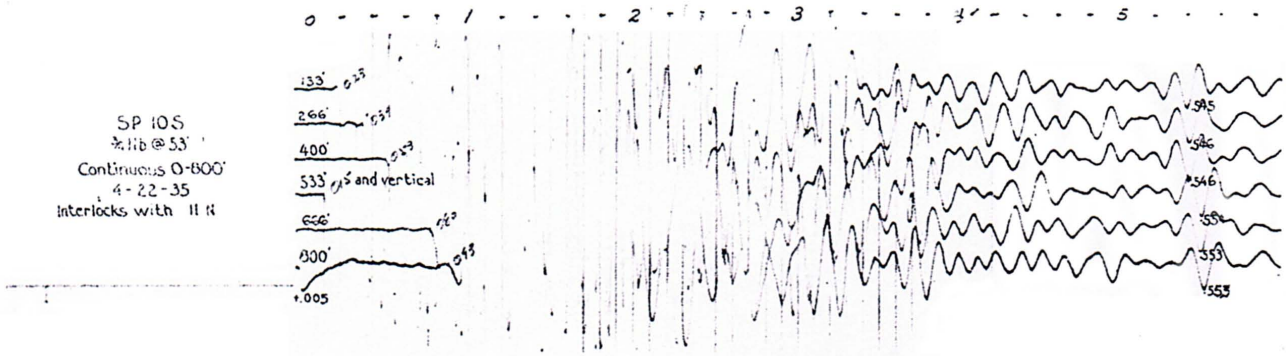

Abb. 22. Sechs photographisch zentralregistrierte Vertikal-Seismogramme zu einem Reflexions-Schießen in Oklahoma. *G. H. Westby* 1935.

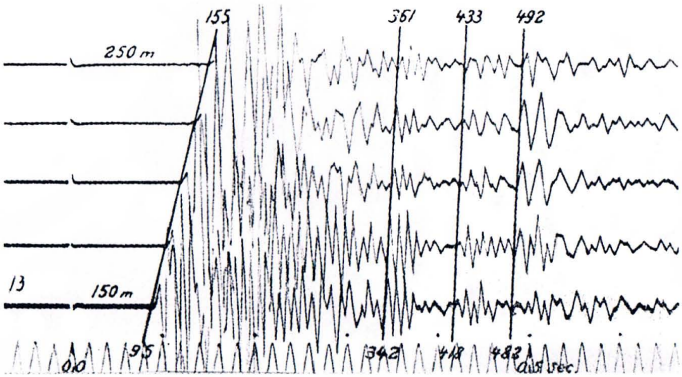

Abb. 23. Fünf photographisch zentralregistrierte Vertikal-Seismogramme zu einem Reflexionsschießen im Ruhrgebiet. *Fr. Trappe* (Seismos) 1935.

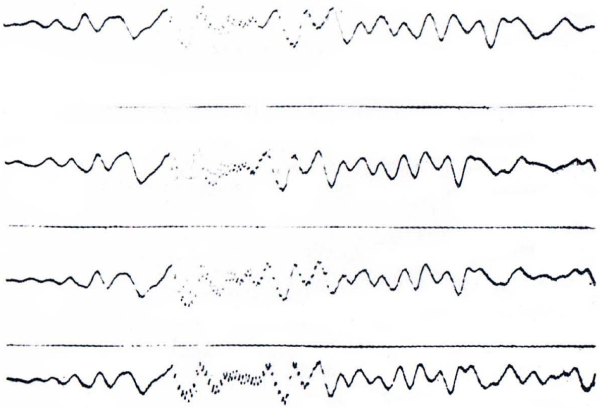

Abb. 24. Vier photographisch registrierte Horizontal-Seismogramme zu vier Luftsprengungen in gleicher Entfernung und 2 m über dem Erdboden. *L. Mintrop* 1918.