

ANREGUNG UND EMPFANG VON FLÖZWELLEN DES LOVE-TYPS

VON

H. RÜTER*)

EINLEITUNG, THEORETISCHE ÜBERLEGUNGEN

Da die Geschwindigkeit, mit der sich seismische Wellen in Kohle ausbreiten, wesentlich kleiner ist als die Geschwindigkeiten in den Nebengesteinen, sind Kohleflöze aus der Sicht des Seismikers „Kanäle niedriger Geschwindigkeit“.

An derartige Kanäle können seismische Wellen, die innerhalb des Kanals erzeugt wurden, gebunden werden, so daß sie sich als „geführte Welle“ oder „Kanalwelle“ innerhalb der Schicht niedriger Geschwindigkeit 2-dimensional ausbreiten. Th. Krey hat 1963 als erster erkannt (Krey, 1963), daß diese Wellen, jetzt „Flözwellen“ genannt, ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zur Vorerkundung tektonischer Störungen in Steinkohleflözen sind.

Die Theorie der Flözwellen unterscheidet – nach der Geometrie der Teilchenschwingungen relativ zu den Grenzflächen des Flözes und zur Ausbreitungsrichtung der Wellen – zwischen Flözwellen vom Rayleigh-Typ und solchen vom Love-Typ, jeweils sowohl in symmetrischer als auch in asymmetrischer Form.

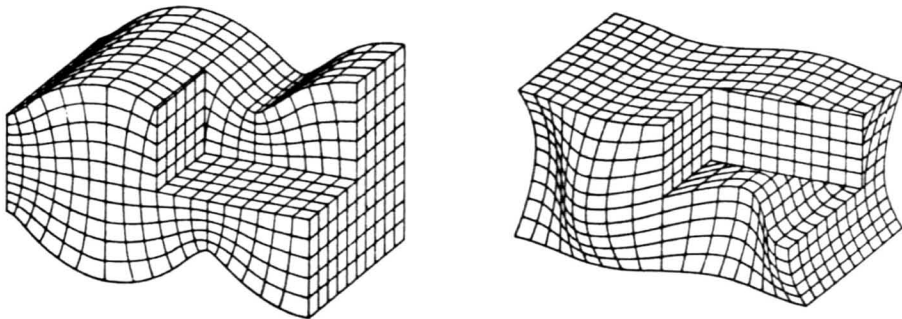


Abb. 1 Teilchenbewegung bei Flözwellen des symmetrischen Rayleigh-Typs (links) und des symmetrischen Love-Typs (rechts) (nach Arnetzl, 1978)

Die einfachste Form ist die Flözwelle des symmetrischen Love-Typs, auf die wir uns hier beschränken. Dies hat zur Folge, daß es genügt, die beiden Horizontalkomponenten der Welle in der Mittenebene des Flözes zu beobachten. Hier hat die Horizontalkomponente ihre Maximalamplitude, und die Amplitude der Vertikalkomponente ist null.

Die mathematische Behandlung zerlegt diese Flözwelle noch in eine unendliche Zahl von „Moden“, entsprechend den Grund- und Oberschwingungen des Flözes. Nur die Grundmode fällt jedoch in einen Frequenzbereich, der für praktische Messungen in Frage kommt.

Die Theorie der Flözwellenausbreitung zeigt, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeiten frequenzabhängig sind. Sie nehmen, beginnend mit der Scherwellengeschwindigkeit des Nebengesteins bei niedrigen Frequenzen, mit steigender Frequenz ab, bis zur Scherwellengeschwindigkeit der Kohle. Gleichzeitig bedingt diese Dispersion eine Differenzierung zwischen Phasen- und Gruppengeschwindigkeit.

Wie eine Darstellung der Dispersion als Dispersionskurven z.B. in Abbildung 2 zeigt, hat die Kurve der Gruppengeschwindigkeit ein ausgeprägtes Minimum, das von besonderer Bedeutung ist. Hier breitet sich Energie in einem breiteren Frequenzband etwa gleich schnell aus und überlagert sich somit zu den relativ großen

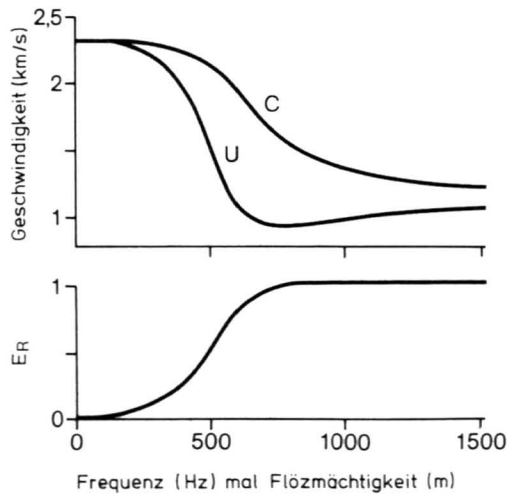


Abb. 2 Dispersionskurve der Grundmode der symmetrischen Flözswelle vom Love-Typ (C = Phasengeschwindigkeit, U = Gruppengeschwindigkeit), und das Verhältnis E_R der kinetischen Energie der Flözwellen innerhalb des Flözes zur Gesamtenergie der Flözwellen

Amplituden der sogenannten Airy-Phase. Die unterste in Abbildung 2 dargestellte Kurve zeigt den Anteil der innerhalb des Flözes transportierten Energie im Verhältnis zur Gesamtenergie. Modellseismische Arbeiten von Dresen und Freystätter (Dresen und Freystätter, 1978) fordern für den praktischen Einsatz der Flözwellenseismik, daß E_R größer als 0,5 ist. Auch diese Forderung weist auf die besondere Bedeutung der hochfrequenten Airy-Phase hin.

Noch deutlicher als in den Dispersionskurven kann die Ausbreitung von Flözwellen durch synthetische Seismogramme beschrieben werden. Schott (Schott, 1980, pers. Mitteilung) hat derartige Seismogramme mit der Reflektivitätsmethode (z. B.: Fertig und Müller, 1978 oder Schott, 1979) berechnet. Die Ergebnisse in Abbildung 3, Teil A, zeigen, wie die Flözswelle mit zunehmendem Laufweg auseinanderfließt. Am Ende des jeweiligen Schwingungszuges taucht die Airy-Phase mit hohen Frequenzen und großen Amplituden auf. Teil B der Abbildung zeigt, wie sich die Airy-Phase durch einfache Frequenzfilterung isoliert darstellen läßt. Auffallend ist, daß die Airy-Phase, isoliert betrachtet, nicht mehr auseinanderfließt, sondern in

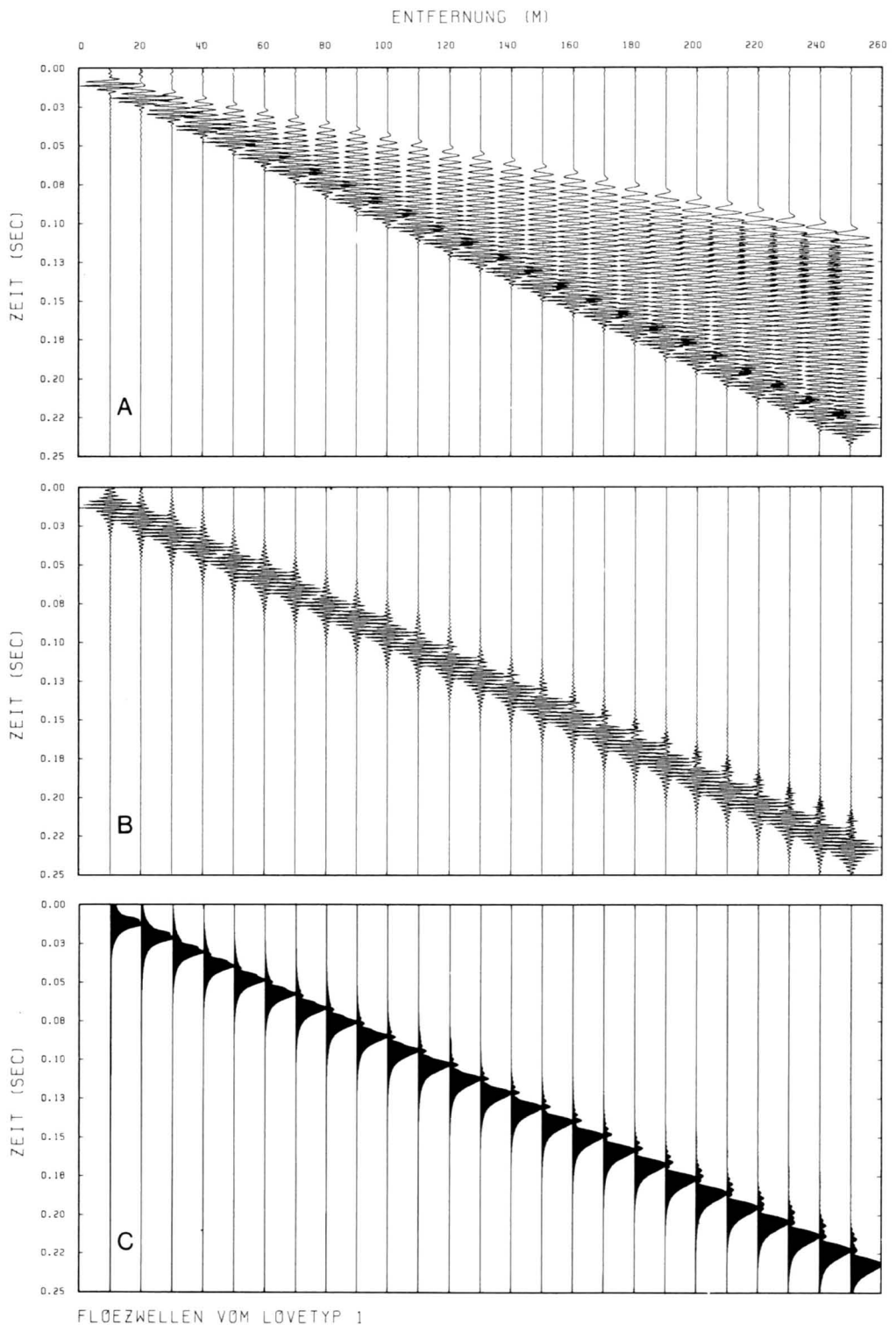


Abb. 3 Synthetische Durchschallungsseismogramme der Grundmode des symmetrischen Love-Typs
 A. ungefiltert
 B. gefiltert zur Separation der Airy-Phase
 C. Darstellung der Einhüllenden der Airy-Phasen

ihrer Gesamterscheinung fast unabhängig vom Laufweg ist. Durch Bildung der Einhüllenden der Airy-Phase läßt sich ein relativ kurzer einseitiger Impuls erzeugen, der zwar niederfrequent ist, sich aber zur Störungsortung sicherlich wesentlich besser eignet, als der lange, dispergierende Wellenzug aus Teil A der Abbildung. Es scheint, daß durch eine gute Separation der Airy-Phase zusammen mit der Bildung der Einhüllenden die negativen Einflüsse der Dispersion so weit gemindert sind, daß anderen Maßnahmen, wie der Rekompensation, nicht die ursprünglich gesehene Bedeutung zukommt (Mason, Buchanan and Booer, 1980 oder Beresford-Smith and Mason, 1980).

Aufgabe von Anregung und Empfang der Flözwellen ist es demnach:

1. Flözwellen der Grundmode des Love-Typs bevorzugt anzuregen, und zwar hauptsächlich innerhalb des Frequenzbandes des Gruppengeschwindigkeitsminimums (Airy-Phase),
2. die beiden Horizontalkomponenten der Flözwellen in Flözmitte bevorzugt im Frequenzband der Airy-Phase aufzuzeichnen.

Gemeinsam ist beiden Problemkreisen die richtige Wahl des Frequenzbandes. Die Lage des die Airy-Phase bildenden Minimums der Gruppengeschwindigkeit ist der Flözmächtigkeit umgekehrt proportional, so daß die Airy-Phase bei geringmächtigen Flözen hochfrequenter ist als bei mächtigen Flözen. Sogenannte Durchschallungsmessungen – wobei Schußpunkt und Geophonpunkt in unterschiedlichen Strecken liegen, so daß sich die Welle direkt vom Schuß zu den Geophonen ausbreiten kann – haben gezeigt, daß in den Flözwellenseismogrammen hochfrequente Schwingungsanteile im Frequenzband zwischen 400 und 1000 Hz anzutreffen sind. Hierzu zwei Beispiele:

Abbildung 4 zeigt eine Analyse des Frequenzinhaltes von Durchschallungsmessungen in Abhängigkeit vom Laufweg der Welle in Form von 4 Kurven. Die mit „Maxi-

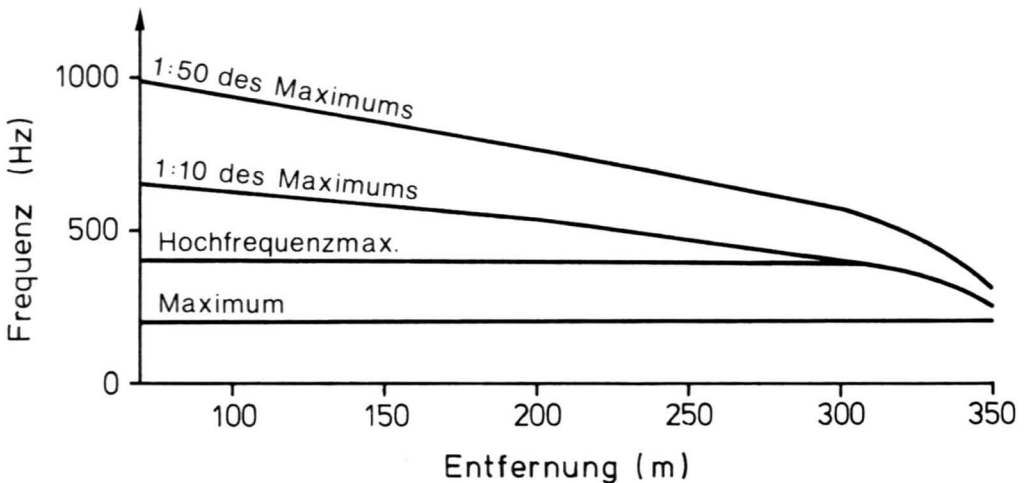


Abb. 4 Frequenzinhalt von Durchschallungseismogrammen in Abhängigkeit vom Laufweg

„Hochfrequenzmaximum“ bezeichnete Kurve gibt den niederfrequenten laufwegunabhängigen Frequenzschwerpunkt einer P-Leaky-Mode wieder und ist hier uninteressant. Die Kurve „Hochfrequenzmaximum“ zeigt den ebenfalls laufwegunabhängigen Frequenz-

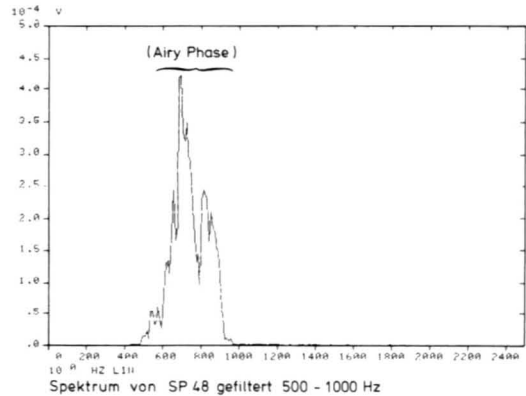
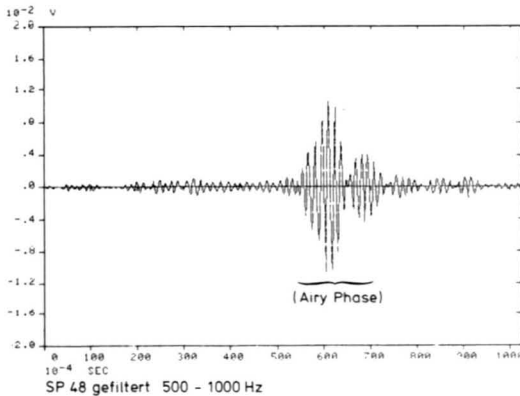
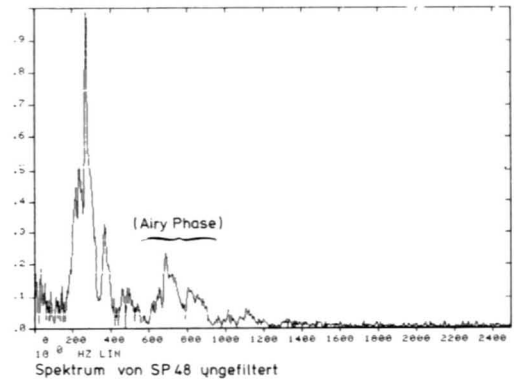
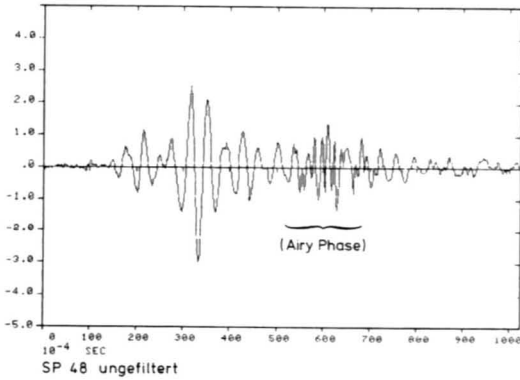
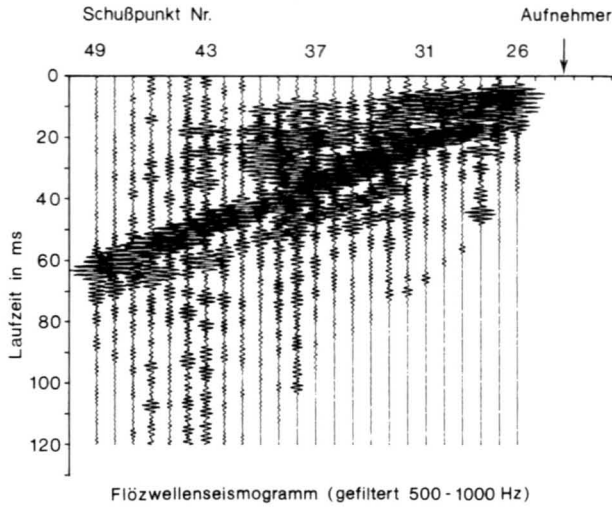


Abb. 5 Transmissionseismogramme gefiltert mit einem Bandpaß 500 Hz–1000 Hz (oben) und typische Spektren einer Spur

schwerpunkt der Airy-Phase, hier bei etwa 400 Hz. Die beiden restlichen Kurven zeigen den Abfall wesentlicher hochfrequenter Energieanteile der Airy-Phase mit zunehmendem Laufweg.

Abbildung 5 zeigt ein Transmissionsseismogramm mit sehr hochfrequenten Schwingungen und Spektren einer der Spuren (Schepers, Gelbke, 1980). Auch hier wird deutlich, daß die interessierenden Schwingungsanteile der Airy-Phase Frequenzen zwischen 400 und 1000 Hz haben. Bei beiden Messungen war das Abtastintervall 0,2 ms. Bei Routinemessungen wird heute meist ein Abtastintervall von 0,5 ms verwendet, wobei die sehr steilen Anti-Alias-Filter auf 720 Hz eingestellt sind. Es ist dabei zu erwarten, daß Schwingungsanteile mit Frequenzen zwischen 500 und 720 Hz durch den Phasengang der Filter in ihrer Signalform stark verfälscht werden. Apparative Neuentwicklungen sollten auf jeden Fall ein Abtastintervall von 0,25 ms vorsehen.

ANREGUNG VON FLÖZWELLEN DES LOVE-TYPS

Der Problembereich der Anregung von Flözwellen des Love-Typs zerfällt in zwei Gruppen

- Erzeugung von Wellen im „richtigen“ Frequenzbereich, was praktisch bedeutet, im Bereich möglichst hoher Frequenzen.
- Erzeugung von Wellen der „richtigen“ Polarisation, Wellen also, die in SH-Richtung polarisiert sind.

Wir wollen in diesem Zusammenhang nur auf Sprengstoff-Quellen eingehen. Mechanische Quellen, sowohl vom Typ der Impuls-Quelle als auch vom Vibratortyp sind bisher in der Flözwellenseismik nicht erprobt, auch sind die apparativen Voraussetzungen auf der Empfängerseite (Stapel- und Korrelationsmöglichkeit) noch nicht gegeben.

Beim Einsatz von Sprengstoff läßt sich die Erfahrung der hochauflösenden Seismik über Tage auf die Flözwellenseismik übertragen, wonach hochfrequente Schwingungen bevorzugt mit kleinen Ladungsmengen angeregt werden. Es liegt demnach im Interesse des Verfahrens immer mit den kleinstmöglichen Ladungsmengen (meist werden dies 100–200 g sein) zu arbeiten. Eine interessante, weitere Möglichkeit ist der Einsatz von Wettersprengschnur mit 4 g Ladungsmenge pro Meter. Die Sprengschnur kann wesentlich besser portioniert werden als Sprengstoff in Patronenform, zudem haben Experimente gezeigt, daß häufig schon 40 g Sprengschnur ausreichen, wobei hochfrequente Schwingungsanteile noch mehr bevorzugt werden.

Zur Anregung der „richtig“ polarisierten Wellen schlägt Krey (Krey, 1976) vor, eine Asymmetrie in der Umgebung des Schusses dadurch zu erzeugen, daß eine Lockerzone im Flöz durch eine Sprengung vorab erzeugt wird. Durch Kombination von 2 Seismogrammen, die jeweils mit entgegengesetzter Positionierung des Schußpunktes bezüglich der „Lockerzone“ gemessen wurden, läßt sich die Bevorzugung der SH-Welle weiter verbessern. Diese Technik hat sich bei der S-Wellen-Seismik über Tage bewährt. Unter Tage liegen noch nicht genügend Daten für eine endgültige Beurteilung vor.

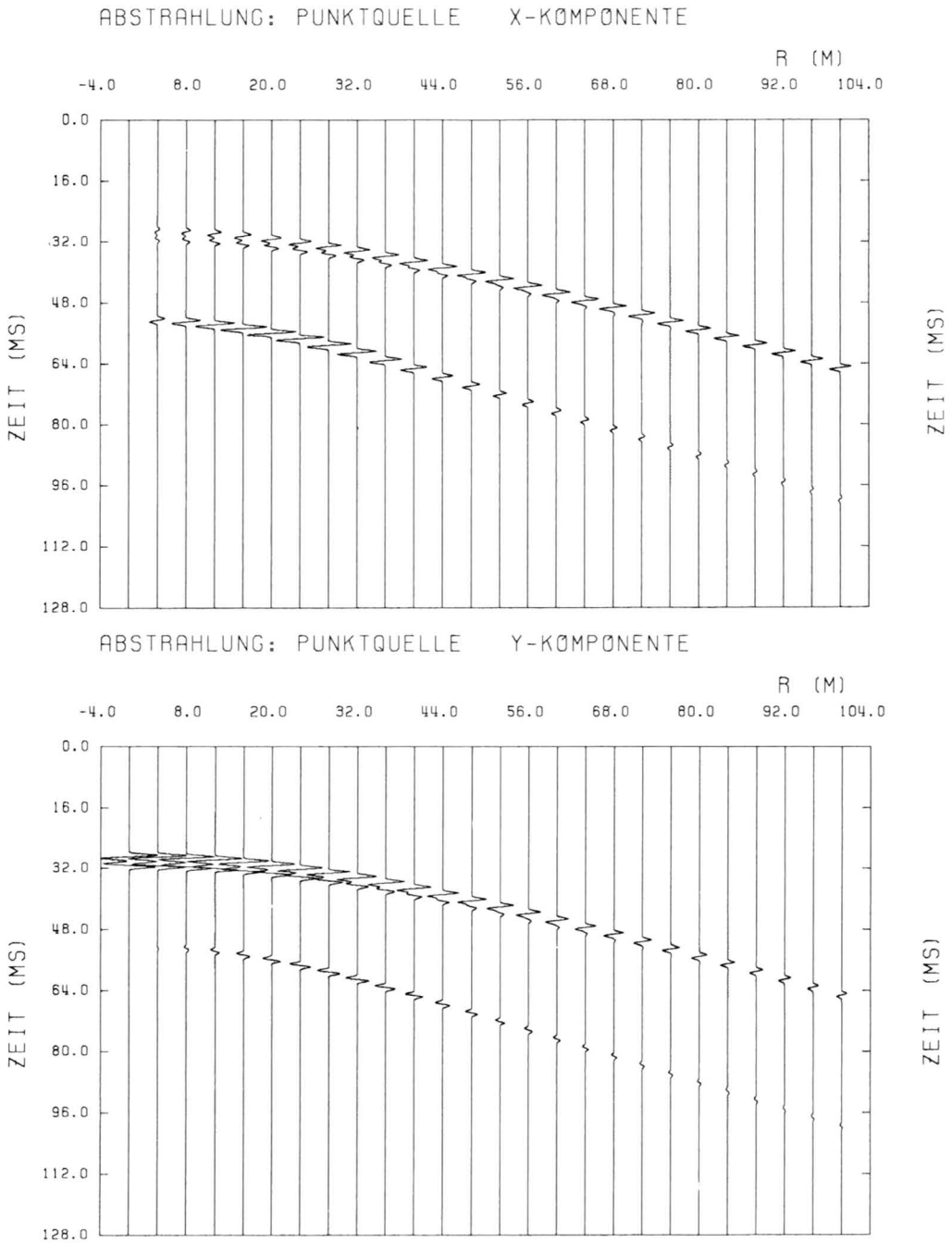


Abb. 6 Synthetische Transmissionsseismogramme zur Wirkung einer Punktquelle in der Nähe der freien Oberfläche (Kohlenstoß)

Schott hat in ausführlichen theoretischen Betrachtungen (Schott, 1979) untersucht, warum von einem normalen seismischen Schuß überhaupt SH-Wellen ausgehen. Genau wie bei dem von Krey vorgeschlagenen Verfahren kommt als Ursache nur eine Asymmetrie in der Schußumgebung in Frage. Die immer vorhandene wesentlichste Asymmetrie ist die freie Oberfläche am Kohlestoß. Der Schußpunkt liegt meist in einem Bohrloch 2–3 m hinter dieser Oberfläche. Schott zeigt in theoretischen Durchschallungsseismogrammen die Wirkungsweise dieser Schußgeometrie (s. Abb. 6). Bei einer zum Streb parallelen Beobachtungslinie in 50 m Abstand sind die P-SV-polarisierten Wellen mit kurzen Laufzeiten von den SH-polarisierten mit längeren Laufzeiten deutlich getrennt. Betrachtet man X- und Y-Komponente gemeinsam, so zeigt sich, daß SH-Wellen (Love-Wellen) bevorzugt in einem bestimmten Winkelbereich beobachtet werden können. Die Winkelabhängigkeit der Anregung von Lovewellen konnte auch bei mehreren Durchschallungsmessungen in der Praxis beobachtet werden. Die Berechnungen von Schott haben dazu geführt, daß bei Routine-Messungen der Abstand zwischen Schuß und Geophonauslage (Anlauf) abhängig von der vermuteten Entfernung und der vermuteten Streichrichtung der Störung gewählt wird. Zur Ermittlung der optimalen Geometrie dient das Nomogramm in Abbildung 7.

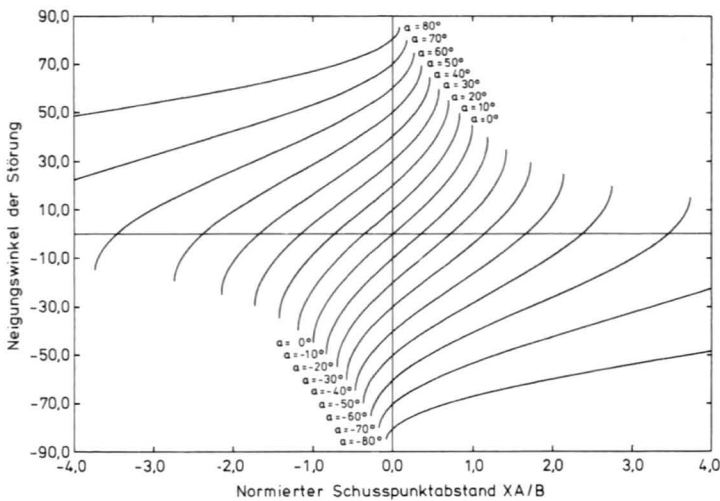


Abb. 7 Schußpunktabstand XA von der Mitte der Geophonauslage in Abhängigkeit vom Abstrahlwinkel α der Welle und vom Streichwinkel der Störung, normiert auf den Abstand B der Störung von der Mitte der Geophonauslage

Die Arbeiten von Schott zur Abstrahlung von SH-Wellen haben zu Überlegungen geführt, durch den Einsatz von Sprengschnur sowohl bezüglich des Frequenzinhaltes, als auch bezüglich der bevorzugten Abstrahlung von SH-Anteilen weitere Verbesserungen zu erreichen. Durch spiralförmiges Aufwickeln (Wendeln) von Sprengschnur auf einen Kern (Ladestock) läßt sich die „effektive Detonationsgeschwindigkeit“ in Richtung der Spiralenachse einstellen. Ist diese Detonationsgeschwindigkeit größer als die Gesteinsgeschwindigkeit (vgl. Abbildung 8), so bildet sich auf einem Kegel

eine hochfrequente energiereiche „Überschallwelle“ aus. Erfolgt nun die Zündung im Bohrlochtiefsten, so läuft diese Welle in einem durch die Spiralensteigung vorwählbaren Winkel auf die freie Oberfläche (Kohlenstoß) zu. Durch diese Methode lassen sich gleichzeitig die P-SV-Anteile durch destruktive Interferenz schwächen als auch die SH-Anteile in einem bestimmten Winkelbereich erhöhen. Abbildung 9 zeigt ein Ergebnis, das direkt mit Abbildung 6 vergleichbar ist.

Im Beispiel war die „Detonationsgeschwindigkeit“ 3000 m/s, die „Gesteinsgeschwindigkeit“ 1732 m/s und die Länge der Spirale 5 m.

Bei einem ersten praktischen Einsatz unter Tage mußte die Länge der Spirale leider auf 3 m gekürzt werden. Ein Ergebnisvergleich mit Punktschüssen in Abbildung 10 zeigt geringe Unterschiede, vielleicht jedoch eine etwas bessere Auflösung bei der Sprengschnur (Dynakord). Die Spiralenlänge von 3 m mit einer Detonationszeit von insgesamt 1 ms läßt auch kein wesentlich anderes Ergebnis erwarten. Weitere Experimente mit dieser vielversprechenden Methode sind vorgesehen.

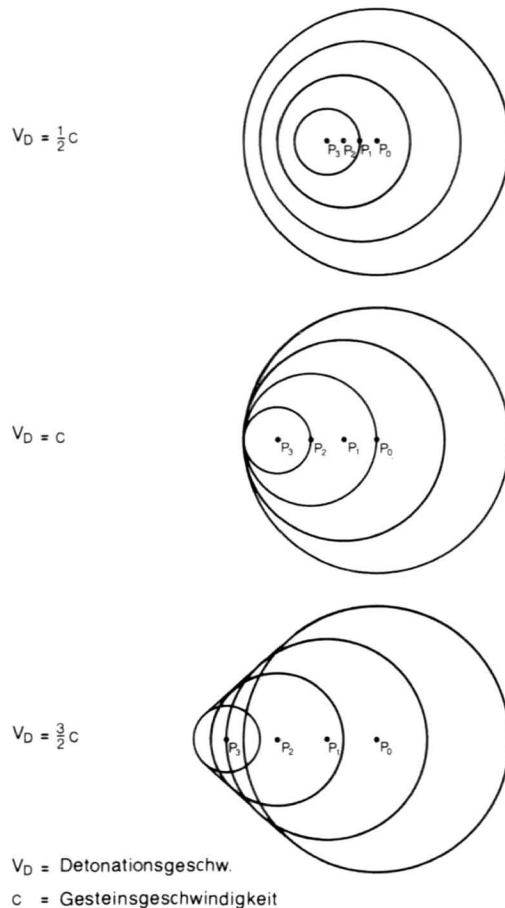


Abb. 8 Wellenfronten bei Verwendung einer gewendelten Sprengschnur (bewegte Quellen) für verschiedene Verhältnisse von Detonationsgeschwindigkeit und Gesteinsgeschwindigkeit

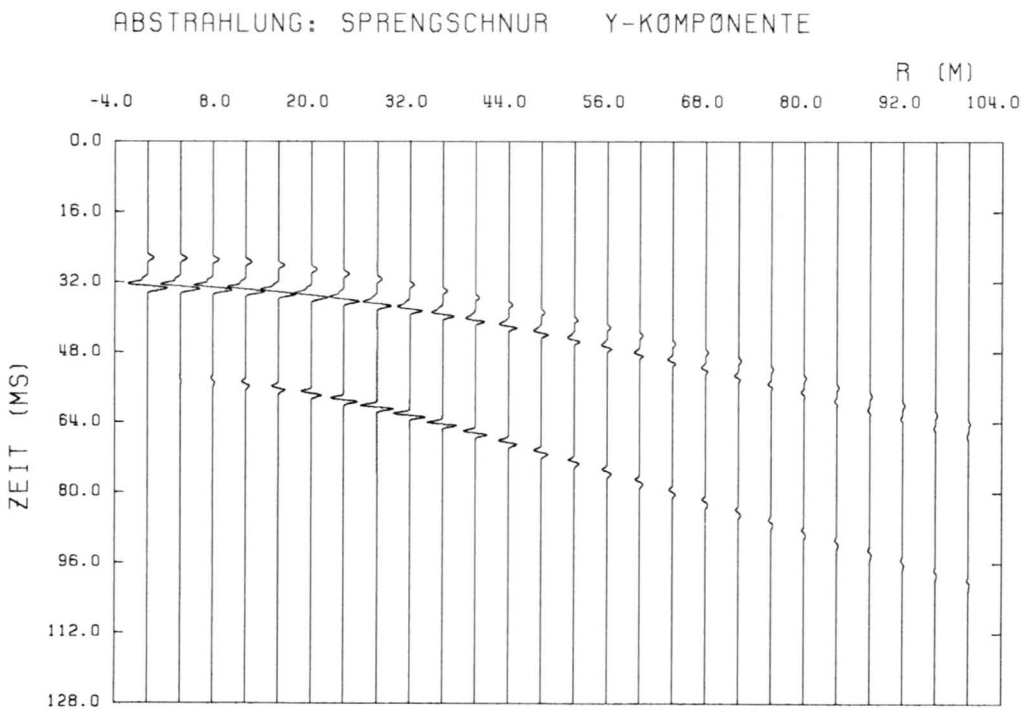
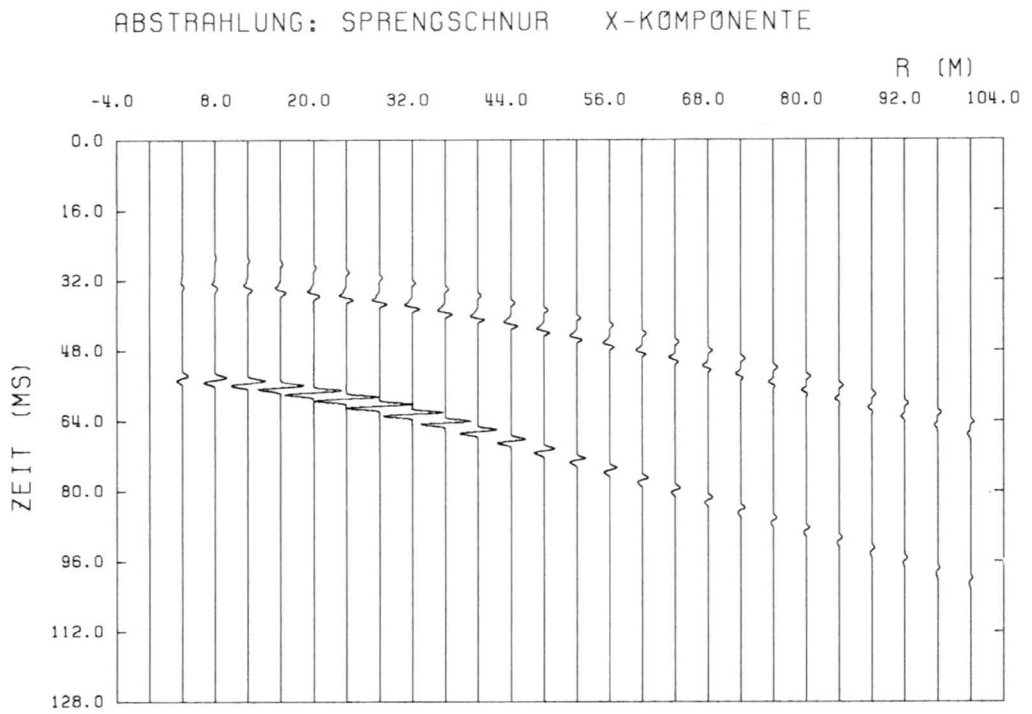


Abb. 9 Synthetische Transmissionsseismogramme zur Wirkung einer Ladung aus gewendelter Sprengschnur in der Nähe der freien Oberfläche (Kohlenstoß)

EMPFANG VON FLÖZWELLEN DES LOVE-TYPS

Da bei Flözwellenmessungen die Einfallrichtung der reflektierten Welle in der Regel nicht bekannt ist, verteilt sich die Energie der SH-Welle normalerweise auf beide H-Komponenten. Wesentlich ist es demnach, zwei orthogonale H-Komponenten in Flözmitte im Frequenzbereich von 300–1000 Hz zu messen.

Frühere Messungen mit Einkomponenten-Sonden haben dieses Problem dadurch zu lösen versucht, daß die kurzen Bohrlöcher, in die die Geophone eingelegt wurden, orthogonal zueinander (in +XY und in -XY-Richtung) gebohrt wurden. Wesentlich günstiger sind die heute ausschließlich verwendeten 2-Komponenten-Sonden, die sowohl gewährleisten, daß die Komponenten exakt senkrecht aufeinander stehen, als auch, daß beide Schwingungsanteile genau an demselben Meßpunkt beob-

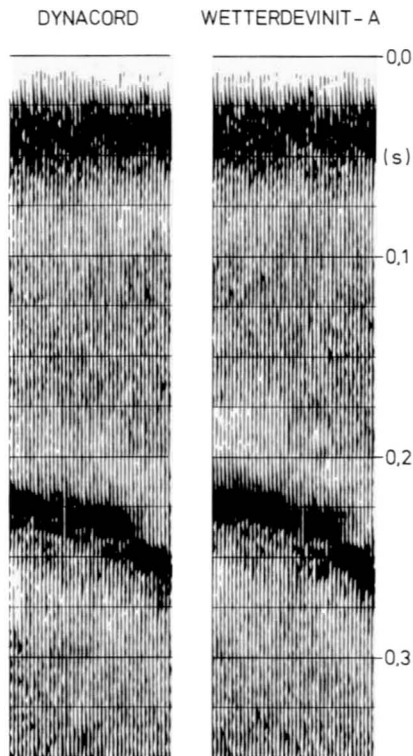


Abb. 10 Vergleich der Ergebnisse von Flözwellenmessungen mit punktförmigen Ladungen (rechts) und gewendelter Sprengschnur (links)

achtet werden.

Ein wesentliches Problem auf der Empfangsseite ist die richtige Ankopplung der Geophonsonde im Bohrloch. Die ersten wirklich hochfrequenten Flözwellenseismogramme (Abbildung 5) wurden erhalten, als die Geophone einzementiert wurden. Den Durchbruch zu hochfrequenten Aufzeichnungen bei Routinemessungen brachte eine pneumatisch mit großer Kraft im Bohrloch angepreßte Geophonsonde, die zudem sehr leicht zu handhaben ist.

Abbildung 11 zeigt den wesentlichen Gewinn an Kohärenz von Spur zu Spur, der schon bei einem ersten Einsatz eines Vorgänger-Modells der heute verwendeten Sonden erreicht wurde (Rüter, 1978).

Durch den Übergang zu hochfrequenten Signalen ist auf der Empfangsseite der Einfluß des Kohlenstoßes genauso von Bedeutung, wie bei der Anregung der Flözwellen. Schepers hat bei einer ersten, einfachen Behandlung dieses Zusammenhangs (Schepers, 1979) direkte und am Kohlenstoß reflektierte harmonische Wellen unter Beachtung der unterschiedlichen Laufwege überlagert, um das Grundproblem aufzuzeigen. Abbildung 12 stellt dar, wie die registrierten Amplituden von der „Bohrlochtiefe“ und der Frequenz abhängen. Betrachten wir die häufig verwendete Bohrlochtiefe von 2 m, so sehen wir, daß im interessierenden Frequenzbereich mehrere Maxima und Minima liegen. Besonders die scharfen Minima, an denen sich die Wellen völlig auslöschen, müssen zu empfindlichen Einbrüchen im Frequenzband registrierter Flözwellen führen.

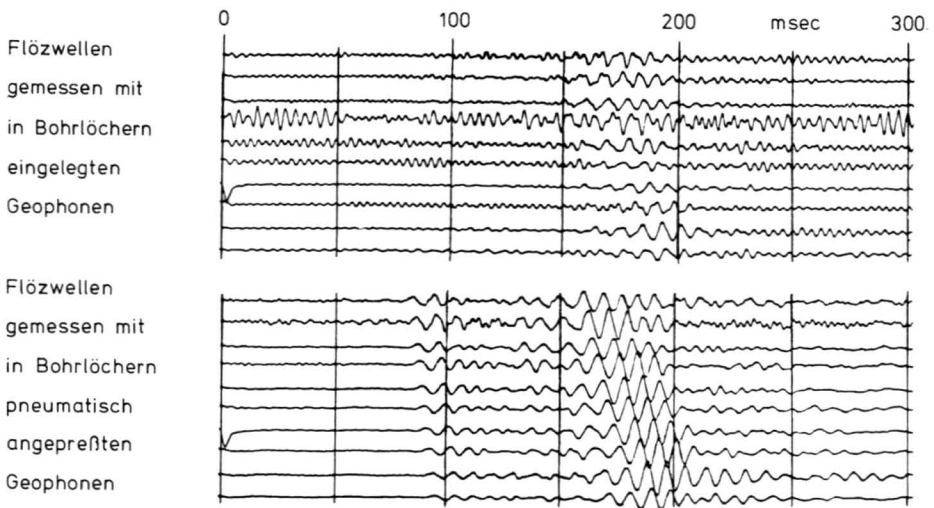


Abb. 11 Vergleich der Signalkohärenz bei Seismogrammspuren, die mit lose eingelegten und solchen, die mit pneumatisch angekoppelten Geophonen aufgenommen wurden

Abbildung 13 stellt das Ergebnis von Überlegungen dar, die dazu dienen, diesen Einfluß zu mildern. Eine Milderung ergibt sich schon bei den bisherigen Messungen durch die CDP-Stapelung, wie der linke Teil der Abbildung zeigt, da die Auslöschungsfrequenzen bei verschiedenen Einfallswinkeln etwas unterschiedlich sind. Entscheidendere Verbesserungen lassen sich aber dadurch erreichen, daß die Geophone abwechselnd unterschiedlich tief (im Beispiel der Abbildung 13, 1 m und 2 m, bzw. 1,5 m und 2 m) in die Bohrlöcher eingelegt werden. Durch diese Maßnahme wird eine völlige Unterdrückung bestimmter Frequenzen vermieden. Die verbleibende „Frequenzgewichtung“ dürfte in der Praxis von untergeordneter Bedeutung sein. Gezielte Feldversuche zur Überprüfung der von Schepers aufgezeigten Zusammenhänge und der angegebenen Gegenmaßnahmen sind angelaufen. Das Bestechende ist, daß hier eine Verbesserung wahrscheinlich ohne jeden Mehraufwand erreicht werden kann.

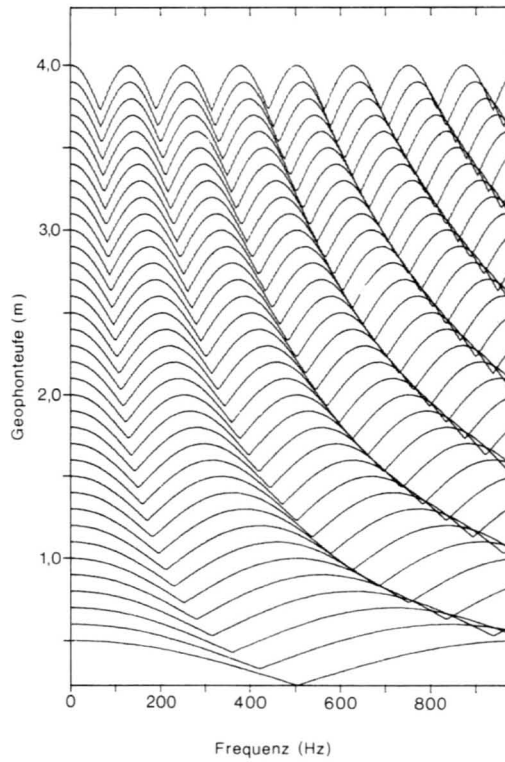


Abb. 12 Amplituden von harmonischen Wellen unterschiedlicher Frequenz gemessen in unterschiedlich tiefen Bohrlöchern hinter dem Kohlenstoß

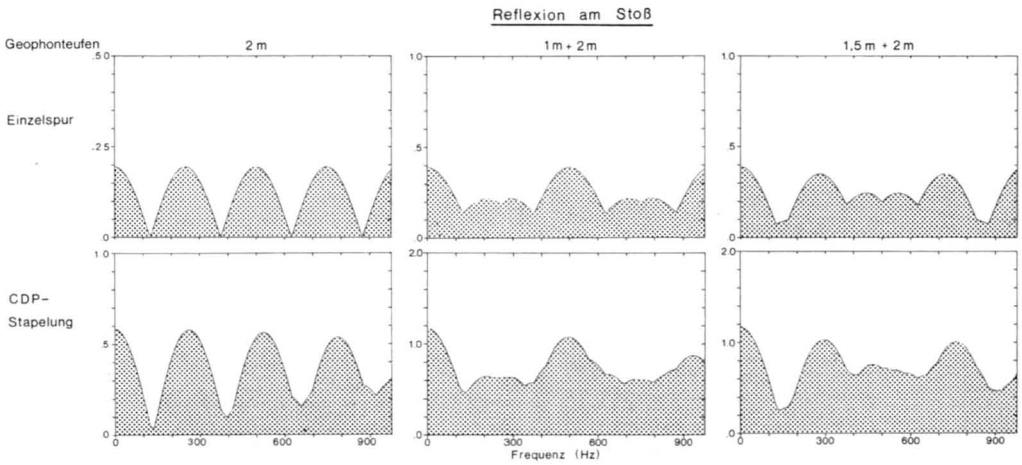


Abb. 13 Verbesserung des Frequenzinhaltes der Seismogramme durch Registrierung mit alternierenden Geophontiefen

Bei der Wahl der Flözmitte für die Meßpunkte war von einem symmetrischen Aufbau des Flözes und des Nebengesteins ausgegangen worden. Dies kommt in der Praxis nicht vor. Der realistische asymmetrische Aufbau des Flözes und seiner Umgebung bedingt unter Umständen ein Abgehen von der Flözmitte als Meßebene. Krey hat für den einfachsten möglichen Fall, nämlich für unterschiedliche Geschwindigkeiten im Hangenden und Liegenden Dispersionskurven und Amplitudenverteilungskurven für Flözwellen vom Love-Typ berechnet (Krey, 1980). In Abbildung 14 sind die von Krey berechneten Amplitudenverteilungskurven wiedergegeben. Sie zeigen zwar das erwartete „Auswandern“ des Maximums aus der Flözmitte in Richtung zum Nebengestein mit der geringeren Geschwindigkeit, das gefundene Ausmaß insbesondere für die hochfrequente Airy-Phase scheint jedoch noch kein Abgehen von Messungen in der Flözmitte zu rechtfertigen.

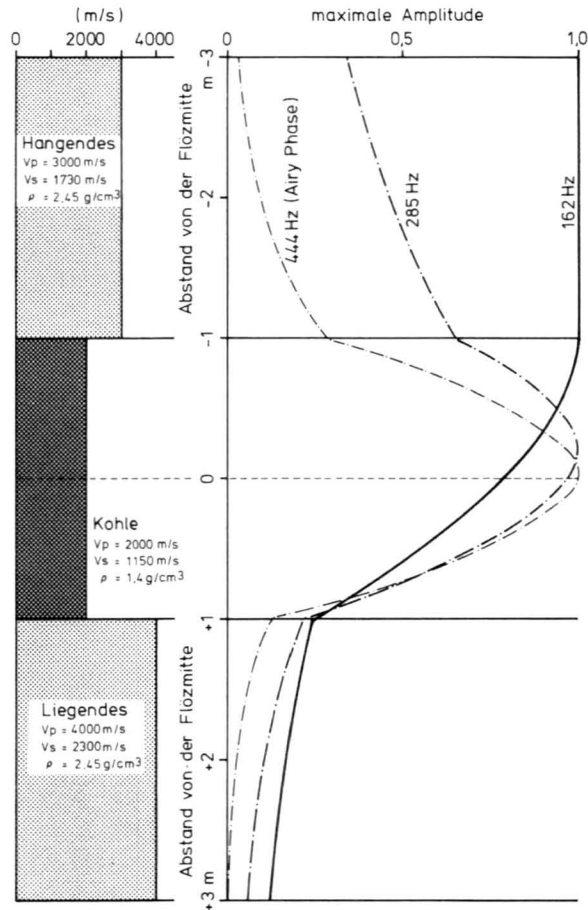


Abb. 14 Amplitudenverteilungskurve für Flöze mit asymmetrischem Nebengestein (unterschiedliche Geschwindigkeiten im Hangenden und Liegenden)

ZUSAMMENFASSUNG

Die von Krey entwickelte Flözwellenseismik mit Kanalwellen des Love-Typs ist heute ein wesentliches Hilfsmittel zur Kartierung geologischer Störungen im Vorfeld eines Abbaubetriebes im Steinkohlenbergbau. Wesentlicher Bestandteil dieses Verfahrens ist die Bevorzugung der Airy-Phase der Grundmode der symmetrischen Love-Welle. Eine Differenzierungsmöglichkeit ergibt sich bei Anregung und Empfang durch die Wahl des richtigen Frequenzbereiches und der richtigen Polarisationsrichtung. Ungeachtet der nachgeschalteten Möglichkeit der Datenbearbeitung könnten und können durch geeignete – in diesem Beitrag sicherlich nur bruchstückweise diskutierte – Maßnahmen der Feldtechnik wesentliche Verbesserungen erzielt werden.

LITERATUR

- Arnetzl, H., „Grundsätzliches über seismische Untertagemessungen mit Flözwellen im Steinkohlenbergbau“, Bericht der Prakla-Seismos GmbH, Januar 1978
- G. Beresford-Smith and I. M. Mason, „Parametric Approach to the Compression of Seismic Signals by Frequency Transformation“, *Geophysical Prospecting*, Vol. 28, pp. 551–571, 1980
- Brentrup, F., „Flözwellenseismische Vorfelderkundung“, Glückauf, Jahrgang 115, Heft 16, Essen, 1979
- Dresen, L. and S. Freystätter, „The Influence of Oblique Dipping Discontinuities on the Use of Rayleigh Channel Waves for the In-Seam Seismic Reflection Method“, *Geophysical Prospecting*, Vol. 26, pp. 1–25, 1978
- Fertig, J. und G. Müller, „Computations of synthetic seismograms with the reflectivity method“, *Geophysical Prospecting*, Vol. 26, pp. 868–883, 1978
- Mason, I. M., Buchanan, D. I. and A. K. Booyer, „Channel wave mapping of coal seams in the United Kingdom“, *Geophysics*, Vol. 45, pp. 1131–1144, 1980
- Krey, Th., „Channel Waves as a Tool of Applied Geophysics in Coal Mining“, *Geophysics*, Vol. 28, pp. 701–714, 1963
- Krey, Th., „In-Seam Seismic Exploration Technique“, *Proceedings of the first International Coal Exploration Symposium*, London, pp. 227–254, 1976
- Krey, Th., „Possibilities and Limitations of In-Seam Seismic Exploration“, *Coal Seam Discontinuity Symposium*, Pittsburgh, 1976
- Krey, Th., „Flözwellen bei ungleichem Nebengebirge im Liegenden und Hangenden“, Vortrag im Themenkreis Flözwellenseismik, Hannover, 1980
- Rüter, H., „Entwicklung und Erprobung eines pneumatisch angekoppelten Mehrkomponentengeophons für die Flözwellenseismik“, Bericht der WBK, Bochum, 1978
- Rüter, H. and R. Schepers, „In-Seam Seismic Method for the Detection of Discontinuities Applied to West German Coal Deposits“, *Proceedings of the second International Coal Exploration Symposium*, Denver, 1978
- Schepers, R., „Untersuchungen zur Geophonposition im Flöz“, Bericht der WBK, Bochum, 1979
- Schepers, R. und C. Gelbke, „Untertägige seismische Messungen mit Flözwellen und Vollraumwellen im Bergwerk WALSUM, Flöz P“, Bericht der WBK, Bochum, 1980
- Schott, W., „Die Reflektivitätsmethode für SH-Wellen in Theorie und Anwendung“, Diplomarbeit, Karlsruhe, 1979
- Schott, W., „Testmessungen zur Schußanordnung“, Bericht der WBK, Bochum, 1979