

Über Erfahrungen mit Sprengungen zur Untersuchung der höheren Teile der Erdkruste in Deutschland

H. CLOSS (*)

EINLEITUNG.

Über die ersten Versuche mit Steinbruchsprengungen ist in den Jahren 1929 bis 1931 berichtet worden, sie stammen aus der Zeit Wiechert's. Über spätere Beobachtungen berichtet Angenheister (1942), dann folgen

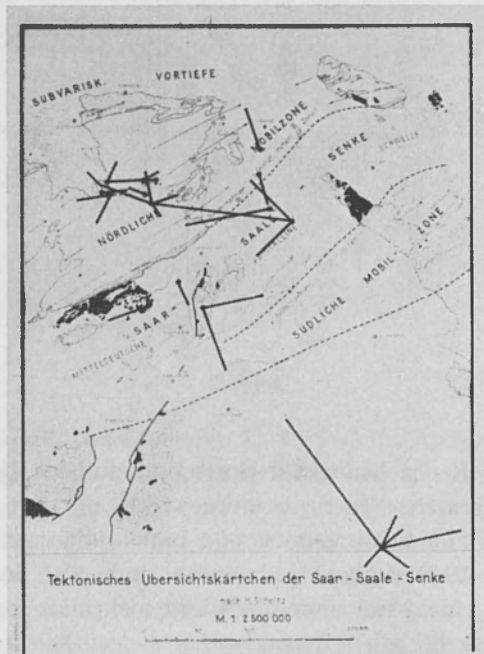


Abb. 1.

die bekannten Sprengungen Helgoland (1947) und Haslach (1948) und von da ab hat man sich bemüht wieder systematisch, Steinbruchsprengungen zu registrieren, nachdem bei den grossen Sprengungen

(*) Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover.

erkannt worden war, welche Möglichkeiten sich für die Untersuchung der Erdkruste dabei bieten. Steinbruchsprengungen wurden hauptsächlich von der geophysikalischen Abteilung des Amtes für Bodenforschung in Hannover beobachtet, aber auch vom Geophysikalischen Institut der Universität München. Bei einigen grösseren Untersuchungen, wie zum

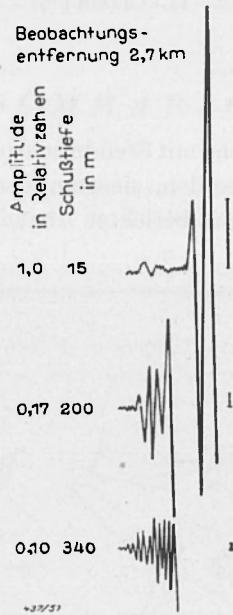


Abb. 2.

Beispiel bei der Beobachtung der Sprengung aus der Tiefbohrung Tölz, haben auch noch andere Institute mitgewirkt.

Abb. 1. zeigt die Schusspunkte und Linien, die vom Amt für Bodenforschung nach 1948 beobachtet worden sind. Auf den eingetragenen Linien ist häufig nicht nur einmal sondern mehrmals registriert worden.

Das Ziel war bei allen Beobachtungen eigentlich dasselbe, nämlich Bestimmung der Sedimentdicke, also die Erfassung der Grenze Basement/Sediment und nach Möglichkeit die Erfassung der Conrad-Diskontinuität (P^*). In letzter Zeit trat insbesondere im Alpenvorland der Wunsch hinzu, auch die Mohorovičić-Grenzfläche zu erfassen (P_n).

Über diese Untersuchungen sind bisher nur zwei Veröffentlichungen^(6,7) erschienen, von denen eine sich mit dem Schiessen beschäftigt und eine andere einige Ergebnisse darzustellen versucht (v. z. MÜHLEN).

I. - REFRAKTIONSSEISMIK.

a) *Das Schiessen:*

Nicht selten hat man die Möglichkeit, in Erdöl- oder anderen Tiefbohrungen in grösseren Tiefen Ladungen hochbrisanten Sprengstoffs zur Explosion bringen zu können. Es interessierte uns, ob man dieses Verfahren für die genannten Zwecke ausnutzen kann, insbesondere in Flachlandgebieten, in denen es keine Steinbrüche gibt. Dabei hat sich aber

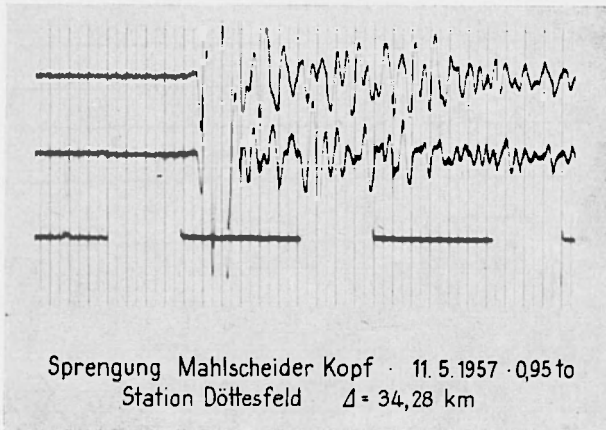


Abb. 3.

ergeben (*), dass mit zunehmender Tiefe des Abschusses der Ladung in den mit Spülung gefüllten Bohrlöchern der höher frequente Energieanteil zunimmt und die für die Registrierung wichtigen grossen Amplituden niedriger Frequenz entsprechend geschwächt werden. Es zeigt dies sehr deutlich die Abb. 2. Aus 2,7 km Entfernung wurde der gleiche Schuss registriert, der einmal in 15 m Tiefe in 200 m Tiefe und dann 340 m Tiefe zur Explosion gebracht wurde. Dabei ergaben sich für seismisch wichtige Frequenzen Amplitudenverhältnisse von 10 : 1. Für unsere Zwecke sind also oberflächennah angebrachte verdammte Schüsse wegen der Frequenz- und Amplitudenverteilung vorzuziehen.

Bei Steinbruchsprengungen werden in neuerer Zeit sehr häufig grossere Sprengladungen abgetan, jedoch aufgeteilt auf eine grosse Zahl von Einzelladungen, die in Abständen von einigen Millisekunden hintereinander gezündet werden. Versuche mit solchen Schüssen haben die

Vermutung bestätigt, dass für Einsätze in der Refraktionsseismik faktisch nur die Grosse der Einzelladungen wirksam wird. Derartige Schüsse sind also für unsere Zwecke so gut wie unbrauchbar. Sehr gute Erfahrungen wurden dagegen mit sogenannten Kammersprengungen gemacht.

b) *Registriergeräte:*

An die Tradition des Göttinger Geophysikalischen Institutes anschliessend haben wir zunächst mit mechanischen Seismographen, wie sie

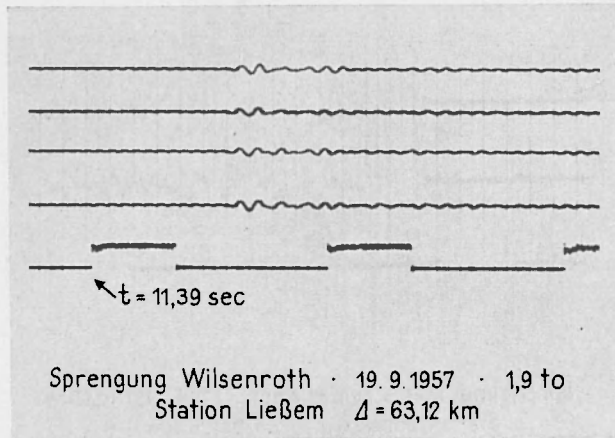


Abb. 4.

etwa in der Arbeit Schulze, Förtsch beschrieben sind, begonnen. Mit diesen Geräten ist man in der Regel auf die Registrierung in Gebäuden angewiesen und es fehlt ihnen die Flexibilität der elektrischen Geräte. So haben wir 1954 speziell für diese Art der Refraktionsseismik gebaute Geräte mit Verstärkern eingesetzt und haben seither auf diesem Gebiet Entwicklung betrieben. Wir werden in Balde für diese seismischen Feldarbeiten keine mechanischen Seismographen mehr einsetzen. Bei unseren Verhältnissen müssen wir im allgemeinen damit rechnen, erst von 50 km Schusspunktentfernung ab Einsätze von der Conrad-Diskontinuität als erste Einsätze zu erhalten und erst in der Grössenordnung von mehr als 100 km Schusspunktastand erste Einsätze von der Peridotitschicht. Mit mechanischen Pendeln können diese Entfernungen nu überbrückt werden bei relativ grossen Ladungen, die schon in der Grössenordnung von 10 to liegen müssen. Vielfach ist es möglich, spätere Einsätze auswerten zu

können, aber jeder, der sich damit schon beschäftigt hat, weiss, wie fragwürdig dies ist, wenn nur *eine* Aufzeichnungsspur vorliegt und die Stationen kilometergrosse Abstände haben. Durch Benutzung *mehrerer* Geophone ist es möglich, die Gleichphasigkeit als ein wesentliches Hilfsmittel, auch bei grösserer Bodenunruhe zu benutzen, um die Einsatzzeiten viel genauer zu ermitteln. Nur durch die Ausnutzung von Erfahrungen der seismischen Prospektion mit Reflexions- und Refraktionsseismik ist das Ziel zu erreichen, mit den häufig zur Verfügung stehenden kleineren Sprengungen von 1 oder 2 to Signale von tieferen Grenzflächen mit eini-

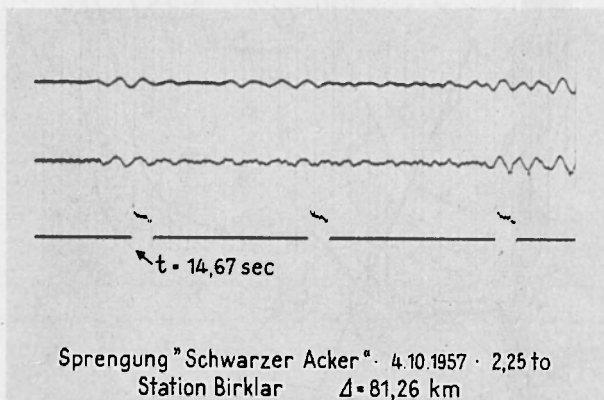


Abb. 5.

ger Sicherheit zu registrieren. Auch die russischen Arbeiten zeigen dies. Eine Gesamtverstärkung von etwa 1 Million wurde vielfach schon ausgenutzt. Nach dem jetzigen Stand unserer Erfahrung glauben wir, dass 4 Spuren pro Station ausreichend sind.

c) *Ergebnisse.*

Es ist ein langwieriges Vorhaben, für gesicherte Auswertungen Material mit Hilfe von Steinbruchsprengungen zu sammeln. Deshalb wurde darüber bisher auch noch sehr wenig veröffentlicht. Veröffentlichte und nicht veröffentlichte Arbeiten insbesondere von v. Zur Mühlen und Stein sind hier mitverwertet. Es haben sich in der letzten Zeit drei Schwerpunkte herausgebildet. einmal das Rheinische Schiefergebirge, der Raum zwischen Kassel und Frankfurt und das Alpenvorland.

Rheinisches Schiefergebirge, Raum um Kassel-Frankfurt

Abb. 3 zeigt das Seismogramm eines 0,95 to Schusses in 34 km Entfernung. Beim Betrachten nur einer der beiden Spuren möchte man mit Sicherheit an mehreren Stellen spätere Einsätze für möglich halten.

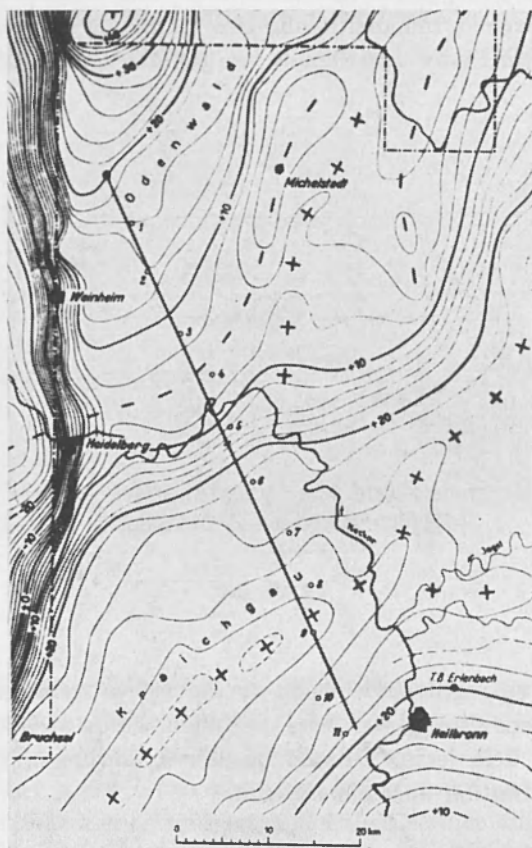


Abb. 6.

Der Vergleich der beiden Spuren zeigt jedoch dass man diese Möglichkeiten stark einschränken muss. Abb. 4 ist ein Seismogramm von einer Sprengung mit 1,9 to beobachtet in 63 km Entfernung. Der Zeitpunkt des 1. Einsatzes ergibt sich völlig übereinstimmend in allen 4 Spuren. Auch spätere Einsätze sind trotz der geringen Amplituden noch gut zu erkennen. Abb. 5 stammt von einer Sprengung mit 2,25 to und ist in

81 km Entfernung registriert. Hatte man nur die untere Spur, wäre man wohl im Zweifel über die genaue Zeit des ersten Einsatzes. Der Vergleich mit der oberen Spur behebt alle Unsicherheit. Zwei spätere Einsätze können mit Sicherheit festgelegt werden weil auch hier die beiden Spuren sich ergänzen.

Wir sind jetzt dabei, einige der Linien zu verlängern und insbesondere gegenzuschiessen unter Benutzung moderner Mehrkanal-Registriergeräte. Abrazt Ähnliches gilt für den Raum zwischen Kassel und Frankfurt. Trotz Beobachtens von über 50 km langen Profilen ist es nur in seltenen und nicht ganz zweifelsfreien Fällen gelungen, die Conrad-Diskontinuität

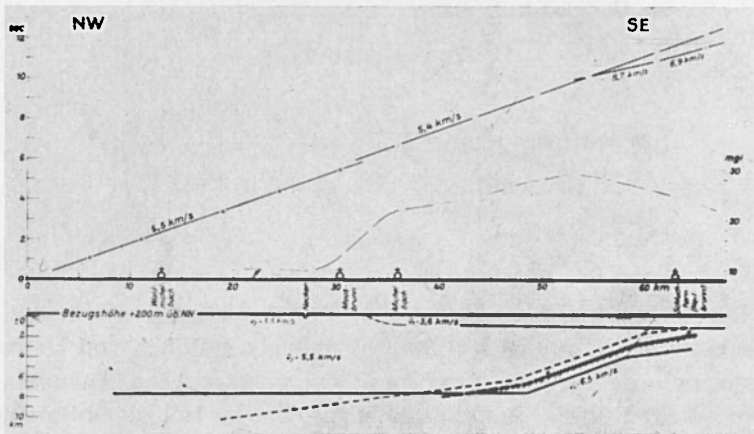


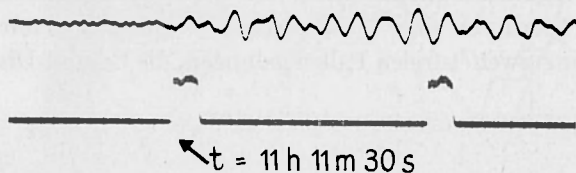
Abb. 7.

zu erreichen. Immerhin ist in diesen Gebieten damit nachgewiesen worden, dass es gravimetrische Anomalien erheblichen Ausmasses geben muss, deren Ursache in Tiefen grösser als 8 km liegen muss, also vermutlich im Bereich der Grenze Granitschicht/Gabbro.

Im Raume südlich Frankfurt gibt es eine grosse positive regionale gravimetriche Anomalie (*) (Abb. 6), deren geologische Deutung viel umstritten war. Mit einem über 60 km langen Profil wurde diese Anomalie überdeckt. Die ersten Einsätze zeigten (Abb. 7) das Auftreten einer für P* charakteristischen Geschwindigkeit, so dass angenommen werden darf, dass in diesem Raum eine Grenze «Granit»/«Gabbro» aus einer Tiefe von etwa 10 km aufsteigt auf rund 2 km. Beobachtungen vom Geophysikalischen Institut der Universität München östlich davon an derselben Struktur

(*) Siehe Kraichgrau in Abb. 6.

bestätigen die Hochlage von P^* (*). Mangels weiterer Untersuchungen ist es im Augenblick noch nicht möglich zu entscheiden, ob es sich um eine wirkliche Aufragung der Conrad-Schicht handelt oder um eine basische Einlagerung in P . Dass es sich hierbei wirklich um eine gabbroide Unterlage handeln kann, machen die Schweremessungen plausibel, aber auch der Vergleich mit ähnlichen Untersuchungen in Norddeutschland, wo im Bereiche von Johannsburg in einem Gebiet, in welchem Geschwin-



Sprengung Eschenlohe · 15. 2. 1958 6 to
Station Möglingen $\Delta \sim 165$ km

Abb. 8.

digkeiten über 6 km/sec auftraten, in 1200 m Tiefe ein gabbroides Tiefengestein erbohrt worden ist. Bei Sprengungen nördlich von Hannover ergaben sich im Bereiche einer positiven magnetischen Anomalie Geschwindigkeiten über 6 km/sec und ebenso bei der Helgoland-Sprengung über einer positiven magnetischen Anomalie in Schleswig-Holstein nahe der danischen Grenze (^{12, 13}). In beiden Fällen wird aus der Kombination von Magnetik und Seismik ein gabbroider Gesteinskörper in etwa 5 km Tiefe angenommen, obwohl hier im Schwerefeld keine entsprechenden Anomalien auftreten.

Alpen v o r l a n d .

Südlich München liegt am Alpenrand ein Steinbruchbetrieb, der jährlich grössere Sprengungen vornimmt und von dem aus zu Isostasiefragen Material beigetragen werden kann durch seismische Beobachtung.

In der nach Bouguer reduzierten Schwerekarte des Alpenvorlandes (²) stellen wir zu den Alpen hin einen Schwereabfall von etwa 80 mgal fest. Es lag nahe, mit allen zu Gebote stehenden geophysikalischen und geologischen Informationen diesen Schwereabfall daraufhin zu prüfen, ob er zu einem erheblichen Teil auch von einer tiefen Wurzel der Alpen herrühren könne. Es zeigte sich, dass diese Frage nur dann beantwortet

werden kann, wenn das Verhalten nicht nur der Conrad-, sondern auch der Mohorovicic-Diskontinuität bekannt ist. Also begannen wir schon vor einigen Jahren ein Profil quer durch den voralpinen Trog nach Norden zu beobachten. Im Februar des Jahre 1958 wurde eine Doppel-

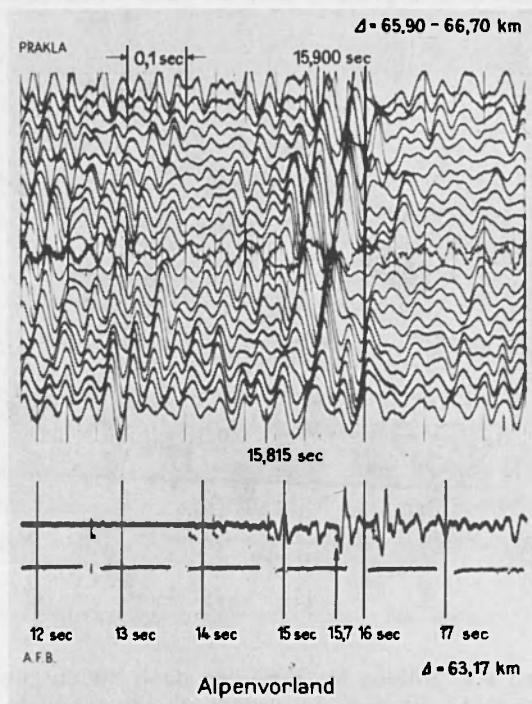


Abb. 9.

sprengung, eine mit 6 to und eine mit 12 to, beobachtet. 27 Stationen waren auf drei Profilen verteilt. Mitgewirkt haben dabei das Institute de Physique du Globe in Strassburg, die Geophysikalischen Institute von Hamburg, Göttingen, Clausthal, Stuttgart, München und die Geophysikalische Abteilung des Amtes für Bodenforschung, Hannover, wobei die letztgenannten beiden sich um die Organisation dieses Vorhabens bemüht haben. Sogar in der Tschechoslowakei ist von Kárník, Prag, dieses künstliche Beben beobachtet worden. Die Auswertung der Beobachtungen ist noch nicht abgeschlossen. Abb. 8 ist das Ergebnis der Registrierung der 6 to-Sprengung in 165 km Entfernung. Eine bei früherer Gelegenheit in 65 km Entfernung aufgestellte 24-spurige normale Refraktionsapparatur der Prahla hat einen Einsatz bei 15 sec registriert (Abb.9). Der starke Ein-

satz in diesem Seismogramm kann als Reflexion von der Mohorovičić-Grenzfläche gewertet werden, wobei auch die auffallend starken Amplituden in dem grossen Reflexionswinkel nahe dem kritischen Winkel der Refraktion eine Erklärung finden könnten. Die relativ hochliegenden Geschwindigkeiten für alle Schichtgrenzen sind bei einer vorläufigen Auswertung

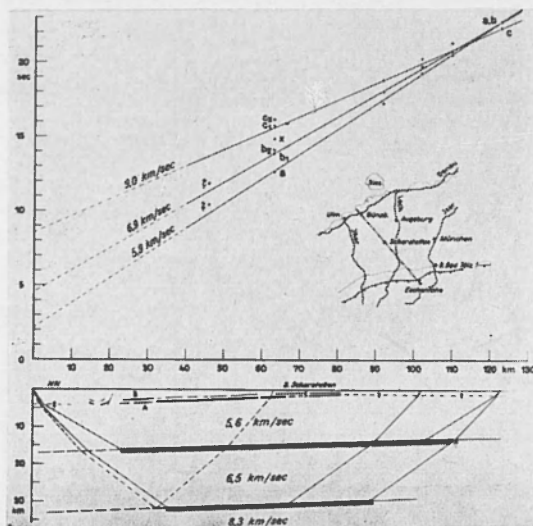


Abb. 10.

(Abb. 10) durch v.z. Mühlen als Einfällen nach Süden gewertet worden. Wird dieses Ergebnis, von dem wir hoffen, dass es bestätigt werden kann, mit dem Befund der Schweremessungen verglichen, dann ergibt sich, dass eine *tiefliegende* Alpenwurzel nicht vorhanden sein kann, dass sich der Schwereausgleich im Bereich der Alpen bis in Tiefen von etwa 10 km mehr oder weniger schon vollzogen haben sollte.

Wir sind uns darüber im klaren, dass dies erst noch durch weiteres Material bewiesen werden muss, das nur mit Hilfe der Sprengseismik erzielt werden kann.

II. REFLEXIONSSEISMIK.

Die bisherigen Ergebnisse der Refraktionsseismik werden auf das schönste ergänzt durch reflexionsseismische Beobachtungen. Im Alpenvorland hat Dohr⁽³⁾ Reflexionen von der Conrad- und Mohorovičić-

Discontinuität mehrfach beobachtet. Abb. 11 ist ein Diagramm, dessen Ordinate ein Mass für die Häufigkeit des Auftretens von Reflexionen ist, die Abszisse ist die Reflexionslaufzeit. Man erkennt zwei Maxima für

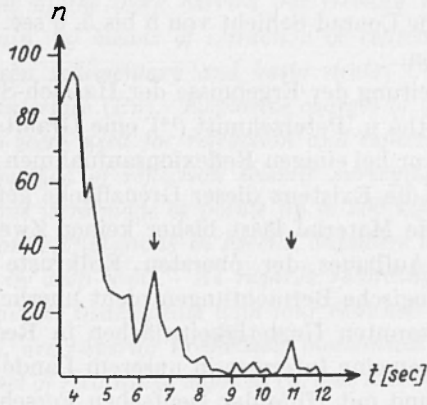


Abb. 11.

tiefe Grenzflächen. Seine Beobachtungen (siehe Tabelle Abb. 12) stimmen mit denen von Reich von Blaubeuren (*) bestens überein und ebenso mit Beobachtungen im Oberrheintal. Er leitet aus den Beobachtungen im

Reflexionszeiten und Tiefen für tiefe Grenzflächen
nach DOHR, REICH SCHULZ

	westl. Mainz (Nahe-Senke)	Murnau (Alpenrand)	Blaubeuren (Jura)	nordöstl. Straßburg (Baden Oos)
Fortsch-Diskont.	4,0 sec <i>d</i> ~ 10 km	4,5 sec		
Conrad-Diskont.	5-5,6 sec <i>d</i> ~ 13-15 km	6,5 sec <i>d</i> ~ 15-18 km	7,1 sec <i>d</i> ~ 20 km	7,6 sec <i>d</i> ~ 17 km
Moho.-Diskont.		11 sec <i>d</i> ~ 30 km	9,2 sec <i>d</i> ~ 28 km	

Abb. 12.

Alpenvorland eine Tiefe der Conrad-Schicht von etwa 17 bis 18 km ab und eine Tiefe der Mohorovicic-Schicht von 30 bis 31. Vergleichen wir seine Angaben mit denen völlig unabhängig davon gewonnenen Daten

von v. z. Mühlen aus dem Refraktionsprofil der Sprengung Eschenlohe oder von Rothe u. Peterschmitt (¹⁰), so stellen wir gute Übereinstimmung fest.

Aus dem Bereich westlich Frankfurt haben wir von Schulz (¹¹) Reflexionszeiten für die Conrad-Schicht von 5 bis 5, 6 sec. Sie liegt also hier höher als im Süden.

Bei der Bearbeitung der Ergebnisse der Haslach-Sprengung trennen Förtsch (⁴) und Rothé u. Peterschmitt (¹⁰) eine Granitschicht von einer Dioritschicht ab. Nur bei einigen Reflexionsaufnahmen haben sich bisher Anhaltspunkte für die Existenz dieser Grenzfläche gefunden.

Das vorliegende Material lässt bisher keinen Zweifel an der Mehrschichtigkeit des Aufbaues der obersten Erdkruste aufkommen. Es zeigt, dass für geologische Betrachtungen nicht unerhebliche Niveauverlagerungen der bekannten Unstetigkeitsflächen in Rechnung zu stellen sind. So ist das allgemeine Interesse in unserem Lande an diesen Fragen zurzeit sehr gross und mit Hilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft konnte ein grosses Programm, das sich über mehrere Jahre erstrecken wird, aufgestellt werden, im Verlaufe dessen weite Teile des Bundesgebietes untersucht werden sollen. Man hat eine Organisation geschaffen, die 9 Geophysikalische Institute umfasst, man hat Arbeitsgruppen gebildet für geologische Problemstellung, für geophysikalisch-geologische Auswertung, für instrumentelle Entwicklungen, für Feldeinsatz. Man hat in das gesamte Programm nicht nur die ausseralpinen Bereiche des Bundesgebietes eingeschlossen, sondern auch die Alpen selbst, wobei man allerdings daran denkt, die Alpensprengung oder eine Serie von Sprengungen in den Alpen als Schlusspunkt unter das gesamte Programm zu setzen.

Der Wert einer solchen Arbeit würde natürlich wesentlich gewinnen, wenn auch in den Nachbargebieten sich Kollegen oder Institutionen finden würden, welche sich diesem Arbeitsgebiet zuwenden. Flachliegende Probleme in der Erdkruste können örtlich gelöst werden, Probleme grösserer Tiefen greift man vorteilhaft in grösserem Raum an.

ABSTRACT

A brief review of the work carried out recently in Germany (West.) in order to ascertain, by means of refraction or reflection seismic surveys, the interface between sedimentary and basic strata, Conrad interface (P), and Mohorovicic interface (Pn). Explosive charges of quarry type, ranging from 1 to 10 tons were used for refraction and reflection seismic surveys. Alto the normal method of reflection seismic surveying was used to some extent. Observations were made at points up to 200 kilometers distant from the site of explosion. Explosions in special chambers are to be preferred to those carried out in deep wells. As regards recording, it was found that small electric refraction instruments with four channels and a strong aggregate amplification, are superior to portable mechanical seismographs. The article supplies a set of recordings made at various distances and with various charges, in the three different regions of Western Germany. These recordings are commented in a succinct manner. Furthermore, various examples are given to demonstrate the utility of seismic refraction surveys over long distances for the purposes of interpretation of gravimetric and magnetic anomalies of regional character. It has been possible also to count undulations over several kilometers of Conrad interface. The results obtained and combining of gravimetric observations with refraction seismic, over an extensive range of depths in pre-Alpine regions, have permitted to draw a supposition that compensation of gravity effects take place in the Alps at scanty depths. The article is wound up with an account of the most important of the results of reflection seismic methods obtained in deep interfaces and recorded in technical-scientific literature.

RIASSUNTO

Si passano brevemente in rassegna i recenti lavori condotti nella Germania Occidentale, lo scopo dei quali era la determinazione, mediante rilevazioni sismiche a rifrazione o a riflessione, della discontinuità fra strati sedimentari e basamento, della discontinuità di Conrad (P) e di quella di Mohorovicic (Pn). Per le rilevazioni sismiche a rifrazione ed a riflessione sono state usate esplosioni di mine da cava con cariche di peso variante da 1 a 10 t; si è potuto anche applicare in parte il normale metodo sismico a riflessione. Le rilevazioni sono state realizzate fino a distanze di 200 km dai punti di esplosione. Le esplosioni in apposite camere di scoppio sono da

preferirsi a quelle che si fanno avvenire in pozzi profondi. Per quanto riguarda la registrazione, i piccoli strumenti elettrici a rifrazione con 4 canali e con una forte amplificazione complessiva sono risultati superiori ai sismografi meccanici portatili. Nell'articolo si presenta una serie di registrazioni realizzate, con varie distanze di osservazione e con cariche differenti, in tre diverse regioni della Germania Occidentale. Tali registrazioni vengono brevemente discusse. Si dimostra inoltre, con vari esempi, l'utilità delle rilevazioni sismiche a rifrazione su grandi distanze per l'interpretazione delle anomalie gravimetriche e magnetiche a carattere regionale. Fra l'altro è stato possibile tener conto di oscillazioni provenienti dalla superficie di Conrad. Dai risultati ottenuti combinando le misure gravimetriche con quelle sismiche a rifrazione, realizzate entro una vasta gamma di profondità nelle regioni prealpine, si trae la supposizione di un effetto di compensazione della gravità delle Alpi in zone di scarsa profondità. Infine si sono raccolti e riassunti dalla bibliografia tecnico-scientifica i più importanti risultati dei metodi sismici a riflessione in relazione alle interfacce profonde.

LITERATURVERZEICHNIS

- (1) ANGENHEISTER, G., *Ausbreitung der Bodenschwingungen bei grossen Sprengungen und oberflächennahem Erdstoss*. Göttingen'sche Gelehrten Anz., 206, Göttingen 1942.
- (2) CLOSS, H. - HAIN, A., *Bemerkungen zur Karte der Schwerestörungen des deutschen Alpenvorlandes*. « Geol. Jb. », 72, 503-528, (Hannover 1957).
- (3) DOHR, G., *Zur reflexionsseismischen Erfassung sehr tiefer Unstetigkeitsflächen*. « Erdöl und Kohle », 10, H. 5, S. 278-281, (Hamburg 1957).
- (4) FÖRTSCH, O., *Analyse der seismischen Registrierungen der Grosssprengung bei Haslach im Schwarzwald am 28. April 1948*. « Geol. Jb. », 66, 65-80, (Hannover 1952).
- (5) GRINDA, L., *Ondes de Pression Sous-Marines et Enregistrements Séismographiques*. « Bull. de L'Institut Océanographique », 1104, (Monaco 1957).
- (6) V. Z. MÜHLEN, W., *Über die seismische Wirkung tief verdämmter Sprengladungen*. « Geol. Jb. », 66, 425-432, (Hannover 1952).
- (7) — *Ergebnisse der « Steinbruch-Seismik » im Siegerland, Kraichgau und in Hessen/Unterfranken*. « Geol. Jb. », 71, S. 569-594, Hannover (1956).
- (8) REICH, H., *Seismische Beobachtungen bei grossen Steinbruchsprengungen und deren geologische Ergebnisse*. « Z. deutsch. geol. Ges. », 104, 174, (Hannover 1952).

- (9) — *Über seismische Beobachtungen der PRAKLA von Reflexionen aus grossen Tiefen bei den grossen Steinbruch-Sprengungen in Blaubeuren am 4. März und am 10. Mai 1952.* « Geol. Jahrb. », 68, 225-240, (Hannover 1954).
- (10) ROTHÉ, J. P. - PETERSCHNITT, E., *Étude Séismique des explosions d'Haslach.* « Ann. de l'Inst. de Physique du Globe », Univ. Strasbourg N. Ser. 5 Part 3 Géoph. 13-38, (Strasbourg 1950).
- (11) SCHULZ, G., *Reflexionen aus dem kristallinen Untergrund im Gebiet des Pfälzer Berglandes.* « Zschr. f. Geophysik », 23, H 5, 225-235, (Würzburg 1957).
- (12) SCHULZE, G. A., *Seismische Auswertung der Sprengung Helgoland.* « Erdöl u. Tektonik in Nordwestdeutschland, Amt für Bodenforschung », 282-285, (Hannover-Celle, 1949).
- (13) — FORTSCH, O., *Die seismischen Beobachtungen bei der Sprengung auf Helgoland am 18. April 1947 zur Erforschung des tieferen Untergrundes.* « Geol. Jb. », 64, S. 204-242, (Hannover/Celle 1950).
- (14) WIECHERT, E., *Seismische Beobachtungen von Steinbruchsprengungen.* « Z. Geophysik », 5, 159-162, (Braunschweig 1929).
- (15) WOLFF, W., *Geophysikalische Beiträge zur Erforschung des tieferen Untergrundes des Rheinischen Gebirges.* « Geol. Rundschau », 45, H. 1, 186-196, (1957).