

DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 360	9K	31892.33		GCB	RB	0002	00

Titel der Unterlage:

Ergebnisse der Ultraschallmessungen im Feld 5/1 der
Schachtanlage Konrad
Abschlußbericht (AP: 9K 31892.33)

Seite:

I.

Stand:

Mai 1990

Ersteller:

BGR

Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP 9K/2122414

zu Plan-Kapitel: 3.1.9.7

PL

06.06.90

Freigabe für Behörden

PL

06.06.90

Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.

94/31892.33/GC/B/AB/0002/00

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

HANNOVER

Ergebnisse der Ultraschallmessungen im Feld 5/1

der Schachtanlage Konrad

Abschlußbericht

(AP: 9K 31892.33)

Auftraggeber:	Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter
Bearbeiter:	BGR, XXXXXXXXXX
Datum:	Mai 1990
Archiv-Nr.:	106 782
Tagebuch-Nr.:	11141/90
TK-25:	3828 Lebenstedt Ost

Zusammenfassung

Auf der Schachtanlage Konrad wurde zum Nachweis der Standfestigkeit geplanter Einlagerungskammern ein Hohlraumsystem bestehend aus drei parallelen Kammern und einer darüberliegenden Abwetterstrecke im Feld 5/1 aufgeföhren. Zur Untersuchung der Auflockerungszone im Streckensaum wurden einschließlich eines Vorversuchs im Feld 1 an drei Lokationen Ultraschallmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse weisen eine Auflockerungszone von ca. 4,0 m aus, in denen keine Signale bzw. geringe Wellengeschwindigkeiten von ca. 3600 m/s festgestellt werden. Daran schließt sich ein Bereich bis ca. 5,5 m mit erhöhten Wellengeschwindigkeiten von ca. 4040 m/s an, der als eigentlicher Gebirgstragring angesehen werden kann. Bis zur Endteufe von 10 m liegen die Geschwindigkeiten bei ca. 3800 m/s. Vergleichsmessungen an Gesteinskernen im Labor stimmen mit den in-situ-Geschwindigkeiten der Auflockerungszone am besten überein.

0. Veranlassung

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Konrad hat der Niedersächsische Umweltminister mit Schreiben 47-40326/09-2/1 vom 30.01.1987 einen geotechnischen Nachweis der Standsicherheit geplanter Einlagerungsfelder gefordert. Art und Umfang der Untersuchungen wurden von der Genehmigungsbehörde vorgegeben. Daraufhin wurde von den Stahlwerken Peine-Salzgitter AG (P&S) im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) ein Kammer-System bestehend aus drei parallelen Einlagerungskammern und einer darüberliegenden Abwettersammelstrecke mit dazugehörigen Abwetterbohrlöchern erstellt. Ein umfangreiches Meßprogramm aus Konvergenz-, Spannungs-, Verformungs-, Permeabilitäts- und Ultraschallmessungen wurde durchgeführt, um das mechanische Verhalten des Gebirges vor, während und nach der Hohlraum-auffahrung zu untersuchen.

1. Aufgabenstellung

Durch die Auffahrung von Kammern und Strecken im unverritzten Gebirge wird das ursprünglich herrschende Spannungs-Verformungs-Feld gestört. Es setzen Spannungsumlagerungen ein, die entsprechend den neuen geometrischen Verhältnissen ein neues Gleichgewicht erzeugen. Dabei kann es zu Spannungskonzentrationen kommen, die die Scherwiderstände auf Störungsflächen im Gebirge bzw. die Festigkeit des Gesteins übersteigen und zeitabhängige bruchhafte Verformungen auslösen. Wie Untersuchungen und Erfahrungen zeigen, treten diese Vorgänge verstärkt in den Saumbereichen von Hohlräumen auf.

Bei theoretischen Überlegungen und numerischen Berechnungen stellt sich die Zone erhöhter Beanspruchung in einem homogenen Gebirge im Laufe der Zeit in Form eines Schmetterlings unter ca. 50^o ein. Die Planungen der Auflockerungsuntersuchungen im Feld 5/1 sahen deshalb Bohrungen unter 0^o und + 65^o vor, wobei zusätzlich Meßergebnisse der Extensometermessungen der Schachtanlage Konrad berücksichtigt wurden. Außerdem sollten verschiedene petrographische Schichten untersucht werden, um Kenntnisse über ein daraus möglicherweise resultierendes unterschiedliches Verhalten zu erhalten. Es standen dafür der Eisenoolith des Unteren Lagers und das hangende Zwischenmittel aus Mergelstein zur Verfügung.

2. Prinzip der Ultraschallmessung und Aufbau der Meßanlagen

Bei der Ultraschallmessung werden Schallwellen in das Gebirge abgegeben, die sich mit gesteinspezifischen Geschwindigkeiten ausbreiten und durch einen geeigneten Empfänger registriert werden

können. Die Schallwellen werden durch Unstetigkeitsflächen wie Poren, Mikrorisse, Störungen im Gebirgsverband beeinflusst; bei zu starker Auflockerung, speziell bei ausgedehnteren Rissen, kann es zu einer totalen Energieaufzehrung bzw. Reflektion kommen, so daß keine Signale mehr empfangen werden können. Dadurch ist die Ultraschallmethode grundsätzlich geeignet, Auflockerungszonen um bergmännische Hohlräume festzustellen.

Die in der Grube Konrad eingesetzte Meßapparatur ist eine Eigenentwicklung der BGR. Für die Messungen sind zwei Meßbohrungen zur Aufnahme des Ultraschallsenders und des Empfängers erforderlich. Sender- und Empfängersonde werden mittels Gestänge in das jeweilige Bohrloch eingefahren und zueinander in gleicher Teufe ausgerichtet. Als Schallwandler wurden kreisscheibenförmige Schwinger aus piezoelektrischem keramischem Material verwandt, die im Frequenzbereich von 18 kHz bis 30 kHz arbeiten. Der Sender ist als Leistungs-Ultraschallwandler ausgeführt und besteht aus einem zusammengesetzten, durch einen Mittelbolzen mechanisch vorgespannten Piezowandler mit je einem Endabschlußkörper hoher und geringer Schallintensität. Der Wandler ist in einem Kunststoffgehäuse untergebracht. Seine Kopplung mit der Bohrlochwand erfolgt pneumatisch bei einem Druck von 4 bis 6 bar. Dabei wird das akustisch aktive Teil aus dem Sondengehäuse ausgefahren und gegen die Bohrlochwand gepreßt. Im Empfängergehäuse ist außer der Piezoscheibe, die ebenfalls pneumatisch an die Bohrlochwandung angekoppelt wird, zusätzlich ein Vorverstärker zur Reduzierung von Kabelverlusten untergebracht.

Durch die große Sendeimpulsleistung können bei entsprechendem Gestein zwischen den Sonden elektromagnetische Beeinflussungen auftreten, die sich störend im Empfangssignal bemerkbar machen. Eine wesentliche Verbesserung bringt dann die Erdung der Meßapparatur mittels vorhandener Gebirgsanker im Sondenbereich (Abb. 1).

Die gesamte elektronische Meßkette (Abb. 2) besteht aus einer Sendersonde, einer Empfängersonde, einem elektronischen Meßein-schub, der die Empfängereinrichtung enthält, einem Digitaldrucker mit Uhr, einem Transientenrekorder sowie einem getasteten Leistungsverstärker für Sendebetrieb.

Im Meßeinschub sind folgende Baugruppen untergebracht (Abb. 3):

- Stromversorgung für Empfängersonde
- Verstärker und Filter für Empfänger
- Steuerkarte
- Digitalzähler
- Zeitkarte
- Tastung für Sender
- Sinusgenerator
- Interface V 24
- Interface D 30 (Drucker)

Funktionsweise der Meßeinrichtung:

Der Sender wird für ca. 100 μ s aufgetastet und während dieser Zeit mit einer vorgegebenen Frequenz (18-30 kHz) moduliert. Gleichzeitig wird ein Digitalzähler mit einer Zählrate von 0,1 μ s gestartet. Beim Eintreffen des Empfängersignals wird mit Hilfe einer Impulsformerstufe ein STOP-Signal gewonnen, welches den Zählzyklus unterbricht. Der angezeigte Digitalwert gibt die Laufzeit des Ultraschallsignals direkt in Mikrosekunden an. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Laufzeit für 10 oder 100 Durchläufe (Messungen) als Mittelwert anzuzeigen. Dieses ist besonders wichtig bei einem starken niederfrequenten Geräuschpegel und einem damit schwankenden Empfangssignal. Störsignale oder Reflektionen, die direkt in die gemessene Laufzeit fallen, können durch eine einstellbare Sperrzeit im Bereich von 30 μ s - 50 ms ausgeblendet werden. Die Meßergebnisse werden von einem Digitaldrucker mit Datum, Uhrzeit und Teufenangabe der Sonden aufgezeichnet. Über eine vorgewählte Zeit sind automatische Wiederholungsmessungen möglich.

Technische Daten der gesamten Meßeinrichtung:

Empfängersonde: Piezokeramik, PXE 05
Vorverstärker: 40 dB
Verstärker: 46 dB
Filter: Butterworth 8-Pol, abschaltbar, 48 dB/Okt
Frequenzbereich: 18 - 30 kHz
Sperrzeit: 30 μ s - 50 ms, variabel

Zähleranzeige: 4-stellig in μ s, 7 Segment Leuchtziffern
Zählfrequenz: 10 MHz, quarzstabilisiert 20 ppm
Auflösung: 1 μ s
Genauigkeit: 1 μ s
Start - Stop Betrieb

Sendersonde: Piezokeramik, PXE 04, mech. vorgespannt
Tastung: 10 μ s - 200 μ s, variabel
Frequenzbereich: 18 - 30 kHz
Senderausgang: 500 V an 1 kOhm

Digitaldrucker: D30, Datum - Uhrzeit - Meßdaten
Ansteuerung: TTL, BCD - Code parallel

Zeitgeber: 1 - 99,9 Sekunden
1 - 99,9 Minuten

Neben der in situ-Bestimmung von Schallwellenlaufzeiten ist es als Vergleich sinnvoll, an Gesteinsproben aus dem zu untersuchenden Gebirgsbereich im Labor Laufzeiten zu bestimmen. Zur Ermittlung der Laufzeiten sowie der Schallwellengeschwindigkeiten von Longitudinalwellen (P-Welle) im Labor kam das Ultraschallmeßgerät USIP 12 der Firma Krautkrämer zur Anwendung. Die Ankopplung der Ultraschallmeßköpfe wurde pneumatisch über Hubzylinder in einer mechanischen Bank vorgenommen.

Technische Daten der Labormeßeinrichtung:

Meßgrößen: Schallgeschwindigkeit in "km/s"
Laufzeit in " μ s "

Anzeige: 4-stellige LED Anzeige

Betriebsart: Mittelwertbildung über 100 Einzelimpulse

Meßgenauigkeit: 0,1 μ s bei f = 500 kHz

Meßart: Messung zwischen Sendeimpuls und 1. Echo des
Empfängersignals (Durchschallungsprinzip)

Verstärkung: 120 dB

Frequenzbereich: 0,5 MHz - 15 MHz

Parallele

Schnittstelle: TTL-Pegel, 16 bit zur Übertragung der Laufzeit

Schallköpfe: 0,5 MHz, Typ KO,5S der Firma Krautkrämer

3. Ergebnisse der in situ-Messungen

Zur Vorbereitung der Untersuchungen im Feld 5/1 wurde in der Strecke 522 des Feldes 1 ein Vorversuch durchgeführt. Er hatte zum Ziel, die Meßanordnung und die Meßapparatur mit den petrographisch/tektonischen Gegebenheiten der Grube Konrad so gut wie möglich abzustimmen.

Die Strecke 522 wurde im Abschnitt des Vorversuchs Anfang 1976 mit einem Querschnitt von ca. 22 m² aufgefahren und hatte eine Standzeit von knapp 13 Jahren bis zum Vorversuch. Für die Untersuchung wurden drei 5 m lange, ungefähr parallele und horizontale Bohrungen in den Weststoß der Strecke gestoßen. Die eine Empfängerbohrung lag knapp 2 m südlich der Senderbohrung, die andere Empfängerbohrung etwas unter 4 m nördlich der Senderbohrung. Alle Bohrungen standen im Eisenoolith des Unteren Lagers.

Für den Hauptversuch wurden im Feld 5/1 zwei Lokationen ausgewählt (Abb. 4). Die erste befindet sich im vorderen Teil der Kammer 241S zwischen den Konvergenzmeßstationen 241S5 und 6. Die Kammer hat hier einen Querschnitt von $38,5 \text{ m}^2$. Alle Bohrungen waren 10 m lang und wurden in den Weststoß geteuft, wobei die Horizontalbohrungen ca. 2,20 m über der Sohle und die unter +659 geneigten Bohrungen im Kämpferbereich angesetzt wurden. In den Abbildungen 5 und 6 sowie der Anlage 1 ist die angetroffene Geologie dargestellt. Die Horizontalbohrungen stehen ganz, die Schrägbohrungen überwiegend im Eisenoolith des Unteren Lagers. Aufgrund der Erfahrungen aus dem Vorversuch wurde ein Abstand von ca. 3 m zwischen Empfänger- und Senderbohrung gewählt. Die zweite Lokation liegt im hinteren Teil der Kammer 231S zwischen den Konvergenzmeßstationen 231S13 und 14. Der Kammerquerschnitt beträgt $39,4 \text{ m}^2$. Die Anordnung der Bohrungen ist identisch mit derjenigen in der Kammer 241S, wobei die Horizontalbohrungen ungefähr 2,30 m über der Sohle liegen. Zunächst war erwartet worden, daß die Kammer 231S deutlich in das Zwischenmittel hineinfahren würde. Bei der Auffahrung wurde aber nur im südlichsten Teil der Kammer die Übergangsschicht vom Unteren Lager zum Zwischenmittel in der Firste aufgeschlossen. Die Schichten der Horizontalbohrungen sind weitgehend dem Unteren Lager, die der Schrägbohrungen fast ausschließlich dem Zwischenmittel zuzuordnen (Abb. 7 und 8, Anl. 2).

In der folgenden Tabelle sind einige Daten der für die Ultraschallmessungen jeweils zusammengehörigen Bohrungen aufgestellt:

Bohrung	Durchmesser (mm)	Neigung (%)	Länge (m)	Kammer	Sender	Empfänger
2/40	86	0,0	10	241 S	X	
2/43	66	0,0	10	241 S		X
2/41	86	65,5	10	241 S	X	
2/42	66	65,0	10	241 S		X
2/44	66	0,0	10	231 S		X
2/46	86	0,0	10	231 S	X	
2/45	66	65,0	10	231 S		X
2/47	86	65,0	10	231 S	X	

3.1 Der Vorversuch

Am 11. Januar 1989 wurde der Vorversuch 2 Tage nach der Erstellung der Bohrungen durchgeführt. Zur groben Bestimmung der Parallelität der Bohrungen wurden Meßstangen in die Bohrungen eingeschoben und deren Lage mit dem Meßband eingemessen. Daraus läßt sich in etwa der Abstand der Bohrungen ermitteln. Die Meßfrequenz des Ultraschallimpulses betrug 29 kHz. Die Messungen wurden alle 50 cm ausgeführt. In Anl. 3 sind die Empfangssignale beigefügt. Die störende Beeinflussung des Empfängers durch das Sendersignal ist gut zu erkennen. Beim 2-m-Abstand wurde dadurch die eindeutige Festlegung des Signaleinsatzes erschwert oder gar unmöglich gemacht. Durch Erdung der Meßanlage konnte die Empfangssignalqualität deutlich verbessert werden.

Die Auswertung der Messungen ergab für beide Bohrlochabstände ungefähr gleiche Ergebnisse (Abb. 9, Tab. 1). Auswertbare Signale setzen ab einer Teufe von 2,15 bzw. 2.65 m ein. Die Signalgeschwindigkeiten nehmen bis zur Endteufe bei 4,65 m generell zu. Unter Voraussetzung eines direkten Laufweges zwischen den Bohrungen liegen die ermittelten P-Wellengeschwindigkeiten zwischen ca. 3350 und 4200 m/s. Beim 2-m-Abstand sind i.d.R. gute Signale

vorhanden, während beim 4-m-Abstand nur schlechte bis sehr schlechte Signale empfangen werden. Bei letzterem Abstand ist die Sendeenergie kaum noch ausreichend, um den Eisenoolith zu durchdringen.

Bis in eine Teufe von 2,65 m ist eine stärkere Gebirgsauflockerung zu vermuten, die danach rasch abklingt. Aufgrund der besseren Signalqualität und der auch gegenüber den Laborversuchen (s.u.) hohen Wellengeschwindigkeit ist ab ca. 3,5 m Teufe ein tragfähigeres Gebirge zu erwarten.

3.2 Der Hauptversuch

Die Messungen des Hauptversuches im Feld 5/1 wurden in zwei Meßkampagnen durchgeführt, die im April und November 1989 stattfanden. Die nachfolgende Tabelle beinhaltet die verstrichenen Zeiten zwischen der Streckenauffahrung bzw. Bohrlocherstellung und der jeweiligen Ultraschallmessung sowie die bis dahin abgelaufene gemittelte Konvergenz der benachbarten Konvergenzstationen.

	Kammer 241 S		Kammer 231 S	
	1. Messung (19.04.89)	2. Messung (29.11.89)	1. Messung (25.04.89)	2. Messung (29.11.89)
Tage nach Auffahrung	217	441	34	258
Tage nach Bohrungserstellung	ca. 14	ca. 238	ca. 10	ca. 234
Vertikale Konvergenz (mm)	154,2	163,9	81,7	106,2
Horizontale Konvergenz (mm)	48,9	50,6	61,4	80,2

Der Zustand und die Befahrbarkeit der Bohrungen war zwischen beiden Meßzeitpunkten etwas unterschiedlich. Bei der Erstmessung wurden in den Horizontalbohrungen vom Bohrvorgang herrührender Nachfall sowie im Bohrlochtiefsten außerdem Wasser angetroffen; beides konnte mit Druckluft ausgeblasen werden. In den Bohrungen 2/44 und 2/46 gab es zudem bei ca. 4 m Querschnittsverengungen, die vermutlich durch Bewegungen auf einer Tonsteinlage hervorgerufen wurden und weder bei der ersten noch bei der zweiten Messung beseitigt werden konnten. Bei der Meßkampagne im November 89 waren die Horizontalbohrungen in der Kammer 241 S noch feucht und in der Bohrung 2/40 mußte ein Hindernis bei ca. 3 m mit in der BGR hergestellten Räumern, die gleichzeitig als Kaliber dienten, beseitigt werden.

Die Schrägbohrungen waren bei der Erstmessung im April 89 ohne Probleme zu befahren. Bei der Zweitmessung wurden durch die Kaliber und Meßsonden besonders im Bereich des mergeligen Zwischenmittels relativ viel feines Gesteinsmaterial der ausgetrockneten Bohrlochoberfläche gelöst. Dies führte zu kleinen Auskesselungen, in denen die Sonden nicht mehr fest angepreßt werden konnten und die Energieeinleitung der Ultraschallschwinger in das Gebirge eingeschränkt war. In der Kammer 231 S gab es bei den Bohrungen 2/45 und 2/47 bei ca. 3 m Querschnittsverengungen, die erst mit dem Räumern beseitigt werden konnten.

Die Abweichungen der Parallelität von Sender- und Empfängerbohrung wurde durch die Markscheiderei Konrad eingemessen. Bei der Erstmessung wurde mit den Senderfrequenzen 18 und 28 kHz gearbeitet. Insgesamt ergab die 18-kHz-Frequenz bessere Signaleinsätze beim Empfang und wurde deshalb bei der Messung im November ausschließlich benutzt. Die Messungen der Ultraschalllaufzeiten erfolgte in 50-cm-Schritten. Von diesen Abständen wurde bei Schwierigkeiten bei der Sondenankopplung und bei der Messung im November 89 bei größeren Geschwindigkeitsänderungen abgewichen. Die Empfangssignale sind in der Anl. 4 dargestellt.

Abb. 5 bis 8 enthalten die Auswertungen der Laufzeiten und Wellengeschwindigkeiten der ersten Meßkampagne. Da sich die Geschwindigkeiten der ersten und zweiten Messung maximal um lediglich 250 m/s unterscheiden, häufig sogar identisch sind, wurden die Auswertungen der zweiten Meßkampagne nur tabellarisch in Tab. 2 und 3 aufgetragen. Die Bestimmung der Laufzeiten ist von dem deutlichen Einsatz der Erstschwungung abhängig. Dies war nicht immer zweifelsfrei zu erkennen, so daß eine Unsicherheit von ca. 10 bis 20 μ s, in wenigen Fällen bis ca. 50 μ s besteht. Eine Abschätzung des daraus resultierenden Fehlers der Messungen wird nach Formel (1) in Tab. 4a durchgeführt

$$\Delta v = \frac{s \cdot / \Delta t / + t \cdot / \Delta s /}{t^2} \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

mit Δv = Fehler der Wellengeschwindigkeit [m/s]
s = Strecke zwischen Sender und Empfänger [m]
 Δt = Ungenauigkeit der Ablesung der Wellenlaufgeschwindigkeit [s]
 Δs = Ungenauigkeit der Streckenmessung Sender/
Empfänger [m]
t = Wellenlaufzeit [s]

Der Meßfehler liegt zwischen 65 - 390 m/s, was einen relativen Fehler von ca. 2 bis 8 % bedeutet. Zur Einschätzung der Auswertegenauigkeit des Empfangssignals wurde die Signalqualität angegeben, die eine subjektive Beurteilung des Signaleinsatzes und der Amplitude umfaßt. Gute (+) bis sehr gute (++) Signale besitzen einen eindeutigen Schwingungsbeginn.

In den Abb. 10 bis 13 sind die Wellengeschwindigkeiten über die Teufe dargestellt. Für die einzelnen Bohrlochpaare ist folgendes festzustellen:

- Kammer 241S, Horizontalbohrungen 2/40-2/43 (Abb. 10 und 12).
Die ersten auswertbaren Signale trafen ab einer Teufe von 2,0 m ein. Die Geschwindigkeiten liegen insgesamt zwischen 3250 und 3900 m/s. Bis 3,75 m Teufe liegen die Wellengeschwindigkeiten im Mittel bei 3540 m/s und steigen dann auf Mittelwerte von ca. 3750 m/s an. Die subjektiv eingeschätzte Meßsignalqualität ist ab 4,0 m gut bis sehr gut. Abgesehen von einzelnen Meßwerten die zwischen der ersten und zweiten Messung um maximal 250 m/s abweichen, ähneln sich beide Meßkurven stark. Eine Zuordnung von Einzelgeschwindigkeiten zur Petrographie (z.B. Tonsteinlagen) ist nicht feststellbar. Bis ca. 2,0 m ist eine stärkere Gebirgsauflockerung vorhanden, die bis ca. 4,0 m geringer wird. Im Abschnitt der höheren Wellengeschwindigkeiten ab 4,0 m sind vermutlich keine nennenswerten Bruchvorgänge aufgrund der Hohlraumerstellung abgelaufen.

- Kammer 241S, Schrägbohrungen 2/41-2/42 (Abb. 10 und 12).
Erste Signale wurden bereits bei einer Teufe von 0,5 m empfangen, die aber bei 1,5 m unterbrochen wurden. U.U. wurde bis 1,0 m in einer Gesteinsschale gemessen. Bei 4,0 m ist ein Anstieg der Geschwindigkeiten festzustellen, der mit 4350 m/s bei 5,0 m gipfelt. Danach fallen sie ab und streuen um einen Mittelwert von ca. 3870 m/s. In der Messung vom April 89 ändert sich die Signalqualität bei 4,0 m von schlecht nach gut; in der Messung November 89 fällt die Qualitätssteigerung deutlich geringer aus. Der generelle Kurvenverlauf beider Messungen ähneln sich auch hier stark. Es treten maximale Abweichungen der Wellengeschwindigkeit von 200 m/s auf. Der Auflockerungsbereich ist bis ca. 4,0 m anzutreffen; danach beginnt mit dem Bereich der hohen Geschwindigkeiten der ungestörtere Gebirgsabschnitt. Eine Korrelation zwischen Wellengeschwindigkeit und Petrographie ist nicht festzustellen.

- Kammer 231S, Horizontalbohrungen 2/44-2/46 (Abb. 11).
Empfangssignale konnten nur bei der Erstmessung bei 3,3 und 3,9 m aufgezeichnet werden; ab 4,0 m war die Bohrung blockiert. Trotz intensiver Bemühungen konnte die Querschnittsverengung auch bei der Zweitmessung nicht beseitigt werden, so daß in der Meßkampagne November 89 auf eine Wiederholungsmessung verzichtet wurde. Die niedrigen Geschwindigkeiten von ca. 3200 m/s lassen vermuten, daß die Bohrlochwanderung durch die Versuche zur Hindernisbeseitigung stärker in Mitleidenschaft gezogen wurden und eine Ankopplung der Sonden an das Gebirge beeinträchtigt war. Eine außergewöhnliche Auflockerung des Stoßes konnte nicht beobachtet werden, ebenso liegen keine besonderen tektonischen Bedingungen vor.

- Kammer 231S, Schrägbohrungen 2/45-2/47 (Abb. 11 und 13)
Auswertbare Signale setzen ab 1,5 m Teufe ein. Bis 3,5 m liegen die Wellengeschwindigkeiten im Mittel bei 3720 m/s und steigen danach steil auf ca. 4500 m/s an. Ab 6,0 m streuen die Werte bis zur Endteufe von 10 m um ca. 3770 m/s. Die Signalqualität ist bis 3,5 m schlecht bis sehr schlecht und verbessert sich besonders in der Messung November 89 deutlich. Die Geschwindigkeitskurven beider Messungen ähneln sich stark, wobei maximale Unterschiede von lediglich 150 m/s auftreten. Der durch die Kammerauffahrung erzeugte Auflockerungsbereich im Streckensaum ist bis in eine Teufe von 3,5 m anzusetzen, danach ist das Gebirge wieder tragfähig.

4. Ergebnisse der Labormessungen

Aus den Senderbohrungen 2/40, 2/41, 2/46 und 2/47 wurden petrographisch unterschiedlich ausgebildete Proben entnommen und für Ultraschallmessungen im Labor präpariert. In Anlage 5 ist die makroskopisch durchgeführte petrographische Beschreibung der Prüflinge enthalten. Die zylindrischen Proben wurden mit Longitu-

dinalwellen (P-Welle) in Probenlängsachse und radial (d.h. senkrecht zur Längsachse) durchschallt, wobei bei erkennbarer Schichtung parallel bzw. senkrecht zur Schichtung gemessen wurde. Die Fehlerabschätzung der Wellengeschwindigkeiten in Tab. 4b nach Gleichung (1) ergab je nach Meßstreckenlänge von ca. 120 bis 50 mm einen Fehler von 25 bis 50 m/s bzw. 85 - 200 m/s; dies bedeutet einen relativen Fehler von 1,0 - 1,5 % bzw. 3,0 - 4,5 %.

In Tab. 5 sind die Daten zur Gesteinsprobe, die Ultraschalllaufzeiten sowie die Wellengeschwindigkeit zusammengefaßt. Die Geschwindigkeiten liegen zwischen 2300 m/s und 4400 m/s. Eine Zuordnung niedriger bzw. höherer Geschwindigkeiten zu petrographischen Unterschieden läßt sich nicht durchführen. Die Ausbildung des Gesteinsgefüges hat einen stärkeren Einfluß auf die Wellenausbreitung als die Petrographie. Es ist zu berücksichtigen, daß mergelig-tonige oder geschichtete Gesteine durch Transportvorgänge und Austrocknungsprozesse stärker in Mitleidenschaft gezogen werden als massige, kalkige Gesteine.

Die mittlere Geschwindigkeit aller Meßergebnisse beträgt 3260 m/s. Werden die P-Wellengeschwindigkeiten entsprechend ihrer Durchschallungsrichtung bezogen auf die Gefügemerkmale der Probe aufgliedert, so ergibt sich folgendes Bild:

Parallel der Längsachse	3020 m/s
Senkrecht zur Längsachse, senkrecht zur Schichtung	3210 m/s
Senkrecht zur Längsachse, parallel zur Schichtung	3440 m/s

Je länger der Laufweg wird, desto mehr Unstetigkeitsflächen werden angetroffen, wodurch die Geschwindigkeit in Probenlängsachse am kleinsten wird. Die Schichtungsanisotropie ist ebenfalls deutlich ablesbar; parallel zur Schichtung ist die Wellengeschwindigkeit höher als senkrecht dazu.

5. Zusammenfassende Bewertung der Ultraschallmessungen

Die im Labor ermittelten Wellengeschwindigkeiten an Proben aus den Ultraschallbohrungen stimmen in ihrer Streubreite gut mit den in-situ-Geschwindigkeiten überein. Die Laborwerte liegen in der Gesamttendenz jedoch etwas niedriger als die in-situ-Werte. Dabei ist zu berücksichtigen, daß im Labor eine weitgehende Entspannung des Gesteins unter möglicher Öffnung von Mikrorissen eingetreten ist. Im Vergleich zu den auf der Schachanlage Konrad gemessenen Werten passen die dort ermittelten Laufzeiten der Auflockerungszone, in der durch plastische Bewegungsvorgänge eine Druckentlastung stattfand, am besten mit den Laborwerten zusammen.

In Abb. 14 und 15 sind alle in-situ-Messungen der beiden Meßkampagnen zusammengefaßt worden. Daraus läßt sich ablesen, daß eine Auflockerung des Gebirges durch die Kammerauffahrung bis in eine Teufe von 3,5 bis 4,0 m reicht. Die mittlere Wellengeschwindigkeit beträgt 3610 m/s. Zwischen 4,0 und 5,5 m liegt ein Bereich mit erhöhten Geschwindigkeiten, die im Mittel bei 4040 m/s liegen. Danach fallen sie etwas ab mit einem Mittelwert von 3800 m/s. Diese Unterteilung in drei Abschnitte ist besonders für die Schrägbohrungen im Feld 5/1 ausgeprägt. Im Vorversuch der Kammer 522 wurde der Bereich der höheren Wellengeschwindigkeiten noch erreicht. Durch Messungen der GSF /1/ wird dieser Gesamtverlauf qualitativ bestätigt. Dort wurden im Feld 1 im Erzlager ebenfalls Ultraschallmessungen mit einem anderen Meßsystem durchgeführt. Die Auflockerungszone reicht bis in etwas mehr als 3,0 m; daran schließt sich bis ca. 7,0 m die Zone hoher Wellengeschwindigkeiten an, die in größerer Teufe auf ein mittleres Niveau abfallen.

Die Messungen lassen sich wie folgt interpretieren:

Durch die Auffahrung wird die Festigkeit des Gebirges bis in eine Teufe von ca. 4,0 m überschritten; durch plastische Verformungen werden die hohen Spannungen abgebaut. Es tritt eine Gebirgsauflockerung ein, die die niedrigen Ultraschallwellengeschwindig-

keiten verursachen. In ca. 4,0 bis 5,5 bzw. 7,0 m Teufe ist das Spannungsniveau soweit reduziert, daß die Bruchfestigkeit des Gesteins nicht mehr erreicht wird und ein tragfähiges Gebirge erhalten bleibt. Dieses ist der Bereich, in dem sich das eigentliche (primäre) Traggewölbe um die Kammer ausbildet. Die Spannungen sind jedoch noch so hoch, daß eine Kompaktion des Gebirges durch Schließen von Poren und Mikrorissen eintritt, die die hohen Ultraschallgeschwindigkeiten ermöglicht. Im anschließenden Teufenbereich bauen sich die Spannungen weiter ab und die Ultraschallwellengeschwindigkeit fällt ab.

Eine zeitliche Abhängigkeit der Ausbildung der plastischen Streckensaumzone ist aus den Messungen nicht zu erkennen. Die in einem zeitlichen Abstand von 7 Monaten durchgeführten Messungen des Hauptversuches sind in ihren Aussagen gleich. In diesem Zeitraum hat die Streckenkonvergenz in der Kammer 241 S nur geringfügig um 2 m bzw. 10 mm für die horizontale bzw. vertikale Konvergenz zugenommen; in der Kammer 231 S war die Zunahme mit 19 mm bzw. 25 mm deutlicher. Die Bewegungen scheinen sich weitgehend auf den oberflächennahen Bereich zu beschränken. Auch die Ergebnisse des Vorversuchs in einer Strecke mit 13 Jahren Standzeit weisen eine Auflockerungszone von lediglich 3,5 m aus. Die lange Standzeit und der geringe Streckenquerschnitt von ca. 22 m sind vermutlich gegenläufige Einflußfaktoren auf die Mächtigkeit der Auflockerungszone. Die ungefähr gleiche Lage der Zone des Wellengeschwindigkeitsanstiegs beim Vor- und Hauptversuch mag darauf zurückzuführen zu sein. Eine deutliche Verlagerung der Auflockerungszone in die Firste hinein ist aber auch bei größeren Kammerquerschnitten, wie im Feld 5/1, nach diesen Untersuchungen auszuschließen. Der Geschwindigkeitsanstieg ist im Vorversuch jedoch flacher, was einen ausgeglicheneren Übergang von Auflockerungszone zu Gebirgstragring vermuten läßt, der sich im Laufe der Zeit einstellt.

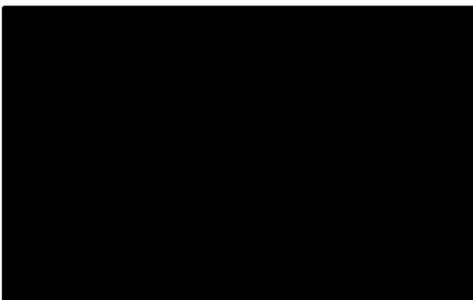
Eine auf numerische Berechnungen /2/ und Feldmessungen gestützte Annahme, daß der Auflockerungsbereich im Streckenumfang ungleichmäßig ausgebildet ist und der durch die Geometrie der Bohrungen Rechnung getragen wurde, ist mit den Ultraschallmessungen nicht nachzuweisen. In den Horizontal- und Schrägbohrungen beträgt die Auflockerung gleichermaßen 3,5 bis 4,0 m.

Wie bei den Labormessungen zeigen auch die in situ-Messungen keine einheitlichen Zusammenhänge zur Petrographie. Entscheidend für die Ultraschallgeschwindigkeiten im Gebirge ist das Gefüge, speziell der vorhandenen Risse und Poren. Deren Öffnungsweiten werden vom herrschenden Spannungszustand bestimmt, der sich aufgrund der Hohlraumauffahrung einstellt.

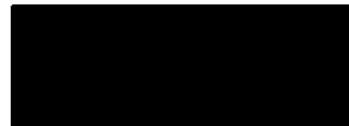
Die Ultraschallmessungen haben sich als ein geeignetes Mittel erwiesen, die Auflockerungszonen um Kammern und Strecken auf der Grube Konrad zu bestimmen. Es ist mit einer Auflockerung von ca. 4,0 m zu rechnen.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

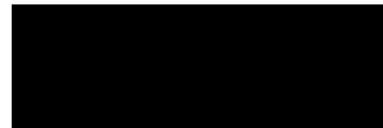
Im Auftrag



Sachbearbeiter:



- Techniker -



- Techniker -



- Dipl.-Ing. -



- Geologierat z.A. -

Literaturverzeichnis

- /1/ GSF-Bericht (1982): Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Abschlußbericht (GSF-T136) des Vorhabens KWA 1324 6, S. B6-16 bis B6-19, Fig. 6.1-14, Tab. 6.1-1
- /2/ BGR-Bericht (1985): Grube Konrad: Berechnungen zur Stand-
sicherheit geplanter untertägiger Hohlräume. - 16 S.,
BGR-Archiv-Nr. 98543, Hannover

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Einfluß der Gebirgs-/Meßapparaturerdung auf das Empfangssignal
- Abb. 2: Blockschaltbild der Ultraschallanlage
- Abb. 3: Elektronischer Meßeinschub der Ultraschallanlage
- Abb. 4: Lage der Durchschallungsbohrungen im Feld 5/1
- Abb. 5: Ergebnisse der Ultraschallmessungen in den Bohrungen 2/40 und 2/43
- Abb. 6: Ergebnisse der Ultraschallmessungen in den Bohrungen 2/41 und 2/42
- Abb. 7: Ergebnisse der Ultraschallmessungen in den Bohrungen 2/44 und 2/46
- Abb. 8: Ergebnisse der Ultraschallmessungen in den Bohrungen 2/45 und 2/47
- Abb. 9: Ultraschallwellengeschwindigkeiten im Vorversuch in der Kammer 522, Konrad
- Abb. 10: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S, Messung 04.89
- Abb. 11: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/46 bis 2/47 in der Kammer 231 S, Messung 04.89
- Abb. 12: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S, Messung 11.89
- Abb. 13: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/45 und 2/47 in der Kammer 231 S, Messung 11.89
- Abb. 14: Zusammenfassung der Ultraschallwellengeschwindigkeiten aus dem Vorversuch und der Messung 04.89 des Hauptversuchs
- Abb. 15: Zusammenfassung der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Messung 11.89 des Hauptversuchs

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Ergebnisse des Vorversuchs der Ultraschallmessungen in der Kammer 522 des Feldes 1
- Tab. 2: Ergebnisse des Hauptversuchs vom November 89 in der Kammer 241 S im Feld 5/1
- Tab. 3: Ergebnisse des Hauptversuchs vom November 89 in der Kammer 231 S im Feld 5/1
- Tab. 4a: Fehlerbetrachtung der In-situ-Ultraschallmessungen
- Tab. 4b: Fehlerbetrachtung der Labor-Ultraschallmessungen
- Tab. 5: Ergebnisse der Ultraschallmessungen im Labor

Anlagenverzeichnis

- Anl. 1: Geologische Aufnahme der Durchschallungsbohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S
- Anl. 2: Geologische Aufnahme der Durchschallungsbohrungen 2/44 bis 2/47 in der Kammer 231 S
- Anl. 3: Ultraschallmeßsignale des Vorversuchs in der Kammer 522
- Anl. 4: Ultraschallmeßsignale des Hauptversuchs im Feld 5/1, Messungen April und November 89
- Anl. 5: Petrographische Beschreibung der Ultraschall-Labor-Prüfkerne

Konrad, Feld 5/1, Kammer 241, Bohrungen 2/41-2/42, Teufe 7,0m

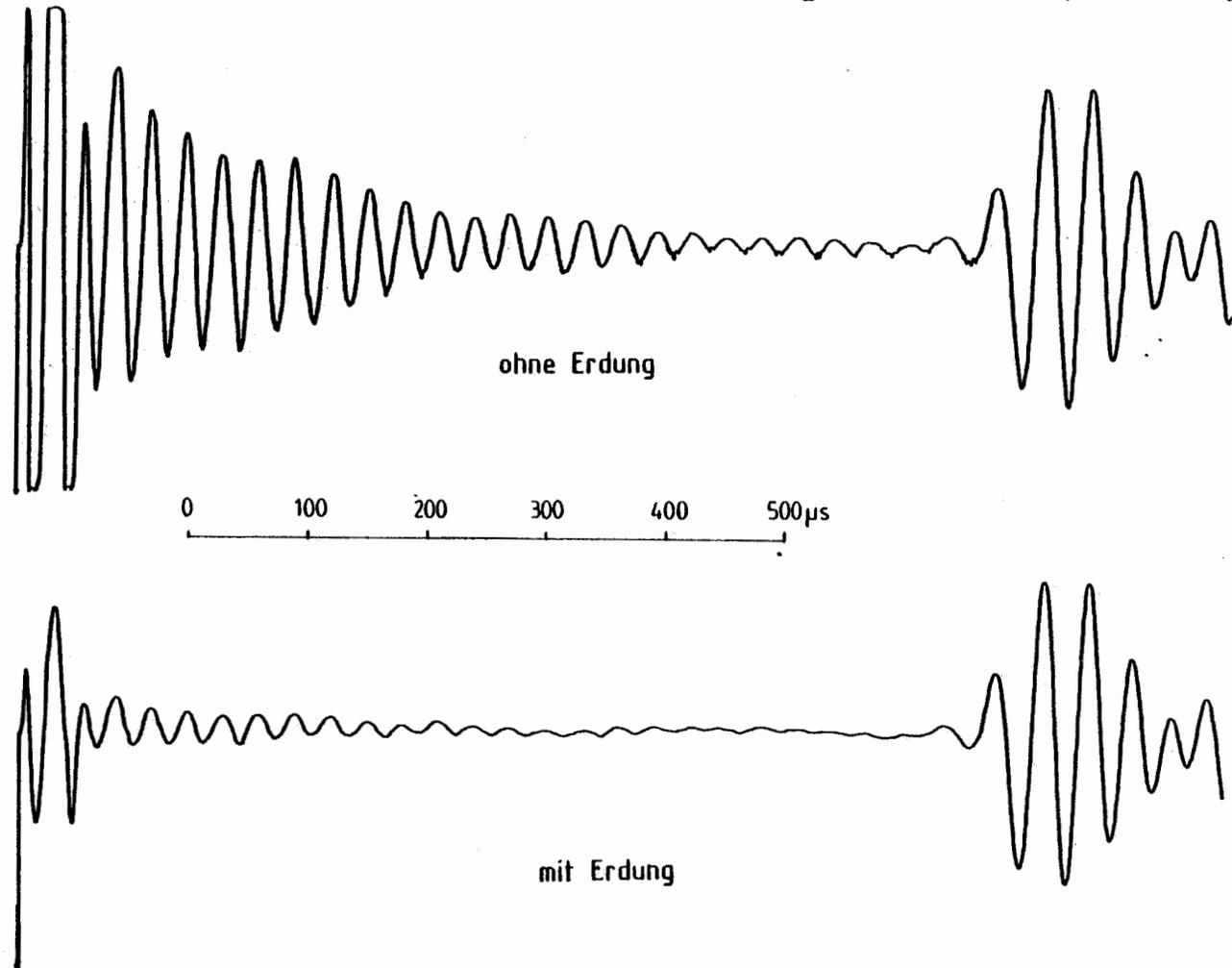
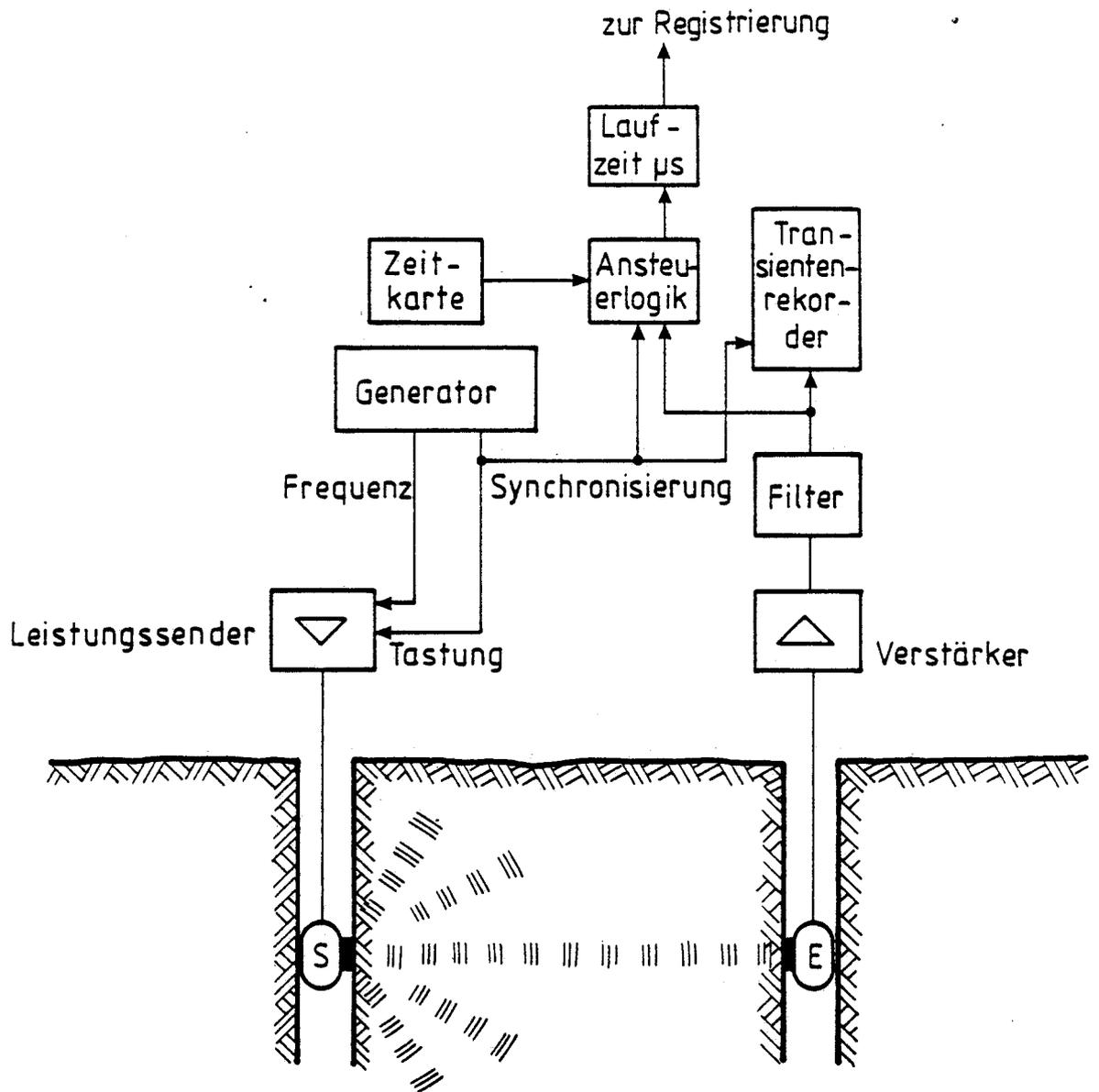


Abb. 1: Einfluß der Gebirgs-/Meßapparaturerdung auf das Empfangssignal



Blockschaltbild Ultraschallmessungen

Abb. 2: Blockschaltbild der Ultraschallanlage

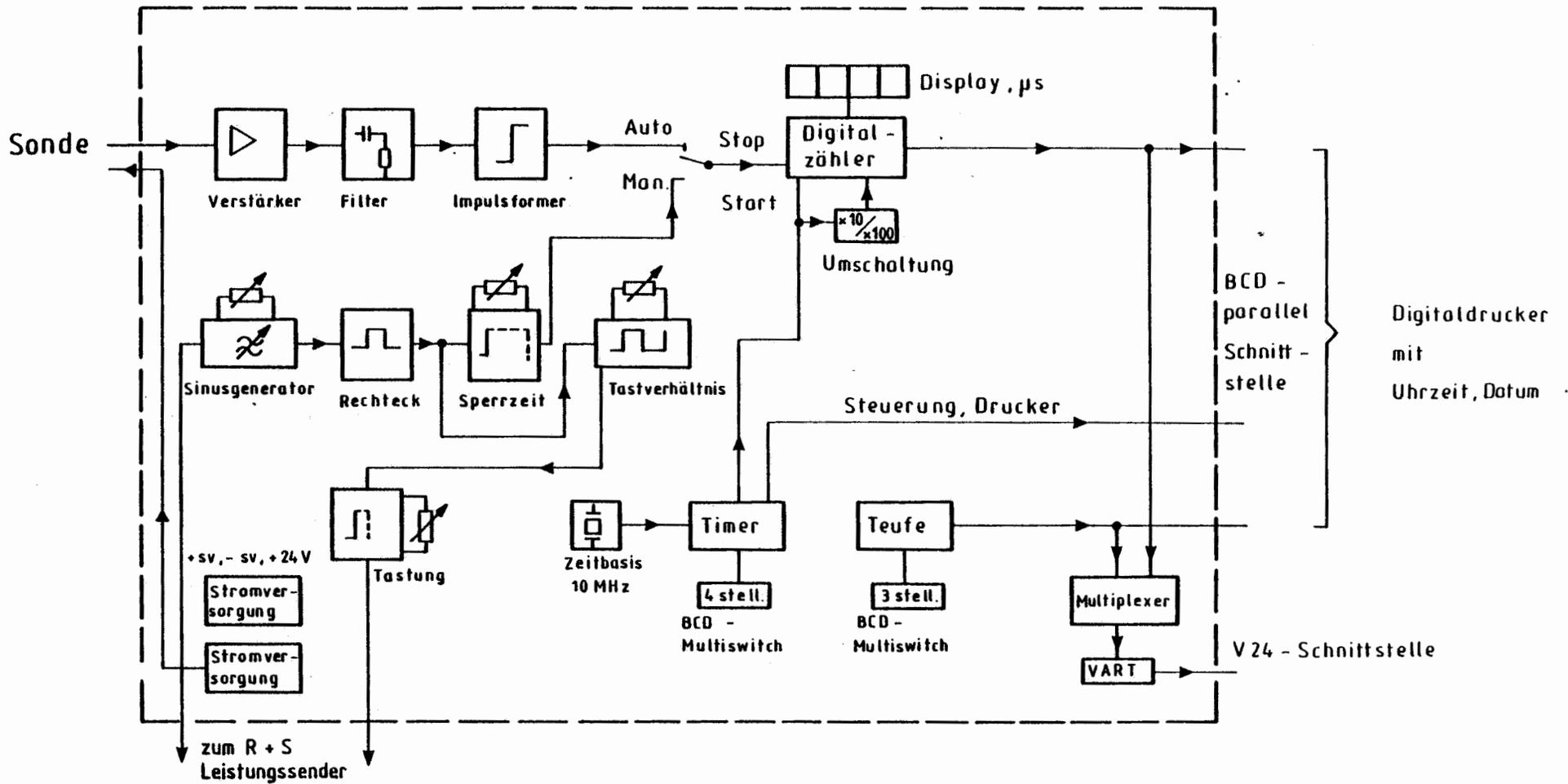


Abb. 3: Elektronischer Meßeinschub der Ultraschallanlage

Blockschnittbild
Elektronikeinschub
Ultraschall

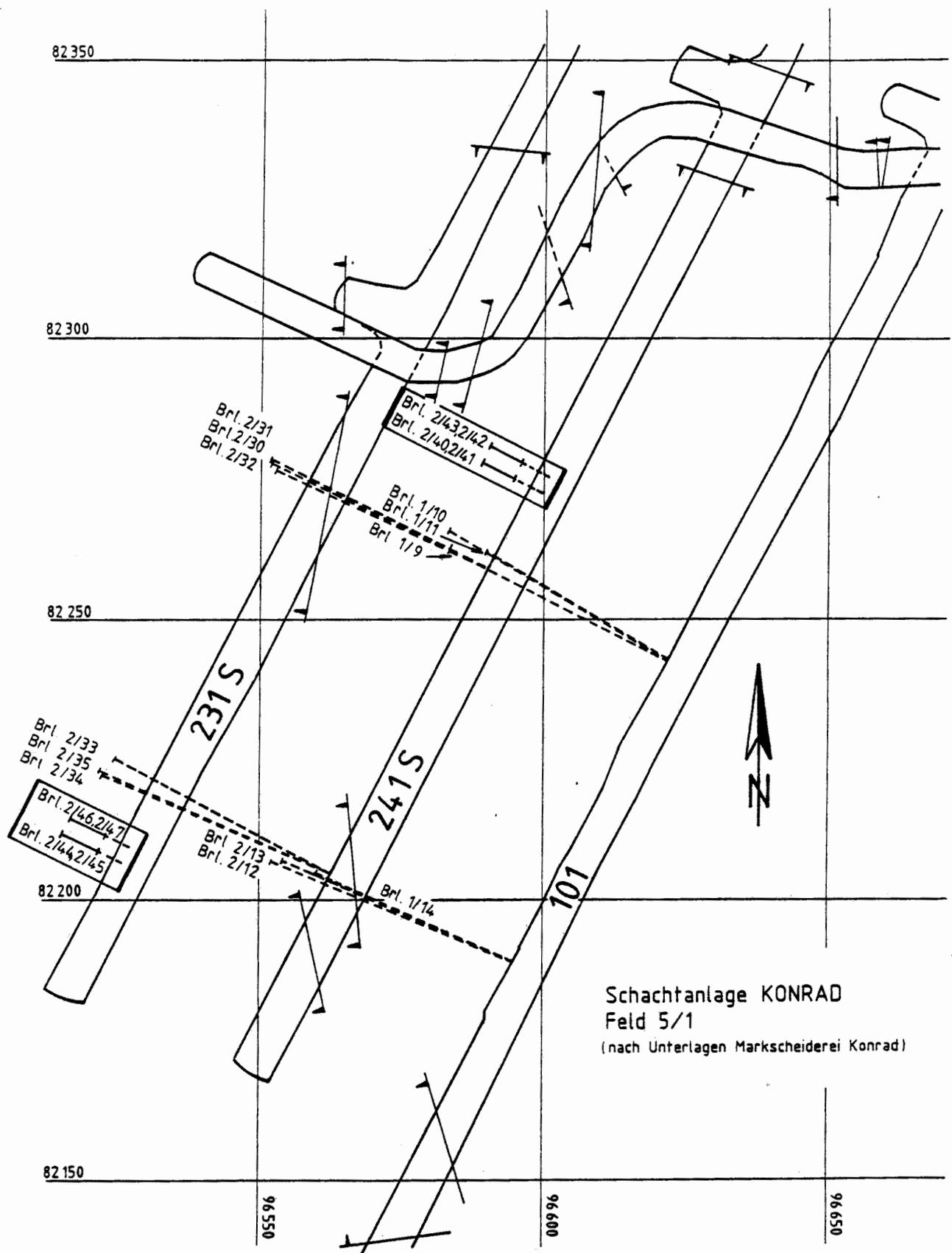


Abb. 4: Lage der Durchschallungsbohrungen im Feld 5/1

Konrad, Versuchsfeld 5/1
 Ultraschallbohrlochmessungen

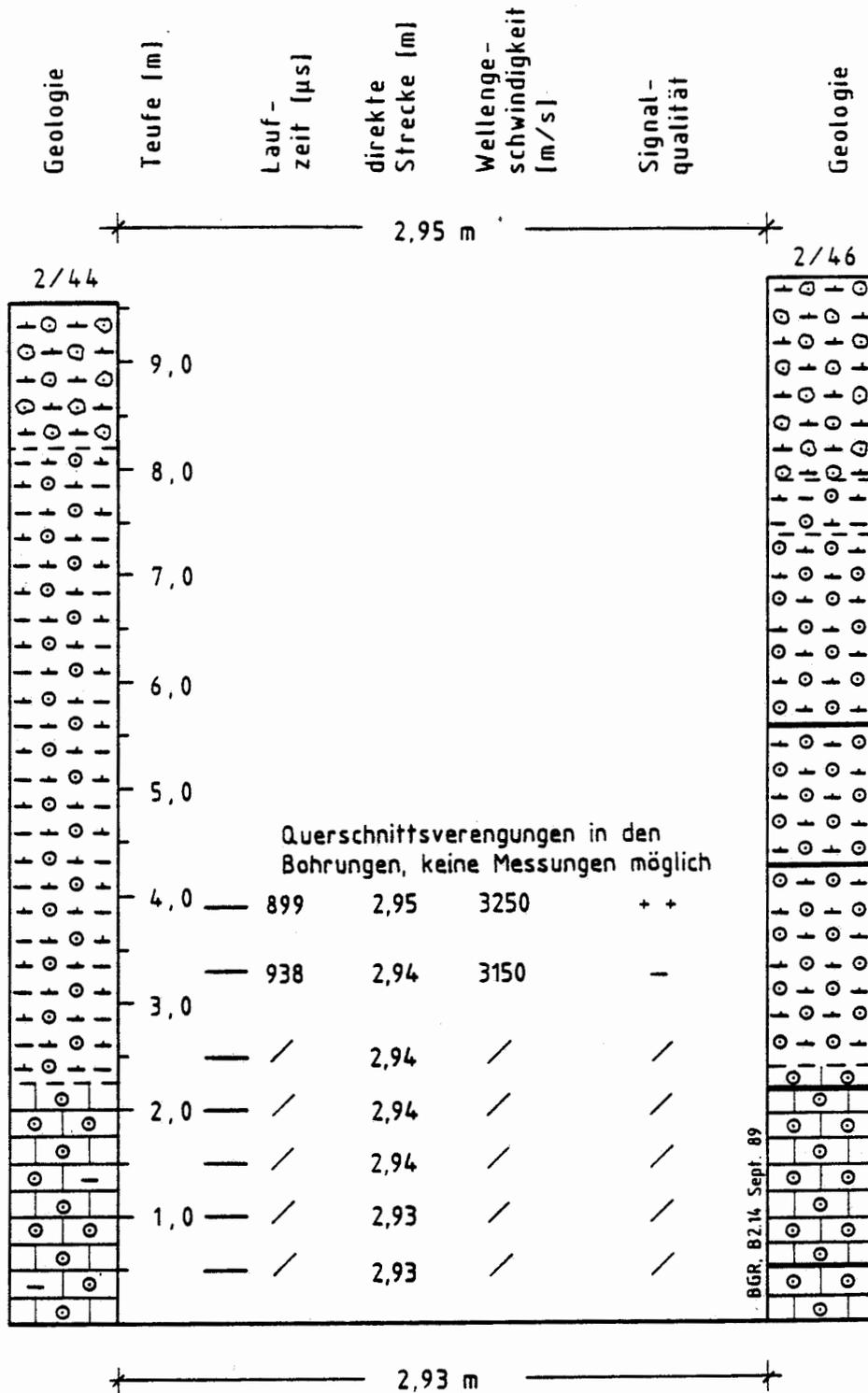


Abb. 7: Ergebnisse der Ultraschallmessungen in den Bohrungen 2/44 und 2/46

Konrad, Versuchsfeld 5/1
 Ultraschallbohrlochmessungen

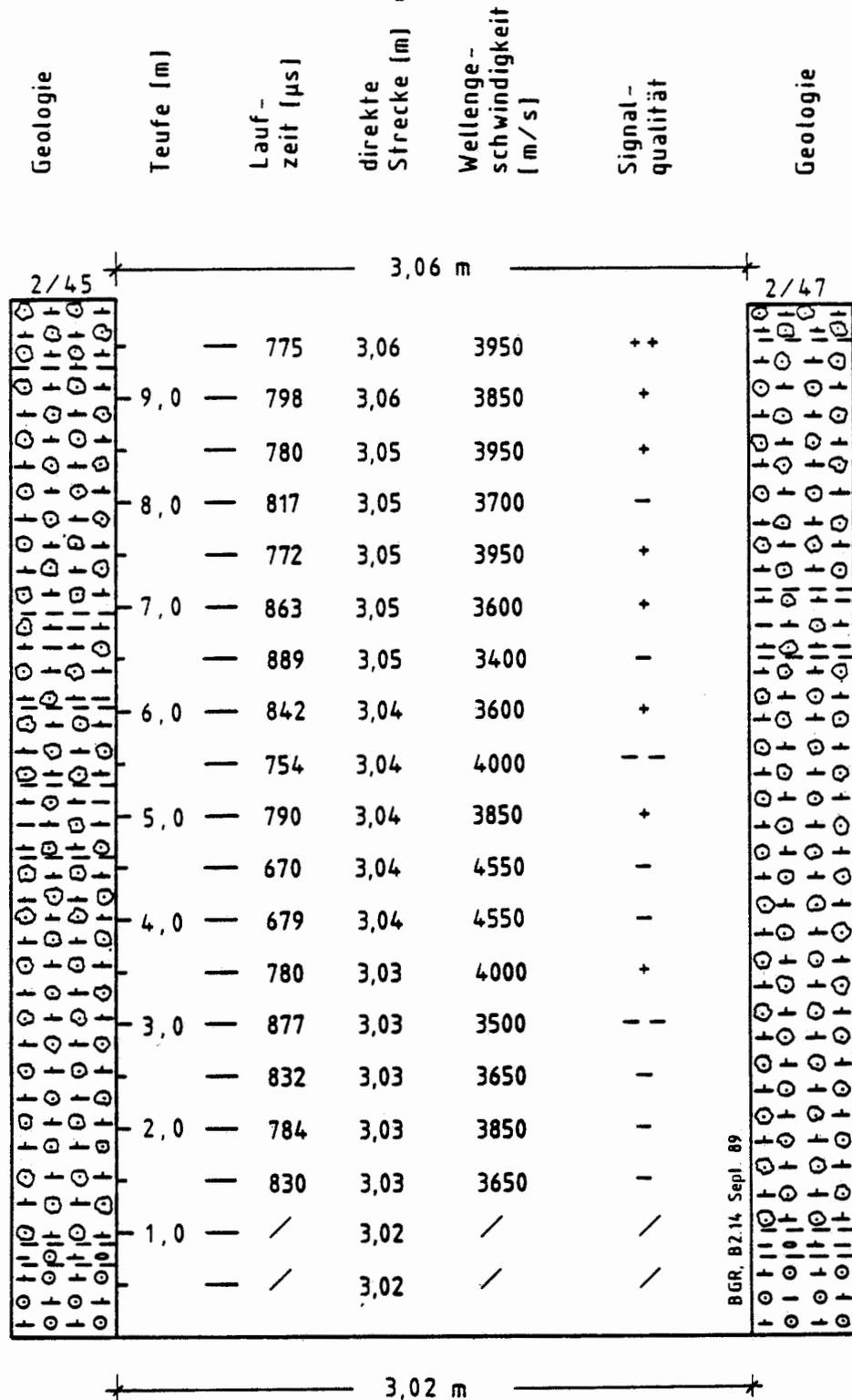


Abb. 8: Ergebnisse der Ultraschallmessungen in den Bohrungen 2/45 und 2/47

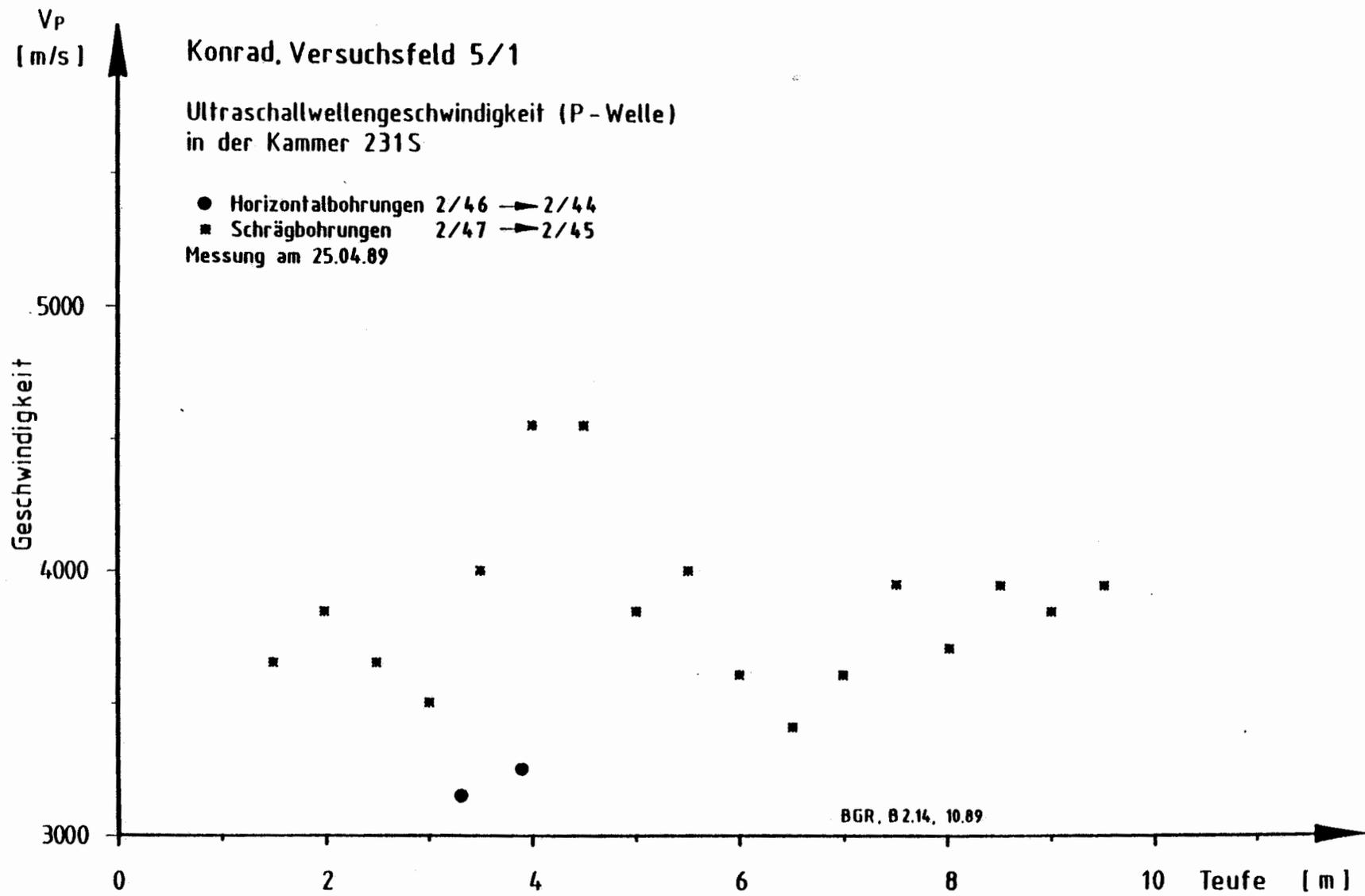


Abb. 11: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/46 bis 2/47 in der Kammer 231 S, Messung 04.89

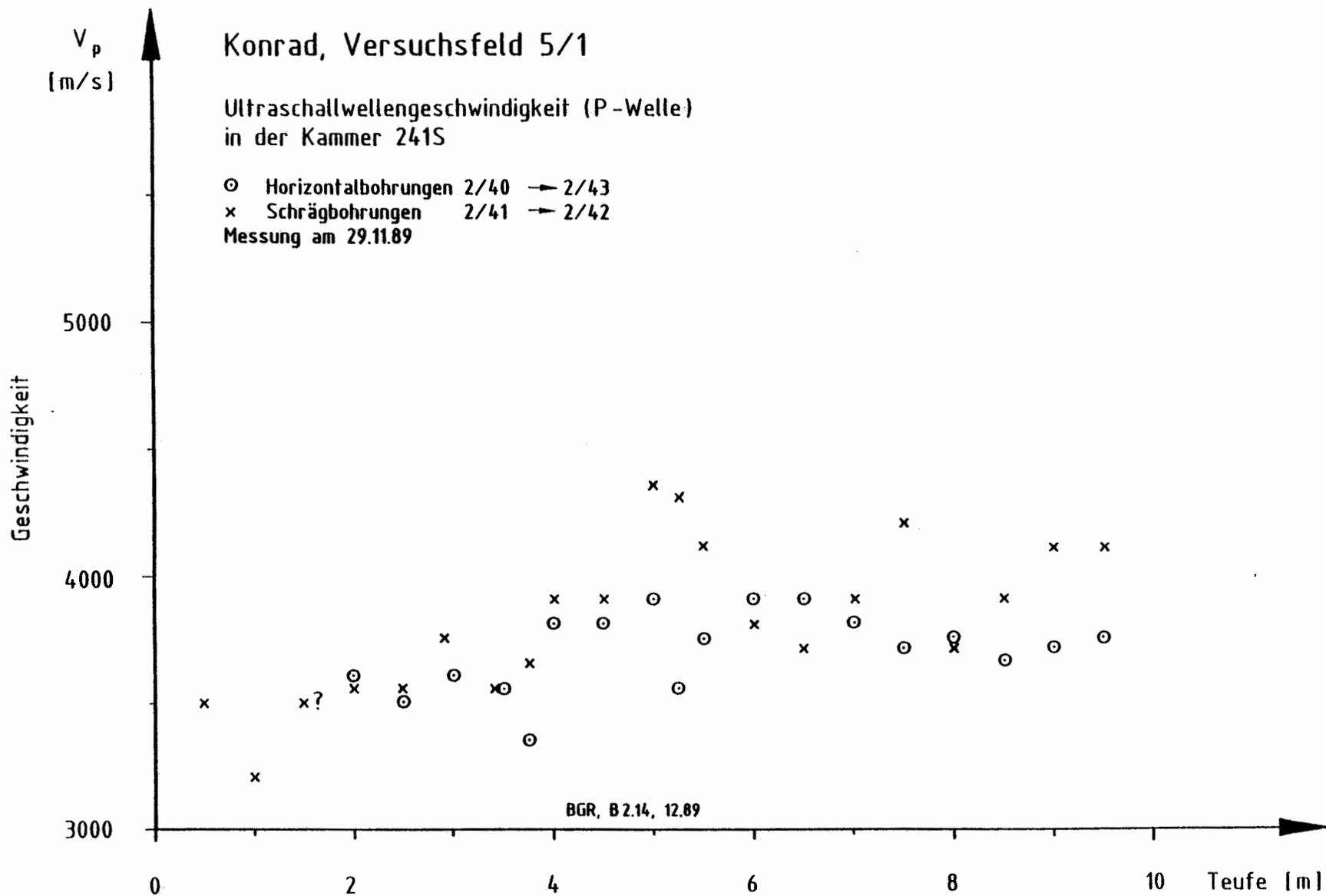


Abb. 12: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S, Messung 11.89

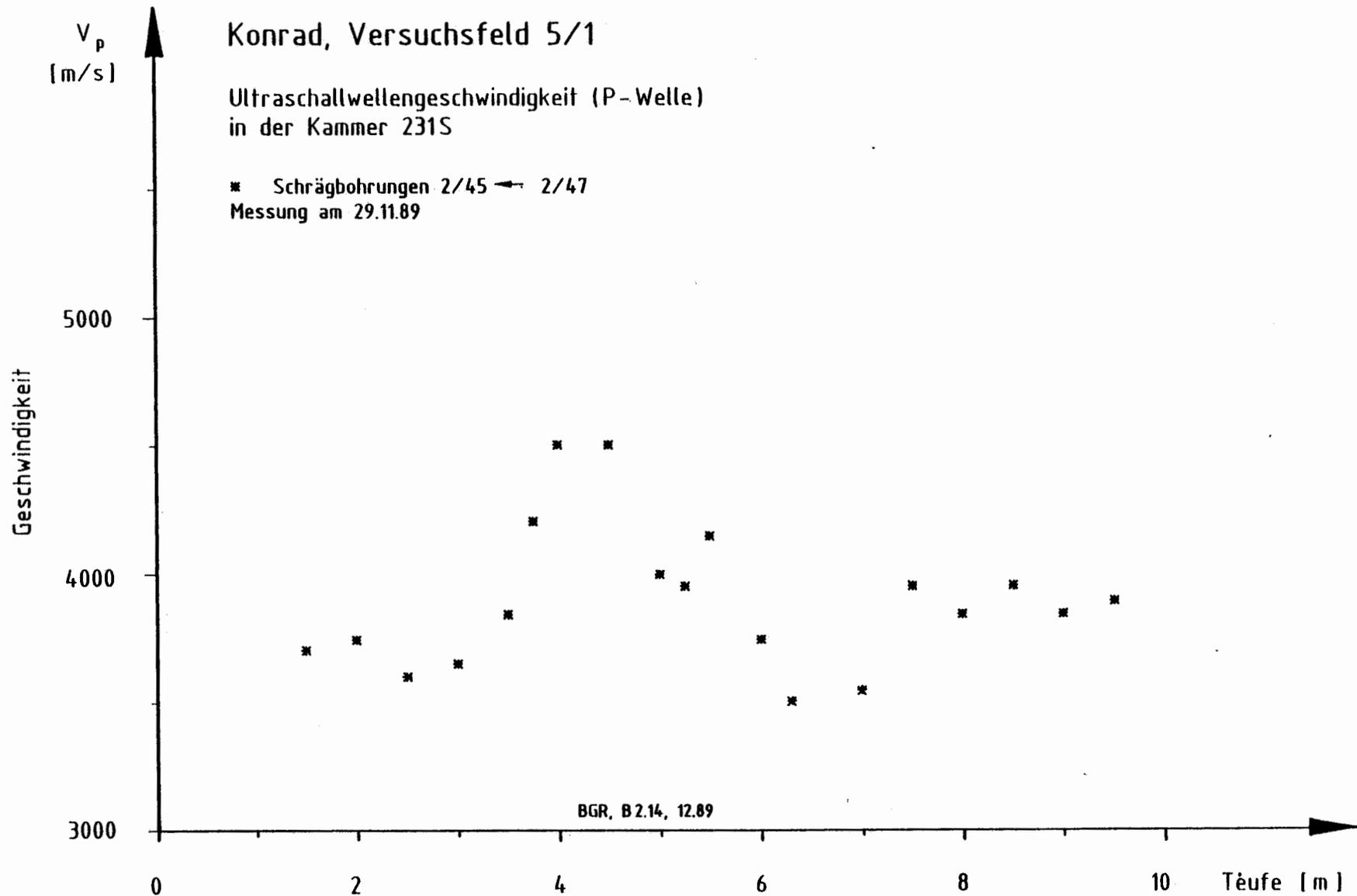


Abb. 13: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/45 und 2/47 in der Kammer 231 S, Messung 11.89

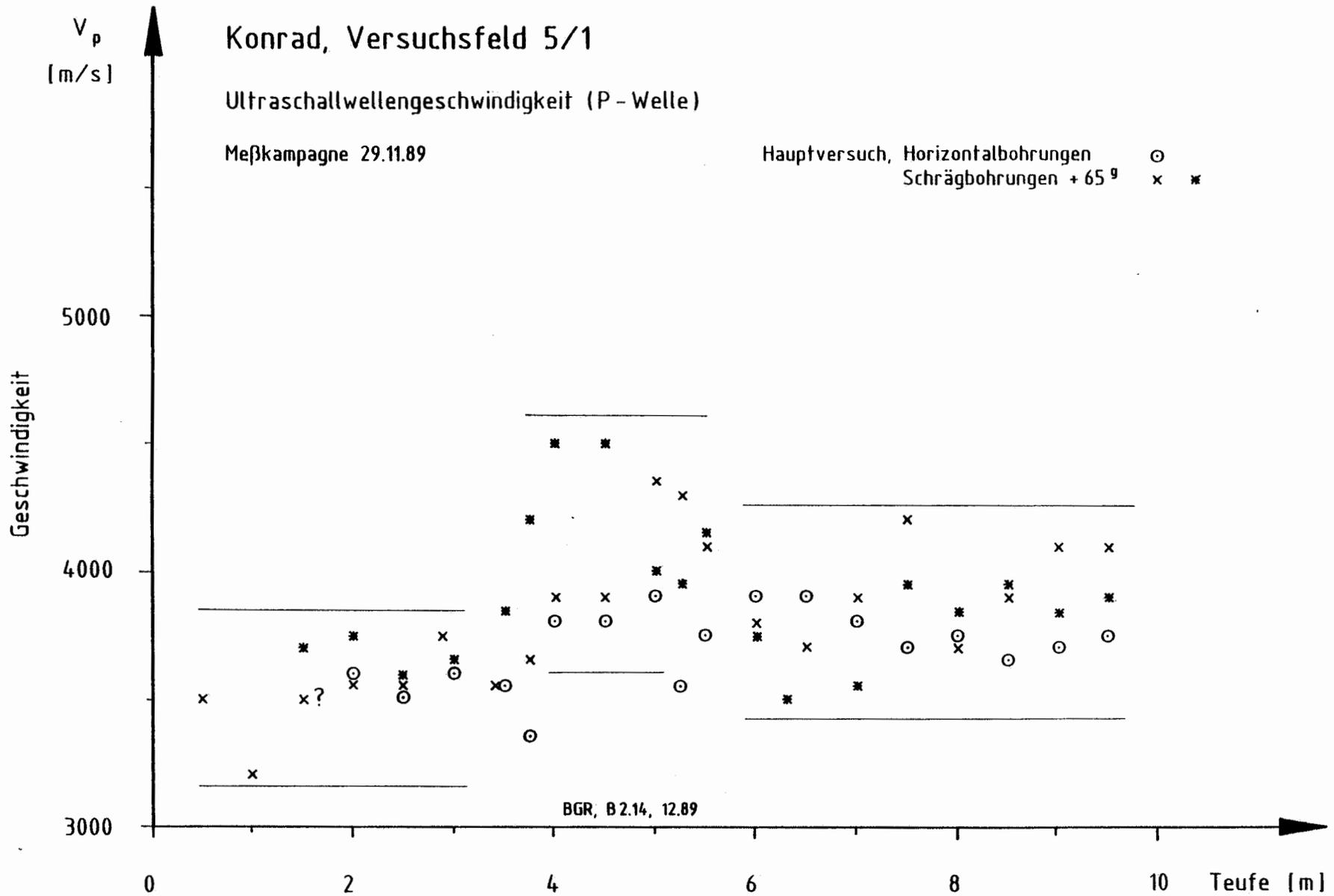


Abb. 14: Zusammenfassung der Ultraschallwellengeschwindigkeiten aus dem Vorversuch und der Messung 04.89 des Hauptversuchs

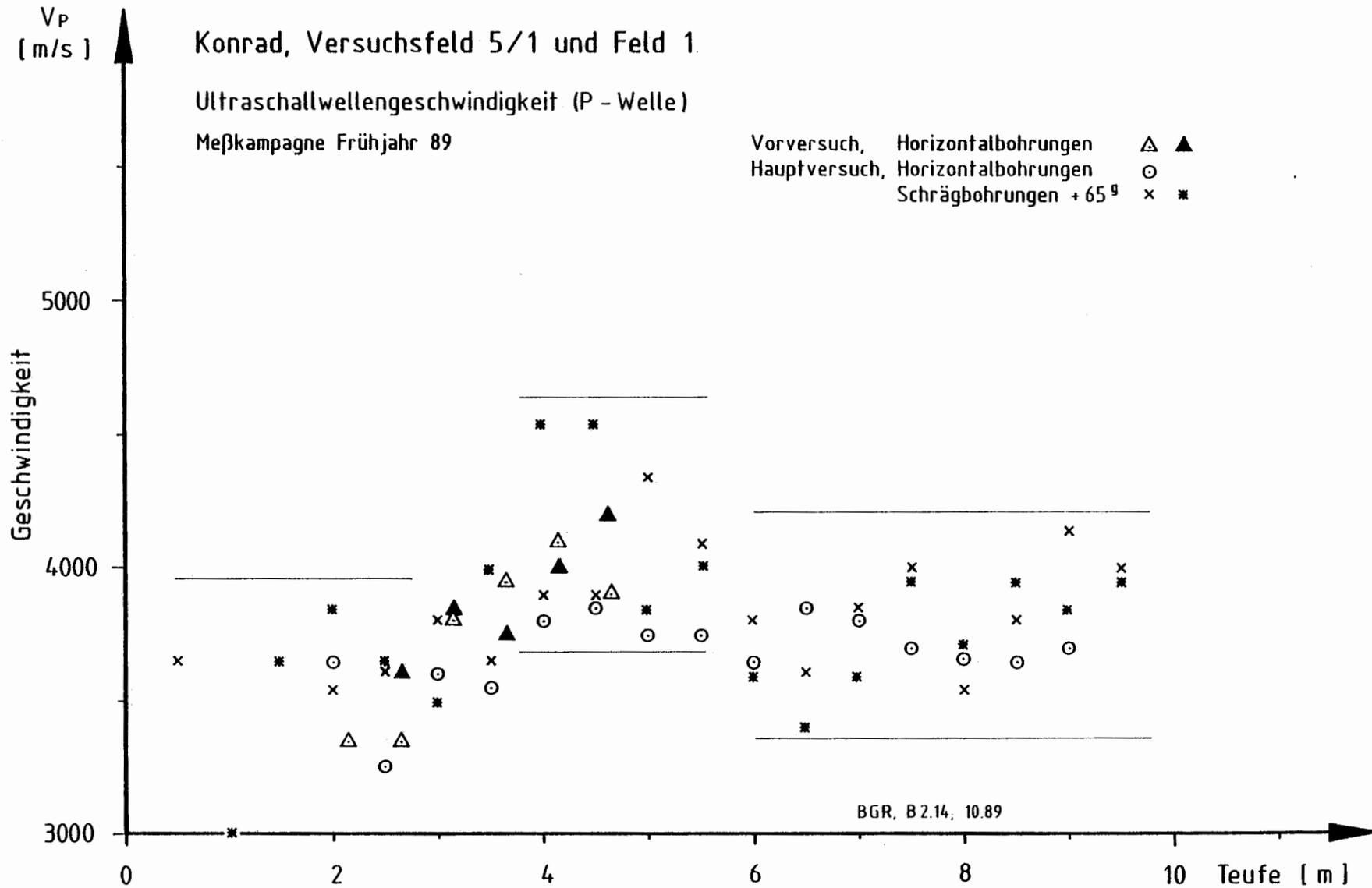


Abb. 15: Zusammenfassung der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Messung 11.89 des Hauptversuchs

Tiefe (m)	Frequenz (kHz)	Feld 1/522, 4 m Abstand				Feld 1/522, 2 m Abstand			
		Laufzeit (μ s)	Strecke (m)	Geschwind. (m/s)	Signal- qualität	Laufzeit (μ s)	Strecke (m)	Geschwind. (m/s)	Signal- qualität
0,65	29	-	3,84	-	-	1,92	-	-	-
1,15	29	-	3,84	-	-	1,91	-	-	-
1,65	29	-	3,85	-	-	1,91	-	-	-
2,15	29	-	3,85	-	-	573 ?	1,91	3350 ?	- -
2,65	29	1075	3,86	3600	- -	570 ?	1,91	3350 ?	- -
3,15	29	1010	3,87	3850	-	503	1,90	3800	+
3,65	29	1027	3,87	3750	-	479	1,90	3950	+
4,15	29	973	3,88	4000	- -	462	1,90	4100	-
4,65	29	919	3,88	4200	-	482	1,89	3900	+

Tab. 1: Ergebnisse des Vorversuchs der Ultraschallmessungen in der Kammer 522 des Feldes 1

Teufe m	Frequenz kHz	Bohrung 2/40 → 2/43				Bohrung 2/41 → 2/42			
		Laufzeit µs	Strecke m	Geschwindig. m/s	Signal- qualität	Laufzeit µs	Strecke m	Geschwindig. m/s	Signal- qualität
0,5	18	-	2,94	---	---	848	2,97	3500	+
1,0	18	-	2,94	---	---	925	2,97	3200	-
1,5	18	-	2,95	---	---	853 (?)	2,98	3500 (?)	--
2,0	18	823	2,95	3600	--	834	2,98	3550	--
2,5	18	851	2,96	3500	--	847	2,99	3550	-
3,0	18	823	2,97	3600	-	793	2,99	3750	-
3,5	18	840	2,97	3550	-	840	3,00	3550	--
3,75	18	887	2,98	3350	-	827	3,00	3650	+
4,0	18	787	2,98	3800	++	773	3,00	3900	-
4,5	18	781	2,98	3800	+	773	3,01	3900	+
5,0	18	766	2,99	3900	-	695	3,02	4350	+
5,25	18	844	2,99	3550	+	704	3,02	4300	+
5,5	18	803	3,00	3750	+	735	3,02	4100	-
6,0	18	813	3,00	3900	+	797	3,03	3800	+
6,5	18	772	3,01	3900	++	815	3,03	3700	-
7,0	18	788	3,01	3800	++	781	3,04	3900	-
7,5	18	821	3,02	3700	+	728	3,04	4200	+
8,0	18	807	3,03	3750	+	826	3,05	3700	-
8,5	18	829	3,03	3650	+	786	3,05	3900	-
9,0	18	818	3,04	3700	+	747	3,06	4100	-
9,5	18	815	3,04	3750	-	742	3,06	4100	+

Tab. 2: Ergebnisse des Hauptversuchs vom November 89 in der Kammer 241 S

Teufe	Frequenz	Bohrung 2/45 ← 2/47		Geschwindig.	Signal- qualität
		Laufzeit	Strecke		
m	kHz	μs	m	m/s	
0,5	18		3,02		
1,0	18		3,02		
1,5	18	816	3,03	3700	-
2,0	18	806	3,03	3750	--
2,5	18	837	3,03	3600	--
3,0	18	832	3,03	3650	-
3,5	18	785	3,03	3850	++
3,75	18	723	3,04	4200	+
4,0	18	676	3,04	4500	+
4,5	18	676	3,04	4500	+
5,0	18	756	3,04	4000	+
5,25	18	773	3,04	3950	+
5,5	18	731	3,04	4150	-
6,0	18	814	3,04	3750	++
6,3	18	876	3,05	3500	+
7,0	18	855	3,05	3550	++
7,5	18	775	3,05	3950	+
8,0	18	794	3,05	3850	++
8,5	18	772	3,05	3950	+
9,0	18	799	3,06	3850	++
9,5	18	780	3,06	3900	++
10,0	18		3,06		

Tab. 3: Ergebnisse des Hauptversuchs vom November 89 in der
Kammer 231 S

s [m]	Δt [s]	t [s]	Δs [m]	Δv [m/s]
3,06	$10 \cdot 10^{-6}$	$670 \cdot 10^{-6}$	0,03	113
3,06	$20 \cdot 10^{-6}$	$670 \cdot 10^{-6}$	0,03	181
3,06	$50 \cdot 10^{-6}$	$670 \cdot 10^{-6}$	0,03	386
2,93	$10 \cdot 10^{-6}$	$940 \cdot 10^{-6}$	0,03	65
2,93	$20 \cdot 10^{-6}$	$940 \cdot 10^{-6}$	0,03	98
2,93	$50 \cdot 10^{-6}$	$940 \cdot 10^{-6}$	0,03	198

Tab. 4a: Fehlerbetrachtung der In-Situ-Ultraschallmessungen

s [m]	Δt [s]	t [s]	Δs [m]	Δv [m/s]
0,05	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$17,58 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	84
0,05	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$11,36 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	198
0,12	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$15,69 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	23
0,12	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$35,83 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	48

Tab. 4b: Fehlerbetrachtung der Labor-Ultraschallmessungen

Kernbe- zeichnung	Labor- Nr.	Kern- Nr.	Abmessungen		Laufzeit t (µs)	Geschw. v _p (m/s)	Bemerk.
			l (mm)	d (mm)			
2/40/001/2	89010	205	120,1	50,0	51,69	2320	lä s
					-	-	p
2/40/003/5	"	206	120,0	50,0	48,44	2480	lä
					16,49	3040	s
					16,18	3100	p
2/40/006/9	"	207	120,0	50,0	43,01	2800	lä
					16,84	2980	s
					17,02	2940	p
2/41/001/1	"	208	120,0	50,0	44,89	2680	lä
					16,18	3100	r
					17,08	2920	r
2/41/004/6	"	209	116,0	49,9	38,98	2980	lä
					13,84	3600	s
					13,23	3780	p
2/41/005/8	"	210	118,1	50,0	42,88	2760	lä
					14,92	3360	s
					14,52	3440	p
2/46/002/2	"	211	120,1	50,0	36,68	3280	lä
					16,66	3000	s
					14,11	3560	p
2/46/003/2	"	221	90,0	69,6	25,80	3480	lä
					-	-	s
					20,56	3380	p
2/46/003/3	"	212	120,1	50,0	36,06	3340	lä
					16,80	2980	s
					14,18	3520	p
2/46/005/5	"	213	120,0	50,0	35,83	3360	lä
					16,02	3120	s
					13,90	3600	p
2/46/006/6	"	214	120,0	50,0	-	-	lä
					17,58	2840	s
					14,54	3460	p
2/46/007/7	"	215	117,0	50,0	30,46	3840	lä
					11,36	4400	r
					11,85	4220	r
2/47/001/1	"	216	120,0	50,0	41,57	2880	lä
					14,90	3360	s
					15,63	3200	p
2/47/002/3	"	217	120,0	50,0	-	-	lä
					13,17	3800	s
					12,90	3880	p
2/47/002/3	"	219	88,8	70,0	-	-	lä
					-	-	r
					-	-	r
2/47/005/8	"	220	86,3	69,5	-	-	lä
					-	-	r
					-	-	r
2/47/007/11	"	218	120,0	50,0	-	-	lä
					-	-	r
					-	-	r

lä = längs, s = senkrecht, p = parallel, r = radial

Tab. 5: Ergebnisse der Ultraschallmessungen im Labor

Anlage 1

Geologische Aufnahme der Durchschallungsbohrungen 2/40 bis 2/43
in der Kammer 241S

Bohrung 2/40, ϕ 86 mm

0,00 - 10,00 m Eisenoolith, rotbraun, kalkig, lagenweise tonig, überwiegend feinoolithisch, gelegentlich kalkstreifig mit gröberen Fe-Ooiden, Tonsteinschmitzen, etwas Muschelschill.

Bei 0,28 - 0,32 feingeschichtete Tonsteinlage
0,68 - 0,72 aufgespaltene "
1,16 - 1,18 "
9,47 - 9,49 "

Auflockerungszone nach Bohrkern bis ca. 1,30 m

Bohrung 2/41, ϕ 86 mm

0,00 - 4,40 m Eisenoolith, rostbraun bis ocker, kalkig-kalkstreifig, feinoolithisch, viele Tonsteinstreifen, Muschelschill. Bei 1,20 - 1,23/1,78-1,90/3,67-3,69/3,79-3,83/4,09-4,11 Tonsteinlagen

- 8,43 m Mergelstein, kalkstreifig mit vielen Fe-Ooid-Schüttungen und Tonsteinlagen
- 9,75 m Mergelstein, grau, limonitische Onkoide (Zwischenmittel)

Bohrung 2/42, ϕ 66 mm

0,00 - 5,31 m Eisenoolith, stark kalkstreifig, rostbraun, Tonsteinschmitzen bis dünne Tonsteinstreifen, Muschelschill; darin 1,40 m Kernverlust.
Bei 1,75-1,85/4,05-4,07/4,15-4,18 m Tonsteinlagen

- 8,06 m Mergelstein, lagenweise stärkere Fe-Ooid-Schüttungen, Tonsteinlagen und -schmitzen, Muschelschill
- 8,35 m Tonstein, etwas Fe-Ooide
- 9,80 m Mergelstein, limonitische Onkoide (Zwischenmittel)

Bohrung 2/43, ϕ 66 mm

0,00 - 10,00 m Eisenoolith, rostbraun, kalkig, Wechsel von feinen Ooiden und schlechter sortierten kalkstreifigen Lagen mit kleinen Fe-Ooid-Geröllen; gelegentlich tonig sowie Tonsteinschmitzen und dünnen Tonsteinstreifen. Bei 1,37 - 1,43 Tonsteinlage.

Anlage 2

Geologische Aufnahme der Durchschallungsbohrungen 2/44 bis 2/47
in der Kammer 231S

Bohrung 2/44, ϕ 66 mm

- 0,00 - 2,26 m Erzkalk, rostbraun, feinoolithisch, Tonsteinschmitzen, etwas Muschelschill
- 8,20 m Mergelstein, grau-braungrau, lagenweise Fe-Ooid- und/oder stärker muschelschillführend, Tonstreifen
- 9,55 m Mergelstein, kalkig/limonitische Onkoide, etwas Muschelschill (Zwischenmittel)

Auflockerungszone nach Bohrkern bis ca. 0,60 m

Bohrung 2/45, ϕ 66 mm

- 0,00 - 0,70 m Mergelstein, grau-braungrau, stark Fe-Ooid-führend, Muschelschill
- 0,90 m Tonmergelstein, grau, etwas Fe-Ooide und Fe-Oolith-Gerölle
- 9,95 m Mergelstein, grau, kalkig/limonitische Onkoide, Muschelschill; bei 4,60 - 5,30/6,05 - 6,95 m toniger; ab 9,30 stärkere Muschelschill- und Fe-Ooidführung.

Bohrung 2/46, ϕ 86 mm

- 0,00 - 2,40 m Erzkalk, rostbraun, feinoolithisch, etwas Muschelschill, bei 0,55/2,20 m cm-starke feingeschichtete Tonsteinlagen
- 7,40 m Mergelstein, grau-braungrau, in Schlieren und Lagen starke Fe-Ooidführung, viel z.T. auch lagenweise angereichert Muschelschill, bei 4,30/5,60 m Tonsteinlagen
- 7,90 m Tonmergelstein, grau, Schlieren und Gerölle aus Fe-Ooiden
- 9,80 m Mergelstein, kalkig/limonitische Onkoide, etwas Muschelschill (Zwischenmittel)

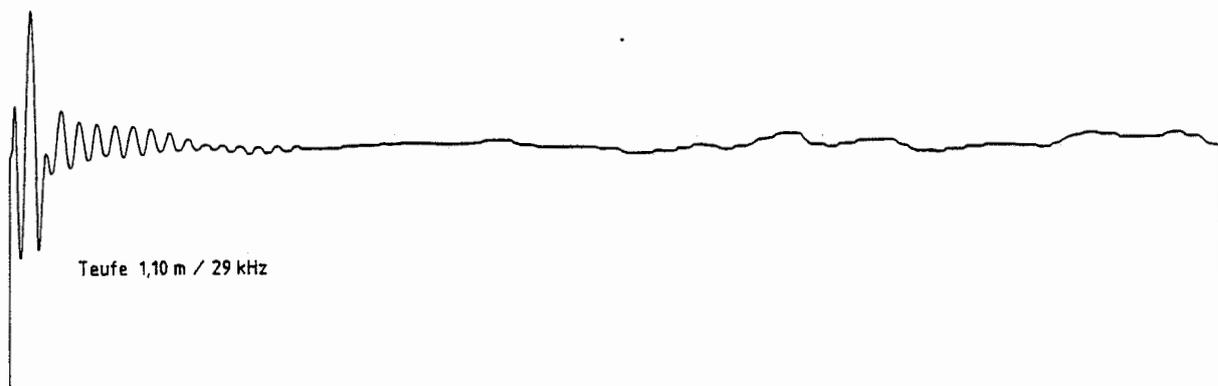
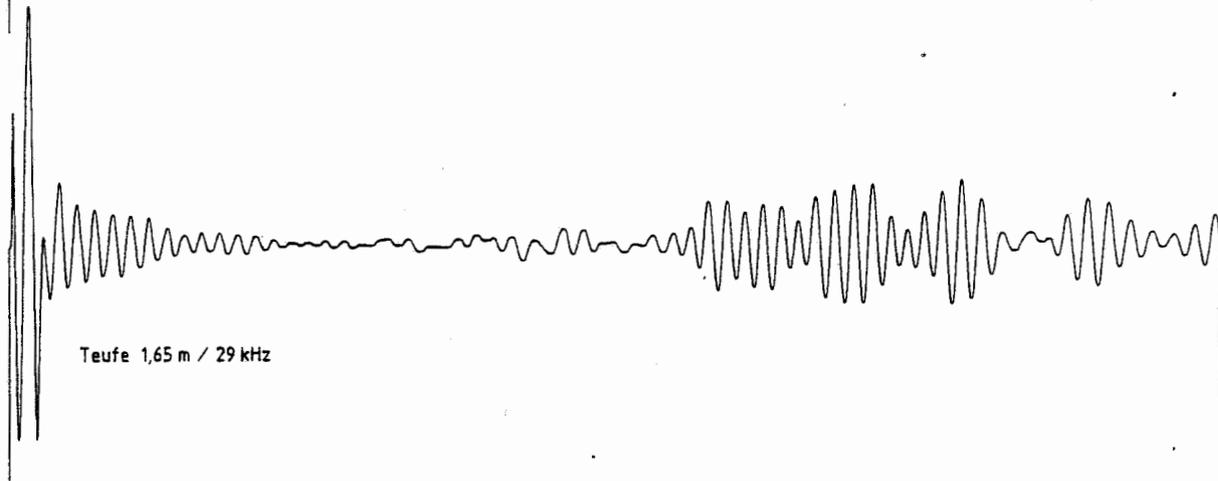
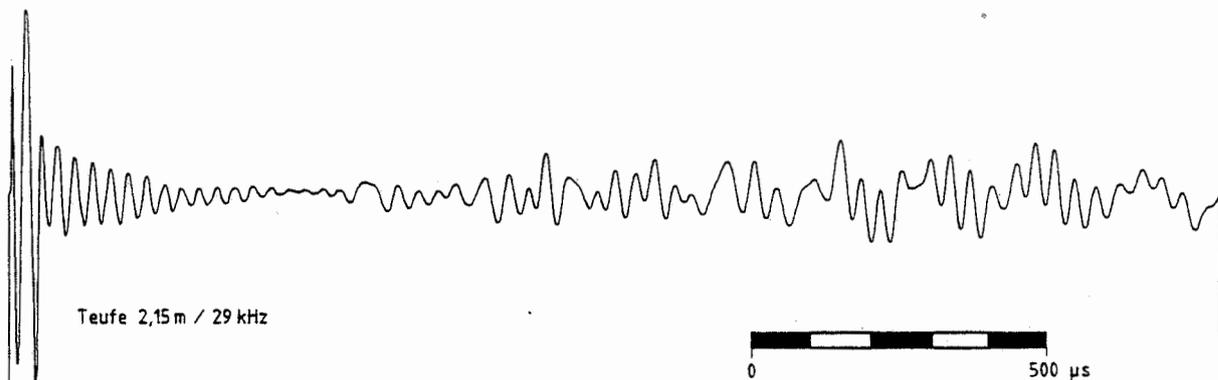
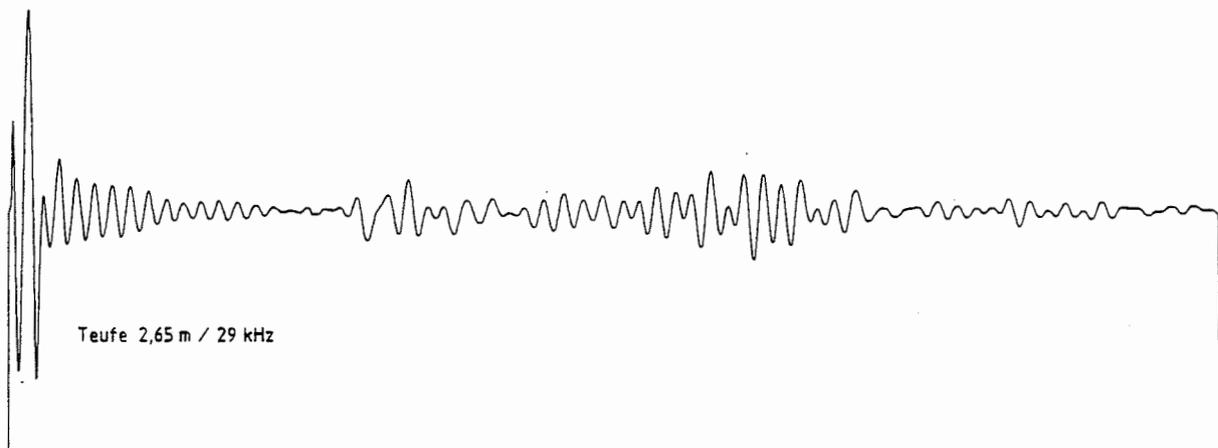
Bohrung 2/47, ϕ 86 mm

- 0,00 - 0,75 m Mergelstein, grau-braungrau, starke Fe-Ooidführung, lagenweise viel Muschelschill, Tonsteinschmitzen
- 1,00 m Tonmergelstein, grau, wenige Fe-Ooide, etwas Fe-Oolith-Gerölle
- 9,90 m Mergelstein, grau, kalkig/limonitische Onkoide, etwas Muschelschill, bei 6,50 - 7,15 m toniger, ab 9,55 m Fe-Ooidführung.

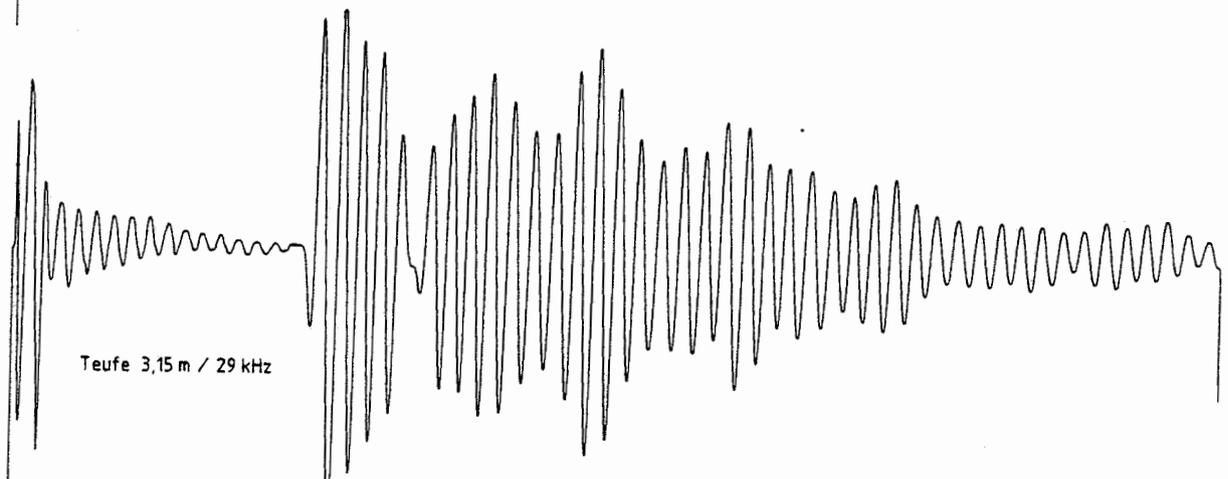
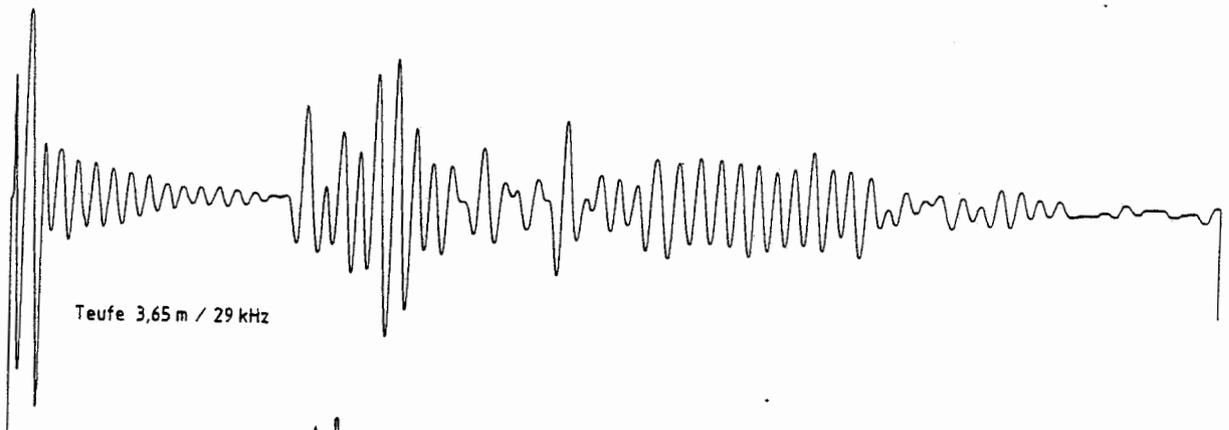
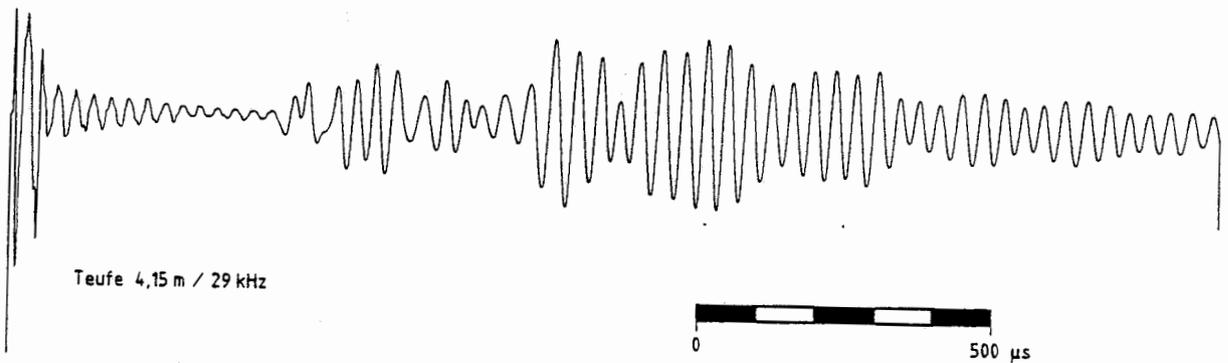
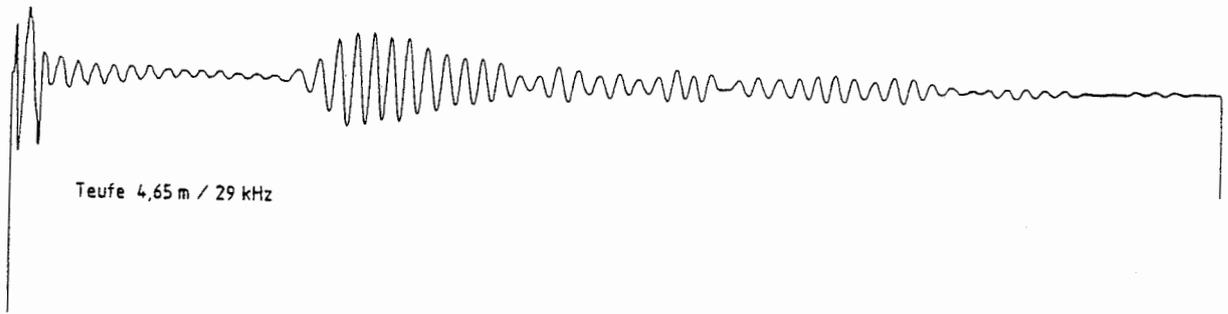
Anlage 3

Ultraschallmeßsignale des Vorversuchs

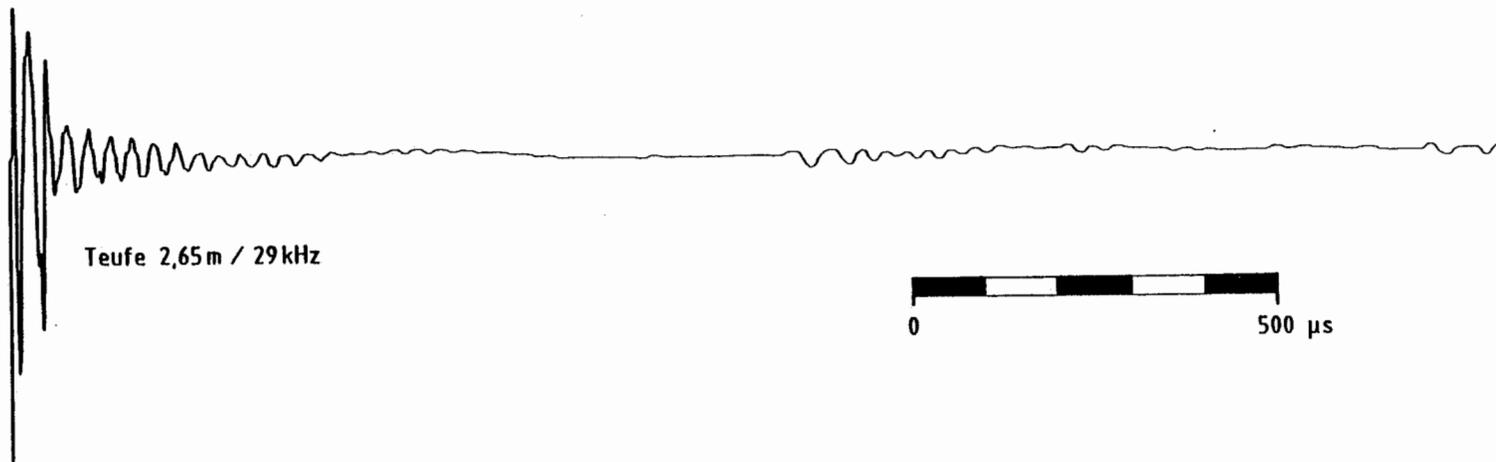
in der Kammer 522



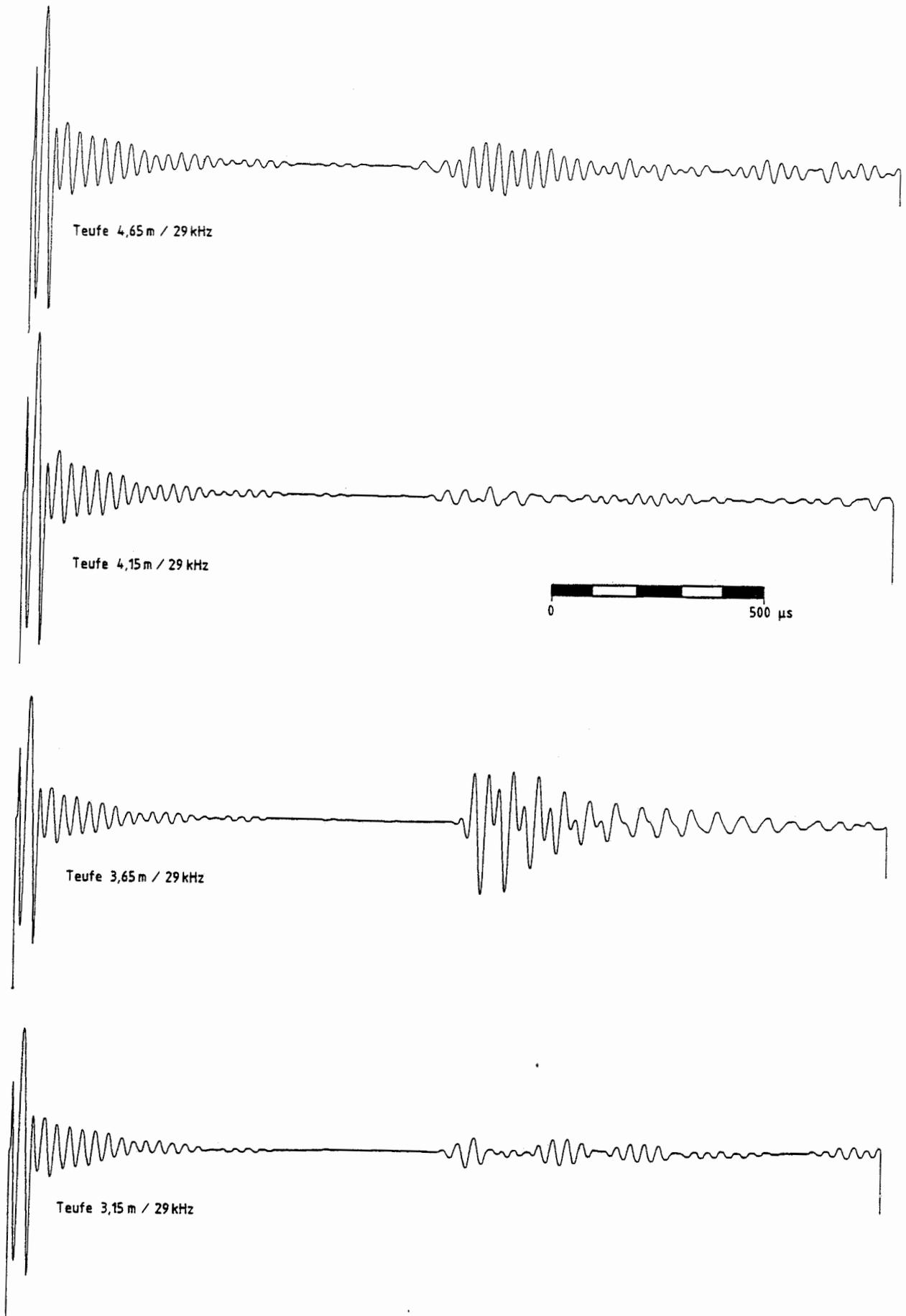
Konrad, Feld 1, 522, Vorversuch (2m Abstand)



Konrad, Feld 1, 522, Vorversuch (2m Abstand)



Konrad, Feld 1, 522, Vorversuch (4 m Abstand)

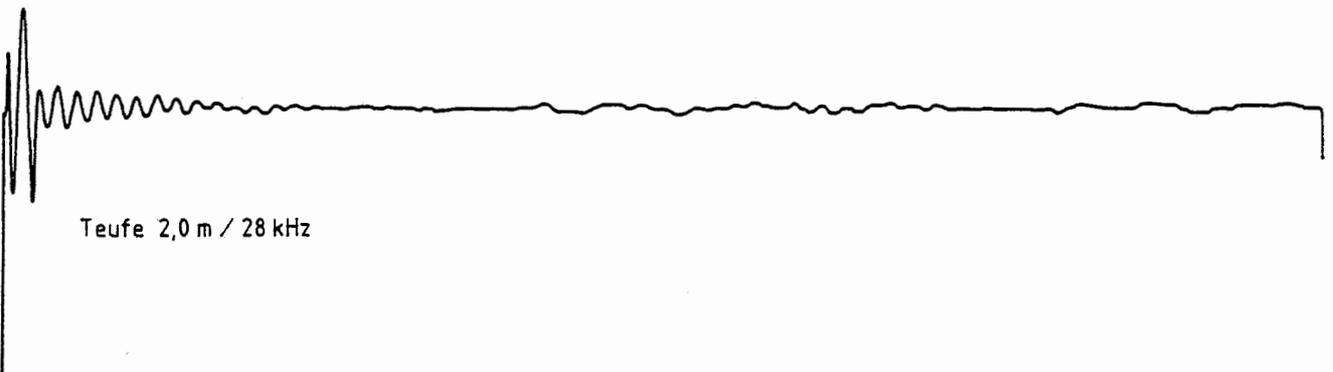
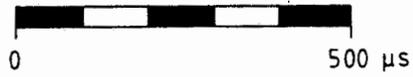
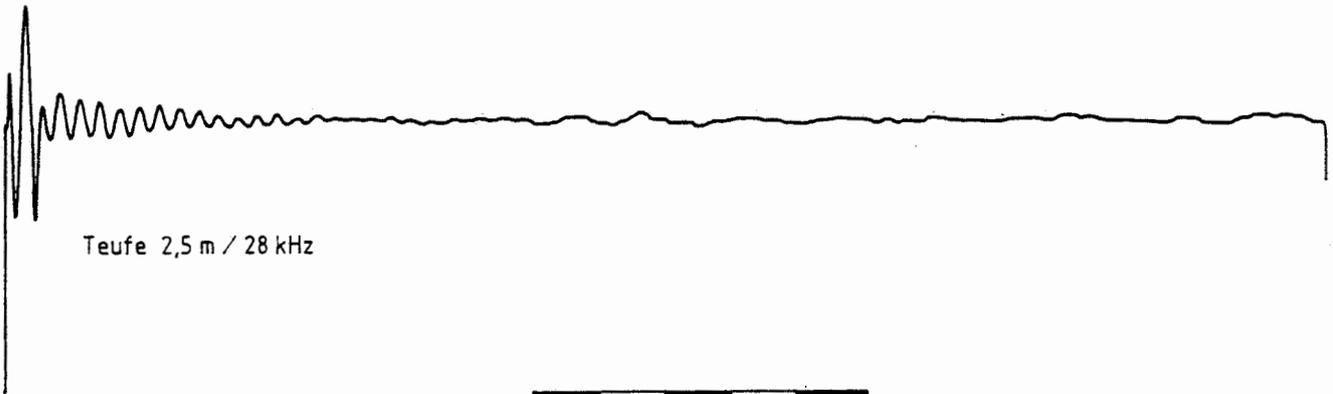


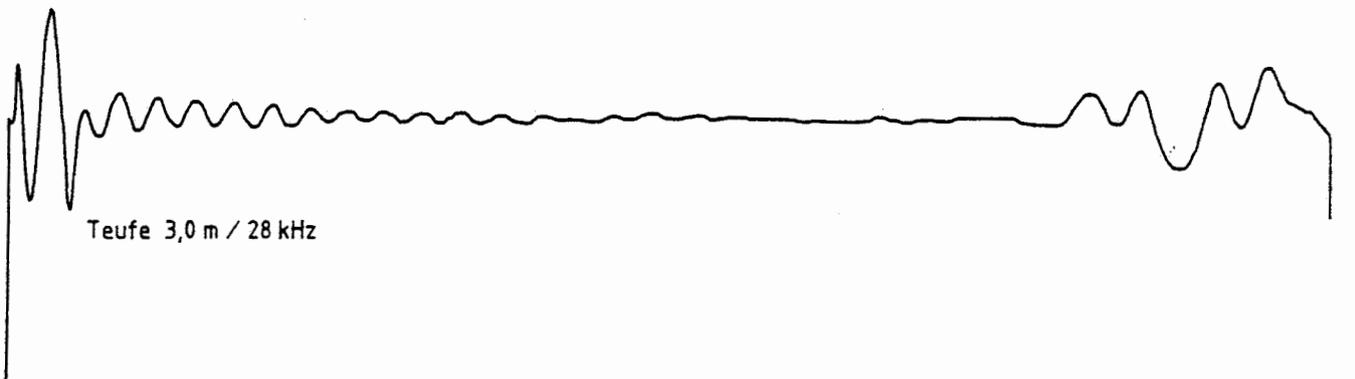
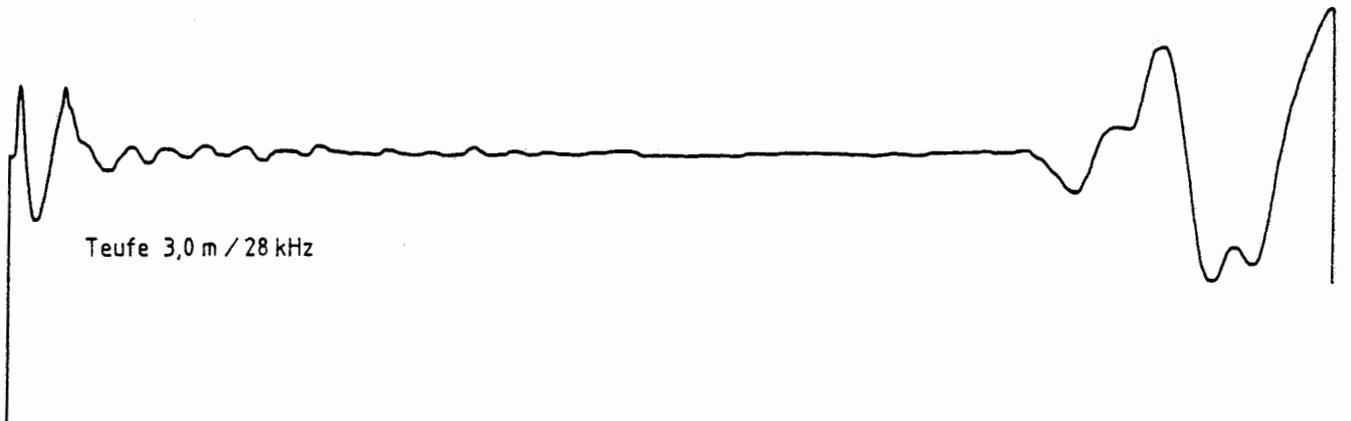
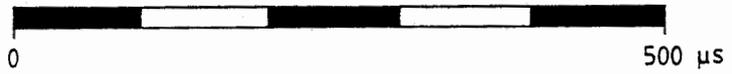
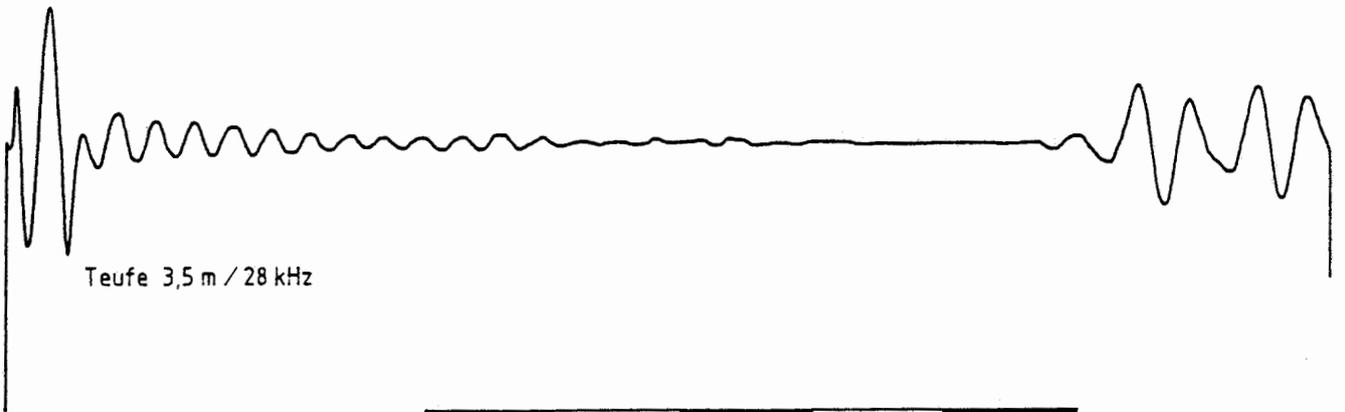
Konrad, Feld 1, 522, Vorversuch (4 m Abstand)

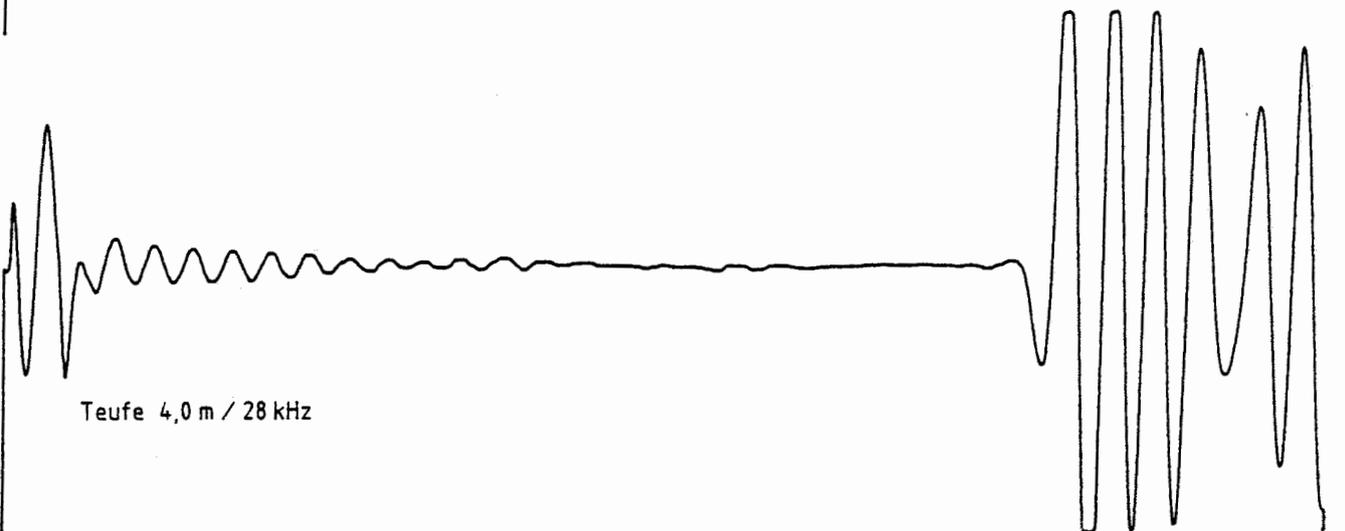
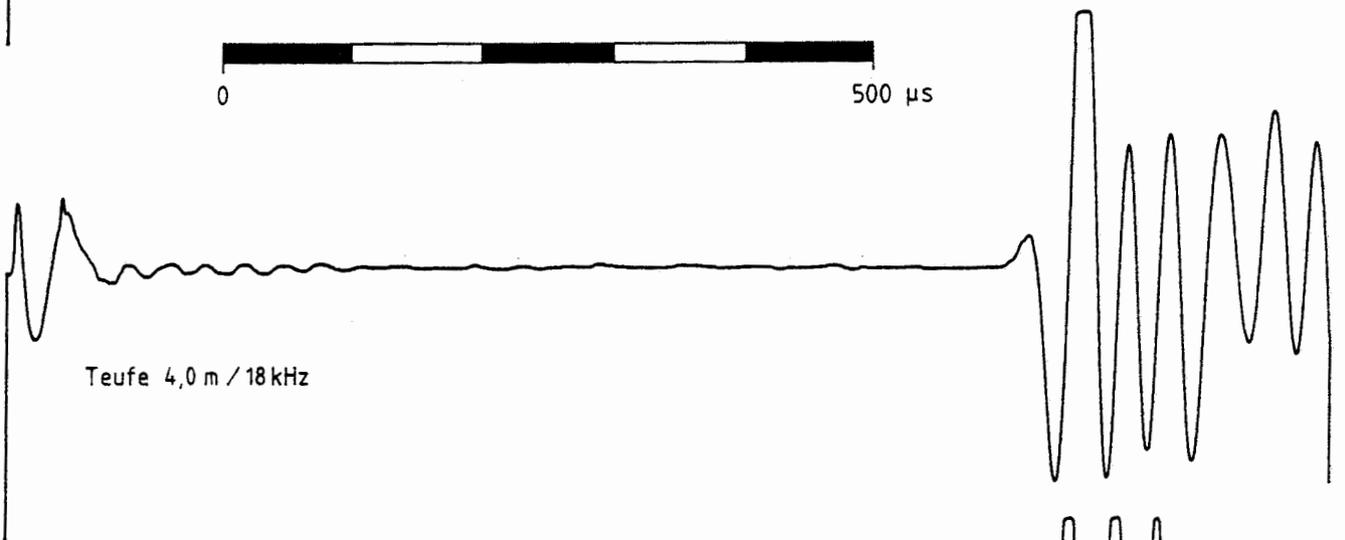
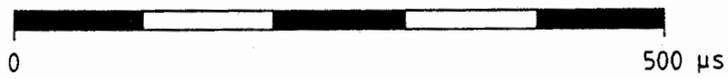
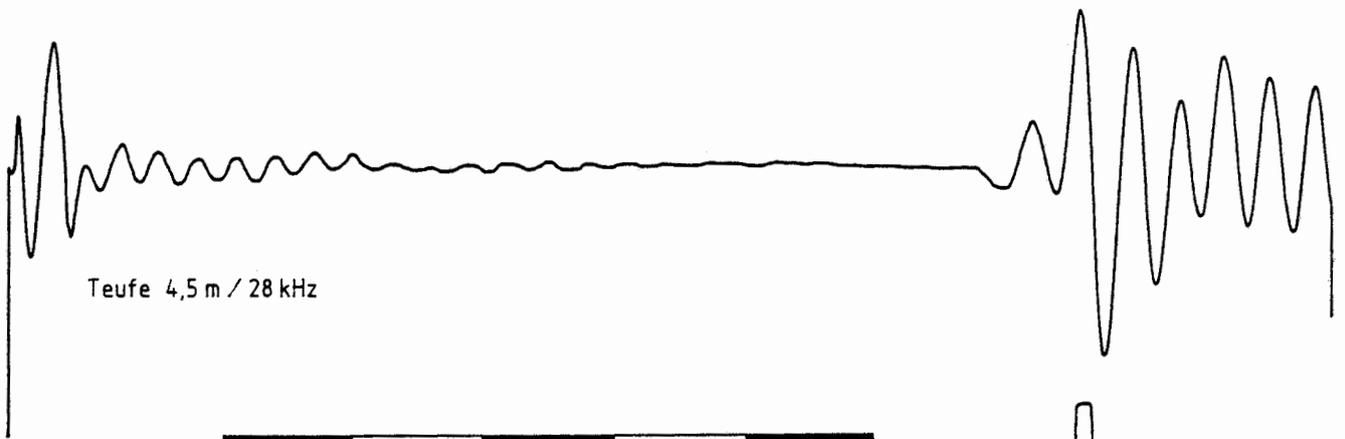
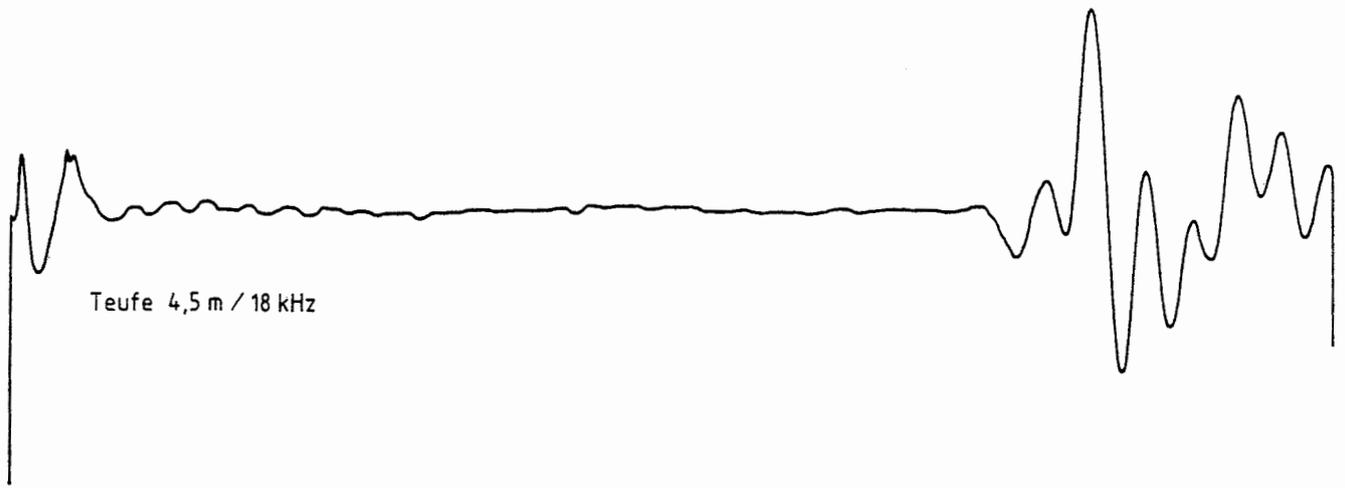
Anlage 4

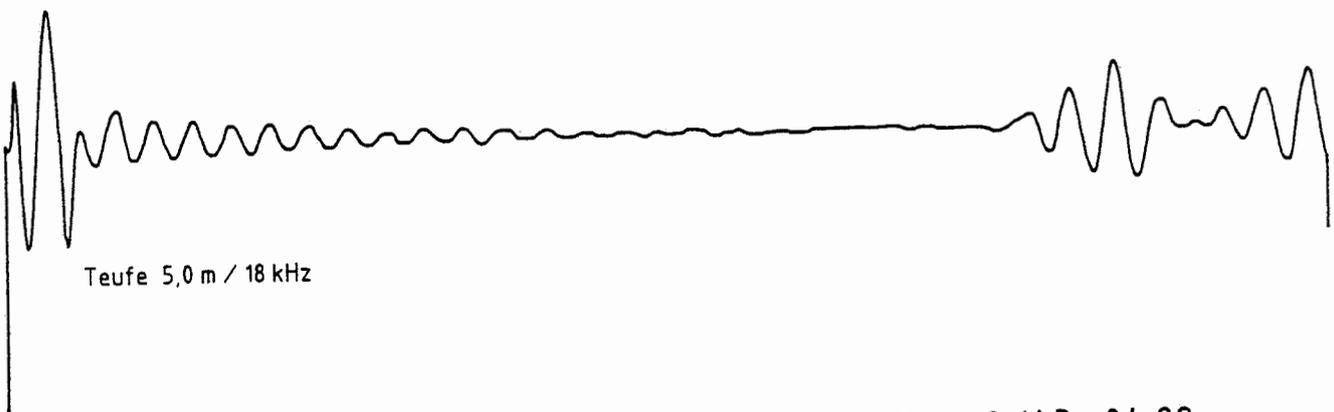
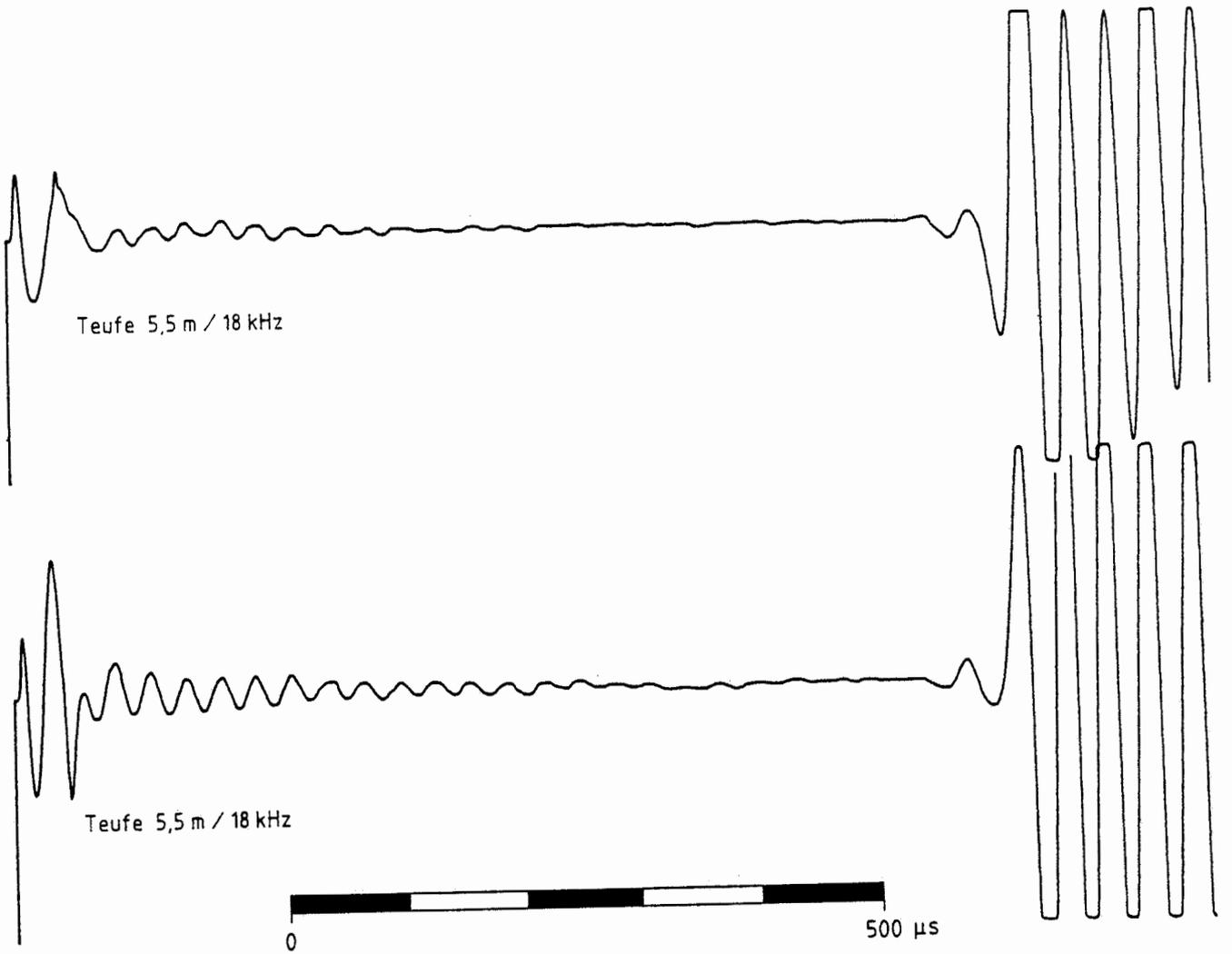
Ultraschallmeßsignale des Hautversuchs im Feld 5/1,

Messungen April und November 1989

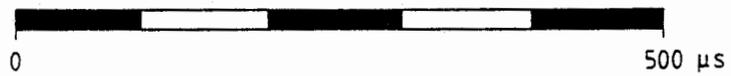
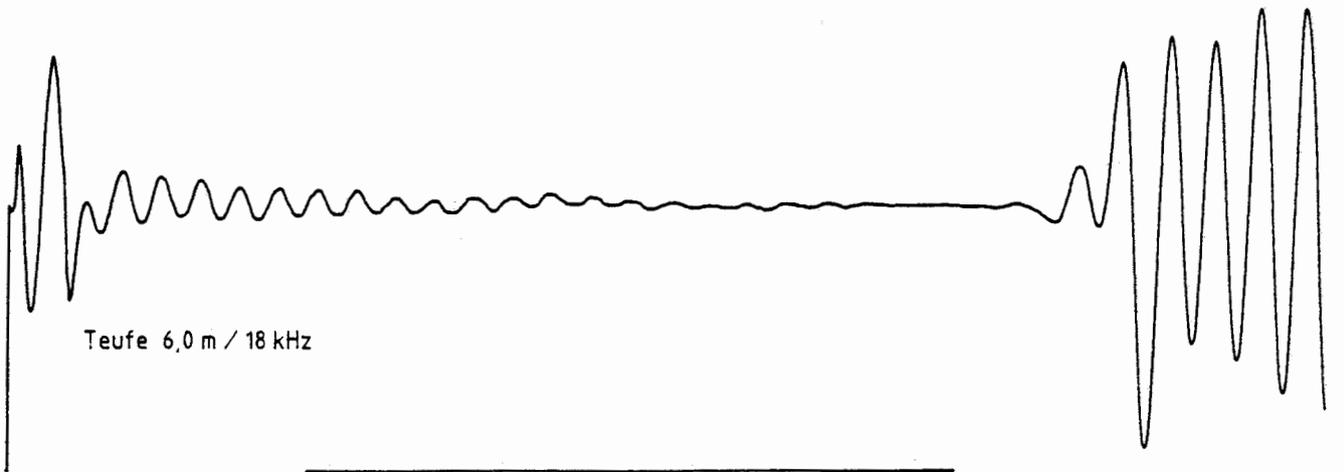
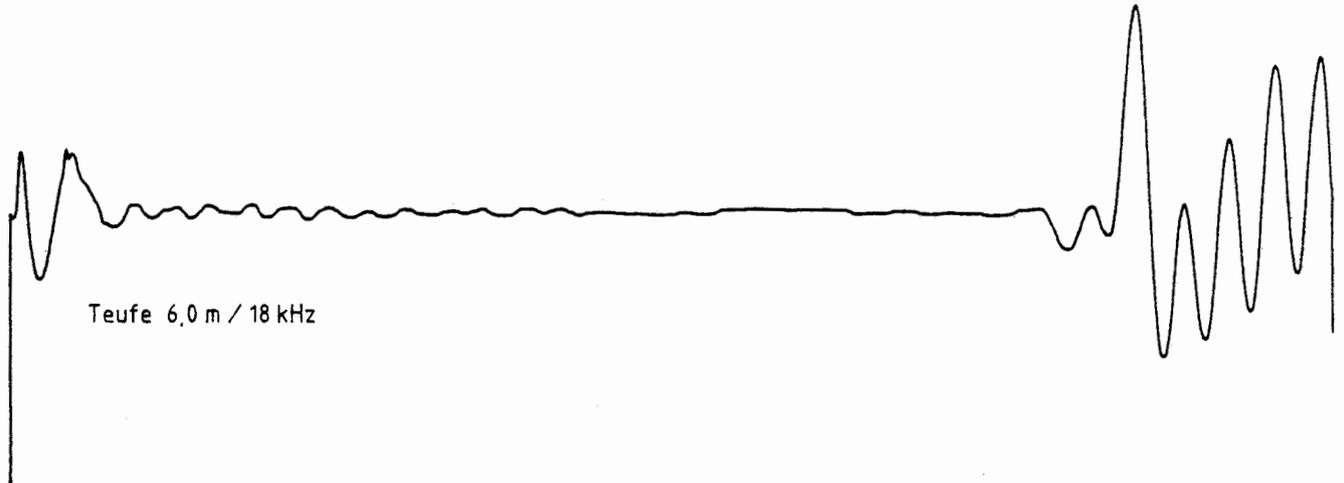
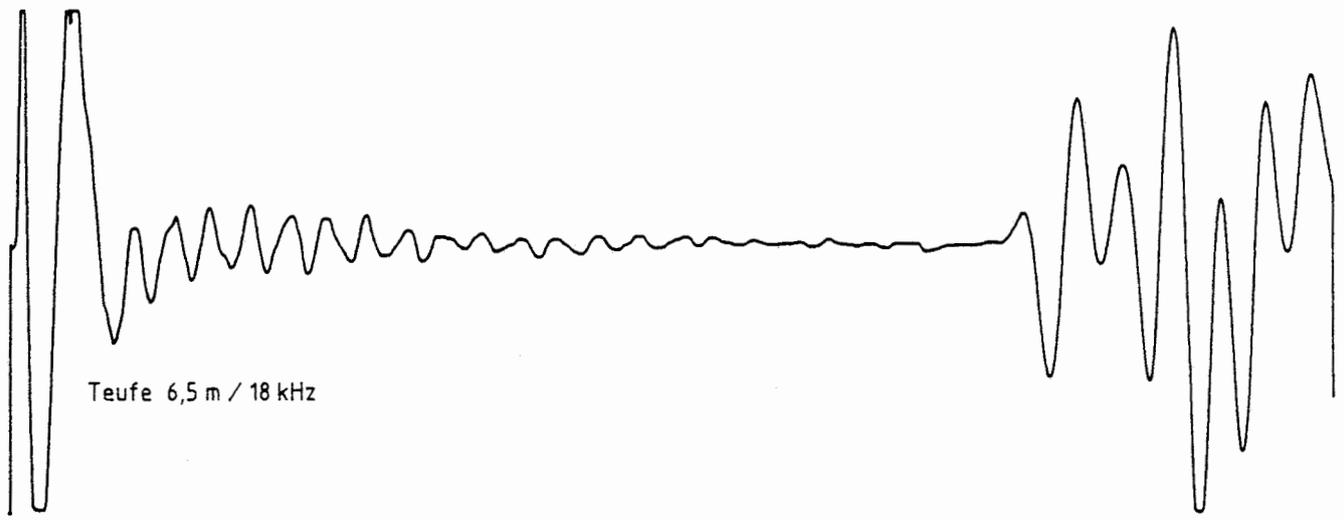




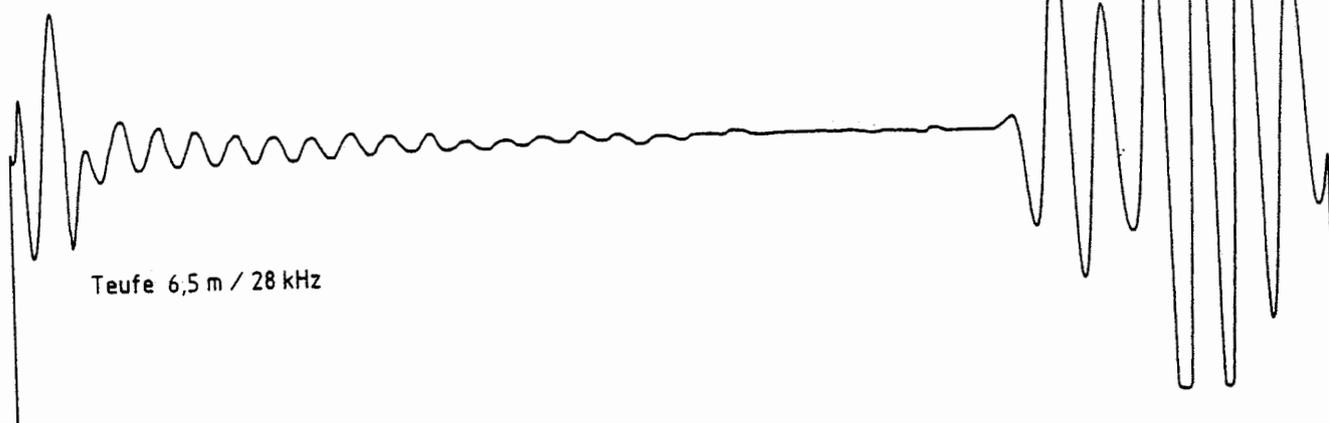
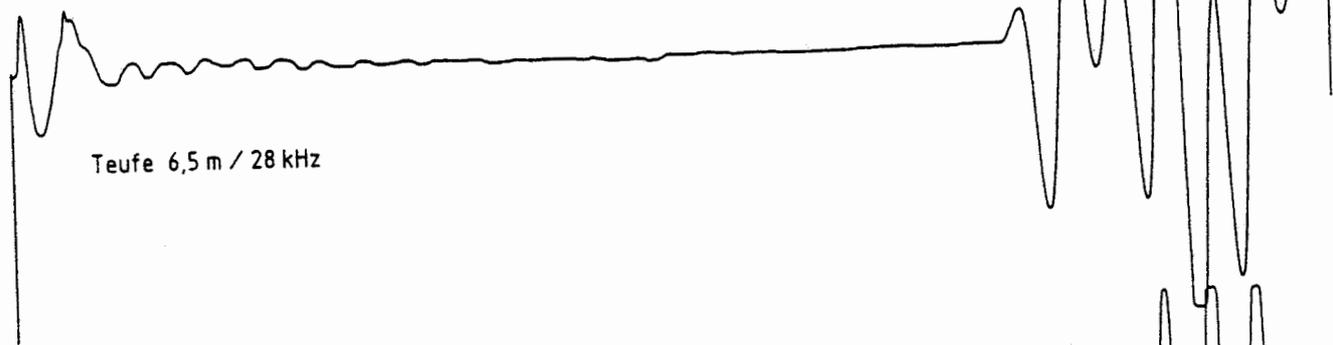
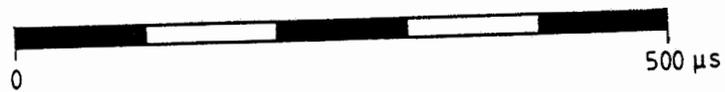
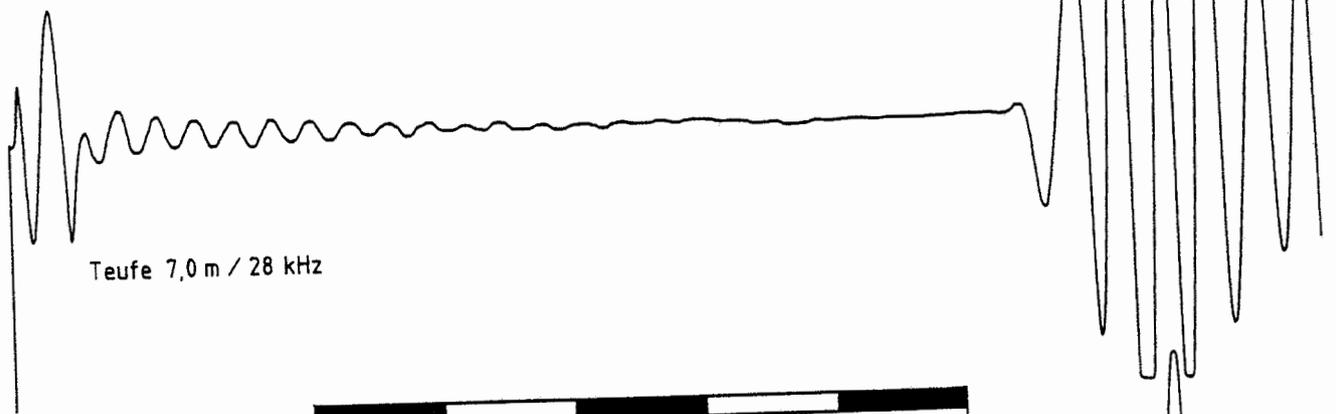
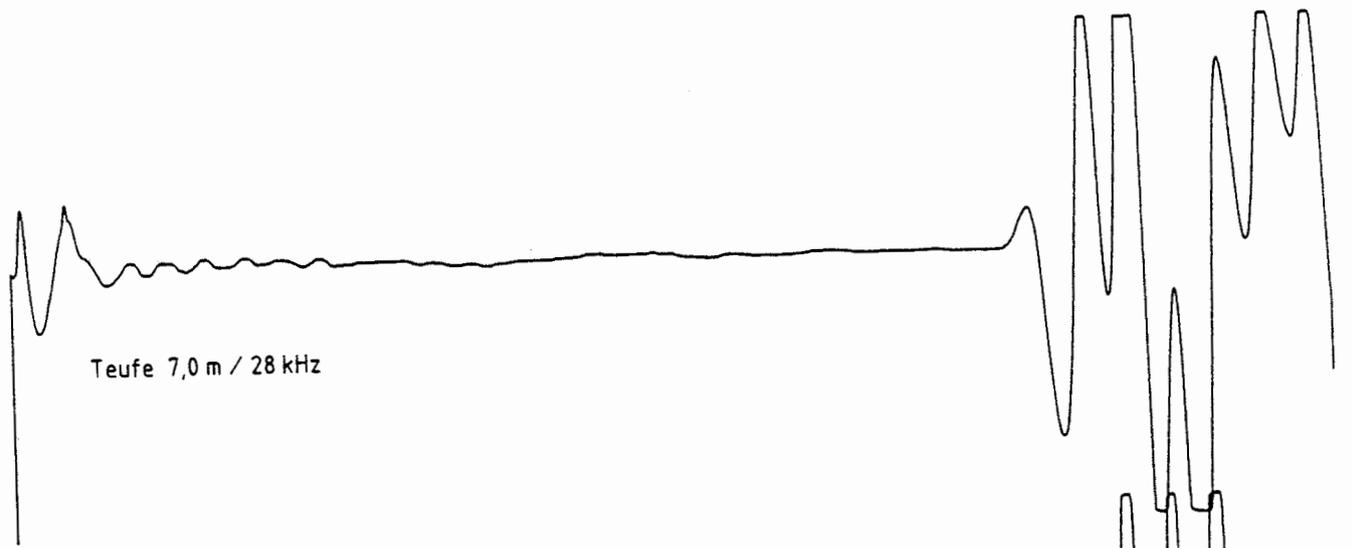


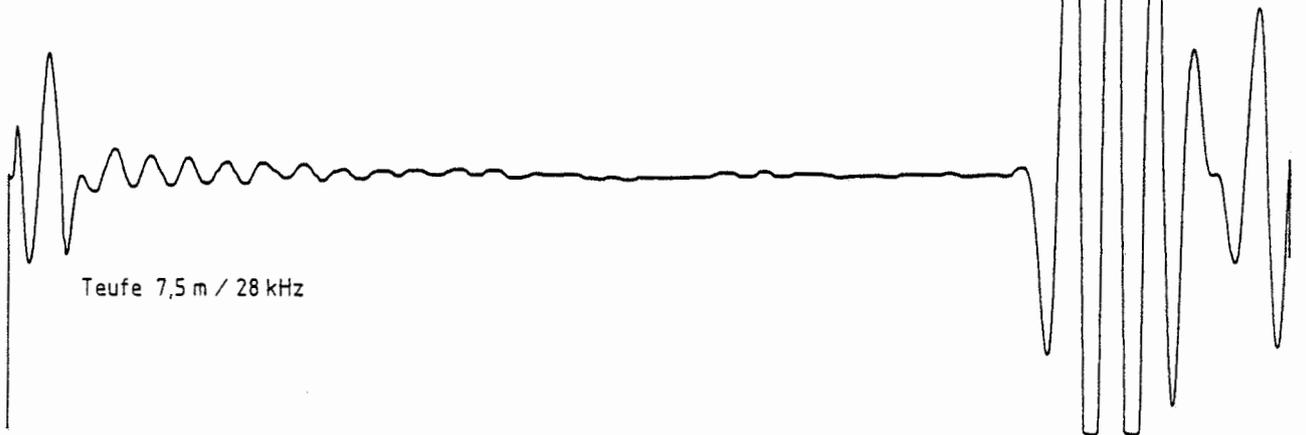
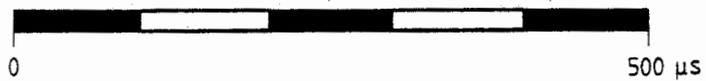
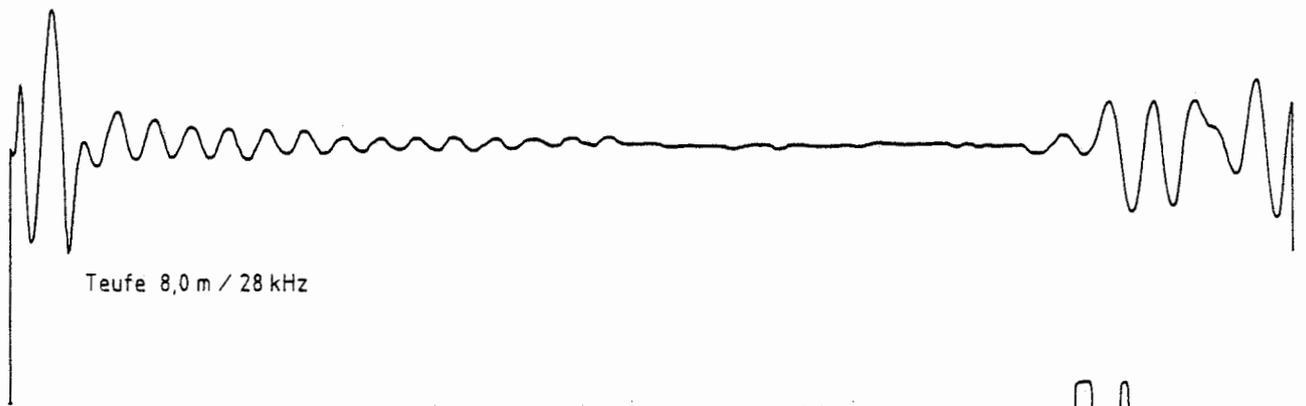
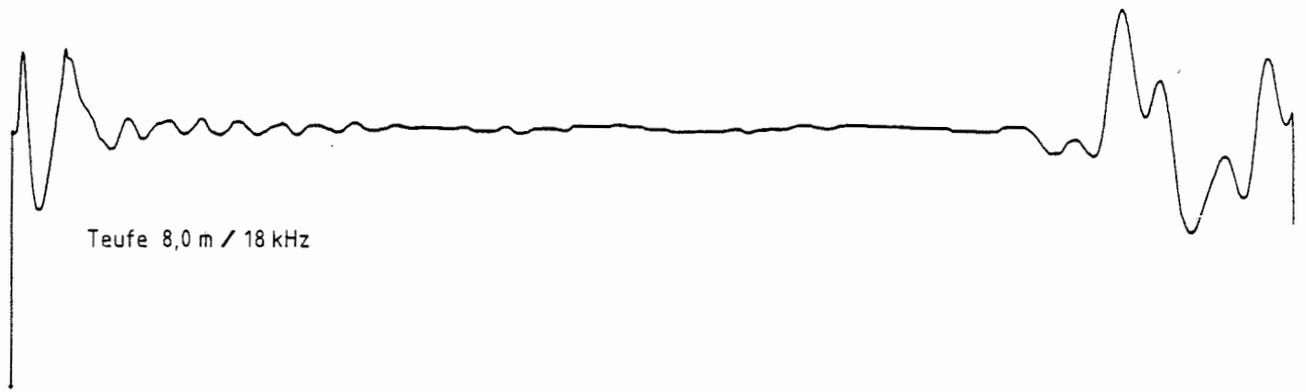


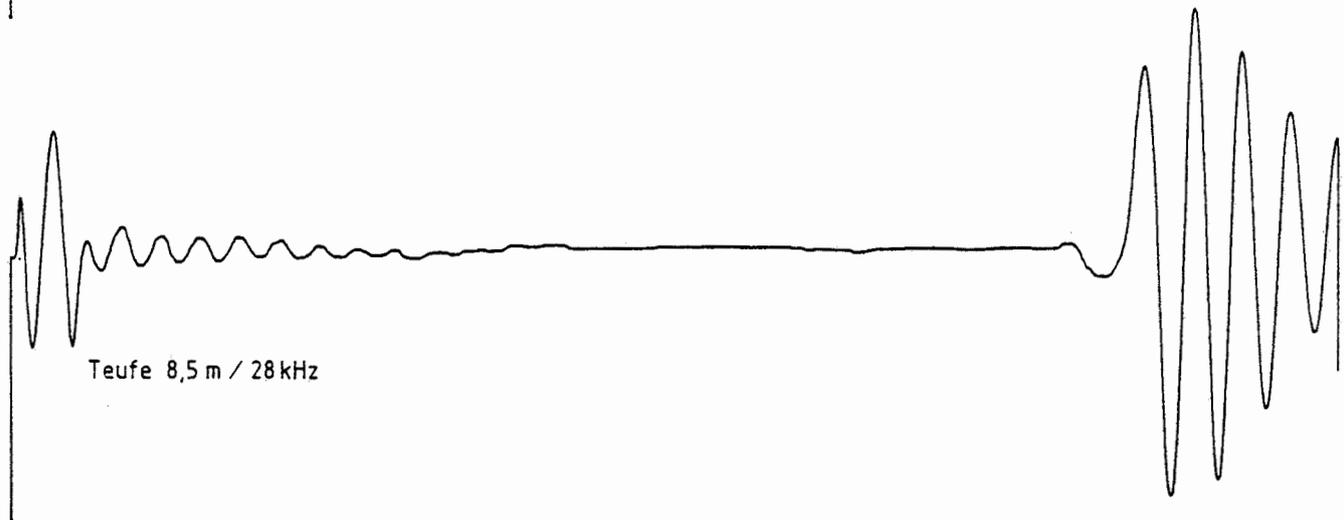
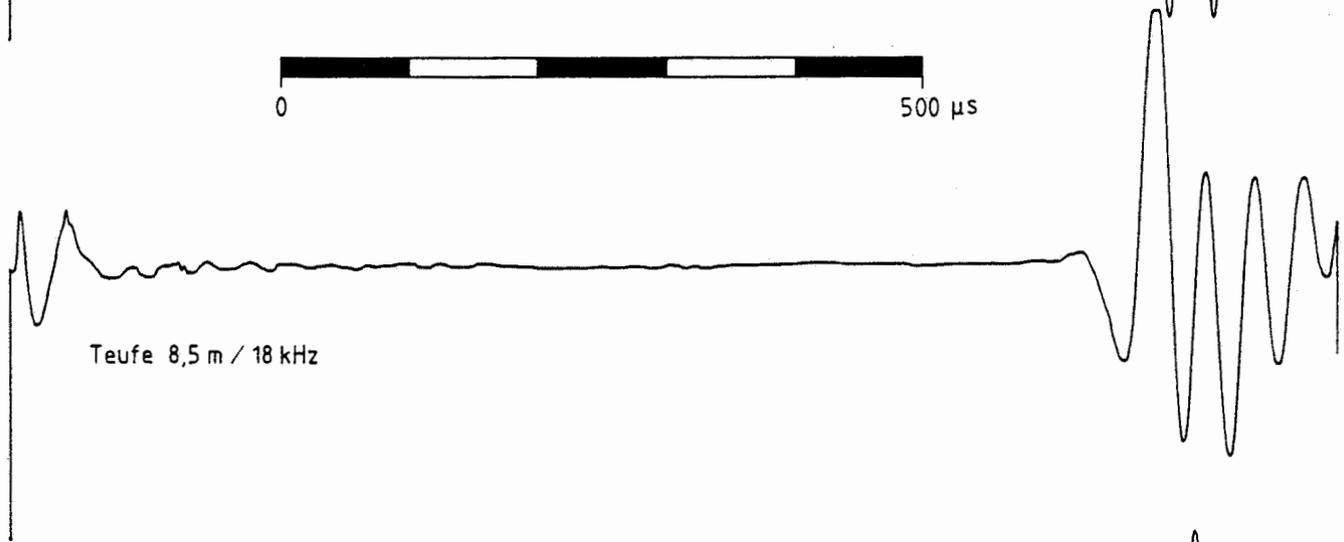
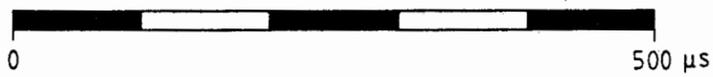
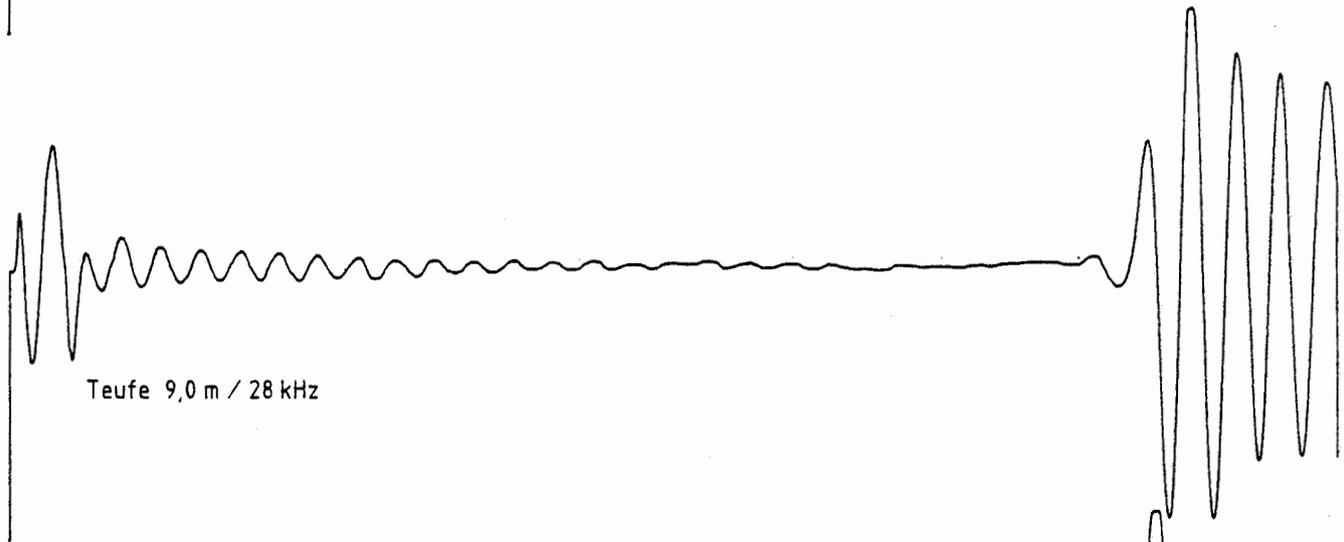
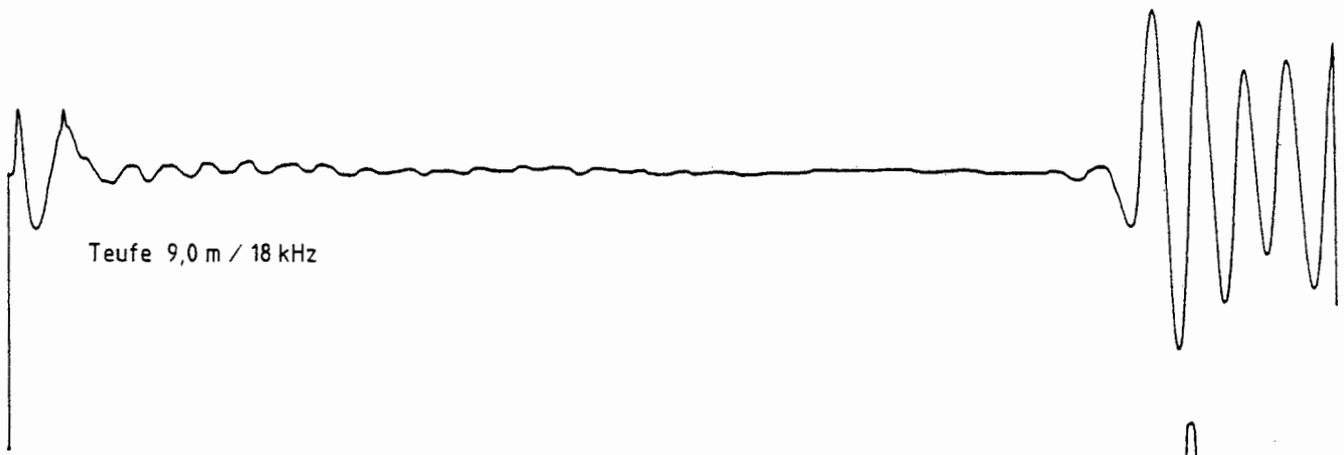
Konrad, Feld 5/1, Kammer 241S, Bohrungen 2/40 - 2/43, 04.89

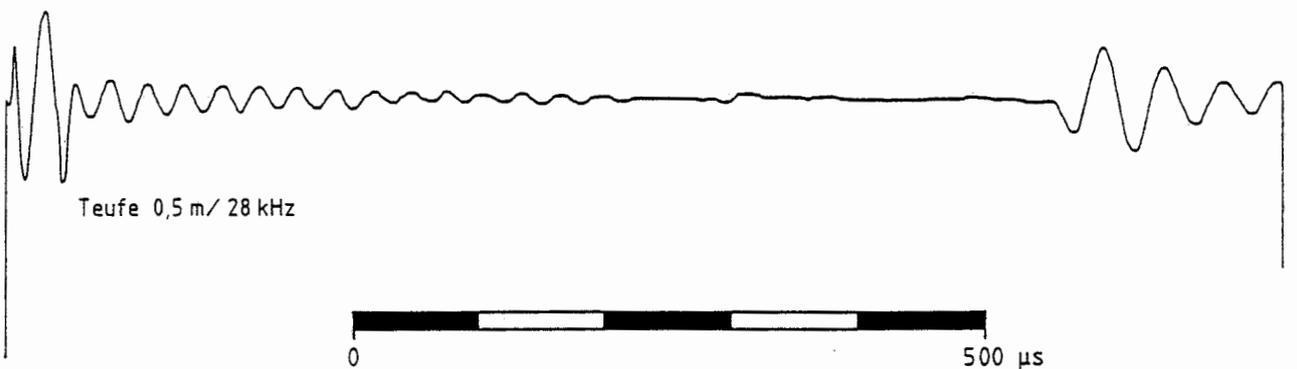
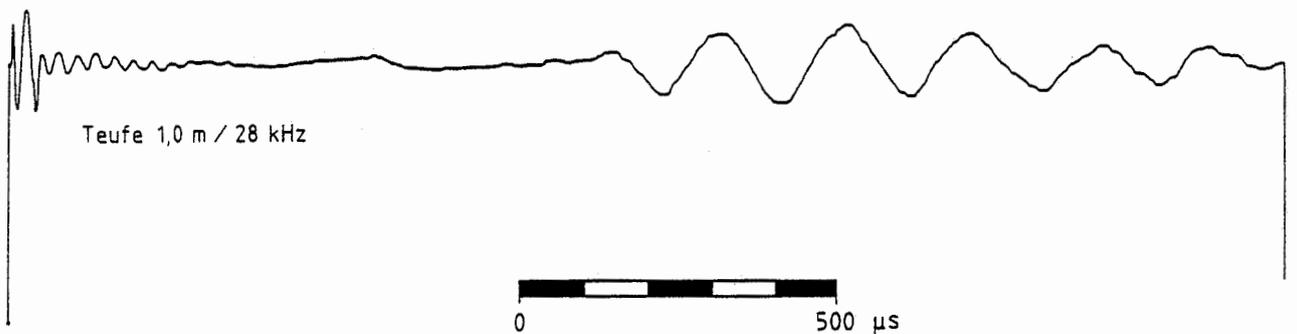
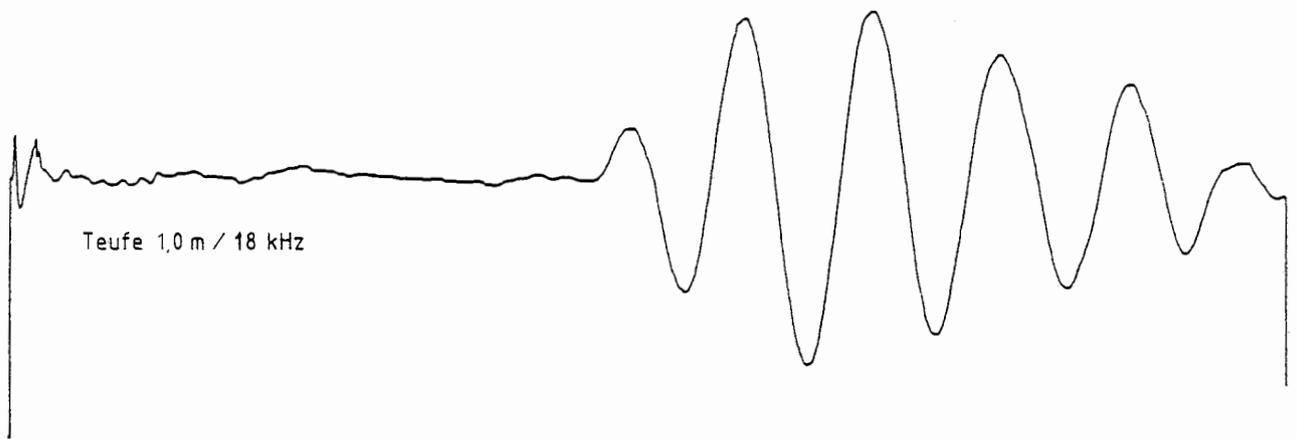


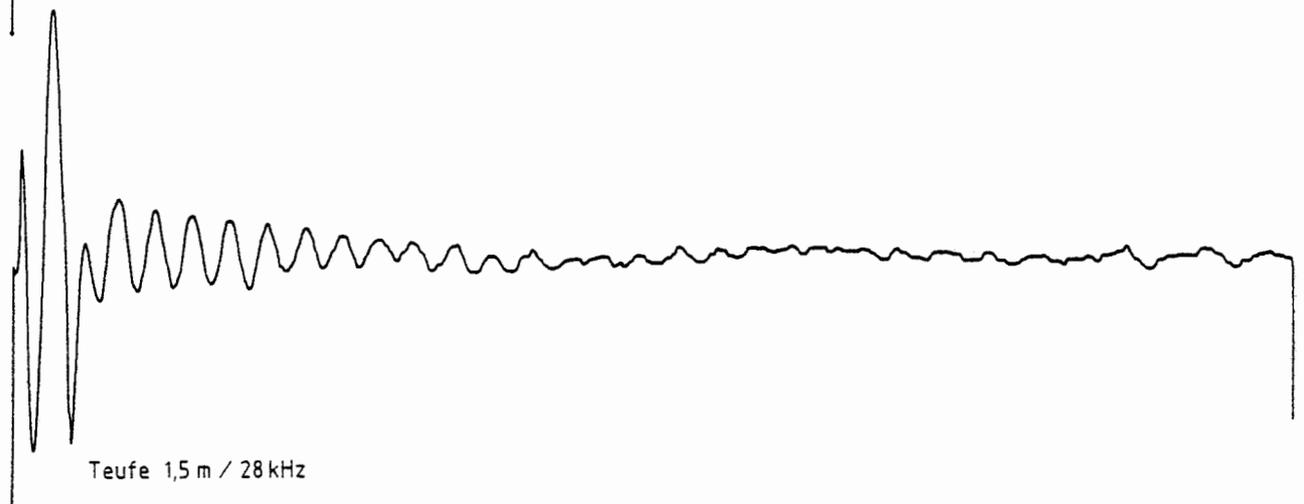
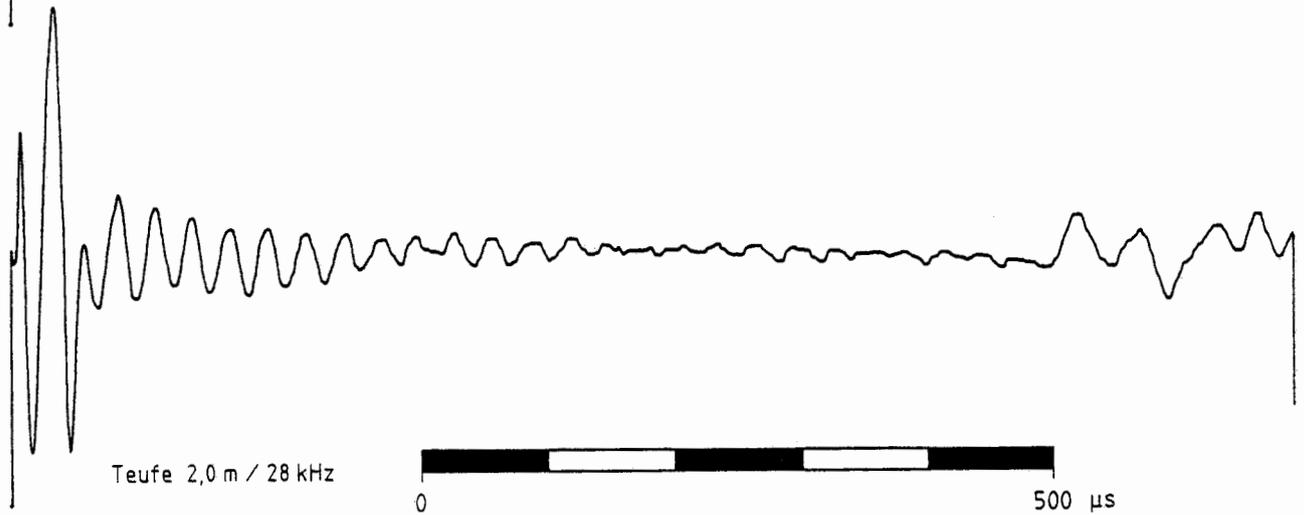
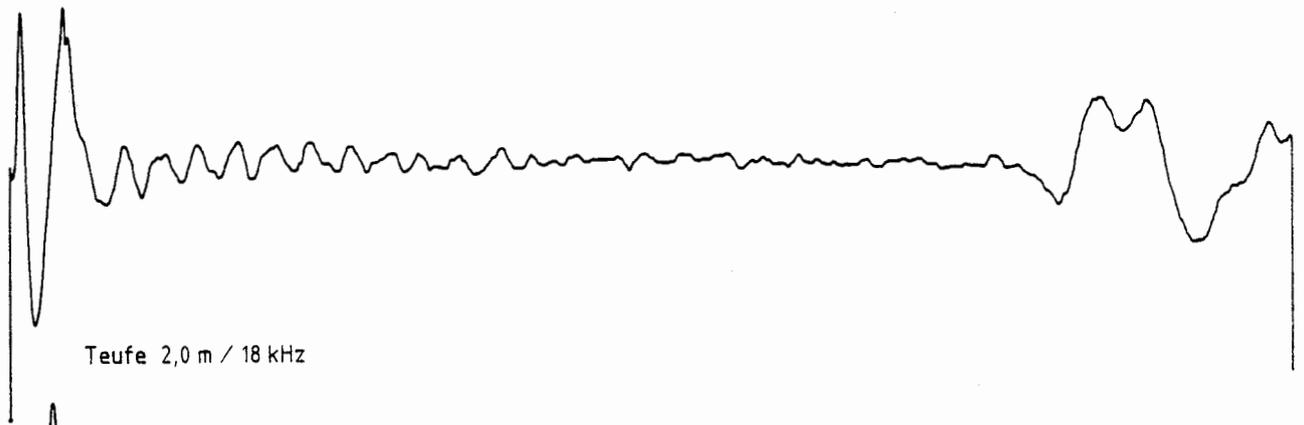
Konrad, Feld 5/1, Kammer 241S, Bohrungen 2/40 – 2/43, 04.89

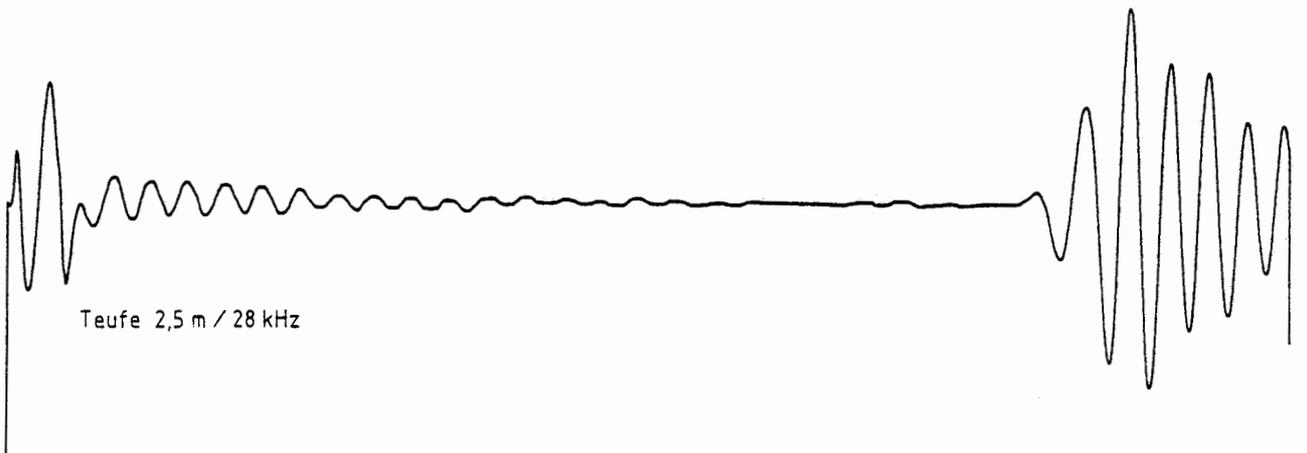
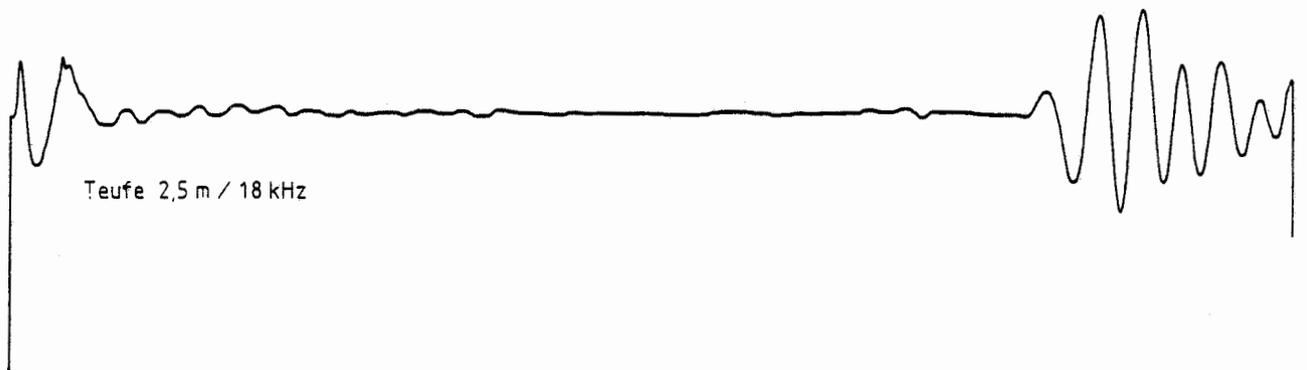
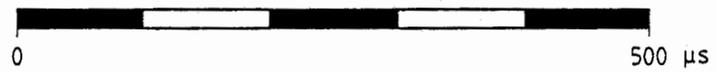
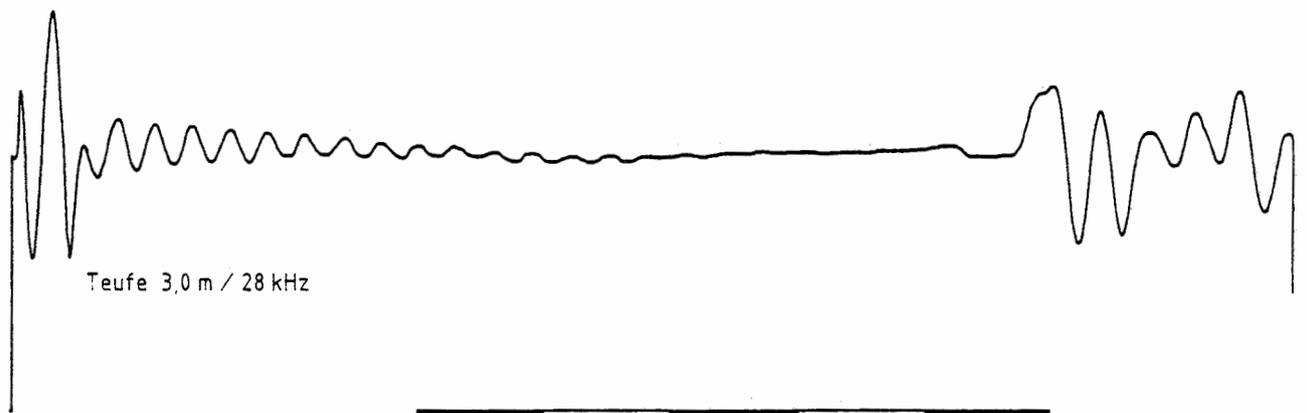
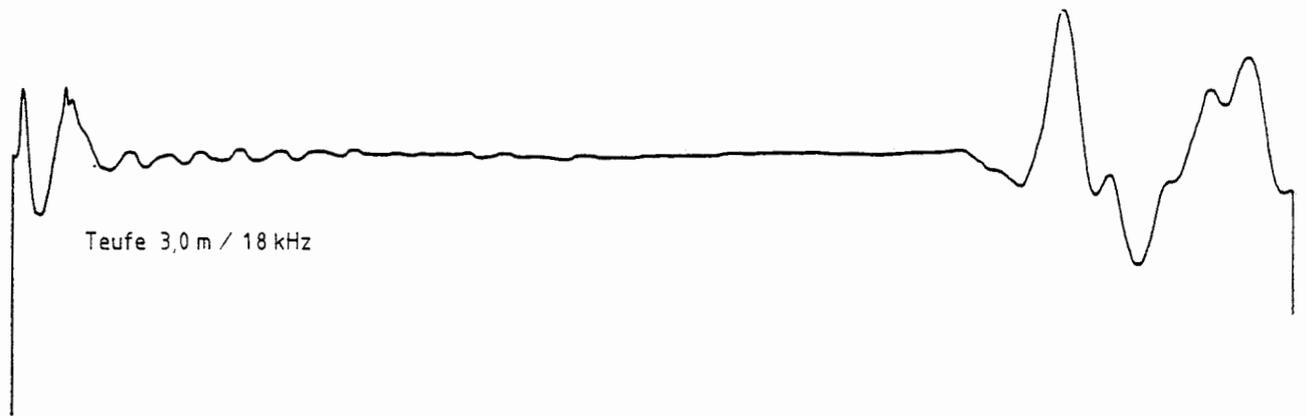


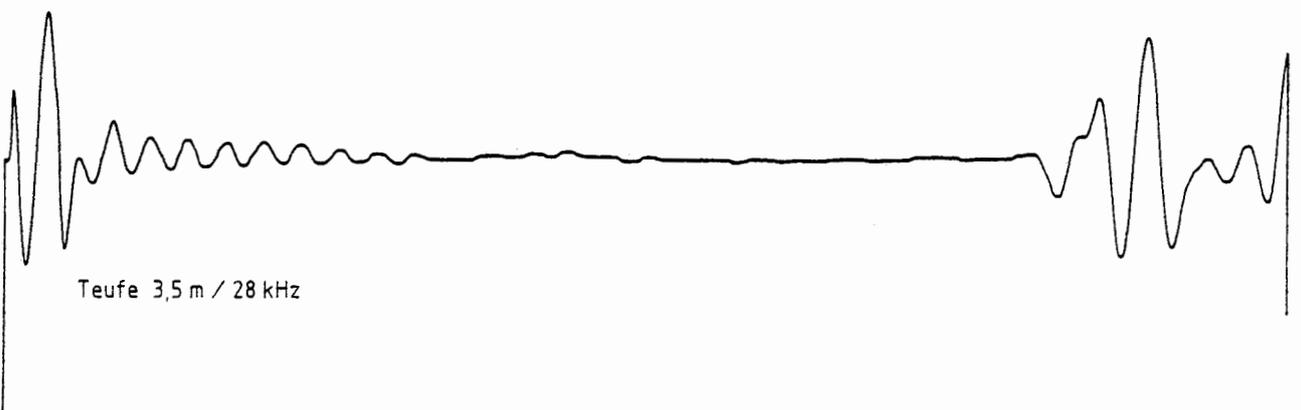
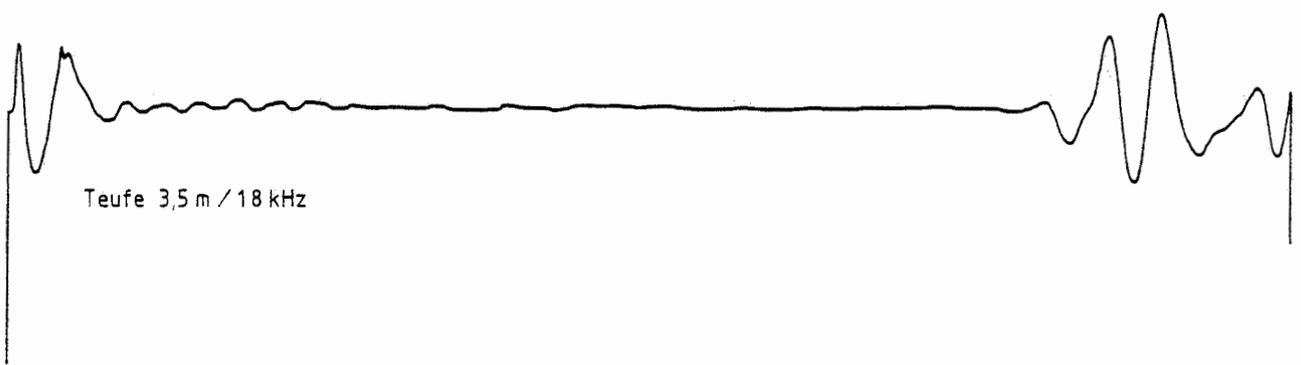
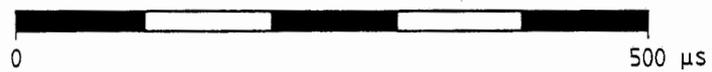
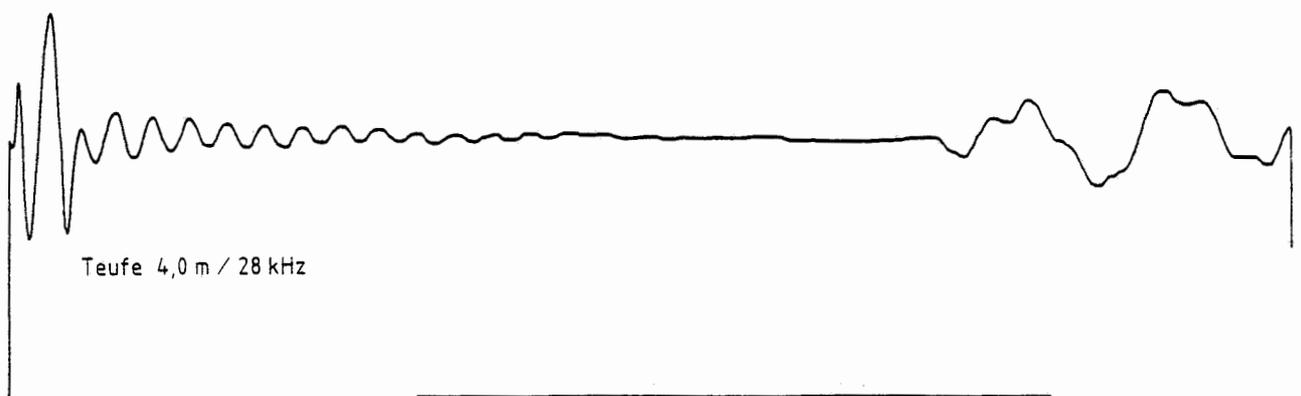


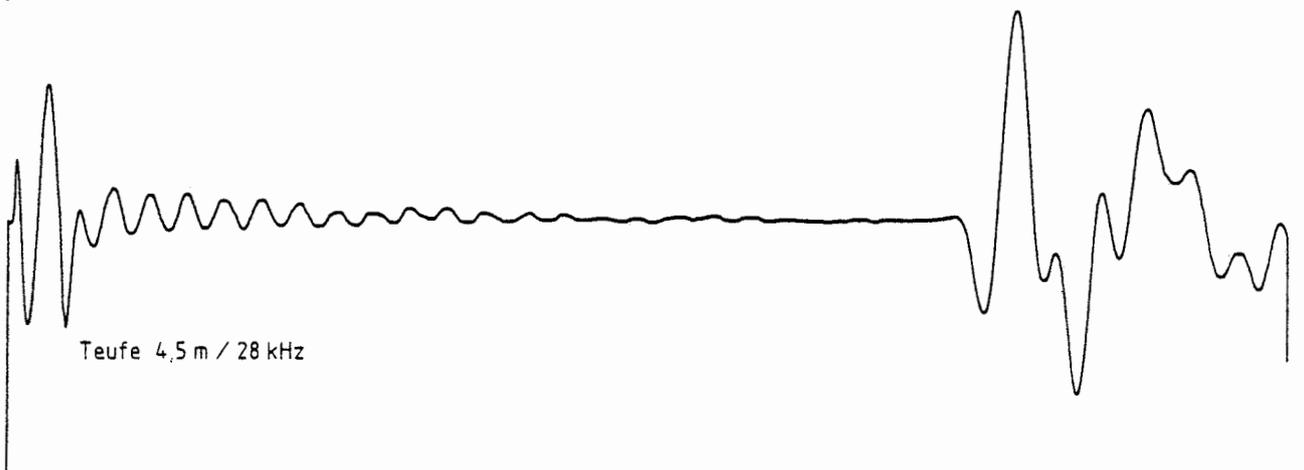
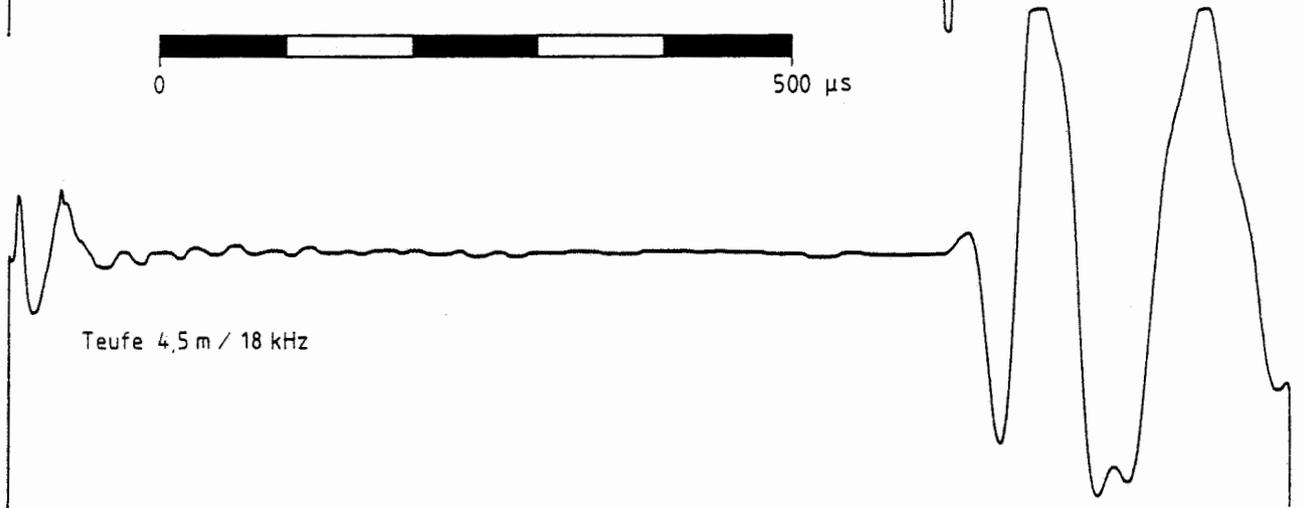
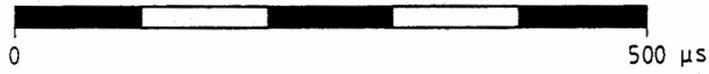
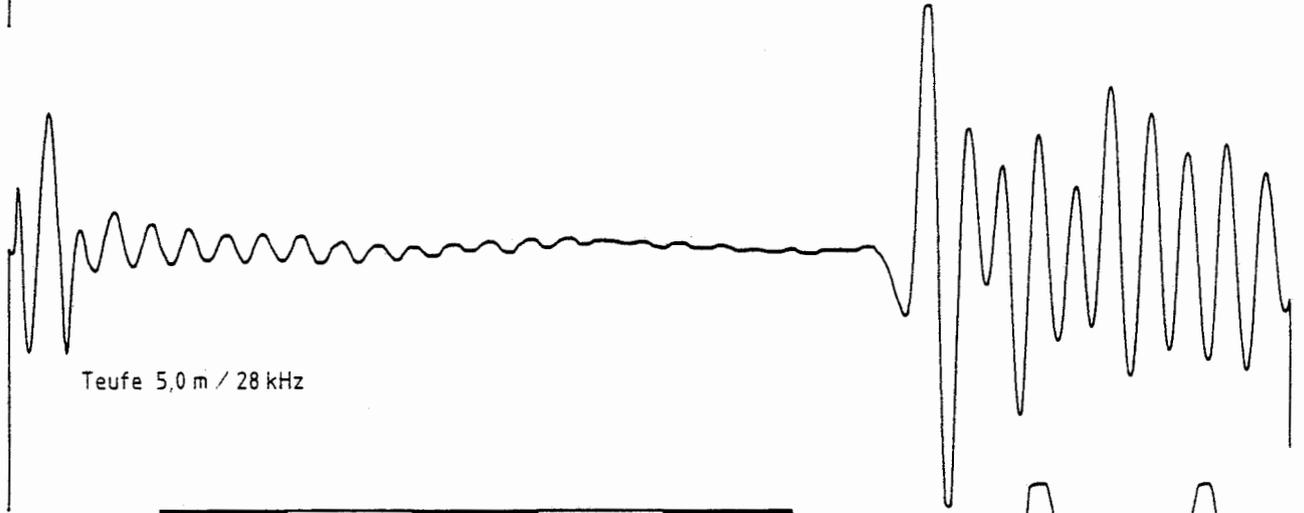
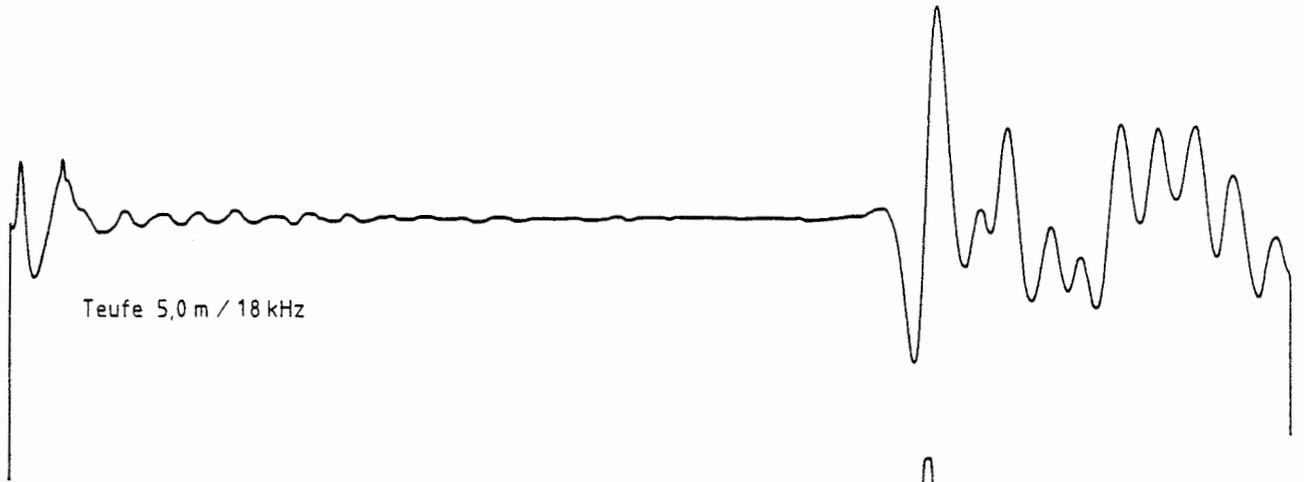


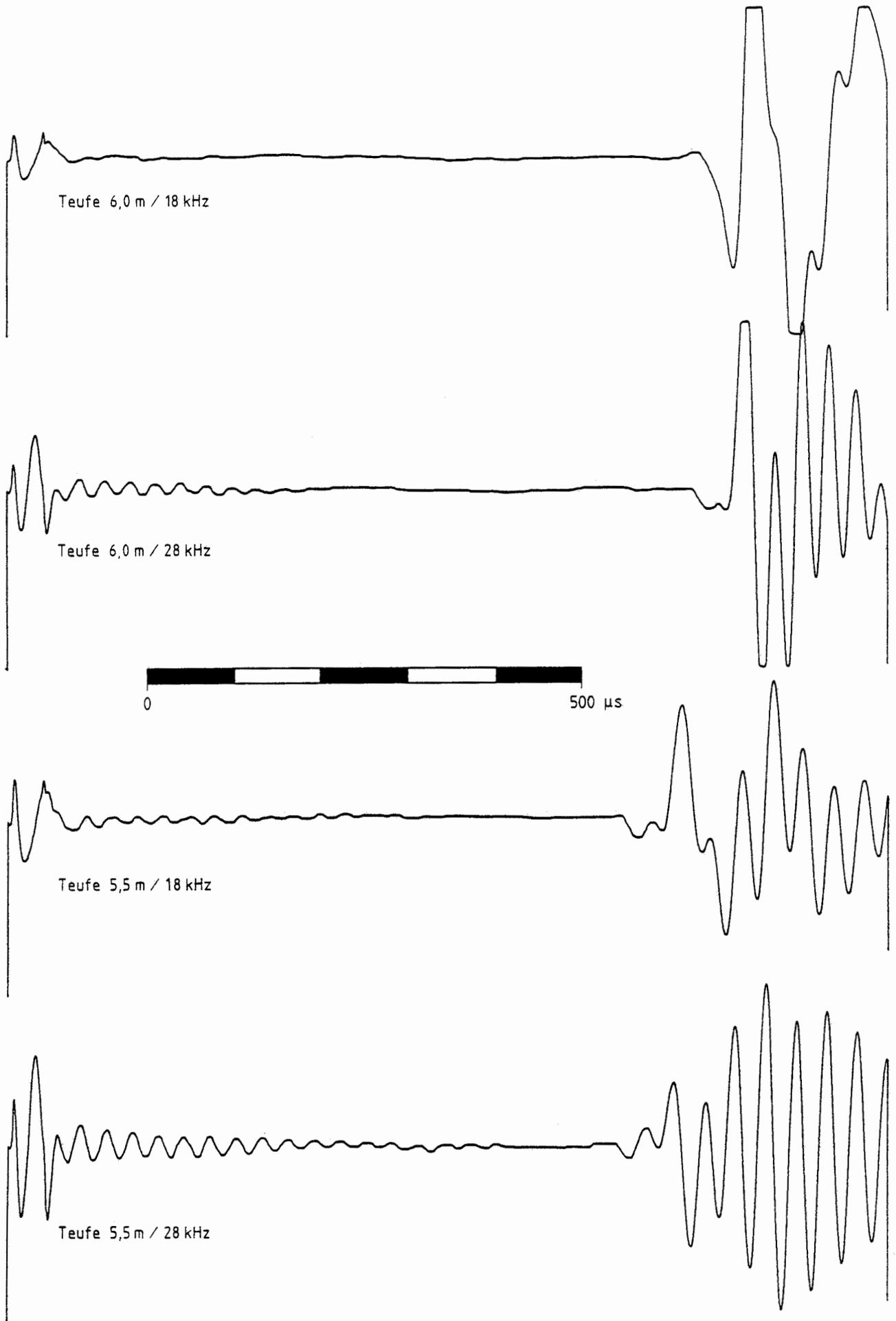




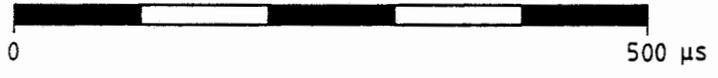
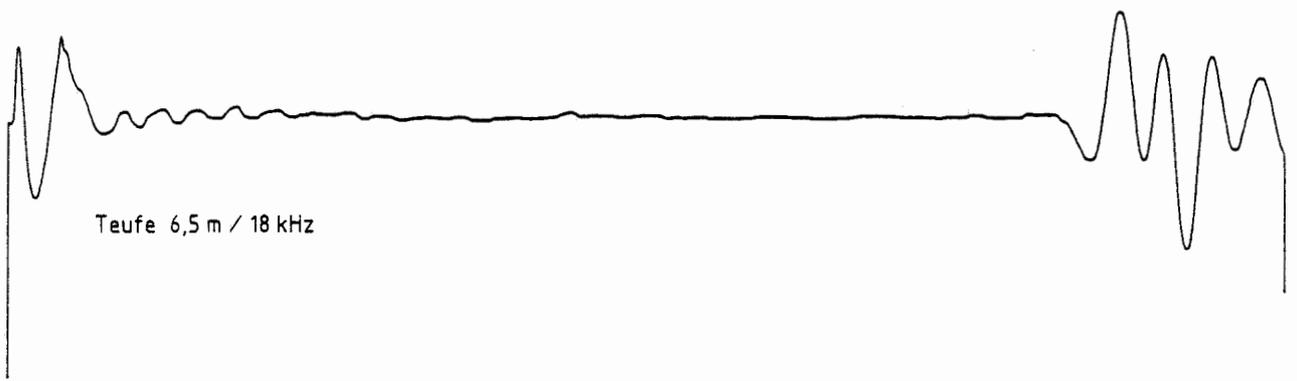
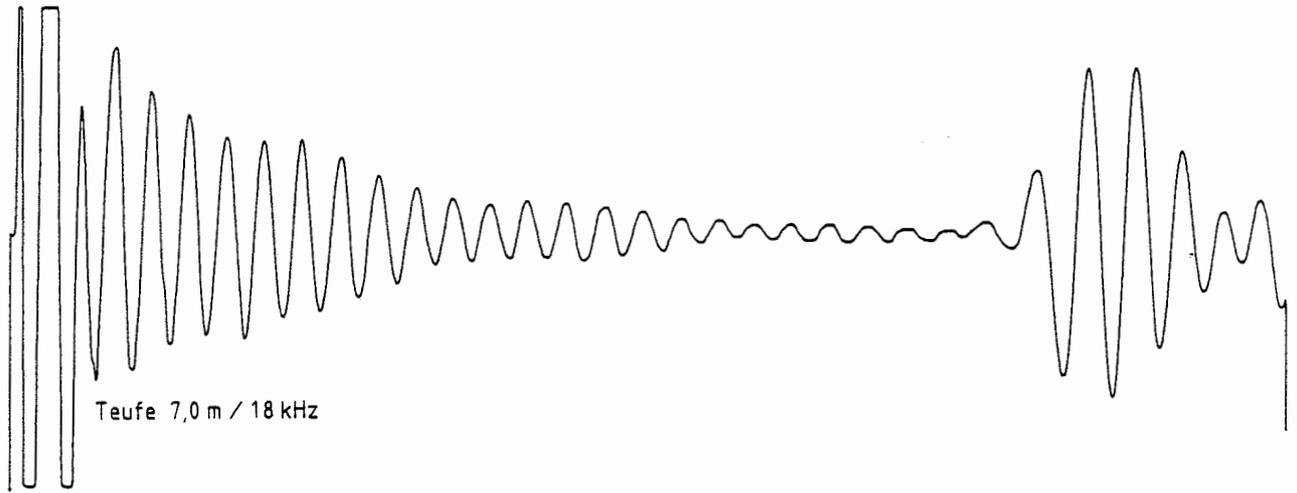








Konrad, Feld 5/1, Kammer 241S, Bohrungen 2/41 – 2/42, 04.89



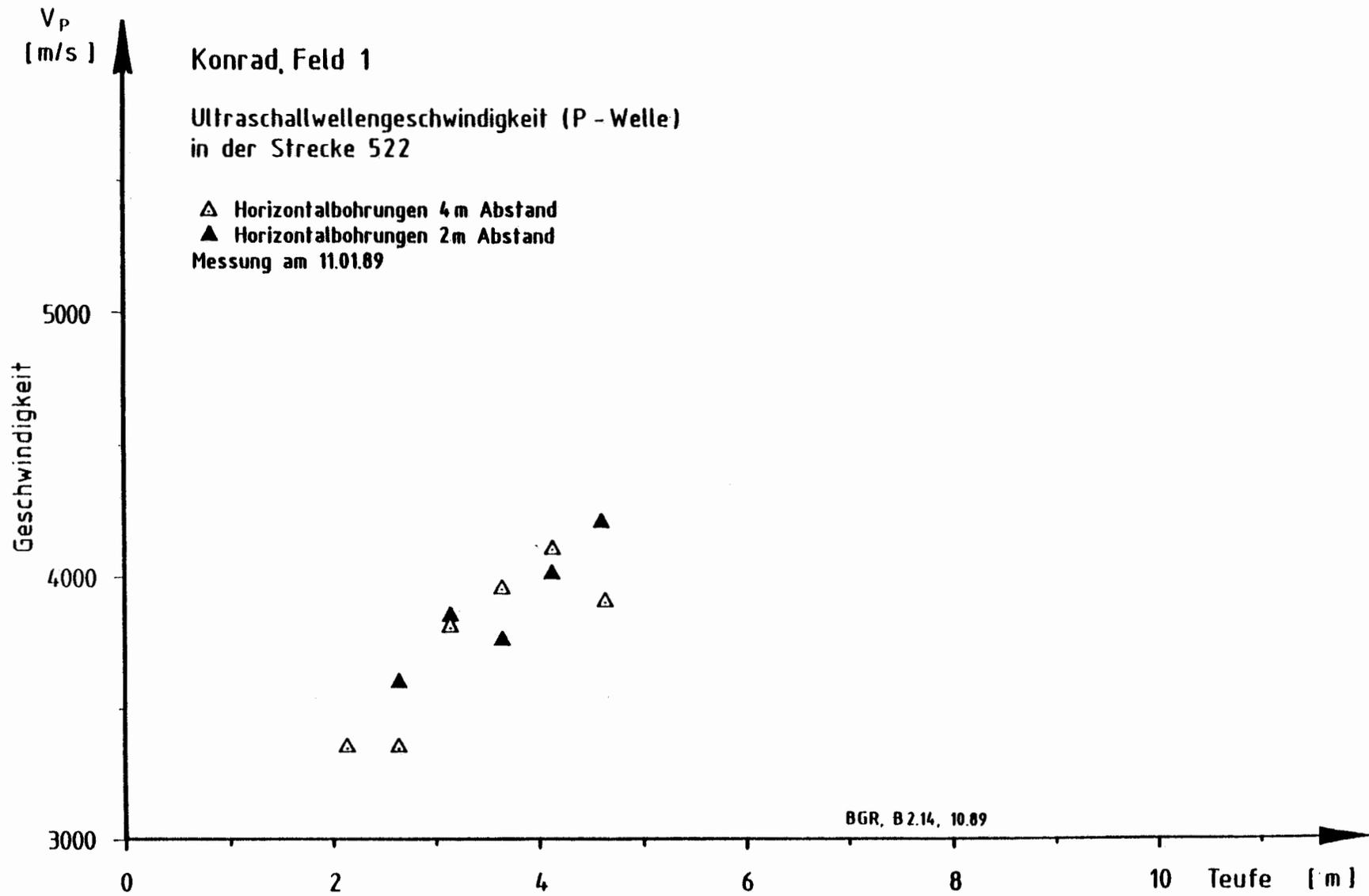


Abb. 9: Ultraschallwellengeschwindigkeiten im Vorversuch in der Kammer 522, Konrad

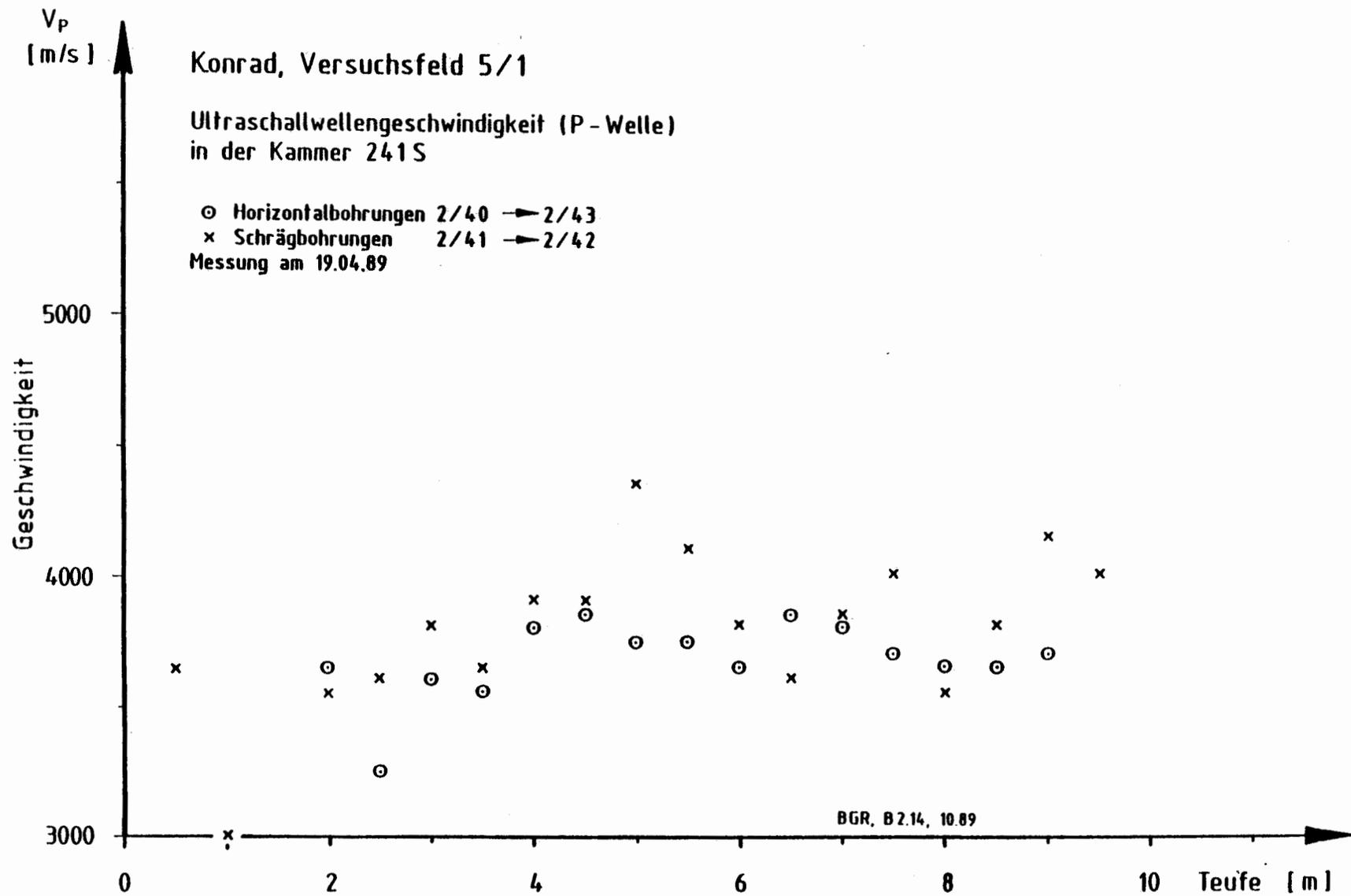
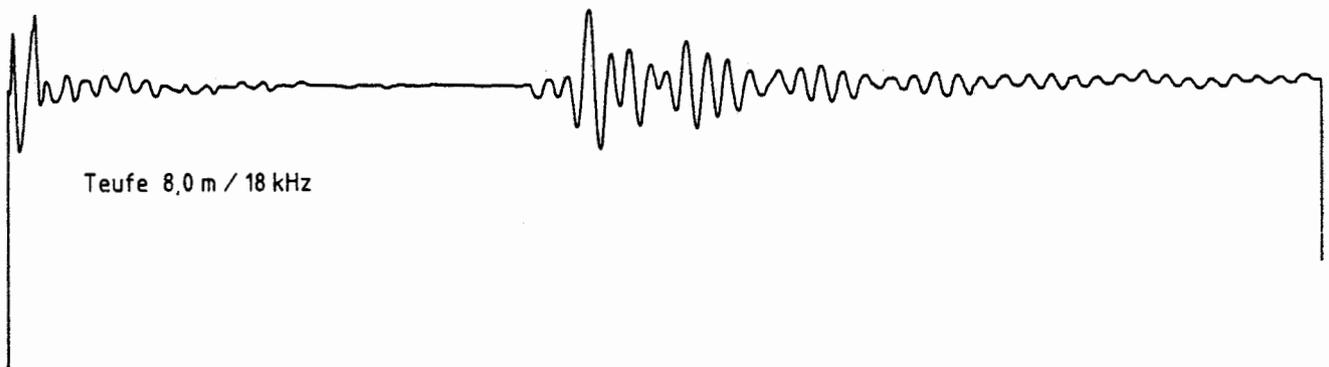
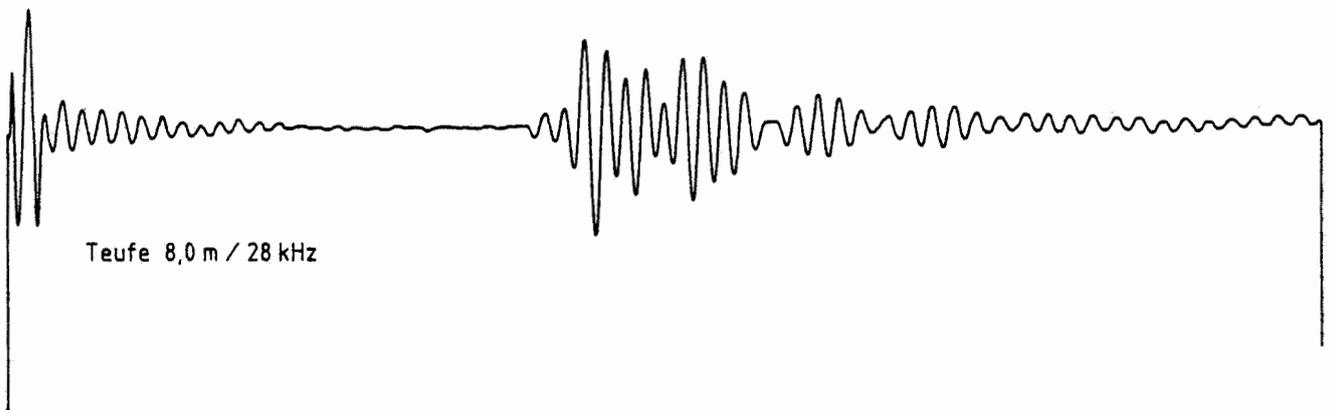
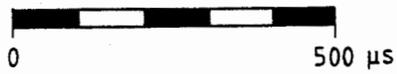
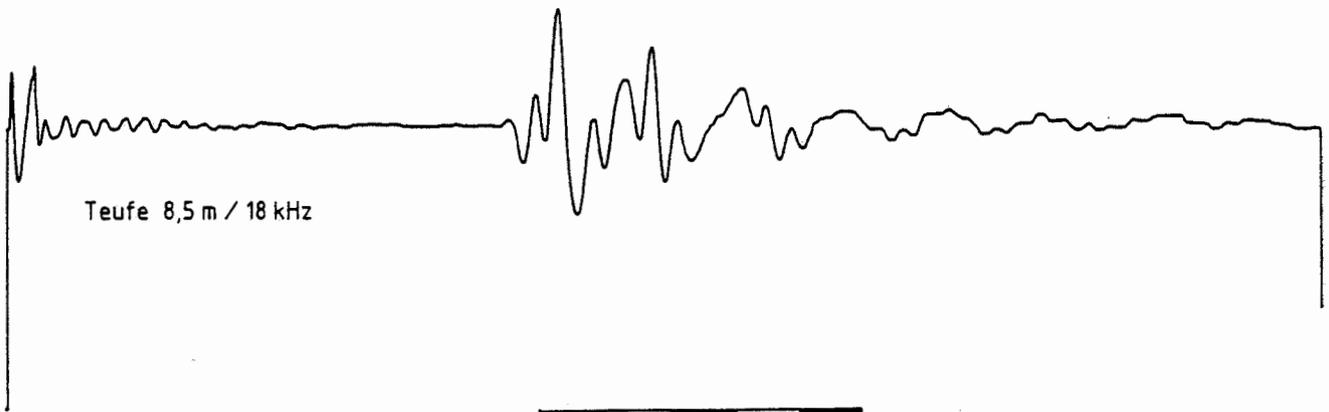
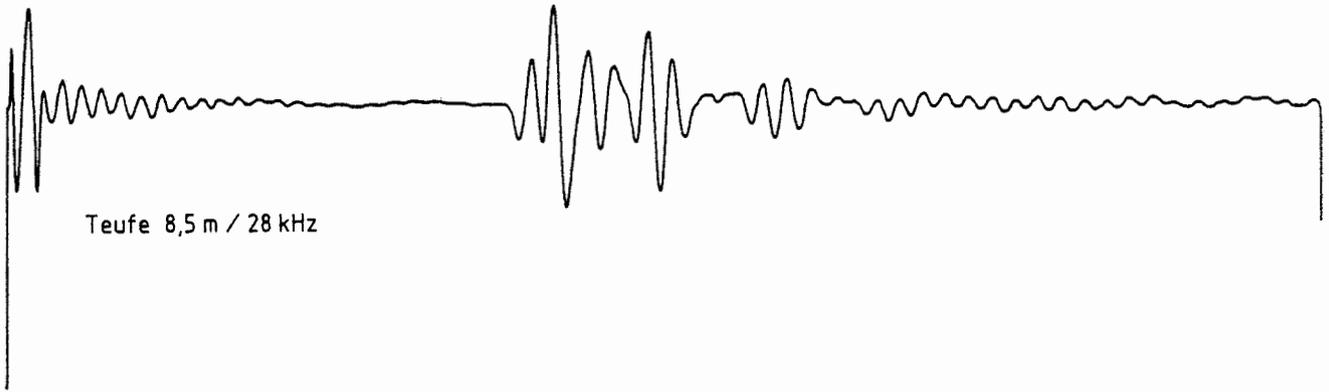
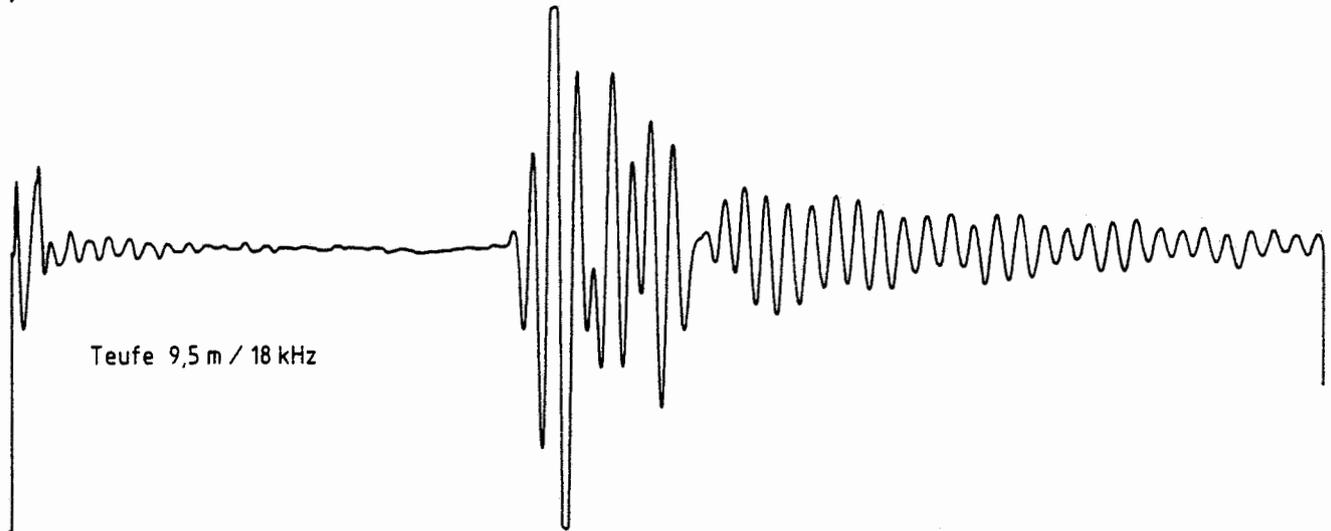
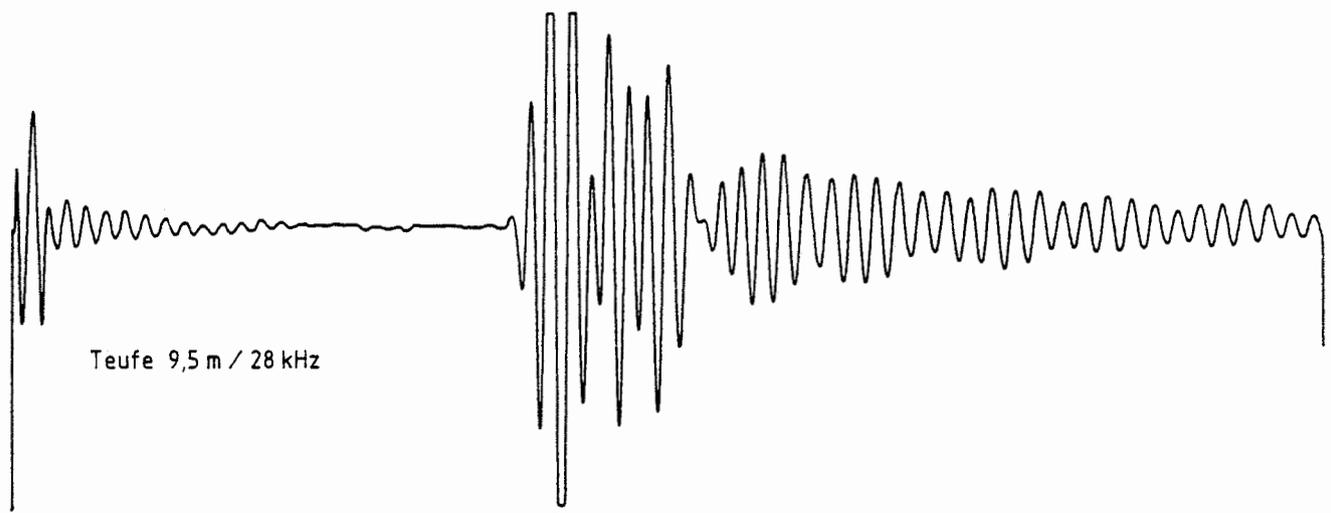
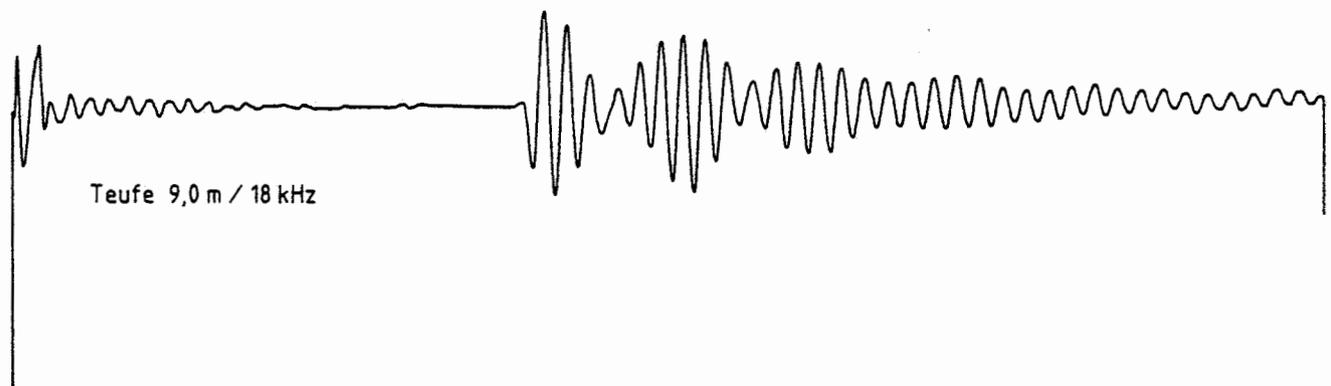
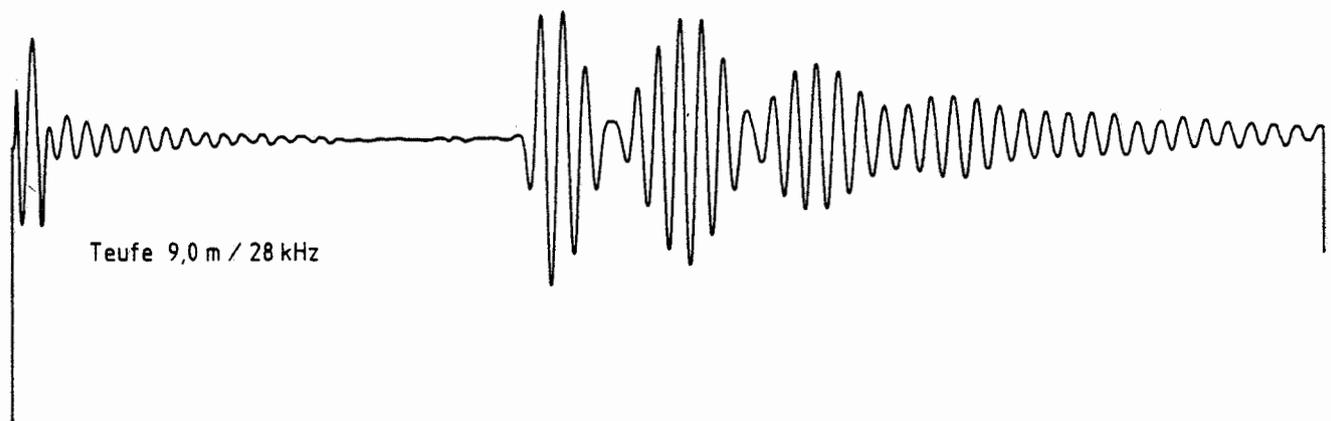


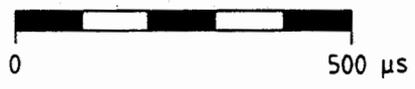
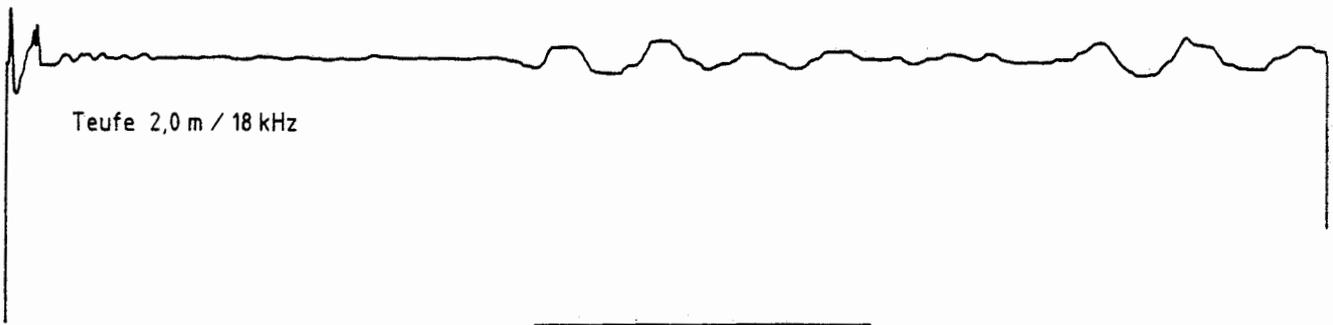
Abb. 10: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S, Messung 04.89

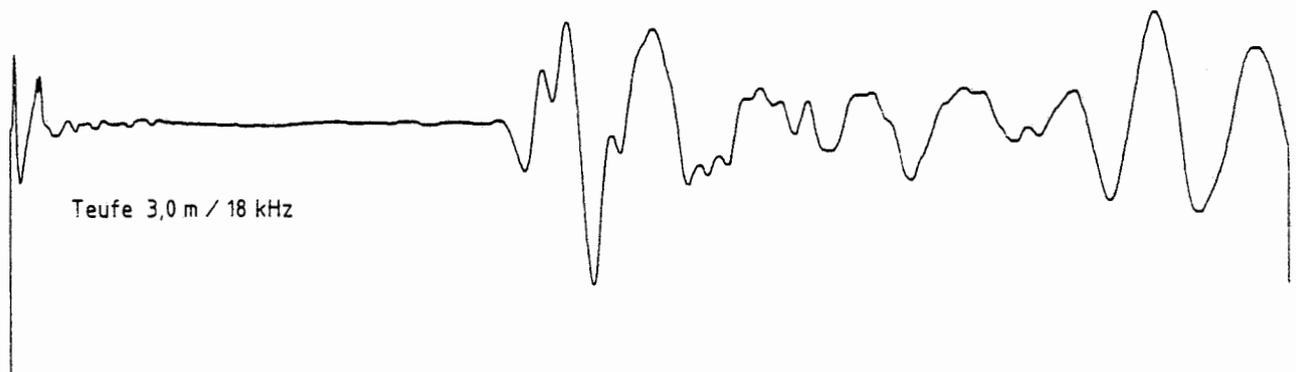
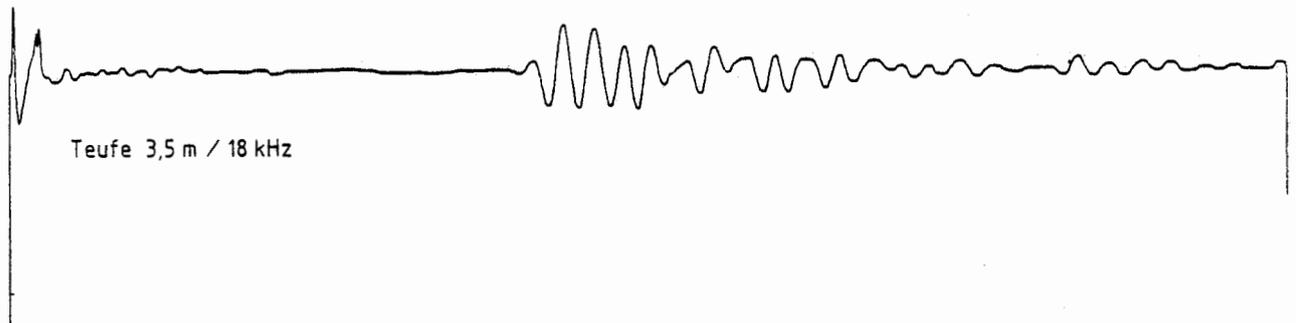
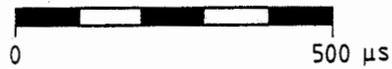
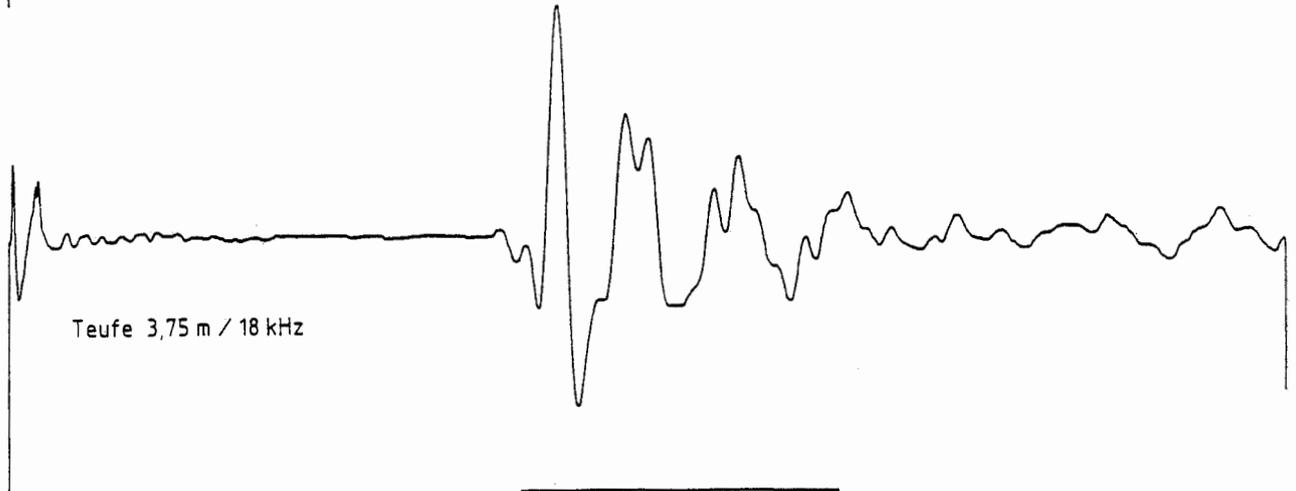
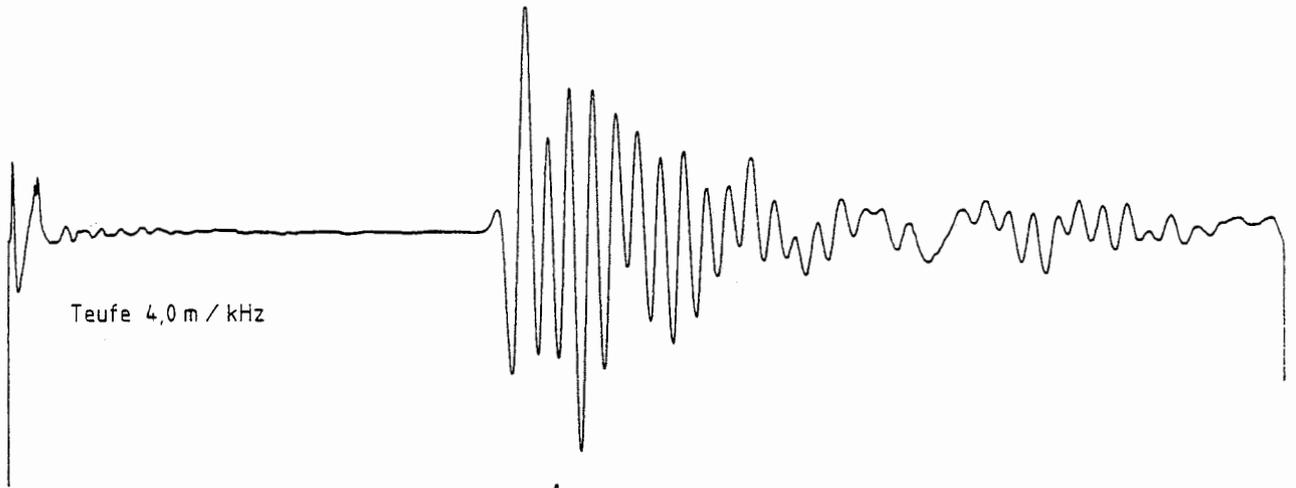


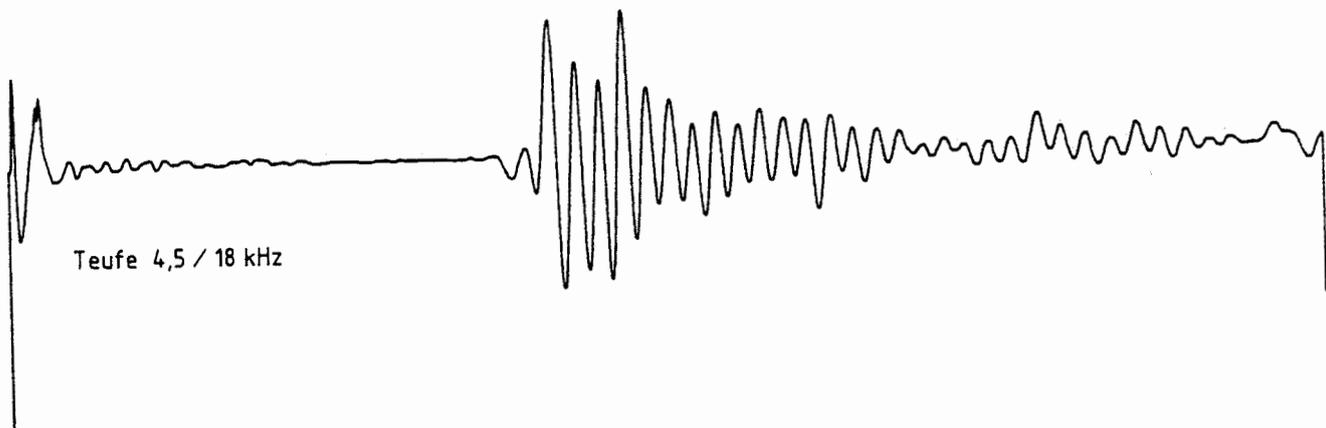
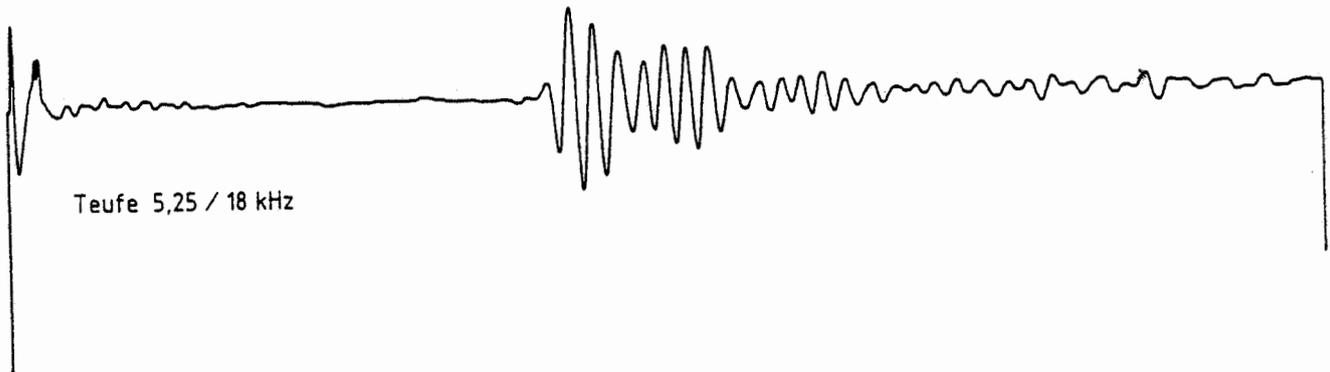
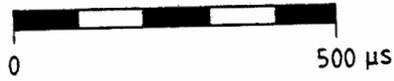
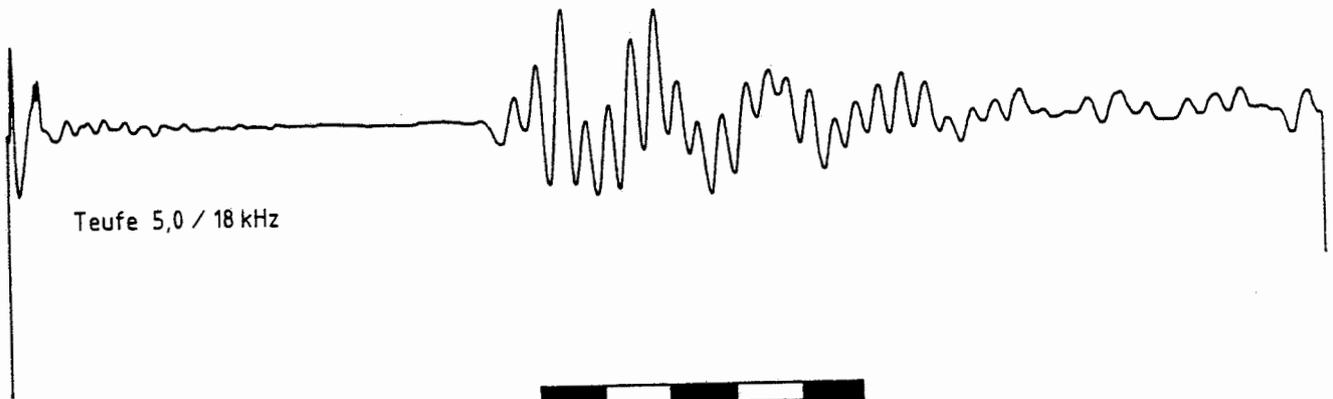
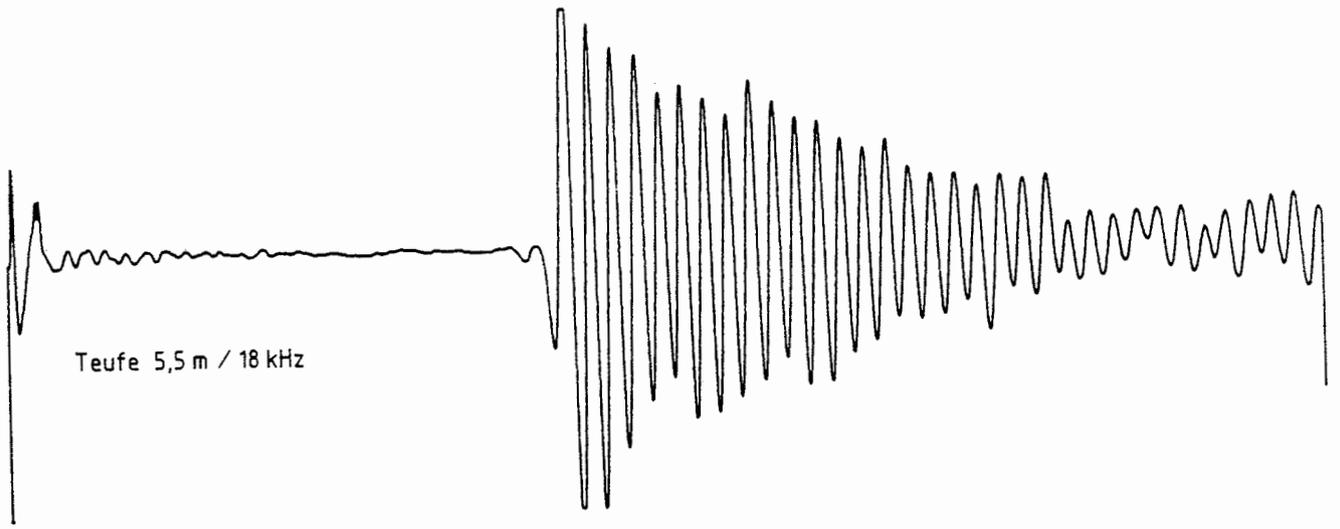


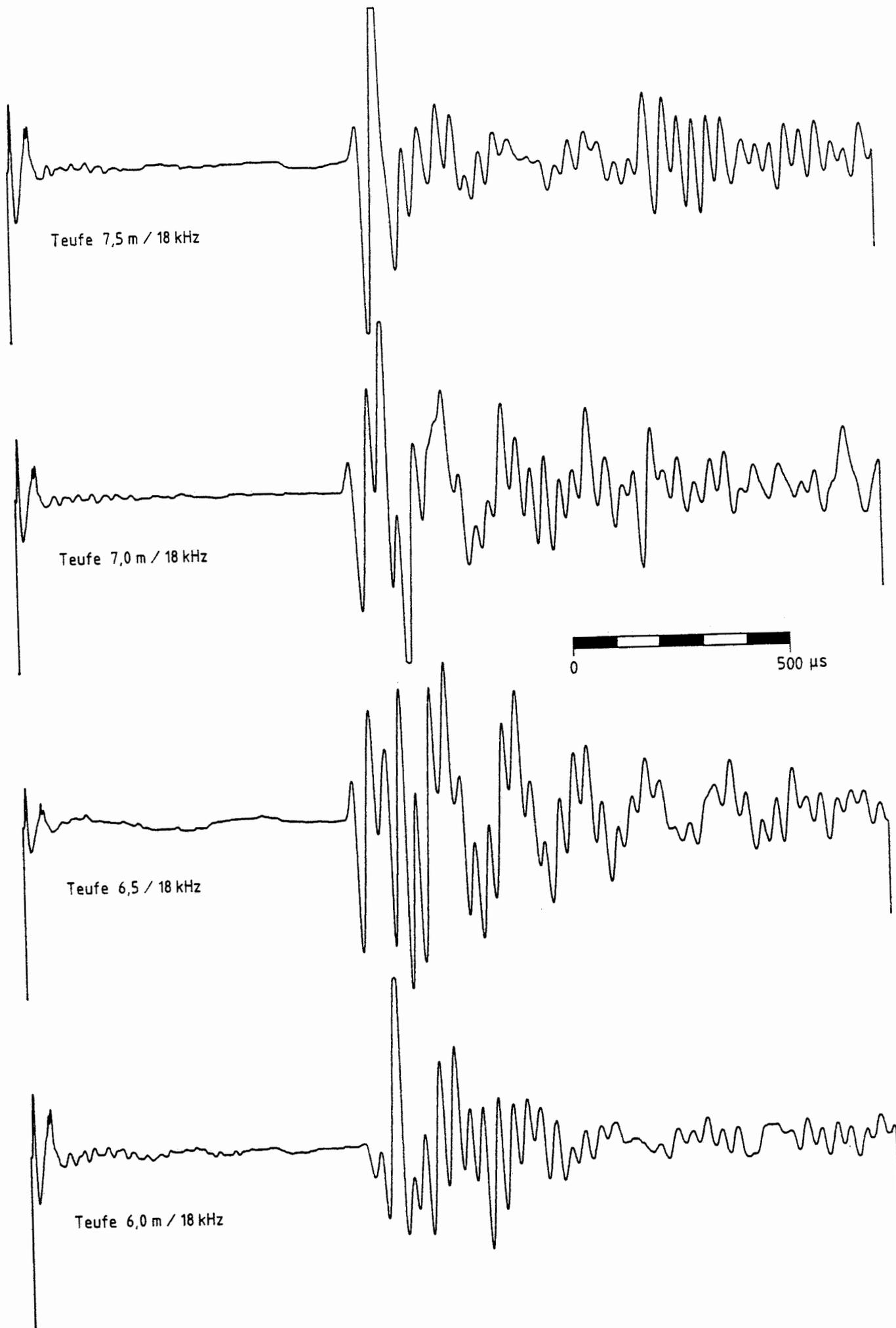
0 500 μ s



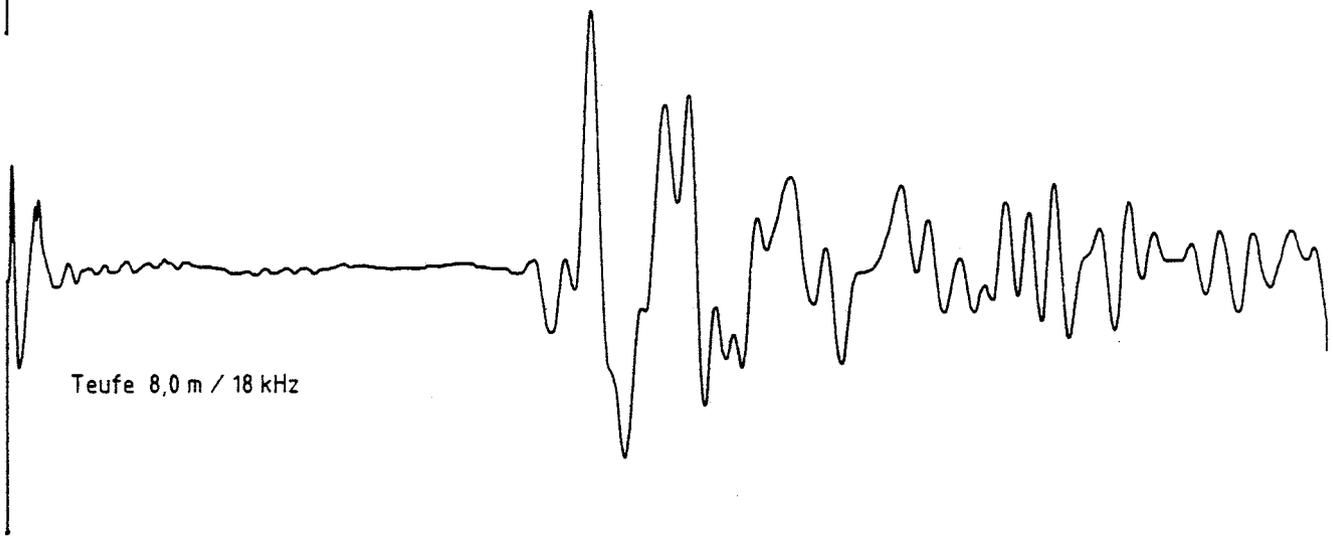
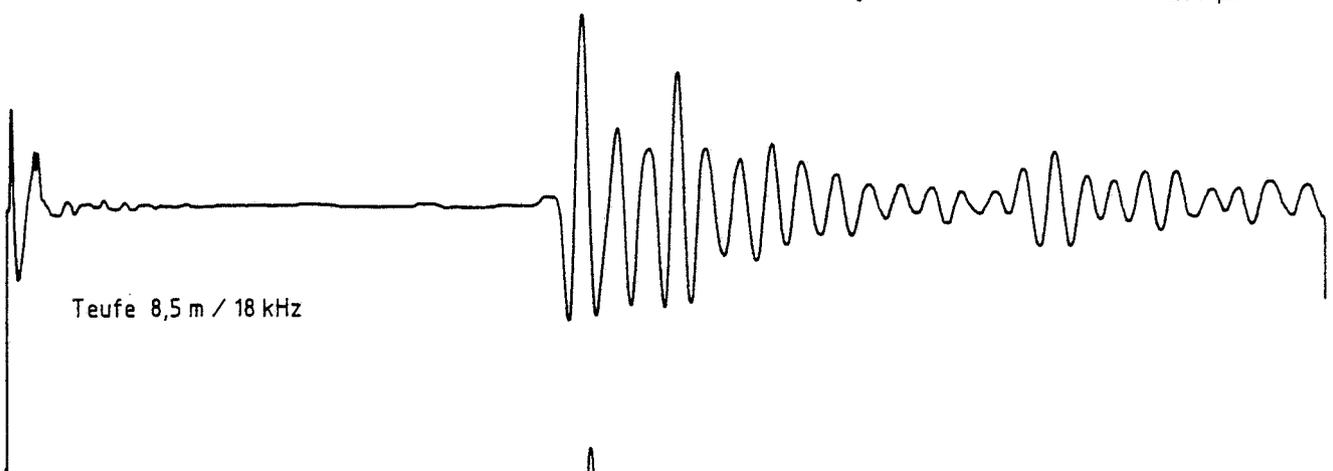
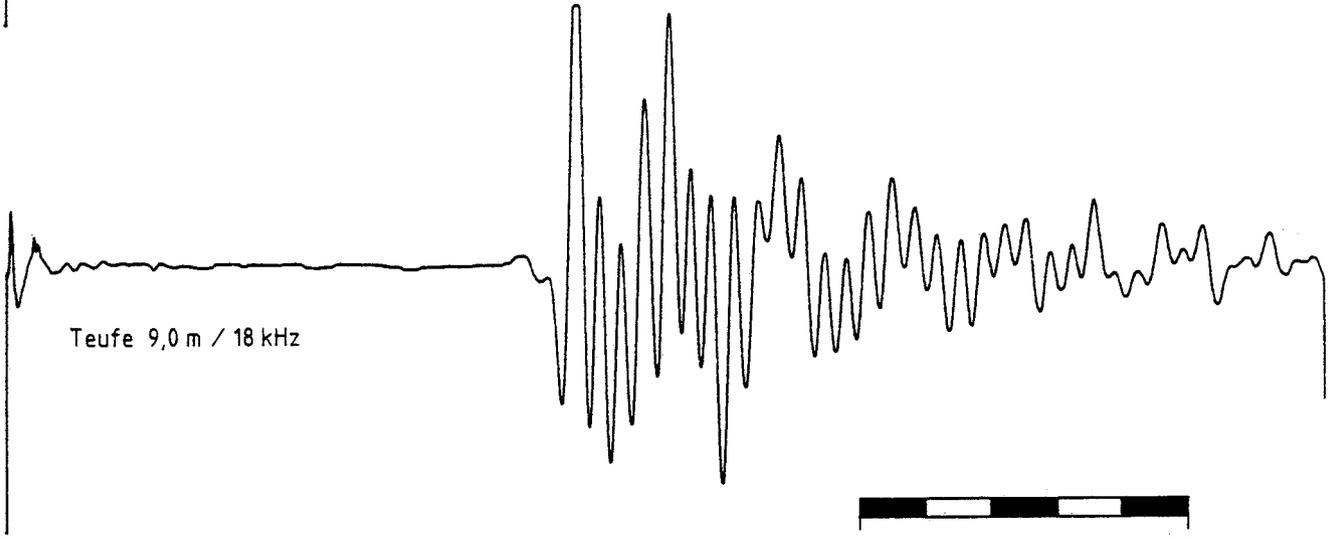
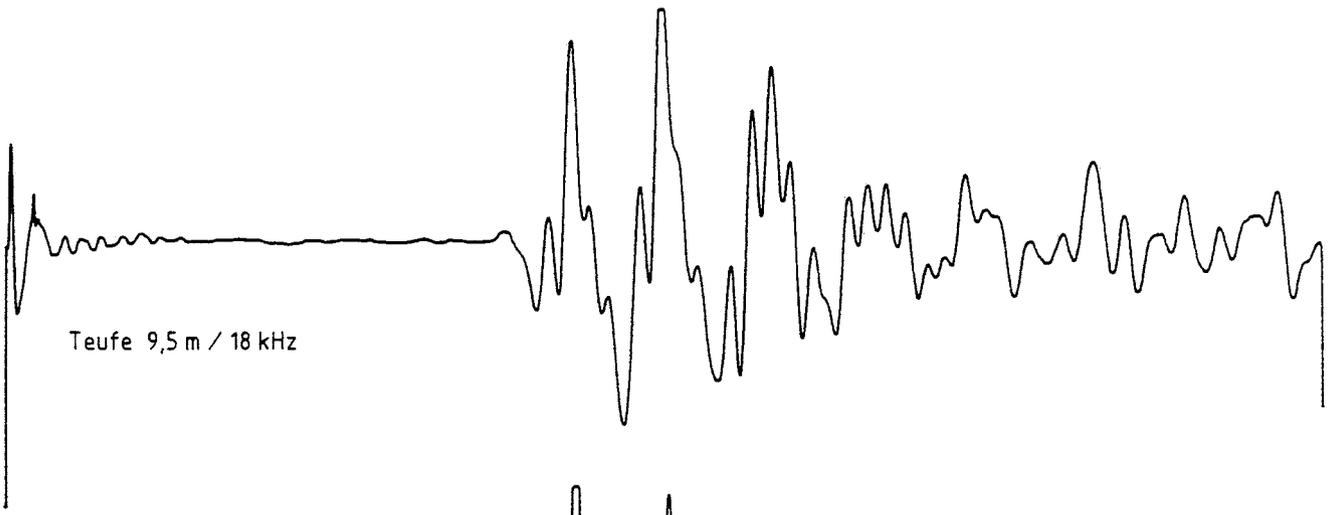


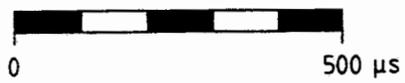
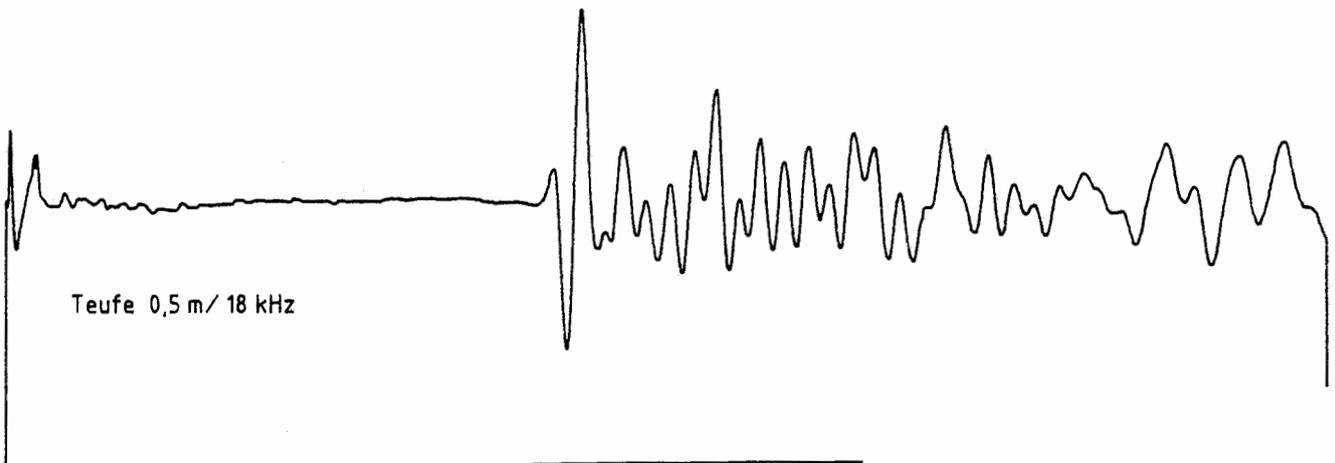
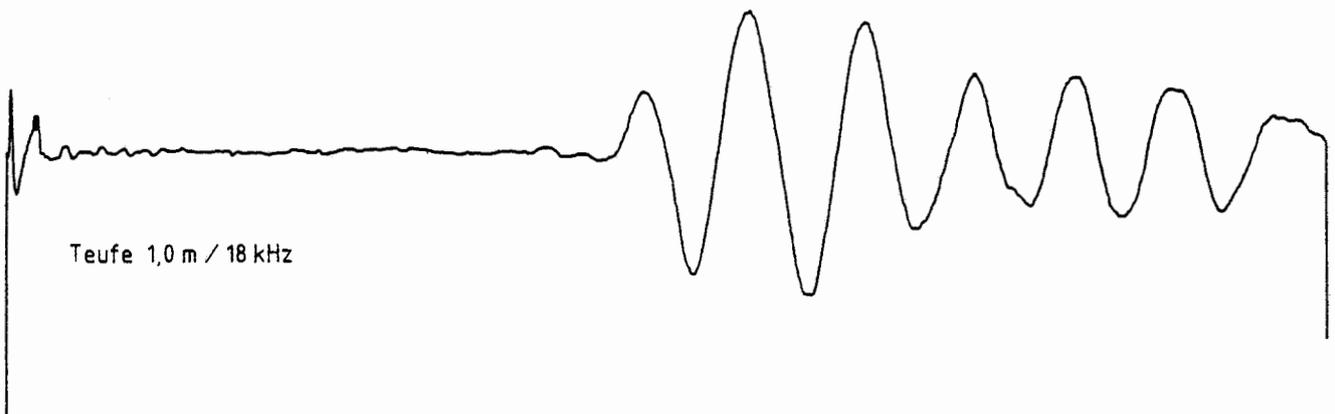


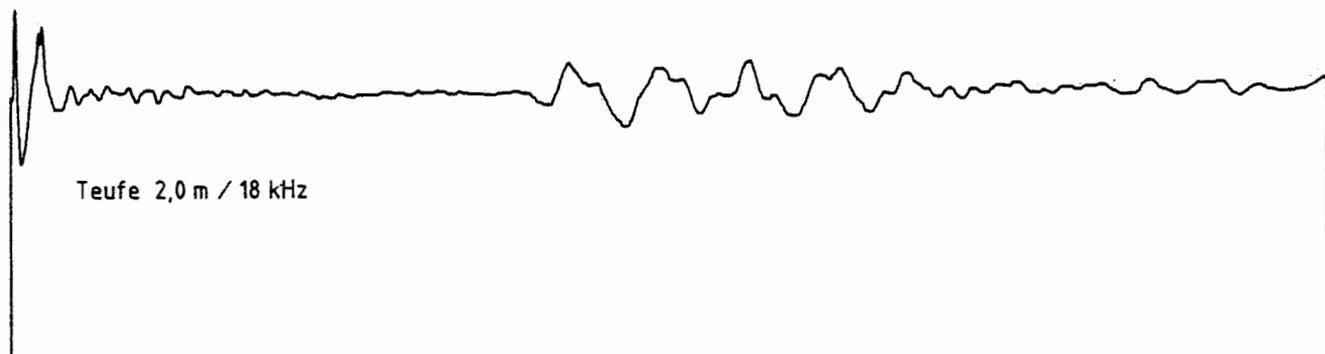
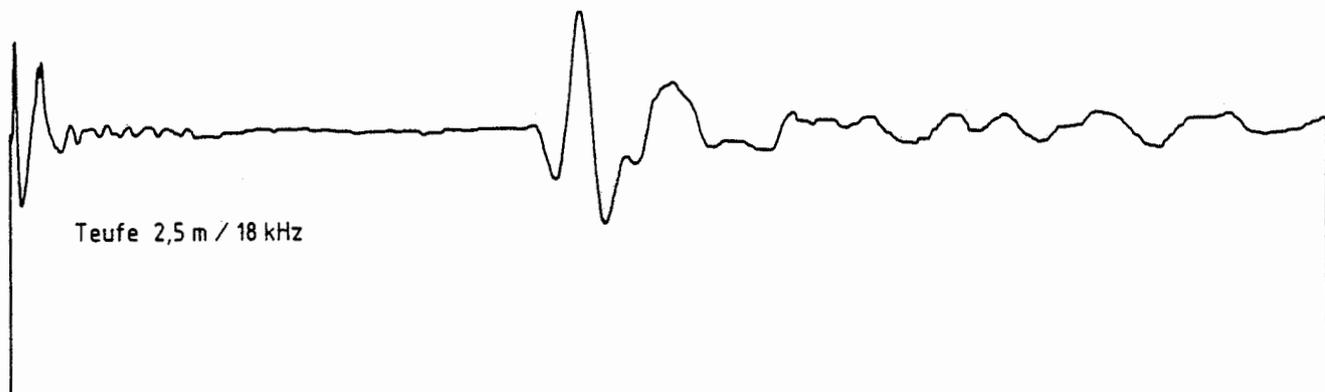
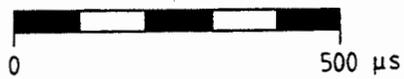
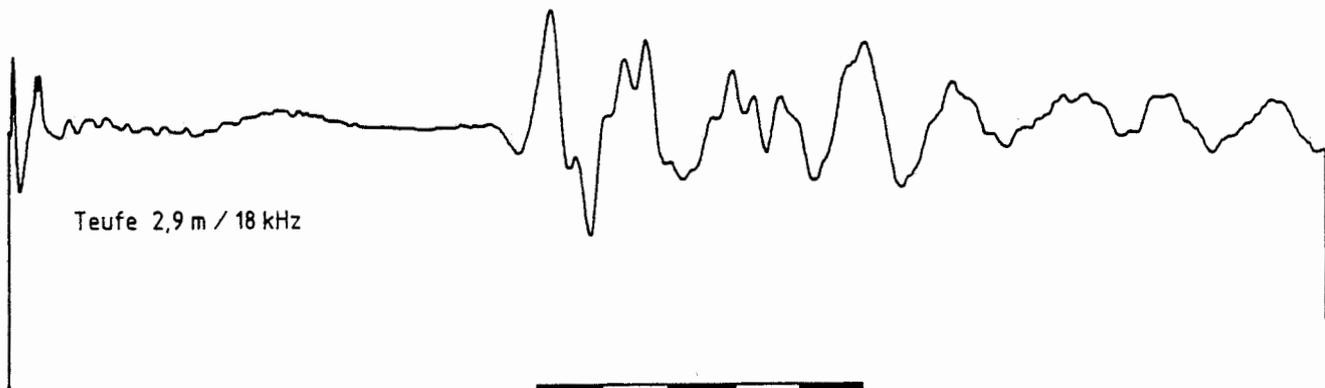
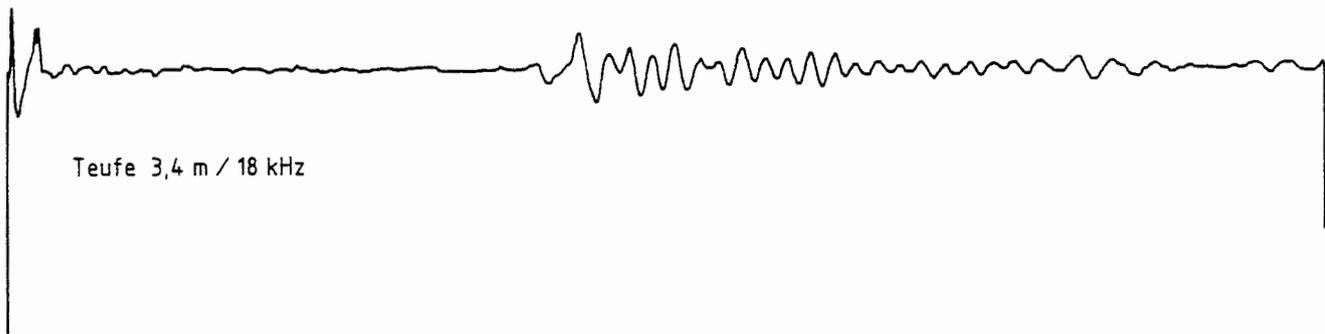


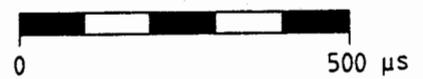
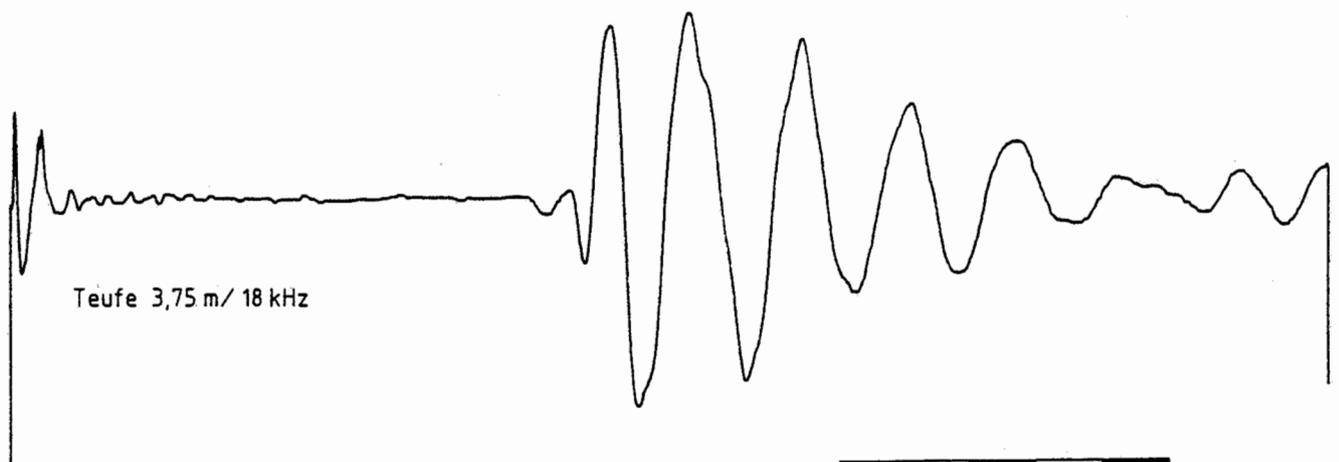
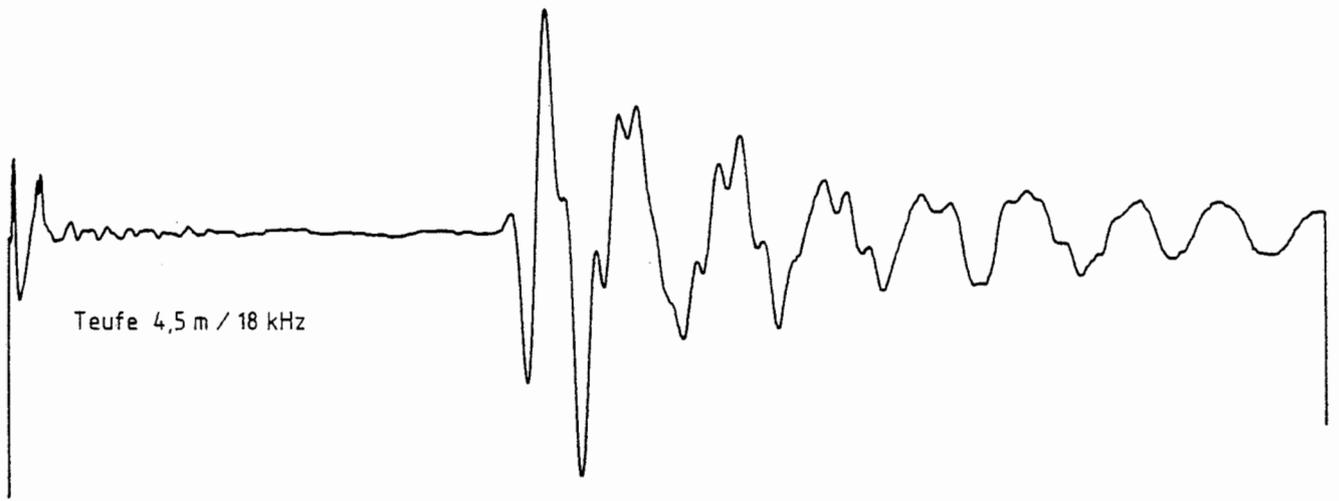


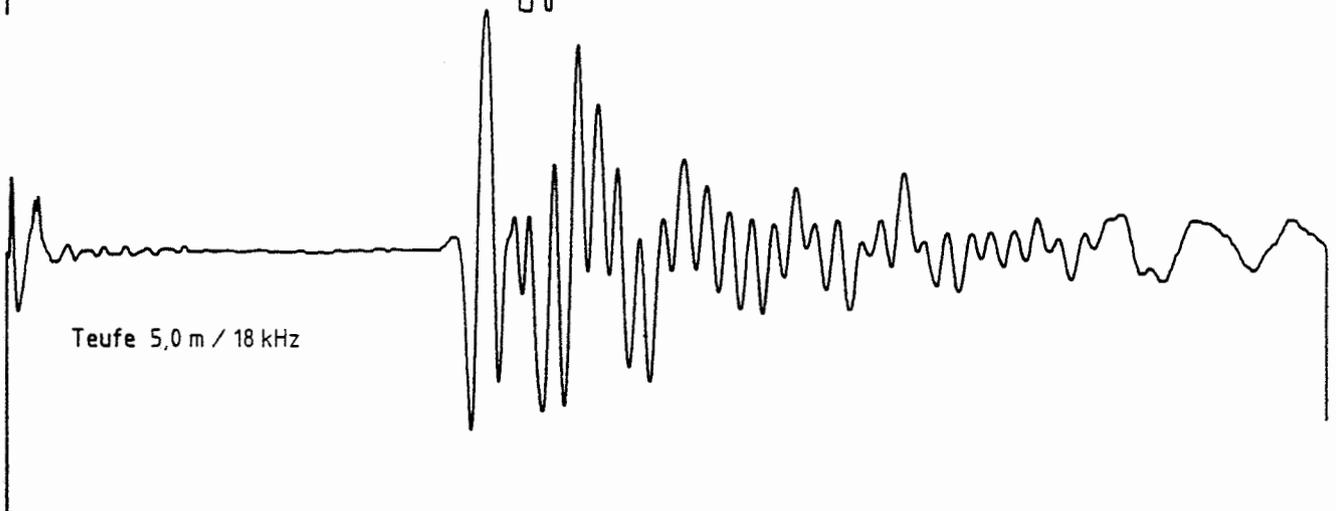
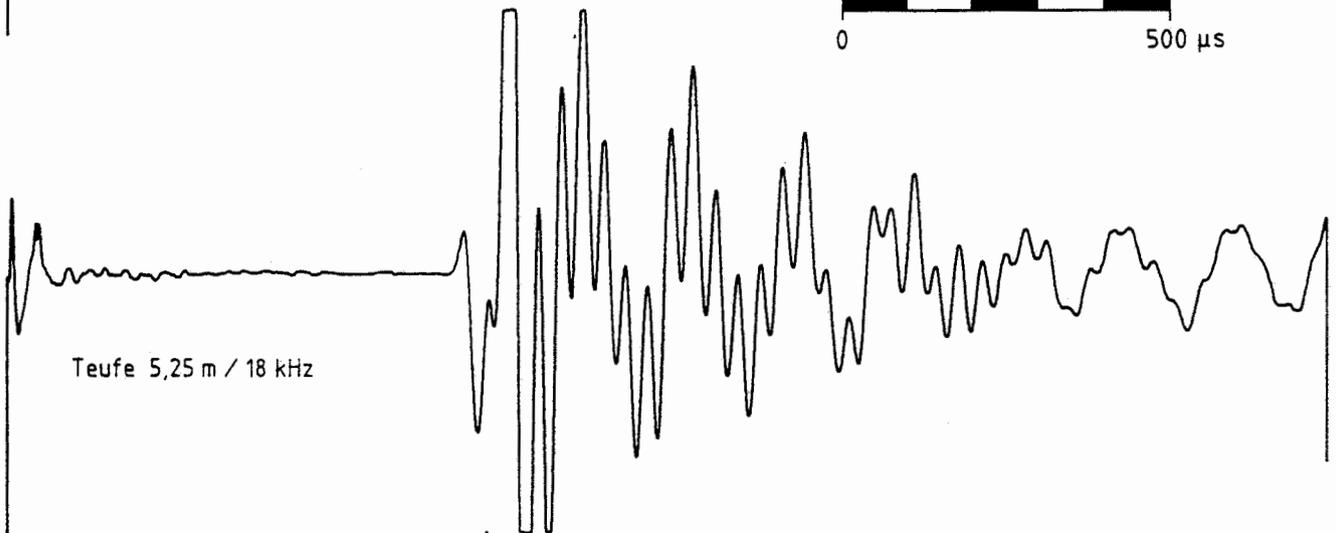
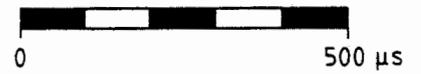
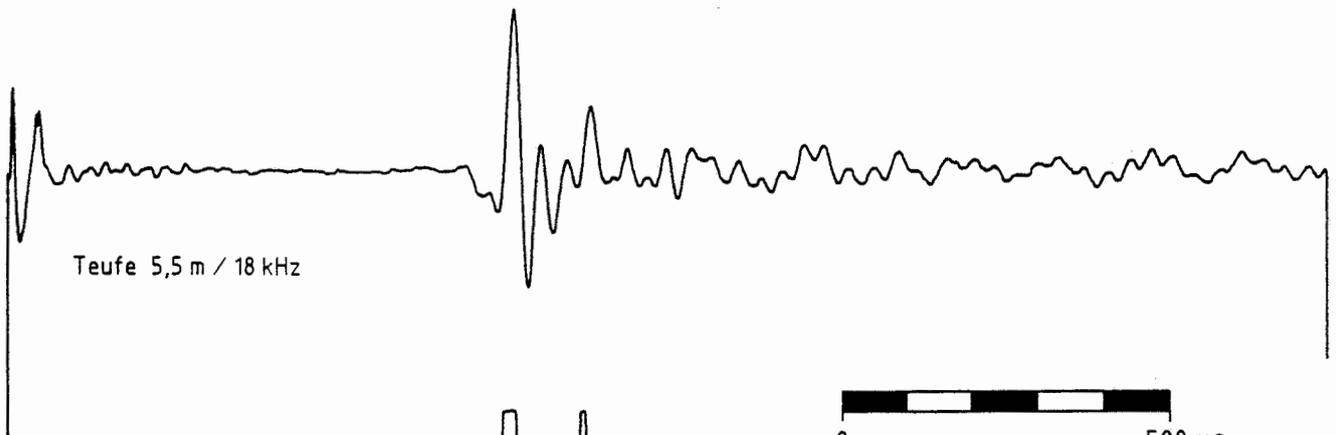
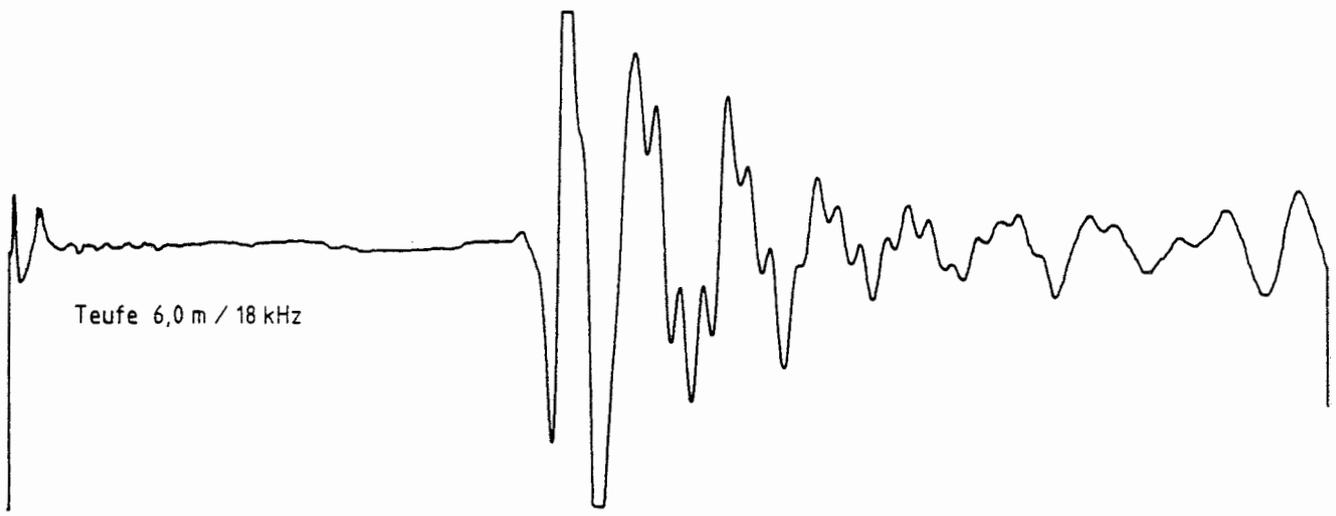
Konrad, Feld 5/1, Kammer 241S, Bohrungen 2/40 – 2/43, 11.89

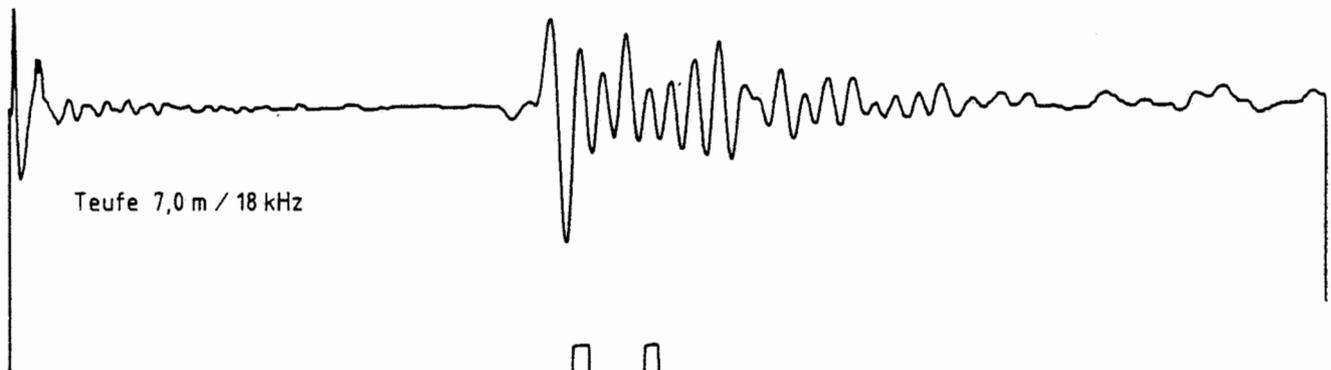
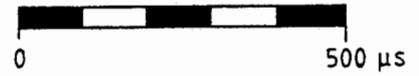
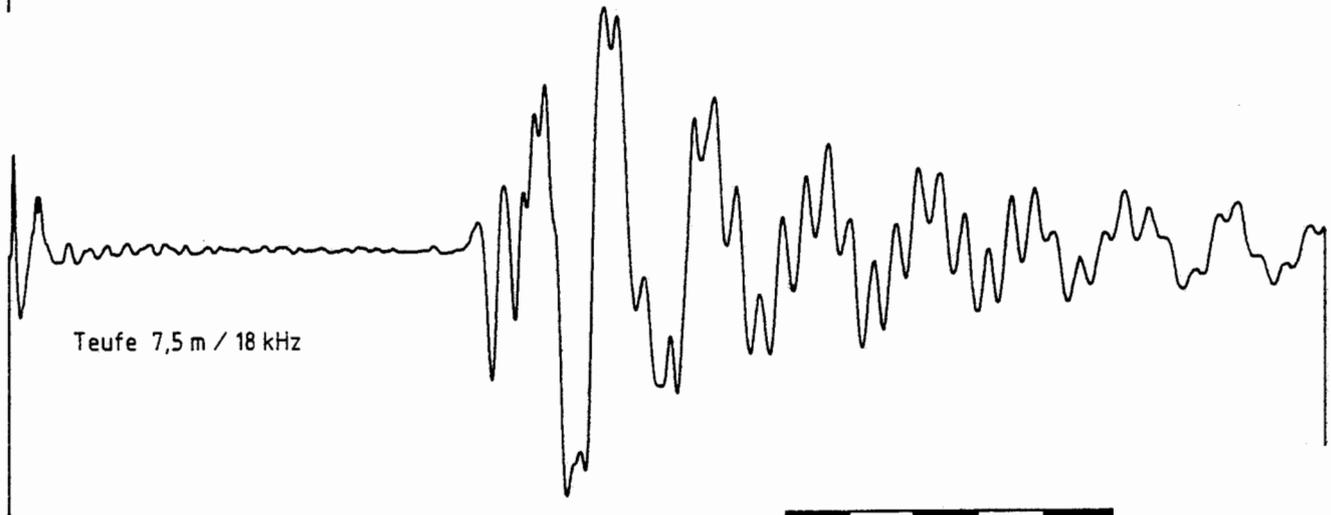
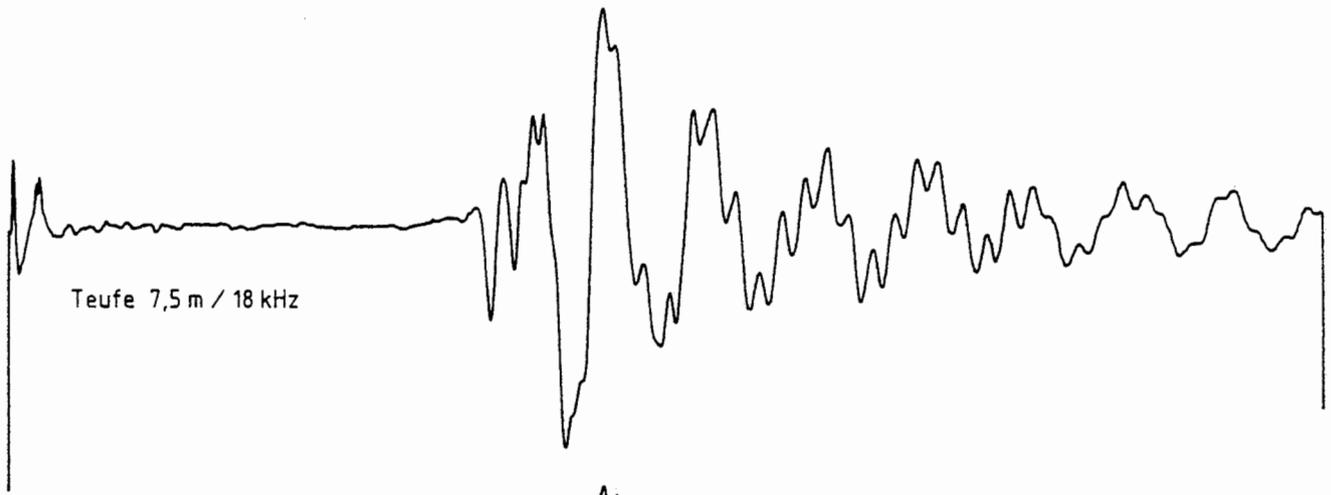


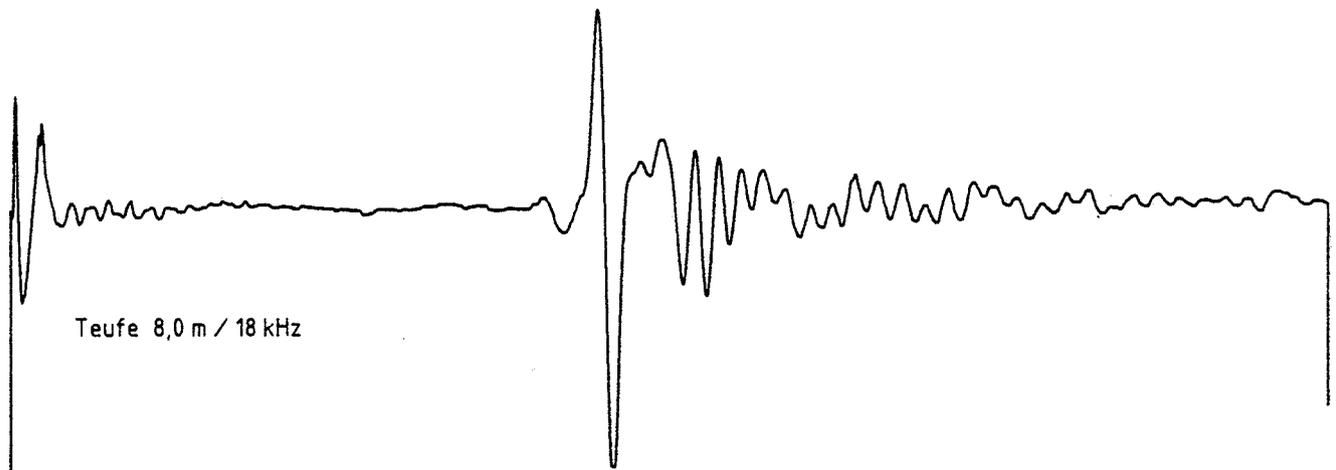
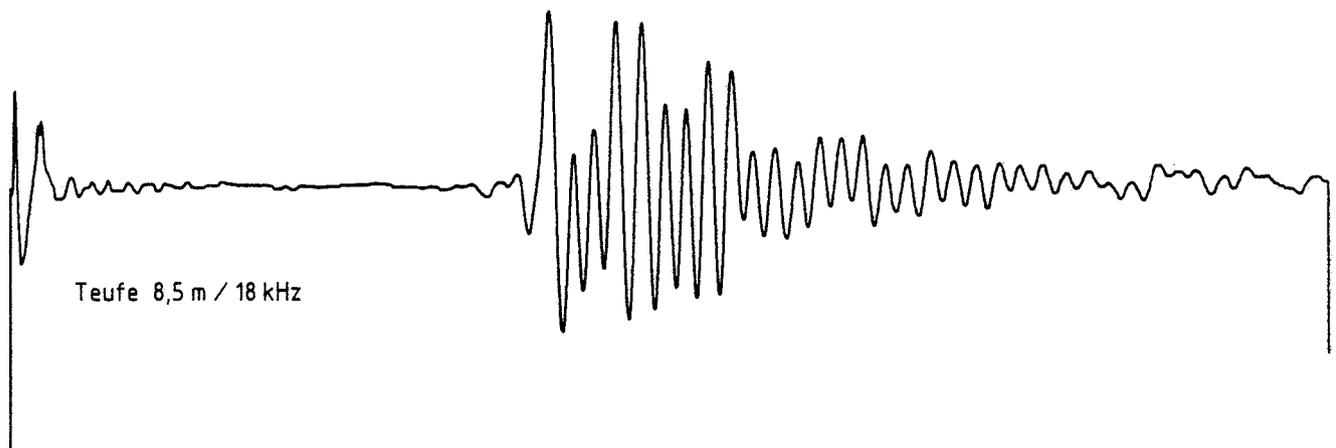
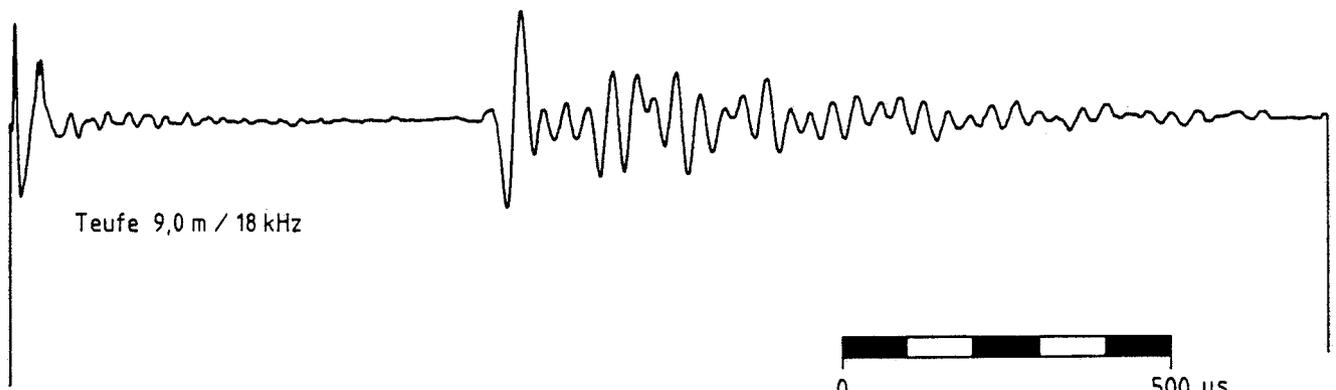
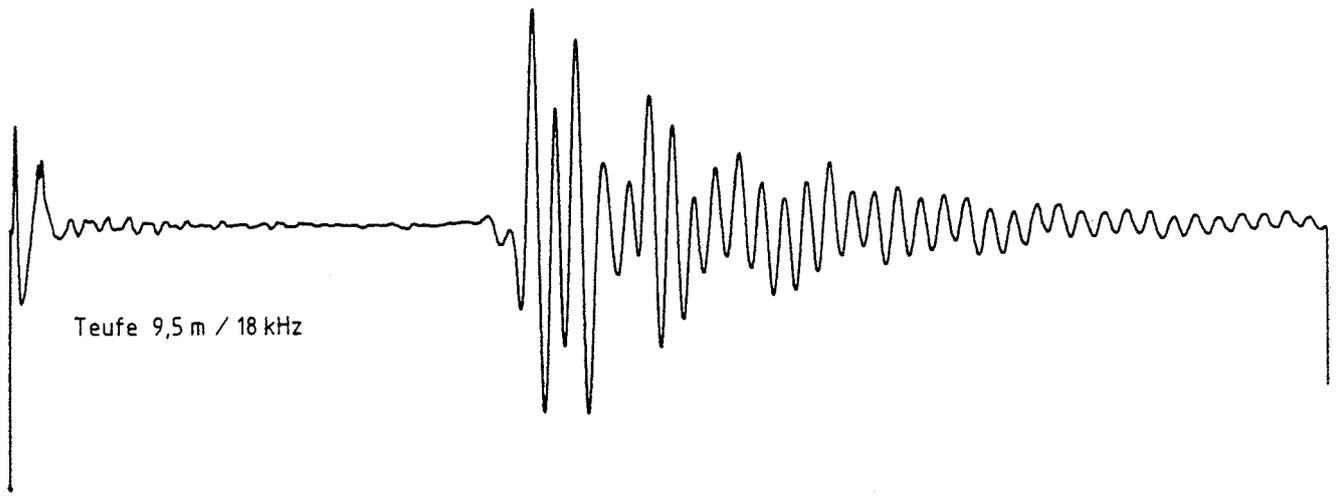


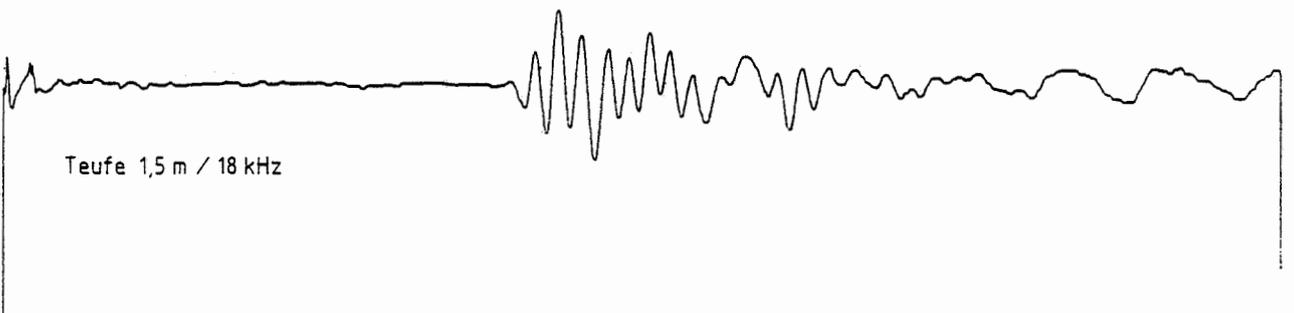
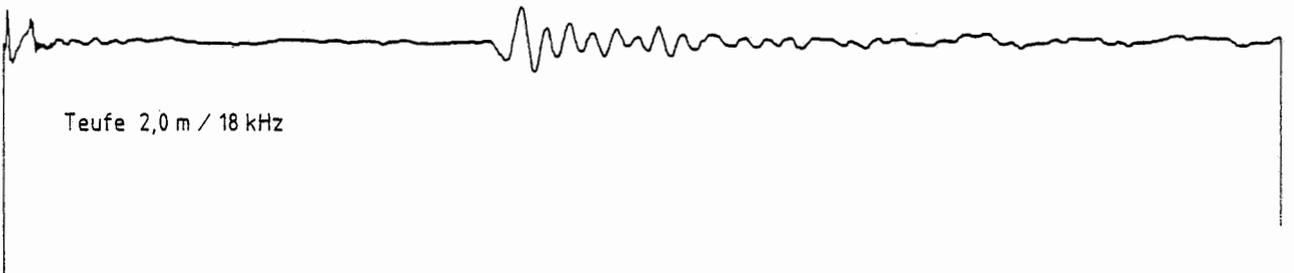
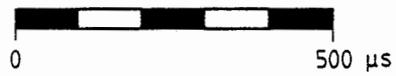
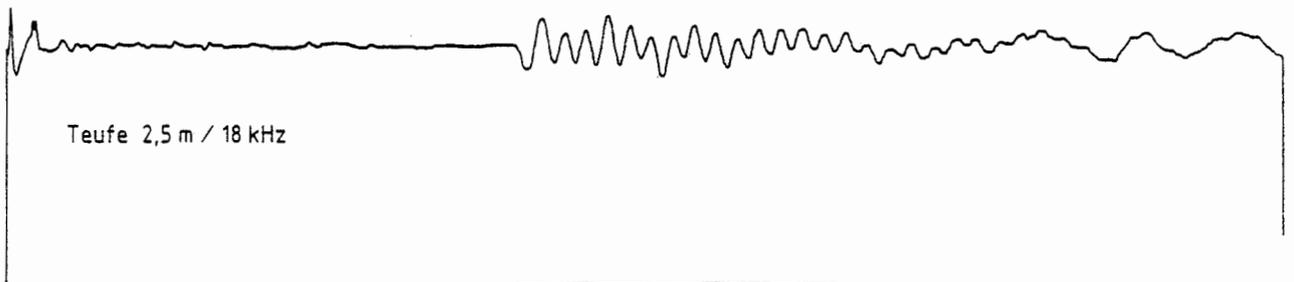
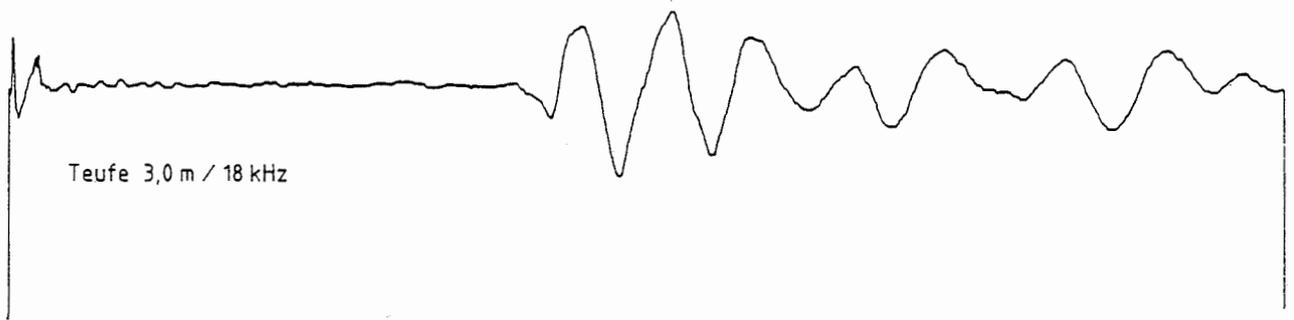




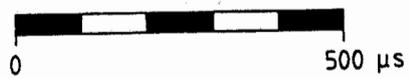
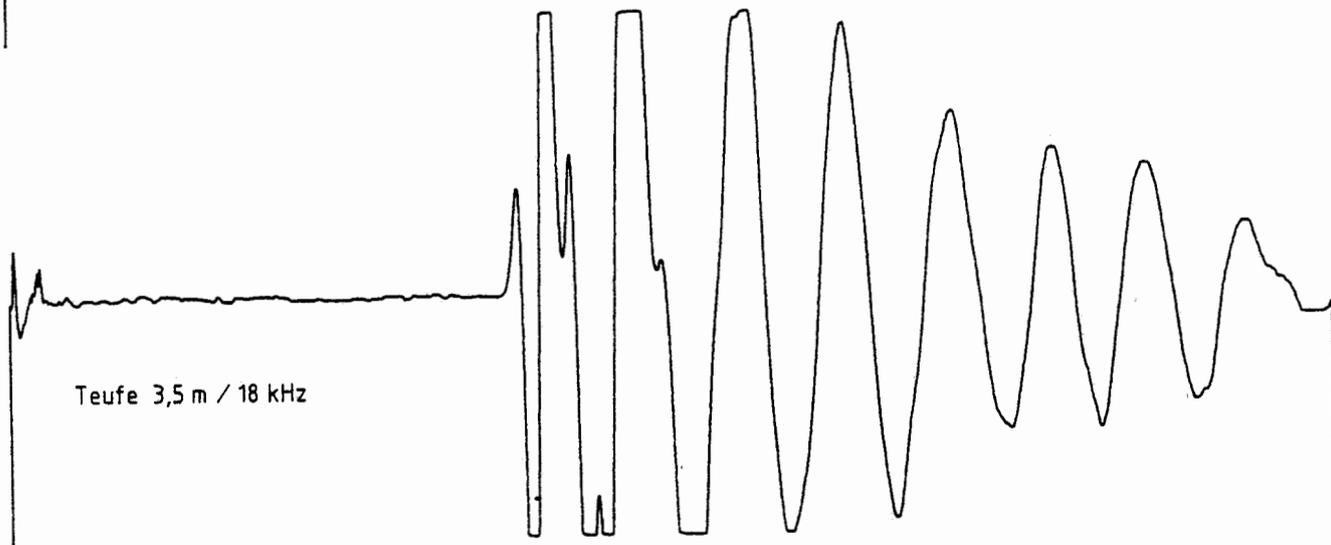
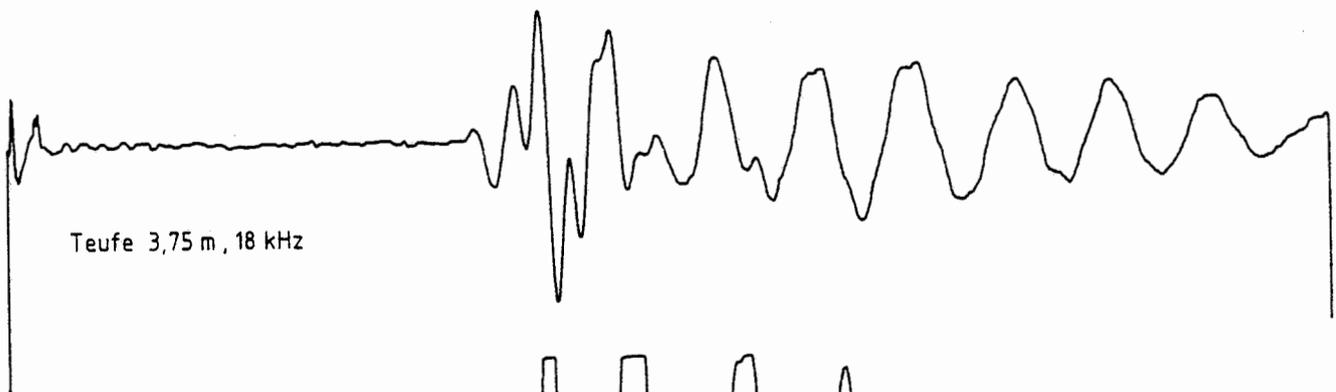
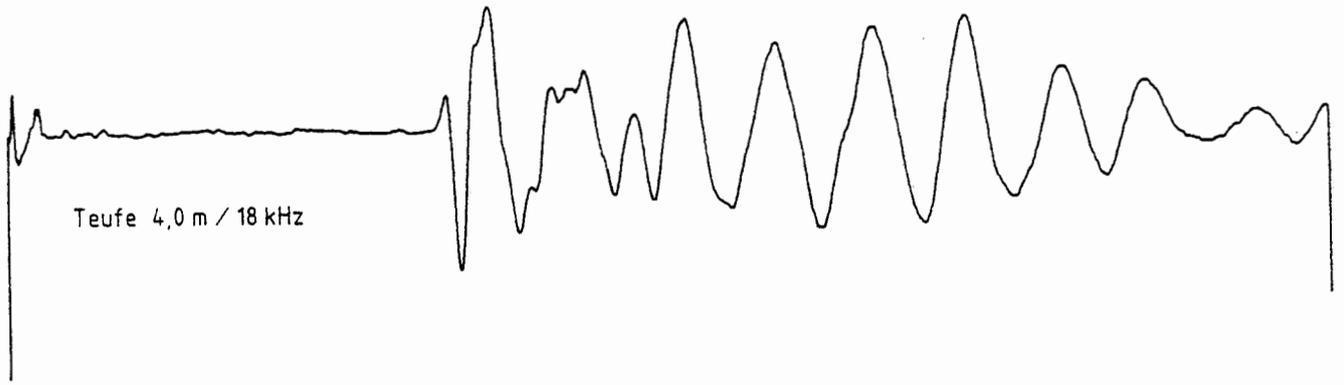




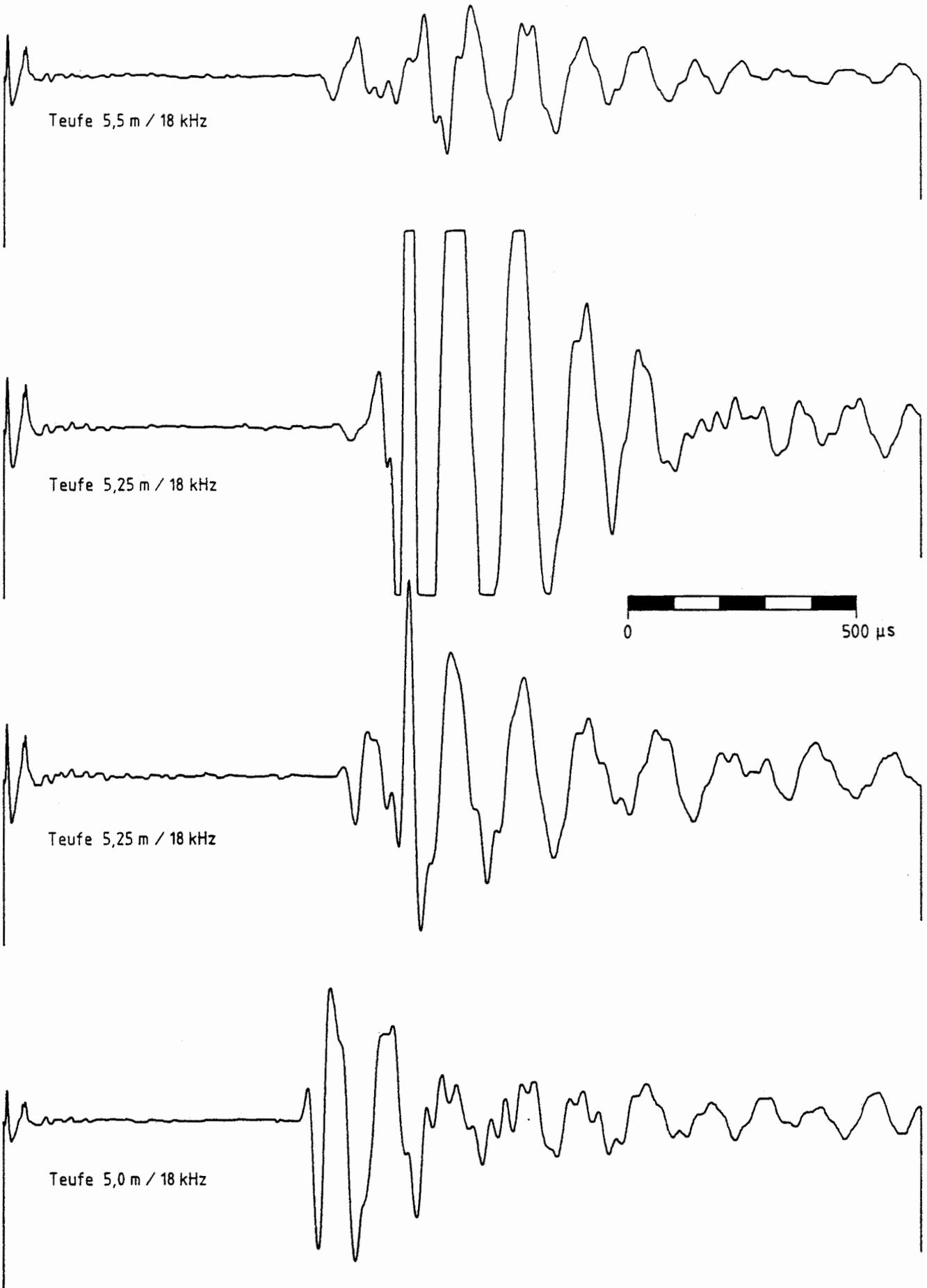


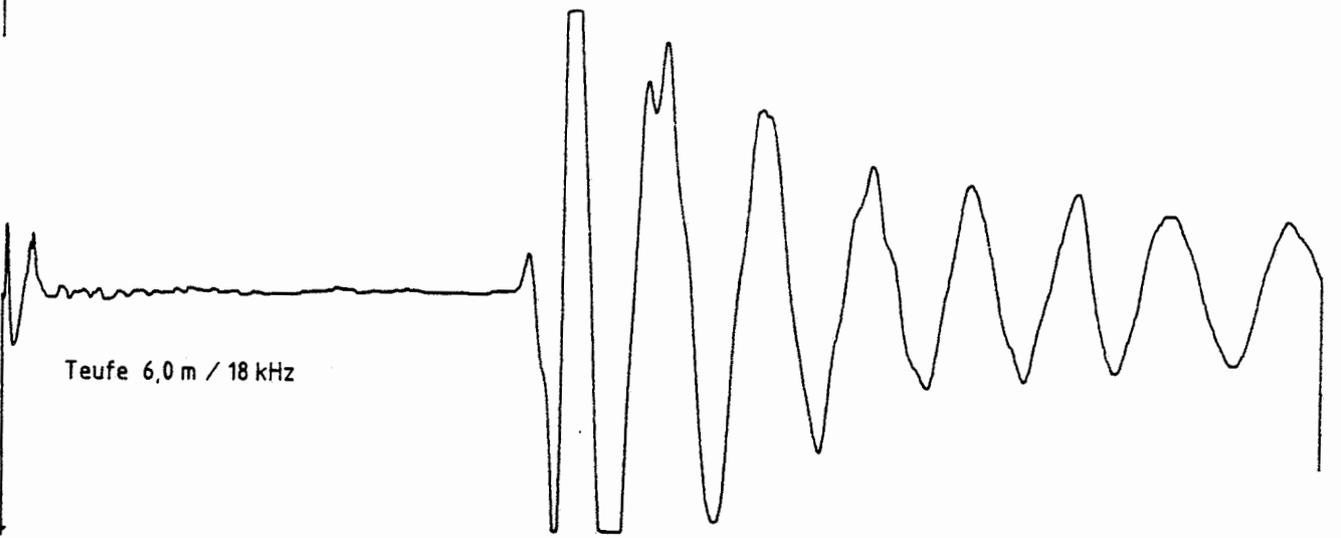
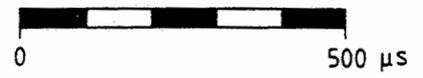
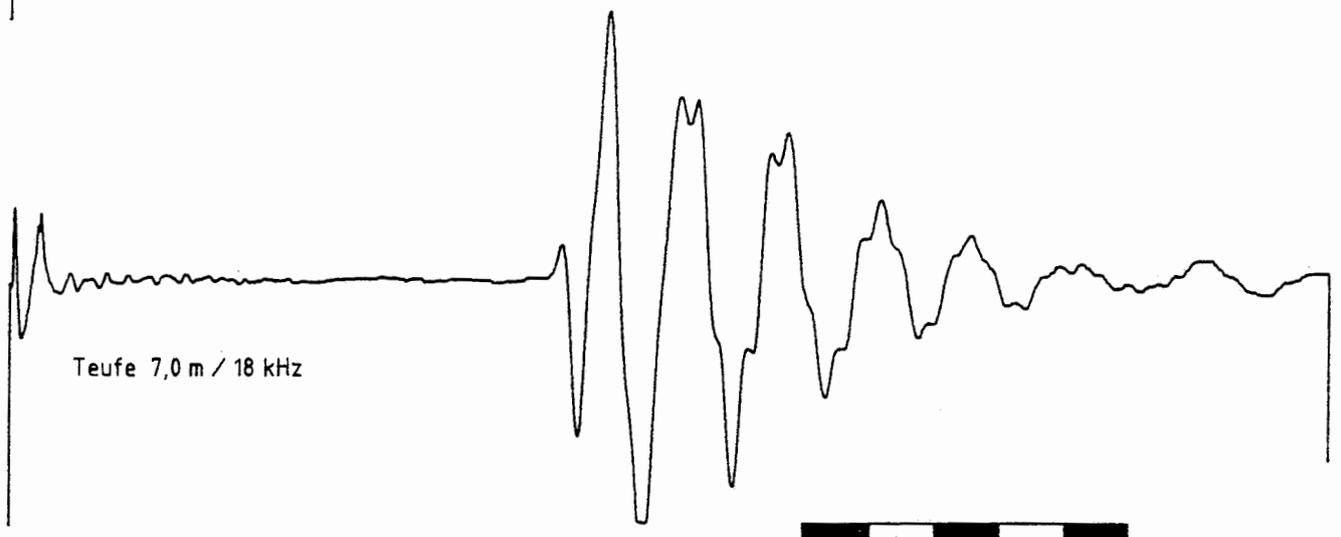
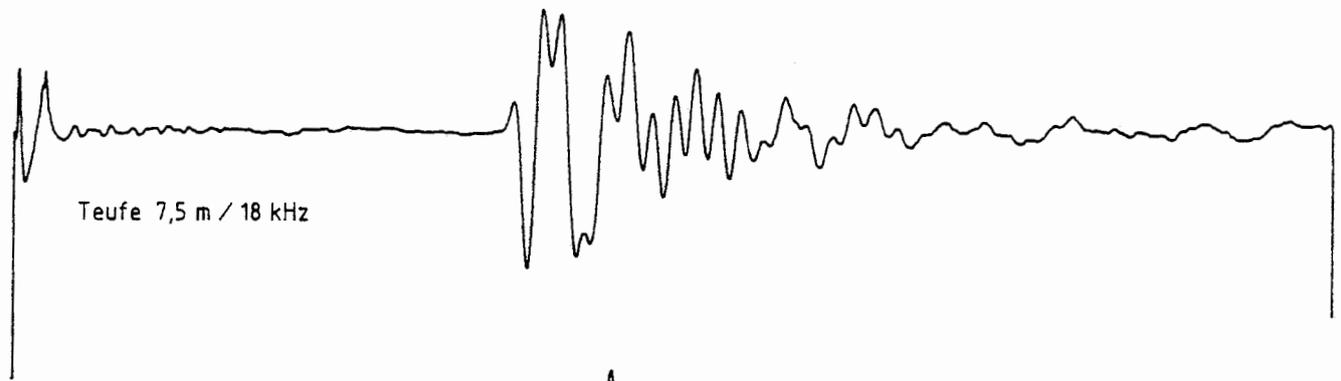


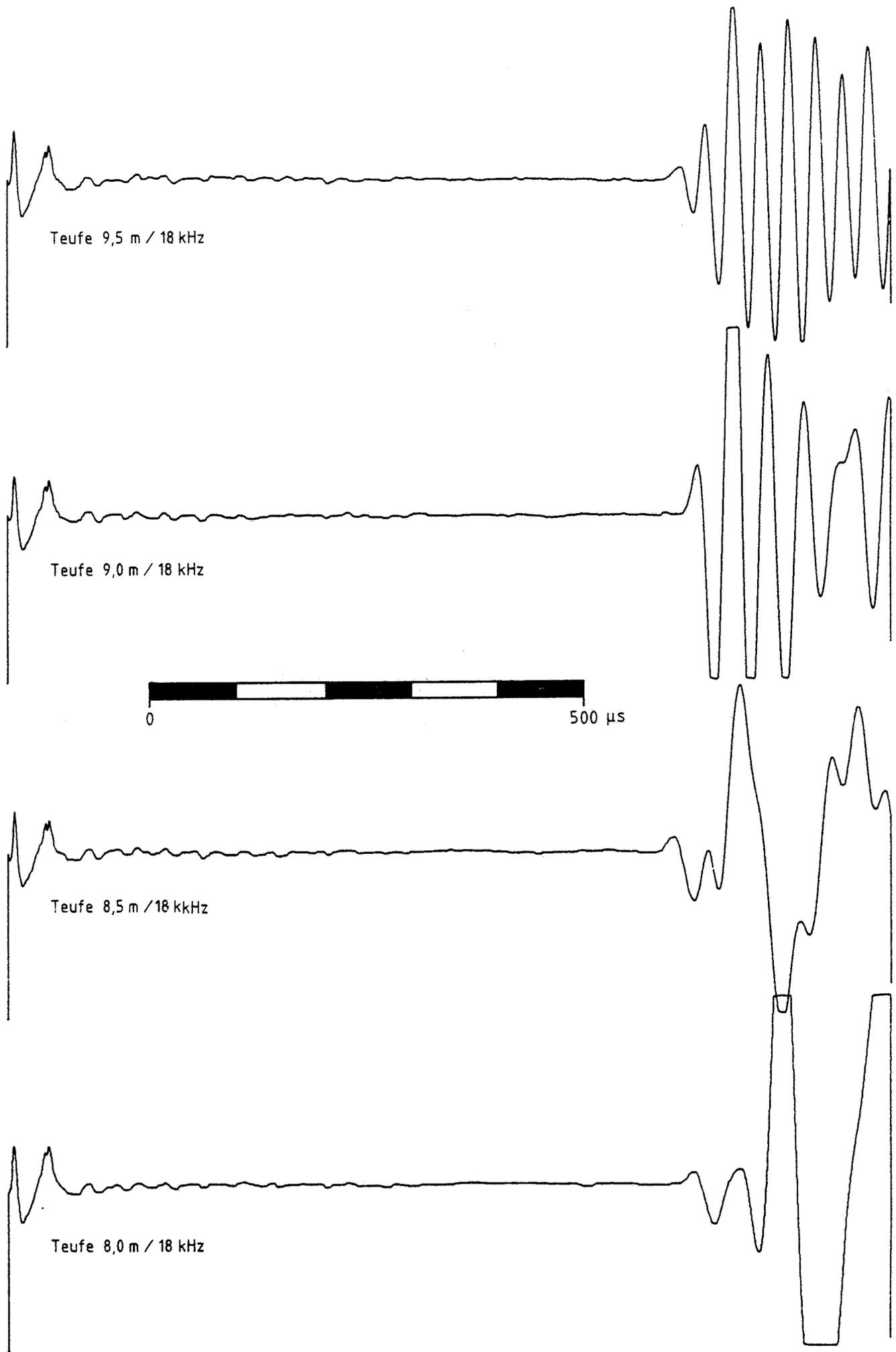
Konrad, Feld 5/1, Kammer 231S, Bohrungen 2/45 – 2/47, 11.89



Konrad, Feld 5/1, Kammer 231 S, Bohrungen 2/45-2/47, 11.89







Anlage 5 Petrographische Beschreibung der Ultraschall-Labor-
Prüfkerne

205

Erzkalk, hellbraun, feinooidisch, lagenweise gröber, SS 80°

206

Mergelstein, viele Fe-Ooide, kleine Fe-Oolithgerölle und limonitische Onkoide, Schalendetritus, SS 65°

207

Eisenoolith, graubraun, stark mergelig, feinooidisch, Schalendetritus, Tonsteinschmitzen, SS 80°

208

Eisenoolith, dunkelbraun, mergelig, feinooidisch, etwas Muschelschill, Tonsteinschmitzen

209

Mergelstein, braungrau, sehr viele feine Fe-Ooide, kalkstreifig, einzelne Tonmergelsteinstreifen, SS 20°

210

Erzkalk, hellbraun bis ocker, feinooidisch mit kleinen Onkoiden, am Kopfende mergelig, SS 15°

211

Eisenoolith, braun-grau, stark mergelig, feinooidisch, etwas Schalendetritus und Onkoide, Ss 65°

212

Mergelstein, grau, mit vielen feinen Fe-Ooiden, lagenweise viel Muschelschill, einige Erzkalkgerölle, undeutliche SS 60°

213

Mergelstein, grau-braungrau, lagenweise viel Fe-Ooide und Muschelschill, limonitische Onkoide, Tonmergelsteinlagen, SS 60°

214

Mergelstein, grau, Fe-Ooidnester, kalkig-limonitische Onkoide, Schalendetritus, SS 60°

215

Mergelstein, dunkelgrau, mit vielen kalkig-limonitischen Onkoiden, Schalendetritus

216

Mergelstein, dunkelgrau bis braungrau, viele Fe-Ooide, Muschelschill, etwas limonitische Onkoide, Tonsteinstreifen und -schmitzen, SS 25°

217

Mergelstein, grau, mit vielen kalkig-limonitischen Onkoiden, Schalendetritus, Ss 25°

218

wie 217, Fe-Ooide, undeutliche SS \pm 0°

219

Mergelstein, dunkelgrau, viele kalkig-limonitische Onkoide, Schalendetritus

220

Tonmergelstein, dunkelgrau, schlierige Textur, etwas Pyrit, gelegentlich Schalendetritus

221

Mergelstein, grau- bis braungrau, viel Fe-Ooide, lagenweise viel Schalendetritus und Onkoide, diagonal durch den Kern eine 1,5 cm starke Tonmergelsteinlage, SS 65°