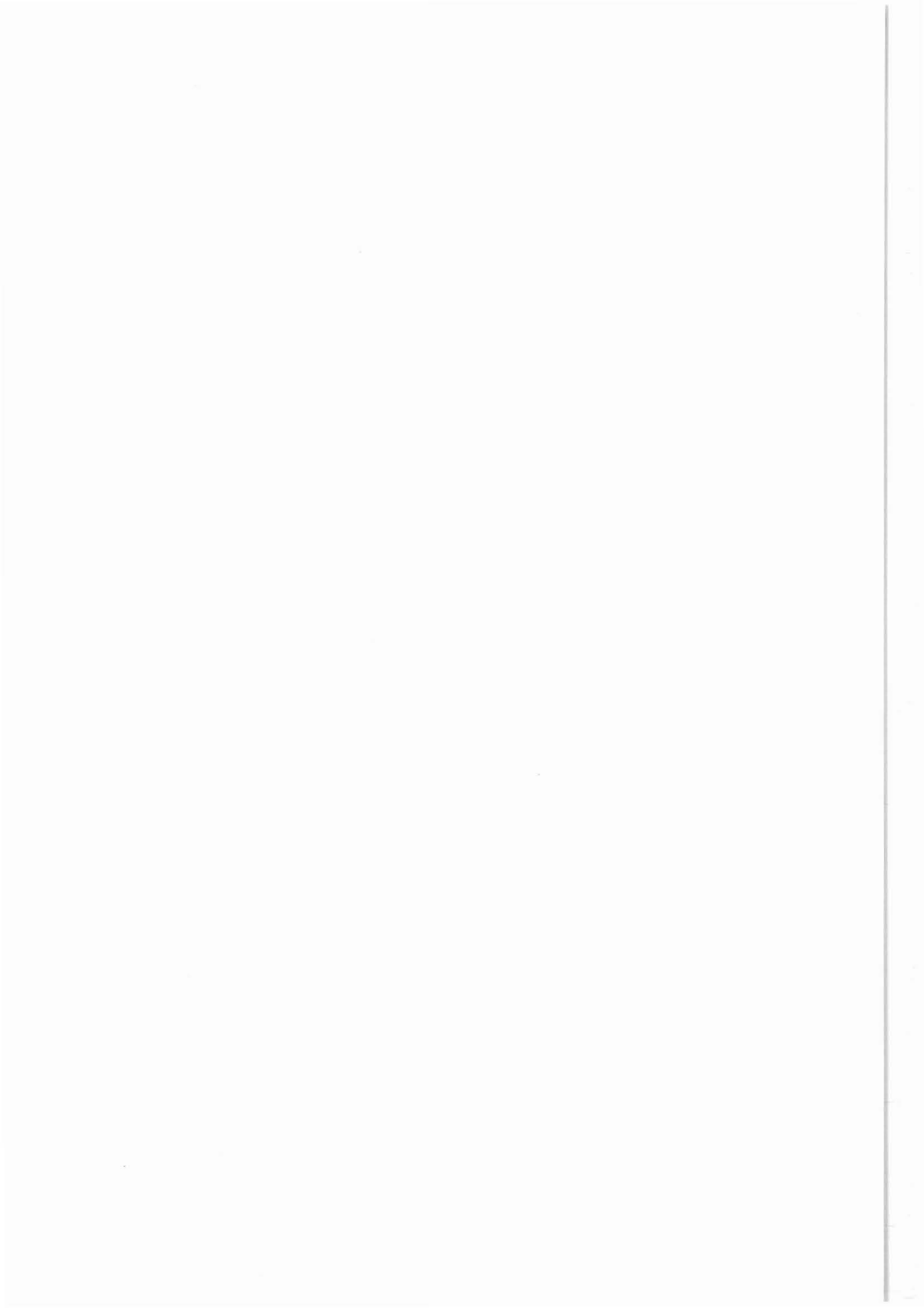


E. Spezialuntersuchungen

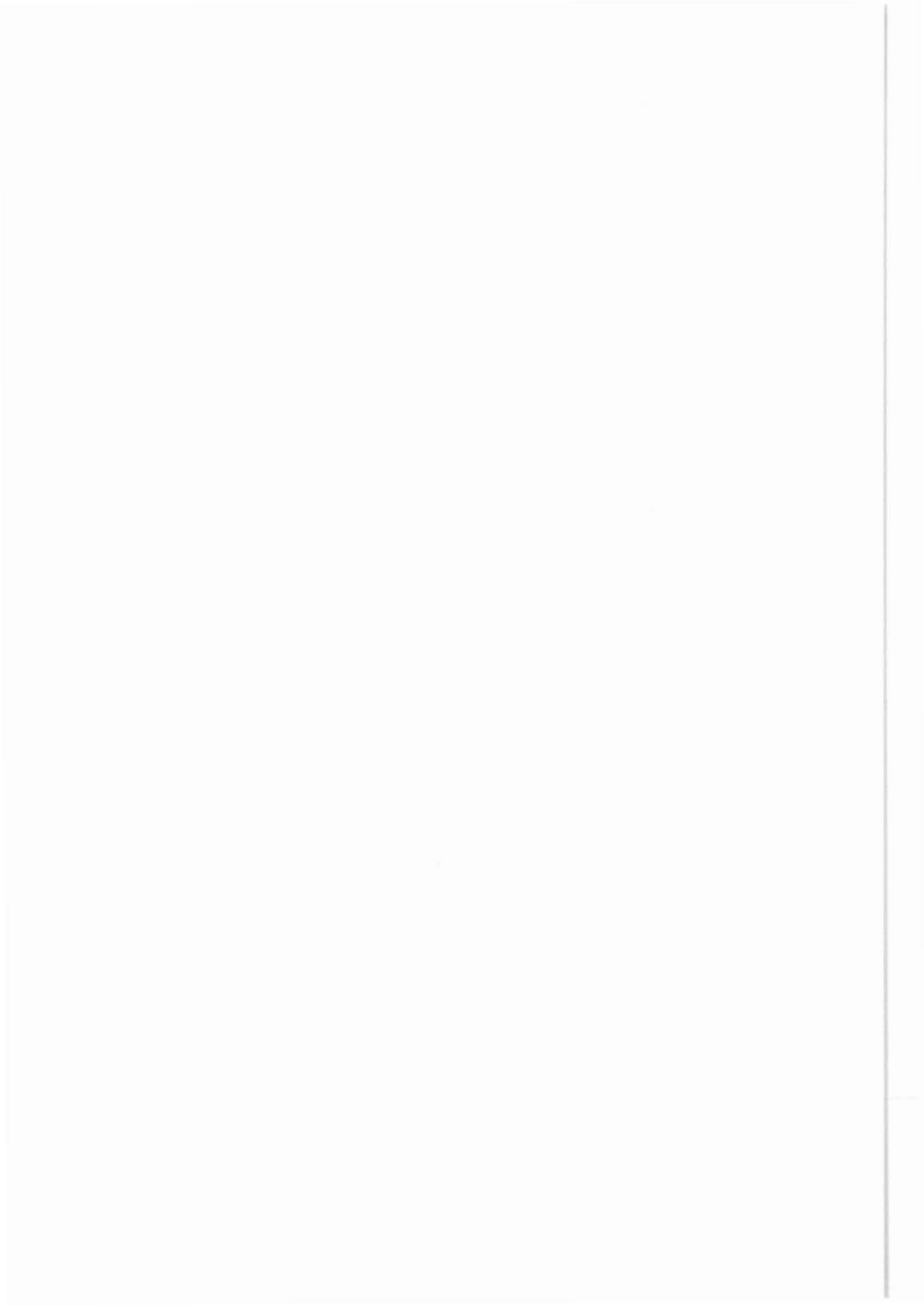


Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung
Technische Universität Clausthal

Agricolastraße 10
3392 Clausthal-Zellerfeld

Untersuchungen der Möglichkeiten
zur Sammlung und Auswertung
von Meßwerten aus dem Bohrlochsohlenbereich
durch Bit-noise-Analysen

Dipl.-Ing. Y. Pang
Dipl.-Ing. U. Deutsch
Dipl.-Ing. M. Burkhardt
Prof. Dr.-Ing. C. Marx



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1.	Bohrmeißelinduzierte Schwingungen..... 549
1.1	Schwingungsursache während des Bohrvor- ganges..... 549
1.2	Bisherige Arbeiten zur Messung von meißel- induzierten Schwingungen zur Beurteilung des Bohrprozesses..... 550
1.2.1	Die Arbeit von van Rooij..... 551
1.2.2	Die Arbeit von Katz..... 551
1.2.3	Die Arbeit von Will..... 552
1.2.4	Die Arbeit am ITE..... 552
2.	Möglichkeit der Realisierung..... 553
2.1	Übertragungsmöglichkeit der Signale..... 553
2.2	Messung der meißelinduzierten Signale..... 555
2.3	Auswertung der meißelinduzierten Signale..... 557
3.	Entwicklung des einsatzfähigen Systems zur Sammlung von Meßwerten..... 558
3.1	Prinzipieller Aufbau des Systems..... 558
3.2	Entwicklungsschritte der Untersuchungen..... 559
3.2.1	Luftschallmessung beim Bohrprüfstand..... 559
3.2.2	Schwingungsmessung durch das Gestein im Labor..... 560
3.2.3	Feldmessungen..... 561
3.3	Auswahl geeigneter Komponenten des Meß- systems..... 561
3.4	Zeit- und Kostenaufwand der Untersuchungen..... 561
4.	Anwendungsmöglichkeiten für KTB..... 562
5.	Literaturverzeichnis..... 565

1 BOHRMEIBELINDUZIERTE SCHWINGUNGEN

Die während des Bohrvorganges auftretenden Schwingungen werden von Axial- und Reibungskräften sowie von Biege- und Torsionsmomenten verursacht /14/15/16/.

Sie resultieren aus:

- a) Zug- und Druckbeanspruchung
- b) Biegebeanspruchung
- c) Torsionsbeanspruchung
- d) Pumpendruck
- e) Schwingungen der Antriebsmotore
- f) Interaktion Meißel-Gestein

Die allein vom Meißel induzierten Schwingungen bzw. die durch Interaktion Meißel-Gestein ausgestrahlten Signale bringen viele wertvolle Informationen mit sich, welche zur Beurteilung des Bohrprozesses sehr praktisch sind. Im großen Umfang werden die in Form von Schwingungen ausgestrahlten akustischen Signale als effektive Informationen zur Überwachung oder Kontrollierung des laufenden Prozesses oder zur Entdeckung der Struktur vom Objekt benutzt. Die typischen Verwendungsgebiete sind Seismik, Schallemission, Schwingungsuntersuchung, usw.

1.1 Schwingungsursache während des Bohrvorganges

Der Gesteinszerstörungsvorgang spielt bei der Induzierung der Meißelschwingungen eine wichtige Rolle. Er hängt direkt von der Art des Bohrverfahrens, des Bohrwerkzeuges und des erbohrten Gesteins ab. Anschaulich werden die Erscheinungsformen der meißelinduzierten Schwingungen von unten aufgeführten Faktoren beeinflusst:

- a) Bohrstangenkombination
- b) Bohrlochgestaltungen und -verformungen
- c) Bohrspülungen
- d) Bohrklein
- e) angetroffene Formation in Bezug auf die Teufe

Beim schlagenden Bohren spielt die Schlagzahl im meißelinduzierten Schwingungsspektrum eine große Rolle. Beim Rotary-Bohren unterscheidet man nach der Art der Gesteinszerstörung und dem verwendeten Bohrwerkzeug. Mit Rollenmeißeln wird das Gestein durch Überwindung der Druckfestigkeit zerstört. Die Wirkung beruht auf einer Zertrümmerung (crushing) des Gesteinsverbandes.

Während der Bohrtätigkeit mit Diamantbohrwerkzeugen findet ein Abrasionsprozeß statt, wobei an der Wirkstelle das Gestein durch Schleifen und Schaben (grinding) sowie Pflügen (plowing) zerstört wird.

Die Gesteinszerstörung mit PCD-Elementen* basiert auf der Span- bzw. Scherwirkung. Scherfestigkeiten liegen meistens unter den Druckfestigkeiten der Gesteine; daher muß beim Bohren mit PCD-Schneiden weniger Energie aufgebracht werden. Das Gesteinsmaterial wird von den PCD-Schneiden abgeschert (shearing), wobei das Bohrklein dann in Form von Chips vorliegt.

Die oben genannten Bohrprozesse wirken sich auf Schwingungen aus. Sie breiten sich mit eigener Energie und Frequenzgang durch das Gestein und das Bohrgestänge aus.

1.2 Bisherige Arbeiten zur Messung von meißelinduzierten Schwingungen zur Beurteilung des Bohrprozesses

Seit mehr als 30 Jahren wird immer größere Aufmerksamkeit auf die Bohrstangenschwingungen, bzw. auf BHA (Bottom Hole Assembly) - Verhalten beim Bohren - hingelenkt. Eine ganze Reihe von Beiträgen wurden auf diesem Gebiet zur Analysierung und Verbesserung der Stabilität der Bohrrichtung geleistet.

Angenommen wird, daß der Meißel als ein Schwingungsgenerator wirkt. Lutz u.a. /6/ behaupteten in ihrer Arbeit, daß die aufgezeichneten Schwingungssignale über die Härte des erbohrten Gesteins sofort aussagen können.

Bei Untersuchungen der Bohrbarkeit des Gesteins hatten Gstalder und Raynal /3/ geschrieben, daß die Messungen von Schallemissionen die Härte und die mineralogische Eigenschaft des Gesteins bestimmen können. Darüber hinaus kamen sie die Idee, den Bohrprozeß durch sonic-logging zu beurteilen.

* Polykristalline Diamant-Elemente

Um die Nutzbarkeit der meißelinduzierten Schwingungen zu untersuchen, insbesondere bei der Benutzung der zu durchbohrenden Formation als Übertragungsmedium der Schwingungssignale, haben van Rooij, Katz und Will /11/14/15/ Beiträge geleistet. Als Voruntersuchungen wurden im ITE die beim ritzenden Bohrverfahren erzeugten Schwingungen im Luftschallbereich aufgenommen und analysiert.

1.2.1 Die Arbeit von van Rooij /11/

Der Holländer van Rooij entwickelte ein Versenkgeophon, das in der Lage ist, die seismischen Signale getrennt nach Longitudinal- (P-Wellen) und Scherwellen (S-Wellen) aufzuzeichnen. Das Sondengeophon wird unterhalb des ersten Grundwasserspiegels in einem Bohrloch eingebaut, wobei die Schwingungen dann von einem Tonbandgerät aufgezeichnet und anschließend mit einem Schreiber graphisch dargestellt werden. Von dem Meßsystem liegen noch keine Daten von einer Bohrung vor, Abb. 1 u. 2.

1.2.2 Die Arbeit von Katz /4/

Im Rahmen der Richtbohrtechnik wurde versucht, den Bohrlochverlauf seismisch zu orten. Dabei wurden acht Geophongruppen zu je 123 Geophonen in 8 Richtungen und jeweils einer Entfernung von ca. 1500 ft um die Bohranlage ausgelegt. Während des Bohrvorganges konnte ein niederfrequentes Signal von ca. 22 Hz registriert werden, welches nur bei der Interaktion des Meißels mit dem Gestein auftrat.

In diesen Untersuchungen wurden die Messungen bis zu einer gebohrten Teufe von ca. 7800 ft durchgeführt. Das Ergebnis zeigte, daß die seismischen Messungen zur Ortung des Bohrmeißels höhere Genauigkeiten als die traditionellen Messungen aufwiesen.

1.2.3 Die Arbeit von Will /14,15/

In gebirgsschlaggefährdeten Bereichen des Steinkohlenbergbaus werden Test- und Entspannungsbohrungen durchgeführt, wobei auch seismoakustische Messungen vorgenommen werden.

Die Messungen werden mit Beschleunigungsaufnehmern, welche in einem Sondenrohr untergebracht sind, praktiziert. Dieses wird mit einem packerartigen System in 1 m tiefen Bohrlöchern in 0,5 m Entfernung von den Test- und Entspannungsbohrungen positioniert. Das Packersystem hat die Aufgabe, die Beschleunigungsaufnehmer in Kontakt mit der Formation zu bringen, um eine Ankuppelung zu erreichen.

Gebohrt wird mit Durchmessern von 50 und 100 mm im Drehbohrverfahren bei Drehzahlen im Schnitt von ca. 1000 min^{-1} .

Die Messungen sollen Aufschluß über seismische Flözreaktionen geben. Im Zuge dieser Arbeiten werden sozusagen als Nebeneffekt auch Bohrgeräusche (Bohrerschütterungen) mitregistriert. Frequenzanalysen zeigten, daß sich die reinen Bohrerschütterungen deutlich von den Ereignissen im Frequenzgehalt unterscheiden. Die Ereignisse liegen im Bereich von 500 bis 2000 Hz, die der Bohrerschütterungen im Bereich von 100 bis 400 Hz. Ferner zeichnen sich die Ereignisse durch deutlich höhere Amplituden aus, Abb. 3.

1.2.4 Die Arbeit im ITE

Um Kenntnisse von den meißelinduzierten Schwingungen zu erhalten, wurden im Institut für Tiefbohrtechnik, TU Clausthal, die Voruntersuchungen durch Luftschallmessungen beim Bohrprüfstand durchgeführt.

Bei den Voruntersuchungen wurden 3 verschiedenartige Bohrstifte mit 5 Gesteinsarten unter 3 Stufen einstellbarer Schnittgeschwindigkeit und 6 verschiedenen Andruckkräften beim Bohrprüfstand SPS durchgeführt. Trotz der vielen Einflußfaktoren werden auch einige grobe Verhältnisse durch die Luftschallmessungen entdeckt:

- Die Auswechslung der Werkzeuge (Bohrstifte) beeinflusst nicht nur den Frequenzgang, sondern auch die Amplitude der abgestrahlten akustischen Signale. Die wichtigsten Punkte sind die Geometrie, die Schneidenart und die Bestückform von Bohrstiften.

- Gegenüber den Werkstücken (Gesteine) sind die Erscheinungsformen der akustischen Signale sehr empfindlich. Die wesentlichste Änderung ist die Frequenz.
- Unter den Bohrparametern hat die Schnittgeschwindigkeit Einflüsse auf Frequenzgang und Amplitudenniveau. Die Tendenzen infolge Änderungen der Axial- und Tangentialkräfte sind durch diese Voruntersuchungen nicht klar darstellbar. Die Ursache dafür ist wahrscheinlich der Abstrahlfaktor des Körperschalls.

Die Ergebnisse zeigen jedoch die Möglichkeit, durch Analyse der akustischen Signale die aktive Vorschubgeschwindigkeit und den auftretenden Schneidverschleißzustand ermitteln zu können.

2 MÖGLICHKEIT DER REALISIERUNG

2.1 Übertragungsmöglichkeit der Signale

Während des Gesteinszerstörungsvorganges werden durch die Interaktion Meißel-Gestein hauptsächlich Longitudinal- (P-Wellen) und Transversalwellen (S-Wellen) erzeugt, die sich durch Bohrgestänge und Gestein fortpflanzen. Untersuchungen wurden angestellt, um die Schwingungen aus dem Bohrlochsohlenbereich durch die Bohrstangen zu registrieren. Die sehr starken Störungen aus den häufigen Zusammenstößen Bohrgestänge- Bohrlochwand, den Reibungen Bohrgestänge-Bohrlochwand und den Eigenschwingungen Bohrgestänge machen es sehr schwierig, die Nutzsignale abzutrennen. Ferner ist es bemerkenswert, daß der Verlustfaktor von Amplitude (Energie) im Stahl sehr klein ist. In der Praxis wird die tatsächlich vorhandene Dämpfung nicht durch den Verlust im Stahl, sondern durch Reibung an der Verbindungsstelle geschaffen.

Die Signale durch die Formation sind seismische Signale. P-Wellen und S-Wellen sind Raumwellen. Es gibt auch Oberflächenwellen wie z.B. Rayleigh-Wellen und Love-Wellen.

Die klassischen Parameter seismischer Signale sind:

- Geschwindigkeit
- Frequenz

- Amplitude
- Signalform

Das Unterscheidungskriterium für P- und S-Wellen ist die Ausbreitungsrichtung der Bodenteilchen. Besonders hervorzuheben sind die SH-Wellen* und die SV-Wellen**. Nur reine SH-Wellen werden als SH-Wellen reflektiert und gebrochen. SV-Wellen erzeugen Wechselwellen (P-Wellen), Abb. 4.

Die Geschwindigkeiten der seismischen Wellen hängen hauptsächlich von der Dichte und den Elastizitätskonstanten K und μ ab.

Longitudinalwellengeschwindigkeit:

$$V_p = \frac{K + \frac{4}{3} \mu}{\text{Dichte}}$$

Scherwellengeschwindigkeit:

$$V_s = \frac{\mu}{\text{Dichte}}$$

K = Kompressionsmodul

μ = Schermodul

Die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen ist stets größer als die der Scherwellen. (In Gasen und Flüssigkeiten gibt es keine Scherwellen, da sie keine Scherspannungen aufnehmen können.)

Die Elastizitätskonstanten K und μ sind von folgenden Faktoren abhängig:

- Mineralbestand
- Korngröße und Kornregelung
- Art und Grad der Porenfüllung
- Porosität
- Kompaktion
- Zementation
- Umschließungsdruck

Das Verhältnis zwischen V_p und V_s ist eine wichtige Bezeichnung in der Seismik. Bei verfestigten Sedimenten in großer Tiefe liegt es zwischen 1.6 und 2.2. Unter geringer Bedeckung kann es auf 2.8 und in Lockersedimenten sogar auf 8 und mehr ansteigen, Abb. 5, 6, 7, 8.

Die Geschwindigkeit der S-Wellen hängt ausschließlich von

* = Horizontal polarisierte Scherwellen,

** = Vertikal polarisierte Scherwellen

der Scherfestigkeit und der Dichte ab. Da Flüssigkeiten und Gase keine Scherfestigkeiten besitzen, durchlaufen die S-Wellen Gesteine mit unterschiedlichen Porenfüllungen ohne nennenswerte Geschwindigkeitsänderungen. Aufgrund des inelastischen Verhaltens der Gesteine wird die Amplitude (Energie) der seismischen Signale beim Durchgang durch das betreffende Medium gedämpft.

Einen großen Einfluß auf die Dämpfung hat die Frequenz, die Amplitude nimmt generell mit steigender Frequenz zu. Die Formation übt eine Tiefpaß-Filterwirkung aus /7/, Abb.7.

Die Dämpfung der Signale durch das Gestein hängt auch von der Entfernung und den Gesteinsarten ab. Ein möglichst kurzer Abstand vom Meißel zum Sensor kann zu starke Dämpfung vermeiden. Deshalb sollen die Sensoren möglichst tief im Gebirge positioniert werden. Allgemein ist die Dämpfung schwächer als im Sedimentgestein. Der Dämpfungsfaktor von Sedimentgestein kann bis zu viermal größer sein. Die Bohrungen ins Eruptivgestein sind günstige Gelegenheiten, um dort die Untersuchungen durchzuführen /12/. Im Bergbau wird die notwendige hohe Resolution der geologischen Struktur in begrenzter Teufe gebraucht. Für diesen Zweck wird der hochfrequente Bereich benutzt, er erreicht mehrere KHz /5/.

Für die Erdöl- und Erdgasindustrie liegt der Untersuchungsbedarf in größerer Teufe, für diesen Zweck werden niederfrequente Aufnehmer benötigt. Um den Bohrprozeß zu beurteilen, sind die wertvollen Frequenzen nach den Untersuchungen von Will /14,15/ und ITE im Bereich von ca. 100 - 3000 Hz.

Die Arbeit von Katz /4/ hat bewiesen, daß die niederfrequenten Signale, die aus dem Bohrlochsohlenbereich stammen bis zu einer Teufe von ca. 7800 ft übertage gut registrierbar sind. Sie dienen zur Ortung des Meißels im Richtbohren. Weil die höherfrequenten Signale während des Durchgangs durch die Gesteine sehr stark gedämpft werden, liegt unsere Aufgabe darin, eine Meßtechnik zu entwickeln, um die schwächer werdenden Signale zu erfassen.

2.2 Messung der meißelinduzierten Signale

Der Signalaufnehmer mit hoher Empfindlichkeit wird hier benutzt, um die relativ schwachen höherfrequenten Signale zu registrieren. Wegen der großen Empfindlichkeit gegen die Geschwindigkeit reagieren die Geophone gut auf die niederfrequenten Erdbewegungen (Schwingungen). Im Gegensatz

hierzu reagieren die Beschleunigungsaufnehmer auf die Beschleunigung des schwingenden Körpers und geben stärkere Ausgangssignale ab, wenn die Eingangssignale von hohen Frequenzen sind. Diese Eigenschaft vom Beschleunigungsaufnehmer ist besonders gut, um die schwachen höherfrequenten Signale zu messen. Beschleunigungsaufnehmer mit Hochempfindlichkeit sind üblich. Wenn die Fremdsignale mit entsprechendem Filter beseitigt werden, sind Messungen ab $2 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ möglich.

Die Fremdsignale oder die Störsignale, welche meistens mit niederen Frequenzen aus dem Kontakt des Bohrgestänges mit der Bohrlochwand oder aus den übertage laufenden Maschinen herrühren, können durch Anwenden der Filtertechnik ausgeschaltet werden. Durch die Position der Sensoren, nach Möglichkeit tief im Gebirge, können auch die Einflüsse von störenden Signalen vermieden werden, dadurch wird das S/N-Verhalten (Signal/Noise) verbessert. Hierfür werden andere Bohrlöcher in begrenzter Entfernung als Hilfsmittel benutzt.

Beschleunigungsaufnehmer sind bei Hochtemperaturen benutzbar. Sie vertragen Temperaturen je nach Typen von $-74 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bis max. $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Innerhalb des festgelegten Temperaturbereiches ist mit gewissen Änderungen der Übertragungsfaktoren und der Impedanz zu rechnen. Einzelheiten über Schwankungen können dem individuellen Kalibrierzeugnis des jeweiligen Beschleunigungsaufnehmers entnommen werden. Die Verbindungskabel vertragen Temperaturen bis max. $260 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Wenn diese Sensoren tief im Gebirge postiert werden sollen, werden sie in einem Sondenrohr untergebracht, um sie gegen Hochdruck und Wasser zu schützen. Ein Packersystem kommt auch in Frage. Nach Auskunft von Prof. Kuo, Seismologe in den USA (Maurice Ewing & J. Lamar Worzel Professor of Geophysics, Columbia University), ist die Messung der meißelinduzierten Signale durch Tiefpositionierung der Sensoren sicher realisierbar. Mindestens 2 Meßpunkte sind wahrscheinlich notwendig, da während der Auswertung von Meßdaten manchmal mehr als eine Spur gleichzeitig aufgenommener Signale zur Verfügung gestellt werden soll. Wenn Ortung des Meißels auch gleichzeitig geschaffen werden soll, müssen noch mehr Sensoren ausgebracht werden, um die Genauigkeit zu erhöhen.

2.3 Auswertung von den meißelinduzierten Signalen

Die sich rasch entwickelnde Computertechnik verbesserte die Auswertung für die Seismik. Z.Z. sind fast alle Seismikmessungen in digitaler Form. Sie macht die Seismikmessungen günstig durchführbar und die Meßdaten werden zuerst durch Computer verarbeitet und dann interpretiert.

Die wichtigsten Operationen von Datenverarbeitung sind:

- Fourier-Transformation
- Konvolution (Faltung)
- Korrelation

Fourier-Transformation rechnet die Zeitdomäne zur Frequenzdomäne um, oder umgekehrt. Sie macht es möglich, die Datenverarbeitung teils in Zeitdomäne teils in Frequenzdomäne zu schaffen. Konvolution ist eine mathematische Filterfunktion, die die Auswirkung auf die Seismiksignale beim Durchgang durch die Formation berücksichtigt. Manchmal können die unerwarteten Filterfunktionen des Gesteins durch die Dekonvolutionstechnik beseitigt werden.

Korrelation dient zur Messung der Ähnlichkeit von zwei Datenreihen. Wenn nur eine Datenreihe benutzt wird, um diese mit sich selbst in Wechselbeziehung zu bringen, nennt man das Autokorrelation, für zwei Datenreihen ist das Kreuzkorrelation /13/.

Das Ziel der Datenverarbeitung ist die Verbesserung des Signal-to-Noise-Verhältnisses. Viele digitale Filterfunktionen basieren auf der Informations-Theorie.

Mit Hilfe der vorhandenen, entwickelten Datenverarbeitungstechnik in der Seismik können die aus dem Bohrlochunterbereich kommenden seismischen Signale optimal gefiltert und die Störsignale möglichst unterdrückt werden. Für unsere speziellen Meßzwecke werden eigene Funktionen in Frage kommen, z.B. ein mathematisches Modell zur Ortung des Meißels. Die umfangreichen Labor- und Felduntersuchungen dienen nicht nur zur Erfahrungssammlung, sondern auch zur Sammlung der wichtigsten Daten, welche für rechtzeitige Beurteilung des Bohrprozesses in situ sehr brauchbar sind.

3 ENTWICKLUNG EINES EINSATZFÄHIGEN SYSTEMS ZUR SAMMLUNG UND AUSWERTUNG VON MEßWERTEN

3.1 Prinzipieller Aufbau des Systems

Eine notwendige Meßkette zur Sammlung und gleichzeitigen Auswertung von meißelinduzierten Signalen ist prinzipiell nicht anders als eines der Systeme, die auf den Gebieten von Schwingungsuntersuchungen, Seismik und Akustikuntersuchungen angewendet werden.

Sie erfaßt:

- Sensoren zur Signalerfassung
- Einrichtung zur Signalaufzeichnung
- Einrichtung zur Signalverarbeitung
- Einrichtung zur Interpretation

Als Sensoren werden bei den allgemeinen Schwingungsuntersuchungen hauptsächlich Beschleunigungsaufnehmer, DMS (Dehnungsmessungstreifen) und Mikrofone sowie besonders bei den Erderschütterungen Geophone angewendet. Durchlaufend durch angeschlossene Vorverstärker und Filter (Tiefpaß- und Hochpaßfilter) werden die Signale direkt zur Signalaufzeichnungseinrichtung geleitet.

Die erfaßten Signale werden analog oder digital aufgezeichnet. Analog werden die Signale meistens auf dem Magnetband gespeichert. Die Digitaltechnik bringt nicht nur die hohe Meßgenauigkeit mit, sondern läßt die Meßdaten durch umfangreiche Verwendungen von Digitalcomputern immer besser bearbeiten und interpretieren. Im Rahmen der Digitalerfassung werden die Signale zuerst digitalisiert und dann auf Magnetbänder oder anderen Speichermedien, wie Disketten gespeichert.

Meistens werden computergesteuerte Signalerfassungseinrichtungen angewendet. Die digitalisierten Meßdaten werden im Computer aus dem Speicherraum gelesen und je nach Bedarf mit entsprechenden Programmen bzw. mathematischen Methoden im Computer weiterverarbeitet. Die angewendeten Funktionen im Rahmen der Seismik sind hauptsächlich Fourier-Transformation, Korrelation und Konvolution (S. Kap. 2.3). Solche Funktionen sind auch üblich in den Untersuchungen von Schwingungen und Schall. Zur Interpretation werden die vorbereiteten Daten graphisch oder in anderen Formen dargestellt oder mit den früher gespeicherten Daten verglichen.

3.2 Entwicklungsschritte von Untersuchungen

Ziel dieser Untersuchungen ist es, festzustellen, wie man die auftretenden Schwingungen zur Beurteilung des Bohrprozesses heranziehen und meßtechnisch erfassen kann.

Enger gefaßt:

- Aussagen über die Leistungsfähigkeit von Gesteinszerstörung
- Aussagen über den Zustand des Bohrwerkzeuges (Meißel-abnutzung)
- Frühzeitiges Erkennen eines eventuellen Festsetzens des Bohrwerkzeuges
- Aussagen über die durchteufte Formation
- Erkennung von Schichtgrenzen

Der Entwicklungsgang ist schrittweise wie folgt:

1. Luftschallmessungen beim Bohrprüfstand:

Dadurch wird erkannt, ob die charakteristischen Signale durch Gesteinszerstörungen mit geänderten Werkzeugen, Werkstücken und mechanischen Zuständen erkannt werden konnten, in welchem Bereich der Frequenz die Signale liegen und welche Tendenz die Signale mit geänderten Bedingungen haben.

2. Schwingungsmessung durch das Gestein im Labor:

Mit verbesserter Meßkette und entwickelter Filterungstechnik wird der innere Zusammenhang zwischen erfaßten Signalen und den Prüfzuständen genau definiert. Insbesondere werden erste Kenntnisse über das Durchlaufen der Signale durch das Gestein erhalten.

3. Feldmessungen:

Diese basieren auf den Kenntnissen und Erfahrungen von Laboruntersuchungen. Praktische Anwendungen werden durch Feldmessungen gewonnen und die Meß- und Auswertungstechnik optimiert.

3.2.1 Luftschallmessung beim Bohrprüfstand

Beim Bohrprüfstand (SPS) im ITE werden die meißelinduzierten Schwingungen in Form von Luftschall als erster Schritt analysiert, um die Charaktere der Signale im Bezug auf den Bohrprüfstand zu erkennen.

Im Bereich von Luftschallmessungen sind für die Messungen bei den Prüfungen der Einzelschneiden von Rollenmeißeln geplant. Das Ziel ist es, die Charaktere der Signale beim drückenden Gesteinszerstörungsvorgang festzustellen.

3.2.2 Schwingungsmessungen durch das Gestein im Labor

Im ITE stehen verschiedene Bohrprüfstände zur Verfügung. Zusammen mit den laufenden Projekten können die Untersuchungen mit verschiedenen Gesteinen und Bohrwerkzeugen je nach Bohrverfahren an den Bohrprüfständen durchgeführt werden.

Mit dem Bohrprüfstand HC-150 werden Gesteinsblöcke der Größe ca. 1 x 1 x 1 Meter benutzt. Mit verschiedenen Bohrwerkzeugen wird schlagend und drehend gebohrt bzw. gekernt. Es bietet sich die Möglichkeit, daß ein paar entsprechende Sensoren ins Gestein eingebaut werden können, um die Signale durch das Gestein zu erfassen.

Der Hochdruckbohrautoklav bietet noch eine Möglichkeit, die Signale durch das erbohrte Gestein unter Bohrlochbedingungen zu messen. Die zu prüfenden Bohrwerkzeuge sind Rollenmeißel und Diamantmeißel. Es werden verschiedene Gesteine gebohrt. Die für Hochdruck geeigneten Sensoren werden an das Gestein postiert.

Im Rahmen von KTB ist ein Untersuchungsprojekt über Rollenmeißelprüfungen geplant und wird beantragt. Ein 1:1 Rollenmeißelprüfstand eignet sich für die Bit-Noise-Messungen durch das Gestein.

Optimal können Schwingungsmessungen beim Durchbohren von Betonblöcken durchgeführt werden. Die Betonblöcke dienen zur Prüfung eines Ablenkwerkzeuges mit Dia-Meißeln. Eine andere Möglichkeit bietet ein Bohrloch in der Halle des ITE. In diesem Bohrloch können fertige Bohrgeräte getestet werden. Daneben befindet sich ein 30 m tiefer Schacht, aus dem heraus durch das Gebirge (Grauwacke) die Meißelgeräusche im Bohrloch gemessen werden können.

Alle Bohrverfahren werden mit verschiedenen Gesteinen geprüft. Dadurch können aus den meißelinduzierten Schwingungen Aussagen, besonders für die verschiedenen Gesteine, getroffen werden. Von großem Vorteil ist es, daß die mechanischen Daten bei den Untersuchungen immer zur Verfügung stehen.

Hierdurch könnten Laboruntersuchungen durchgeführt werden, ohne großen Aufwand an Bohrprüfständen und den Instrumenten

zur Erfassung und Auswertung von mechanischen Bohrparametern betreiben zu müssen.

3.2.3 Feldmessungen

Ausgehend von den Kenntnissen und Erfahrungen der Laboruntersuchungen kann nach der Verbesserung der Meß- und Auswertungstechnik, den praktischen Anwendungen nahegekommen werden.

Diese Versuche können z.B. in Steinbrüchen erfolgen. Weitere Kenntnisse können durch diese Versuche erhalten werden, z.B. wie und wo kann man die Signale in-situ optimal erfassen und wo ungefähr liegt die Meßgrenze.

Desweiteren könnten auch Feldversuche bei laufenden Bohranlagen der Erdöl- und Erdgasindustrie erfolgen.

3.3 Auswahl geeigneter Komponenten von Meßsystemen

Als Sensoren könnten wir Beschleunigungsaufnehmer benutzen. Sie können die hochfrequenten Signale erfassen, obwohl die Signale schon sehr schwach sind. Die Umgebungsbelastungen bei den Versuchen, wie Druck, Temperatur und Luftschall, werden von diesen Aufnehmern gut vertragen.

Für die Meßdatenverarbeitung der von den Sensoren gelieferten Werte sind zwei alternative Systeme dargestellt (Abb. 9). Bisher wurden die auf einem Magnetband aufgezeichneten Daten über einen FFT-Analysator umgeformt und die Ergebnisse ausgedruckt (Abb. 9, System 1).

Da die Anschaffung eines solchen FFT-Analysators für die weiteren Versuche sehr kostenintensiv ist, wurde nach einer günstigeren Alternative gesucht. Diese besteht in einer computergestützten Meßdatenerfassung (Abb.9, System 2).

3.4 Zeit- und Kostenaufwand der Untersuchungen

Abb. 9 erklärt die zwei möglichen anwendbaren Systeme. In Tab. 1 werden die Kosten für die zwei Systeme vorgestellt. Das System 1 erfaßt außer dem für beide Systeme brauchbaren Plotter auch ein Magnetband, einen FFT-Analysator und einen

Digital-Cassettenrecorder. Nach der hier gerechneten Summe mit dem System 1 ist eine Investition von mind. 11.500,- DM notwendig.

Das System 2 ist ein computergesteuertes Datenerfassungs- und Datenauswertungssystem. Es erfaßt eine Datenerfassungskarte, einen Computer mit Software und einen Plotter.

Dieses System ist flexibler und kann auch gut in den Feldversuchen eingesetzt werden. Die Kosten für dieses System betragen die Hälfte von System 1.

Der Zeitaufwand ist abhängig von den parallellaufenden Projekten von den Gesteinszerstörungen.

Nach der bisherigen Planung "KTB-Gesteinszerstörung" werden die Laboruntersuchungen bis Ende 1988 abgeschlossen sein. Die zu beantragenden Rollenmeißeluntersuchungen sind voraussichtlich bis 1989 angesetzt.

Im Rahmen der in dieser Studie genannten Untersuchungen könnten neben den Laboruntersuchungen auch die Feldversuche durchgeführt werden. Die Verbesserung und Optimierung der Meß- und Auswertungssysteme soll auch nebenbei geschehen. Beispielsweise könnte diese Arbeit innerhalb von zwei oder drei Jahren zum Abschluß gebracht werden.

4 ANWENDUNGSGEBIETE FÜR KTB

Das technische Konzept des KTB sieht zwei Bohrungen vor, eine Vorbohrung bis mindestens 3000, möglichst aber 5000 m und die Hauptbohrung mit einer Endteufe von 12.000 bis 14.000 m. Sie wird in 200 m Entfernung von der Vorbohrung abgeteuft. Die Vorbohrung wird wegen der dauernden Messungen nicht wieder verfüllt.

Nach dem Zeitplan von KTB wird mit der Vorbohrung bald begonnen und mit einer Teufe von 5000 m Ende 1989 beendet sein. Die Hauptbohrung kann im Sommer 1989 begonnen werden /10/.

Der Standort der Vor- und Hauptbohrung umfaßt die metamorphen und kristallinen Gesteine, welche in großer Teufe anstehen /12/.

Der Einsatz der Geräte könnte sowohl in Versenkbohrlöchern als auch später in dem Loch der Vorbohrung eingesetzt werden. Die erfaßten Vorteile liegen in einem zusätzlichen Informationsfluß von der Wirkstelle der Bohrung durch das Gestein nach Übertage. Außer weiteren wissenschaftlichen Erkenntnissen werden hier auch Möglichkeiten zur Optimierung des Bohrprozesses und zur weiteren Planung der kontinuierlichen Tiefbohrung geliefert. Die am 22.04.1987 beim KTB in Hannover stattgefundene Besprechung mit den

Herren,
Dr. Leidecker (BGR)
Dr. Hingen (BGR)
Dr. Hoffers (KTB) und
Dipl.-Ing. Sperber (KTB)

ergab für weitere Untersuchungen folgende Gesichtspunkte:

1. Der Nutzfrequenzbereich in der Seimik liegt bei max. 100 Hz.
Die darüber hinaus gehenden höherfrequenten Signale werden durch die Gesteine gedämpft.
Nach neueren Untersuchungen von Will und dem ITE liegt der erforderliche Nutzfrequenzbereich bei ca. 100 ~ 3000 Hz.
2. Nach der Ansicht von Dr. Leidecker ist ein Signaldurchgang durch die Matrix möglich.
3. Folgende Entwicklungsschritte werden von der BGR vorgeschlagen :
 - a) die Sensoren sollen in einem für Messungen niedergebrachten Bohrloch in einer Teufe von mindestens 10 m untergebracht werden.
 - b) Ein Sondenrohr mit eingebauten Sensoren soll im Meßbohrloch durch ein Packersystem gesetzt werden. Das Meßbohrloch soll abgedeckt werden, um Störungen auszuschalten.
 - c) Die Untersuchung über die Aussagefähigkeit von niederfrequenten Signalen soll weitergeführt werden.
 - d) Spezielle Meßsonden für Feldmessungen und das dazugehörige genaue Positionieren der Sonden soll entwickelt werden.
4. Die Meßsonden können möglicherweise von Prakla Seismos gekauft oder gemietet werden. Eine Alternative dazu wäre die eigene Entwicklung in der Werkstatt des ITE. Die Sonden sollen mit einem packerartigen System, entweder ausziehbar oder durch Zementierung festsetzbar, versehen werden.
5. Neben den Beschleunigungsaufnehmern können auch Geophone, welche seimische Signale bis 3 KHz messen können, eingesetzt werden.
6. Die Koordination kann mit der BGR erfolgen. Leihweise stellt die BGR Meßgeräte, z.B. einen FFT-Analysator zur Verfügung.

Im August und September 1985 wurde eine Untersuchung über die AE- (Acoustic-emission) Überwachung des Bohrprozesses in Japan durchgeführt. Im Feld wurde eine triaxiale AE - Meßsonde in einem Meßbohrloch in einer Teufe von 210 m untergebracht. Die Entfernung vom Hauptbohrloch betrug 200 m. Die Messungen erfolgten während des Bohrens. Die dabei erreichte Teufe betrug 312 m - 378 m. Es wurde mit einem Drei-Kegel-Rollenmeißel und einer HQ-Kernbohrkrone

gebohrt. Abbildung 10 und 11 zeigen die Meßanordnung. Das Meßsystem ähnelt dem vom ITE geplanten System. Klare kontinuierliche AE-Signale wurden registriert. Ihre Wellenform und RMS (root mean square voltage, d.h. Messung der Energie von AE-Signalen) geben eine gute real-time-Information über die geologische Struktur und den Zustand des Bohrvorganges wieder.

Die Autoren behaupten, daß die AE-Methode genaue Informationen über

- Formationswechsel
- mechanische Eigenschaften des Gesteins
- Ribbildung im Gebirge
- Zustand des Bohrprozesses
- Reibung Bohrgestänge mit Bohrlochwand usw.

liefern kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Daneing, D.W. : Rotary speed, drill collars control, drillstring bounce
Oil & Gas Journal, June 6, 1983
- /2/ Daneing, D.W. : Drill collar length is a major factor in vibration control
SPE 11 228, 1982
- /3/ Gstalder, S. : Measurement of some mechanical properties of rocks and their **relationship** to rock drillability
Raynal, J. JPT August 1966, pp. 991 - 996
- /4/ Katz, L.J. : Drill bit location, guidance by seismic sean feasible
Oil & Gas Journal, July 28, 1980, pp. 197 - 200
- /5/ Lepper, C.M. : Guidelines for selecting seismic detectors for high-resolution applications
Bureau of Mines Report of Investigation RI 8599, 1981
- /6/ Lutz, J. : Instantaneous logging based on a dynamic theory of drilling
Raymond, M. JPT, June 1972, pp.750 - 758
Gstalder, S.
Qichand, C.
Raynal, J.
Nuckleroy, J.A.
- /7/ Militzer, H. : Angewandte Geophysik im Ingenieur und Bergbau
Schou, J. Ferd. Enke Verlag, Stuttgart, 1986
Stotzner, U.
- /8/ N.N. : Continental deep drilling program in the Federal Republic of Germany
Oil & Gas -European Magazine 2, 1985
- /9/ Prakla Seismos : Schwerwellenseismik
Firmenschrift, 1986
- /10/ Rischmüller, H. : Das "Kontinentale Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland", eine technische

- Forts. S. 17
- Herausforderung
BDG Seminar "Bohrtechnik" in
Clausthal, März 1987
- /11/ Rooij, G.v. : Mündliche Mitteilung, 1986
- /12/ Sheriff, R.E.
Geldart, L.P. : History, Theory and data acquisition Exploration seismology, Volume 1, Cambridge University Press, 1985
- /13/ Sheriff, R.E.
Geldart, L.P. : Data-processing and interpretation Exploration seismology, Volume 2, Cambridge University Press, 1985
- /14/ Will, M. : Measurement and on-line evaluation of seismic seam reactions during test- and destressing-drilling
Proceedings Third Conference on Acoustic Emission/Microseismic Structures and Materials
Trans. Tech. Publication, Clausthal 1984, pp. 633 - 646
- /15/ Will, M. : Messung **seismischer Flözreaktionen** bei Testbohrungen und Entspannungmaßnahmen
WBK Bericht, August 1985, S. 5 - 10
- /16/ Wolf, S.F.
Zackenhause, M.
Arian, A. : Field measurement of downhole drillstring vibrations
SPE 14330, 1985
- /17/ Niitsuma, H.
Chubachi, N. : AE monitoring of well-drilling process by using a downhole AE measurement system Progress in Acoustic Emission II,
The **Japanese Society of NDI**, 1985

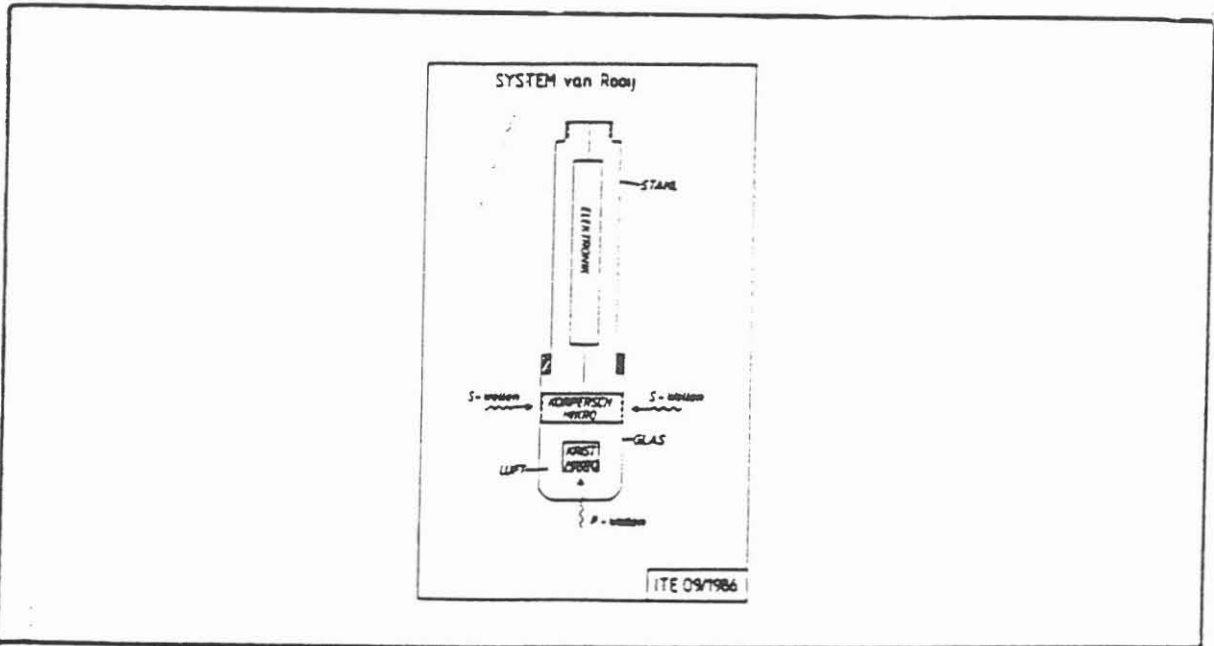


Abb. 1

Sondengeophon System van Rooij

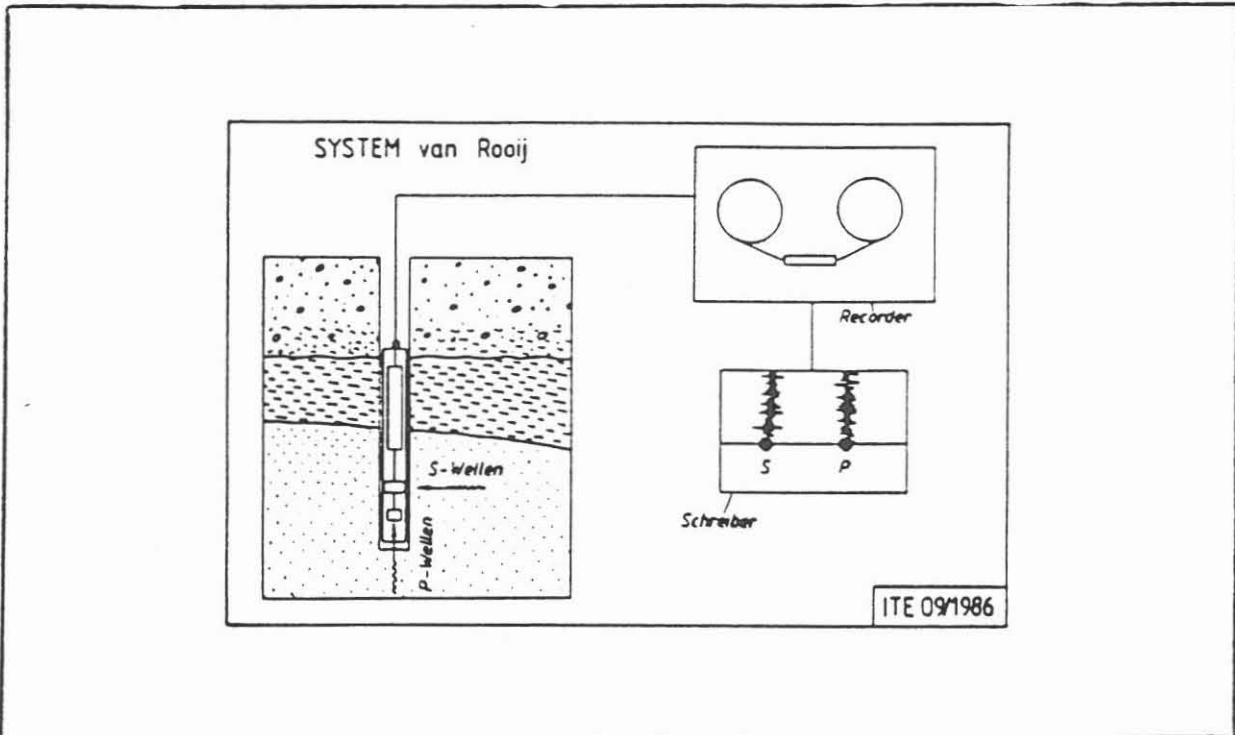


Abb. 2

Gesamtsystem van Rooij

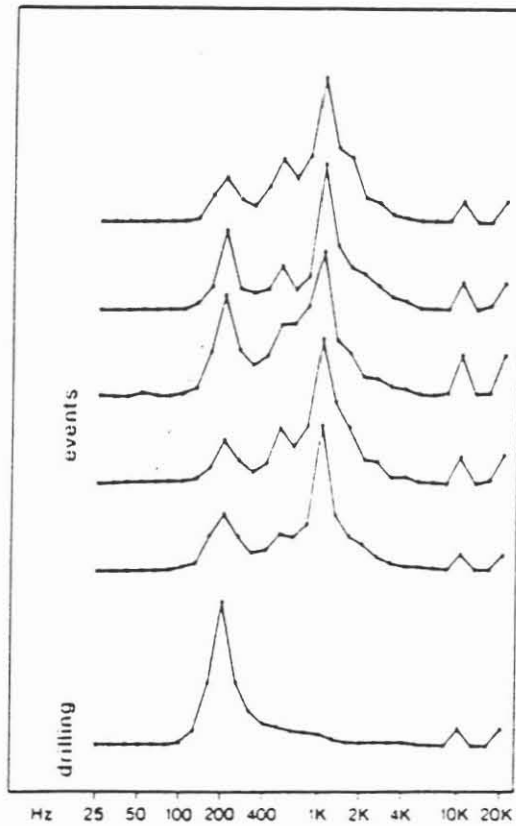


Abb. 3

Amplitudenspektrum von 6 Ereignissen und der Bohrerschütterungen. Der 10 KHz Peak resultiert aus einem Kontrollsignal.

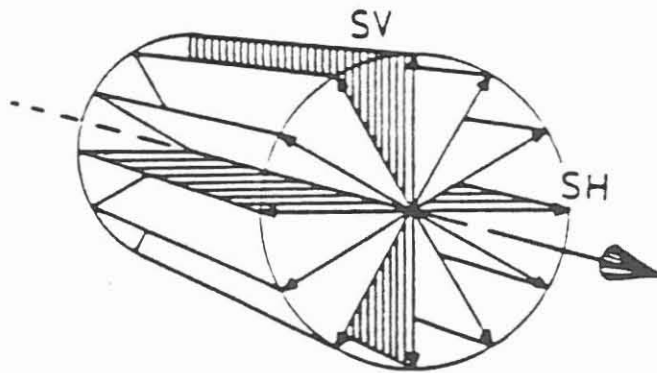


Abb. 4

S-Wellen, die Teilchen schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (9)

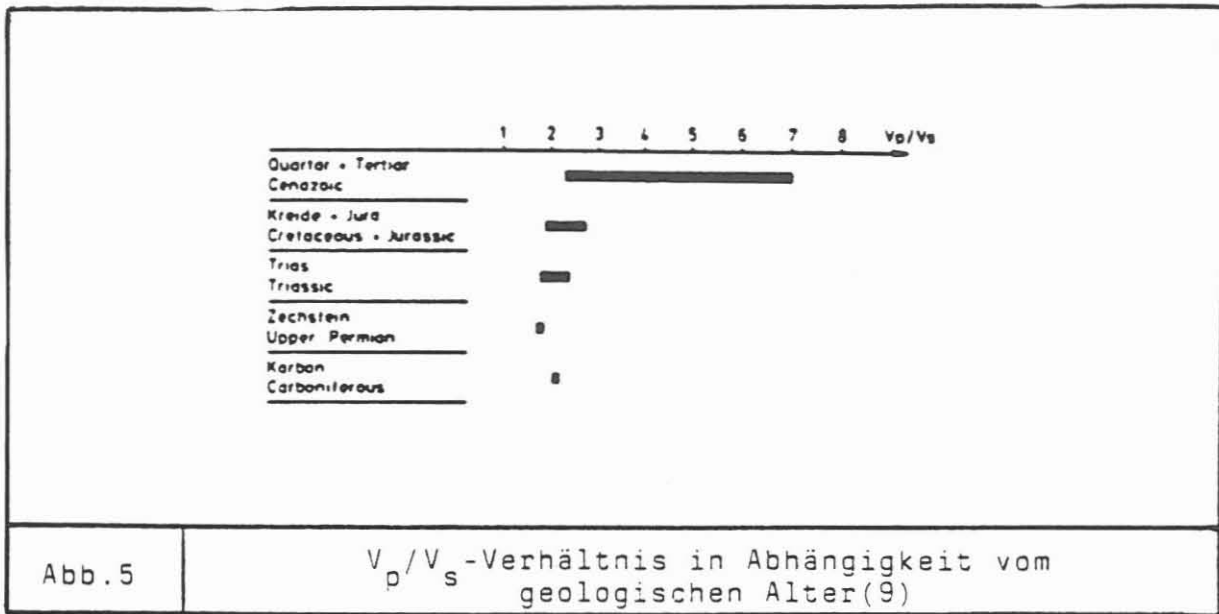


Abb.5

V_p/V_s -Verhältnis in Abhängigkeit vom geologischen Alter(9)

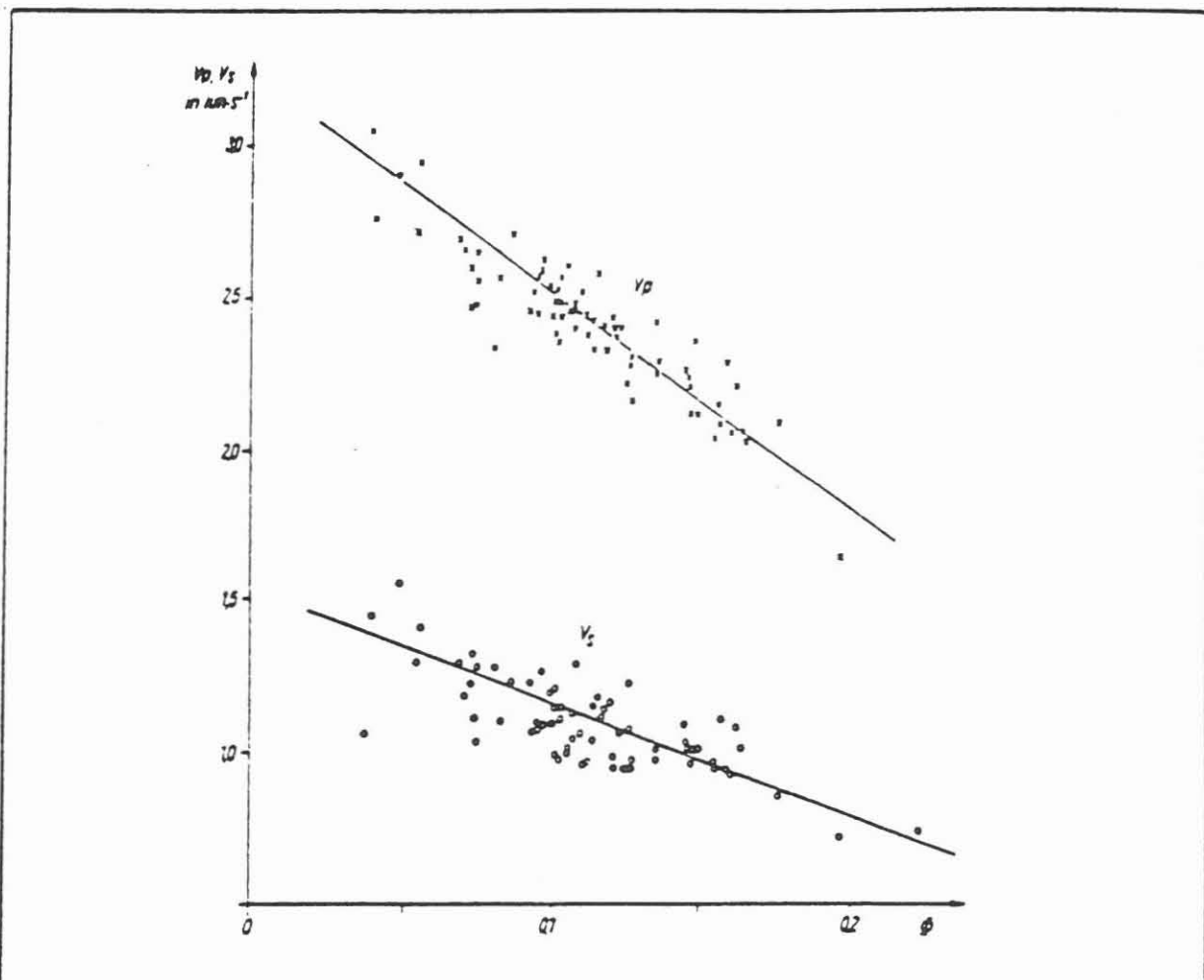


Abb.6

V_p und V_s -Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Porosität

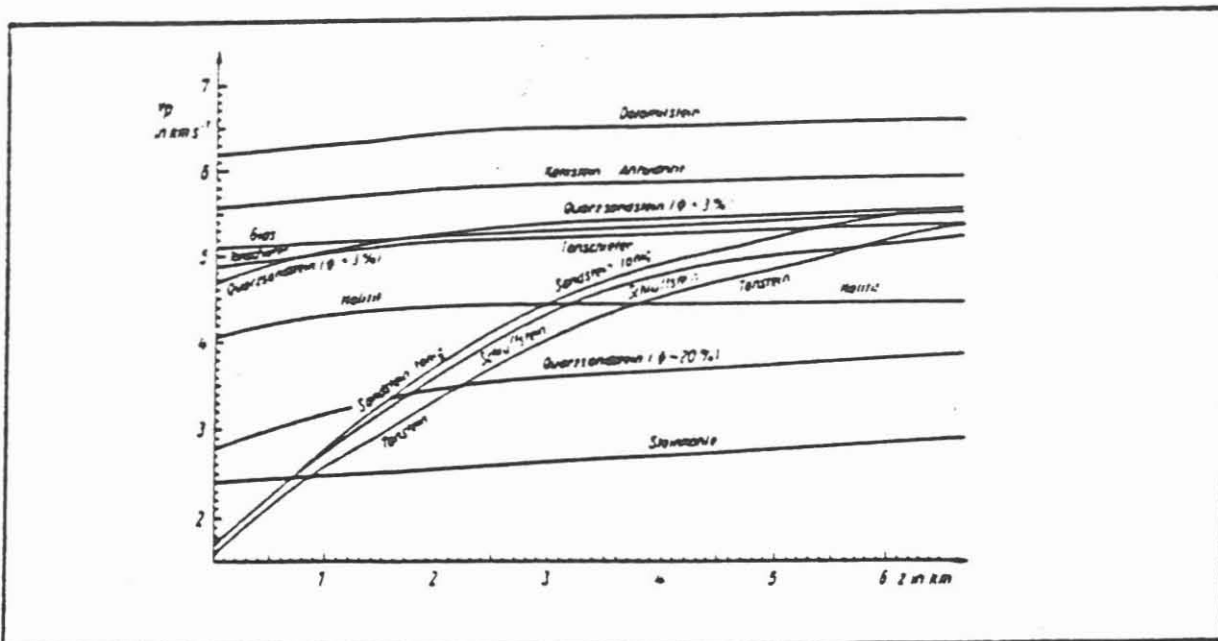


Abb. 7 P-Wellen-Geschwindigkeiten einiger Sedimentgestein in Abhängigkeit von der Tiefe

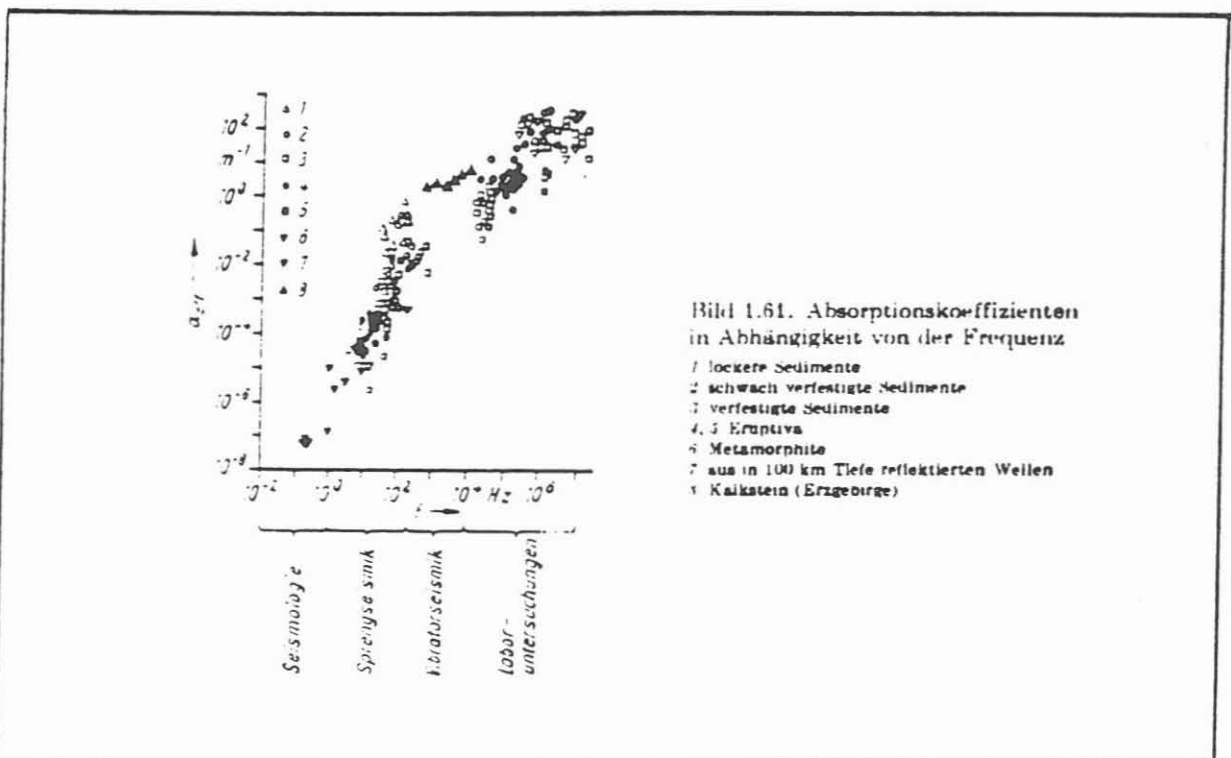
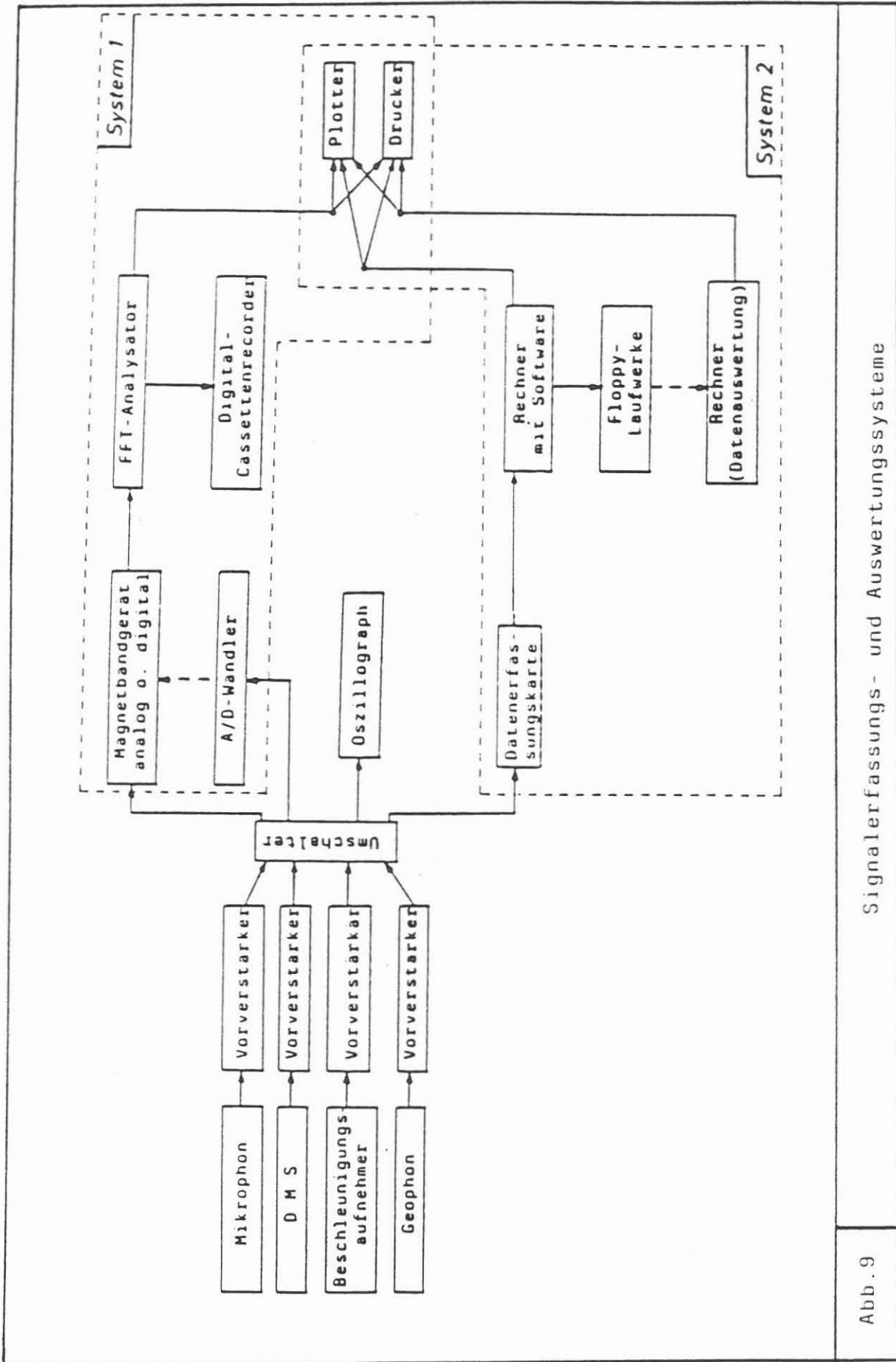


Abb. 8 Absorptionskoeffizienten in Abhängigkeit von der Frequenz (7)

Instrument	Menge	Firma	Kosten ca. (DM)	Bemerkung
Signalaufnehmer und Vorverstärker				
Beschleunigungs- aufnehmer	5	Brüel & Kjaer	4,500	
Vorverstärker	3	Brüel & Kjaer	13,500	
Datenerfassungs- und Auswertungssystem				
System 1				
Magnetbandgerät	1	Brüel & Kjaer	32,000	analog
FFI-Analysator	1	Brüel & Kjaer	40,000	einkanalig
Digital-Casset- tenrecorder	1	Brüel & Kjaer	17,000	
Plotter	1		3,000	
Summe			92,000	
System 2				
Datenerfassungs- karte	1	Ziegler	9,500	mit Software für Datenerfassung
Computer Software	1		6,000	IBM-AI o. kompatibel
Plotter	1		2,000	
			3,000	
Summe			20,500	
Notwendiges Zugehör				
Schwingerreger für Kalibrierzweck	1	Brüel & Kjaer	2,500	
Summe mit dem System 1			111,500	
Summe mit dem System 2			41,000	
Tab.1	Kosten von Meßinstrumenten System 1 und System 2			



Signalerfassungs- und Auswertungssysteme

Abb. 9

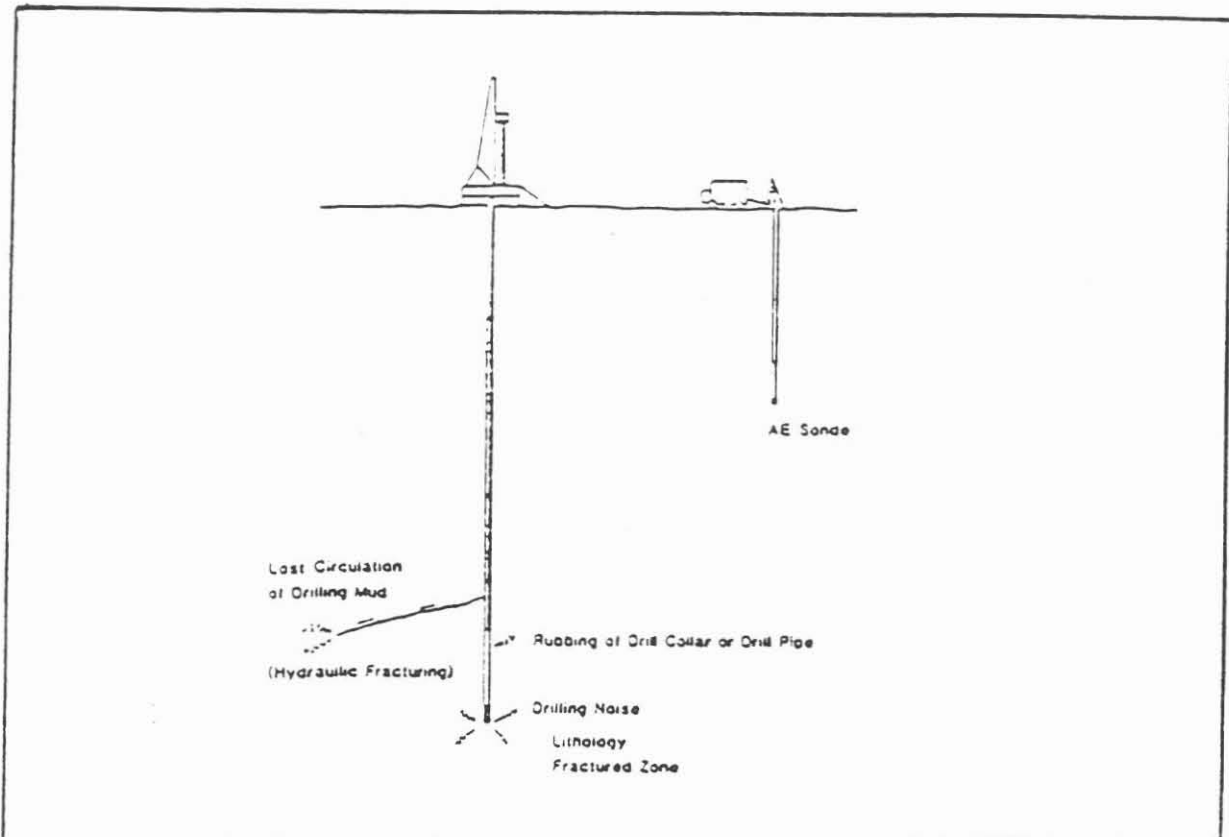


Abb. 10

Konzept von AE-Messungen

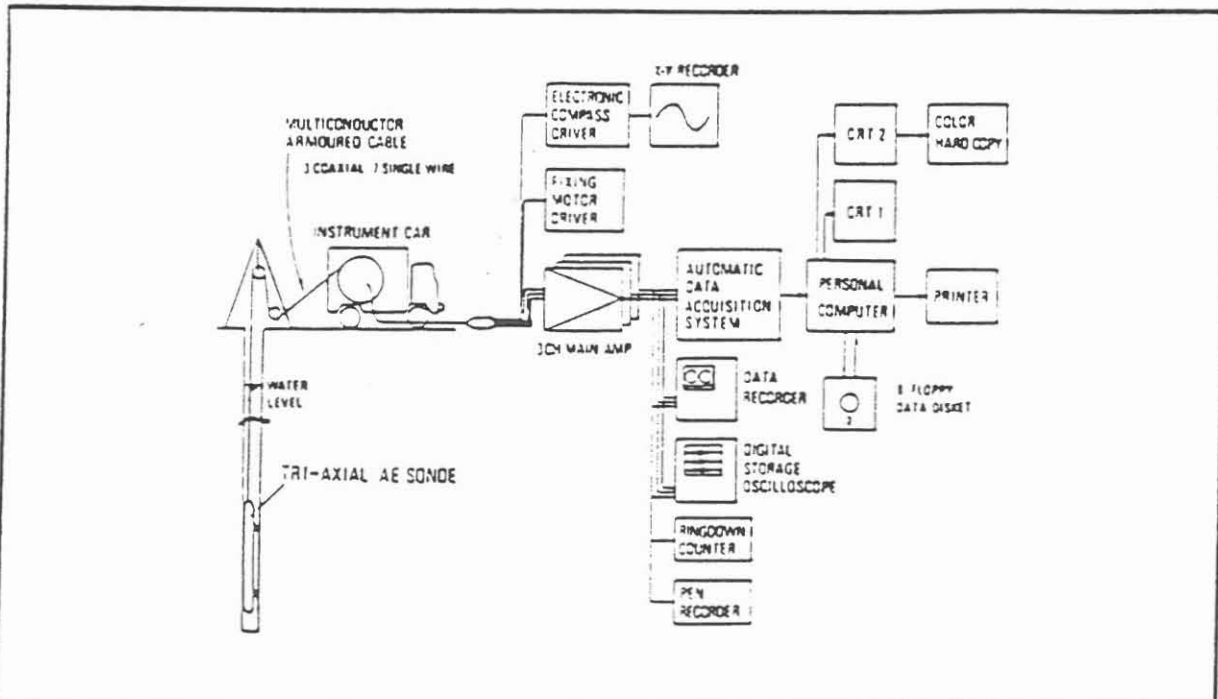


Abb. 11

AE-Meßsystem