Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure

Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure

Band: 22 (1955-1956)

Heft: 62

Artikel: Seismische Charakterisierung einiger Molassetypen durch Messungen am Anstehenden

Autor: Röthlisberger, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-188024

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. Ing., Vol. 22, Nr. 62, S. 52–56, 31. Aug. 1955

Seismische Charakterisierung einiger Molassetypen durch Messungen am Anstehenden

von Hans RÖTHLISBERGER, Zürich

1. Die seismische Geschwindigkeit als charakterisierender Zahlenwert und Bestimmungsmöglichkeiten dieser Geschwindigkeit

Die seismischen Methoden werden in der angewandten Geophysik vorwiegend dazu gebraucht, um die Geometrie geologischer Strukturen zu bestimmen. Dabei wird von der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Wellen in verschiedenen Gesteinen Gebrauch gemacht. Einfachheitshalber sei diese Ausbreitungsgeschwindigkeit seismische Geschwindigkeit genannt. Im häufigeren Falle, wo Longitudinalwellen betrachtet werden, soll sie mit v bezeichnet werden, im Falle von Transversalwellen mit v_t . Im allgemeinen wächst die seismische Geschwindigkeit mit der Dichte eines Gesteins, doch gilt diese Beziehung nicht streng. Außerdem kommen bestimmten Gesteinsarten gewisse Geschwindigkeitbereiche zu, wobei natürlich starke Überlappungen vorkommen, so daß in den seltensten Fällen aus einer gegebenen Geschwindigkeit auf ein bestimmtes Gestein geschlossen werden kann. So kann z. B. derselbe v-Wert in einem Sandstein oder Kalk gefunden werden. Für die Bestimmung der Geometrie von Strukturen ist nur die Kenntnis der Geschwindigkeiten, nicht der entsprechenden Gesteinsarten nötig. In den letzten Jahren sind nun aber Geräte entwickelt worden, die auf ganz kurze Distanz (1.50 m) die Messung von v- und v -Werten in Bohrlöchern erlauben und der Bestimmung von Bohrloch-Korrelationen dienen. Damit ist ein stark vermehrtes Interesse nach den Beziehungen zwischen seismischer Geschwindigkeit und Gesteinsart wach geworden.

Die folgenden Ergebnisse werden Bestandteile meiner Dissertation bilden, in der versucht wird, einigen Beziehungen zwischen Gesteinsart und seismischer Geschwindigkeit in schweizerischen Molassegesteinen nachzuspüren. Die Arbeiten wurden am Institut für Geophysik vom Sommer 1948 bis Frühjahr 1954 unter Herrn Prof. Gassmann durchgeführt. Am Anfang der Untersuchungen war es nicht leicht, zu entscheiden, welcher Weg zur Messung seismischer Geschwindigkeiten eingeschlagen werden sollte. Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten: Messungen an Gesteinsproben oder am Anstehenden. Erstere sind im Labor relativ leicht zu verwirklichen, indem Gesteinsstäbe zu Schwingungen angeregt werden. Es hat sich aber aus dem Studium der Literatur und durch eigene Messungen bald gezeigt, daß in seismischem Sinn ungestörte Proben fast nicht hergestellt werden können; so ist durch einen einzigen Schnitt längs eines Stabes aus Ostermundigersandstein der v-Wert um 4 % gesenkt worden. Das Hauptgewicht ist daher auf die Felduntersuchungen gelegt worden. Im Zeitpunkt des Beginns der Untersuchungen war zwar die Möglichkeit von Laufzeitmessungen auf fast beliebig kurze Distanz schon vorauszusehen, doch konnte

auch im Rahmen einer allgemeinen Apparatur für Refraktionsseismik und Erschütterungsmessungen (Weber 1951) den speziellen Forderungen zur v-Bestimmung am Anstehenden Rechnung getragen werden. Gegenüber einer normalen Refraktionsapparatur ergab sich der Vorteil, daß leichte Geophone zur Verfügung standen, die sich in beliebiger Lage montieren ließen (in Form von Piezokristall-Beschleunigungsmessern), und daß mit Hilfe einer schnell rotierenden Trommel, auf der ein in sich geschlossenes Band von Oszillographenpapier aufgezogen wurde, wesentlich höhere Registriergeschwindigkeiten erzielt werden konnten, als mit einem normalen Registriergerät mit durchlaufendem Registrierstreifen. Die Möglichkeit, seismische Geschwindigkeiten auf der kurzen Distanz von wenigen Metern genau zu messen, erwies sich als Voraussetzung für einen Großteil der Untersuchungen, und das aus folgendem Grund: Es ist seit langem bekannt, daß die Verwitterungszone niedrige seismische Geschwindigkeiten zeigt, die äußerst stark variieren. Um für ein Gestein in frischem Zustand verbindliche Werte direkt zu messen, ist man also auf Bohrlöcher, Stollen oder frische Aufschlüsse an der Oberfläche angewiesen. Daß hierbei nur selten größere Strecken in einheitlichem Gestein zur Verfügung stehen, braucht nicht erläutert zu werden.

2. Seismische Geschwindigkeit und Grundwasserführung in Ostermundigen

Als besonders geeignet für eine intensive seismische Untersuchung hat sich der große Steinbruch von Ostermundigen erwiesen (Koordination : X = 199 900, Y = 604 250). Er weist äußerst große ebene Gesteinsfronten auf, die relativ jung sind — der Steinbruchbetrieb war in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts in vollster Blüte. Außerdem boten sich sehr ruhige Arbeitsbedingungen, da jeweils nur zwei Arbeiter mit dem Abbau beschäftigt waren. Es wurden 5 horizontale Profile von durchschnittlich 20 m Länge und ein vertikales Profil von 23 m Länge abgesteckt, die alle mit 4—5 Beschleunigungsmessern in regelmäßigen Abständen besetzt wurden. Besonders interessante Verhältnisse zeigten sich auf einem tief gelegenen Boden, auf dem grauer und blauer Sandstein gebrochen worden war. Der Ostermundiger Sandstein zeigt über dem Grundwasser gelbe, in der Uebergangszone graue und im Grundwasser blaue Färbung. Letztere ist durch Glaukonit bedingt, der im grauen Sandstein teilweise und im gelben vollständig zersetzt ist. An den übrigen Eigenschaften des Gesteins ändert sich trotz der starken Farbunterschiede wenig. Für den gelben und blauen Sandstein ergaben sich z. B. Raumgewichte von 2,193 gr/cm^3 und 2,218 gr/cm^3 und absolute Porositäten von 19,5 % und 18,0 %. Außerdem wurde die Elastizität von Stäben im Labor bestimmt, die sich aus oben erwähnten Gründen nicht mit derjenigen des anstehenden Gesteins vergleichen läßt (gestörte Verhältnisse in den Proben). Zum Vergleich von gelb und blau sind diese Schwingungsresultate jedoch wertvoll: die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Longitudinalschwingungen im Stab (von derjenigen im Raum grundsätzlich verschieden wegen der freien Querdehnung), gemittelt aus mehreren Bestimmungen, betrugen für gelb und blau 1,795 km/sec. und 1,820 km/sec., die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Torsionsschwingungen 1,27 km/sec. und 1,28 km/sec.

Diesen gut übereinstimmenden Bestimmungen an (getrockneten) Sandsteinproben standen erhebliche Unterschiede der v-Werte des Anstehenden gegenüber: 2,22 km/sec. im gelben und 3,05 km/sec. im blauen Sandstein. Die Erscheinung war umso interessanter, als beim Durchnässen von Sandsteinstäben im Labor ein gegenteiliger Effekt zu beobachten ist. Für die Geschwindigkeit in mit Grundwasser

gesättigtem Gestein gab Gaßmann (1951) eine theoretische Deutung. Nach seiner Theorie wurden die v- und v_t -Werte in der dritten Zeile der Tabelle berechnet, und zwar aus den analogen Werten des bergfeuchten Gesteins, der Porosität des trockenen Gesteins und der Kompressibilität des Wassers und einer mittleren Kompressibilität der wichtigsten im Sandstein vertretenen Mineralien. Die Frage der Wirkung von Porenfüllungen auf die v-Werte hat seither durch amerikanische Versuche in der Druckkammer (Hughes & Kelly, 1952) weitere Klärung erfahren.

Vergleichung von gemessenen und berechneten v-Werten

	gr/cm³	v km/sec.	v_t km/sec.
Messung am Anstehenden:			
Gelber Sandstein (bergfeucht)	(2.24)	2.22	1.27
Blauer Sandstein (grundwassergesättigt)	2.40	3.05	1.20
Berechnung nach der Theorie von F. Gassmann:			
Gelber Sandstein bei Wasserfüllung	2.39	2.76	1.25

3. Die hohen Geschwindigkeitswerte in den Konglomeraten

Im Durchschnitt werden für die Molasse v-Werte angenommen, die zwischen 2,5 und 4 km/sec. liegen. Bei Sorbach in der Nähe von Eggiwil im Emmental (Koord. X = 190 000, Y = 628 000) konnten nun Stellen gefunden werden, wo die Geschwindigkeit 5 km/sec. übersteigt. Die Messungen wurden längs der Emme am Fuß hoher Felswände ausgeführt, die von Konglomeraten des Burdigal-Helvet-Komplexes aufgebaut werden. Sie enthalten ungefähr zu gleichen Teilen (20 %) Gangquarze, Quarzit und Karbonate. Die Korngrößen unter 20 mm machen zirka 50 % aus, während die größten Gerölle häufig Kopfgröße übersteigen. Es ist versucht worden, die hohe Geschwindigkeit nach einer Theorie von Bruggeman (1937) über die elastischen Eigenschaften von Kugelporphyren zu deuten, indem angenommen wurde, daß Quarzite in Sandstein eingestreut werden. Die Resultate fielen jedoch unbefriedigend aus, sodaß angenommen werden muß, daß die gegenseitige Berührung der Gerölle einen wesentlichen Einfluß auf die seismische Geschwindigkeit ausübt. Es sei immerhin erwähnt, daß sich die Gerölle von größerem Durchmesser als 2 cm nur mit wenigen Prozent ihrer Oberfläche berühren.

4. Die hohen Geschwindigkeitswerte in der Nähe des Alpenrandes

Nach Ansicht von Reich (1946, 1949) steigt die seismische Geschwindigkeit in der schwäbisch-bayrischen und österreichischen Molasse gesetzmäßig mit der tektonischen Beanspruchung. Heermann (1954) dagegen schreibt die in Deutschland wiederholt beobachtete Zunahme der Geschwindigkeit gegen den Alpenrand anderen Ursachen zu, nämlich in höheren Schichten der Zunahme der Konglomerate, in tieferen Schichten der Zunahme der einstigen Überlagerung. Eine weitere Ursache zur Zunahme der durchschnittlichen Geschwindigkeiten zwischen Oberfläche und Molassebasis sieht er in der vermehrten Bedeutung der älteren Schichtglieder gegen die Alpen zu.

Leider sind von mir zu wenig Untersuchungen an einheitlichem Gestein ausgeführt worden, um den Einfluß der Tektonik oder das Fehlen desselben zu belegen. Nur von zwei weiter auseinanderliegenden Konglomeraten vergleichbarer Zusammensetzung liegen Messungen vor. In einem Bachbett im Einzugsgebiet des Ob. Frittenbachs (Koord. X = 202 300, Y = 627 200) wurden Konglomerate des Tortons untersucht, die sehr ähnliche Zusammensetzung zeigen wie die erwähnte (burdigal-helvete) Nagelfluh bei Sorbach. Gegenüber dieser zeigten sie merklich tiefere v-Werte, nämlich von ca. 3,7 km/sec., die der höheren stratigraphischen Lage oder der weiteren Entfernung von tektonischen Störungen zugeschrieben werden mag.

Der Plattensandstein von Bäch und der Ostermundiger Sandstein sind zu verschieden, um direkt miteinander verglichen zu werden. Immerhin haben sie ähnliches Alter (beide Burdigalien) und zeigten vermutlich einst ähnliche Ueberdeckungen in der Größenordnung von 1000 m. Daher ist es auffallend, daß der für Sandstein sehr hohe v-Wert von 4,5 km/sec. und die deutlich bemerkbare tektonische Beanspruchung bei Bäch zusammen fallen (Schiefstellung der Schichten um 30°).

5. «Homogenität»

Dadurch daß ein Gestein aus einem Gemisch von unterschiedlichen Mineralien und Poren aufgebaut ist, kann es zum vornherein nur statistisch homogen sein. Die Homogenität gilt dabei nur für genügend große Proben; sehr kleine Proben können sich wesentlich unterscheiden. Werden zur Charakterisierung des Gesteins zahlenmäßige Werte angegeben, so läßt sich der Grad der Homogenität — besser der Inhomogenität — für eine bestimmte Probengröße ebenfalls zahlenmäßig fassen, z. B. als mittlere quadratische Abweichung. Für ein rein statistisch aus einem Mineralgemisch aufgebautes Material wäre die Streuung gesetzmäßig mit der Probengröße verknüpft. Bei Gesteinen wird man dagegen fast immer feststellen können, daß sich größere unterschiedliche Gebilde aufbauen — Linsen und Schichten z. B. —, die nun wieder in mehr oder weniger zufälliger Anordnung größere Gesteinspartien formieren. Damit ist die Beziehung zwischen der Streuung von Messungen und der Probengröße nicht mehr zum vornherein angebbar und sollte zur völligen Beschreibung der Inhomogenität experimentell bestimmt werden. Dort, wo genügend seismische Profile gelegt worden waren, konnte die statistische Inhomogenität in den v-Werten ermittelt werden. Durch Auswertung verschieden langer Meßstrecken derselben Profile ergab sich z. B. für den Ostermundiger Sandstein für die 5 m-Strecken eine mittlere quadratische Abweichung von 9 %, für die 10 m-Strecken eine solche von 7,5 %. Für die Nagelfluh bei Sorbach wurden innerhalb einzelner Felssporne Streuungen in der gleichen Größenordnung festgestellt, über größere Gebiete ungefähr doppelt so starke.

6. Folgerungen für seismische Tiefensondierungen

Die v-Werte erstrecken sich über einen unerwartet großen Bereich, was dafür spricht, daß Reflexionen innerhalb der Molasse erwartet werden dürfen. Dabei ist allerdings nicht zu vergessen, daß die höchsten Werte viel näher am Alpenrand gefunden wurden als die niedrigsten, sodaß die Gesteine mit den größten Gegensätzen nicht oder nur äußerst selten im Kontakt stehen — doch sind sicher genügende Gegensätze für gute Reflexionsbedingungen vorhanden.

Im süddeutschen Molassebecken hat sich die starke Zunahme der Geschwindigkeit gegen den Alpenrand zu bei Refraktionsuntersuchungen nachteilig ausgewirkt, indem sich der Geschwindigkeitsgegensatz zwischen Molasse und Mesozoikum zu stark verkleinerte. Die gleichen Schwierigkeiten sind in der Schweiz mit Sicherheit zu erwarten.

Besonders hinderlich für erfolgreiches seismisches Sondieren, vor allem in Alpenrandnähe, muß sich der erstaunlich hohe Inhomogenitätsgrad von geologisch homogen erscheinenden Gesteinen auswirken. Ohne genügende Anschlußbohrungen ist daher eine zuverlässige seismische Ermittlung der Geometrie des Untergrundes in konglomeratreichen Gebieten kaum denkbar. Für die Geophysiker wartet in der Sondierung des Molassebeckens sicher keine leichte, aber eine umso interessantere Aufgabe.

Literaturverzeichnis

Bruggeman, D. A. G. (1937), Berechnungen verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen. III. Die elastischen Konstanten der quasi-isotropen Mischkörper aus isotropen Substanzen. Ann. d. Phys., 5. Folge, Vol. 29, S. 160–178.

Gassmann, F. (1951), Über die Elastizität poröser Medien. Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich, Vol. 96, S. 1–23.

Heermann, O. (1954), Erdölgeologische Grundlagen der Aufschlußarbeiten im ostbayrischen Molassebecken. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., Vol. 21, No. 60, S. 5–22.

Hughes, D. S. & Kelly, J. L. (1952), Variation of elastic wave velocity with saturation in sandstone. Geophysics, Vol. 17, S. 739–752.

Reich, H. (1946), Über das elastische Verhalten des Tertiärs im Alpenvorland. Naturwiss., Vol. 33, S. 345–347.

— (1949), Geophysikalische Probleme im bayrisch-schwäbischen Donau-Raum. Erdöl & Kohle, Vol. 2, No. 3, S. 81–87.

Weber, M. (1951), Eine neue Erschütterungsmessapparatur und ihre Anwendung. Schweizer Archiv, Vol. 5, S. 129–139.

Manuskript eingegangen am 4. Juli 1955