

8.4 VERTIKALES SEISMISCHES PROFIL - VSP

Ausführender: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung,
Hannover, KTB-Projektleitung, Dr. K. Bram

Lfd. Nr.	Datum	Projekt/Messung	Status
	12.10.1988		Zwischenbericht

Thema:

VSP-Messungen in der Bohrung KTB-Oberpfalz VB

Ziel:

Erkennen von Reflektoren vor dem Meißel, Vorarbeit zur Verbesserung struktureller und lithologischer Interpretation reflexionsseismischer Oberflächenmessungen insbesondere im Hinblick auf das Experiment "Integrierte Seismik KTB-Oberpfalz". Anpassen von VSP-Interpretationsverfahren an kristalline Verhältnisse.

Zusammenfassung:

In der Bohrung KTB-Oberpfalz VB wurden in den Teufenbereichen 0 - 478 m und 360 m - 2 185 m Geophonversenkmessungen bzw. ein vertikales seismisches Profil vermessen. Die Durchschnittsgeschwindigkeit der Longitudinalwelle steigt von 3 900 m/s rasch bis in eine Tiefe von etwa 150 m auf 4 860 m/s an und erreicht in 460 m Tiefe einen Wert von 5 350 m/s.

Eine erste Auswertung des VSP läßt zwei Bereiche erkennen: der obere Bereich bis etwa 0.8 s Zweiweg-Laufzeit ist durch kurze, z. T. geneigte Reflexionselemente gekennzeichnet. Im unteren Bereich ab etwa 1 s Zweiweg-Laufzeit überwiegen lange, mehr oder weniger horizontal verlaufende Reflexionen, die eher auf söhliche Lagerungsverhältnisse hindeuten.

VSP-MESSUNGEN IN DER BOHRUNG KTB-OBERPFALZ VB

Einleitung

Geophonversenkmessungen und die Registrierung vertikaler seismischer Profile (VSP) haben sich in der Kohlenwasserstoffexploration schon längst ihren festen Platz erobert. Sie liefern einerseits genauere Geschwindigkeitswerte durchteufter lithologischer Einheiten, die für eine verbesserte Bearbeitung oberflächenseismisch gewonnener Daten und damit deren Interpretation wichtig sind. Andererseits tragen sie durch Registrierung der Laufzeit nur über den halben Wellenweg zu einer sichereren Bewertung von KW-höffigen Strukturen wesentlich bei. Datenverarbeitung und Interpretation sind deshalb bis heute auf sedimentäre Verhältnisse, d. h. mehr oder weniger horizontale Schichtung ausgelegt. Über VSPs in kristallinem Environment wird dagegen bisher nur wenig in der Literatur berichtet (z. B. Weber et al., 1986; Stümpel und Gräber, 1987; Paul et al., 1987).

Die Durchführung von VSP-Messungen nicht nur als Hilfsmittel zur Untersuchung geophysikalischer Fragestellungen war bereits frühzeitig auch für die Vorbohrung eingeplant worden (Devay et al., 1986). Ein besonderes Interesse und eine begründete Notwendigkeit für die Realisierung dieses Verfahrens war allgemein anerkannt worden, als aufgrund des Bohrbefundes feststand, daß die Bohrlokation nicht nur durch steilstehende Schieferung der durchteuften Metabasite, sondern auch durch steilstehende Kataklastizone und Störungssysteme bis in Teufen von mehr als 2 000 m geprägt ist.

Für die technische Sicherheit der Bohrung wird die Bedeutung vor allem auch der Vorhersage was noch vor dem Meißel liegt, dadurch unterstrichen, daß aufgrund einer derartigen steilstehenden Kataklastizone ein Teil der Bohrausrüstung in knapp 2 000 m Teufe verloren wurde und ein side-track in 1 709 m Teufe gebohrt werden mußte. Inwieweit die an das VSP gestellten hohen Erwartungen in Zukunft erfüllt werden können, hängt in erster Linie von einer optimalen Datenbearbeitung und der Interpretierbarkeit der VSP-Daten unter kristallinen Bedingungen ab.

Im folgenden soll eine erste Bewertung der im Teufenbereich 0 - 478 m ausgeführten Geophonversenkmessung und eines im Teufenbereich 360 m bis 2 185 m gefahrenen VSP vorgenommen werden.

Geophonversenkmessung

Die Geophonversenkmessung im obersten Teufenbereich der KTB-Oberpfalz VB verfolgte zweierlei: einmal sollte im Hinblick auf das geplante Experiment "Integrierte Seismik KTB-Oberpfalz" eine für statische Korrekturen unbedingt erforderliche Geschwindigkeitstiefen-Beziehung abgeleitet werden und zum anderen sollte durch azimuthal unterschiedliche Anregung an der Oberfläche eine aufgrund der geologisch-strukturellen Situation zu erwartende Anisotropie des Wellenfeldes nachgeprüft werden. Zur Untersuchung letzterer diente eine Kreisanordnung von Geophonen an der Oberfläche mit Radius 60 m bzw. 150 m (s. Lageplan Abb. 1) und seismischer Quelle in 470 m Tiefe. Die Anregung erfolgte hierzu durch Zünder mit einer Ladung von 1 g. Als seismische Quelle an der Oberfläche diente ein Fallgewicht (Soursile), sowohl zur P- als auch SH-Wellen-Anregung. Der Geophonabstand im Bohrloch war durch den Einsatz einer aus fünf triaxialen Geophongruppen bestehenden Kette zu 25 m vorgegeben. Die Messungen wurden von der Fa. PRAKLA-SEISMOS AG im Auftrag der KTB-Projektleitung ausgeführt.

Neben den direkten P- und S-Wellen fällt eine ausgeprägte Rohrwelle sowie deren Reflexion an der Bohrlochsohle auf (Abb. 2).

Abb. 3 gibt die Laufzeitkurve (Ersteinsatz) für den Anregungspunkt HAM 1089 wieder. Die gestrichelte Linie entspricht der auf vertikalen Laufweg korrigierten Laufzeit. Die aus den Ersteinsätzen abgeleitete Durchschnittsgeschwindigkeit ist in dem eingeschlossenen Diagramm dargestellt. Oberflächenbedingte Einflüsse (Verwitterung, Schließen von Klüften durch Druckzunahme etc.) auf die Geschwindigkeit machen sich bis in eine Teufe von 150 m bis 200 m bemerkbar, wie die starke Abnahme des Geschwindigkeitsgradienten in diesem Teufenbereich zeigt.

Eine erste Auswertung der Ringauslage ergab keinen Hinweis auf eine signifikante azimuthale Geschwindigkeitsanisotropie (Kiefer et al., 1988).

Vertikales seismisches Profil

Das bei Teufe 2 200 m durchgeführte Meßprogramm beinhaltete auch die Registrierung eines vertikalen seismischen Profils. Das Profil erstreckte sich über den Bereich von 360 m bis 2 185 m. Der Geophonabstand von 25 m war wiederum durch die eingesetzte Geophonkette mit 3 Komponenten je Gruppe vorgegeben. Zur Orientierung der Geophone wurde ein Kompaß mitgeführt. Die Aufnahmelänge betrug 6 s bei einer Sampling Rate von 1 ms bzw. 0.5 ms bei Messungen mit zeitweise eingesetzter 3-Komponenten Einzelsonde.

Neben der üblichen Sprengseismik wurde auch Vibroseis (3 Vibratoren) eingesetzt, um das so gewonnene VSP später ohne großen Aufwand in das Integrierte Seismik-Experiment einbauen zu können. Die Sprengungen mit einer mittleren Ladung von 1 kg

wurden in einer Schußbohrung in 18 m Tiefe abgetan. Die Quellsignale wurden jeweils mit einem Aufzeit- und einem Abzeitgeophon mitregistriert. Letzteres ist in der Referenzbohrung VSP 1 in 60 m Tiefe eingebaut und steht für weitere Messungen zur Verfügung. Die Lage der Anregungspunkte und Referenzgeophone ist aus Abb. 1 ersichtlich. Die Messungen führte die Fa. PRAKLA-SEISMOS AG durch. Über aufgetretene technische Probleme bei der Durchführung sowie zusätzliche Rohrwellen- bzw. Biegewellenexperimente der Universitäten Kiel bzw. Karlsruhe soll an anderer Stelle berichtet werden.

Ein Ausschnitt aus einer Rohdatensektion bis zu einer Laufzeit von 1 s ist in Abb. 4 gezeigt. Das VSP ist im Teufenbereich 60 m bis 360 m durch die Geophonversenkmessung ergänzt worden. Der Ausschnitt entspricht einem Teufenbereich von rund 3 000 m und weckt wegen der derzeit erreichten Bohrteufe und den dadurch ermöglichten Korrelationen anhand des Kernmaterials besonderes Interesse.

Bedingt durch die Anregungsart ist der Frequenzinhalt der Geophonversenkmessung wesentlich kleiner als der des übrigen VSP. Eine Frequenzanalyse ergab, daß das Maximum zwischen 160 und 180 Hz liegt, mehr als doppelt soviel wie bei den Geophonversenkmessungen (Kiefer et al., 1988).

Das Auftreten der sehr hohen Frequenzen führt auch zu einem unerwünschten Effekt, dem räumlichen Aliasing, wie aus der Abb. 6 ersichtlich ist. Bei gleichbleibend hohem Frequenzinhalt muß deshalb bei zukünftigen Messungen ein Meßpunkt- abstand von kleiner 15 m angestrebt werden.

Die Rohdatensektion umfaßt sowohl das abwärts als auch das aufwärts laufende Wellenfeld. Klar sind als Ersteinsatz die direkte P-Welle und etwas schwächer ausgeprägt die S-Welle zu erkennen. Der Laufzeitbereich bis etwa 0.8 s kann als relativ transparent bezeichnet werden. Nur vereinzelt lassen sich kurze Reflexionszüge korrelieren mit zum Teil steilem, d. h. nahezu zeitkonstantem Verlauf. Scharweise treten dagegen ab etwa 0.8 s Reflexionselemente im aufwärts laufenden Wellenfeld auf. Ihre Neigung ist identisch, wenn auch entgegengesetzt mit derjenigen der P-Welle. Wenngleich sie auch nicht bis zum Ersteinsatz durchkorreliert werden können, zeigen sie somit das typische Verhalten von horizontalen Reflektoren.

Der durch steilstehende Störungssysteme, überwiegend fast steile Foliation der Gneise und Metabasite und vermutlich auch steilstehende lithologische Grenzen durchteufte Bereich des Kristallins der Oberpfalz wirft die Frage auf, welches Reflexionsmuster zu erwarten ist. Abb. 5a zeigt ein einfaches Modell mit je einem horizontalen (1), geneigten (2) und vertikalen (3) Reflektor. Die V_p -Geschwindigkeit ist konstant gleich 6 000 m/s. Die entsprechenden Einweglaufzeiten sind in der Abb. 5b wiedergegeben. Neben der für söhlige Lagerung typischen linearen Laufzeitkurve (1) zeichnen sich die anderen Laufzeitkurven durch Krümmung aus. Um VSP-Daten mit Oberflächenreflexionsseismik vergleichen zu können, werden sie im

allgemeinen in Zweiweg-Laufzeiten umgerechnet. Abb. 5c zeigt die entsprechende Darstellung. Die Laufzeitkurve eines s hlichen Reflektors wird dadurch in eine horizontale, zeitkonstante Gerade transformiert und die Krümmung der Laufzeitkurve eines geneigten Reflektors stärker betont.

Um Reflexionen deutlicher hervorzuheben, ist die Datenverarbeitung beim VSP vor allem darauf ausgerichtet, eine Trennung des aufw rtslaufenden Wellenfeldes vom abw rtslaufenden zu erreichen und das Ergebnis als Zweiweg-Laufzeit-Sektion darzustellen. Abb. 6 zeigt eine nach entsprechender Datenverarbeitung (Dekonvolution, Zero-Phase Transformation, FK-Filterung) erhaltene Zweiweg-Sektion (abgebildet bis 1.9 s). Die Laufzeitkurven der direkten Wellen sind stark durch räumliches Aliasing beeinflusst. Der hohe Energieanteil der S-Welle ist merklich verringert worden, sodaß im Laufzeitbereich bis etwa 0.7 s einige Reflexionen gut erkennbar sind; so z. B. ein kurzes Band bei etwa 0.34 s und eine, wenn auch nur schwach ausgeprägte Reflexion beginnend bei 0.58 s und sich bis etwa 0.65 s durchziehend. Ansonsten überwiegen, wie oben bereits angemerkt, kurze nur über wenige Spuren korrelierbare Reflexionselemente.

Bei etwa 1 s Zweiweglaufzeit häufen sich Reflexionsbänder, die sich teilweise fast über den gesamten vermessenen Teufenbereich korrelieren lassen. Ihr Verlauf deutet auf mehr oder weniger s hlig gelagerte Reflektoren hin. Der etwa einer Tiefe von 3 000 m entsprechende Bereich ist in der Zwischenzeit durchbohrt worden. Eine nennenswerte Änderung der Lithologie konnte nicht festgestellt werden. Auffallend ist jedoch, daß in dem Tiefenbereich von rund 2 900 m bis etwa 3 200 m die Foliation der Gneise flach einf llt - zwischen 0 und 30  - gegenüber dem sonst angetroffenen Einfallen von über 50 . Inwieweit hierin die Ursache für die Reflexionen zu sehen ist, muß noch weiter verfolgt werden.

Fast über den gesamten Teufenbereich lassen sich Reflexionsbänder bei etwa 1 s verfolgen. Zwischen 1.2 s und 1.4 s liegen wieder mehrere, z. T. leicht geneigte Reflexionselemente. Ein weiterer Bereich mit nahezu horizontal verlaufenden Reflexionen folgt ab 1.75 s.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der obere Laufzeitbereich bis etwa 0.8 s durch kurze, zum Teil geneigte Reflexionselemente gekennzeichnet ist. Dies ist sicherlich eine Folge der komplizierten und überwiegend steilstehenden geologisch-strukturellen Verhältnisse, was zu einer Streuung und möglichen Interferenz der seismischen Energie führt. Ab etwa 0.8 s ist eine auffällige Zunahme längerer - über mehrere 100 m korrelierbarer - und nahezu horizontaler, allenfalls schwach geneigter Reflexionen festzustellen.

Eine eingehende Interpretation dieser Elemente ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt und an dieser Stelle nicht vorgesehen. U. a. sollten Modellbetrachtungen unter Berücksichtigung herrschender geologischer Gegebenheiten einen wesentlichen Beitrag dazu liefern.

Den Herren Dr. Fertig und insbesondere Dr. Dürschner sei für die wertvollen Ratschläge und stetige Diskussionsbereitschaft an dieser Stelle herzlich gedankt.

LITERATUR

- Devay, L., Draxler, J. und Hänel, R., 1986: Konzept eines Meß- und Untersuchungsprogrammes für die Vor- und Hauptbohrung des Kontinentalen Tiefbohrprogrammes. NLFb-Bericht, Archiv-Nr. 99550, Hannover.
- Kiefer, W., Macdonald, C., Rühl, Th. und Hubral, P., 1988: Ergebnisse der KTB VSP 500-Messungen. Zwischenbericht, unveröff.
- Paul, A., Jegonzo, M., Mechler, P., Millon, R., Track, A. und Vezat, R., 1987: Forage de Sancerre-Couy: Signification des réflecteurs sismiques dans le socle. Documents du BRGM, n° 138.
- Stümpel, H. und Gräber, M., 1987: VSP-Messungen an KTB-Vorerkundungsbohrungen im mittleren Schwarzwald. In: Hänel und Schopper (Hrsg.): KTB-Report 87-2, Hannover.
- Weber, H.P., Sattel, G. und Sprecher, C., 1986: Sondierbohrungen Weiach, Riniken, Schafsheim, Kaisten, Leuggern. NAGRA Techn. Ber. 85-50.

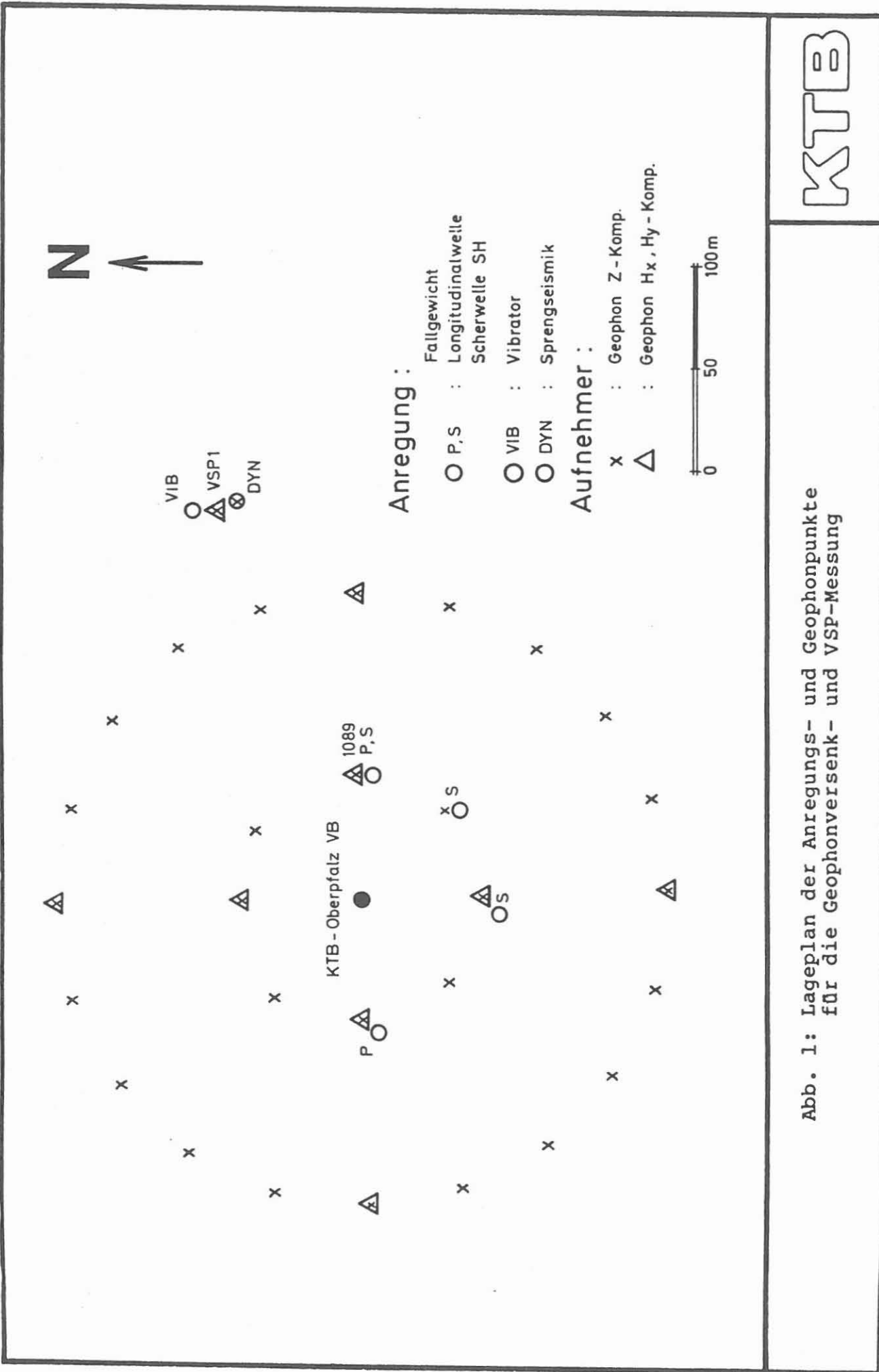


Abb. 1: Lageplan der Anregungs- und Geophonpunkte für die Geophonversenk- und VSP-Messung



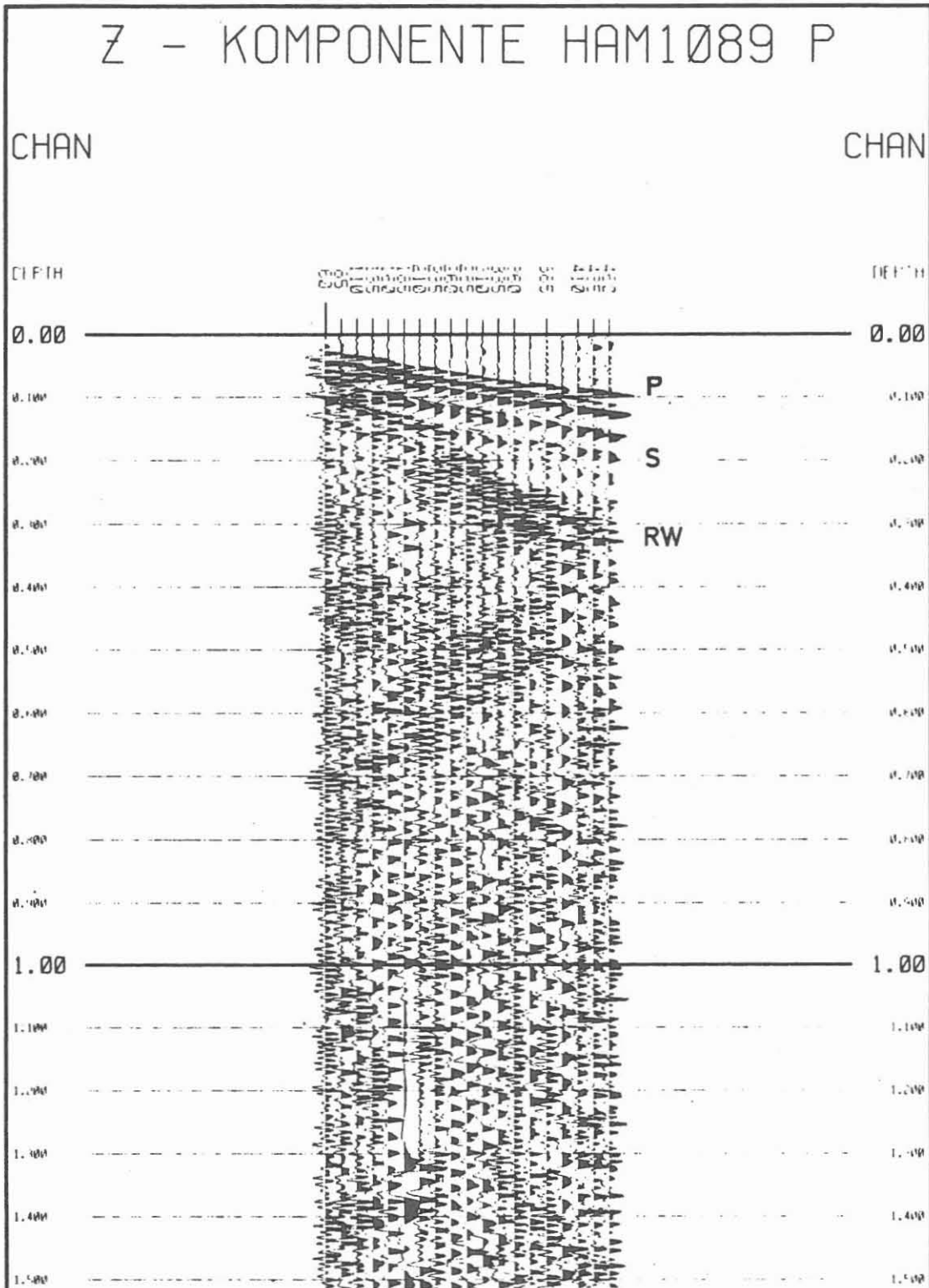


Abb. 2: Geophonversenkmessungen im Teufenbereich 60 m bis 460 m (unverrohrt) der Bohrung KTB-Oberpfalz VB

KTB

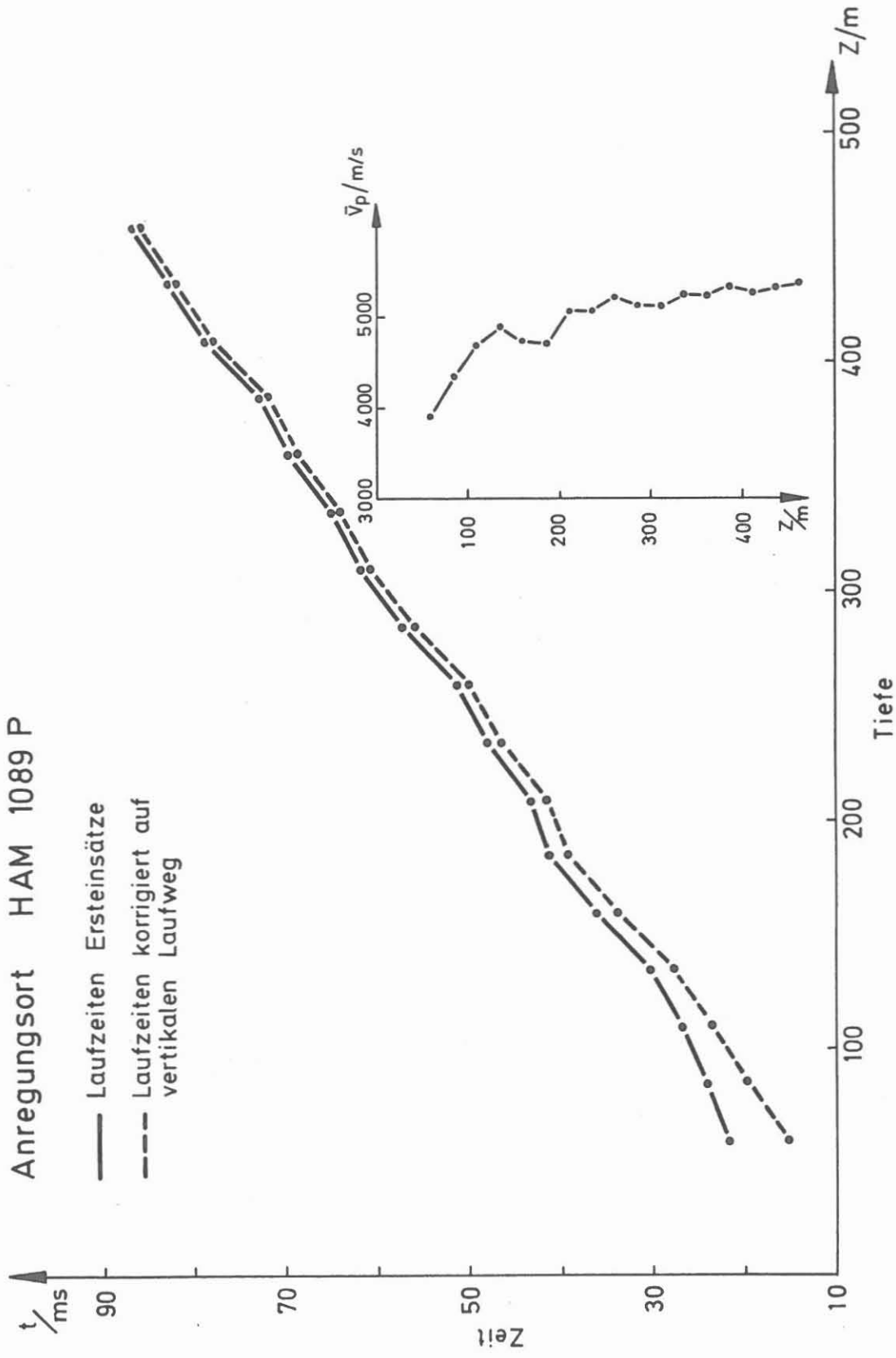


Abb. 3: Laufzeitkurve der P-Welle sowie daraus abgeleitete Durchschnittsgeschwindigkeit



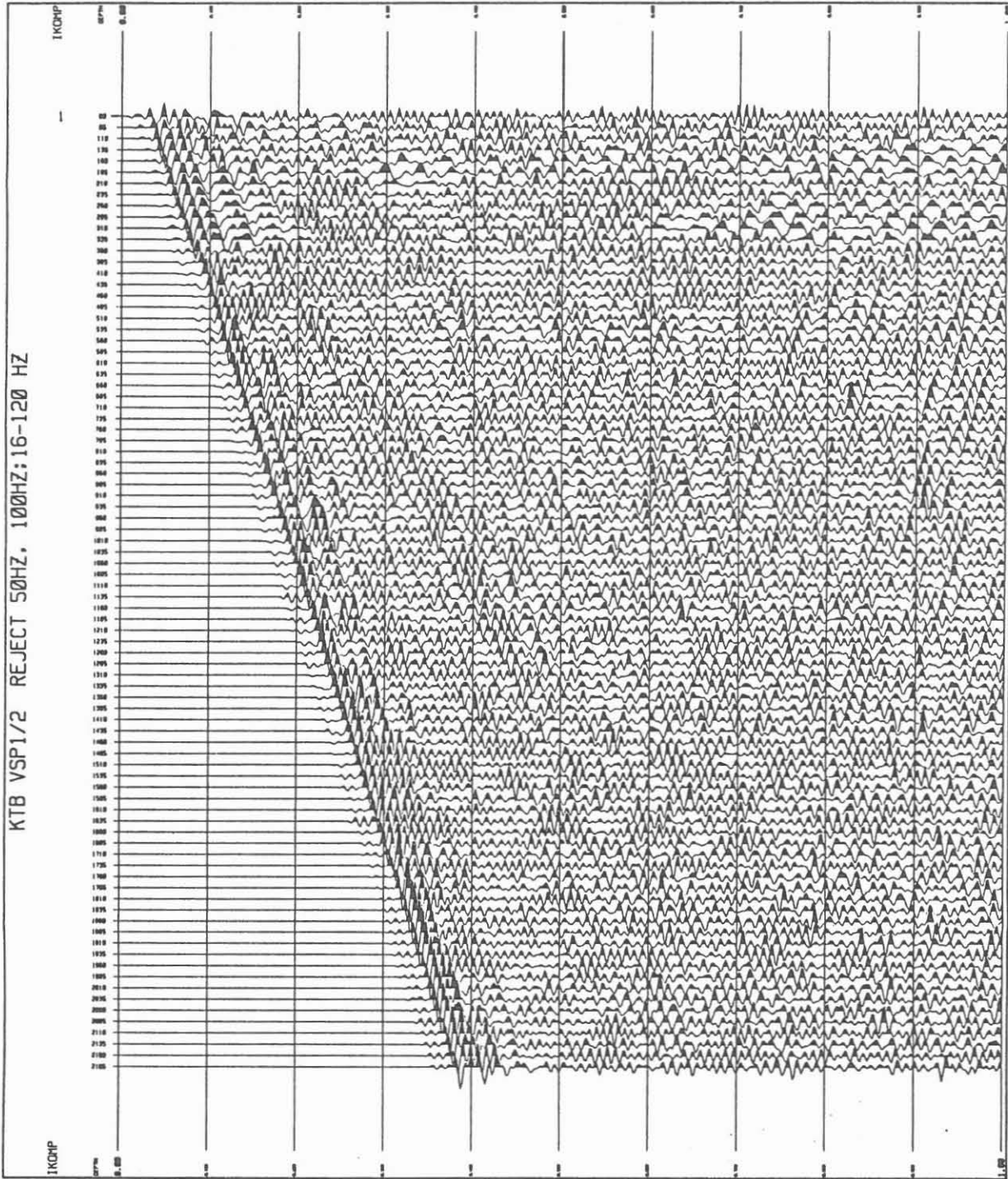


Abb. 4:
Ausschnitt der VSP-
Rohdatensektion bis
1 s Einweglaufzeit
(Erläuterung siehe
Text)



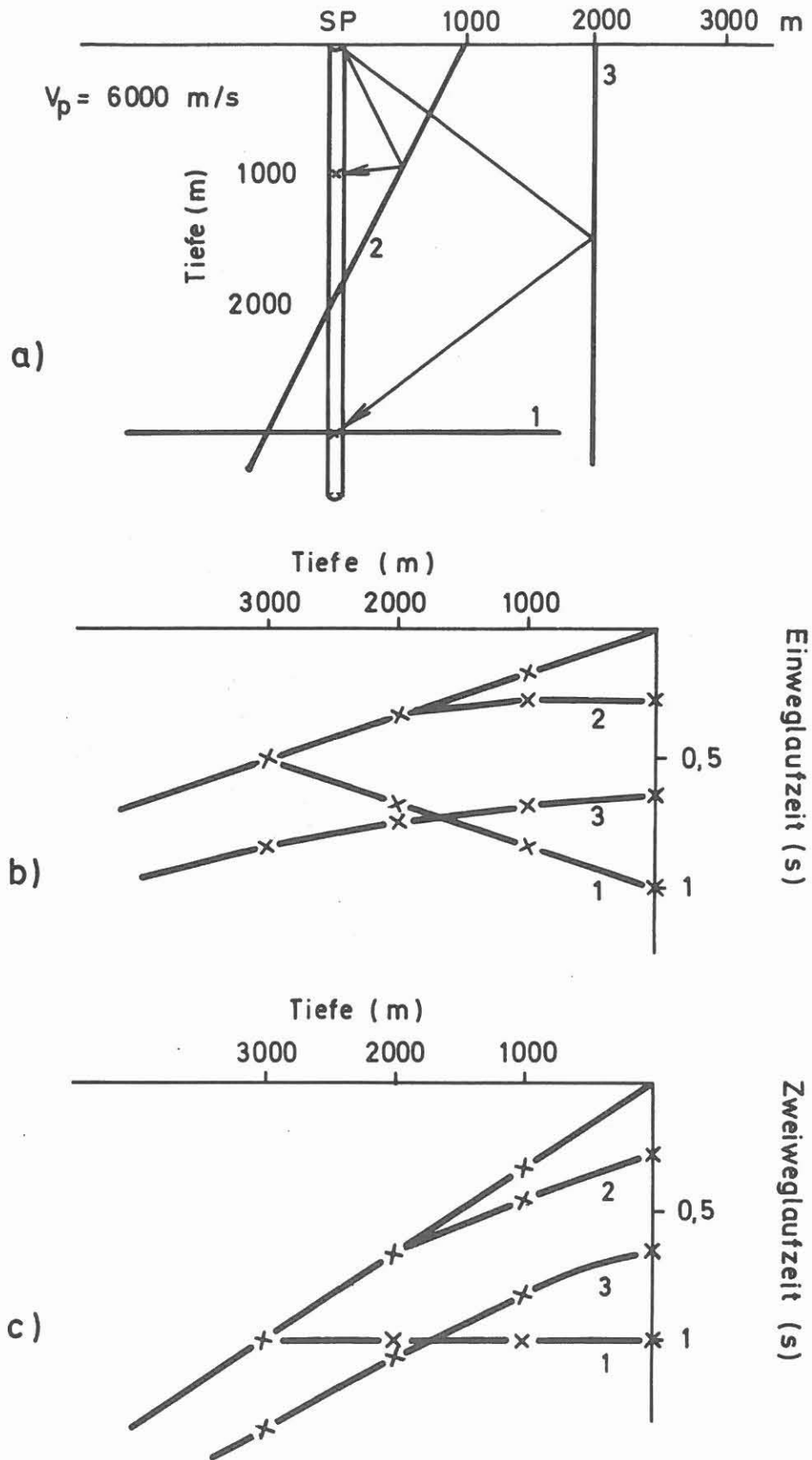


Abb. 5: VSP Reflexionslaufzeitkurven abgeleitet anhand eines einfachen Modells (a). Einweg- (b) und Zweiwegdarstellung (c)

KT B

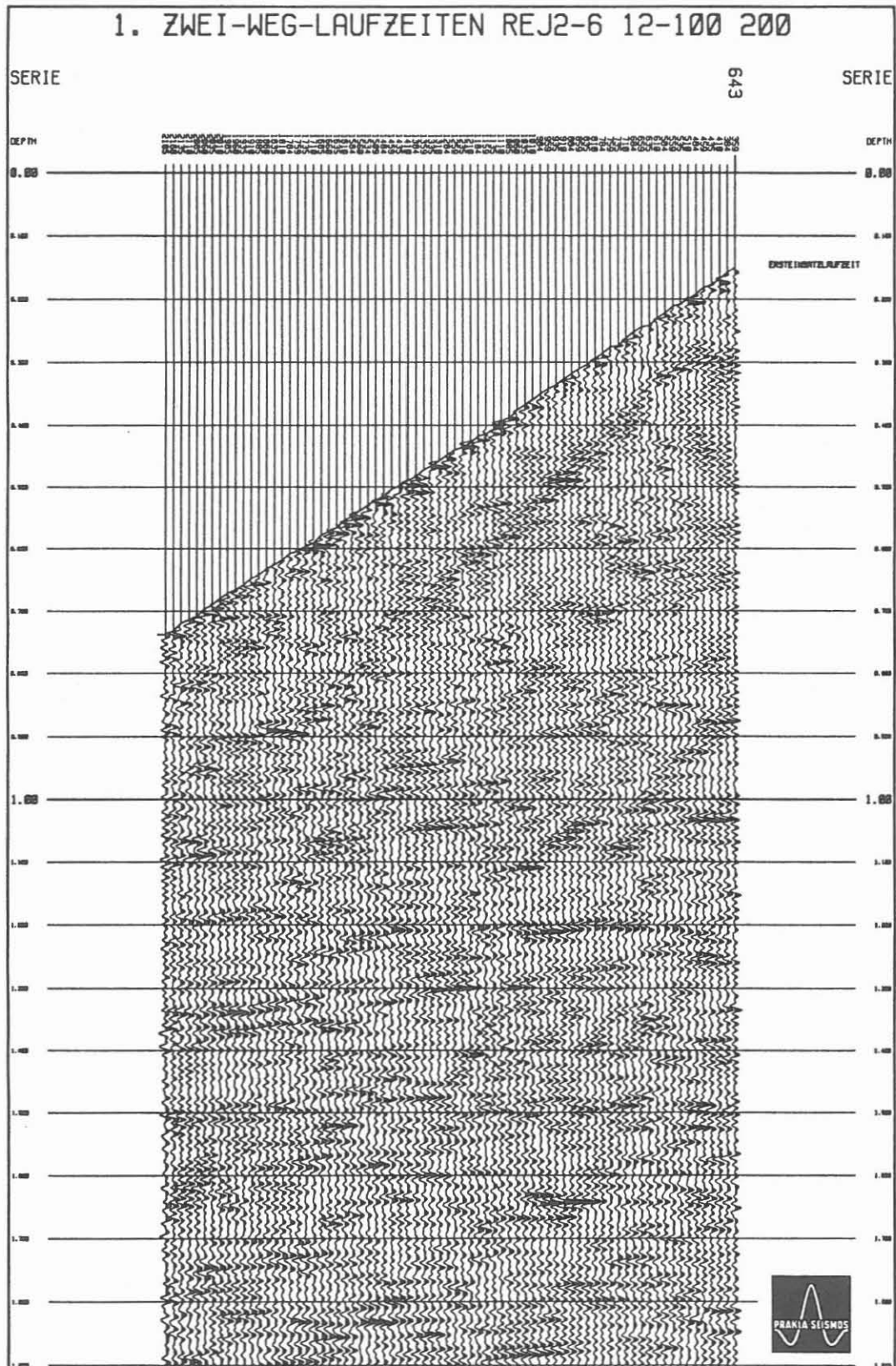


Abb. 6: Zweiweg-Laufzeit-Darstellung des aufwärtslaufenden Wellenfeldes aus dem Tiefenbereich 359 m bis 2 185 m der KTB-Oberpfalz VB