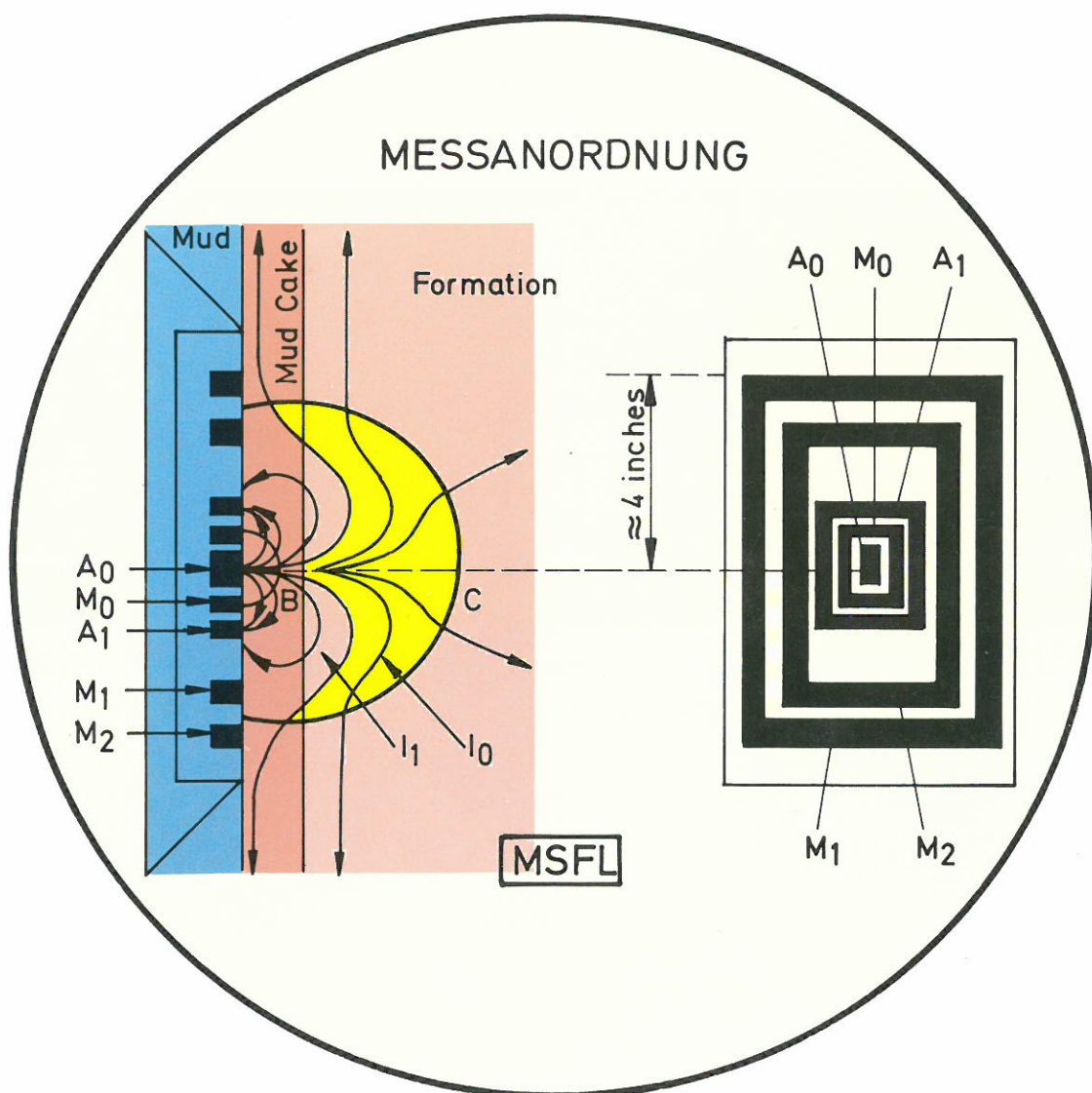


# KTB REPORT 87-3

## Grundlagenforschung und Bohrlochgeophysik (Bericht 2)

Arbeitsprogramm KTB - Bohrlochgeophysik  
sowie  
Bohrlochmeßprogramm KTB-Oberpfalz VB  
(1. 9. 1987)



Herausgegeben von der  
Projektleitung Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland  
im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung

Redaktion: Prof. Dr. R. Hänel

Druck: A. Bernecker, 3508 Melsungen

Titelbild: MSFL, Micro Spherically Focussed Log der Firma Schlumberger.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (Forschungskennzeichen: RG 8501) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Anschrift des Herausgebers: Projektleitung KTB im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Postfach 51 0153, D-3000 Hannover 51. Telefon (0511) 643 2670.

ARBEITSPROGRAMM KTB-BOHRLOCHGEOPHYSIK

sowie

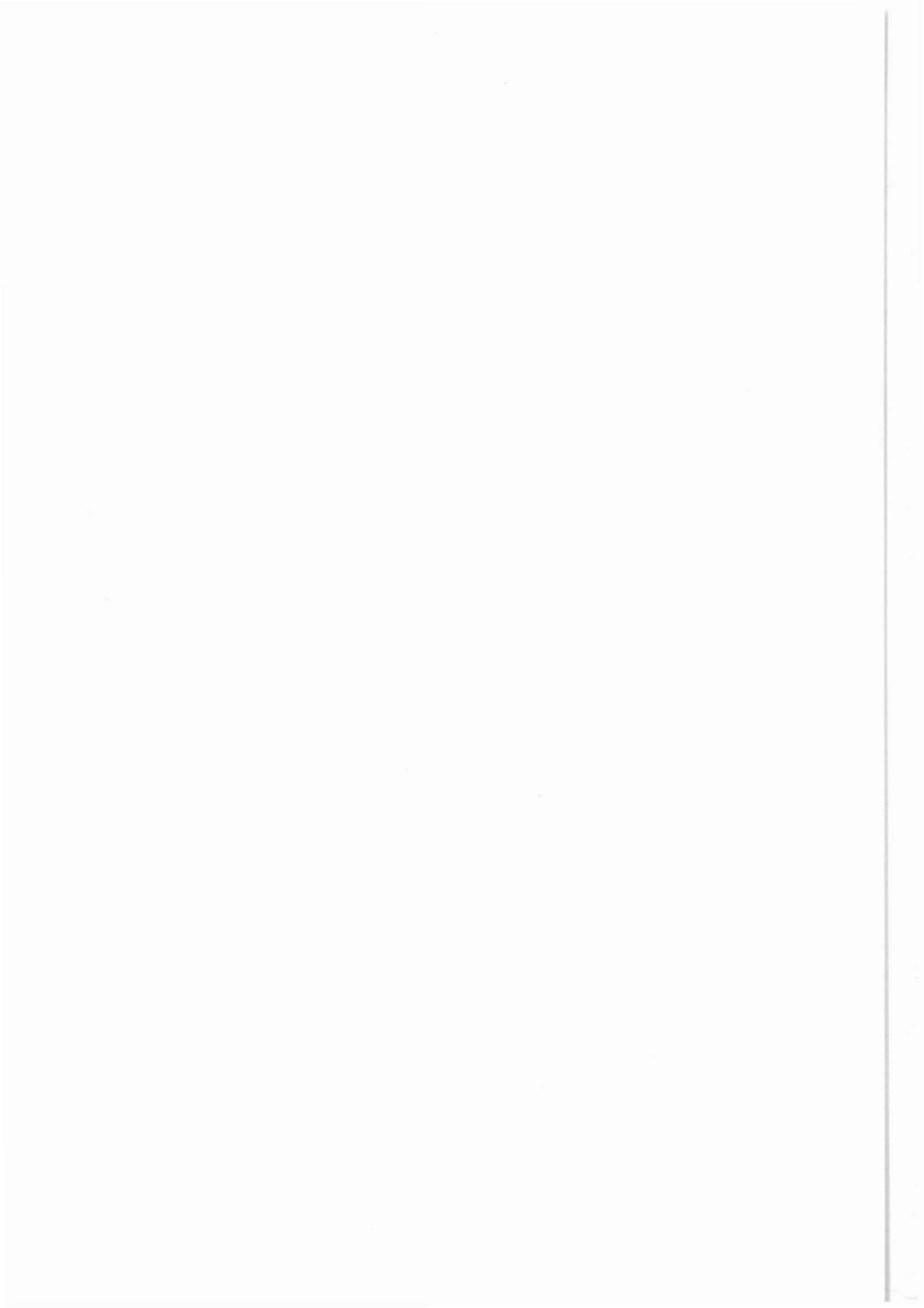
BOHRLOCHMESSPROGRAMM KTB-OBERPFALZ VB

(01.09.1987)

	Seite
Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung.....	3
2 Entscheidungsfindungen.....	7
3 Arbeitsprogramm.....	13
4 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben.....	23
4.1 Erläuterungen.....	23
4.2 DFG-Vorhaben.....	24
4.3 PL-Vorhaben.....	37
4.4 Geophysikalische Schlüsselexperimente.....	54
4.5 Tiefen-Observatorium.....	61
5 Notwendigkeit einer Vorbohrung.....	71
5.1 Überbohr-Konzept.....	71
5.2 Slimhole-Konzept.....	73
5.3 KTB-Oberpfalz VB und ihr Mindestdurchmesser.....	75
6 KTB-Dauermeßstation und KTB-Bohrlochmeßsonden.....	79
6.1 Planungsvorgaben.....	79
6.2 Dauermeßstation.....	82
6.3 KTB-Meßgeräte.....	86

	Seite
7 Bohrlochmeßverfahren.....	91
7.1 Definitionen.....	91
7.2 Standardmeßverfahren (Wireline Logging).....	93
7.2.1 Elektrische und elektromagnetische Verfahren.....	93
7.2.2 Radioaktive Verfahren.....	102
7.2.3 Seismo-akustische Verfahren.....	109
7.2.4 Thermometrische Verfahren .....	115
7.2.5 Gravimetrisches und Magnetisches Verfahren	119
7.2.6 Technische Verfahren, Produktionskontroll- messungen und andere technische Arbeiten..	119
7.2.7 Probennahme am Bohrlochmeßkabel.....	125
7.3 Hydraulische Teste.....	129
7.3.1 Drill Stem Test, DST.....	129
7.3.2 Hydraulic Test Tool, HTT.....	131
7.3.3 Hydraulischer Auffülltest.....	133
7.3.4 Langzeit-Wasserspiegel-Absenkttest.....	135
7.3.5 Markierter Fördertest.....	135
7.4 Seismische Untersuchungen.....	136
7.4.1 Geophonversenkmessung.....	136
7.4.2 Multi-Offset-Vertical Seismic Profiling...	136
7.4.3 Variable Acoustic Logging.....	138
7.5 Spannungs- und Deformationsmessungen.....	141
7.5.1 Hydrofrac-Test.....	141
7.5.2 Bohrlochrandausbrüche.....	143
7.6 Rechnergestützte Logauswertungen.....	144
7.6.1 Logdarstellung und Datenaufbereitung vor Ort.....	144
7.6.2 Auswertungen vor Ort.....	147
7.6.3 Auswertungen im Rechenzentrum.....	150
7.7 Vertikalauflösung und radiale Eindringtiefe.....	155
8 Bohrlochmeßprogramm.....	159
8.1 Planungsvorgaben.....	159
8.1.1 Bohrlochmessungen.....	159
8.1.2 Hydraulische Teste.....	162
8.2 Meßprogramm.....	171
8.3 Datenfluß.....	176

	Seite
9 Literaturverzeichnis.....	179
Anhang 1: Alphabetische Auflistung der von den Service-Firmen und den Instituten verwendeten Abkürzungen.....	183
Anhang 2: Funktionsgleiche Meßgeräte der Service-Firmen.....	189
Anhang 3: Alphabetische Auflistung der im Text verwendeten KTB-bezogenen Abkürzungen.....	195
Anhang 4: Adressenliste.....	197



## Zusammenfassung

Die Anfänge des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland (KTB) gehen bis auf das Jahr 1977 zurück. Seit dieser Zeit wurde in zahlreichen Arbeitssitzungen der Aufgabenbereich der Bohrlochgeophysik formuliert und gegenüber den anderen Arbeitsbereichen schärfer abgegrenzt. Aus diesem permanenten Meinungsbildungsprozeß resultiert ein überschaubares, nach Prioritäten geordnetes Arbeitsprogramm für die Vor- und Hauptbohrung (KTB-Oberpfalz VB, KTB-Oberpfalz HB) sowie ein Bohrlochmeßprogramm. Im folgenden soll deshalb der Versuch unternommen werden, dieses zusammenfassend darzustellen.

Zunächst wird der Weg der Entscheidungsfindungen aufgezeigt. Daraus wird deutlich, daß das Arbeits- und Bohrlochmeßprogramm das Ergebnis meist mehrerer Arbeitssitzungen in oft mehreren ARGEn, deren ad hoc-Arbeitsgruppen oder anderer Gremien darstellt.

Das Arbeitsprogramm für die Vor- und Hauptbohrung leitet sich unmittelbar aus dem geowissenschaftlichen Gesamtziel ab und läßt sich wie folgt angeben:

**Umsetzung der geowissenschaftlichen Zielvorstellungen in zu messende physikalische Gesteinsparameter, chemische Elemente, Mineralkomponenten, Fluide, Wärme- und Massentransporte sowie in geophysikalische Feldgrößen.**

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden diese in mehrere Teilprogramme (Teilziele) untergliedert: Marktanalyse, Grundlagenforschung, gesteinsphysikalische Untersuchungen, Korrelationsprogramm, Bohrlochsonden-Entwicklungen, Tiefen-Observatorium, Dauermeßstation, Bohrlochmeßprogramm, Meßdatensicherung, Interpretation von Bohrlochmeßdaten sowie Abteufen einer Vorbohrung (KTB-Oberpfalz VB).

Die Zeit während der Aufbauphase des KTB bis zur Etablierung der KTB-Projektleitung und des KTB-Schwerpunktes wurde genutzt, den Markt zu erkunden, daraus resultierende Lücken zu erkennen und durch Initiierung entsprechender Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (F- und E-Vorhaben) die Lücken mindestens teilweise zu schließen. Die F- und E-Vorhaben stellen daher einen ganz wesentlichen Teil zur Realisierung der geowissenschaftlichen Ziele und damit auch des Arbeitsprogramms der KTB-Bohrlochgeophysik dar. Die laufenden und geplanten Vorhaben werden deshalb kurz vorgestellt.

Die Vorbohrung KTB-Oberpfalz VB war nicht von Anfang an selbstverständlich und war auch zwischenzeitlich in Frage gestellt. Der geplante Durchmesser dieser Bohrung wurde mit

ständig wachsender geplanter Endteufe verringert. Damit war das Arbeitsprogramm der Bohrlochgeophysik, die an einen Mindestdurchmesser gebunden ist, gefährdet. Intensive Diskussionen zur Notwendigkeit einer Vorbohrung im Rahmen des Gesamtkonzeptes von KTB unter Berücksichtigung des Sparsamkeitsprinzips und der Risiko-Verringerung für die Hauptbohrung führten zu einer für alle Seiten akzeptablen Lösung.

Ein wesentlicher Bestandteil des Arbeits- und Bohrlochmeßprogramms ist der Erwerb einer KTB-eigenen Well Logging Unit incl. einiger KTB-eigener Bohrlochmeßsonden. Diese Ausrüstung stellt ein erhebliches Potential im Sinne der Zugänglichkeit zu den geplanten Bohrungen KTB-Oberpfalz VB und KTB-Oberpfalz HB dar. Die Ausrüstung erlaubt, neben den Routinemessungen jederzeit zusätzliche Messungen auszuführen, insbesondere auch Wiederholungs- und Kontrollmessungen; sie dient außerdem zu Testzwecken der im Rahmen der F- und E-Vorhaben entwickelten Bohrlochsonden und Interpretationsverfahren.

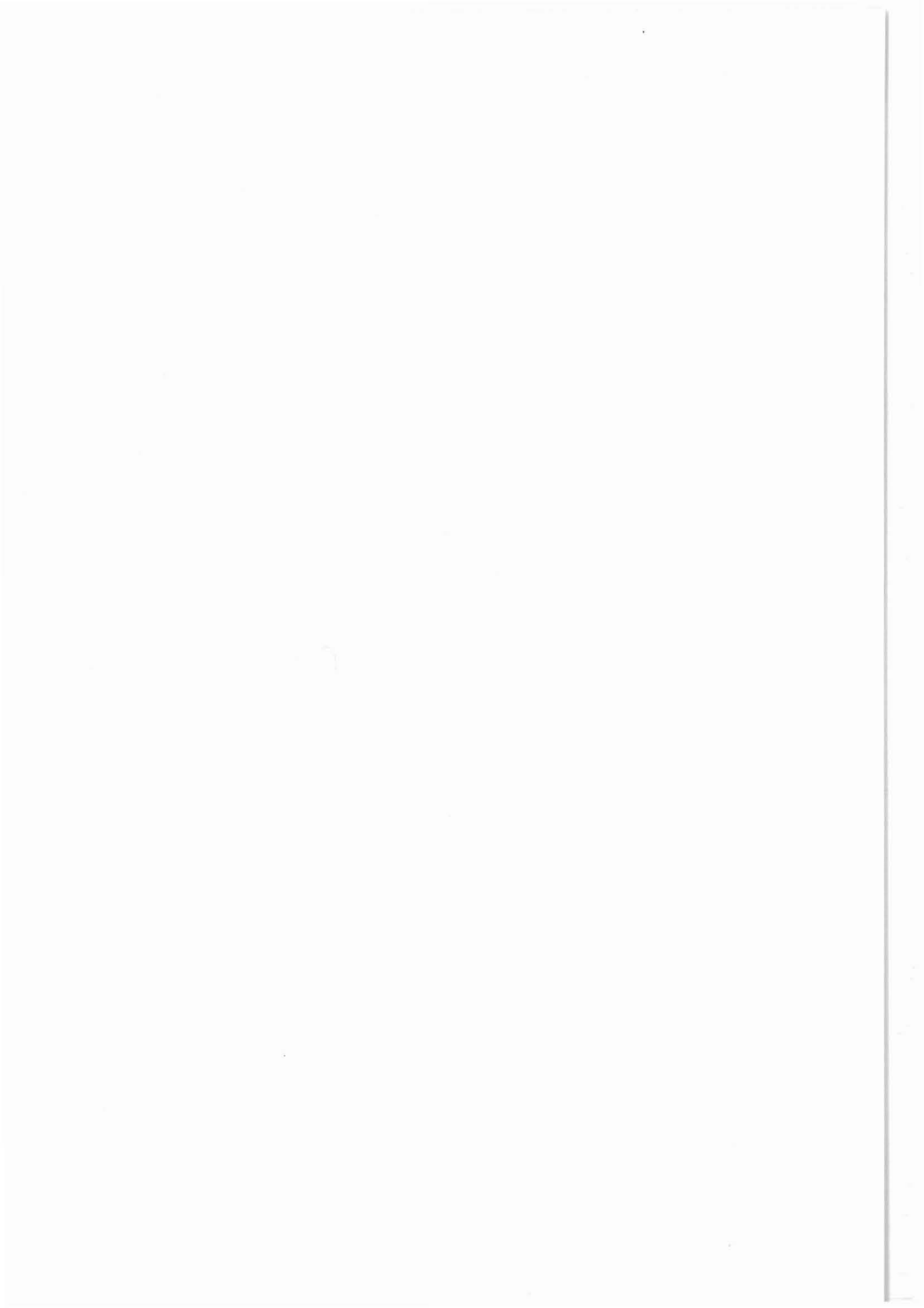
Zum besseren Verständnis der geplanten Messungen in der Bohrung Oberpfalz VB und der verwendeten Fachausdrücke wird dem Meßprogramm eine Kurzbeschreibung der wichtigsten Meß- und Interpretationsverfahren vorangestellt. Diese Beschreibungen sollen zugleich die Möglichkeit bieten, die Meßsonden und Auswerteverfahren besser beurteilen zu können.

Die Planung des Bohrlochmeßprogramms für die Vorbohrung KTB-Oberpfalz VB läßt sich unmittelbar aus dem Arbeitsprogramm ableiten und darstellen. Es besteht aus zwei großen Bereichen: Bohrlochmessungen und hydraulische Tests. Das Meßprogramm basiert auf Messungen der Service-Firmen, der Ämter, Hochschulen und Institute sowie auf Messungen mit KTB-eigenen Bohrlochsonden. Es ist geplant, die Erstauswertungen - soweit möglich - von den Firmen ausführen zu lassen. Darüber hinausgehende, verbesserte Auswertungen werden von den Ämtern, Hochschulen und Instituten durchgeführt. Die Abgabe der Bohrlochmeßergebnisse unterliegt einem Datenflußdiagramm und verpflichtet den Empfänger zur Berichterstattung über die erzielten Interpretationsergebnisse.

An den Ausarbeitungen der betreffenden fachspezifischen Beschreibungen haben die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik der Projektleitung, Dipl.-Ing. Draxler, Dr. Kessels und Dipl.-Ing. Zoth, mitgewirkt.



# 1 Einleitung



## 1 Einleitung

Ziel des vorgelegten Berichtes ist es, den Stand der Planungsarbeiten für das Arbeitsprogramm KTB-Bohrlochgeophysik der Vor- und Hauptbohrung (KTB-Oberpfalz VB, KTB-Oberpfalz HB) sowie des Bohrlochmeßprogramms für die Vorbohrung darzulegen und zu erläutern. Dabei sollen auch die Gründe und Wege der Entscheidungsfindungen aufgezeigt werden. Zeitpunkt der Betrachtungen ist hierbei der 01.09.1987.

Das Abteufen einer supertiefen Bohrung in der Bundesrepublik Deutschland als Forschungsbohrung wurde erstmalig intensiv anlässlich einer Arbeitssitzung der Senatskommission für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung (Geokommission) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) am 05.05.1977 diskutiert. Aus dieser und sich anschließenden Diskussionen resultierte eine Arbeitsgruppe unter der Leitung des damaligen Präsidenten des Bayerischen Geologischen Landesamtes, Prof. Dr. H. Vidal.

Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe wurden in der Publikationsreihe der Geokommission unter dem Titel: "Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland" im Jahre 1981 veröffentlicht (DFG 1981) mit der Empfehlung, durch gezielte Untersuchungen die zukünftige Bohrlokation auszuwählen und mit vorbereitenden Projektstudien zu beginnen. Ein wesentlicher Teil dieser Studie wurde auch der Entwicklung von Bohrloch- und Interpretationstechniken gewidmet. Die damals konzipierte Tiefbohrung sollte eine Teufe von ca. 10 000 m erreichen; die zu erwartenden Temperaturen wurden auf etwa 200 °C geschätzt.

Prof. Dr. H. Closs, ehemaliger Leiter der Abteilung Geophysik der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, ergriff dann die Initiative, um die anstehenden Fragen durch den Aufbau von Projektgruppen (Arbeitsgemeinschaften) anzugehen. Die Arbeitsgemeinschaften (ARGEN) mit ca. 150 Mitarbeitern setzten sich wie folgt zusammen (ALTHAUS et al. 1984):

Gesamtkoordinierung: H. J. Behr (Geowissenschaften)  
A. Klöckner (Technik)  
F. Goerlich (Organisation)

ARGE 1, Bohren: A. Klöckner  
ARGE 2, Bohrlochmessungen: R. Hänel  
ARGE 3, Probenentnahme: C. Marx  
ARGE 4, Probenauswertung: R. Emmermann  
ARGE 5, Oberflächengeophysik: J. Wohlenberg

Zielgebiete: Oberpfalz: K. Weber  
Schwarzwald: W. Wimmenauer.

Die Ergebnisse dieser Aktivitäten, wie geowissenschaftliche Zielvorstellungen, bohrtechnische und meßtechnische Maßnahmen zur Realisierung der Zielvorstellungen, finden sich zusammenfassend dargestellt in SCHNEIDER (1983), im Statusbericht (1984) sowie in DFG (1985). Im folgenden sollen Darstellungen und Erläuterungen nur insoweit ausgeführt werden, als diese zum unmittelbaren Verständnis des Arbeits- und Meßprogramms Bohrlochgeophysik erforderlich sind.

Das Arbeitsprogramm KTB-Bohrlochgeophysik sowie das Bohrlochmeßprogramm KTB-Oberpfalz VB basiert im wesentlichen auf den Arbeitssitzungen der ARGE 2 und denen der aus ihr hervorgegangenen neuen ARGE Spannungsmessungen und der Arbeitsgruppe Geohydraulik, die der neuen ARGE Fluide zugeordnet wurde (vergl. hierzu Abb. 2.1). Die ARGE 2, die von dem Forschungskollegium Physik des Erdkörpers (FKPE) etabliert wurde, bestand in der Zeit vom 28.03.1982 bis zur offiziellen Auflösung und Überführung in die neue ARGE 4 am 24.02.1987. In dem gleichen Zeitraum hat die ARGE 2 insgesamt acht Arbeitssitzungen veranstaltet, deren Ergebnisse in den Protokollen dokumentiert sind. Gleichzeitig wurden folgende Berichte vorgelegt:

- Tätigkeitsbericht 1, 2 und 3 (1983a, 1983b, 1984)
- Dauermeßstation 1 und 2 (1984, 1985)
- Zentraler Rechner (1985)
- Konzept eines Meß- und Untersuchungsprogramms für die Vor- und Hauptbohrung des KTB (1986).

Nach Abschluß der Interimsphase erfolgte am 08.02.1985 die offizielle Bekanntgabe und damit der offizielle Start des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland (KTB) durch Minister Dr. H. Riesenhuber, Bundesministerium für Forschung und Technologie. Als Lokation für die Tiefbohrung wurde aufgrund der Vorerkundungsarbeiten die Region Erbdorf /Windischeschenbach ausgewählt; Abb. 1.1. Die geplante Bohrteufe beträgt nunmehr ca. 14 000 m, und die zu erwartenden Temperaturen liegen bei etwa 300 °C.

Im Jahre 1986/87 begann die Etablierung der Projektleitung (PL) am Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, die für die technische Realisierung der geowissenschaftlichen Ziele verantwortlich zeichnet. Damit sind die Planungs- und Realisierungsaufgaben der ehemaligen ARGE 2 in die Hände der Projektleitung übergegangen.

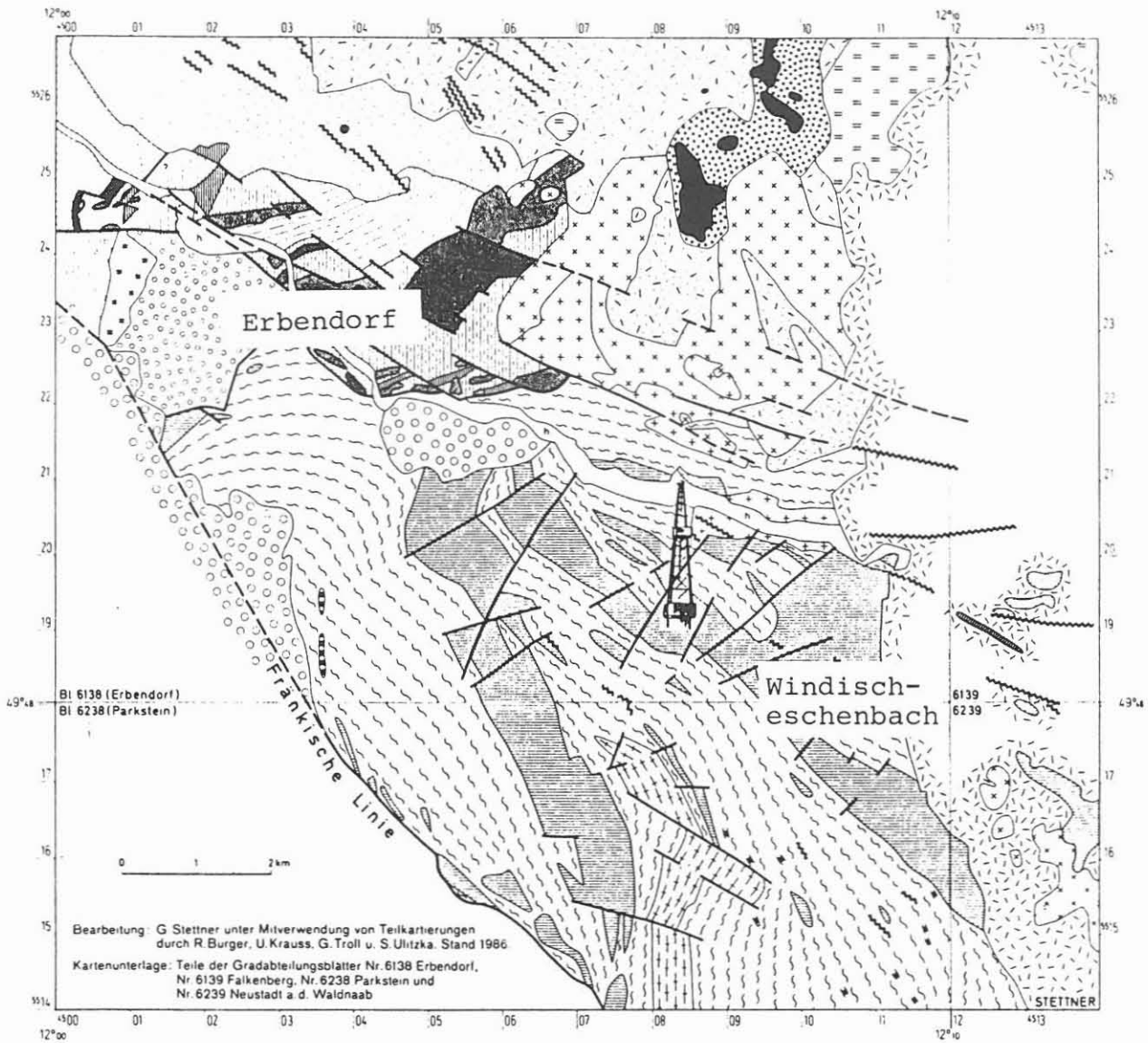
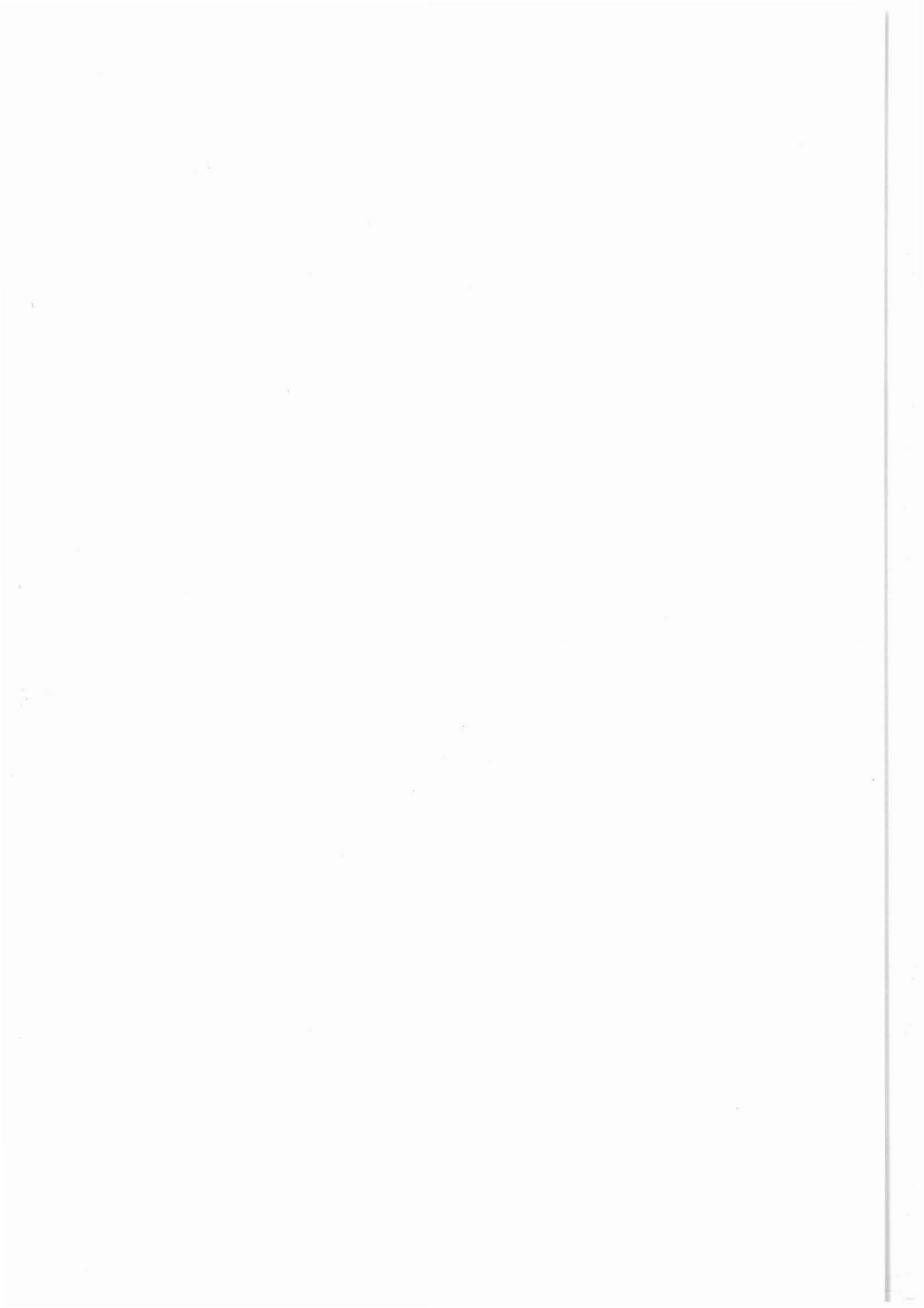
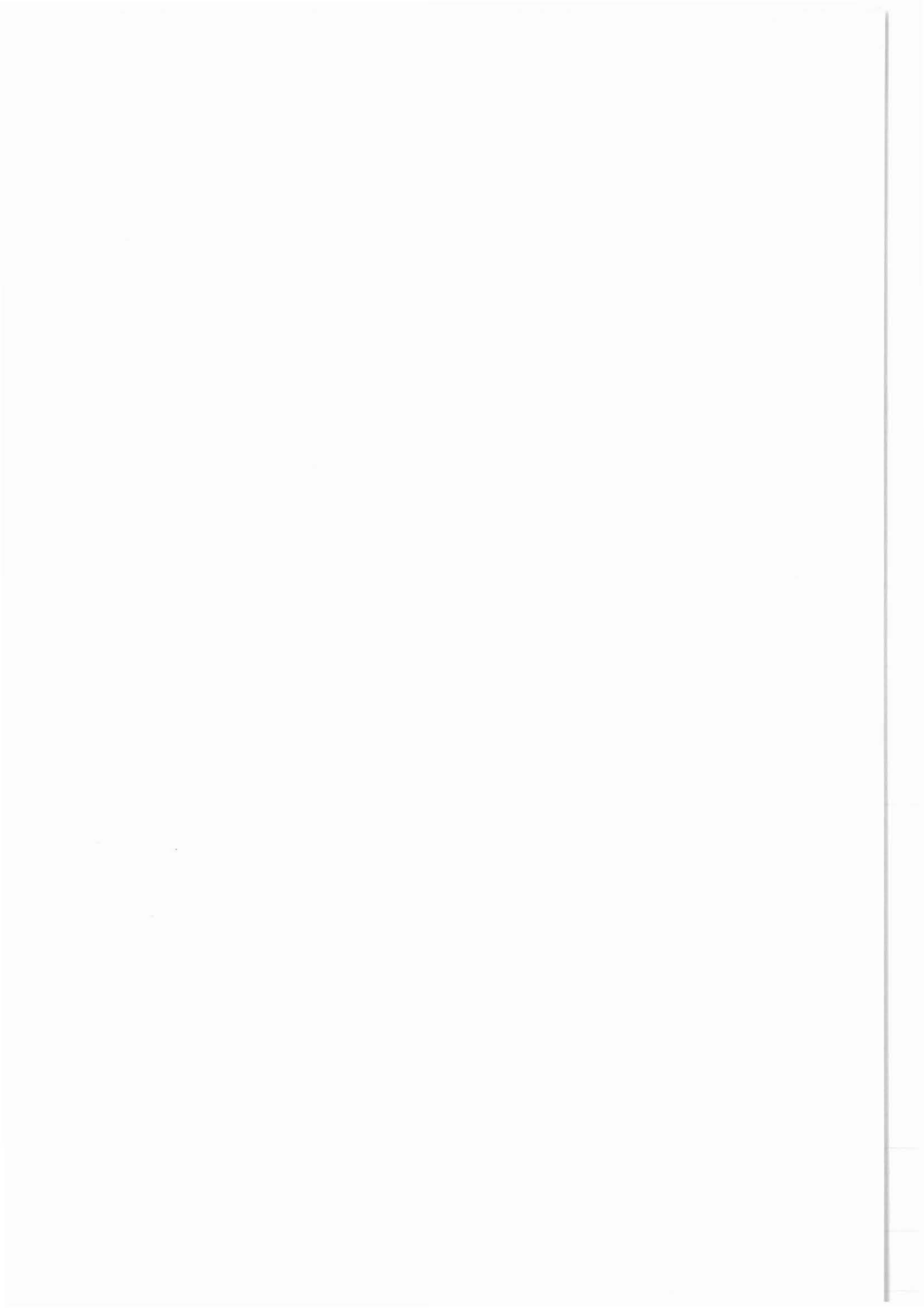


Abbildung 1.1: Lokationsgebiet Oberpfalz



## 2 Entscheidungsfindungen





## 2 Entscheidungsfindungen

Der Weg der Entscheidungen von einer in das KTB eingebrachten neuen wissenschaftlichen Idee bis zur Finanzierung dieser Idee setzt die Kenntnis der neuen, seit dem Jahre 1985 aufgebauten Organisationsstruktur voraus.

Der organisatorische Aufbau des KTB ist der Abb. 2.1 zu entnehmen. Die Abb. 2.2 stellt eine detailliertere Darstellung des Ausschusses für Operative Programmdurchführung sowie der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik dar.

In Abb. 2.3 wurde versucht, den Weg der Entscheidungsfindungen graphisch darzustellen. Dabei ist ergänzend anzumerken, daß alle geplanten F- und E-Vorhaben über die ARGEN eingebracht werden müssen. Dort wird die Zielsetzung diskutiert, die Bedeutung im Sinne des geowissenschaftlichen Gesamtzieles des KTB geprüft, die technische Realisierbarkeit, insbesondere die Verhältnismäßigkeit zum verfügbaren Finanzvolumen erörtert. Sofern die Notwendigkeit der Durchführung angezeigt ist, wird das Vorhaben der DFG zur Förderung empfohlen, wobei die dazugehörigen Protokollaufzeichnungen der DFG-Prüfgruppe als Entscheidungshilfe dienen. Eine endgültige Beurteilung und Vorschlag zur Förderung ist jedoch der DFG-Prüfgruppe vorbehalten. Sofern die Förderung durch die PL angezeigt ist, ist das Forschungsvorhaben der PL einzureichen. Da die Projektleitung nicht wie die DFG über eine eigene Prüfgruppe verfügt, werden nach Bedarf Experten aus dem Bereich der Industrie, Hochschulen, Ämter und Institute hinzugezogen. Die Ergebnisse werden auch hier vertraulich behandelt. Für die Förderung von F- und E-Vorhaben wurde Einigkeit insofern erzielt, als Vorhaben der Grundlagenforschung von der DFG und anwendungsorientierte Vorhaben von der PL gefördert werden sollen.

Für die Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik der Projektleitung ist eine besonders intensive Zusammenarbeit mit der ARGE 1, ARGE 3, ARGE 4 und ARGE 7 unerläßlich, da aus diesen Arbeitsgemeinschaften konkrete Anforderungen für Messungen, Teste und Experimente in der Bohrung vorliegen.

In diesem Zusammenhang ist auf die Bedeutung des Forschungskollegium Physik des Erdkörpers (FKPE) hinzuweisen. Im FKPE sind alle Leiter der geophysikalischen Institute vertreten, die unter anderem über anstehende und zukünftige Aufgaben im Bereich der Geophysik beraten, koordinieren, empfehlen und auch Großprojekte initiieren. Dies gilt z. B. für die einleitenden Diskussionen in der Geokommission durch Prof. Dr. W. Kertz (Kap. 1, Abschn. 1), die Aktivitäten des ehemaligen FKPE-Mitgliedes Prof. Dr. H. Closs (Kap. 1, Abschn. 2), für die Gründung der ehemaligen ARGE 2, für die Erarbeitung

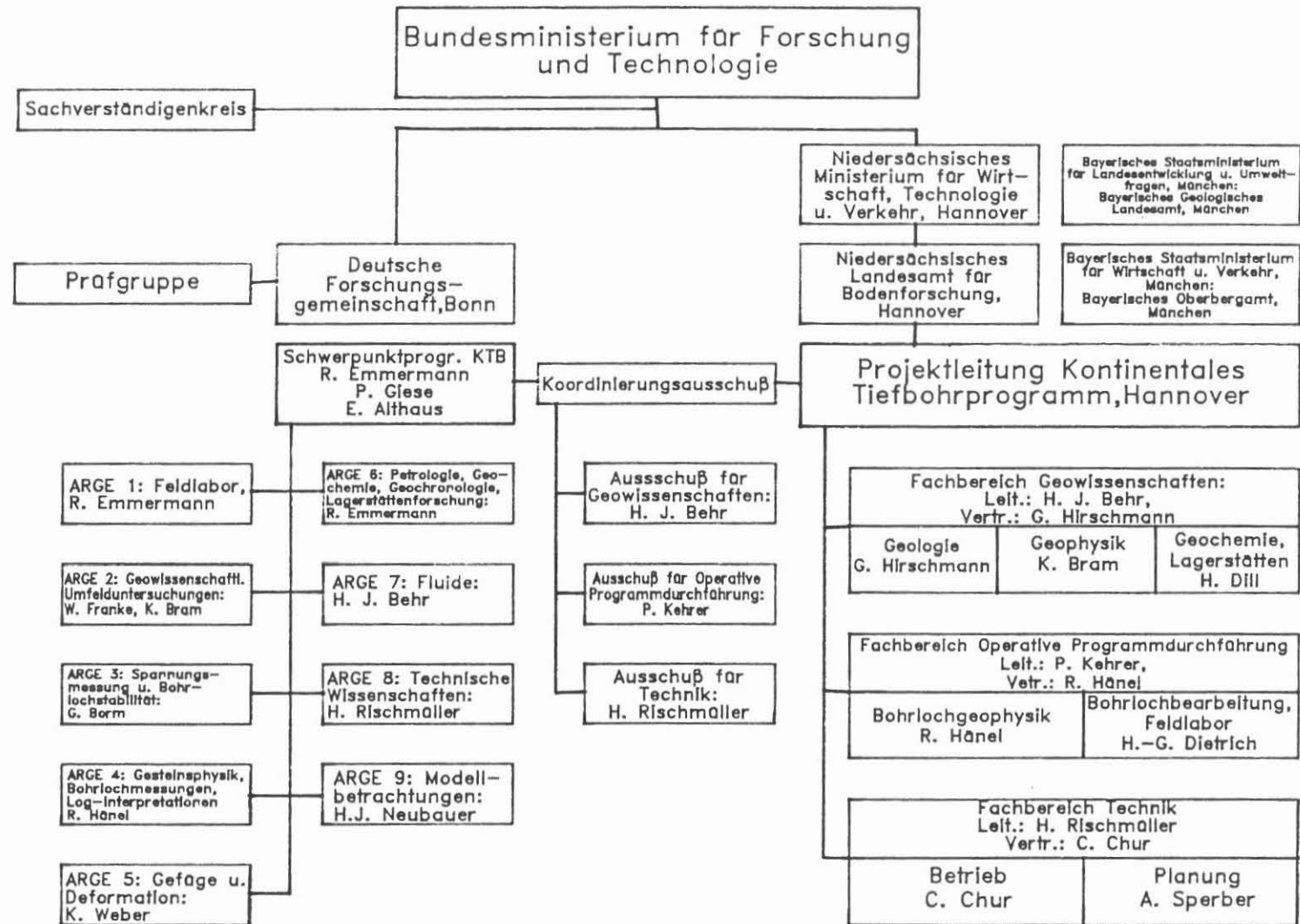


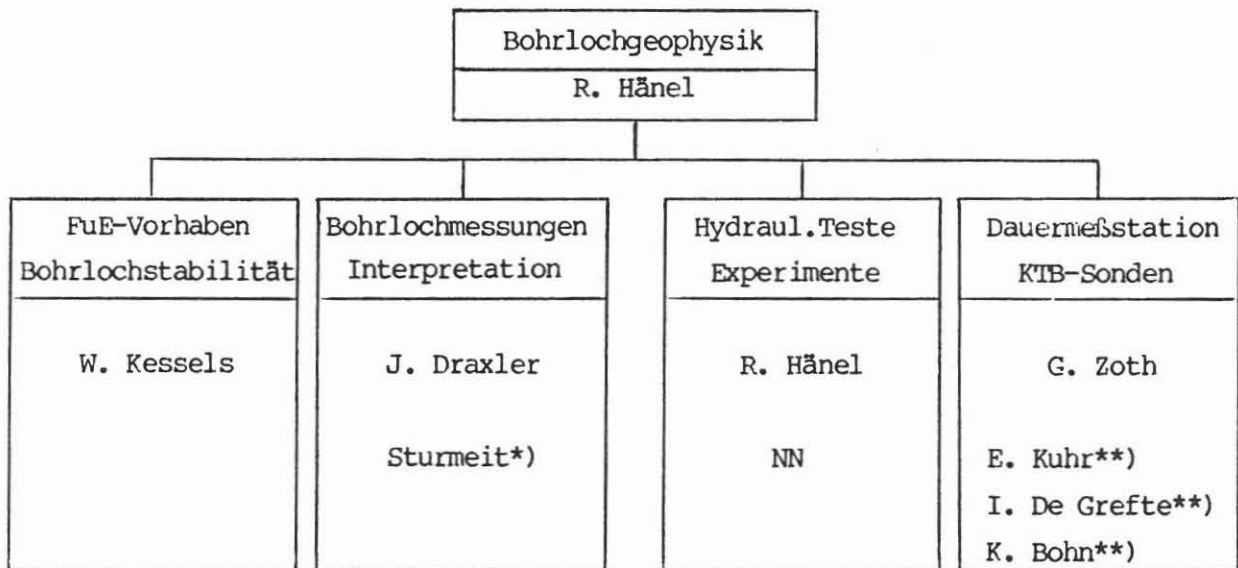
Abbildung 2.1: Organigramm KTB.

1  
00  
1

Mitglieder des Koordinierungsausschusses für  
Operative Programmdurchführung  
- <sup>+</sup>) zuständig für Arbeitsbereich Bohrlochgeophysik -

Vorsitz: Dr. P. Kehrer

Mitglieder: Dr. D. Betz, Dr. E. Bradel<sup>+</sup>), Dr. E. Koch, Dr. H. J. Nowak,  
Dipl.-Ing. W. Rischmüller<sup>+</sup>), Prof. Dr. F. Rummel



\*) Prakla-Seismos

\*\*\*) Schlumberger

Abbildung 2.2: Koordinierungsausschuß Operative Programmdurchführung und Arbeitsbereich Bohrlochgeophysik.

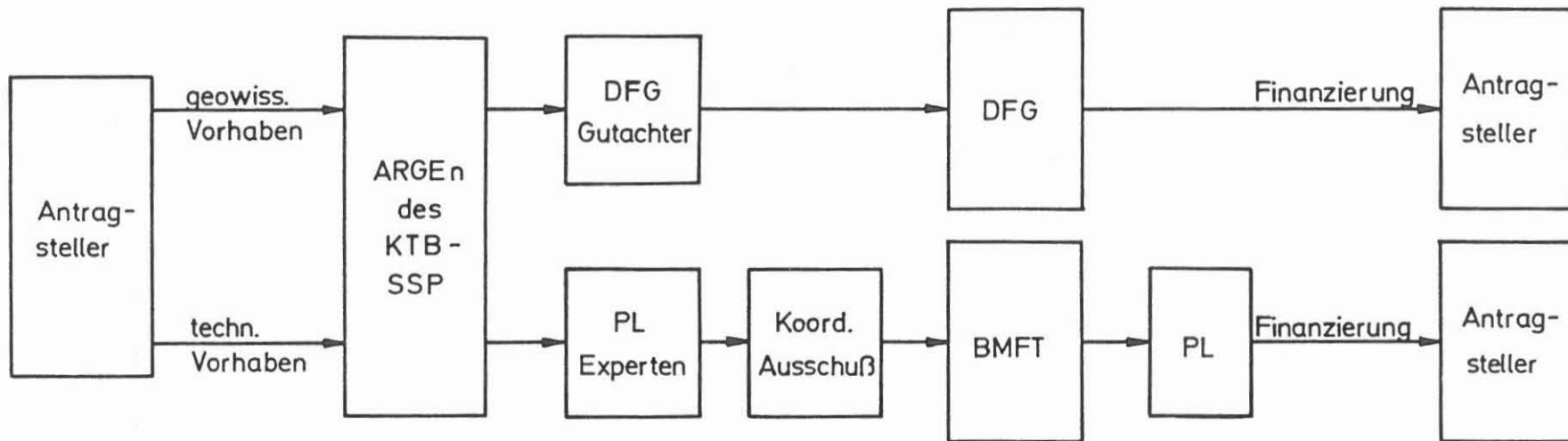
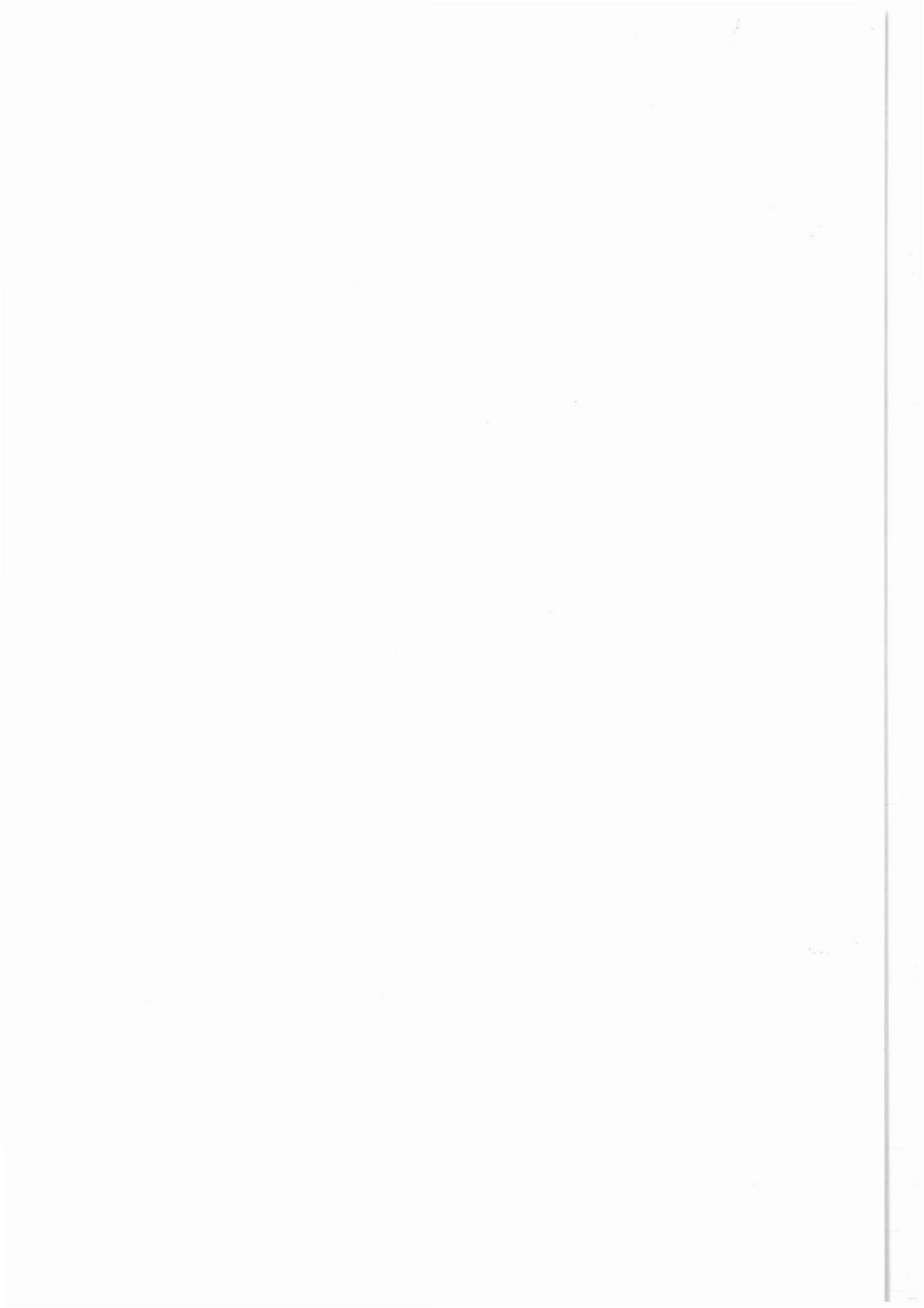


Abbildung 2.3: Flußdiagramm für Entscheidungsfindungen.

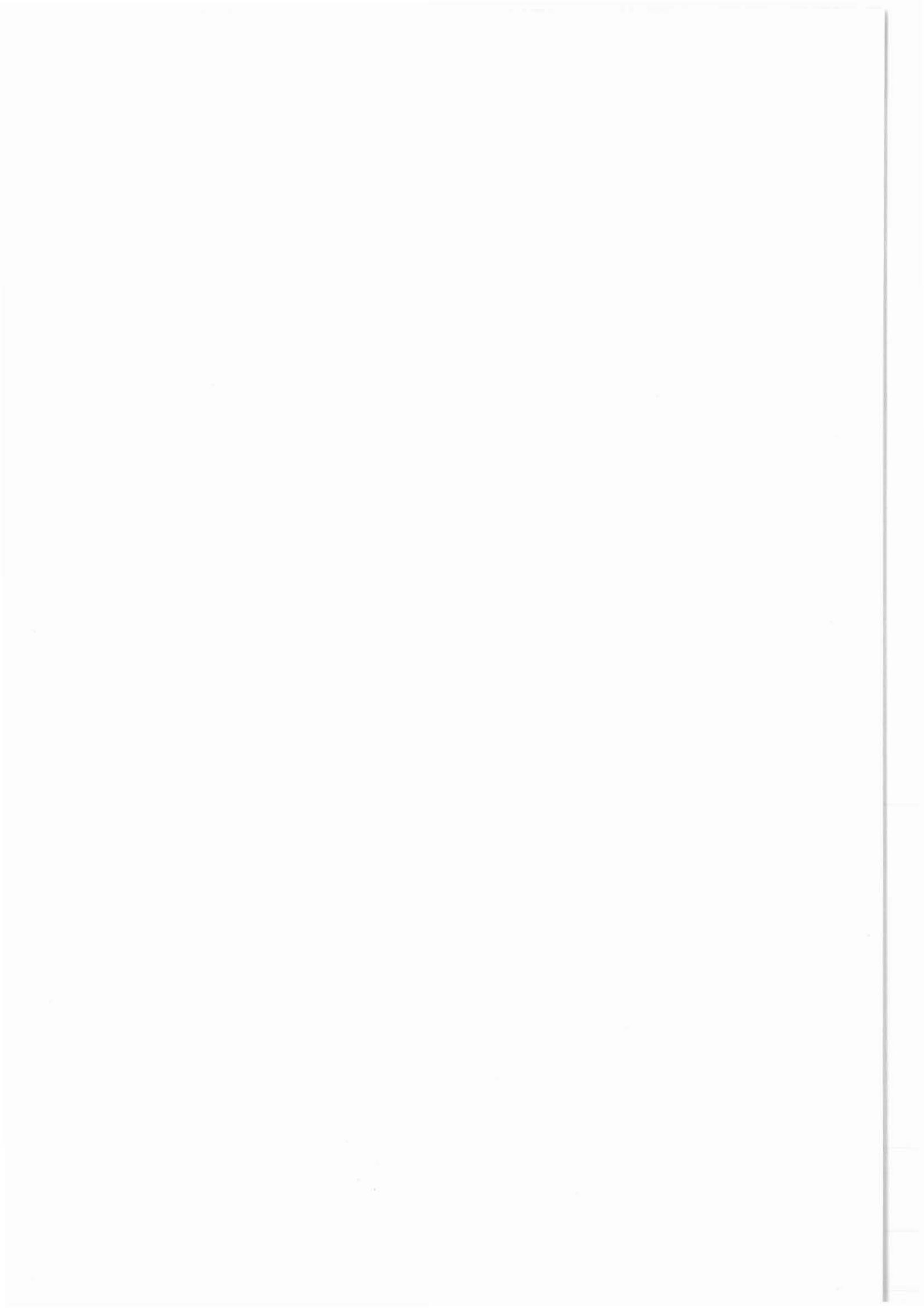
der geophysikalischen Schlüsselprojekte (FKPE 1986), die Etablierung der 3-D-Seismik etc. etc. bis hin zur Unterstützung in Detailfragen in den ARGEn zum gegenwärtigen Zeitpunkt. Mithin war und ist das FKPE ein wichtiges Gremium, welches an den Entscheidungsfindungen, auch im Bereich Bohrlochgeophysik, mitgewirkt hat und gedanklich in das Organigramm der Abb. 2.1 zu implementieren ist.

Aus den Abbildungen 2.1 bis 2.3 und den dazugehörigen Erläuterungen lassen sich drei wesentliche Fakten ableiten:

1. Der Schwerpunkt ist als die Denkkzelle des KTB anzusehen, und die Projektleitung zeichnet für die technische Umsetzung der geowissenschaftlichen Ideen verantwortlich.
2. Die technische Umsetzung der geowissenschaftlichen Ideen erfolgt durch die
  - Industrie mit ihren praxisbezogenen technologisch-hochentwickelten Service-Betrieben und die
  - Hochschulen, Ämter und Institute mit ihren geowissenschaftlichen Hochleistungslaboratorien und -geräten.
3. Das noch vorzustellende Arbeitsprogramm KTB-Bohrlochgeophysik sowie das Bohrlochmeßprogramm KTB-Oberpfalz VB sind nicht das Produkt eines Einzelnen, sondern das Ergebnis einer intensiven Beratung aus meist mehreren Arbeitssitzungen in oft mehreren ARGEn, deren ad hoc-Arbeitsgruppen oder anderen Gremien.



### 3 Arbeitsprogramm





### 3 Arbeitsprogramm

Es ist vorgesehen, eine Bohrung mit einer Tiefe von ca. 14 000 m in der Internzone der zentraleuropäischen Varisziden abzuteufen. In dieser Tiefe werden Temperaturen von etwa 300 °C erwartet. Die Bohrung dient der Kenntniserweiterung auf dem Gebiet der geowissenschaftlichen Grundlagenforschung sowie der Verbesserung von Bohr- und Meßtechnik. Die geowissenschaftlichen Ziele sind in Tab. 3.1 zusammenfassend dargestellt, wobei die Teilziele in einem Modell zur Struktur und Dynamik der Erdkruste dieses speziellen mitteleuropäischen Krustenabschnittes konvergieren. Die geschilderten Teilziele sind auf die Oberkruste gerichtet. Darüber hinaus "öffnet" diese Bohrung aber auch ein Fenster in die darunter liegende Unterkruste und eingeschränkt auch auf den oberen Mantel, da die Aussagen, die sich im Endteufenbereich einer solchen Bohrung machen lassen, nicht durch die Oberkruste beeinflusst sind.

Das Arbeitsprogramm der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik der Projektleitung umfaßt somit als Gesamtziel:

**Die Umsetzung der geowissenschaftlichen Zielvorstellungen in zu messende physikalische Gesteinsparameter, chemische Elemente, Mineralkomponenten, Fluide, Wärme- und Massentransporte sowie in geophysikalische Feldgrößen.**

Die Realisierung des geowissenschaftlichen Gesamtzieles (Tab. 3.1) und damit des Gesamtzieles der Bohrlochgeophysik erfordert eine Reihe von Teilmaßnahmen. Diese Teilmaßnahmen könnten in Anlehnung an die geowissenschaftlichen Teilziele (Tab. 3.1) erfolgen oder z. B. in Anlehnung an die im Rahmen der geophysikalischen Schlüsselprojekte aufgeworfenen Fragestellungen (FKPF 1986) behandelt werden. Unabhängig davon wurden in den ehemaligen ARGen 2 und ARGen 4 im Laufe von zahlreichen und intensiven Diskussionen Teilziele herausgearbeitet. Mithin läßt sich das Arbeitsprogramm in folgenden Teilprogrammen oder Teilzielen darstellen:

Tabelle 3.1: Gesamtziel und Kurzfassungen der Teilziele des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland (EMMERMANN 1986)

Gesamtziel:

Grundlagenforschung über die physikalischen und chemischen Bedingungen und Prozesse in der tiefen kontinentalen Kruste mit dem Ziel, den strukturellen Aufbau, die Dynamik und die Evolution intrakontinentaler Krustenbereiche zu verstehen.

Teilziele:

1. Die Erfassung von Druck- und Temperaturabhängigkeit physikalischer Meßgrößen und Gesteinseigenschaften. Außerdem bietet diese Tiefbohrung eine Möglichkeit, geophysikalische Befunde mit strukturellen geologischen und petrologischen Daten zu korrelieren (= Eichung geophysikalischer Methoden oder die Natur von geophysikalischen Heterogenitäten in den Bereichen Seismik, Geoelektrik usw.).
2. Ermittlung der geothermischen Zustandsbedingungen, d. h. Temperaturverteilung, Wärmeproduktion und Wärmetransport.
3. Davon ausgehend Erkundung der chemischen und petrologischen Prozesse.
4. Erklärung der gefügeprägenden Prozesse, wobei die zeitliche Fixierung der petrologischen und strukturellen geologischen Vorgänge mit Hilfe radiometrischer Altersdatierungen geplant ist.
5. Ein verbindendes Glied zwischen den einzelnen Teilprozessen und den sie studierenden Disziplinen stellen die Fluide dar. Ihre Herkunft, Migration und ihre elementkonzentrierende und dispergierende Wirkung ist zu erforschen. Die Fluide haben Einfluß auf die Magmenbildung, Metamorphose und Lagerstättengenesse.
6. Kenntniserweiterung über Spannungsverteilung und -umwandlung als Funktion der Tiefe. Dabei sind sowohl (ingenieur-)geologische Aspekte im Zusammenhang mit der Erdbebenaktivität als auch grundlegende Aussagen zur kontinentalen Intra-Plattentektonik zu erwarten.

#### Teilziel 1, Marktanalyse.

Es ist festzustellen, welche Bohrlochmeßgeräte und Meßwinden von Service-Firmen, Firmen, Hochschulen, Geologischen Diensten und Instituten des In- und Auslandes zur Verfügung stehen, insbesondere deren Einsatzgrenzen hinsichtlich Druck und Temperatur für die Hauptbohrung.

#### Teilziel 2, Grundlagenforschung.

Die Bohrlochsonden und die dazugehörigen Auswerteverfahren wurden hauptsächlich für die Kohlenwasserstoff-Exploration in sedimentären Gesteinen entwickelt. Es ist daher im einzelnen die Übertragbarkeit auf kristalline Gesteine zu überprüfen und gegebenenfalls entsprechende Grundlagenforschung zu betreiben.

#### Teilziel 3, Gesteinsphysikalische Untersuchungen.

Bestimmung der physikalischen Parameter (vergl. hierzu Tab. 3.2) und Beschreibung der physikalischen Phänomene, die sich unter definierten pT-Bedingungen aufgrund der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung und der Mikrostruktur der Gesteine ergeben. Als Meßstellen bieten sich an: das Bohrloch (quasi-in situ Bedingungen), die Institutslabors (simulierte in situ Bedingungen) und das Feldlabor (pT-Bedingungen an Erdoberfläche). Die Verwendung der Daten ist aus Tab. 3.3 ersichtlich.

#### Teilziel 4, Korrelationsprogramm.

Korrelation der Meßergebnisse von Bohrkernen mit Ergebnissen aus Bohrlochmessungen der Vorbohrung, da bei der Hauptbohrung aus Kostengründen ständig die Entscheidung anstehen wird, entweder Bohrkern zu ziehen oder Bohrlochmessungen auszuführen. Zu diesem Zweck muß hinreichend genau bekannt sein, welche Ergebnisse nur durch Kernentnahme (z.B. Fluideinschlüsse), welche nur durch Bohrlochmessungen (z. B. Temperatur) oder nur durch beide Verfahren (z.B. Fluidbewegungen) erlangt werden können.

#### Teilziel 5, Bohrlochsonden-Entwicklungen.

Die geowissenschaftlichen Zielvorstellungen erfordern auch Bohrlochsonden, die nicht von der Service-Industrie oder anderen Instituten angeboten werden oder aufgrund ihrer Temperatur-Einsatzgrenzen nur bedingt verwendet werden können. Neu- und Weiterentwicklungen sind daher unumgänglich.

Tabelle 3.2: Zu ermittelnde gesteinsphysikalische Eigenschaften.

	Grundgrößen	Abgeleitete Größen
<b>A) Allgemeine Eigenschaften</b>		
Mechanische Eigenschaften		
- unelastisch	Dichte $\rho$ , Zugfestigkeit $\sigma_t$ , Bruchfestigkeit (spröde, duktil) $K$ , Druckfestigkeit $\sigma_c$ , Scherfestigkeit $\tau$	Rißzähigkeit
- elastisch	stat. Poissonzahl $\nu$ , stat. Elast.-Modul $E$ , statische Kompressibilität $\beta$	
Akustische Eigenschaften	$v_p$ , $v_s$ , Absorptionskoeffizient	Poissonzahl $\nu$ , Schermodul $G$ , Elastiz. Modul $E$ , Inkompressibilität $K$ , Kompressibilität $1/K$ , Impedanz $Z$
Elektrische Eigenschaften	elektr. Leitfähigkeit $\sigma$ , dielektr. Konstante $\epsilon$ , elektr. Kapazität $C$ , Induktivität $L$	elektr. Impedanz $Z$
Magnetische Eigenschaften	remanente Magnetisierung (Betrag, Richtung) $J_r$ , magn. Suszeptibilität $\chi$ , magn. Permeabilität $\mu$	Gesamtmagnetisierung (Betrag, Richtung) $J_t$
Thermische Eigenschaften	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ , spez. Wärmekapazität $c$ , thermischer Ausdehnungskoeffizient $\beta$	Temperaturleitfähigkeit
Radioaktive Eigenschaften	Wärmeproduktion $H$	
<b>B) Spezielle Eigenschaften</b>		
Porenraumeigenschaften	Porosität $P$ , Permeabilität $K$	Speicherkoefizient $S$ , hydraulische Leitfähigkeit $k_f$ , Transmissivität $T_v$
	- sowie deren Richtungsabhängigkeit (Anisotropie), Temperaturabhängigkeit, Druckabhängigkeit (Spannungszustand) und zeitliche Änderung.	

Tabelle 3.3: Verwendung der gesteinsphysikalischen Daten.

- Aussagen über die intrinsischen Gesteinseigenschaften
- Korrelation mit chemischen und modalen Stoffbeständen sowie mit Gefügeeigenschaften (z. B. Anisotropie)
- Überprüfung der Übertragbarkeit der gesteinsphysikalischen Parameter auf großräumige Gesteinspakete (Kluftkörper) - Homogenität
- Schlüssel zur Interpretation geophysikalischer Tiefenprofile.

Teilziel 6, Tiefen-Observatorium.

Nach Fertigstellung der Bohrung und der auszuführenden Routinemessungen sind Wiederholungsmessungen, Langzeitmessungen und zeitabhängige Studien erforderlich. Es ist zu überprüfen, ob die Einrichtung eines Tiefen-Observatoriums gerechtfertigt ist.

Teilziel 7, Dauermeßstation.

Das großangelegte Forschungsvorhaben erfordert ein umfangreiches Meßprogramm, so daß eine KTB-eigene, permanent an der Bohrlokation befindliche Dauermeßstation (Well Logging Unit) sowie einige relativ oft benötigte KTB-eigene Meßsonden angezeigt sind.

Teilziel 8, Bohrlochmeßprogramm.

Es ist entsprechend den vorangegangenen Vorgaben ein dem KTB-Projekt angepaßtes detailliertes Bohrlochmeßprogramm aufzustellen; hier jedoch zunächst nur für die Vorbohrung KTB-Oberpfalz VB.

Teilziel 9, Meßdatensicherung.

Es muß sichergestellt werden, daß die gewonnenen Daten einheitlich formatiert und abgelegt werden, so daß jederzeit der Zugriff für Interessenten zur Weiterbearbeitung und/oder Interpretation auch noch nach vielen Jahren gewährleistet wird.

Teilziel 10, Interpretation von Bohrlochmeßdaten.

Gemäß der Gesamtstrategie ist die Erstauswertung durch Firmen mit deren firmeneigenen Programmen vorgesehen. Damit wird nicht nur das Know-how der Firmen genutzt, sondern es stehen erste Interpretationemodelle sofort als Entscheidungshilfe für den Bohr- und Meßbetrieb sowie für andere Interessenten zur Verfügung. Weitergehende Interpretationen sind durch Hochschulen, Ämter und Institute abzudecken.

Teilziel 11, Vorbohrung.

Die bisher aufgeführten Einzelschritte lassen erkennen, daß eine Vorbohrung als Testbohrung unabdingbar ist.

Auf Grund der Diskussionen in den Arbeitssitzungen wurde sehr bald deutlich, daß der Umfang des Bohrlochmeßprogramms während des Abteufens der Bohrung an Umfang ständig zunahm. Dies stößt jedoch wegen der erforderlichen Bohrturm-Zeiten und der damit verbundenen Kosten auf finanzielle Grenzen. Es erfolgte deshalb die Ausarbeitung einer Prioritätenliste (DEVAY et al. 1986), die Auskunft darüber gibt, welche Untersuchungen unbedingt während des Abteufens der supertiefen Bohrung auszuführen sind, weil:

- die Informationen durch den Bohrvorgang selbst verlorengehen können,
- die Informationen zeitabhängig sind, und
- die Daten von Anfang an für die Interpretation benötigt werden.

Die Prioritätenliste umfaßt:

1. Beschreibung des thermodynamischen Zustandes
2. Ermittlung der Porenfluide und der Fluidbewegungen
3. Strukturelle und textuelle Beschreibung
4. Voraussagen für Bohrtechnik und Wissenschaft
5. Standfestigkeit der Bohrung

Die Realsierung aller übrigen Zielvorstellungen soll nach Abschluß der Bohrarbeiten ausgeführt werden, was auch mit dem Begriff Tiefen-Laboratorium (Deep Earth Laboratory) umschrieben wird. Da die Anwendbarkeit der Prioritätenliste bereits bei der Vorbohrung erprobt werden soll, ergeben sich für die Durchführung des Bohrlochmeßprogramms folgende Bedingungen:

- Vorbohrung KTB-Oberpfalz VB
  - . Während des Abteufens:  
Messungen gemäß Prioritätenliste
  - . Nach dem Abteufen:  
alle übrigen Messungen  
(EARTH LABORATORY)
- Hauptbohrung KTB-Oberpfalz HB
  - . Während des Abteufens:  
bis zur Teufe der Vorbohrung:  
Korrelationsmessungen
  - ab Teufe Vorbohrung:  
Messungen gemäß einer  
verbesserten Prioritätenliste
  - . Nach dem Abteufen:  
alle übrigen Messungen  
(DEEP EARTH LABORATORY)

Die Verlagerung der Bohrlochmessungen von der Hauptbohrung in die Vorbohrung, für den Teufenbereich der Vorbohrung, stellt zugleich eine Entlastung der Hauptbohrung im Sinne des meßtechnischen Risikos dar.

Die Korrelationsmessungen dienen dazu, das in der Hauptbohrung durchteufte Gestein mit dem der Vorbohrung zu korrelieren.

Diese Gesamtstrategie beinhaltet außerdem, daß nach Möglichkeit Messungen sowie die dazugehörigen Erstausswertungen von Service-Firmen durchgeführt werden sollen, um das Know-how der Firmen voll für das KTB zu nutzen.

Das Teilziel 1, Marktanalyse, wurde bereits abgeschlossen; siehe DEVAY et al. (1983) und HÄNEL (1987). Die Ergebnisse dieser Studie dienten zugleich als Grundlage für die Entscheidung von Neu- und Weiterentwicklungen von Bohrlochsonden. Einen Ausschnitt der Ergebnisse zeigt die Abb. 3.4. Die bereits im Jahre 1983 durchgeführte Marktstudie über verfügbare Meßinstrumente wurde auf den neuesten Stand gebracht (verlängerte Balken), wobei unterbrochene Linien angeben, daß im Sinne der Prioritätenliste Entwicklungsarbeit zur Erreichung der 300 °C-Einsatzgrenze unbedingt notwendig ist. Entsprechende Maßnahmen wurden bereits eingeleitet, vergl. hierzu Abschn. 4.3. Das Teilziel 1 enthielt auch das Studium analoger Forschungsvorhaben, wie das HDR-Vorhaben Los Alamos (USA), HDR-Vorhaben Cornwall (Großbritannien), NAGRA-Vorhaben (Schweiz) und das Geothermik-Vorhaben Urach. Die Ergebnisse hieraus mündeten ebenfalls in die Teilziele ein.

Im Kapitel 4 sind nicht aufgeführt die Vorhaben des Feldlabors, die der geplanten Erfassung von gesteinsphysikalischen Eigenschaften dienen; vergl. hierzu Tab. 3.4. Ziel dieser ersten Messungen im Feldlabor ist, eine Übersicht zu gewinnen über wichtige physikalische Eigenschaften, die sich an unbearbeiteten Kernen ermitteln lassen oder die bald nach Entnahme der Kerne gemessen werden müssen (Datensicherung). Die Messungen sollen, sofern möglich, berührungslos und kontinuierlich durchgeführt werden. Die Ergebnisse dienen vor allem zur Auswahl von Proben für weitere speziellere Untersuchungen, zur Interpretation von geophysikalischen Oberflächenmessungen, zur Korrelation mit der Petrologie und zur Korrelation mit Bohrlochmessungen und gegebenenfalls zu deren Kalibrierung.

Eine enge Zusammenarbeit der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik der PL und dem Feldlabor ist gemäß den Teilzielen 3 und 4 des Arbeitsprogramms unerlässlich.

Weitere Details zur Planung und zur bereits durchgeführten Umsetzung der Teilziele finden sich in:

- Kap. 4: Teilziele 2, 3, 4, 5, 6 und 10
- Kap. 5: Teilziel 11
- Kap. 6: Teilziel 7
- Kap. 8: Teilziele 8 und 9.



# MARKTSTUDIE, 1983

## HOCHTEMPERATUR - MESSONDEN, 1986

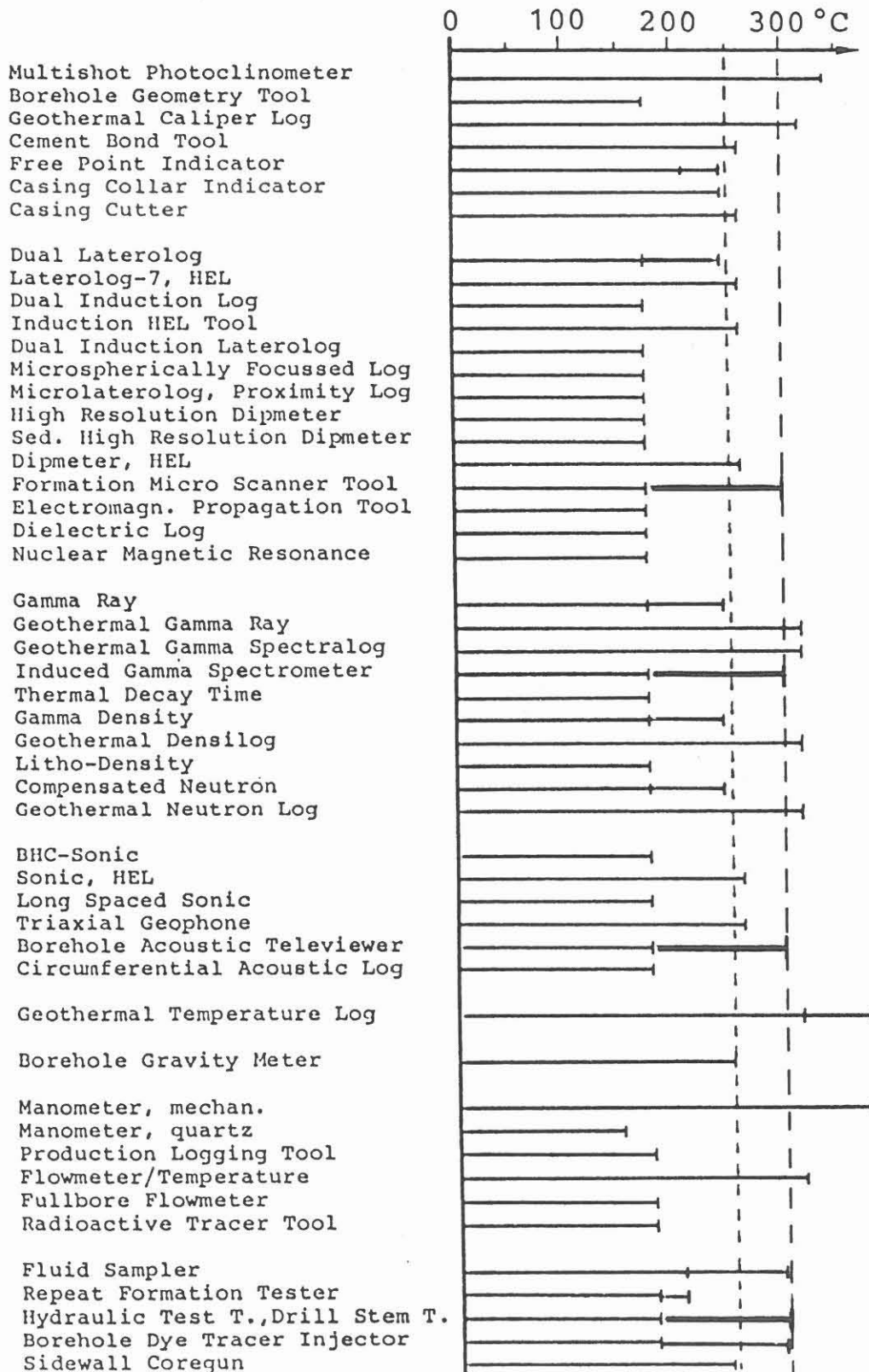
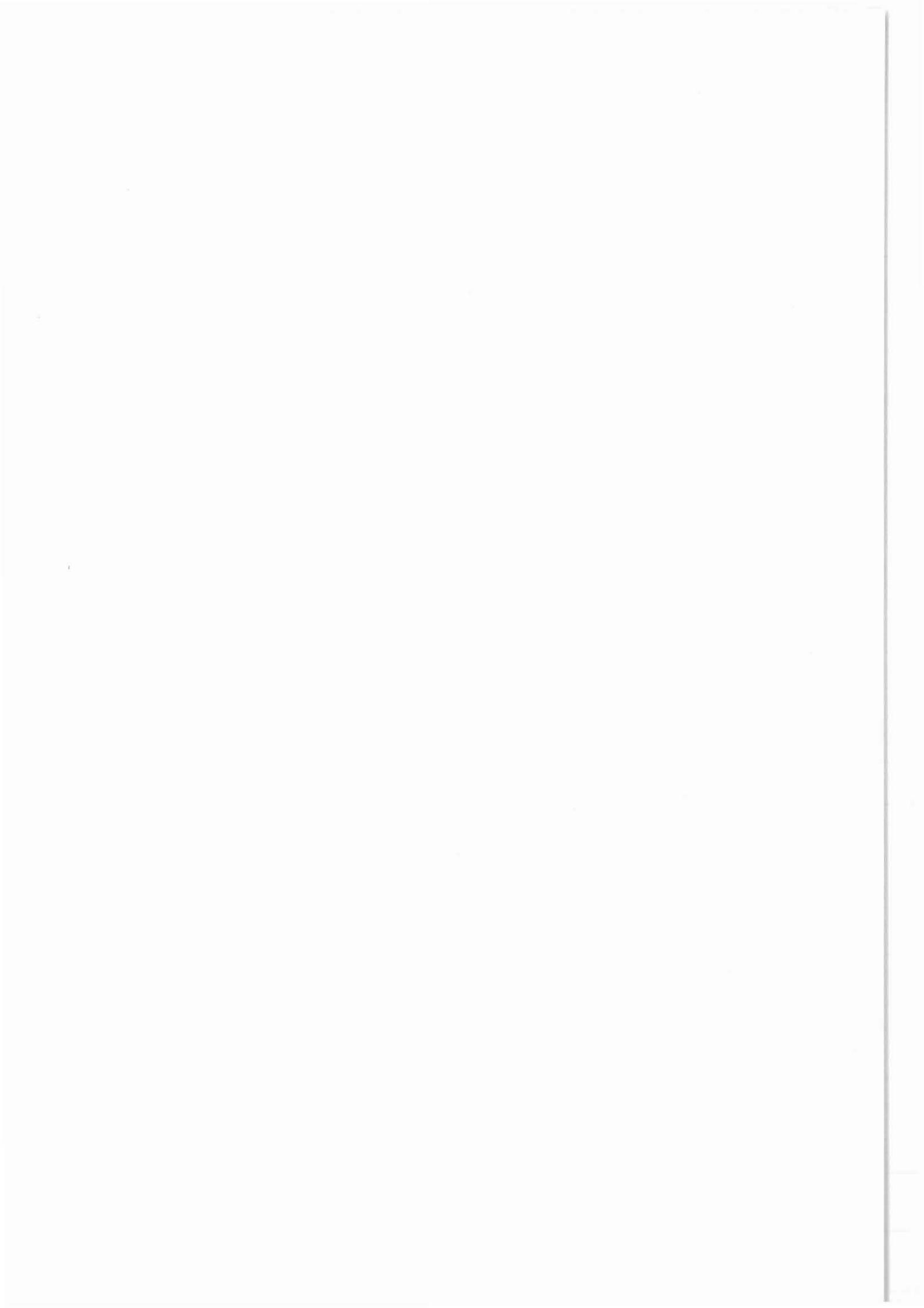


Abbildung 3.4: Die Temperatur-Einsatzgrenzen der von Service-Firmen angebotenen Bohrlochsonden.

**Tabelle 3.4:** Übersicht über die Messung physikalischer Eigenschaften im Feldlabor

<u>Eigenschaften</u>	<u>Institut</u>
1. Dichte  Auftriebmethode Gamma-Strahlen-Absorption	Institut für Geophysik, TU München, Prof. Dr. A. Schult, Dr. J. Pohl
2. Gamma-Spektrometrie für U, Th und K (Natürliche Gamma- Strahlung)	Institut für Geophysik, TU München, Prof. Dr. A. Schult, Dr. J. Pohl
3. Schallwellen-Geschwindigkeiten  Kompressionswellen-Geschwindigk.  Scherwellen-Geschwindigkeit Anisotropie	Institut für Geophysik, TU München, Prof. Dr. H. Soffel, Dr. H. Gebrande
4. Elektrische Parameter  Induktive elektr. Leitfähigkeit Galvanische elektr. Leitfähigkeit Induzierte Polarisierung	Institut für Geophysik, TU München, Prof. Dr. A. Schult, Dr. A. Berkthold
5. Magnetische Parameter  Magnetische Suszeptibilität Remanente Magnetisierung (> 10 mA/m)	Institut für Geophysik, TU München, Dr. J. Pohl, Prof. Dr. A. Schult
6. Wärmeleitfähigkeit und Temperaturleitfähigkeit	Institut für Angewandte Geophysik, TU Berlin, Prof. H. Burkhardt
7. Porosität und Permeabilität	Institut für Geophysik, TU Clausthal, Prof. R. Schopper
8. Spannungsnachwirkungsmessungen (Restspannungen)	Institut für Geophysik, Universität Frankfurt, Prof. H. Berckhemer

## 4 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben



## 4 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

### 4.1 Erläuterungen

Die Realisierung der ehrgeizigen geowissenschaftlichen Zielvorstellungen ist ohne unterstützende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben undenkbar. Dies war bereits in einem frühen Stadium des KTB angezeigt, zumal eine Reihe von Vorhaben eine große Vorlaufzeit bis zum fristgemäßen Einsatz in der Hauptbohrung benötigen; z. B. die Entwicklung und der Bau von Bohrlochsonden.

Eine ausführliche Begründung und Beschreibung der F- und E-Vorhaben ist in diesem Rahmen nicht möglich. Details hierzu lassen sich den Protokollen der ARGEN entnehmen. Die Zielvorstellungen des Arbeitsprogramms in Kap. 3 sollten jedoch bereits so überzeugend sein, daß weitere Erläuterungen sich erübrigen. Dieses Kapitel bezieht sich im wesentlichen auf die Teilziele 2 - 6 sowie 10 des Arbeitsprogramms.

In den folgenden beiden Abschnitten 4.2 und 4.3 werden die aufgrund der länger zurückliegenden Planung und nunmehr bereits durch die DFG/PL finanziell geförderten Vorhaben aufgelistet und deren Zielvorstellungen kurz dargestellt. Daran schließt sich jeweils eine Liste von Vorhaben an, die entsprechend dem Arbeitsprogramm erarbeitet und bei der DFG bzw. der PL mit der Bitte um Förderung eingereicht wurden, wobei aber eine verbindliche Zusage noch aussteht.

In den Abschnitten 4.4 und 4.5 werden die geophysikalischen Schlüsselprojekte und das Tiefen-Observatorium gesondert erläutert, da sich diese, insbesondere das Tiefen-Observatorium, noch in der Planung befinden. Sie werden in diesem Kapitel jedoch mit aufgeführt, da sie letztendlich ebenfalls der Förderung im Sinne von F- und E-Vorhaben bedürfen.

Prinzipiell ist anzumerken, daß die projektbezogenen Notwendigkeiten mit den Möglichkeiten und Interessen der Hochschulen, Institute und Ämter in Einklang gebracht werden mußten und daher nicht immer optimal gelöst werden konnten. Mit der Etablierung der Projektleitung wurde deshalb in der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik versucht, diese Lücken zumindest teilweise zu schließen, indem Firmen um entsprechende Mitarbeit gebeten wurden (z.B. Entwicklungsmöglichkeiten zur Kühlung von Bohrlochsonden bei hohen Bohrlochtemperaturen). Daraus erklärt sich, daß auch Vorhaben von der Projektleitung direkt initiiert wurden.

#### **4.2 DFG-Vorhaben**

Die Reihenfolge der aufgeführten und bereits in der Förderung stehenden F- und E-Vorhaben gibt keinen Hinweis auf Prioritäten; die Auflistung erfolgte in Anlehnung an den Förderungsbeginn. Zur Erleichterung der Zuordnung des Forschungsvorhabens zum Teilziel erfolgte eine entsprechende Kennzeichnung (z. B. Teilziel 2: T2). Mit der Abkürzung GS wurde der Bezug zu den Geophysikalischen Schlüsselexperimenten in Abschn. 4.4 hergestellt. Die (bevorzugte) ARGE-Zugehörigkeit des Antragstellers ist ebenfalls angegeben.

#### **(1) Vorhaben, die bereits von der DFG gefördert und finanziert werden**

##### **1. Entwicklung und Erprobung eines Hochdruck-Permeameter-Porosimeter für Untersuchungen an kristallinen Tiefbohrkernen; T2, T3, ARGE 4**

**Antragsteller: Institut für Geophysik, TU Clausthal,  
Prof. R. Schopper**

**Förderung seit: 01.04.1985**

Der Aufbau und die Erprobung des bereits begonnenen Hochdruck-Permeameter-Porosimeter soll vollendet werden. Danach ist der Einsatz der Apparatur für Untersuchungen an kristallinen Gesteinen der Kontinentalen Tiefbohrung geplant. Bei diesen Untersuchungen sollen die Porosität, die Permeabilität, die exakte Klinkenberg-Konstante unter im übrigen konstanten Zustandsbedingungen des Porengases, die Forchheimer-Konstante unter entsprechenden Bedingungen sowie die kritische Strömungsgeschwindigkeit - d.h. die obere Grenze des Darcy-Bereiches bzw. die untere Grenze des Forchheimer-Bereiches - bestimmt werden. Alle Untersuchungen sollen unter unterschiedlichen  $p, T$ -Bedingungen durchgeführt werden, um aus den Druck- bzw. Temperaturabhängigkeiten der oben genannten Größen, in Verbindung mit den Daten anderer Arbeitsgruppen und den existierenden Theorien, eine vollständige Gefügeinformation des untersuchten Gesteins zu erhalten.

##### **2. Erprobung eines Bohrlochmagnetometers für eine vertikale Gradientensondierung erdmagnetischer Variationen; T5, T8, T 10, GS, ARGE 4**

**Antragsteller: Institut für Geophysik, Univ. Göttingen,  
Dr. E. Steveling**

**Förderung seit: 01.05.1985**

Die vertikale Gradientensondierung ist eine neue Methode zur Bestimmung der über große Volumina integrierten Leit-

fähigkeit des Untergrundes. Ein erster Versuch mit einem existierenden, aber für andere Aufgaben gebauten Bohrlochmagnetometer hat gezeigt, daß die Methode noch weiter getestet werden muß, bevor sie in der Kontinentalen Tiefbohrung eingesetzt wird. Es wird daher ein Bohrlochmagnetometer für Temperaturen bis 80 °C entwickelt (Abb. 4.1). Die eingebaute triaxiale Förstersonde hat eine Auflösung von 0,1 nT. Die Sonde liefert digitale Daten, die übertage mit einem eigenen Datenlogger aufgezeichnet werden sollen.

- 3. Entwicklung und Erprobung von Auswerteverfahren für elektrische Bohrlochmessungen im Rahmen des KTB, einschließlich Messungen der induzierten Polarisation zur Erkundung der Porosität/Permeabilität von Fluiden; T2, T8, T10, ARGE 4**  
**Antragsteller: NLFB, Hannover, Dr. D. Vogelsang**  
**Förderung seit: 01.04.1986, Erweiterung ab 01.01.1988 beantragt**

Das bereits bestehende Forschungsvorhaben soll um die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen der Fluidpolarisation erweitert werden. Es ist vorgesehen, aus Bohrlochmessungen der induzierten Polarisation neuartige Verfahren zur Bestimmung von Porosität und Permeabilität im Gestein abzuleiten; vergl. hierzu Abb. 4.2. Durch rechnerische Diskrimination sollen die IP-Effekte von Sulfiden bzw. Graphit von den IP-Effekten der Fluide unterschieden werden.

- 4. Entwicklung von Auswertemethoden für Bohrlochmessungen im Kristallin mit mikroklüftiger Porenraumstruktur; T2, T10, ARGE 4**  
**Antragsteller: Institut für Geophysik, TU Clausthal,**  
**Prof. R. Schopper**  
**Förderung seit: 01.09.1986**

Entwicklung und Erprobung von Auswertemethoden für Bohrlochmessungen im Kristallin mit mikroklüftiger Porenraumstruktur aufgrund bestehender und noch zu erarbeitender petrophysikalischer Theorien und in Verbindung mit petrophysikalischen und licht- und elektronenmikroskopischen Kernuntersuchungen, z. T. unter simulierten in situ Bedingungen sowie unter besonderer Beachtung der Druck- und Temperaturabhängigkeit der eingehenden elektrochemischen Grenzschichtparameter. Auswerteverfahren für Elektro-, spektrales Gamma-, Density-, Neutron- und Akustik-Log (elektrische Messungen auch frequenzabhängig, getrennt nach Real- und Imaginäranteil).

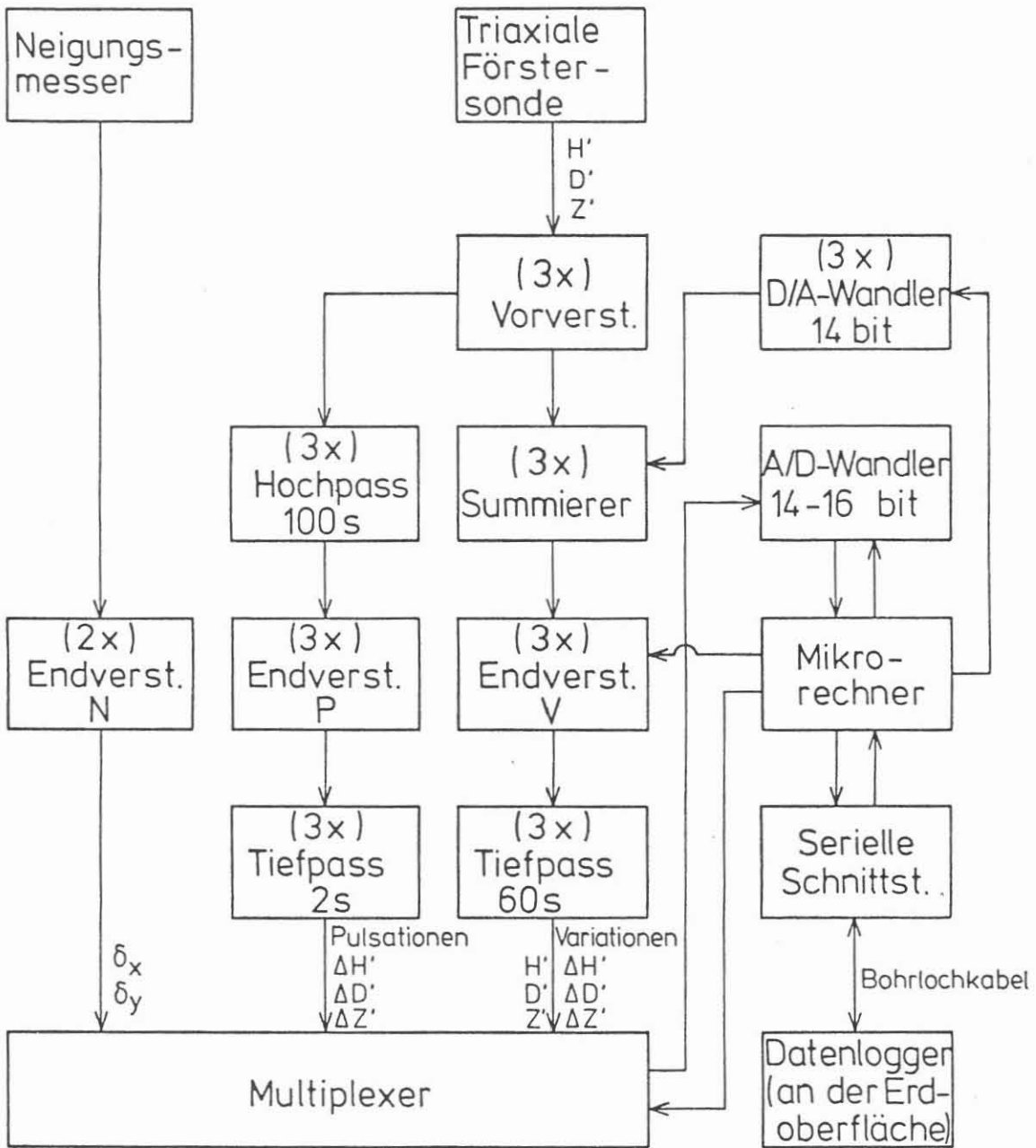


Abbildung 4.1: Blockschaltbild Bohrlochmagnetometer.



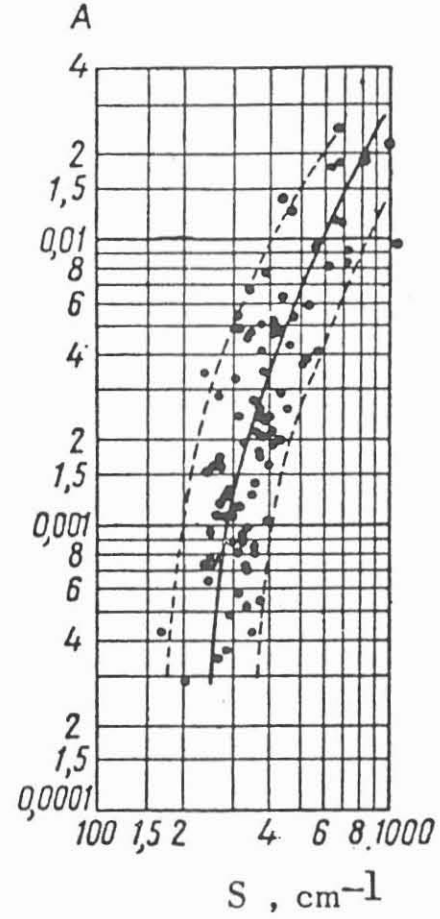
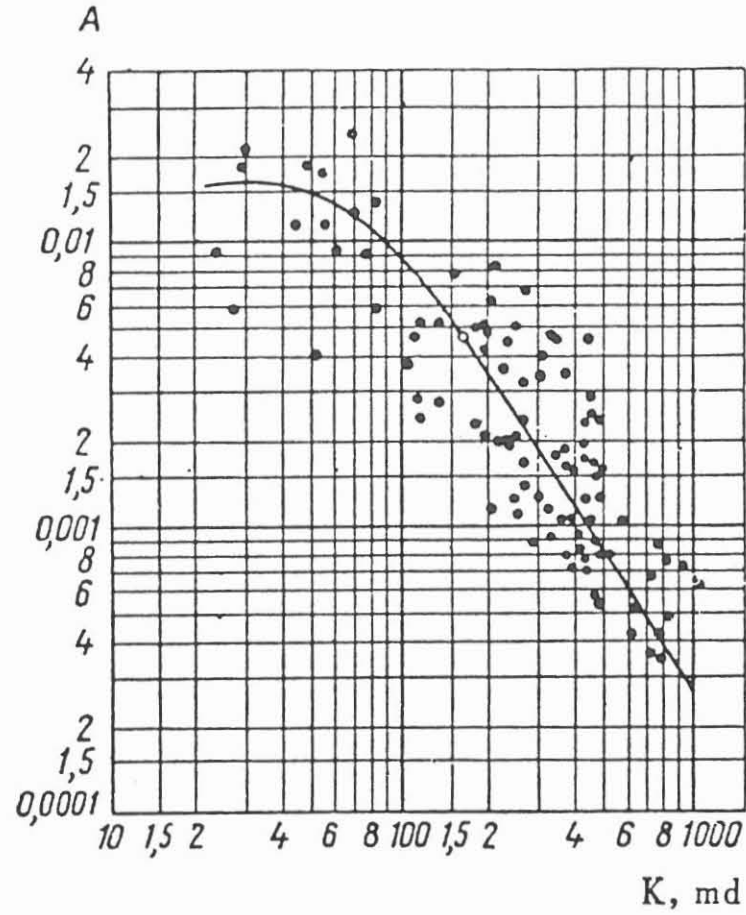


Abbildung 4.2: Experimenteller Zusammenhang von induzierter Polarisation  $A$  und Permeabilität  $K$  bzw. spezifischer Oberfläche  $S$  (DAKHNOV, 1959).

5. Verbesserung des Verfahrens zur Messung der Wärmeproduktionsrate von Gesteinen durch Bestimmung der Konzentration von U, Th und K mittels Spektrometrie der natürlichen und induzierten Gammastrahlung im Hinblick auf die KTB;

T2, T3, ARGE 6

Antragsteller: Geochemisches Institut, Univ. Gießen,  
Prof. U. Haack;  
Geochemisches Institut, Univ. Göttingen,  
Dipl.-Geophys. E. Gohn;  
Zentrales Isotopenlaboratorium für Medizinische und Biologische Forschung,  
Univ. Göttingen, Dipl.-Phys. K.-H. Becker

Förderung seit: 01.07.1986

An die Messung der Wärmeproduktion in den Gesteinen der KTB werden erhöhte Ansprüche gestellt. Zugleich werden die Meßbedingungen schwieriger, da die natürliche Radioaktivität mit der Teufe abnehmen wird und oft nur kleine Probenmengen zur Verfügung stehen. Daher müssen Verbesserungen des Meßverfahrens eingeführt werden. Diese beruhen i. w. auf einer besseren Ausnutzung des natürlichen Gamma-Signals durch ein verbessertes Auswerteverfahren sowie auf dem Einsatz eines K-armen, mit Am dotierten NaJ-Kristalls. Weiterhin sollen die Mineralogie der U-Th-Träger-Minerale sowie deren Gehalt an U und Th untersucht werden, um evtl. An- oder Abreicherungsmechanismen und deren Abhängigkeit von der Teufe auf die Spur zu kommen.

6. Zwei- und dreidimensionale Simulationsrechnungen zum erweiterten Induktionslog = Induction-Wave-Log; T2, T10

Antragsteller: Institut für Geophysik und Meteorologie,  
Univ. Köln, Prof. F. M. Neubauer,  
Dr. K.-M. Strack

Förderung seit: 01.09.1986

Die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit in kleiner und größerer Entfernung vom Bohrloch läßt sich elektrodenlos mittels Induction-Log-Sonden bestimmen.

Es sollen Modellrechnungen zum Induction-Log (IL) durchgeführt werden, bei denen unter Berücksichtigung beliebiger zwei- und dreidimensionaler Leitfähigkeits- und Dielektrizitätsverteilungen um ein Bohrloch das elektromagnetische Feld eines magnetischen Dipols bei gegebener Frequenz numerisch berechnet wird. Ziel dieser Simulation ist es, Modelle zur verbesserten Interpretation und Kontrolle der klassischen IL-Messungen bereitzustellen. Besondere Bedeutung

soll hierbei die Simulation von IL in dreidimensionalen, nicht-rotationssymmetrischen Modellformationen haben. Es soll untersucht werden, inwieweit die derzeit angewandten zweidimensionalen Interpretationstechniken von IL-Sondierungen durch das Vorhandensein von schräg zum Bohrloch einfallenden Schichten oder von Störkörpern verfälscht werden.

Die Rechnungen können für einfache Dipolsender-Empfänger-Anordnungen aber auch in der Industrie eingesetzte Mehrfachsender- und Mehrfachempfänger-Anordnungen durchgeführt werden.

- 7. Auswertung von Permeabilitäts- und Hydrofrac-Spannungsmessungen in der KTB-Vorbohrung Oberpfalz sowie begleitende Forschungsarbeiten zur Geräteentwicklung der Fa. MESY GmbH, Bochum; T3, T5, GS, ARGE 3**  
**Antragsteller: Institut für Geophysik, Ruhr-Universität Bochum, Prof. F. Rummel**  
**Förderung seit: 01.11.1986**

Hydrofrac-Spannungsmessungen sowie Permeabilitäts- bzw. Transmissivitätsmessungen sind in der Vorbohrung eingeplant. Die Durchführung der Messungen soll durch die Firma Mesy GmbH. erfolgen (Kostenangebot an PL). Die Auswertungen sind mit vorhandenen theoretischen Vorstellungen am Institut für Geophysik vorgesehen. Dies betrifft insbesondere die Weiterentwicklung eines Frac-Modells auf der Grundlage der Bruchmechanik (Energiebilanz) sowie der Berücksichtigung von Flüssigkeitsverlusten und der Strömungsmechanik im induzierten Riß bzw. in vorhandenen Kluftflächen.

- 8. Auswertung der Bohrlochlogs der KTB-Vorbohrung hinsichtlich Porosität und Permeabilität unter Anwendung geostatistischer Bearbeitungsverfahren; T2, T4, T10, ARGE 4**  
**Antragsteller: Institut für Angewandte Geophysik, TU Berlin, Prof. H. Burkhardt**  
**Förderung seit: 01.01.1987**

Die Auswertung von Bohrlochmessungen im Kristallin ist zur Zeit nur möglich, wenn eine Kalibrierung der Logs in der gleichen geologischen Formation erfolgen kann, in der auch die Daten interpretiert werden sollen. Das KTB bietet mit Vor- und Hauptbohrung die einmalige Gelegenheit, die geophysikalischen Bohrlochmeßverfahren in der Vorbohrung zu kalibrieren, um sie dann in der Hauptbohrung gezielt einsetzen zu können. Die Porosität (Matrix- und Kluft-Porosi-

tät) sowie die Permeabilität sollen aus den Meßergebnissen der geophysikalischen Bohrlochlogs der Vorbohrung unter Einbeziehung der Ergebnisse der Labormessungen, der gesteinsphysikalischen Modelluntersuchungen, der hydraulischen Tests und der lithologischen Untersuchungen mit Verfahren der multivariaten Statistik bestimmt werden.

**9. Integrierte Meßmethode zur Bestimmung von Porosität und Permeabilität dichter Medien; T2, T3, ARGE 4**

**Antragsteller: Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung, TU Clausthal,  
Prof. G. Pusch**

**Förderung seit: 01.01.1987**

Für die Labormessung der Permeabilität und Porosität an Bohrkernen nach der integrierten Meßmethode steht ein Triaxialpermeameter (Abb. 4.3) zur Verfügung, welches in situ-nahe Meßbedingungen ermöglicht. Bisherige Messungen an Granitkernen (Grimsel-Massiv/Schweiz) zeigen einen starken Einfluß des Spannungszustandes auf die Permeabilität. Zwischen stationär und instationär gemessenen Permeabilitäten ergeben sich Unterschiede, die auf einen erheblichen 'Dead-end'-Porenanteil hindeuten. Dieser Porenanteil stellt für Logauswertungen und Modellberechnungen eine wichtige Größe dar. Durch Kombination der instationären Permeabilitätsmessung und einer weiteren Methode, der Dispersionsmessung, soll im beantragten Vorhaben zusätzlich zur Porosität und Permeabilität das 'Dead-end'-Porenvolumen bestimmt werden. Die Messungen werden in Ringversuchen mit Prof. Schopper/TU Clausthal und Prof. Burkhard/TU Berlin erfolgen.

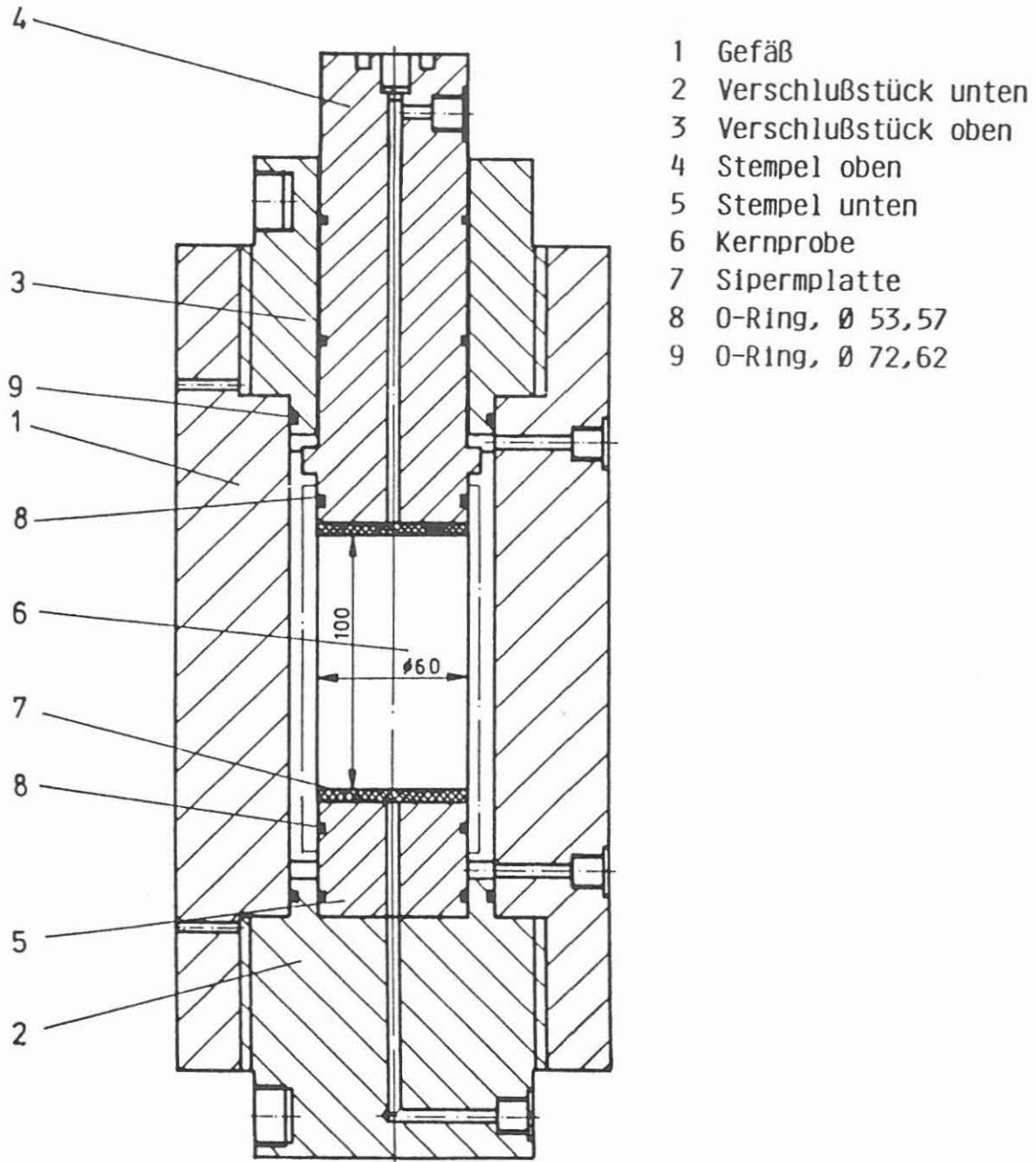


Abbildung 4.3: Triaxialzelle zur Bestimmung von Porosität und Permeabilität dichter Medien.

**(2) Vorhaben in der Planungsphase, die bei der DFG bereits eingereicht wurden**

---

- 10. Bestimmung physikalischer Gesteinsparameter unter in situ-Bedingungen; T3, T4, ARGE 4**  
**Antragsteller: Institut für Angewandte Geophysik, TU Berlin, Prof. H. Burkhardt;**  
**Institut für Geophysik, TU Clausthal, Prof. R. Schopper**

**Förderung beantragt ab: 01.01.1988**

Es sollen die Wärme- und Temperaturleitfähigkeiten an Kernmaterial unter in situ Bedingungen gemessen werden. Darüber hinaus ist vorgesehen, die Druck- und Temperaturabhängigkeiten dieser Eigenschaften zu erfassen, um Prognosen der Gesteinsparameter für größere als die erbohrten Tiefen abgeben zu können. Vom gleichen Kernmaterial werden auch die seismischen Geschwindigkeiten und die Dichte bestimmt. Mit diesen physikalischen Eigenschaften unter in situ Bedingungen sollen Korrelationsbeziehungen zwischen den thermischen Leitfähigkeiten und sowohl den seismischen Geschwindigkeiten wie auch der Dichte untersucht werden, um aus seismischen und gravimetrischen Modellen auch Wärmeleitfähigkeitsmodelle der Erdkruste abschätzen zu können. Im übrigen liefern obige thermische Parameter zusammen mit den elastischen, elektrischen und hydraulischen Parametern wichtige Strukturinformationen zum Porenraum und Feststoffgerüst und sind damit für einen vollständigen Parametersatz unverzichtbar.

- 11. Uran- und Bleiisotope an Gesteinen der Kontinentalen Tiefbohrung; T2, T3, ARGE 6**  
**Antragsteller: Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung der Univ. Gießen**  
**Prof. U. Haack**  
**Förderung beantragt ab: 01.01.1989**

Die Tiefbohrung ist gerade tief genug, um die weithin vermutete starke Abnahme der Gehalte an U und Th sowie der U/Pb- und Th/Pb-Verhältnisse mit der Tiefe erfassen zu können. Das Ziel des Projektes ist es, diese Grundannahme aller geothermischen wie auch aller geochemischen Modelle der kontinentalen Erdkruste zu überprüfen. Es sollen Gamma-Spektrometrie und Messungen der Isotopenverhältnisse des Pb in Gesamtgestein, Feldspäten und Sulfiden erfolgen. Daraus werden u. a. Hinweise auf die Vorgeschichte von Edukten sowie die Herkunft von Erzblei erhofft. Es wird versucht werden, evtl. Umlagerungen von Uran nach Ausmaß und Alter zu erfassen. Datierungen von Zirkon und Monazit sind nicht beabsichtigt.

12. Bohrloch- und gesteinsmagnetische Messungen zur Erforschung magnetischer Diskontinuitäten im Gebirge; T3, T4, T8, ARGE 4  
Antragsteller: NLFB, Hannover, Prof. A. Hahn  
BGR, Hannover, Prof. W. Bosum

Förderung beantragt ab: 01.01.1988

Eine Kette positiver Magnetfeldanomalien zieht sich von Baden-Baden nach Erbendorf in ENE Richtung (Abb. 4.4A). Sie fällt zusammen mit der Suturzone, die die Grenze Saxothuringikum/Moldanubikum kennzeichnet. Als Deutung kommen hier in erster Linie Effekte von thermischen Vorgängen in Betracht, die zur Bildung magnetischer Minerale geführt haben. Diese bilden im Gebirge Zonen mit unterschiedlichem Magnetisierungscharakter; ihre Grenzflächen können als "magnetische Diskontinuitäten" beschrieben werden. Diese Phänomene sollen mit Hilfe von magnetischen Bohrlochmessungen (Abb. 4.4B) in der KTB und in gesteinsmagnetischen Untersuchungen studiert werden.

13. Messung simulierter in situ-Geschwindigkeiten von P- und S-Wellen an ausgewählten Bohrkernproben der Vor- und Hauptbohrung. Korrelation petrophysikalischer Daten mit chemischen und modalen Stoffbeständen; T3, T4, ARGE 4  
Antragsteller: Mineralog.-Petrograph. Instit., Univ. Kiel, Prof. H. Kern  
Förderung beantragt ab: 01.01.1988

Es wird im Rahmen des Schwerpunktes als notwendige Aufgabe angesehen, an gezielt entnommenen Bohrkernproben der Vor- und Hauptbohrung die elastischen Wellengeschwindigkeiten ( $v_p$ ,  $v_s$ ), die Geschwindigkeitsanisotropien, die Gesteinsdichten, die Poissonzahlen sowie die dynamischen E- und G-Moduli unter p- und T-Bedingungen zu bestimmen, die sich an den jeweiligen Entnahmeteufen orientieren.

Die Messungen  $v_p$  unter Druck und Temperatur werden an würfelförmigen Gesteinsproben in einer dreiaxialen Stempel- presse durchgeführt (Abb. 4.5). Durch allseitig gleichen Stempelvorschub wird in den Würfelproben ein quasi-hydrostatischer Druck erzeugt (max. 600 MPa). Die Aufheizung der Probe erfolgt über die Stempel. Die Wandler sind jeweils am gekühlten Stempelende angebracht, so daß hinsichtlich der maximalen Meßtemperatur der Curie-Punkt des Wandlermaterials keine Rolle spielt und die Geschwindigkeiten elastischer Wellen bis etwa 750 °C gemessen werden können. Probenform und Stempelanordnung erlauben die

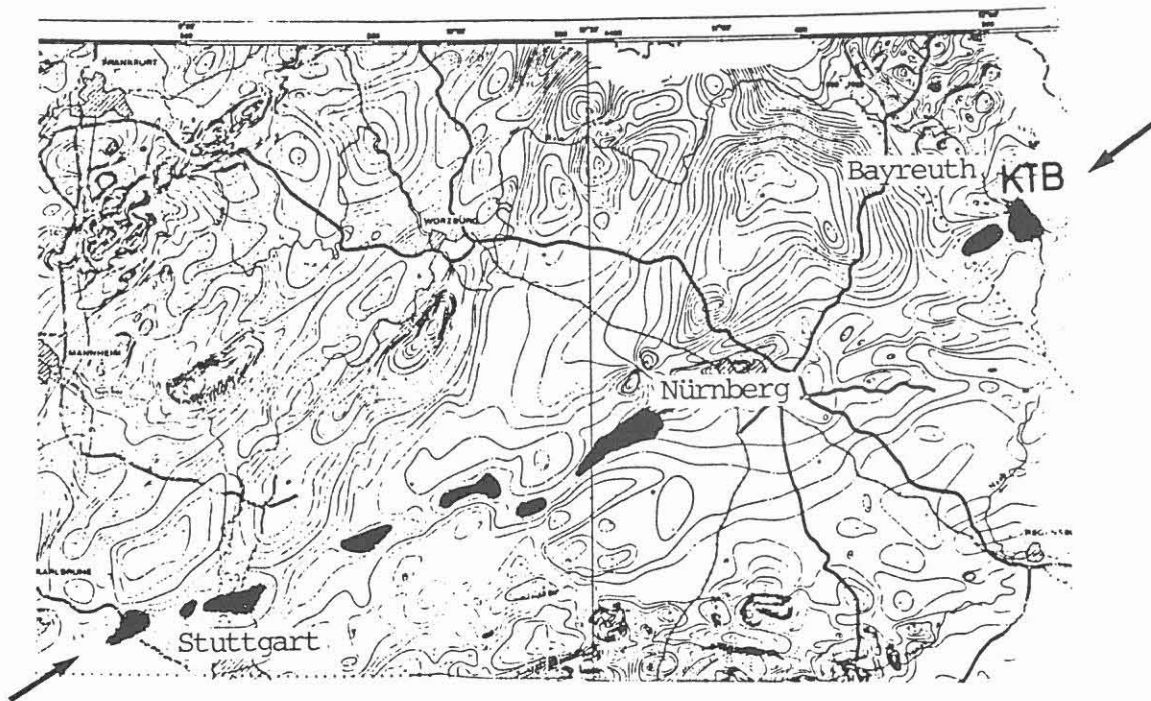
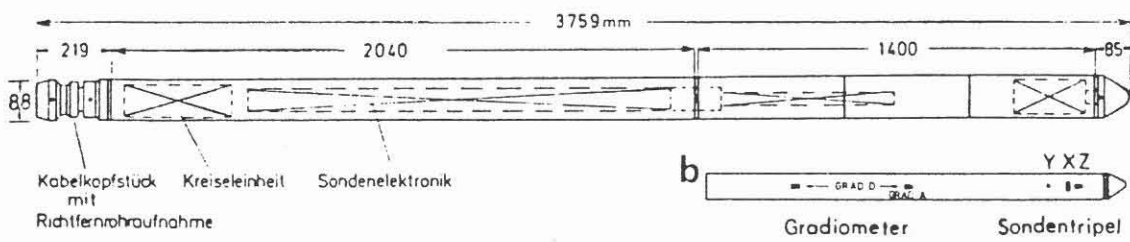


Abbildung 4.4A: Verteilung der  $\Delta T$ -Anomalien in Süddeutschland.

Abbildung 4.4B: Aufbau des 3-D-Bohrlochmagnetometers.





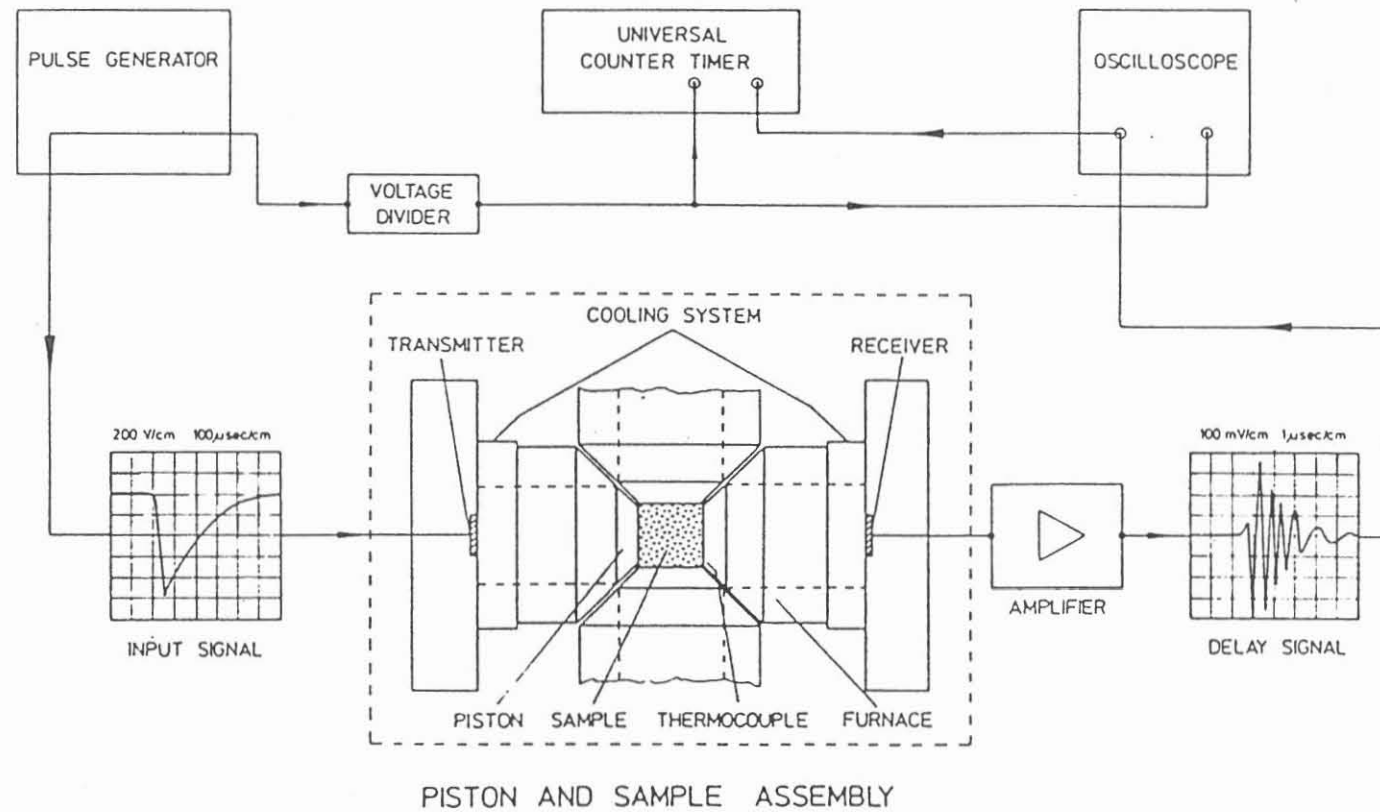


Abbildung 4.5: Schematische Darstellung der Meßanordnung in der dreiaxialen Stempel-  
 presse des Mineralogischen Institutes der Universität Kiel zur Messung  
 simulierter in situ Geschwindigkeiten von P- und S-Wellen an  
 Bohrkernproben.

gleichzeitige Messung von  $v_p$  und  $v_s$  in drei orthogonalen Richtungen, so daß auch Aussagen über die Richtungsabhängigkeit der Wellenausbreitung gemacht werden können. Darüber hinaus lassen sich aus dem Stempelvorschub Änderungen des Porenvolumens und der Probendichte als Funktion von Druck und Temperatur ermitteln.

Die Kombination der petrophysikalischen Daten mit den entsprechenden mineralogischen, chemischen und gefügekundlichen Befunden ermöglicht eine Kalibrierung der seismischen Methoden bei der Tiefensondierung.

**14. Thermische und elektrische Leitfähigkeit von Kernproben bei erhöhten hydrostatischen Drücken und Temperaturen; T3, T4, ARGE 4**

**Antragsteller: Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik, Univ. München, Prof. A. Schult**  
**Förderung beantragt ab: 01.01.1988**

Die Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit sollen an zylindrischen Gesteinsproben (etwa 25 mm Durchmesser und 80 mm Länge) in einer vorhandenen Gasdruckapparatur unter in situ Bedingungen (max. erreichbar etwa 7 kbar und 500 °C) gemessen werden. Wegen der in Gesteinen vorhandenen Mikrorisse ist zu erwarten, daß verhältnismäßig geringe Drücke erheblichen Einfluß auf die thermischen und elektrischen Transporteigenschaften haben können.

### **4.3 PL-Vorhaben**

Die Reihenfolge der aufgeführten und bereits in der Förderung stehenden F- und E-Vorhaben gibt auch hier keinen Hinweis auf Prioritäten; die Auflistung erfolgte in Anlehnung an den Förderungsbeginn. Zur Erleichterung der Zuordnung des Forschungsvorhabens wurden wieder entsprechende Kennzeichnungen verwendet: (z. B. Teilziel 2  $\Delta$  T2, GS liefert den Bezug zum Geophysikalischen Schlüsselprojekt in Abschn. 4.4 und die (bevorzugte) ARGE-Zugehörigkeit des Antragstellers ist ebenfalls angegeben.

#### **(1) Vorhaben, die bereits von der PL gefördert und finanziert werden:**

- 1. Entwicklung und Bau einer Ultraschall-Bohrlochsonde für große Teufen und hohe Temperaturen zur akustischen Abtastung der Bohrlochwand; T5, T8, ARGE 4**  
**Antragsteller: Institut für Geophysik, Westfälische Berggewerkschaftskasse, Bochum**  
**Dr. R. Schepers**  
**Förderung seit: 15.08.1986**

Es soll ein neuer Televiever mit einem feststehenden akustischen Array entwickelt werden. Ein solches System wird bessere akustische Eigenschaften haben und es wird höhere Logging-Geschwindigkeiten ermöglichen. Außerdem wird eine Hochtemperaturversion leichter zu realisieren sein. Im ersten Schritt soll eine Bohrlochsonde entwickelt werden, deren Elektronik bis zu Temperaturen von 200 °C arbeitet. Die Sonde soll bis zu Teufen von 8 000 einsetzbar sein. Eine Hochtemperaturversion für Temperaturen bis 300 °C soll dann erreicht werden durch Verwendung eines Dewar-Gefäßes für den Elektronikteil der Sonde. Da die Logging-Geschwindigkeit i. w. durch die Datenübertragungsrate auf dem Meßkabel begrenzt wird, sollen Programme zur on line-Datenreduktion in der Sonde entwickelt werden. Es ist außerdem vorgesehen, ein Software-Paket zur interaktiven Datenbearbeitung, Datenauswertung und zur graphischen Darstellung zu entwickeln.

- 2. Testmessungen TEM in Vorbohrungen an KTB-Lokationen Schwarzwald und Oberpfalz; T2, T8, GS, ARGE 4**  
**Antragsteller: BGR, Hannover, Dr. S. Greinwald**  
**Förderung seit: 01.09.1986**  
**Förderungsende: 31.12.1986**

Dieses Projekt war eine Vorstufe zum Einsatz elektromagnetischer Transientenmessungen (TEM) im KTB und sollte eine

bessere Beurteilung der Aussagekraft solcher Verfahren beim Einsatz in der Tiefbohrung ermöglichen. Dazu wurden Testmessungen in den schon bestehenden Bohrungen des KTB an beiden zur Diskussion stehenden Lokationen Schwarzwald und Oberpfalz durchgeführt. Solche Messungen können bis in ca. 500 m Tiefe mit der aus der Erzexploration vorhandenen Ausrüstung (TEM-Sender, Sirottem-Empfänger und Sirottem-Bohrlochsonde) durchgeführt werden. Ziel der TEM ist es, einen großen Bereich (tiefenabhängig bis zu mehreren Hundert Metern) um das Bohrloch zu erfassen. Dabei können auch Anomalien erkannt werden, die nicht vom Bohrloch durchörtet wurden.

- 3. Änderung von Festigkeitseigenschaften kristalliner Gesteine bei thermomechanischer Wechselbelastung im Hinblick auf die Bohrlochstabilität; T2, ARGE 3**  
**Antragsteller: Institut für Felsmechanik, TU Karlsruhe**  
**Prof. O. Natau**  
**Förderung seit: 01.12.1986**

Die kristallinen Gesteine der Erdkruste werden im Laufe des Abteufens der KTB-Tiefbohrung durch häufige Wechsel der Temperatur (Spülung, Bohrvorgang) indirekt mechanisch beansprucht. Die Temperaturwechsel induzieren auf Grund des unterschiedlichen thermischen Ausdehnungsverhaltens der verschiedenen Minerale diese mechanische Beanspruchung. Thermisch und/oder mechanisch verursachte Wechselbelastungen können zu einer Materialermüdung führen und so die Bohrlochstabilität beeinflussen. Es sollen Laborversuche darüber Aufschluß geben, in welchem Maße die wechselnde thermomechanische Beanspruchung des Gesteins zu einer Festigkeitsabnahme führt. Entsprechend den in der Materialprüfung eingeführten Wöhlerkurven sollen zwei verschiedene Gesteinstypen (Granit, Paragneis) auf zwei verschiedenen Temperaturniveaus (150 °C, 250 °C) unter gleichbleibendem, allseitigem Druck ( $P_M = 65 \text{ MPa}$ ) zusätzlich axial belastet werden. Diese axiale<sup>M</sup> Belastung soll als sinusförmig zu- und abnehmende Zusatzlast dem allseitigen Druck so oft überlagert werden, daß der Prüfkörper versagt. Durch unterschiedlich hohe Amplituden der Axiallast sollen wenigstens fünf Stützstellen für eine Wöhlerkurve gefunden werden. Zusätzlich sollen Prüfkörper unter definierter mechanischer Belastung im Traxialversuch einer thermischen Wechselbelastung ausgesetzt werden. In ersten Pilotversuchen dieser Art soll geprüft werden, ob die Gesteine unter diesen Bedingungen in vergleichbarem Maße entfestigt werden und ob eine Gefügeflockerung eintritt. Beide Versuchstypen sollen gegebenenfalls die festigkeitsmechanischen Verände-

rungen im Hinblick auf die zu erwartende Verringerung der Bohrlochstabilität quantifizieren. Zur Frage der Bohrlochstabilität soll vorab eine Studie erstellt werden, in der bestehende Verfahren zur rechnerischen Erfassung dieses Problems erläutert werden (State of the Art Report).

**4. Weiterentwicklung einer Bohrlochsonde zur in situ Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit für größere Tiefen; T5, T8, ARGE 4**

**Antragsteller: Institut für Angewandte Geophysik, TU Berlin  
Prof. H. Burkhardt**

**Förderung seit: 01.01.1987**

Die Wärmeleitfähigkeit (WLF), ein entscheidender Parameter sowohl bei der Bestimmung der terrestrischen Wärmestromdichte als auch für Temperaturprognosen über die erbohrte Tiefe hinaus, ist wie andere Gesteinsparameter eine von Druck und Temperatur abhängige Größe. Um die WLF unter den Bedingungen einer Tiefbohrung zu messen, wird eine Bohrlochsonde benötigt, mit der diese Messungen in situ vorgenommen werden können. Hierzu soll eine bestehende Sonde für Flachbohrungen in einem ersten Schritt für eine Einsatztiefe von 3 000 m erweitert sowie Problemlösungen für eine bis zur Endteufe der Tiefbohrung einsetzbare Sonde erarbeitet werden.

Das Meßprinzip basiert auf dem einer zylindrischen Heizquelle (Linienquelle). Hierbei ist die Temperatur der Heizquelle, bei zeitlich konstanter Heizleistung, nach einer Mindestheizdauer eine lineare Funktion des Logarithmus der Zeit. Die Steigung des linearen Temperaturanstiges ist umgekehrt proportional zur WLF des Materials, das die zylindrische Quelle umgibt.

Die Realisierung der zylindrischen Heizquelle wird dadurch erreicht, daß ein Teil der Wassersäule im Bohrloch durch aufblasbare Wireline-Doppelpacker vom übrigen Teil getrennt und aufgeheizt wird (Abb. 4.6). Dieser Teil der Wassersäule dient somit als eine Linienquelle. Die Packer verhindern hierbei einen konvektiven Austausch zwischen der Quelle und dem restlichen Bohrloch. Die Beheizung erfolgt elektrisch und der erforderliche konstante Heizstrom wird über eine geregelte Gleichstromquelle geliefert. Eine kontinuierliche Durchmischung der beheizten Wassersäule zwischen den Packern gewährleistet eine isotherme Quelle.

Die Temperaturmessung erfolgt als 4-Leiter-Widerstandsmessung von mehreren über die Länge verteilten Pt-1000-Fühlern in der Elektronikeinheit der Sonde. Die Daten werden frequenzmoduliert nach Übertage übertragen und dort vom Steuerungsrechner erfaßt.

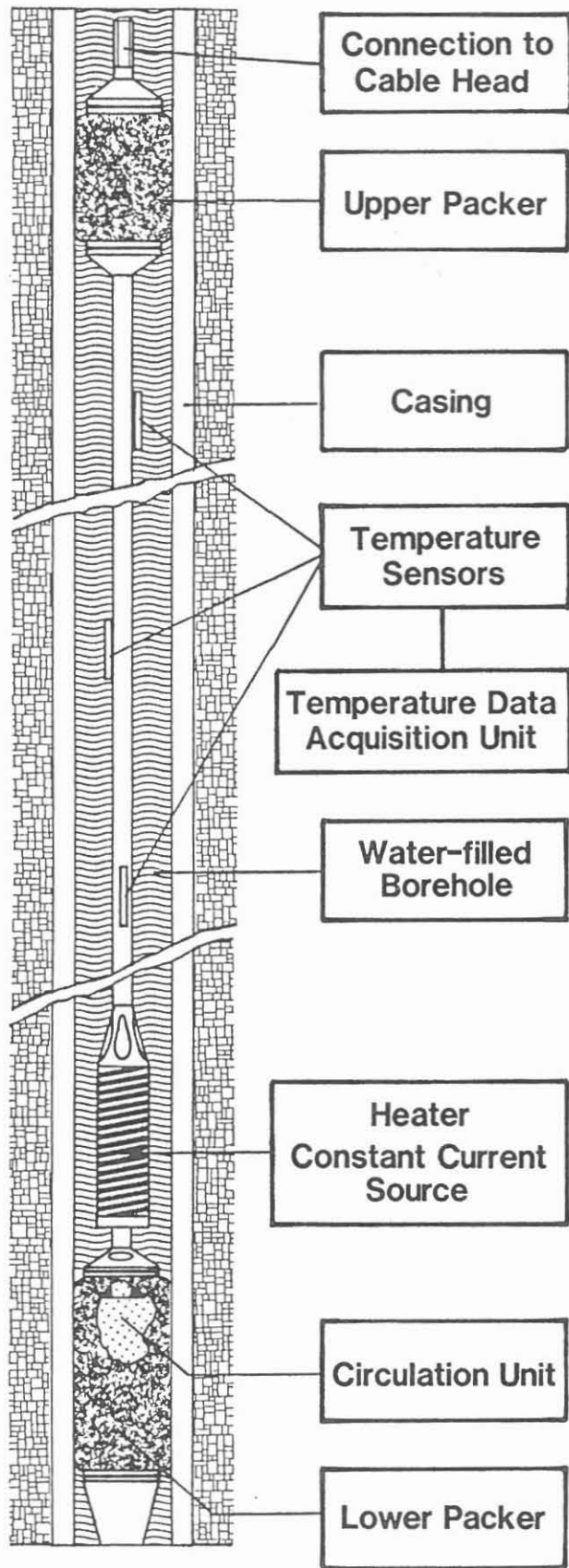


Abbildung 4.6: Schematische Darstellung der Wärmeleitfähigkeitssonde in einer verrohrten Bohrung.

**5. Untersuchung und Entwicklung zum Einsatz von Peltier-Elementen bei hohen Temperaturen zur Kühlung von Elektronik-Bauteilen bei der Kontinentalen Tiefbohrung; T2, T5**

**Antragsteller: Firma Dr. D. Neumann, München  
Förderung seit: 01.01.1987**

Die Kühlung der Elektronik-Bauteile an Bohrloch-Logging-Sonden, die für eine Datenübertragung nach Übertage notwendig sind, ist bei möglichen Temperaturen von über 300 °C in 14 000 Tiefe von besonderer Bedeutung. Es soll deshalb die Möglichkeit der Anwendung von Peltier-Elementen geprüft werden. Diese Peltier-Elemente könnten eingesetzt werden für die Kühlung einzelner elektronischer Bauteile oder für die Gesamt-Kühlung eines nach außen thermisch sehr gut isolierten Systems. Denkbar ist sowohl eine Kühlung mit Peltier-Elementen als Primär-Kühlmaßnahme als auch eine solche als sekundäre Kühlmaßnahme. Als sekundäre Kühlmaßnahme wäre z. B. eine Kühl-Kombination von Peltier-Elementen mit einer Spülungskühlung durch Coiled Tubings zu bezeichnen.

**6. Durchführung von projektbezogenen thermomechanischen Berechnungen für den bohrlochnahen Bereich der Bohrung unter Berücksichtigung der von der Projektleitung aus der laufenden Bohrplanung entwickelten Randbedingungen; T2, ARGE 3**

**Antragsteller: Institut für Unterirdisches Bauen,  
TU Hannover  
Dr. R. B. Rokahr  
Institut für Bergbau TU Clausthal,  
Prof. K. H. Lux**

**Förderung seit: 01.02.1987**

Für die Planung und Durchführung der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB) ist u. a. eine kontinuierliche geomechanische Betreuung erforderlich. Daher sollen im Rahmen des Antrages projektbezogene thermomechanische Berechnungen zur Ermittlung der Zustandsgrößen Temperatur, Spannung, Verformung und Verzerrung im bohrlochnahen Bereich der Bohrung durchgeführt werden. Die Randbedingungen für diese anwendungsbezogenen Berechnungen ergeben sich aus den Überlegungen zur Bohrplanung und sollen mit der laufenden technischen Planung aktualisiert werden.

Die Berechnungen werden in Abstimmung mit und nach Vorgabe der KTB-Projektleitung am Institut für Unterirdisches Bauen der Universität Hannover durchgeführt. Dazu werden vom Institut vorhandene Finite-Element-Programme sowie die institutseigene Computeranlage zur Verfügung gestellt.

In einem ersten Schritt sind Untersuchungen zu folgenden Themenbereichen vorgesehen:

- Bohrlochstabilität unter Einbeziehung thermisch induzierter Spannungen,
- bohrtechnisch induzierte Auflockerungsbereiche,
- technische Randbedingungen für die Bohrkernentnahme,
- Bohrlochstabilität in Abhängigkeit des Porenwasserdruckes,
- Bohrtätigkeit.

**7. Vorversuche zum Funktionsprinzip einer Geomechaniksonde mit geoelektrischer Anzeige; T2**  
**Antragsteller: Preussag AG, Erdöl und Erdgas, Hannover**  
**Förderung seit: 01.03.1987**

Es soll eine elektrische Meßsonde mit 4-Punkt-Elektrodenanordnung entwickelt werden, die es gestattet, im Laborversuch das Öffnen von Mikrorissen in einer Gesteinsprobe als Funktion des hydraulischen Drucks durch Gleichstromwiderstandsänderungen zu registrieren (Abb. 4.7). Es soll mit diesen Messungen auf den Gebirgsspannungszustand und die hydraulischen Parameter des Gebirges geschlossen werden. Dazu wird eine zylindrische Gesteinsprobe von 20 cm Länge und 12 cm Durchmesser mit einer axialen Bohrung von 3 cm Durchmesser versehen, in welche die Meßanordnung in einem abgepackten Bereich eingebaut wird. Diese Konfiguration wird in einem Hochdruckautoklaven installiert und Matrix- und Poreninnendruck eingestellt. Der hydraulische Druck wird kontinuierlich bis unter die Grenze zum Frac-Druck gesteigert. Eine verstärkte Mikrorißöffnung wird erwartet, wenn der hydraulische Druck im abgepackten Bereich den Matrixdruck erreicht, und die Flüssigkeitsinfiltration von aus dem Bohrloch durch eine Veränderung des im Porenraum befindlichen Elektrolyten eine meßbare Widerstandsänderung verursacht.

**8. Faciolog-Untersuchung zur Nutzung geophysikalischer Bohrlochmessungen für die Entwicklung eines lithologischen Bohrprofils im Kristallin; T4, T10, ARGE 4**  
**Antragsteller: RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Angewandte Geophysik, Prof. Dr. J. Wohlenberg; Lehrstuhl für Geologie und Paläontologie Prof. Dr. R. Walter**  
**Förderung seit: 01.07.1987**

Für die Vorbohrung des KTB ist vorgesehen, sowohl weitgehend zu kernen als auch ein umfangreiches bohrlochgeophysisi-



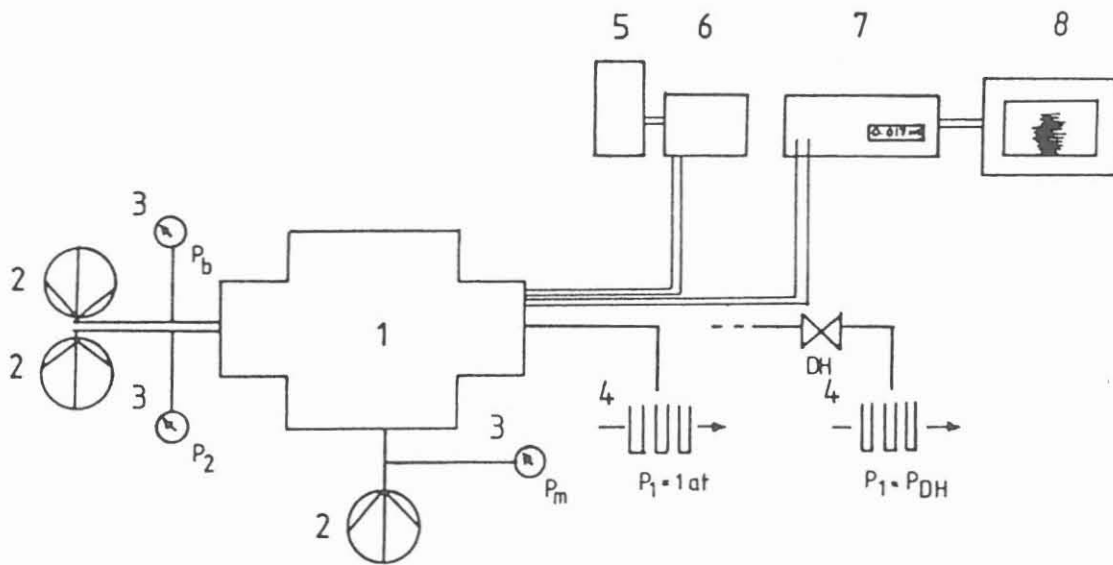


Abbildung 4.7: Schematische Darstellung der Versuchsanlage.

- 1 Autoklav
  - 2 Pumpen für die Injektion von Flüssigkeit in die Probe und zur Erzeugung des Autoklavdrucks
  - 3 Absolutdruckaufnehmer zur Registrierung von  $P_2$ ,  $P_b$ ,  $P_m$
  - 4 Fraktionssammler zum Auffangen der produzierten Flüssigkeiten zur Durchführung von Massenbilanzen
  - 5 konstante Stromquelle
  - 6 Datapulser
  - 7 Multimeter
  - 8 2-Kanal-Schreiber zur kontinuierlichen Registrierung der Potentialdifferenz zwischen den Meßelektroden
- DH Druckhalteventil

kalisches Meßprogramm durchzuführen. Damit bietet sich dieses geotechnische Projekt in einzigartiger Weise für Untersuchungen zur Korrelation der Logs mit dem durchteuften Kristallin an.

Im Kristallin werden die Antwortsignale der Meßsonden bisher noch unzureichend verstanden. Basierend auf statistischen Verfahren wurden von der Industrie erste Programmsysteme für kristalline Gesteine entwickelt; notwendige, grundlegende und systematische Untersuchungen zu den lithologischen, petrophysikalischen und bohrlochgeophysikalischen Zusammenhängen befinden sich jedoch noch in den Anfängen.

Geophysikalische Bohrlochmessungen bieten i. a. gute Informationen über die physikalischen Parameter (Dichte, Schallgeschwindigkeiten, elektrische Widerstände, Gamma-Strahlungsspektrum, Suszeptibilität, Porosität und Permeabilität etc.). Eine Transformation dieser Parameter in lithologische Kenngrößen (Mineralbestand, Struktur, Textur), d. h. die Umsetzung der Logs in ein geologisches Profil, ist Aufgabe und Ziel des Forschungsvorhabens.

Da im Kristallin nicht von vornherein bekannt ist, welche Logs bzw. Log-Kombinationen mit welchen lithologisch-petrophysikalischen Eigenschaften eines Gesteins einwandfrei zu korrelieren sind, müssen an gekernten Bohrstrecken Kalibrierungen vorgenommen werden. Als eine solche Bohrstrecke soll die Vorbohrung des KTB dienen.

Aus bohrtechnischen und anderen Belangen wird die Hauptbohrung nur zu einem geringen Prozentsatz gekernt, jedoch umfassend geophysikalisch vermessen werden können. Um auch für ungekernte Bohrstrecken oder Zonen mit großem Kernverlust Informationen zu erhalten, ist die zuverlässige Interpretation der Logs im Hinblick auf die Lithologie für die Zielsetzung der KTB von allergrößter Dringlichkeit.

- 9. Tracer-Messungen in den KTB-Vorbohrungen der Vorerkundung, T10, ARGE 7**  
**Antragsteller: GSF, Institut für Radiohydrometrie, München**  
**Prof. Dr. P. Fritz, Dipl.-Phys. W. Drost**  
**Förderung seit: 01.07.1987**

Untersuchung der Grundwasserströmungsrichtung und -größe aus Injizierung kurzlebiger Tracer im abgepackerten Bohrlochbereich, Permeabilitäts- und Porositätsbestimmung, Durchführung von Testmessungen in einigen KTB-Erkundungsbohrungen; Feasibility-Messungen.

**(2) Vorhaben, bisher bei der DFG gefördert, die nunmehr aber von der Projektleitung übernommen werden sollen**

- 10. Entwicklung einer Bohrlochsonde zur Messung der magnetischen Suszeptibilität in Tiefbohrungen bis 14 000 m; T5, T8, GS, ARGE 4**  
Antragsteller: Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik, TU München  
Dr. J. Pohl  
Förderung seit: 01.10.1982

Aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen mit der Suszeptibilitäts-Bohrlochsonde SUSLOG 403-1 soll eine Hochtemperatur-Hochdruck-Version weiterentwickelt werden, die Messungen der magnetischen Suszeptibilität in der geplanten Kontinentalen Tiefbohrung bei Drücken bis 0,3 GPa und Umgebungstemperaturen bis 300 °C ermöglicht; siehe Abb. 4.8. Hierfür wurden bis jetzt elektronische Schaltungen für hohe Temperaturen entwickelt (200 °C) und für deren thermische Isolierung ein hochwertiges Dewar-Gefäß und ein druckfestes SONDENGEHÄUSE in Auftrag gegeben. Analog der Sonde SUSLOG 403-1 muß das Gehäuse des Sensors mit Hochtemperatur-Kunststoff konstruiert werden und in heizbaren Druckkammern bis zu den in der KTB erwarteten Grenzwerten getestet werden. Messungen in vorhandenen Bohrungen und in künstlicher Gesteinsmatrix sollen die Erfahrungen mit den verschiedenen Sonden erweitern. Die Theorie der Messung der magnetischen Suszeptibilität soll weiterentwickelt werden.

- 11. KTB-Hochtemperatur 3-Komponenten-Magnetometer, Bohrlochsonde, Entwicklung und Erprobung; T5, T8, GS, ARGE 4**  
Antragsteller: Institut für Geophysik, TU Braunschweig  
Dr. G. Musmann, Dr. F. Kuhnke  
Förderung seit: 01.11.1982

Entwicklung eines dreiachsigen Flux-Gate Magnetometers zum Einsatz in Tiefbohrungen bis ca. 14 000 m Tiefe. Die Entwicklungsphase läuft bis zur Erstellung eines einsatzfähigen Bohrlochmagnetometers in der KTB-Tiefbohrung bei Drücken bis 0,3 GPa und Umgebungstemperaturen bis 300 °C für eine Fahrgeschwindigkeit von ca. 1 m/s. Das vektorieLL messende Magnetometer dient zur in situ Bestimmung gesteinsmagnetischer Größen und zur Bestimmung des Magnetfeldes nach Betrag und Richtung.

Der Meßbereich für jede Komponente beträgt  $\pm 63\ 000$  nT bei einer Auflösung von 0,1 nT entsprechend einer Digitalisierung von ca. 20 1/2 bit. Da in der Bohrung starke magnetische Anomalien erwartet werden, muß zur Orientierung ein

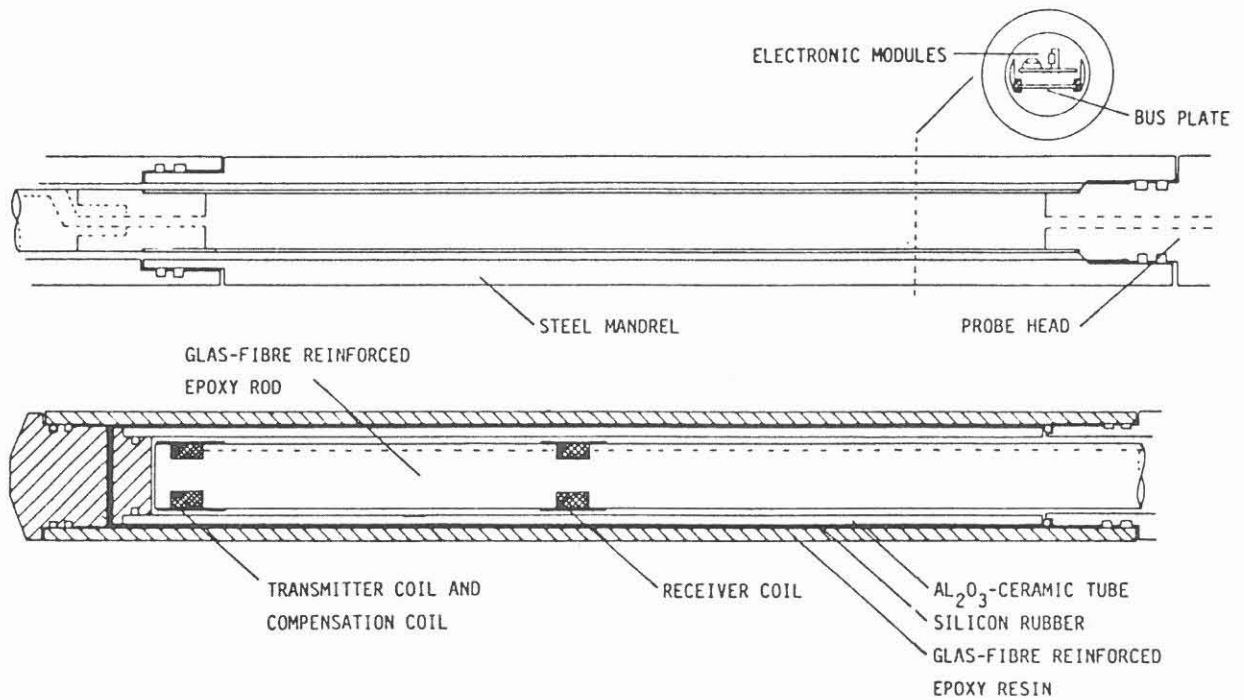
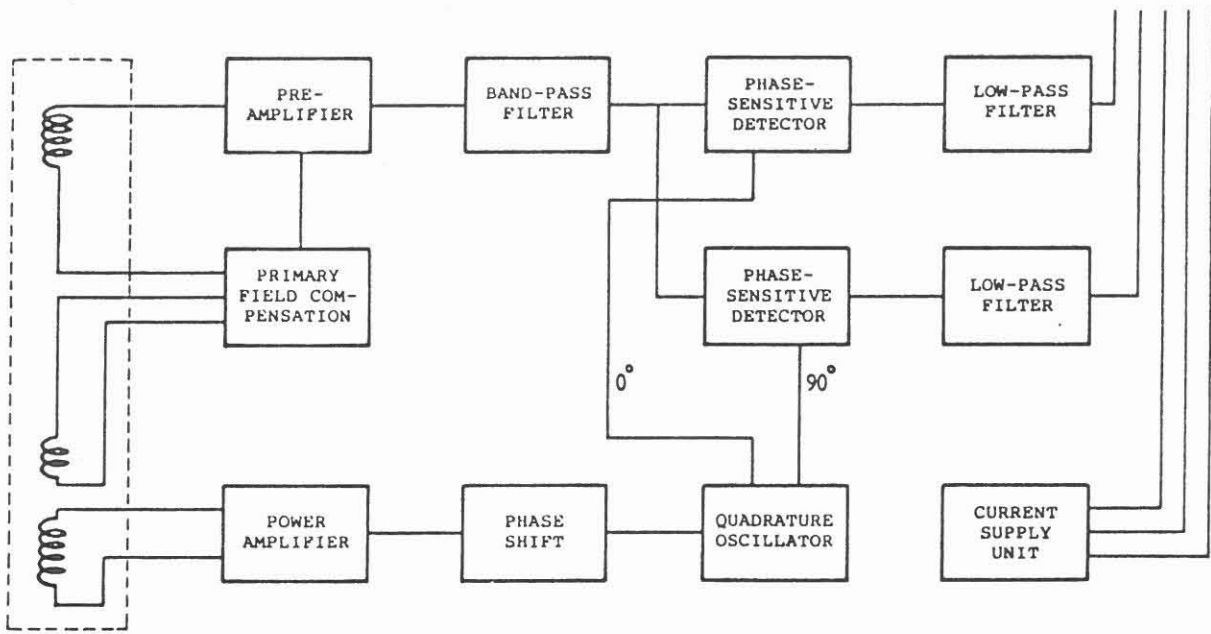


Abbildung 4.8: Sonde zur Bestimmung der magnetischen Suszeptibilität.

- A - Blockschaltbild
- B - Elektronische Einheit und Meßsensor der Sonde SUSLOG 403-1.

Kreisel und ein Inklinometer mit der Magnetometersonde verbunden sein. Beide Sonden werden zur thermischen Isolierung bzw. zur Reduzierung der Eigenerwärmung in ein spezielles Dewar-Gefäß integriert und mit einer Latentwärmesenke versehen. Lediglich die auf Molybdän-Permalloy-Ringkernen basierenden Magnetometersensoren werden ohne thermische Isolierung eingebaut. Wegen ihrer thermischen Beanspruchung und der unvermeidbaren Ausdehnungskoeffizienten werden die Sensoren auf einem Macorträger (Glaskeramik) mit einem Temperaturkoeffizienten von  $10^{-5} \text{ K}^{-1}$  aufgebaut. Die gesamte Sonde wird schließlich von einem unmagnetischen Titan-Druckrohr umgeben.

Parallel zu dieser Entwicklung läuft die Software und Hardware Entwicklung für die Übertage-Datenaufzeichnung auf einem PC sowie die anschließende Datenverarbeitung.

Die Abbildung 4.9 zeigt das Blockschaltbild eines Magnetometerkanals sowie das Prinzip der hochauflösenden Digitalisierung.

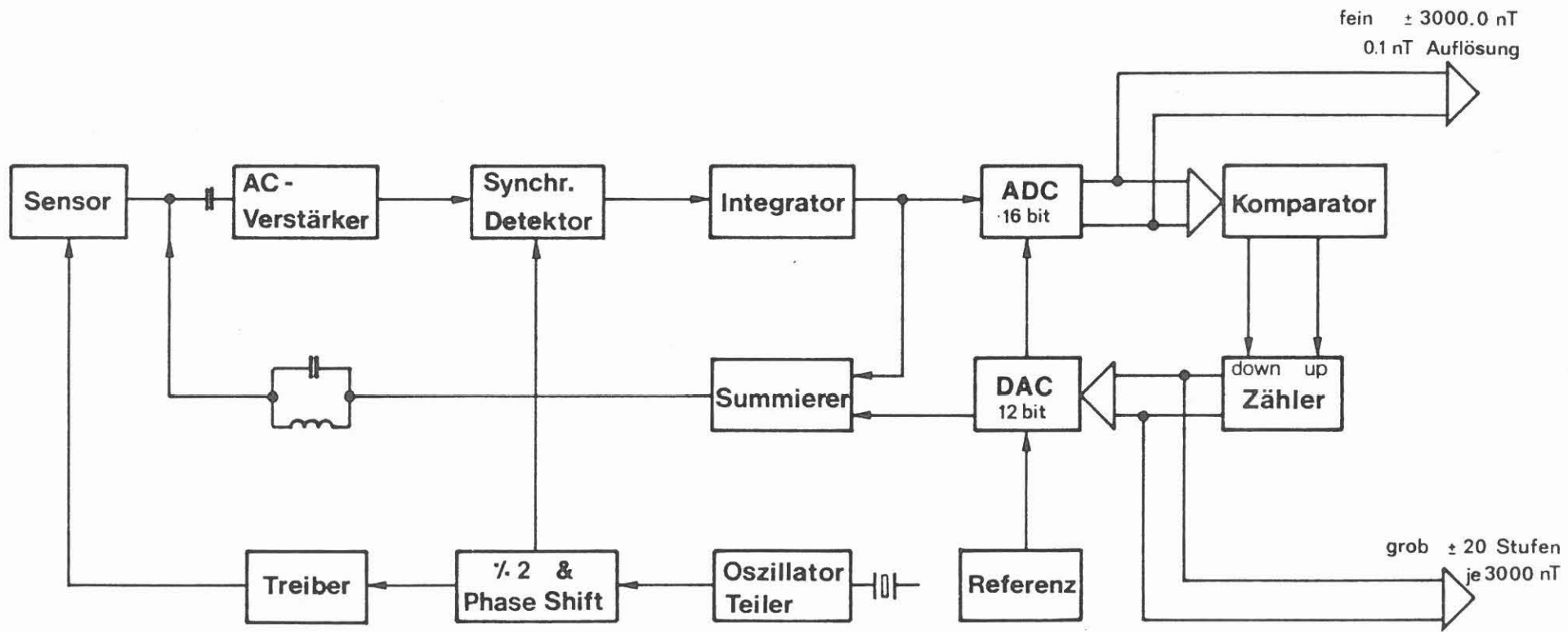


Abbildung 4.9: Blockschaltbild zum Magnetometer.

**(3) Vorhaben in der Planungsphase, die bei der PL bereits eingereicht wurden**

---

- 12. Wärmeschutz für Bohrlochmeßgeräte; T2, T5, ARGE 4**  
**Antragsteller: Etudes et Productions Schlumberger, Clamart (Frankreich)**  
**Förderung erbeten ab: 01.07.1987 (01.01.1988)**

Die Realisierung der wissenschaftlichen Zielvorstellung des KTB erfordert den Einsatz von Bohrlochmeßsonden bis in ca. 14 000 m Tiefe bei Umgebungstemperaturen bis zu ca. 300 °C und Drücken von ca. 2 100 bar. Die auf dem Markt verfügbaren Meßsonden sind jedoch nur bis etwa 175 °C und 1 400 bar sowie in einigen Fällen bis etwa 260 °C und 1 750 bar für eine begrenzte Zeit einsetzbar. Bei den verhältnismäßig langen Ein- und Ausfahrten ist es daher dringend notwendig, eine Kühlung für einige Sonden entsprechend der Prioritätenliste des KTB-Projektes zu entwickeln. Hierfür soll eine Studie erarbeitet werden, die zunächst einen wirksamen Wärmeschutz für Meßsonden bis 260 °C und 2 100 bar und die dazugehörigen Realisierungsschritte beschreibt sowie den Zeit- und Kostenplan für die Entwicklung bis zur Einsatzreife darstellt.

- 13. Anpassung einer IP-Bohrlochapparatur an Meßbedingungen des KTB zur Erkundung der Ionendiffusion in Fluiden; T5, T8, ARGE 4**  
**Antragsteller: NlfB, Hannover, Dr. D. Vogelsang**  
**Förderung erbeten ab: 01.01.1988**

Ziel ist die Erforschung der Effekte der induzierten Polarisation (IP) von Diffusions- und Anlagerungsvorgängen ionisierter Fluide in Poren und Hohlräumen unter hohem Druck und hoher Temperatur. Zur Durchführung der Messungen ist der Bau einer IP-Tiefbohrlochsonde erforderlich. Die Datenregistrierung und -aufbereitung soll auf der vorhandenen digital registrierenden Mount Sopris Apparatur erfolgen, die entsprechend modifiziert werden muß. Die mathematische Behandlung der IP-Effekte von Fluiden und deren Abgrenzung gegen die IP-Effekte hochglänzender Minerale soll in dem bei der DFG beantragten Forschungsvorhaben (siehe Abschn. 4.2, Projekt DFG 3) durchgeführt werden. Fernziel ist die Vervollkommnung des IP-Bohrlochmeßverfahrens bis zum routinefesten Einsatz in Tiefbohrungen aller Art.

- 14. Gebirgsspannungs- und Hydraulik-Monitorstation. Prototypenentwicklung für die KTB-Vorbohrung: T5, T8, ARGE 3**  
**Antragsteller: Gesellschaft für Baugologie und -meß-  
technik mbH., Rheinstetten, Dr. G. Reik;  
Institut für Felsmechanik, TU Karlsruhe  
Dr. G. Borm**  
**Förderung erbeten ab: 01.04.1987 (01.01.1988)**

Für die Vorbohrung ist der Einbau einer Gebirgsspannungs- und Hydraulik-Monitorstation vorgesehen. Diese Station (siehe Abb. 4. 11) soll den festinstallierten Teil eines geplanten Deep Earth Observatoriums bilden und folgende Messungen ermöglichen:

- Spannungsaufbau in einem harten Einschluß
- Deformation der Bohrlochwandung
- Porenwasserdruck
- Temperatur
- Leitfähigkeit/Eigenpotential/E-Feldbestimmung.

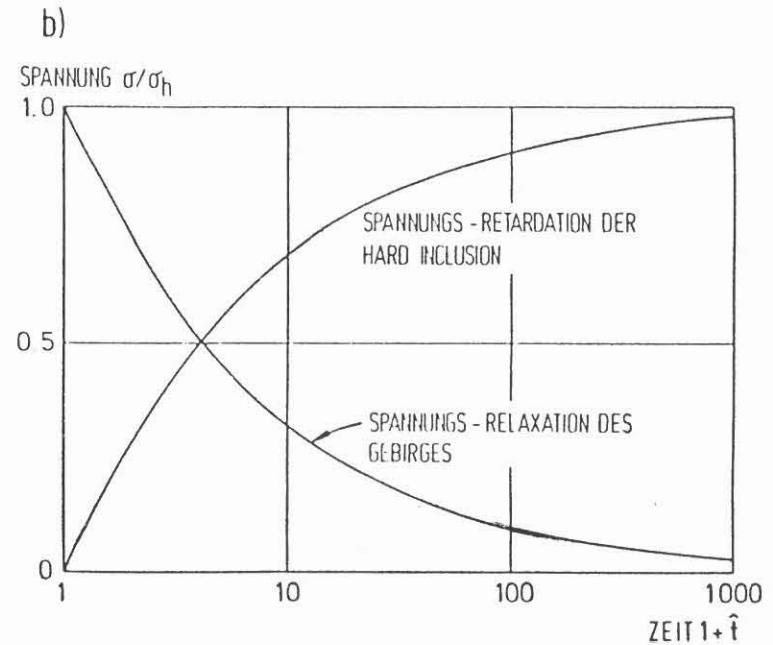
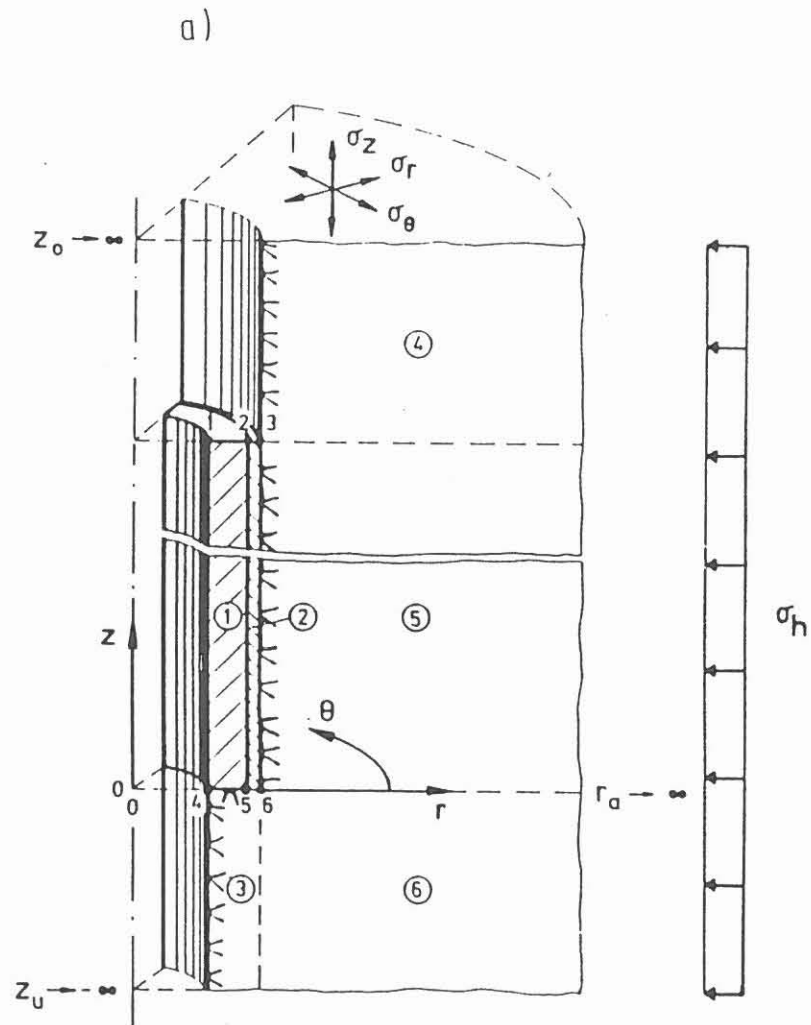
Gegenstand des Vorhabens sind nur die ersten beiden Punkte. Außer den o. g. Meßeinheiten gehören zur zu entwickelnden Prototyp-Station ein rückholbarer Adapter zur Ankoppelung, die Datenerfassung und -übertragung sowie ein Nachfallsammelbehälter.

Wesentliches Element ist eine Spannungs-Monitorsonde auf Hard Inclusion Basis. Mit diesem Sondenteil, der möglichst kraft- und formschlüssig an die Bohrlochwandung angekoppelt werden muß, soll der theoretisch infolge von Spannungsrelaxations- und Kriechprozessen des Gebirges zu erwartende Spannungsaufbau in der Sonde (Abb. 4.10) in seinem zeitlichen Verlauf gemessen werden. Aus der langzeitigen Spannungsänderung kann auf das rheologische Verhalten des Gebirges unter in situ Bedingungen und bei entsprechender Kriechfähigkeit bzw. ausreichend langem Meßzeitraum auf den Primärspannungszustand im Gebirge geschlossen werden.

Unabhängig von der Zeitkonstanten, die für den Spannungsaufbau am Einsatz maßgebend ist, können relative Spannungsänderungen, die z. B. durch tektonische Ereignisse in der Nähe verursacht sind, ausgemessen werden.

Zur theoretischen Erfassung der Spannungsumlagerungsvorgänge und Auswertung der Spannungsmessdaten sollen im vorliegenden Forschungsprojekt Ansätze von SALUSTOWICZ (1965) auf einen harten Einschluß im kristallinen Gebirge erweitert werden, dessen Kriechkonvergenzen hochgradig nichtlinear von den deviatorischen Gebirgsspannungen abhängen. Die Aufgabe wird in fünf Stufen bearbeitet:





a) Schema Rechenmodell zum Einfluß der geometrischen und physikalischen Parameter

- ① hard inclusion mit Normalspannungsdrucksensor ( $\sigma_r$ )
- ② Zementationsmaterial (Ankoppelung Gebirge/Sonde)
- ③ , ④ , ⑤ , ⑥ Gebirgselemente

b) Spannungs - Retardation bzw. Spannungs - Relaxation der hard inclusion Sonde bzw. des Gebirges im Bohrlochnahbereich

Abbildung 4.10: Prinzipskizze Rechen- und Auswertemodell.

1. Implementierung eines neuen, dreidimensionalen, semi-analytischen Zylinder-Elementes in ein Rechenprogramm;
2. Aufstellung des visko-elasto-plastischen Materialgesetzes und Implementierung in ein Finite-Element-Rechenprogramm;
3. Durchführung von numerischen Berechnungen zum Einfluß der geometrischen und physikalischen Parameter;
4. Entwicklung einer Ähnlichkeitstheorie zur Berücksichtigung des Einflusses der primären Gebirgsspannungen, der Sondengeometrie und -steifigkeit.
5. Aufstellen eines Inversionsprogramms für die Auswertung der mit der Spannungssonde gemessenen Daten, das die Extrapolation der Spannungen im Fernfeld aus den Meßdaten der Spannungsmonitorsonde gestattet.

Im Rahmen des hier beantragten Vorhabens soll untersucht werden, wie sich die Meßgeräte und die Methodik des Einbaues, die Durchführung der Messungen sowie die Auswertung von Gebirgsspannungsdaten entwickeln lassen, so daß Messungen bis in Tiefen von ca. 5 000 m in der KTB-Vorbohrung möglich sind.

- 15. Auswertung der Temperaturmessungen und Anwendung des Temperaturangleichverfahrens zur Bestimmung der in situ Wärmeleitfähigkeit in der KTB-Vorbohrung; T5, T8, ARGE 4**  
**Antragsteller: Institut für Geophysik, TU Karlsruhe**  
**Prof. Dr. H. Wilhelm**  
**Förderung erbeten ab: 01.01.1988**

Die Temperaturmessungen in der KTB-Vorbohrung sollen wie folgt ausgewertet werden:

1. Zur Bestimmung eines durch den Bohrvorgang ungestörten Temperaturprofils. Dazu sind an den zur Verfügung stehenden Messungen die notwendigen Korrekturen anzubringen. Das Ergebnis ist zu modellieren und zu interpretieren, u. a. auch im Hinblick auf geophysikalische Schlüsselexperimente in der Hauptbohrung.
2. Zur Bestimmung der in situ-Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Gesteins mit Hilfe des Temperaturangleichverfahrens (TAV). Das TAV soll während der Bohrphase bei längeren Stillstandszeiten des Bohrvortriebes unter Ausnutzung der durch die Spülungszirkulation entstehenden Temperaturstörung im Hinblick auf die Hauptbohrung weiterentwickelt werden.

3. Zur Bestimmung des stationären Temperaturfeldes und dessen Störung durch Konvektion im Bohrloch mit Hilfe einer kontinuierlichen Temperaturmessung über eine Temperaturfühlerkette. Mit 20 Temperaturfühlern, verbunden über ein 7adriges Meßkabel, soll nach Abschluß der Vorbohrung in unterschiedlichen Tiefenabschnitten über längere Zeit das Temperaturfeld in der Vorbohrung registriert werden und auf stationäre Temperaturverhältnisse, hydraulische Potentialänderungen und freie Konvektion hin interpretiert werden.

**16. Betreuung und integrierte Interpretation von Bohrloch-Schweremessungen in der KTB-Vorbohrung; T2, T4, T8, ARGE 4**

**Antragsteller, Institut für Geophysik und Meteorologie,  
Univ. Köln**

**Prof. F. M. Neubauer, Dr. K. M. Strack**

**Förderung erbeten ab: 01.01.1988**

Die Bohrlochgravimetrie ist eines der wenigen Bohrlochmeßverfahren, mit dessen Hilfe sich Aussagen in einem großen Bereich des Gebirges gewinnen lassen. Um ihre grundsätzliche Vieldeutigkeit einzuschränken, müssen bei der Interpretation Ergebnisse anderer Meßmethoden einbezogen werden. Ein Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines interaktiven Programmpaketes, mit dem sich durch integrierte Auswertung der Bohrloch-Schweremessungen und weiterer Zusatzinformationen (seismisches Strukturmodell, Gamma-Gamma-Dichteprofil, Korrelationsbeziehungen zwischen Dichte und seismischer Geschwindigkeit) ein dreidimensionales, großräumiges Dichtemodell in der Umgebung der Bohrung erstellen läßt. Weitere Ziele sind die Erweiterung der zur Untersuchung der Korrelationsbeziehungen angelegten Datenbank, deren Öffnung für andere KTB-Arbeitsgruppen sowie die Planung, Betreuung und Interpretation der Schweremessungen in der KTB-Vorbohrung.

#### **4.4 Geophysikalische Schlüsselexperimente**

Die geophysikalischen Schlüsselexperimente wurden vom FKPE erarbeitet, publiziert (FKPE 1986) und können dort im einzelnen nachgelesen werden. In dieser Studie wurde versucht, die herausragenden geophysikalischen Ziele herauszukristallisieren, die sich nur mit Hilfe einer Tiefbohrung realisieren lassen.

Aus der Sicht der Verfasser lassen sich vier große Komplexe als Zielvorstellungen formulieren:

die Erforschung der Zustandsgrößen, der charakteristischen gesteinsphysikalischen Parameter und der Temperaturprozesse sowie die Einrichtung eines Tiefenlabors,

wobei sich zwei Meßbereichsstockwerke unterscheiden lassen:

- der von der Bohrung durchteufte
- und der Bereich unterhalb der Endteufe.

Aus den Zielen und den zu untersuchenden Meßbereichsstockwerken ergeben sich zahlreiche Fragen, die es zu lösen gilt. Insgesamt wurden neun Schlüsselexperimente vorgeschlagen, die in die Planung und damit in das Arbeitsprogramm aufgenommen wurden. Soweit hierzu bereits F- und E-Vorhaben in Arbeit sind oder zur Förderung eingereicht wurden, ist dies entsprechend vermerkt. Im einzelnen handelt es sich um folgende Vorhaben und Zielsetzungen:

##### **1. Das Spannungsfeld in der Kontinentalen Kruste (vergl. hierzu auch Vorhaben DFG 7)**

Durch die Tiefenverteilung intrakontinentaler Seismizität werden für die Oberkruste hohe, für die Unterkruste sehr kleine Scherspannungen postuliert. Abschätzungen aufgrund experimentell ermittelter rheologischer Gesteinseigenschaften lassen erwarten, daß das Maximum der Scherspannungen bereits in der Oberkruste erreicht wird und durch Spannungsmessungen entlang einem tiefen Bohrprofil nachgewiesen werden könnte.

Das Ergebnis eines vertikalen Spannungsprofils bietet in Verbindung mit der Druckmessung an tiefen Fluideinschlüssen eine quantitative Grundlage für eine dynamische Interpretation der Krustentektonik. Insbesondere könnte die Begrenzung der Seismizität auf die Oberkruste und die Existenz tiefer Überschiebungsbahnen erklärt werden.

## 2. Geophysik der Fluide

Die fundamentale Rolle der Fluide in der Geophysik soll an zwei Beispielen diskutiert werden:

- Wie kann der laterale Transport von Krustenteilen in Form von Aufschiebungen erklärt werden?  
Es wird ein Modell diskutiert, das diesen Vorgang unter der Annahme von Fluiden erklären kann.
- Ist der Wärmetransport in der Kruste konduktiv oder konvektiv?

Zu diesem Problem wurden zwei Modelle gerechnet, in denen frei bewegliche Fluide in einer Matrix zirkulieren können. Beide Modelle haben bis auf die "Unterkruste" die gleichen Permeabilitäten. Diese unterscheiden sich in den Modellen um den Faktor 3 : 10. Das Ergebnis zeigt, daß die resultierenden Strömungsbilder und damit die Wärmetransporte sich in beiden Modellen stark unterscheiden. Hieraus ist zu schließen, daß die Existenz von Fluiden und die Permeabilität der Gesteine die Frage nach der Natur des Wärmetransports entscheidend beeinflußt.

Die Existenz und die Anordnung der Fluide kann nur durch in situ Messungen erkannt werden, d. h. nur durch die Bohrung. Diese Messungen müssen aber bereits von Modellvorstellungen über die Verteilung der Fluide gesteuert werden.

## 3. Zum Nachweis des Einflusses der Paläotemperaturschwankungen auf das Temperaturfeld der Erde (vergl. hierzu auch Vorhaben PL 15)

Zur Abschätzung der Temperaturen bis in große Tiefen ( $z > 5\ 000\text{ m}$ ) wird i. a. die in Oberflächennähe ermittelte terrestrische Wärmestromdichte benutzt. Diese berechnet sich aus dem in einer Bohrung gemessenen Temperaturgradienten und der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins, entnommen aus dem Bereich des Temperaturgradienten. Der Temperaturgradient ist jedoch durch den Einfluß der Paläotemperaturen verfälscht; in Flachbohrungen bis zu ca. 30 %. Dieser Fehler wiederum bewirkt einen entsprechend großen Fehler in den Temperaturabschätzungen bis in große Tiefen. Das Ziel ist es daher, die Paläotemperaturen zu erfassen und den Einfluß zu eliminieren. Der zwingende Beweis, daß Korrekturen tatsächlich erforderlich sind, konnte bisher noch nicht erbracht werden. Die Paläoklimatologen haben Temperaturänderungen an der Erdoberfläche in Abhängigkeit der Zeit nachgewiesen. Die Fehlerbreite ist dabei um so größer, je weiter die betrachtete Zeit zurückliegt. Doch gerade der für die Geothermik interessante Bereich von heute bis etwa 100 000 Jahre ist "relativ" gut belegt und der Einfluß der hierbei auftretenden Fehlerbreite abschätzbar.

#### **4. Seismische Endoskopie der Erdkruste**

Seismische Eigenschaften der Erdkruste, wie Absorption und Anisotropie, werden durch die Erweiterung der Oberflächenseismik mit Geophonversenkmessungen überhaupt erst der direkten Messung zugänglich. Weiterhin werden durch Korrelation der seismischen Oberflächenmessungen mit den Aufzeichnungen im Bohrloch die seismischen Horizonte lithostratigraphisch eingeordnet und damit die punktuelle Bohrlochinformation flächenhaft erweitert. Die wertvollste Information bieten die seismischen Bohrlochmessungen zweifellos für die genauere strukturelle Interpretation des seismischen Bildes der Erdkruste unterhalb des Bohrmeißels. Neben dem wissenschaftlichen Ziel, ungeklärte Grenzflächen in der unteren Erdkruste, wie etwa die Conrad-Diskontinuität, erstmals "ungestört" aus der Nähe beobachten zu können, fällt dabei der praktische Vorteil ab, den Bohrfortschritt selbst durch die strukturelle Prognose positiv zu beeinflussen.

#### **5. Transienten-Elektromagnetik (TEM): Erkundung der Leitfähigkeit mit wandernden Stromsystemen (vergl. hierzu Vorhaben Pl 2)**

Die elektrische Leitfähigkeit der Gesteine in der oberen Kruste wird i. a. von ihrem Porenvolumen und vom Ionengehalt der Porenflüssigkeit bestimmt, z. B. von ihrer Salinität. Änderungen der Klüftigkeit oder des Ionengehaltes sind also von entsprechenden Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit begleitet. Umgekehrt kann dann aus der Kenntnis der elektrischen Leitfähigkeit auf die Verteilung und Zusammensetzung der Gesteinsfluide geschlossen werden. Sehr hohe Leitfähigkeiten einzelner Bereiche können durch elektronische Leitfähigkeit erklärt werden, wie sie durch Graphit- oder Erzanreicherungen verursacht werden. In der Kolabohrung SG 3 entdeckte man in ca. 2 000 m Tiefe mächtige Erzhorizonte, weitere erzhaltige Horizonte traten in größerer Tiefe auf. Hier soll der Vorschlag gemacht werden, zur Erfassung der Leitfähigkeit im Bohrloch das TEM-Verfahren einzusetzen. Diese Methode weist u. a. folgende Eigenschaften auf, die sie dafür geeignet machen:

- Es wird das Abklingen eines induzierten Stromsystems gemessen. Der Stromimpuls breitet sich während des Abklingvorgangs lateral und nach unten aus. Dies führt zu einer stärkeren Gewichtung der Leitfähigkeit tieferer Schichten zu späten Zeiten des Abklingvorgangs.

- Der gemessene Wert der Leitfähigkeit wird nicht von der unmittelbaren Umgebung der Bohrung bestimmt. Er stellt vielmehr einen Integralwert über einen konzentrisch um das Bohrloch verlaufenden Bereich dar, dessen Durchmesser während des Abklingvorgangs zunimmt.
- Anomalien der Leitfähigkeit können auch dann erkannt werden, wenn sie nicht vom Bohrloch durchteuft werden, sondern in einem gewissen seitlichen Abstand vom Bohrloch auftreten. Hieraus können Schlüsse auf die laterale Homogenität der gefundenen Leitfähigkeitsstrukturen gezogen werden.
- TEM zeigt eine starke Abhängigkeit des Meßsignals von der Leitfähigkeit und damit ein hohes Widerstandsaufklärungsvermögen.
- Durch den Einsatz eines getriggerten Senders lassen sich Meßdaten durch Stapeln direkt mit großer Genauigkeit erfassen. Die bei anderen Verfahren notwendige schwierige Datenaufbereitung entfällt.

## **6. Ein vertikales magnetisches Profil (vergl. hierzu auch Vorhaben DFG 2)**

Mit Hilfe der Kontinentalen Tiefbohrung kann die Existenz und Geometrie elektrisch gut leitender Schichten in der tieferen Kruste entscheidend besser untersucht werden, als es mit Hilfe der Magnetotellurik an der Erdoberfläche möglich ist; denn hier erschweren laterale Inhomogenitäten der obersten, durch Verwitterung relativ gut leitenden Schicht den Beweis für die Existenz solcher Schichten und natürlich auch die Bestimmung ihrer Tiefen, Mächtigkeiten und wahren spezifischen Widerstände. Eine Bohrloch-Magnetotellurik dagegen hat nicht mit diesen Schwierigkeiten zu kämpfen. Mit einer Bohrloch-MT kann die Existenz und die Geometrie gut leitender Schichten in Tiefen, die größer als das Bohrloch selbst sind, evtl. erst erkannt werden. Ein weiteres Ziel der Kontinentalen Tiefbohrung wird die Untersuchung der Anisotropie der durchteuften Kruste sein. Hierbei spielt auch die anisotrope elektrische Leitfähigkeit eine wichtige Rolle. Die Frage ist nur, wie man sie messen kann. Die Bohrloch-MT bietet eine Möglichkeit, die allerdings noch nicht genauer diskutiert wurde: Die Messung aller drei Komponenten des vertikalen Gradienten des Magnetfeldes. Hieraus sind die Lage und Größe des Anisotropie-Tensors bestimmbar.

**7. Magnetik im Kontinentalen Tiefbohrprogramm  
(vergl. hierzu auch Vorhaben PL 10 und PL 11)**

- Eine Kontinentale Tiefbohrung kann zum ersten Mal zeigen, welche Arten von Magnetisierung in größerer Tiefe vorherrschen und damit einen wesentlichen Beitrag zur Deutung magnetischer Anomalien liefern, die ihre Quellen in den tieferen Partien der Erdkruste haben. Dies kann nicht durch Messungen an den an der Oberfläche anstehenden Gesteinen ersetzt werden. Im Hinblick auf dieses Ziel wäre eine KTB-Lokation im Bereich erdmagnetischer Anomalien erwünscht.
- Paläomagnetische Messungen an Bohrkernen tragen zur Klärung tektonischer Probleme in der Tiefbohrung bei. So kann man z. B. unter günstigen Voraussetzungen zusammengeschobene Krustenblöcke verschiedenen Alters unterscheiden. Es sind auch Aussagen über tektonische Deformationen in Störungszonen zu erwarten, u. U. auch über das Alter von Störungen. Die Ermittlung von Paläotemperaturen erlaubt Rückschlüsse auf die Temperaturgeschichte und damit auf die Hebungs- und Senkungsgeschichte.
- Messungen der Anisotropie verschiedener magnetischer Eigenschaften bieten die Möglichkeit, Aussagen über die Textur der erbohrten Gesteine und über tektonische Beanspruchungen (Restspannungen) zu machen. Sie ergänzen Messungen der Anisotropie anderer physikalischer Parameter, wie der seismischen Geschwindigkeiten oder der elektrischen Leitfähigkeit.
- Weiterhin liefern die Messungen der magnetischen Parameter im Bohrloch und an den Bohrkernen Beiträge zur lithologischen Gliederung, Informationen über den Gehalt an ferromagnetischen Erzen und dessen Variation in verschiedenen lithologischen Einheiten, sehr detaillierte Aussagen über die ferromagnetischen Phasen, deren chemische Zusammensetzung, Korngrößen und Oxidationsgrad, die mit anderen Methoden nicht oder nur sehr schwer zu ermitteln sind.

**8. Analyse der Störungen des Erdschwerefeldes in der  
Kontinentalen Tiefbohrung  
(vergl. hierzu auch Vorhaben PL 16)**

Da Störungen des Erdschwerefeldes durch die Verteilung der Dichte in der Umgebung des Bohrloches bestimmt sind, kann man durch Schweremessungen im Bohrloch auf die Dichtestruktur in der Bohrlochumgebung schließen. Schweremessungen



über größere Teufenbereiche erlauben dabei die Analyse der ferneren Umgebung des Bohrloches (einige km, "langwellige" Störungen), während häufige Schweremessungen über Teufenintervalle von mehreren Dekametern die Bestimmung der Dichte in der Nähe des Bohrloches ermöglichen. Zur in situ-Dichtebestimmung in Bohrlöchern stehen grundsätzlich zwei unterschiedliche Meßverfahren zur Verfügung:

- das Gamma-Gamma-Log (GGL)
- Messungen mit dem Bohrlochgravimeter (BHGM).

Das GGL hat dabei den Vorteil, daß es punktuelle Werte in der unmittelbaren Umgebung des Bohrloches liefern kann. Aufgrund der geringen Eindringtiefe von rd. 15 cm werden die Ergebnisse aber durch die Form des Bohrloches und durch die in das Gestein eingedrungene Bohrspülung beeinflusst.

Der Radius um die Bohrung, innerhalb dessen die Gesteinsdichte noch einen spürbaren Einfluß auf die Messungen hat, beträgt beim BHGM mehrere 10 m bis 100 m und ist damit weitaus größer als beim GGL. Durch Vergleich beider gemessener Dichtekurven können sehr schnell qualitative Aussagen ("quick look") darüber gemacht werden, ob in der weiteren Umgebung der Bohrung eine horizontale Schichtung vorliegt oder nicht. Nachteilig ist jedoch die prinzipielle Mehrdeutigkeit von Schweremessungen. Liegen allerdings Ergebnisse von anderen unabhängigen geophysikalischen Bohrlochmessungen vor ("Acoustic Log", VSP, Widerstandsmessungen) sowie von Oberflächenmessungen, so kann die Mehrdeutigkeit stark eingeschränkt werden, und es besteht die Möglichkeit, die Dichte bis in eine größere Entfernung zu bestimmen und somit Aussagen über die geologischen Verhältnisse zu machen.

Es soll deshalb eine Hierarchie von interaktiven Interpretationsprogrammen entwickelt werden, mit der die Bohrlochmessungen unter Einbeziehung anderer, insbesondere seismischer Ergebnisse zu einem optimalen Modell invertiert werden können. Eine weitere Zielsetzung ist die Überprüfung und evtl. Modifikation von Korrelationsbeziehungen zwischen der Dichte und anderen gesteinsphysikalischen Parametern (z. B. seismische Geschwindigkeit) unter besonderer Berücksichtigung kristalliner Verhältnisse, wobei auch ihre Abhängigkeit von Druck und Temperatur untersucht werden soll. Um die Vorausplanung zu unterstützen, sollen die Interpretationsprogramme bis zum Bohrbeginn der Hauptbohrung erstellt werden.

## 9. Experiment zur Untersuchung der physikalischen Natur der Gravitation

Durch Schweremessungen in der KTB sollen mögliche Abweichungen vom Newtonschen Gravitationsgesetz quantitativ erfaßt werden, die in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung im Rahmen der Versuche zur Vereinheitlichung der Beschreibung der physikalischen Wechselwirkungen erlangt haben und durch Messungen zunehmend bestätigt erscheinen. Da die typische Skalenlänge dieser Abweichung von einigen hundert Metern über den Rahmen der Laborphysik hinausgeht, ist hier die Geophysik aufgerufen, ihren Beitrag zum Verständnis der Natur der Gravitation zu leisten.

#### 4.5 Tiefen-Observatorium

Im folgenden ist zu unterscheiden zwischen einem Tiefen-Observatorium (Deep Earth **Observatory**), ein im Bohrloch-tiefsten zu installierendes Instrument, und einem Tiefen-Laboratorium (Deep Earth **Laboratory**), welches die Gesamtheit der Untersuchungen und Experimente nach Fertigstellung der Bohrung beinhaltet.

Die Notwendigkeit der Durchführung von Langzeitbeobachtungen wird erstmalig in DFG (1981) und später in DFG (1985) beschrieben. In FKPE (1986), siehe auch Abschn. 4.4, wird die Einrichtung eines Tiefenlabors für Dauer- und Wiederholungsmessungen als eines der vier wichtigsten Ziele formuliert und begründet.

Einen ersten ausführlichen Projektvorschlag unterbreitet KESSELS (1987), wobei zunächst davon ausgegangen wird, daß ein Prototyp gebaut und in der Vorbohrung KTB-Oberpfalz VB installiert und getestet werden soll. Es steht außer Frage, daß weitere intensive Diskussionen notwendig sind.

Die geowissenschaftlich interessierenden Langzeitvariationen wären z. B. folgende:

- das Porenwasserdruckfeld,
- das Gebirgsspannungsfeld,
- kurzzeitige Änderungen des Verschiebungsfeldes (Seismologie),
- zeitliche Änderungen des Verschiebungsfeldes im Nahbereich der Bohrung (Deformationsmessung an der Bohrlochwand),
  
- Änderungen des großräumigen Deformations- und Verschiebungsfeldes mit hoher Auflösung (Pendel- bzw. Neigungsmessungen),
- Temperatur- und Wärmeflußmessungen,
- Bestimmung der Gravitationsfeldschwankungen,
- das Magnetfeld,
- das elektrische Feld,
- langfristige Änderung der Fluide im Porenraum.

Es ist davon auszugehen, daß die Porenwasserdruck- und Spannungsmessgeräte im Bohrloch-tiefsten fest zu installieren sind. Die anderen Experimente und insbesondere der Elektronikteil der Datenübertragung können rückholbar montiert werden. Die Experimente im rückholbaren Teil sollten modulartig aufgebaut werden, wobei anzustreben ist, daß eine zentrale Datenübertragung benutzt wird. Die angestrebte Modul-Bauweise soll es ermöglichen, auch zu späteren Zeitpunkten noch neue Experimente mit aufzunehmen, sofern sich diese als sinnvoll erweisen. In Abb. 4.11 ist ein Vorschlag für den im Bohrloch fest installierten Teil der Meßanordnung und in Abb. 4.12 eine solcher für den reversiblen Teil der Meßanordnung aufgezeichnet.

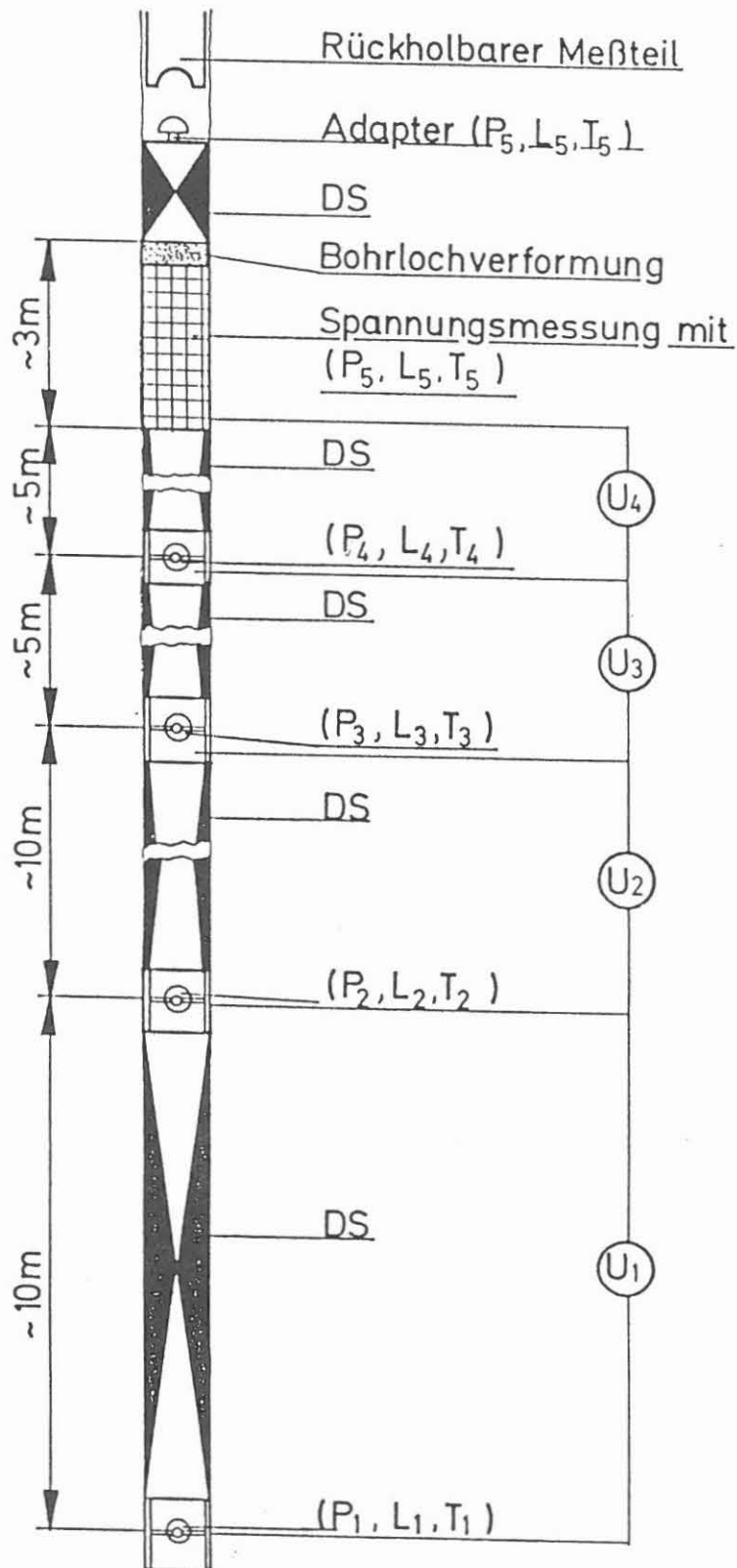


Abbildung 4.11: Fest installierter (nicht rückholbarer) Teil des Tiefen-Observatoriums mit  
DS = Dichtstopfen  
P = Porenwasserdruckmeßstelle  
L = Leitfähigkeitsmessung  
T = Temperaturmessung  
U = Spannungs- bzw. Eigenpotentialmeßstelle.

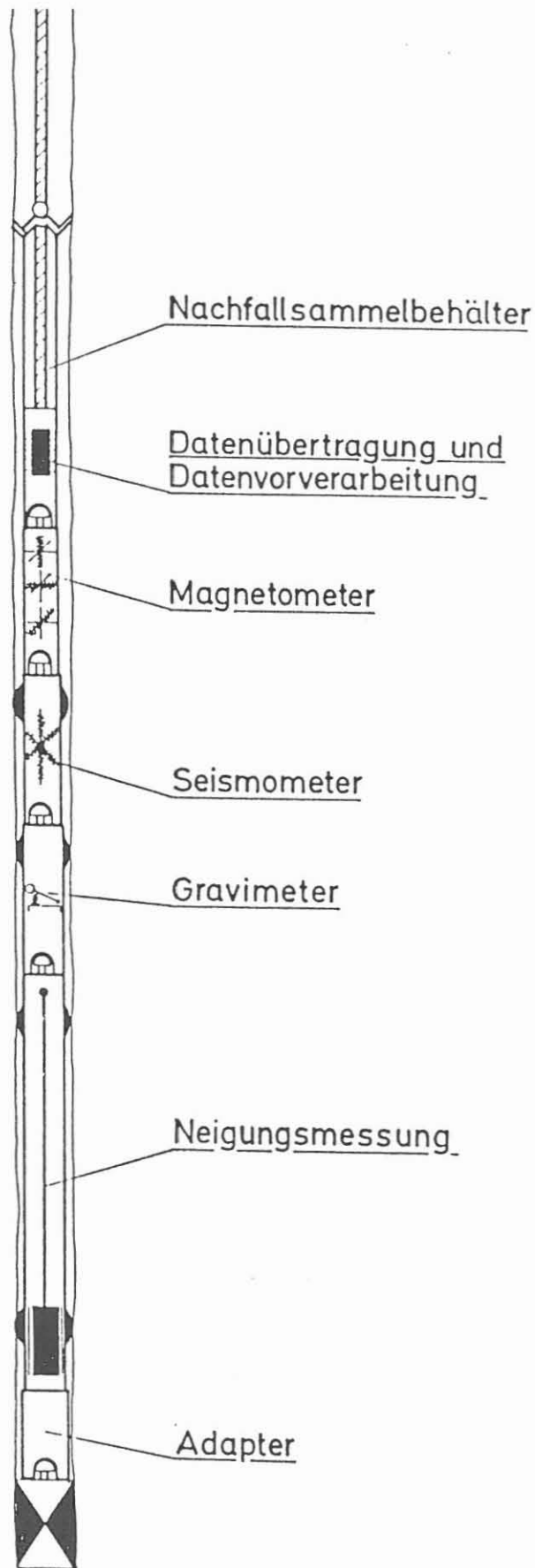


Abbildung 4.12: Konzept für den rückholbaren Teil des Tiefen-Observatoriums.

**Zielsetzungen der einzelnen Experimente (KESSELS 1987):**

**1. Erfassung des großräumigen hydraulischen Systems durch Porenwasserdruck- und Leitfähigkeitsbestimmungen**

Das Porenwasser ist durch seinen Druck und seine Zusammensetzung neben der Gebirgsspannung eine der Feldgrößen, die als entscheidend für alle Deformationsmechanismen in der Kruste anzusehen sind. Sein Gradient ist der Antrieb für den wesentlichen Teil des Stofftransportes in der Kruste (plattentektonische Prozesse ausgenommen). Ziele der Porenwasserdruckbeobachtung in der Vorbohrung sind:

- Ermittlung des Porenwasserdruckes der ungestörten Formation.
- Untersuchung der hydraulischen Druckübertragung in der überlagernden Formation. Untersucht werden soll hier die Fortpflanzung der Druckschwankungen durch die Grundwasserspiegelanregungen und die Klärung der Frage, ob in der Kruste die Kluft- oder die Matrixpermeabilität dominiert.
- Ermittlung der hydraulischen Parameter aus den Gezeitenänderungen des Porenwasserdruckes.
- Untersuchung der horizontalen hydraulischen Parameter aus den zu erwartenden Anregungen aus der supertiefen Bohrung.
- Nachweis von Stofftransport und in situ Bestimmung der Reaktionsgenetik langsam ablaufender Lösungs- und Anlagerungsprozesse (im einfachsten Fall durch Leitfähigkeitsmessungen).

Für die wissenschaftliche Auswertung ist ein Hauptproblem darin zu sehen, daß die gemessenen zeitlichen Änderungen des Porenwasserdruckes aus der Überlagerung von vier Anregungen zu erklären sind und getrennt werden müssen:

- Anregungen über die Spülungssäule der Bohrung.
- Anregungen durch Schwankungen des Grundwasserspiegels (Unterscheidung von 1 z.B. durch den Phasengang zwischen anregender und gemessener Schwankung).
- Anregungen durch die Hauptbohrung.
- Anregung durch die Gezeiten.

Eine Reihe der im vorgeschlagenen Konzept aufgeführten Experimente können für die Auswertung der Porenwasserdruckmessung hilfreich sein bzw. können direkt in die Auswertung mit einbezogen werden. Dies sind:

- die Leitfähigkeits- und Eigenpotentialmessungen,
- die Temperaturmessungen,
- die Neigungs- bzw. Pendelmessungen,
- die Gebirgsspannungsbestimmungen.

## **2. Bestimmungen des elektrischen Eigenpotentials und der Leitfähigkeit der Porenflüssigkeit**

Ziel ist es, diese beiden Größen zu bestimmen, wobei das gemessene Eigenpotential aus vier Komponenten besteht, die es zu erforschen gilt:

- dem kinetischen Potential (bei hoher Leitfähigkeit des Fluides zu vernachlässigen),
- dem Filtrationspotential,
- dem Kontaktpotential,
- den Spannungen, die durch die überlagernden tellurischen elektrischen Felder erzeugt werden.

Insbesondere letztere haben ihre besondere Bedeutung in der Ergänzung zum Dreikomponenten-Magnetfeld-Experiment, da ja bekanntlich elektrische und magnetische Felder gekoppelt auftreten. Die tellurisch erzeugten Eigenpotentiale lassen sich sicher aufgrund ihrer "relativ hohen Frequenz" relativ gut von den anderen diffusionsabhängigen Eigenpotentialschwankungen trennen.

## **3. Temperaturmessungen**

Mit den Temperaturmessungen kann das Abklingen der Temperaturstörung durch den Bohrvorgang relativ genau ermittelt werden. Unter Umständen kann durch aufsteigende Fluide (z.B. zum Bohrloch hin) eine zeitabhängige Temperaturstörung hervorgerufen werden. In Ergänzung mit den Wärmeleitfähigkeitsmessungen, die vorgesehen sind, ist eine relativ genaue Wärmeflußmessung in dieser Tiefe möglich. Auch beim Vorhandensein von "Konvektionswalzen" im hydrogeologischen Regime sind Temperaturdriften denkbar, wenn auch zur Zeit noch relativ spekulativ. Der Aufwand für die Temperaturmessungen ist allerdings im Vergleich zu den anderen Experimenten als gering zu bezeichnen.

#### 4. Spannungsmessungen

Durch einen Einsatz, der möglichst kraft- und formschlüssig in das Gebirge eingepaßt wird, können an diesem Einsatz, dessen mechanisches Verhalten sehr gut bekannt ist, über Verformungsmessungen (DMS schwingende Seite induktive Weggeber usw.) die außen an dem Einsatz wirkenden Spannungen bestimmt werden. Durch Relaxations- und Kriechprozesse ist dann mit wachsender Zeit ein Spannungsaufbau zu erwarten, der dann gegen den Horizontalschnitt des Spannungstensors konvergiert (exakt nach unendlich langer Zeit).

BORM (1987) hat berechnet, daß auch schon nach kürzerer Zeit mit einem auswertbaren Spannungsaufbau, der in radialer Richtung auf den Einsatz wirkt, zu rechnen ist. Eine Ermittlung des kompletten Spannungstensors ist nur möglich, wenn auch in Richtungen Druckmessungen ausgeführt werden, die nicht in der Horizontalen liegen. Dies ist allerdings nur durch eine Zementation von Druckkissen denkbar, was dann durch die relativ große Kompressibilität des Zementes zu einem sehr stark verzögerten Spannungsaufbau führt. Unabhängig von der Zeitkonstanten, die für den Spannungsaufbau am Einsatz maßgebend ist, können relative Spannungsänderungen, die z.B. durch tektonische Ereignisse in der Nähe verursacht sind, ausgemessen werden. Da relative Spannungsänderungen sehr genau detektiert werden können, sollte ein weiteres Ziel der Untersuchung sein, die Änderung der Gebirgsspannung mit den Gezeiten zu bestimmen. Hier ergibt sich, daß die Spannungsmessung sowohl durch die Neigungsmessung als auch durch die Porenwasserdruckmessung sinnvoll ergänzt wird. Gleiches gilt auch für die Bestimmung der Bohrlochverformung und für die seismologischen Messungen, mit denen insbesondere die Ereignisse bestimmt werden können, die durch die supertiefe Bohrung selbst "angetriggert" worden sind. Für die Untersuchung des Gezeiteneffektes auf die Spannungen ist allerdings zu berücksichtigen, daß das Gravitationsfeld durch die Gezeiten nur Änderungen zeigt, die um den Faktor  $10^{-7}$  kleiner sind als die mittlere Erdbeschleunigung an der Bodenoberfläche. Hieraus folgt, daß der Effekt der Änderung des Überlagerungsdruckes nur mit einer Meßempfindlichkeit besser  $10^{-5}$  MPa aufgelöst werden kann.

Neben der Spannungsbestimmung kann aus dem Spannungsaufbau auf das in situ wirksame Kriechgesetz geschlossen werden. Die Kenntnis der großräumigen Kriechvorgänge ist aber von Bedeutung, will man den Deformations- und Spannungszustand der Kruste verstehen.



## 5. Untersuchungen der Bohrlochverformung

Durch in das Bohrloch eingebaute Verformungsmeßgeber kann die Konvergenz des Bohrloches bestimmt werden. Auch dieses Experiment dient der Ableitung von Kriechvorgängen, nun aber bei nicht behinderter Verformungsrate. Dieses Experiment ist also in engem Zusammenhang mit dem vorstehenden Experiment zu sehen.

Da die Messung sehr empfindlich ausgeführt werden kann, gilt 4. entsprechend.

## 6. Neigungs- bzw. Pendelmessung

Die Neigungsmessung ist das empfindlichste Instrumentarium, um Krustendeformationen aufzuzeichnen. Mit diesem Meßgerät ist am ehesten zu erwarten, daß tektonisch bedingte oder durch die Hauptbohrung induzierte Verschiebungen nachgewiesen werden können. Insbesondere die Installation eines solchen Neigungsmeßgerätes in größerer Tiefe vermindert die Beeinflussung der Messung durch Oberflächeneffekte.

Aus der Langzeitbeobachtung lassen sich Informationen über die Rheologie des Mantels und die Krustendeformation gewinnen. Außerdem ist diese Messung als ein weiterer Mosaikstein für die Verifizierung eines geologisch vorgegebenen Krustenmodells anzusehen. Hierzu wären allerdings mehrdimensionale numerische Rechnungen notwendig.

## 7. Gravimetermessungen

Da die Gezeiten als eine der wesentlichen Anregungen in den meisten Experimenten eine große Bedeutung besitzen, wäre es durchaus interessant, die Gezeitenänderungen direkt bestimmen zu können.

Die Gezeitenamplitude der Sonne hat eine Amplitude von ca. 0,04 mgal (die des Mondes beträgt ca. 0,08 mgal); mithin müßte wenigstens eine Meßgenauigkeit besser  $5 \times 10^{-3}$  mgal erzielt werden. Sollte dies nicht erreicht werden können, so scheint dieses Experiment nur wenige Ergebnisse zu liefern.

## 8. Seismologische Messungen

Ziel der seismologischen Messungen sollte es sein, unbeeinflusst von der Oberflächentopografie messen zu können. Über-

wacht werden sollte der regionale Bereich um die Bohrung und der Nahbereich der Bohrung speziell. Somit kann untersucht werden, ob durch das Abteufen der supertiefen Bohrung Mikrobeben ausgelöst werden und ob das Nahgebiet der Bohrung tektonisch in Ruhe ist. Die Registrierung weit entfernter Beben kann unter Umständen dazu dienen, dem durch diverse geophysikalische Messungen sehr gut bekannten regionalen Nachbarbereich hinsichtlich seines dynamischen Verhaltens bei Einstrahlung aus verschiedenen Richtungen zu untersuchen. Im hochfrequenten Bereich ist allerdings zu erwarten, daß während des Abteufens der Hauptbohrung starke Störgeräusche auftreten, die aber sicher entweder durch Filterung eliminiert werden können oder unter Umständen zusätzliche Informationen über den geologischen Untergrund liefern.

## 9. Magnetometerexperiment

Neben den Variationen in den mechanischen Parametern der Kruste geben besonders die Variationen in den elektrischen Parametern Aufschluß über ihren Zustand. Hier sind insbesondere die magnetotellurischen Messungen zu nennen. Die Eindringtiefen der magnetischen Variationen bei gegebenen Periodenlängen in Abhängigkeit von der spezifischen Leitfähigkeit des Untergrundes sind bekannt (KERTZ 1969). Gerade im Kristallin ist damit zu rechnen, daß die Leitfähigkeit im oberen Bereich des Auflockerungsgebietes besonders hoch ist. Die Voruntersuchungen geben hierüber für den Bohrpunkt noch keine endgültige Aussage. In ca. 3 000 m Tiefe kann man davon ausgehen, daß dieser Auflockerungsbereich im wesentlichen durchteuft ist und so der tiefere Krustenbereich sehr gut untersucht werden kann.

Außerdem bietet sich aufgrund des großen Eindringvermögens der elektromagnetischen Wellen auch bei relativ kleinen Periodenlängen die Möglichkeit, unter Verwendung von zwei- bzw. dreidimensionalen Modellrechnungen diese Modelle zu prüfen.

Bei der angenommenen Richtigkeit eines angegebenen Modelles und Gültigkeit der zugrunde gelegten Diffusionsgleichung für das magnetische Feld müßte es dann möglich sein, aus den oberflächennah gemessenen magnetischen Schwankungen die magnetischen Schwankungen in großer Tiefe zu berechnen und dann mit den gemessenen Daten zu vergleichen.

Gerade aufgrund des sehr gut untersuchten Nahbereiches der Bohrlokation ist hier eine Möglichkeit gegeben, das regionale Umfeld zu erkunden und die magnetotellurische Meßmethode zu verifizieren, wie dies sicher an keiner anderen Stelle der

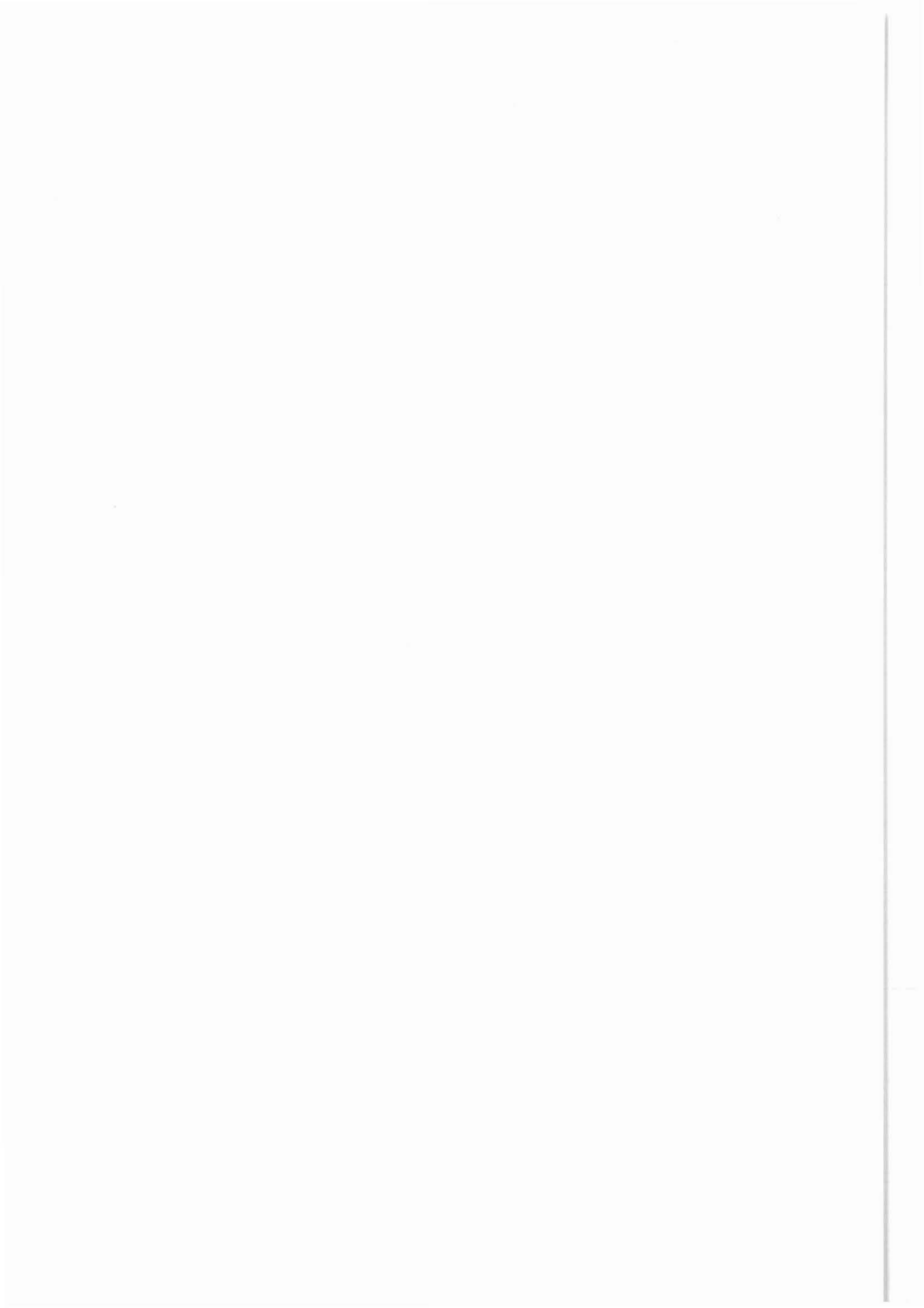
Fall sein dürfte. Ein weiterer Vorteil ist, daß in 3 000 m Tiefe die Messung weitgehend unabhängig von den oberflächennah technisch induzierten Magnetfeldern sein dürfte. Über die E-Feldbestimmung im Eigenpotentialexperiment ist noch eine weitere Verifizierungsmöglichkeit gegeben.

## **10. Datenübertragung und Datenvorverarbeitung**

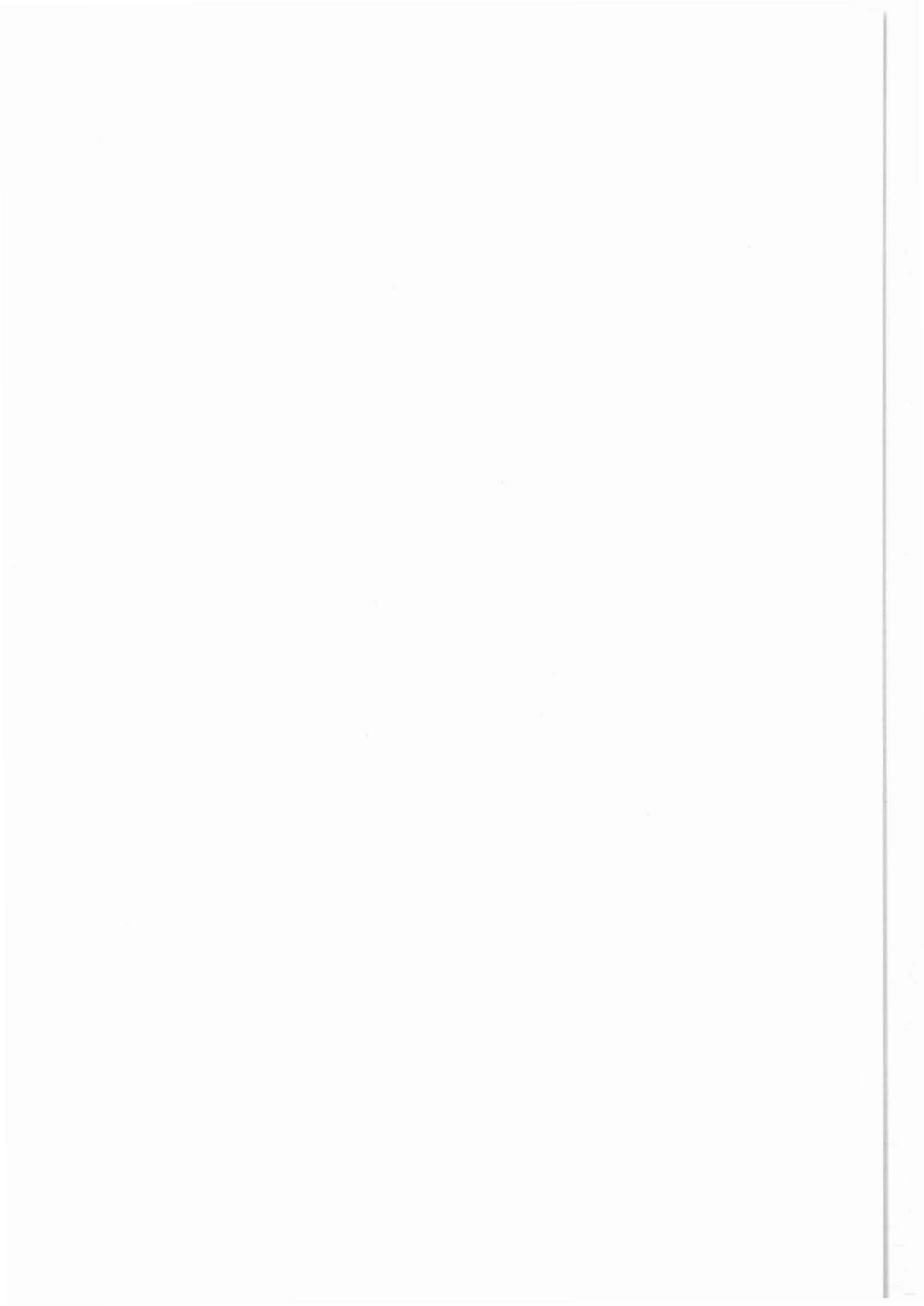
Es ist anzustreben, daß insbesondere in den im Bohrloch fest eingebauten Meßteilen (Porenwasserdruckmessungen und Spannungsmessung) keine elektronischen Bauteile installiert sind, um hier das Ausfallrisiko zu minimieren. Technischer Leitfaden sollte sein, daß nur einfachste Sensoren im Bohrloch fest installiert sind und alle anderen Teile rückholbar angeordnet werden, so daß sie notfalls repariert werden können. Insbesondere für die Datenerfassung sollte vorgesehen werden, daß die Datenerfassung von übertage von den anderen Meßeinrichtungen separat abgekoppelt werden kann, da damit zu rechnen ist, daß sie am reparaturanfälligsten ist.

## **11. Nachfallsammelbehälter**

Im Bohrloch ist damit zu rechnen, daß ein permanenter Nachfall aus der gesamten Bohrlochlänge von 3 000 m zu erwarten ist. Dies kann zum Verklemmen der einzelnen Elemente führen und kann die Rückholbarkeit der oberen Sonden verhindern. Aus diesem Grund muß der Nachfall aufgesammelt und damit ein Zusetzen der Meßeinrichtungen verhindert werden. In den Nachfallsammelbehälter sollte ein Meßfühler installiert werden, der den Füllgrad dieses Sammelbehälters anzeigt (z.B. Gewichtsmessung am Boden des Behälters). Es ist zu überlegen, ob der Sammelbehälter nicht durch ein separates Tragseil ohne Kabel auch separat gezogen werden kann, damit nicht bei jeder Entleerung des Nachfallsammelbehälters die ganze Meßanordnung gestört wird. Hierbei muß man sich verdeutlichen, daß jedes Abkoppeln die Gefahr in sich birgt, daß ein Wiederankoppeln durch inzwischen erfolgten Nachfall nicht mehr möglich ist. Aus diesem Grund sind die Ab- und Andockvorgänge möglichst gering zu halten.



## 5 Notwendigkeit einer Vorbohrung



## 5 Notwendigkeit einer Vorbohrung

### 5.1 Überbohr-Konzept

Die Notwendigkeit, eine Vorbohrung abzuteufen, wurde bereits in der Interimsphase (siehe Kap. 1) erkannt und festgelegt. Mit der Etablierung der Projektleitung wurde diese Frage jedoch aus finanziellen Gründen erneut und ernsthaft geprüft.

Die anfängliche Diskussion ergab, daß zunächst eine Vorbohrung abgeteuft und anschließend der Durchmesser erweitert und die Bohrung auf 14 000 m vertieft werden sollte (Überbohr-Konzept). Gründe, die dagegen sprechen, sind folgende:

1. Die übertiefe Forschungsbohrung des KTB soll eine Teufe von ca. 14 000 m mit einem Enddurchmesser von 8 1/2" (216 mm) erreichen. Die Bohrung müßte deshalb entsprechend großkalibrig beginnen. Die Planungen sehen für die obersten 3 000 m (5 000 m) Durchmesser von 14 3/4" (375 mm) bis 23" (584 mm) vor. Die meisten Bohrlochsonden sind jedoch so konstruiert, daß sie nur bis etwa 8 1/2" optimale Ergebnisse liefern, auch dann, wenn die obere Einsatzgrenze mit 21" bis 23" angegeben wird.
2. Die nachträgliche Erweiterung der Hauptbohrung in dem Bereich bis 3 000 m Tiefe von 6" bis 8 1/2" auf 23" Durchmesser ist mit erhöhten Kosten verbunden. Die Zerkleinerungsarbeit des Hartgesteins muß - entsprechend dem Stirnflächenverhältnis 1 : 10 - bei Verdoppelung der Bohrmärsche geleistet werden. Hinzu kommt, daß die Mietkosten der Bohranlage für die Hauptbohrung (Stillstand- und Betriebszeiten) relativ hoch sind. Dies würde zwangsläufig zur Einschränkung des zeitaufwendigen geowissenschaftlichen Meßprogramms gemäß Punkt 3 führen.
3. Die Pilotbohrung ist notwendig als Versuchslabor für die kritische Überprüfung der Meß- und Auswerteverfahren im Kristallingebirge, insbesondere, da diese Verfahren nur für Untersuchungen in Sedimenten entwickelt wurden (vergl. Kap. 3, Teilziel 2.). Die Bohrung ist weiter notwendig für die Erprobung der neu- und weiterentwickelten Bohrlochmeßgeräte (vergl. Kap. 3, Teilziel 5.). Und schließlich für die umfassende Korrelation von Bohrlochmessungen und Messungen an Bohrkernen (vergl. Kap. 3, Teilziel 3.). Letzteres ist notwendig für Entscheidungen in der Tiefbohrung, ob in bestimmten Fällen einer Messung oder dem Kern der Vorzug zu geben ist.
4. Die wissenschaftlichen Zielvorstellungen erfordern in jedem Fall von der Erdoberfläche ab kontinuierliche Bohrlochmessungen zur Erfassung der tiefenabhängigen Veränderungen der physikalisch-chemischen Parameter.

5. Für die Übertragung der in der Bohrung gewonnenen Meßdaten in den Raum hinein sind ergänzende Experimente von einer Bohrung zu einer zweiten Bohrung erforderlich.
6. Die in der Pilotbohrung gesammelten Erfahrungen hinsichtlich Meßgeräte, Interpretation, Korrelation von Meßergebnissen und Anwendbarkeit der Prioritätenliste lassen Modifikationen erwarten, die nutzbringend auf die geplante Hauptbohrung übertragen werden können.



## 5.2 Slimhole-Konzept

Nachdem das Überbohr-Konzept verworfen werden konnte, wurde eine Slimhole-Vorbohrung zur Diskussion gestellt, die in einem noch zu bestimmenden Abstand von der Hauptbohrung niedergebracht werden sollte.

Für die Vermessung von kleinkalibrigen Bohrungen und Produktionsbohrungen, bei denen die Sonden oft durch das Bohrgestänge bzw. durch das Steigrohr eingefahren werden müssen, haben die Service-Firmen spezifische Meßgeräte entwickelt. Die Slimhole-Sonden sind in Durchmessern von 2 1/4" bis 2 3/4" und als Production Tools in 1 11/16" verfügbar. Vorhanden sind in dieser Kategorie die drei Porositäts-Sonden Sonic, Density und Compensated Neutron, außerdem das Thermal Decay Time Tool, die Produktionskontrollmeßgeräte (Temperatur, Druck, Druckgradient, Kaliber, Flowmeter) sowie der Borehole Televier in 1 3/4" oder 2". Radioaktive Meßsonden dieser Serie sind mit einer Ausnahme als Hostile Environment Logging (HEL) Tools konzipiert und mit temperaturbeständigen Geiger-Müller-Zählrohren ausgestattet. Die Auflösung dieser Sensoren (Strahlungseinfangquerschnitt pro Längeneinheit) ist 20- bis 30mal schwächer als die Auflösung der Szintillatorzähler, die in den Standard-Serien (Durchmesser 3 3/8" bis 3 5/8") eingebaut sind. Die drei Slimhole Porositäts-Sonden können zur Zeit nur mit dem Gamma Ray in Kombination gefahren werden.

Folgende, für das KTB wichtige Meßsonden sind in Slimhole Ausführung nicht verfügbar:

- . Natural Gamma Spectrometry Tool (NGT),
- . Litho-Density Tool (LDT),
- . Gamma Spectrometer Tool (GST),
- . Dual Laterolog (DLL),
- . Microlog (ML), Microlaterolog (MLL), Proximity Log (PML),
- . Microspherically Focussed Log (MSFL),
- . High Resolutin Dipmeter (HDT), Stratigraphic High Resolution Dipmeter (SHDT), Formation Micro Scanning Tool (FMST),
- . Circumferential Microsonic Tool (CMT),
- . Electromagnetic Propagation Tool (EPT),
- . Dielectric Log, Deep Propagation Tool (DPT),
- . Nuclear Magnetic Resonance Log (NML),
- . Compensated Neutron Log-G (= Doppelmeßbereich Neutron Log) (CNT-G),
- . Borehole Gravity Meter (BHGM),
- . Seismic Acquisition Tool (SAT),
- . Meßkabelgesteuerter Seitenkernbohrer.

Eine Slimhole-Bohrung scheidet daher wegen der Nichtverfügbarkeit von Bohrlochsonden aus.

### 5.3 KTB-Oberpfalz VB und ihr Mindestdurchmesser

Der Minimaldurchmesser der Vorbohrung ist bedingt durch die Einsatzgrenze (Durchmesser) der verfügbaren Bohrlochsonden. Allgemeingültige Zusammenhänge (Normen) zwischen dem Durchmesser der Sonden und dem minimalen Openhole-Durchmesser gibt es nicht. Die jeweils erlaubte Minstdifferenz zwischen nominalem Bohrlochdurchmesser (= Meißeldurchmesser) und Sondendurchmesser ist von mehreren Einflußfaktoren abhängig.

1. Bohrlochbeschaffenheit:  
Wandrauhigkeit, Filterkuchen, Ausbrüche oder Kavernenbildung, Quelltone, Bohrlochneigung, Doglegs; letztere können zu Brückenbildung und Nachfall führen und damit eine Verkantungs- und Verklemmungsgefahr darstellen.
2. Spülung:  
Dichte, Viskosität, Wasserabgabe, toxische Eigenschaften, die sich wegen des Kolbeneffektes, der Gelbildung und des Reibungskoeffizienten auf die Ein- und Ausfahrgeschwindigkeit auswirken.
3. Bauart der Sonden:  
Mit oder ohne Meßschlitten, Länge der Sondenkombinationen (bis ca. 50 m). In glattwandigen und maßhaltenden Bohrungen ohne Doglegs - d. h. in lotrechten Kristallinbohrungen - ist der Einsatz langer Sondenkombinationen auch wegen der besseren Sondenführung günstiger. Die Verklemmungsgefahr durch Verkantung ist hier sehr gering.
4. Sondennavigation:  
Mit oder ohne Zentrierungs- bzw. Dezentrierungsvorrichtungen. Bei geringem Ringraum zwischen Sonde und Bohrlochwand wird oft auf gesteuerte Sondennavigation verzichtet.

Als Faustregel bei quasi lotrechter und glattwandiger Bohrung gilt für Bohrlochsonden ohne Meßschlitten:

$$D_{MB} \approx D_S + 1''$$

mit  $D_{MB}$  = Minimaldurchmesser der Bohrung in Zoll  
 $D_S$  = Sondendurchmesser in Zoll

und für Bohrlochsonden mit Meßschlitten (Microlog, Microlaterolog, Dipmeter, Formation Micro Scanner Tool, Litho Density Tool):

$$D_{MB} \approx D_S + 1,5''.$$

Die Rundung des Meßschlittens oder der Elektrodenträger muß ebenfalls berücksichtigt werden. Allen Standard-Geräten ist der 8 1/2"-Bohrlochdurchmesser zugrunde gelegt. In kleineren oder größeren Bohrlöchern ergeben sich durch schlechten Wandkontakt Fehllesungen oder durch Spülung stark beeinflusste Meßwerte.

In der Vorbohrung sollen möglichst alle Bohrlochmeßverfahren zur Überprüfung ihres Aussagevermögens im Kristallin erprobt werden. Es ist daher wichtig zu wissen, welche Sonden den größten Bohrlochdurchmesser erfordern. In den Tabellen 5.1 und 5.2 sind die minimalen und optimalen erforderlichen Bohrlochdurchmesser der Standard-Meßsonden bzw. Sondenkombinationen wiedergegeben. Die dort aufgeführten Sonden lassen sich gemäß Abschn. 5.2 nicht durch Slimhole-Meßgeräte ersetzen. Daraus geht also hervor, daß der

Mindest-Openhole-Durchmesser der Pilotbohrung

$\geq 6"$

betragen sollte.

Eine entsprechende Einigung mit dem Fachbereich Technik der Projektleitung wurde am 16.07.1986 erzielt. Das Schema der geplanten Bohrung KTB-Oberpfalz VB ist der Abb. 5.1 zu entnehmen.

Tabelle 5.1: Minimaler und optimaler Bohrlochdurchmesser für Standard-Bohrlochsonden.

Bezeichnung des Meßgerätes	Außendurchmesser der Sonde (Zoll)		Bohrlochdurchmesser			
	Dresser Atlas oder andere	Schlumberger	Minimal (Zoll)		Optimal (Zoll)	
			Dresser Atlas oder andere	Schlumberger	Dresser Atlas oder andere	Schlumberger
Borehole Televiwer (BHTV)	3 7/8	3 5/8 1 11/16	4 7/8	4 5/8 3 1/4	6	6 4
WBK-Gerät	2		3 1/2		4 1/2	
Borehole Gravity Meter (BHGM), EDCON-Sonde	4 1/8		5 1/4		6 - 8	
Circumferential Micro- Sonic Tool (CMT)	4	4	5	5	8 1/2	8 1/2
Electromagnetic Propagation Tool (EPT)						
- ohne Microlog	4 1/2	5 5/8	5 7/8	6 1/2	8 1/2	8 1/2
- mit Slim Hole Microlog		5 7/8		6 3/4	8 1/2	8 1/2
- mit Microlog	5 1/8	6 7/8	6 3/8	7 7/8	8 1/2	8 1/2
Formation Micro-Scanner (FMST)		5		6(5 7/8)		8 1/2
Mechanical Coring Tool (MCT)		5 1/4		6 1/4		8 1/2
Microlog (ML)	5 1/8	4 1/2	6	5 1/2	8 1/2	8 1/2
Microlaterolog (MLL)	5 1/8	5 1/4	6	6 1/4	8 1/2	8 1/2
Microspherical Focussed Log (MSFL)	4	4	5	5	6 - 8 1/2	6 - 8 1/2
Litho-Density Log (LDT)	4 7/8	4 1/2	6	5 1/2	8 1/2	8 1/2
Repeat Formation Tester (RFT)	5 1/8	5 1/8	6	6	8 1/2	8 1/2
Stratigraphic High Resolution (SHDT)		4.5		5.5		6 1/2 - 8 1/2
Standard Tools	3 3/8 - 3 5/8	3 3/8 - 3 5/8	4 1/2 - 5 1/2	4 1/2 - 5 1/2	6 - 8 1/2	6 - 8 1/2

Tabelle 5.2: Minimaler und optimaler Bohrlochdurchmesser für Sondenkombinationen.

B e z e i c h n u n g der Sondenkombinationen	Länge (m)	Durchmesser der Sonde (Zoll)	Bohrlochdurchmesser	
			Minimal (Zoll)	Optimal (Zoll)
AMS - DLL - MSFL/CAL - LDT - CNT - NGS - SDT (1)	49,9	5 1/4	6 1/4	8 1/2
AMS - FMST - SHDT - GRL (2)	13,3	5	6 1/4 (3)	8 1/2
AMS - NGT - EPT - ML/CAL - CNT - LDT (4)	29,3	6 7/8	8 1/4	8 1/2

(1) - Auxiliary Measurements Sonde - Dual Laterolog - Microspherically Focussed Log/Caliper - Litho-Density Tool - Compensated Neutron Tool - Natural/Gamma Spectrometer - Sonic Digital Tool.

(2) - Auxiliary Measurements Sonde - Formation Micro Scanner Tool - Stratigraphic High Resolution Dipmeter - Gamma Ray.

(3) - Die vier Meßschlitten sind so konstruiert, daß sie an der Krümmung einer 8 1/2" Bohrung optimal anliegen. Beim 6 1/4" Bohrlochdurchmesser ist besonders im Kristallin mit störendem Bohrlocheinfluß (Shunting durch den Spülfilm) zu rechnen. Außerdem treten vermehrt Fehler auf, die durch die ruckartige Bewegung der Sonde (sticking, Jo-Jo-Effekt) verursacht werden. Dies führt dazu, daß die Mikrowiderstandskurven z. T. nicht auswertbar sind.

(4) - Auxiliary Measurements Sonde - Natural Gamma Spectrometer Tool - Electromagnetic Propagation Tool - Microlog/Caliper - Compensated Neutron Tool - Litho-Density Tool, Messungen mit der EPT-Sonde sind in den KTB-Bohrungen nicht vorgesehen. In Kristallinbohrungen (NAGRA) hat man festgestellt, daß die Signaldämpfung durch den Spülfilm groß und das Formations-/Spülungssignal-Verhältnis ungünstig ist.

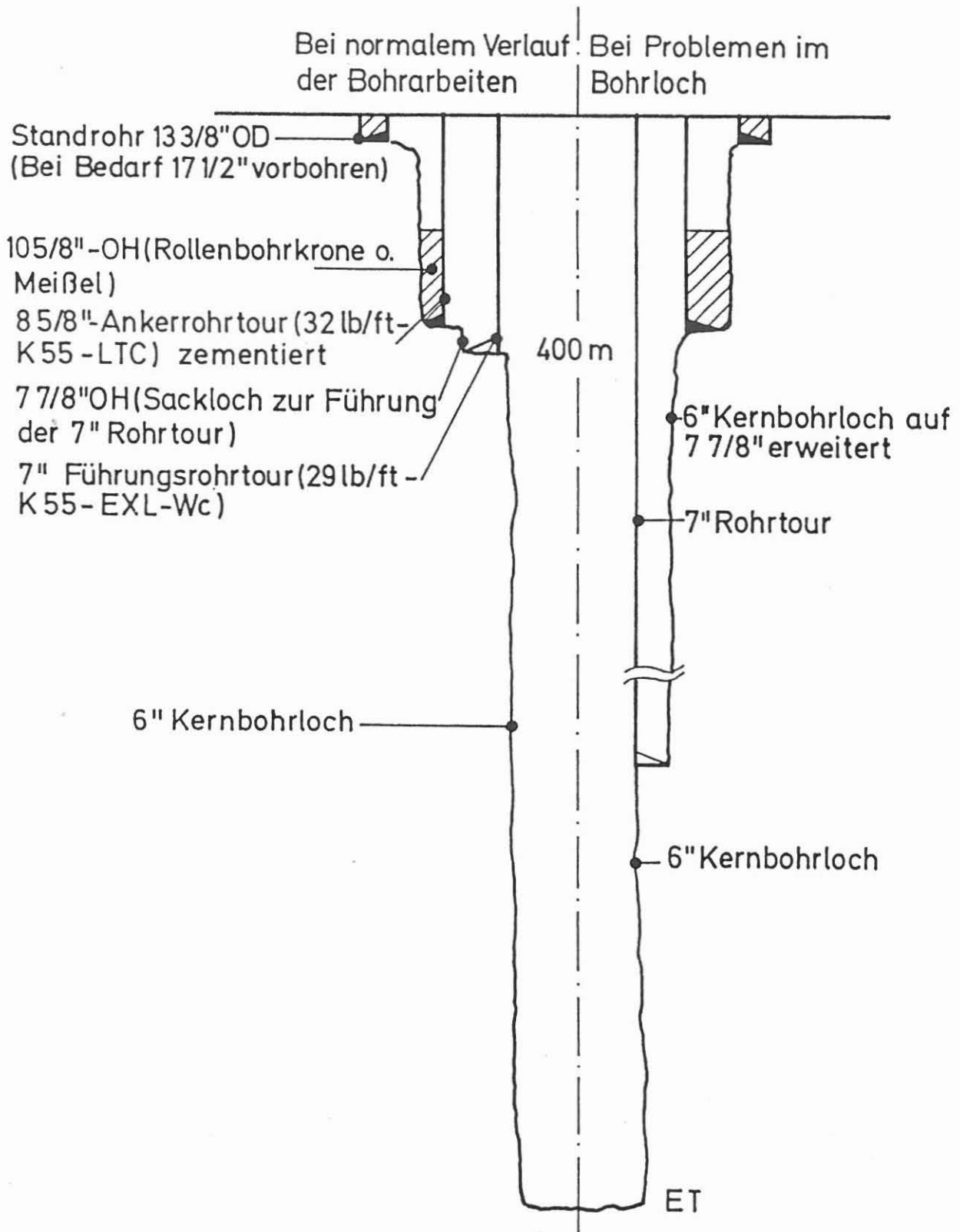


Abbildung 5.1: Planung KTB-Oberpfalz VB.

## 6 KTB-Dauermeßstation und KTB-Bohrlochmeßstation



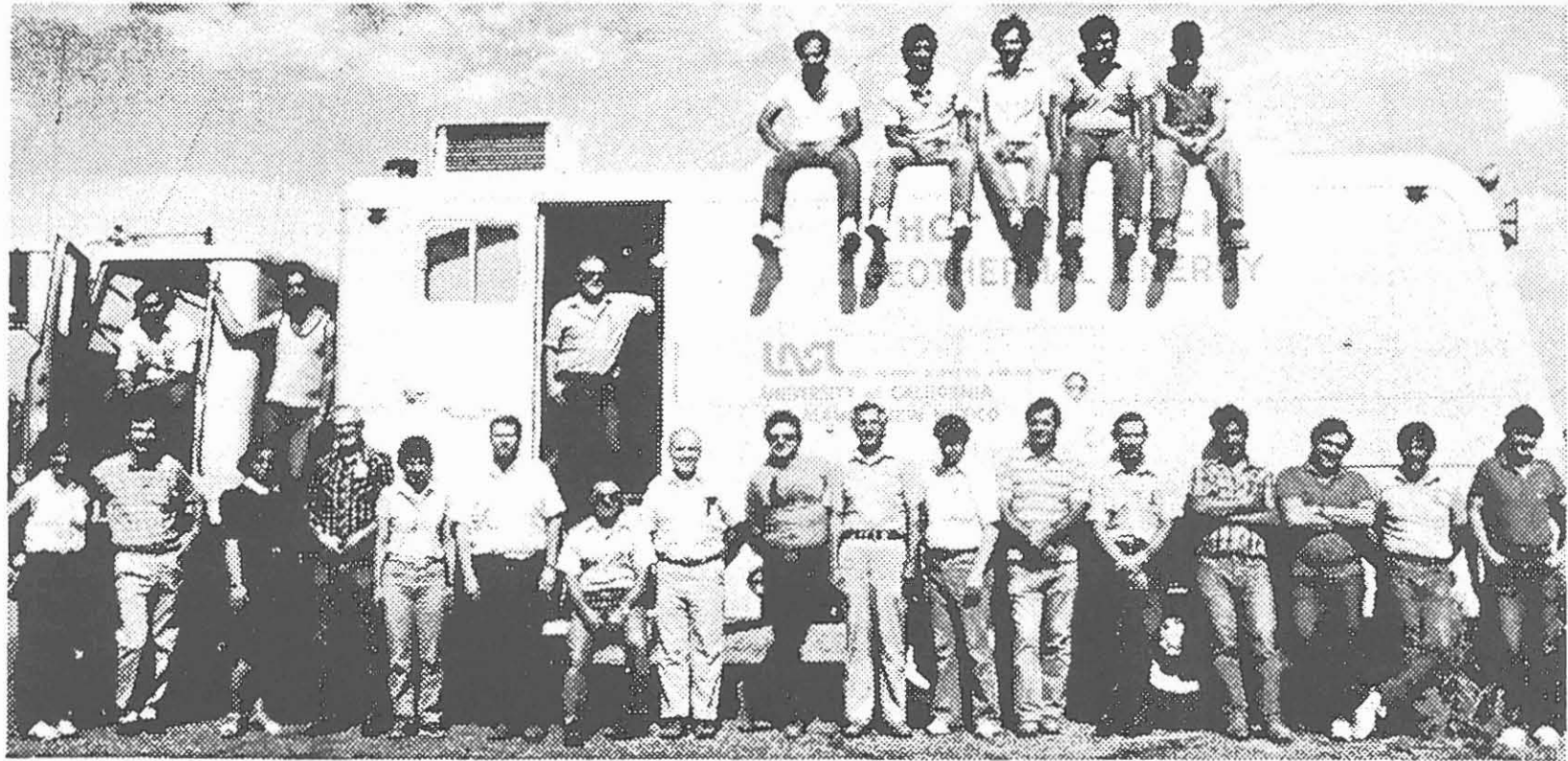


## 6. KTB-Dauermeßstation und KTB-Bohrlochmeßsonden

### 6.1 Planungsvorgaben

Für die Durchführung von Bohrlochmessungen ist eine Meßanlage (Well Logging Unit), im Prinzip bestehend aus einer Kabelwinde, einem Antriebsmotor und einer Registriereinheit, erforderlich. Die Diskussionen der ehemaligen ARGE 2 (Kap. 2) zeigten sehr bald, daß für die Durchführung des geplanten Bohrlochmeßprogramms (Kap. 8) eine an der Bohrung befindliche, permanente Well Logging Unit, im folgenden Dauermeßstation (DMSt) genannt, unumgänglich ist. Diese Entscheidung basiert i. w. auch auf den Erfahrungen der Forschungsvorhaben HDR Los Alamos (USA), HDR Cornwall (UK) und HDR Urach; DENNIS et al. 1986; HÄNEL 1982; PARKER (1987). In Abb. 6.1 ist die Arbeitsgruppe "Bohrlochgeophysik" des HDR-Projektes Los Alamos dargestellt. Die Mannschaft der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik der KTB-Projektleitung ist demgegenüber wesentlich kleiner; vergl. hierzu Tab. 2.2. Die Notwendigkeit einer Dauermeßstation ergibt sich im einzelnen aus:

- Während der Bohrphase können jederzeit Bohrlochmessungen für die bohrtechnische Sicherheit ausgeführt werden.
- Von den Geowissenschaften geforderte, jedoch in der Planung im Detail nicht berücksichtigte Zwischenmessungen, wie z. B. Temperaturmessungen, Fluid-Probennahme etc., lassen sich problemlos und ohne Verzögerung durchführen.
- Nach Fertigstellung der Vorbohrung ist eine längere, zeitintensive Untersuchungsperiode vorgesehen, in der Langzeitmessungen gefahren werden. Dies sind z.B. Temperaturmessungen zur Beobachtung von Ausgleichsvorgängen, Flüssigkeitsprobennahmen zur Untersuchung der zeitlichen Varianz der chemischen Bestandteile in der Flüssigkeitssäule, Wärmeleitfähigkeitsbestimmungen u.a.
- Versuchsmessungen mit neuen Meßgeräten und Sensoren sind in der Vorbohrung möglich, ohne die Bohrarbeiten z. B. in der Hauptbohrung zu behindern.
- Alle von den Universitäten und Instituten entwickelten Geräte können auf ein einheitliches Kabel-Übertragungssystem (CCS) und Aufzeichnungssystem standardisiert werden, welches die anschließende Interpretation mit Ergebnissen anderer Meßgruppen erleichtert.



It's a tough job but somebodies have to do it!

Abbildung 6.1: Arbeitsgruppe "Bohrlochgeophysik" des HDR-Projektes Los Alamos (USA).

Aufgrund dieser Argumente erfolgte eine wirtschaftliche Abwägung der Vor- und Nachteile einer KTB-eigenen DMSt:

- FRIES & HÄNEL (1984) in: Untersuchungen zu einer Dauermeßstation (Well Logging Unit).
- ARGE 2-Bohrlochmessungen: Protokoll der Arbeitsbesprechung vom 23./24.6.1986, Maria Laach.
- Kosten-/Nutzenanalyse der BEB (siehe FRIES & HÄNEL, 1985, Seite 23).
- Beurteilung der DFG-Gutachter.

Die Überlegungen und Untersuchungen erstreckten sich auch auf den Erwerb von KTB-eigenen Bohrlochsonden. Da aber die Bohrlochsonden aufgrund der raschen Weiterentwicklung auf dem Sektor der Mikro-Elektronik incl. der dazugehörigen Software eine ständige Verbesserung erfahren, lautete die Empfehlung, lediglich einfach aufgebaute Sonden, die im Bohrlochmeßprogramm häufig benötigt werden, zu erwerben.

- **Geothermik.** Entsprechend der Prioritätenliste in Kap. 3 kommt der Temperatur eine besondere Bedeutung zu. Die Arbeitsgruppe Geothermik der ehemaligen ARGE 2 sowie die Arbeitsgruppe Geothermik des FKPE stellen außerdem besondere Anforderungen an die Sonde und die Durchführung der Messungen. Demzufolge sind die Temperaturen in der Bohrung KTB-Oberpfalz VB etwa alle 50 m mindestens 30 min lang möglichst unmittelbar nach Spülungsstillstand zu messen. Ferner sind bei sich bietenden Gelegenheiten einige Langzeitmessungen auszuführen; vergl. hierzu Protokoll v. 15.01.1987.

- **Fluidprobennahme.** Es gilt hier, die Wünsche der Fluid-Interessenten mit den auf dem Markt angebotenen Fluidsamplern in Einklang zu bringen. Gemäß Tab. 8.1 sind neun Arbeitsgruppen an Fluidproben interessiert; die Anschaffung von KTB-eigenen Fluidsamplern ist daher gerechtfertigt.

- **Spannungsmessungen.** Die Ausbrüche eines Bohrlochs geben Hinweise auf die Richtung des Spannungsfeldes. Der zeitabhängige Verlauf ist Gegenstand von Untersuchungen; vergl. hierzu Protokoll v. 06./07.02.1987 der ARGE 3. Systematische Kalibermessungen sind daher angezeigt.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden von der PL per Ausschreibung eine Dauermeßstation und einige Bohrlochsonden erworben.

## **6.2 Dauermeßstation**

Die Zielvorstellungen gemäß Teilziel 7 und Abschn. 6.1 wurden zwischenzeitlich durch den Kauf einer schallgedämpften modularen Einheit (Well Logging Unit) gem. Abb. 6.2 realisiert. Die Dauermeßstation setzt sich zusammen aus:

- Well Logging Unit
  - . Antriebsaggregate
  - . Meßkabine
  - . Kabeltrommel
  - . Capstan
- Meßgeräte
- Zubehör
- Raumzellen (Container).

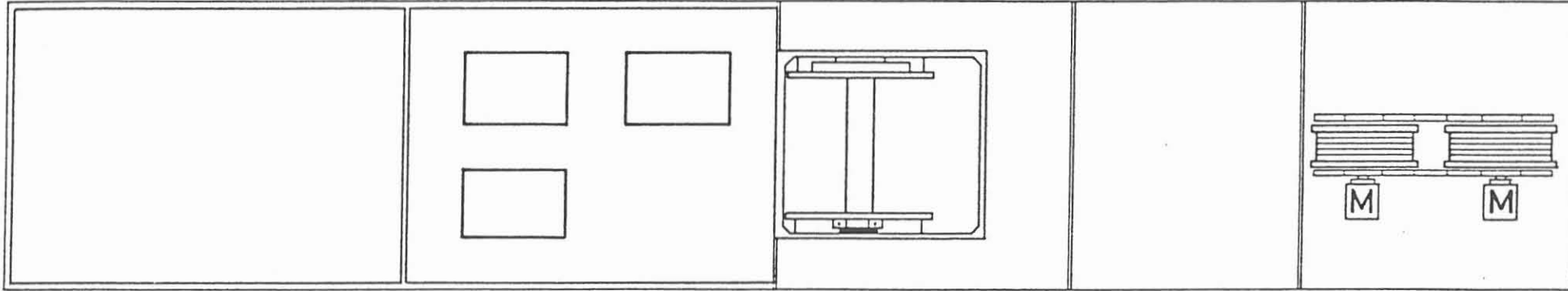
Die **Antriebsaggregate** bestehen aus einem Antriebsmotor für die Winde mit der nachgeschalteten Hydraulikpumpe und einem Antriebsmotor für die Elektroversorgung (110 V/60 Hz und 220 V/50 Hz). Die Kabine ist in lärm-dämmender Bauweise erstellt und erreicht eine Minderung des Geräuschpegels auf weniger als 40 dBA in 100 m Entfernung. Auf der Lokation soll, sobald das Feldlabor errichtet ist, eine alternative Stromversorgung zum dieselbetriebenen Generator aufgestellt werden. Mittels Umformer werden die für den Rechner (Data Acquisition) erforderlichen 110 V/60 Hz erzeugt.

In der **Meßkabine** sind der Führerstand für die Windenbedienung, die Datenerfassungsanlagen und ein Raum für die Filmentwicklung untergebracht.

Die **Kabeltrommel** ist in ihrer Gesamtkapazität für ein 7 500 m langes Bohrlochmeßkabel (11,9 mm Durchmesser) ausgelegt. Die zur Zeit aufliegende Kabellänge beträgt 7 200 m. Es handelt sich um ein 7adriges Bohrlochmeßkabel der Firma Vector Cable. Aus der Abb. 6.3 können die technischen Daten des Kabels entnommen werden.

Die **Meßgeräte** werden im Abschn. 6.3 beschrieben.

Die Aufgabe der **Capstan** liegt darin, im Falle der Umrüstung von einem 7 500 m-Bohrlochmeßkabel auf ein ca. 14 000 m langes Bohrlochmeßkabel die erhöhte Zugkraft, die bei großen Kabellängen zu erwarten ist, zu übernehmen. Die Zuggeschwindigkeiten der Kabelwinde und der Capstan werden so aufeinander abgestimmt, daß ein Zugkräfteverhältnis von ca. 1 : 50 entsteht. Dadurch wird die Kabelwinde zur Kabelspeichertrommel und die Zugkräfte zum Ziehen des Kabels aus dem Bohrloch werden von der Capstan übernommen. Die Meßkabelängen auf der Capstan sind so angeordnet, daß sich die Zugkräfte auf eine große Auflagefläche verteilen und somit eine Verformung oder Quetschung des Kabels vermindern.

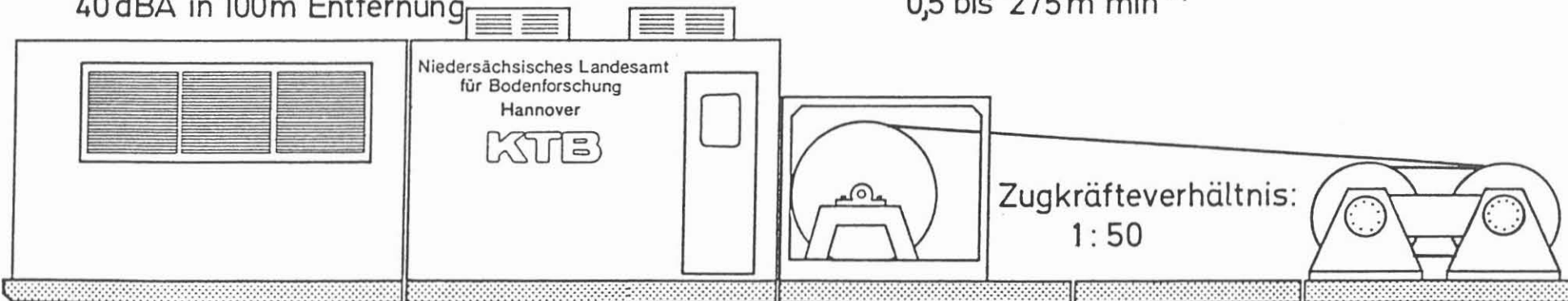


Windenantrieb:  
 Diesel Hydraulik (107 kW)

Geräuschpegel:  
 40 dBA in 100m Entfernung

Kabelkapazität:  
 7500m/15000m, 7-adrig, 11,9 mm  $\phi$

Kabelgeschwindigkeit:  
 0,5 bis 275 m  $\text{min}^{-1}$



Antriebsaggregate

Meßkabine

Kabeltrommel

Capstan

Abbildung 6.2: Well Logging Unit

**DESCRIPTION**

15/32" Seven conductor armored cable, designed and specially manufactured for use in oil well logging.

#20 AWG (6/.0142") = (6/0,36mm) copper.  
 HALAR monofilament.  
 VECTORENE insulation.  
 Min wall = (.026") = (0,66mm)  
 O.D. = (.102") = (2,59mm)

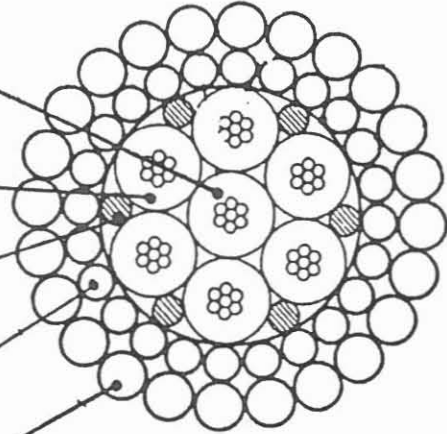
**TYPE 7-46-V**

#20 AWG (7/.0126") = (7/0,32mm) copper.  
 VECTORENE Insulation.  
 Min wall = (.026") = (0,66mm)  
 O.D. = (.098") = (2,49 mm)

6 cotton fillers and conductive filler compound in interstices. Conductive NOMEX binder. O.D. = (.288") = (7,31mm)

(24/.039") = (24/0,99 mm) GIPS, RHL  
 O.D. = (.366") = (9,30 mm)

(24/.049") = (24/1,25 mm) GIPS, LHL  
 O.D. = (.464") = (11,80 mm)



Armor wires are galvanized high tensile steel, preformed and prestressed. Armor is flooded with polar active asphaltic anti-corrosion compound.

**SPECIFICATIONS**

**MECHANICAL**

Weight in air :	329 Lbs/Kft	490 daN/Km
Weight in fresh water :	262 Lbs/Kft	390 daN/Km
Breaking strength ends fixed (min calculation) :	17,590 Lbf	7980 daN
Breaking strength ends free (min calculation) :	12,150 Lbf	5510 daN
Temperature rating :	-5°F to +375°F	-20°C to +190°C
Cable outside diameter :	.464" + or - .010"	11,80 mm + or - 0,25
Maximum end to end variation :	.010"	0,25 mm
Recommended minimum sheave/drum diameter :	24"	600 mm
Elongation :	.80 FL/KFL/KLbf	1,76 m/Km/1000 daN

**ELECTRICAL**

D.C. resistance at 68°F = 20°C :	Center cond :	10.4 Ohms/Kft	34,1 Ohms/Km
	Outer cond :	10.9 Ohms/Kft	35,7 Ohms/Km
	Armor :	1.2 Ohms/Kft	4,1 Ohms/Km
Insulation (min at 500 VDC) :		1,500 Megohms/Kft	457 Megohms/Km
Capacitance at 1 KHz :	Armor to outer conductor :	37 pf/Ft	123 pf/m
	Armor to center conductor :	40 pf/Ft	133 pf/m
Voltage rating :		1,000 VRMS	

Abbildung 6.3: Technische Daten des Bohrlochmeßkabels

Zum **Zubehör** zählen alle Geräte, die nicht in die Logging Unit eingebaut aber zur Durchführung der Bohrlochmessungen erforderlich sind. Dazu gehören z. B.:

- Kabelumlenkrollen  
(floor block, top block)
- Kabelzugspannungsmessgeräte
- Kabelreinigungsvorrichtung
- Kabelmarkierungsvorrichtung
- Spezialwerkzeug für Kabelarbeiten
- Spezialwerkzeug und Zubehör für die Sondenvorbereitungen
- Meßgeräte-Adapter.

Die **Raumzellen** werden in unmittelbarer Nähe der Logging Unit aufgestellt. Sie haben folgende Aufgaben:

- Raumzelle 1 wird eine mechanische Werkstatteinrichtung beinhalten. Hier werden - soweit möglich - alle mechanischen Reparaturen an Geräten der DMSt ausgeführt, die Sonden für die Bohrlochmessungen präpariert und regelmäßig Kalibrier- und Wartungsarbeiten vollzogen.
- In der Raumzelle 2 sollen alle elektronischen Arbeiten an den Meßsonden ausgeführt werden. Die entsprechende Werkstattausrüstung incl. der erforderlichen Prüfgeräte wird zur Zeit beschafft.
- Die Raumzelle 3 beinhaltet zwei Büroplätze, einen Bildschirmplatz und das Lichtpausgerät für die Vervielfältigung der Filme aus der Logging Unit. Hier werden Bohrlochlogs kommentiert und erste Auswertungen vorgenommen.
- Die Raumzelle 4 dient zur Aufbewahrung der Bohrlochsonden, des Zubehörs und zur Entwicklung von Filmen.

Sowohl in der Raumzelle 1 als auch in der Raumzelle 2 werden mechanische und elektronische Ersatzteile vorgehalten.

### 6.3 KTB-Meßgeräte

Entsprechend dem Abschn. 6.2 gehören zur permanenten Verfügbarkeit auch eine Anzahl ausgewählter Bohrlochmeßgeräte. Die Verbindung zwischen Bohrlochmeßgerät und Meßkabel wird durch einen sog. KTB-Kabelkopf hergestellt. Dieser besteht aus folgenden Elementen:

- **Kabelkopf.**

- . Telemetrie zur Übertragung der Meßdaten
- . AMS zur Messung der Kabelzugspannung, des Spülungswiderstandes und der Spülungstemperatur
- . Gamma Ray, welches zur Verbesserung der Teufenkorrelation der verschiedenen Messungen dienen soll.

Der Kabelkopf ist die mechanische und elektrische Nahtstelle zwischen Bohrlochmeßkabel und Bohrlochmeßgeräten. Schon im Vorfeld der KTB-Arbeiten, in der ehemaligen ARGE 2, hatte man sich auf den Kabelkopftypen der Firma Schlumberger geeinigt. Alle in die Bohrung einzufahrenden Meßgeräte müssen mit entsprechenden Adaptern versehen werden. Neben dem 10poligen Kabelkopfanschluß steht deshalb für die DMSt noch ein Adapter mit einer 31 pin Belegung (AH-64) zur Verfügung, wie er bei Schlumberger-Meßgeräten zum Einsatz gelangt. Es besteht also die Möglichkeit, sich entweder an den 10poligen oder den 31poligen Anschluß zu adaptieren.

Für die Bestimmung der Temperaturen wurden folgende Sonden erworben:

- **Temperatursonde 1.** Zwei Temperatursensoren befinden sich in einem festen Abstand von 1140 mm, der sich entsprechend den Empfehlungen aus 15 r (r = Bohrlochradius) ergibt. Absolute Meßgenauigkeit  $\pm 0,05$  °C, relative Meßgenauigkeit  $\pm 0,01$  °C.
- **Temperatursonde 2.** Zwei Temperatursensoren, deren Abstand zwischen 1,2 m und 2 m in 20 cm-Abständen variabel eingestellt werden kann. Genauigkeiten wie bei Temperatursonde 1.
- **Temperatursonde** in Kombination mit einem **Salinometer.**
- **Temperatursonde** in Verbindung mit einem **Neigungsmesser**, beide in Memory-Ausführung und zur Installation im Seilkernrohr vorgesehen. Damit kann die Temperatur der Spülung während des Bohrens und unmittelbar nach Einstellung der Spülungszirkulation gemessen werden. Die Anordnung der Sonde befindet sich in einem Abstand von 6,3 m über der Bohrlochsohle.



Weiterhin stehen zwei Fluidsampler zur Verfügung:

- **Einströmprobennehmer.** Das Gerät wird mit evakuierter Probenkammer in das Bohrloch eingefahren und vor Ort elektrisch geöffnet und geschlossen; (siehe Abb. 6.4). Die Fluidprobe wird druckdicht zutage gebracht und entleert. Das Fassungsvermögen der Probenkammer beträgt 3 l und kann durch ein Zusatzgefäß auf 10 l erweitert werden. Der Außendurchmesser des Gerätes beträgt 80 mm und die maximale Einsatztemperatur 150 °C.
- **Durchströmprobennehmer.** Dieser setzt sich aus beliebig vielen Einzelflaschen aus jeweils 0,5 l Fassungsvermögen zusammen; (siehe Abb. 6.5). Während der Einfahrt sind die Kammern geöffnet. Eine motorbetriebene Pumpe sorgt für eine Zwangsdurchströmung, die bis zur Probennahme aufrechterhalten bleiben kann. Vor Ort werden die Ventile elektrisch geschlossen. Da die Probenflaschen gleichzeitig Transportflaschen sind, erübrigt sich ein Probentransfer. Der Außendurchmesser des Gerätes beträgt 40 mm und die maximale Einsatztemperatur 150 °C.

Geplant ist außerdem der Erwerb folgender Sonden:

- **4-Arm-Kaliber.** Die Registrierung soll paarweise erfolgen; also eine Registrierspur für die Arme 1 und 2 sowie eine Spur für die Arme 3 und 4.
- **6-Arm-Kaliber.** Zur verbesserten Erfassung des Bohrlochquerschnitts sollen alle sechs Arme einzeln aufgezeichnet werden können.
- **Bohrloch-Geometrie Sonde (BGT).** Zur vollständigen Erfassung der Bohrlochgeometrie müssen die Kaliber-Sonden mit einem Neigungs- und Orientierungssystem gekoppelt eingefahren werden. Als Inklinometer ist ein System mit zwei um 90° versetzt angeordneten Neigungssensoren vorgesehen und für die azimutale Messung ein elektronisch betriebener Magnetkompaß mit mindestens  $\pm 0,5^\circ$  Genauigkeit.
- **Drucksonde.** Die Spezifikationen sind den zu erwartenden pT-Bedingungen der Bohrung KTB-Oberpfalz VB anzupassen.
- **Temperaturmeßgerät.** Ein Gerät zur Erfassung des Temperaturverlaufs während eines Jahres in ca. 1 m Bodentiefe. Aus den Aufzeichnungen soll die mittlere Jahrestemperatur  $T_0$  an der Erdoberfläche  $z = 0$  ermittelt werden.

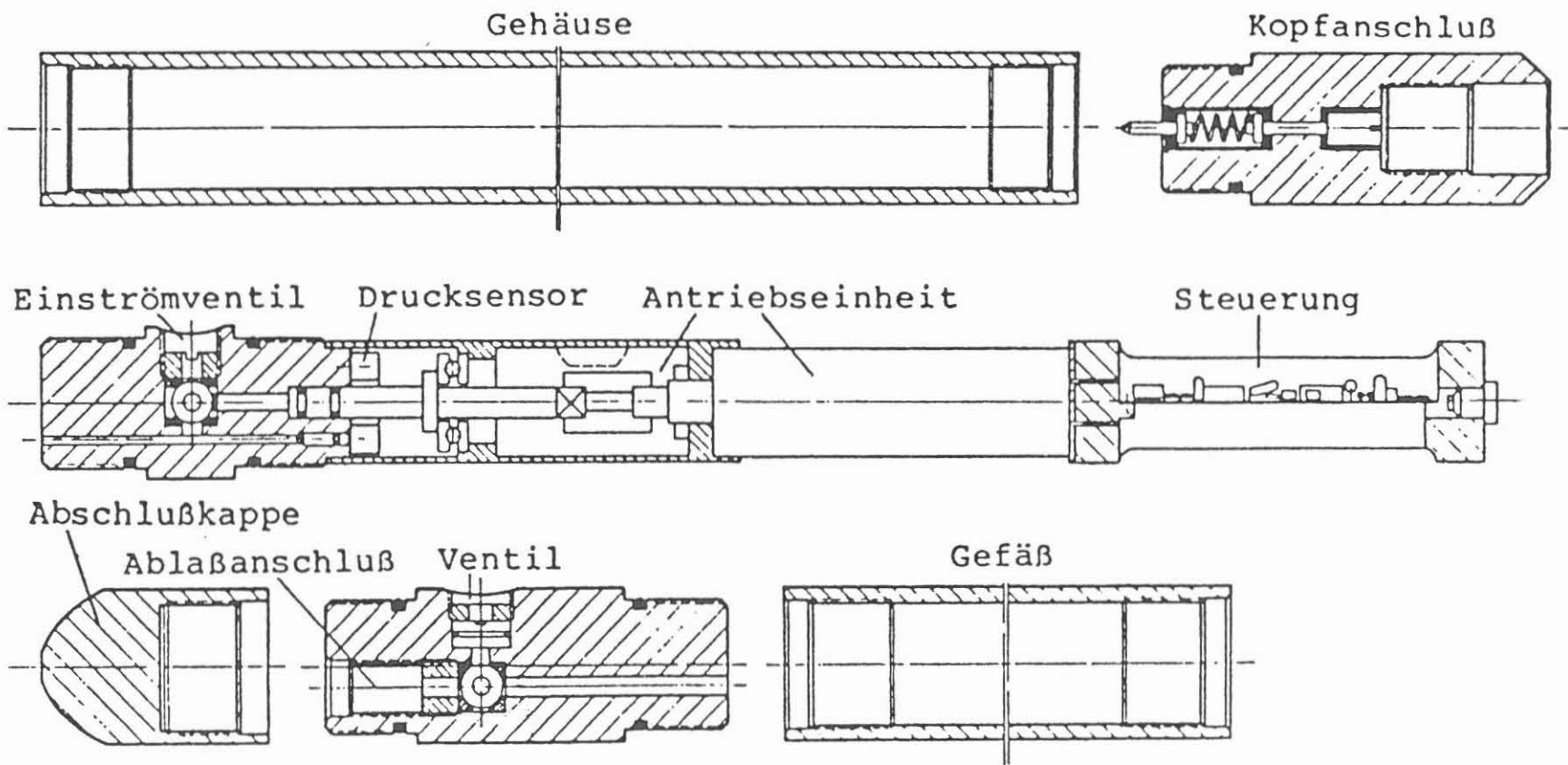
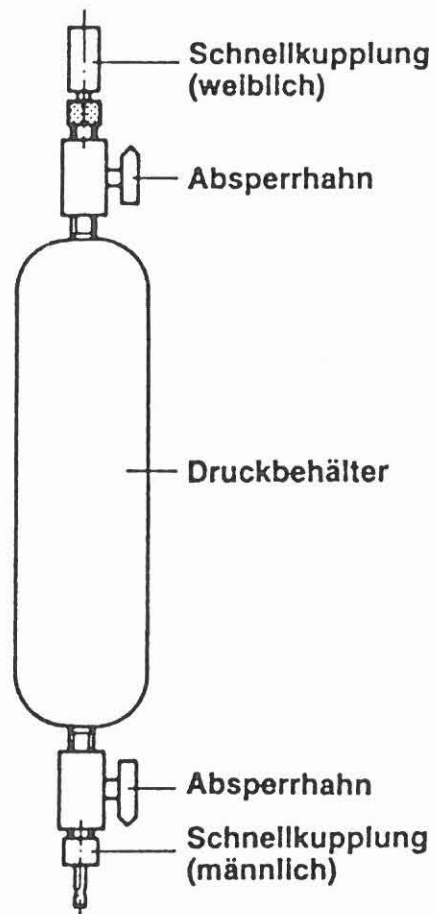


Abbildung 6.4: Einströmprobennehmer

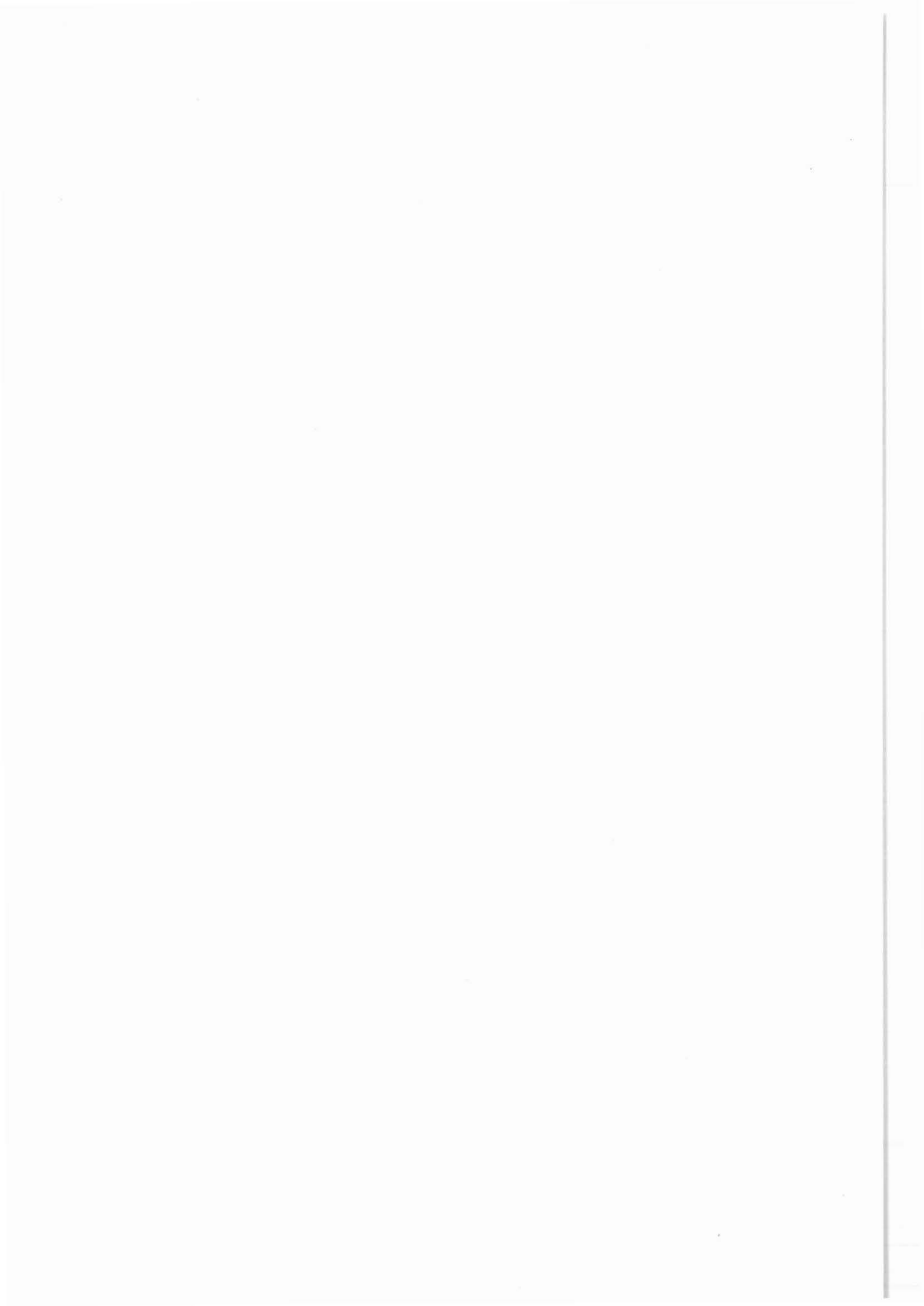
### Druckbehälter



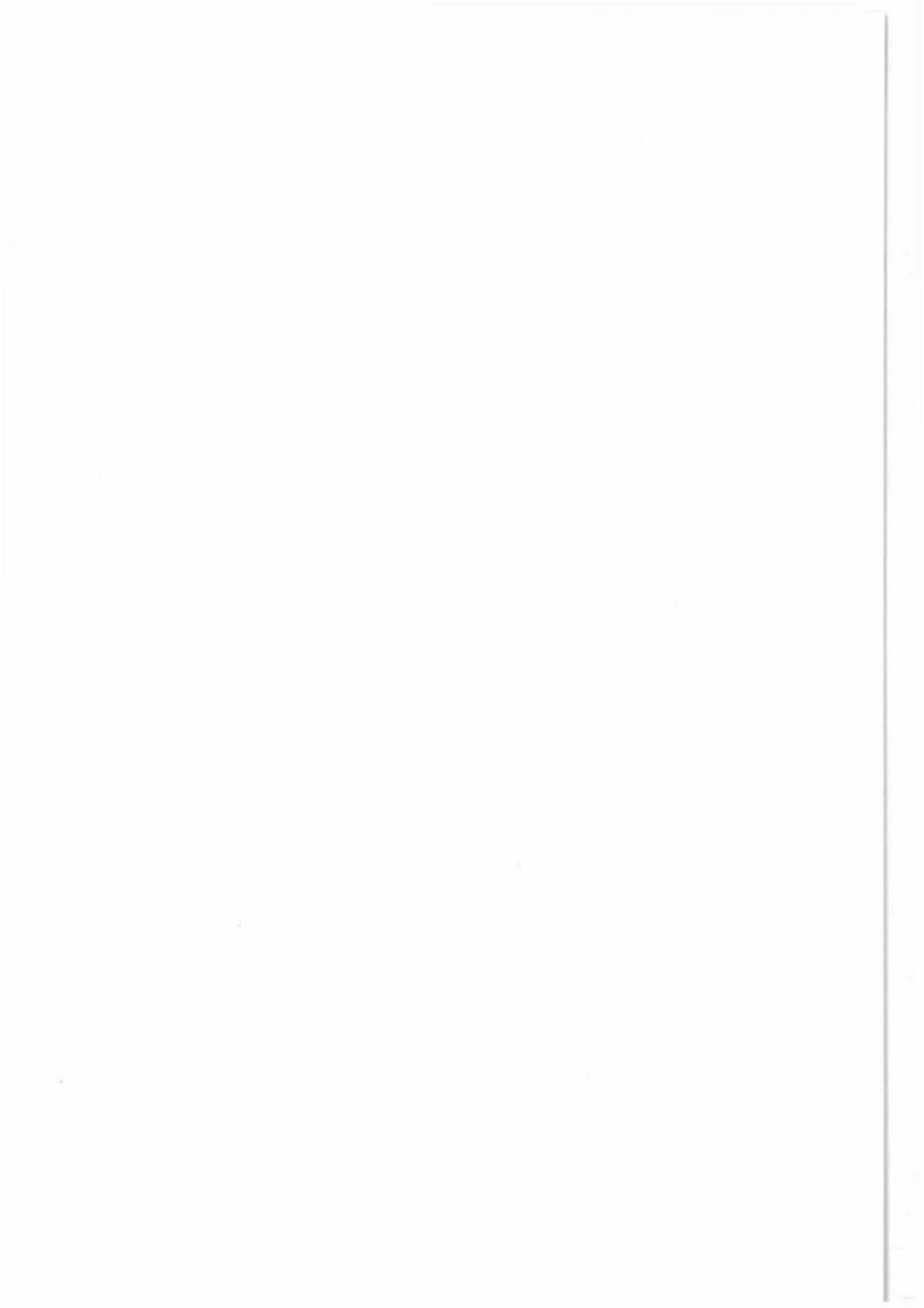
### TECHNISCHE DATEN:

- ZUGFESTER DRUCKSCHLAUCH
- MEHRERE DRUCKBEHÄLTER
- STICKSTOFFÜBERDRUCK IN DEN KAMMERN
- KAMMERVOLUMEN JE 500 ML
- KAMMERN MIT TEFLON BESCHICHTET
- MECHANISCHES VENTILSCHLIEßEN DURCH STICKSTOFF VON ÜBERTAGE
- DRUCKBEHÄLER IST AUCH TRANSPORTFLASCHE

Abbildung 6.5: Durchströmprobennehmer



## 7 Bohrlochmeßverfahren



## 7 Bohrlochmeßverfahren

### 7.1 Definitionen

Die Gesamtheit der Untertage-Datengewinnung wird im folgenden als Logging bezeichnet, sofern die Datengewinnung in Abhängigkeit von der Tiefe möglich ist. Das Logging umfaßt folgende Disziplinen (siehe Abb. 7.1):

**Messungen während des Bohrens (MWD - Measurement While Drilling).** Dieses Verfahren ist besonders für die Bohrtechnik von Interesse. Es liefert aber auch Aussagen zur Temperatur, zum Druck, zur elektrischen Leitfähigkeit und zur natürlichen Gammastrahlung. Da das MWD sehr kostspielig ist (DEVAY et al. 1986), muß die Entscheidung, ob das MWD eingesetzt werden soll oder nicht, i. w. der Bohrtechnik vorbehalten bleiben. Im Falle der Vorbohrung kommt es nicht zum Einsatz.

**Gesteinsprobenentnahme.** Diese ist ganz wesentlich an die zu verwendende Bohrtechnik gebunden. Entsprechend der Abb. 5.1 wird bis zur Verrohrungstiefe das Rotary-Bohrverfahren mit entsprechendem Doppelkernrohr und im Anschluß daran das Mining-Bohrverfahren mit entsprechender Seilkern-Technik zur Anwendung gelangen. Auf die Entscheidungen zur Entnahme von Bohrkernen sowie deren Bearbeitung und Vermessung hat die Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik nur begrenzten Einfluß. Eindeutige Entscheidungslinien hierzu sind noch nicht erkennbar.

**Bohrlochmessungen.** Darunter sind die Messungen mit Sondenköpern am Kabel (Wireline Logging), die tiefenabhängigen Experimente im Bohrloch und die Experimente von Bohrloch zu Bohrloch zu verstehen.

**Fluidteste und Probenentnahme.** Diese stellen im Sinne der wissenschaftlichen Ziele einen besonderen Schwerpunkt dar, der durch die gesonderte Erwähnung hervorgehoben werden soll.

**Geophysikalische Schlüsselexperimente.** Unter Schlüsselexperimenten sind geophysikalische Untersuchungen zu verstehen, die nur mit Hilfe einer supertiefen Bohrung zu realisieren sind; vergl. Abschn. 4.4. Wegen ihrer geschlossenen Darstellung werden diese ebenfalls gesondert ausgewiesen, obwohl sie auch den Bohrlochmessungen zuzuordnen sind.

Zum besseren Verständnis dafür, inwieweit die Bohrlochmessungen im Sinne der geowissenschaftlichen Zielvorstellungen bzw. des "Gesamtziels des Arbeitsprogramms" Bohrlochgeophysik gemäß Kap. 3 korrespondieren, sollen im folgenden die Meßverfahren kurz erläutert werden. Jedoch nur diejenigen Verfahren, die voraussichtlich zum Einsatz kommen werden. Umfassende Beschreibungen sowie Beschreibungen der hier nicht aufgeführten Verfahren finden sich z. B. in DESBRANDES (1985), SERRA (1984) und CRAIN (1986).

## UNTERTAGE-DATENGEWINNUNG (LOGGING)

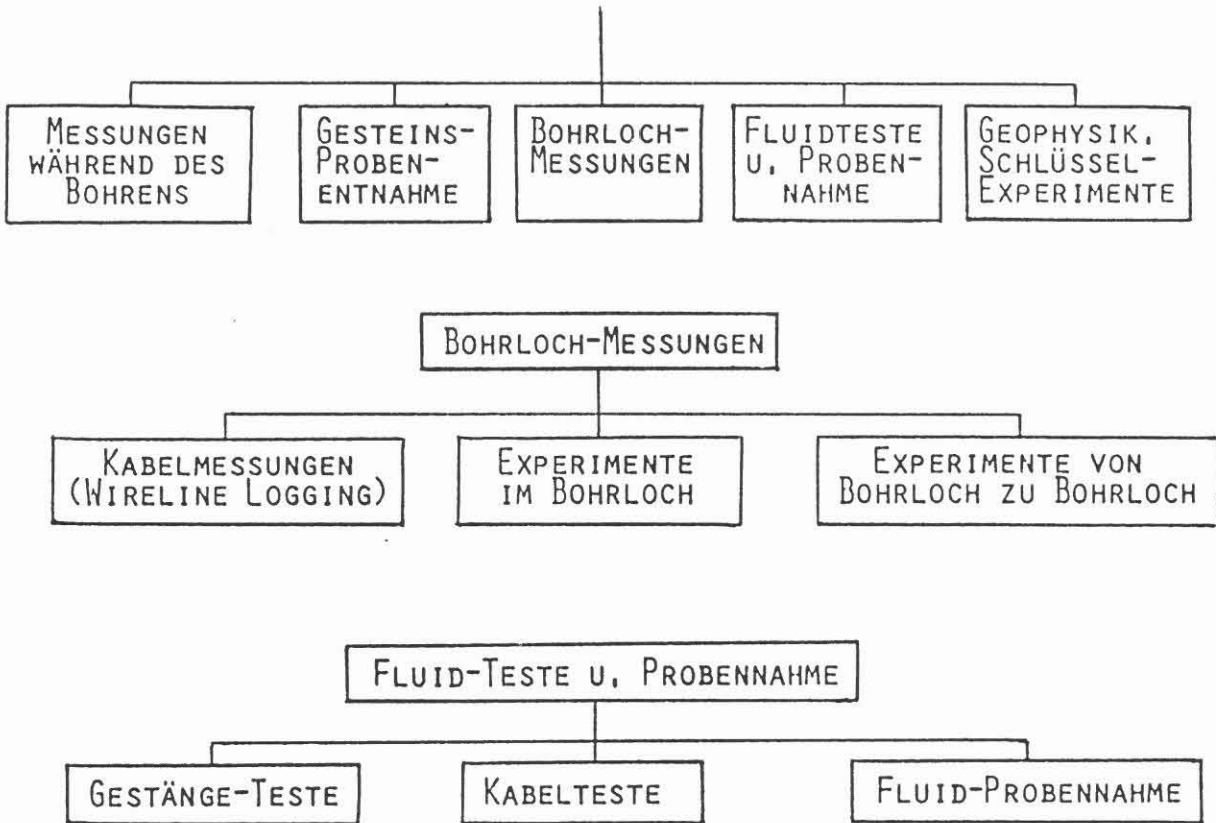


Abbildung 7.1: Definition der Untertage-Datengewinnung



## **7.2 Standardmeßverfahren (Wireline Logging)**

Die weitgehend funktionsgleichen Meßsonden werden von den Service-Firmen unterschiedlich bezeichnet; siehe Anhang 2. Aus Gründen der Übersichtlichkeit soll deshalb im folgenden, sofern nichts anderes vermerkt ist, stets der Gerätenamen bzw. die Abkürzung der Firma Schlumberger verwendet werden; entsprechendes gilt ebenso für die Abbildungen. Dies ist auch in Übereinstimmung mit dem anlässlich der 4. Arbeitssitzung der ehemaligen ARGE 2 vorgebrachten Vorschlag, im Sinne der einheitlichen Sprachregelung die Bezeichnungen von Schlumberger zu verwenden. Im Anhang 1 erfolgt eine alphabetische Auflistung der von Firma Schlumberger verwendeten Abkürzungen.

### **7.2.1 Elektrische und elektromagnetische Verfahren**

#### **DIL: Dual Induction Log**

Bestimmt die elektrische Leitfähigkeit des Gebirges und ist besonders geeignet, wenn sich eine nichtleitende (ölbasische) Spülung im Bohrloch befindet. Kombiniert ein Widerstands- und zwei Leitfähigkeitsmeßsysteme mit unterschiedlichen Eindringtiefen; Laterolog für geringe und das Leitfähigkeitsprinzip (Induction) für mittlere und große Eindringtiefen (Abb. 7.2). Die Leitfähigkeit der Formation berechnet sich aus der Stärke des elektromagnetischen Feldes, das durch Induktion von Wechselstrom konstanter Stärke dem Gebirge aufgeprägt wird. Dieses Meßsystem eignet sich nicht für Formationen mit geringer Leitfähigkeit ( $\leq 10^{-2}$  S/m).

#### **DLL/MSFL: Dual Laterolog/Micro Spherically Focussed Log**

Bestimmt den elektrischen Formationswiderstand in Bohrlochabschnitten mit leitender Spülung (Spülung auf Salzwasserbasis). Kombiniert zwei Laterolog-Meßsysteme mit unterschiedlichen Eindringtiefen, die einen horizontal fokussierten Stromfluß in die Formation aussenden (Abb. 7.3). Bei sehr hohen Gebirgswiderständen ( $10^4$  bis  $10^5 \Omega\text{m}$ ) ist eine effektive Bündelung des Meßstromes nicht mehr möglich und der wahre Gebirgswiderstand kann nicht ermittelt werden. Im Kristallin kann das Dual Laterolog zur Lokalisierung zerklüfteter Zonen in naher Umgebung der Bohrung benutzt werden. Zur gleichen Zeit kann auch ein halbsphärisch fokussiertes Microlaterolog aufgenommen werden (MSFL). Es bestimmt den elektrischen Formationswiderstand im bohrlochnahen Bereich, der im Fall von permeablen Formationen mit Spülungsfiltrat gesättigt ist ("geflutete bzw. infiltrierte Zone"). Dank des hohen Auflösungsvermögens können mit dem MSFL (Abb. 7.4), wie mit anderen fokussierten Microlaterolog-Geräten auch sehr dünne Schichten bzw. Inhomogenitäten (planare Diskontinuitäten, offene Klüfte, Zerrüttungszonen) im Nahbereich identifiziert werden.

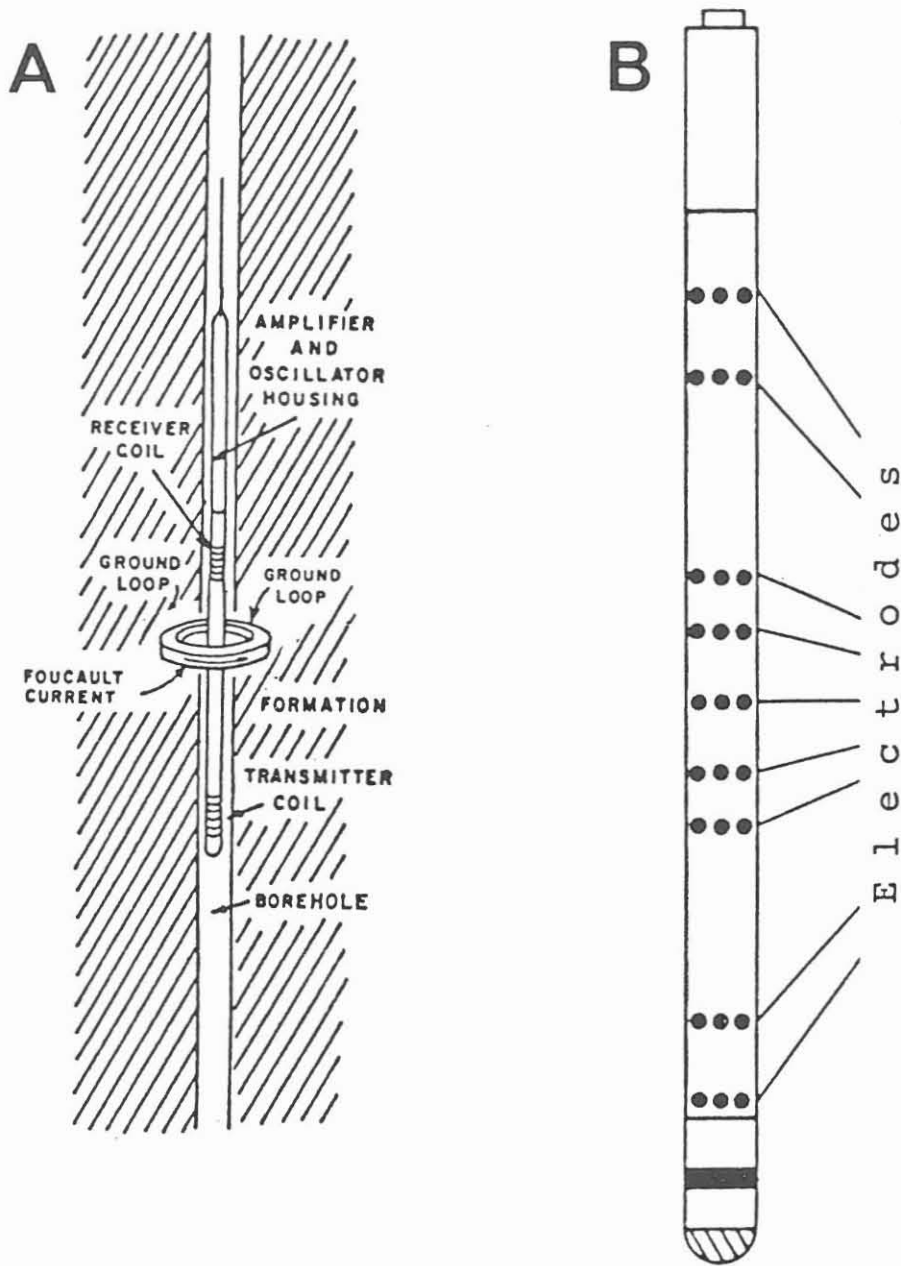


Abbildung 7.2: Induction Log;

- A - Prinzip Induction Log (IL)
- B - Prinzip Dual Induction Log (DIL),  
hinter den ringförmig angeordneten  
Elektroden liegen die Spulen.

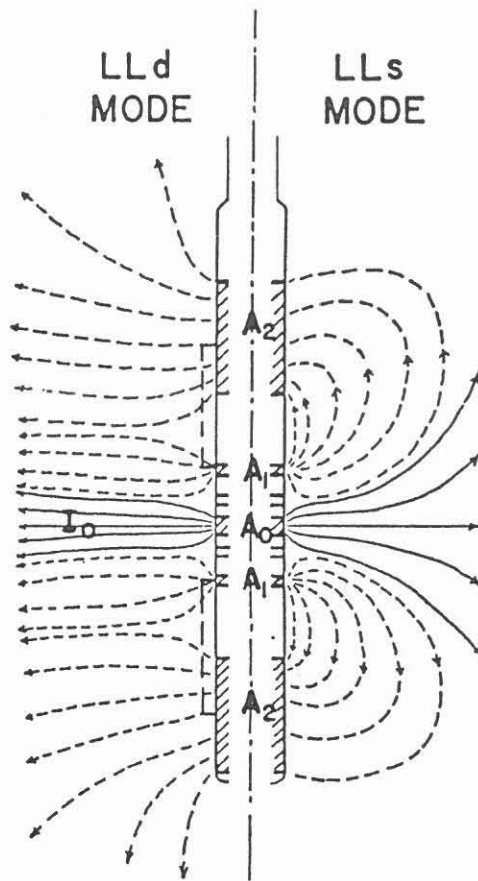


Abbildung 7.3: Strombündelungsschema des Dual Laterolog (DLL);  
 LLd = große Eindringtiefe  
 LLs = mittlere Eindringtiefe.

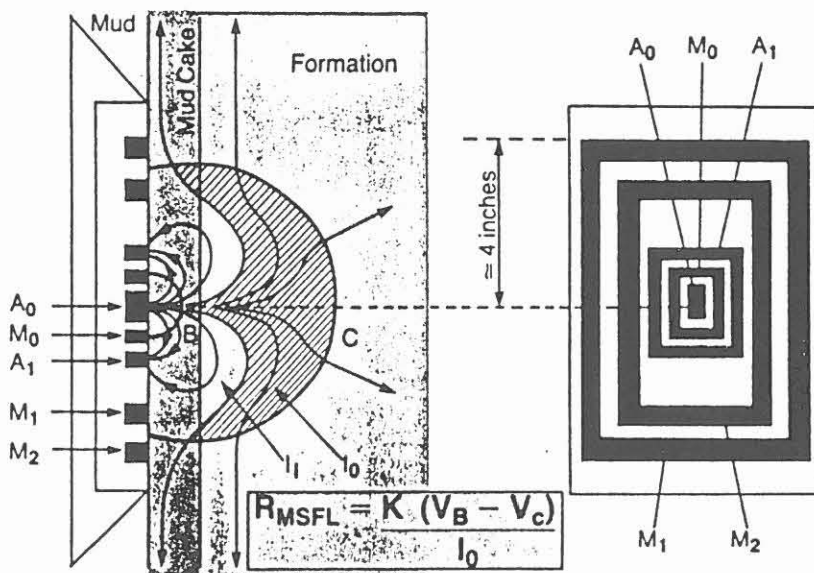


Abbildung 7.4: Strombündelungsschema des Micro Spherically Focussed Log (MSFL), geringe Eindringtiefe.

**EPT: Electromagnetic Propagation Tool**

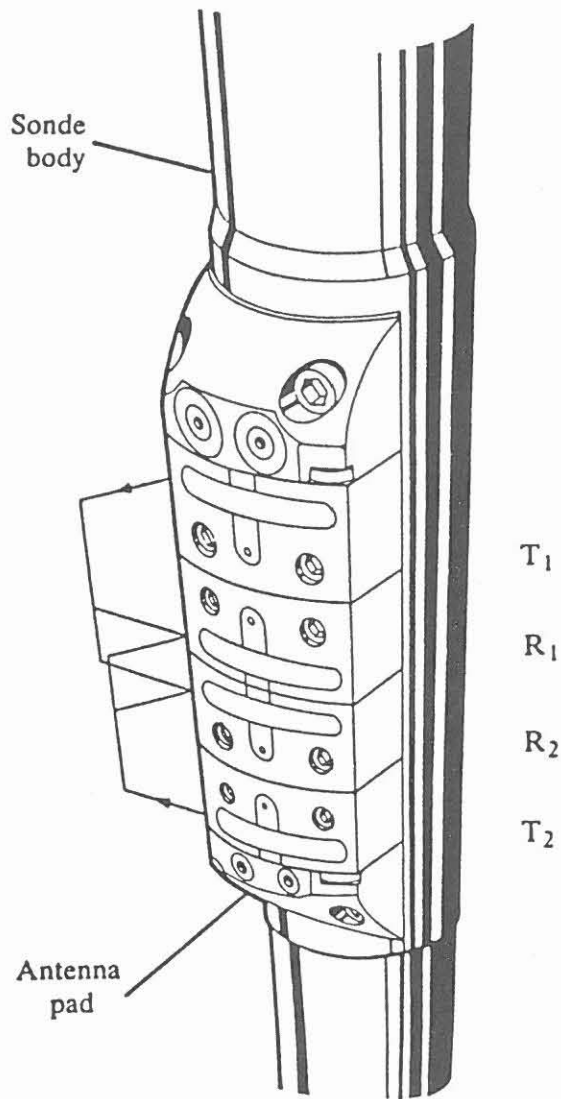
Mißt Ausbreitungsgeschwindigkeiten und Absorption einer elektromagnetischen Welle von 1,1 GHz in der Formation (Abb. 7.5); die Ausbreitungsgeschwindigkeit wird von der Dielektrizitätskonstante des Mediums sowie von Absorptionseffekten kontrolliert. Da die Dielektrizitätskonstante von Wasser um mindestens einen Faktor 10 größer ist als diejenige der Gesteinsmatrix, kann aufgrund der korrigierten Ausbreitungsgeschwindigkeit der wassergefüllte Porositätsanteil der Formation berechnet werden. Die beste Voraussetzung hierfür ist gegeben, wenn der Widerstand der Spülung groß und der des Gebirges niedrig ist. Die Eindringtiefe der Messung liegt je nach Formationswiderstand zwischen 2 und 15 cm.

**FMST: Formation MicroScanner Tool**

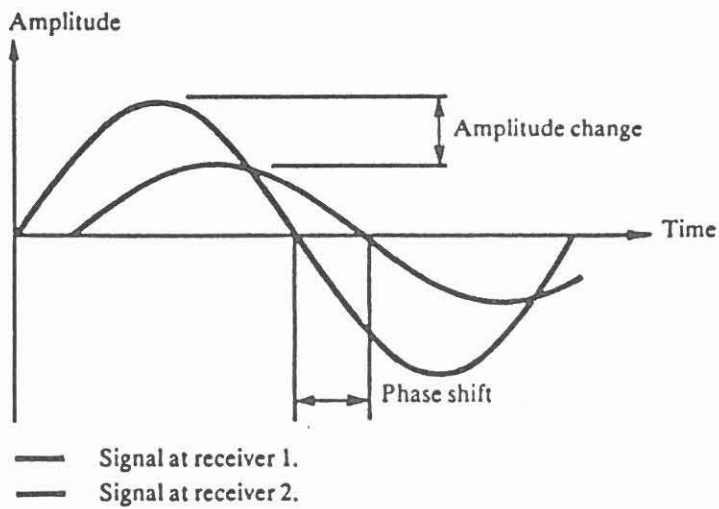
Das Meßsystem besteht aus zwei um 90° versetzten Elektroden-trägern (Meßschlitten, Pads) mit je 27 Elektroden; Abb. 7.6. Diese werden von beweglichen Sondenarmen an die Bohrlochwand angepreßt und registrieren deshalb auch bei rauen Bohrlochbedingungen gute Widerstandswerte. Das System ist voll in das Stratigraphic High Resolution Dipmeter Gerät (SHDT) integriert und wird gleichzeitig mit diesem gefahren. Deshalb sind Neigungs-, Orientierungs- und Kaliberdaten identisch. Die Meßdaten werden nach erfolgter Teufenkorrektur entweder als schwarz-weißes Widerstandsbild oder als farbiges Kontrastbild dargestellt. Dabei wird für die Darstellung folgende Kodierung gewählt: hohe Leitfähigkeit entspricht schwarz bzw. dunkler Farbtönung, niedrige Leitfähigkeit entspricht weiß bzw. hellen Farben. Strukturelle, sedimentäre, texturale Informationen lassen sich ebenso gewinnen wie Hinweise auf offene oder verheilte Klüfte, kavernöses und dichtes Gestein.

**IP: Induzierte Polarisation**

Kontaktzone zwischen Gesteinsmatrix und Formationsflüssigkeit werden - wie ein Akkumulator - mit Gleichstromimpulsen aufgeladen; induzierte elektrische Polarisation; (Abb. 7.7). Die Abklingspannung wird nach Abschalten des fokussierten Aufladestromes aufgenommen. An dem Phasenkontakt "glänzender" Mineralien mit leicht saurer Spülung können - als Folge elektrochemischer Wechselwirkung - bedeutende Redoxpotentiale erzeugt und gemessen werden. Die Nachweisgrenze "glänzender" Mineralien (pyritische Vererzungen, Anthrazit, Graphit usw.) liegt oft unter 1 %. In tonig-sandiger Sedimentfolge wird hauptsächlich die Wirkung ionischer Ladungsverschiebungen in der Helmholtz'schen Doppelschicht der Grenzflächen (das sog. Elektrofiltrations- oder Strömungspotential) gemessen. Reine Ton-schichten erwiesen sich wegen der sehr starken adsorptiven Bindung der Doppelschicht als nicht polarisierbar. Gemessen werden die Aufladefähigkeit M und der Abklingkoeffizient A (siehe Abb. 7.7), als sekundäre Meßgröße kann die elektrische Leitfähigkeit aus der gemessenen Spannung abgeleitet werden. Sonde: NLfB, Hannover.



*Antenna pad of the EPT sonde.*



*Electromagnetic propagation signals.*

Abbildung 7.5: Electromagnetic Propagation Tool (EPT);  
T = Sender  
R = Empfänger.

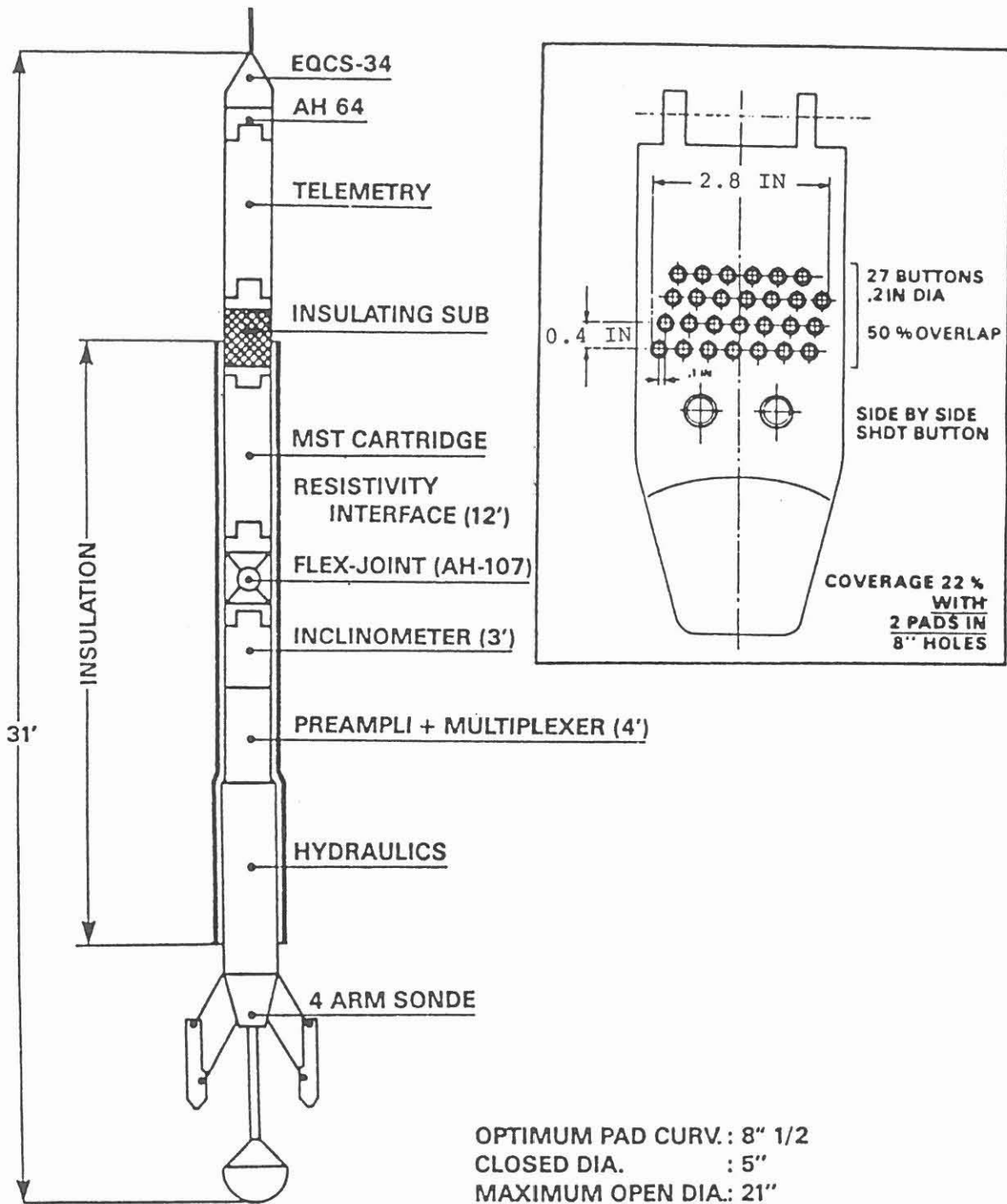


Abbildung 7.6:

Formation Micro Scanner Tool (FMST) kombiniert mit einem Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool (SHDT). Zwei um 90° versetzt liegende Meßschlitten (Pads) enthalten - wie oben rechts abgebildet - das kombinierte Meßsystem, zwei weitere Meßschlitten sind mit je zwei SHDT-Elektroden bestückt.

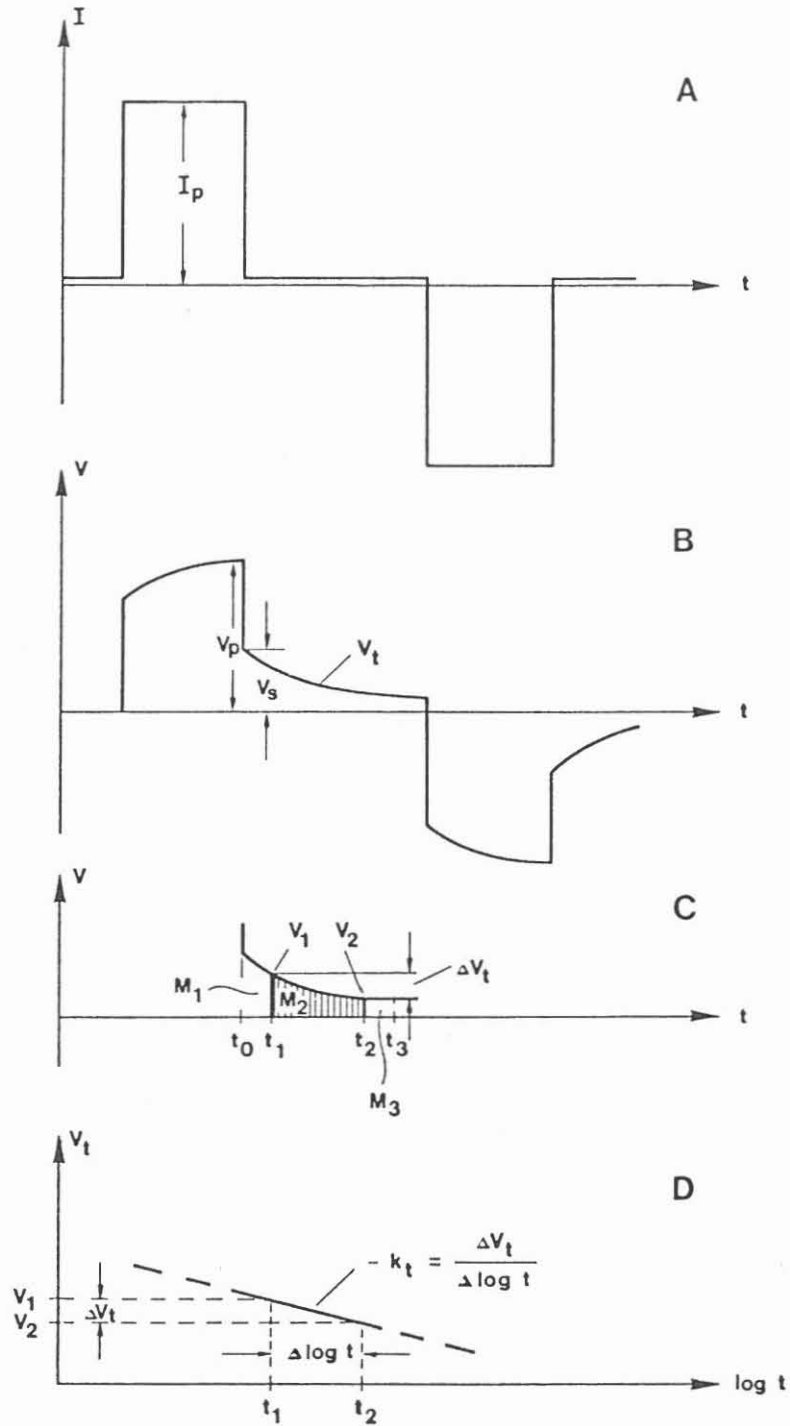


Abbildung 7.7: Induzierte Polarisation

- A - Eingespeiste Gleichstromimpulse
- B - Aufbau und Abbau der durch das Gestein beeinflussten transienten Spannung
- C - Darstellung zur Ermittlung der Aufnahmefähigkeit  $M = \Delta V_t / V_p$  und des Abklingkoeffizienten  $A = M_3 / M_1$
- D - Erläuterungen zur Bestimmung der Abklingkonstanten  $k_t$ , die der Bestimmung von  $V_t$  dient.

**SHDT: Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool**

Durch vier an die Bohrlochwand angepreßte Meßschlitten (Pads) werden simultan acht hochauflösende Microlaterolog-Widerstandslogs aufgezeichnet; Abb. 7.6. Zusätzlich wird die Neigung und Orientierung der Bohrung gegen magnetisch Nord und die relative Lage des Gerätes in der Bohrung durch die Messung des Azimuts und eines Referenzarmes kontinuierlich registriert. Aus der Korrelation der acht Microlaterolog-Widerstandskurven und nach Korrektur für Bohrlochneigung, Bohrlochorientierung und Kaliber wird die räumliche Lage von Schichtflächen berechnet. Außerdem wird ein vierarmiges Kaliber gemessen, mit dem z. B. Ovalisierungen des Bohrloches durch Randausbrüche registriert werden können; siehe auch BGT. Die Daten der gleichen Meßsonde können für bestimmte Bohrlochabschnitte dazu verwendet werden, ein FIL (Fracture Identification Log) zu berechnen. Offene Klüfte, die mit leitender Spülung gefüllt sind, manifestieren sich in den Widerstandskurven als Zonen mit starkem Widerstandsabfall. Die Kreuzkorrelation der Widerstandskurven gibt Aufschluß über die räumliche Lage planarer Diskontinuitäten. Wo der scheinbare Einfallwinkel gegenüber dem Bohrloch zu gering ist, um die Klüftorientierung festzulegen, erlaubt das FIL wenigstens eine Identifizierung von zerklüfteten Zonen und die Beurteilung der Klüftdichte (Anzahl der Klüfte pro Meter).

**SP: Self-(Spontaneous) Potential (Log)**

Das elektrische Eigenpotential wird zwischen einer stationären Referenzelektrode an der Erdoberfläche und einer beweglichen Meßelektrode in der Bohrung gemessen. Es entsteht durch die chemische Reaktion beim Zusammentreffen von Flüssigkeiten unterschiedlicher Salinität (Spülungsfiltrat/Formationswasser) aufgrund von Ionenwanderung durch Tonstein und durch Druckdifferenz der hydrostatischen Säule zum Formationsdruck; Abb. 7.8. In Sedimentgesteinen kann damit zwischen permeablen und nichtpermeablen Zonen unterschieden werden. In Intervallen hohen Widerstandes - meist dichte Formation - tritt entweder kein Eigenpotential auf, oder es wird - wie bei sulphidischen Vererzungen - eine stark verzerrte Eigenpotentialkurve aufgezeichnet.



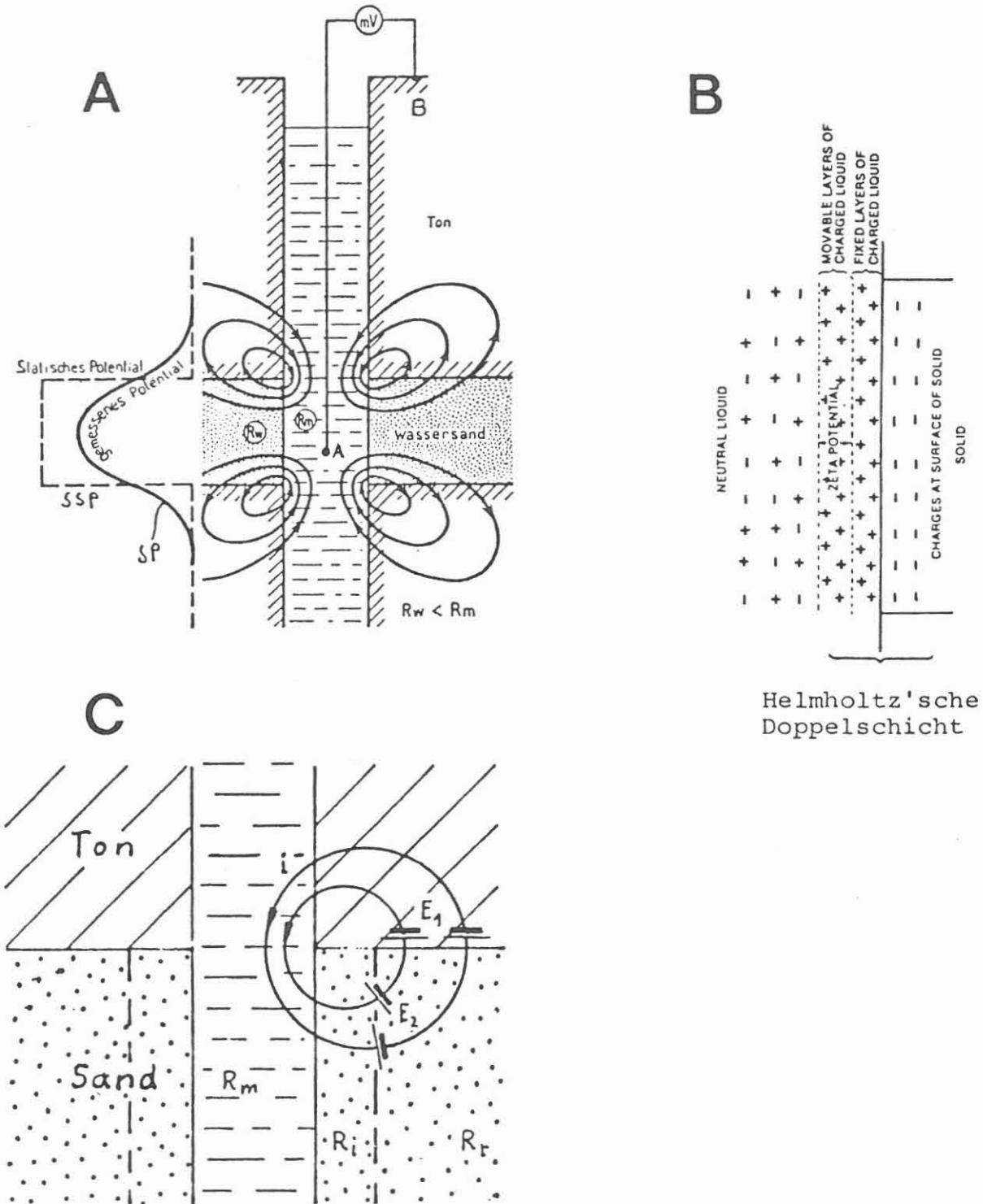


Abbildung 7.8: Potential- und Stromlinienverteilung, Self Potential Log  
 A - Elektrochemisches Potential (Konzentrations- und Membranpotential)  
 B - Elektrokinetisches Potential  
 C = Erläuterungen zu A.

- $E_1$  = Membranpotential
- $E_2$  = Konzentrationspotential
- $E^2 = E_1 + E_2 =$  Elektrochemisches Potential
- $i$  = Kreisströme

## 7.2.2 Radioaktive Verfahren

### **CNT: Compensated Neutron Tool (Neutron-Thermal Neutron Log)**

Eine Neutronenquelle (Americium-Beryllium) bestrahlt das Gebirge. Die Neutronen werden durch elastische und unelastische Zusammenstöße mit den Atomkernen abgebremst unter gleichzeitiger Verringerung des Energieniveaus. Man unterscheidet dabei in epithermale Neutronen (0,1 - 1 eV) und thermale Neutronen (0,025 - 0,1 eV); bei weniger als 0,025 eV werden die Neutronen eingefangen. Sowohl bei der Abbremsung als auch bei der Einfangreaktion wird Gammastrahlung abgegeben. Das CNT mißt mit einem Sensor die Gammastrahlung, verursacht durch die thermalen Neutronen. Ein zweiter Sensor registriert die normale Gammastrahlung, die in Abzug gebracht wird ( $\Delta$  compensated). Das Wasserstoffatom übt die größte Wirkung aus, da die Masse des Protons nahezu gleich der des Neutrons ist. Daher reagiert das Meßsystem auf die Wasserstoffkonzentration im Gebirge (Hydrogen Index). Diese kann bei vollständiger Wassersättigung in tonfreiem Gebirge als Funktion der Porosität interpretiert werden (Neutron Porosity Index). Da Kristallwasser und gebundenes Wasser (Haftwasser) in diese Funktion mit eingehen, zeigt die Neutronenmessung die Totalporosität an.

### **CNT-G: Compensated Neutron Tool**

Dieses Gerät verfügt über zwei Sensorenpaare: ein Paar zur Registrierung der Gammastrahlung, verursacht durch epithermale Neutronen (Nahbereich) und ein Paar zur Registrierung der thermalen Neutronen (Fernbereich); Abb. 7.9.

### **GLT: Geochemical Logging Tool**

Dieses Tool setzt sich aus folgenden Tool-Elementen zusammen (vergl. hierzu Abb. 7.10): dem GST, dem NGS und aus dem Aluminium Activation Clay Tool (AACT). Diese Kombination erlaubt die Bestimmung der prozentualen Anteile von: Aluminium, Kalzium, Chlor, Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Eisen, Kalium, Gadolinium, Samarium, Silizium, Schwefel, Thorium, Titan und Uran sowie durch Kalibrierung die daraus resultierenden wichtigsten Gesteinsminerale. - Das AACT ist speziell auf die Bestimmung von Aluminium (Verwitterung, Feldspäte) ausgelegt. Eine Californium-Quelle ( $^{252}\text{Cf}$ ) produziert Neutronen. Die thermalen Neutronen werden durch Aluminium bevorzugt absorbiert, wobei eine Gammastrahlung entsteht und gemessen wird.

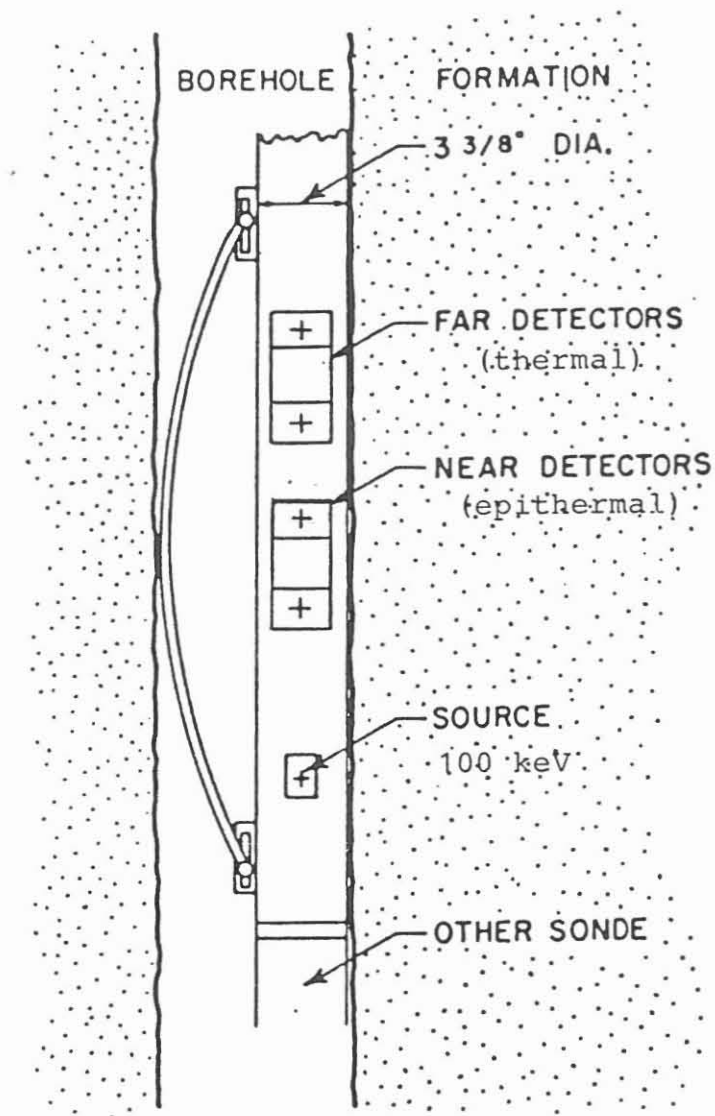


Abbildung 7.9: Compensated Neutron Tool, CNT-G

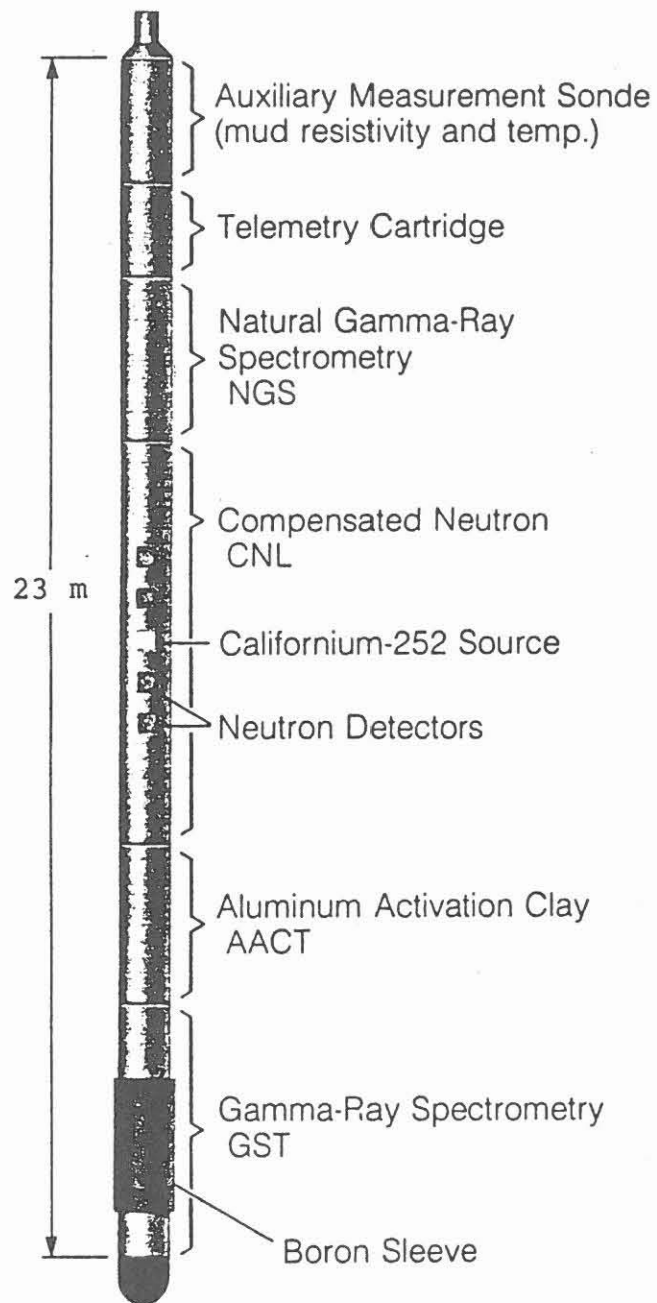


Abbildung 7.10: Geochemical Logging Tool

**GR: Gamma-Ray (Log)**

Kontinuierliche Messung der natürlichen Gammastrahlungsaktivität des Gebirges entlang der Bohrlochwand. In Sedimentgesteinen ist die natürliche Strahlungsaktivität i. w. abhängig vom Tongehalt der Formation, weil Tonsteine einen höheren Anteil von kalium- und thoriumhaltigen Mineralien haben. Das GR soll zugleich zur Teufenkorrelation genutzt werden.

**GST: Gamma Spectrometer Tool**

Mißt die induzierte Gammarückstrahlung, die bei der Wechselwirkung der Atome mit Neutronen hoher Energie (14 MeV) entsteht (Abb. 7.11). Aus der Spektralanalyse in zwei Aktivierungsbereichen, inelastische Streuung und Einfangreaktion (Capture), können gewisse Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung der mineralogischen Formationsbestandteile gezogen werden. Eine Aussage über Porosität ist möglich, da dieses System auch auf die Wasserstoffkonzentration anspricht. Zur Verbesserung der schwachen Spektralauflösung sind lange Meßzeiten erforderlich. Zum Vergleich mit Neutronen-Aktivierungsmessungen an Bohrkernen sind sogar stationäre Messungen im Bohrloch notwendig.

**LDT: Litho-Density Tool (Gamma-Gamma-Log)**

Arbeitet mit einer  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle, die Gamma-Quanten in die Formation abstrahlt. Die Quelle und beide Zählrohre sind in einem Meßschlitten eingebaut, der durch einen Anpreßarm an die Bohrlochwand gedrückt wird. Gemessen wird die sekundäre Gammarückstrahlung (Compton-Streuung) aus der näheren Umgebung der Bohrlochwand. Bei gleichmäßiger Bohrlochgeometrie ist die Gammarückstrahlung ein direktes Maß für die Massendichte (Bulk Density) der Formation. Aus der Massendichte kann - in Kenntnis der Matrixdichte und Dichte des Spülungsfiltrates (Salinität) - die Porosität berechnet werden. Zusätzlich mißt das LDT den sog. photoelektrischen Absorptionsindex. Dieser Index ist ein Maß für die mittlere Elektronenzahl pro Atom und kann bei Abwesenheit seltener Schwermineralien zur Lithologie-Bestimmung herangezogen werden.

**MSI-C/O: Multiparameter Spectroscopy Instrument - Continuous Carbon/Oxygen Log**

Das Gebirge wird mit Neutronen hoher Energie (14 MeV) aus einer elektronischen Neutronenequelle in schnell sich wiederholenden Pulsen bestrahlt (Pulsed-Neutron-System). Die Pulsrate beträgt 20 kHz und in 256 Kanälen werden die Gammastrahlen der inelastischen Neutronen- und eingefangenen Neutronen-Reaktionen registriert. Da die Reaktionen bevorzugt mit Elementen kleiner Masse reagieren, erfolgen Aufzeichnungen zum C/O-Verhältnis sowie eine daraus abgeleitete Gesteinsporosität. Der

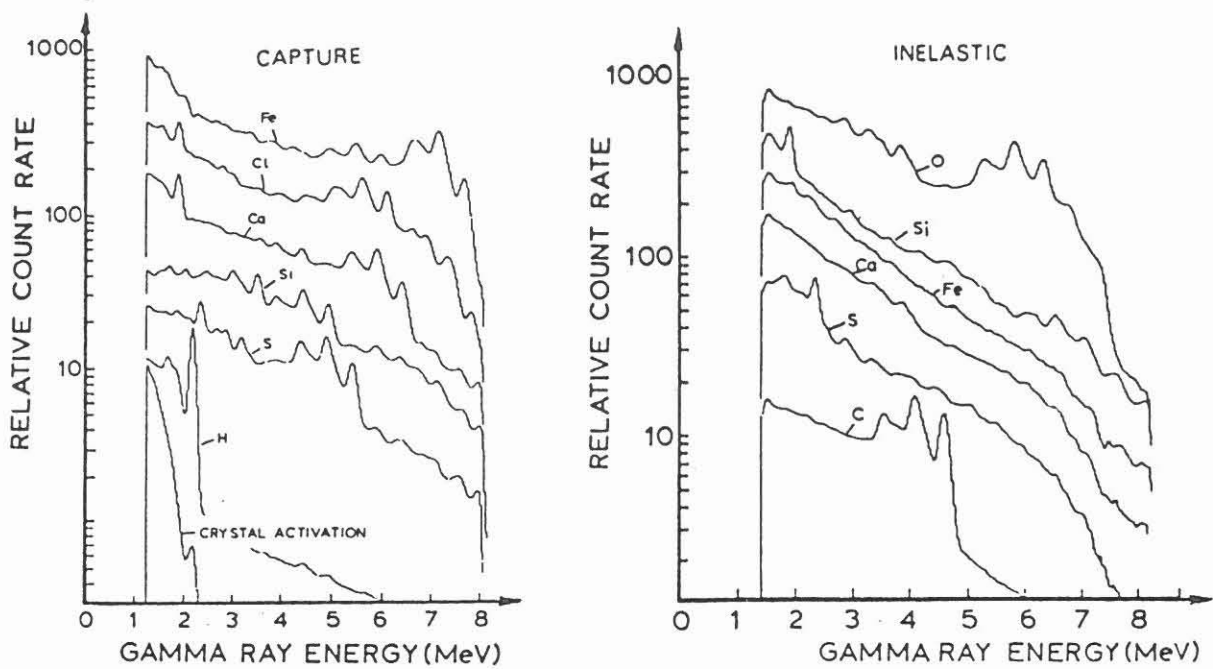


Abbildung 7.11: Energiespektren der chemischen Komponenten zur Erfassung der Lithologie. Registrierung erfolgt mittels Gamma Spectrometer Tool (GST).

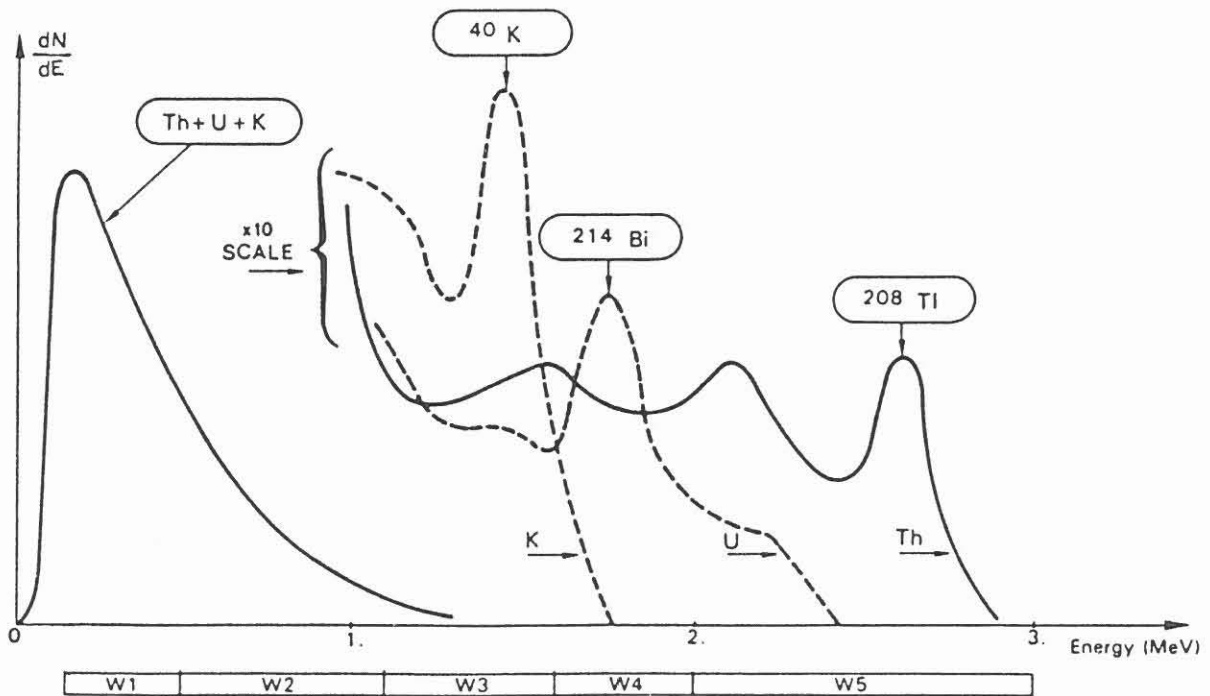


Abbildung 7.12: Energiespektren von Uran, Thorium und Kalium. Die Registrierung erfolgt in den Fenstern W 3, W 4 und W 5 mittels Natural Gamma Spectrometer (NGS).

Neutron-Einfangquerschnitt ( $\Sigma$ ) liefert darüber hinaus noch Angaben zu weiteren Elementen. Vergl. hierzu auch PDK-100, TDT und GLT.

Sonde: Dresser Atlas

#### **NGS: Natural Gamma Spectrometer (Tool)**

Mißt die natürliche Gammastrahlungsaktivität, innerhalb von drei diskreten Energiefenstern, welche die  $^{40}\text{K}$ -,  $^{238}\text{U}$ - und  $^{232}\text{Th}$ -Bereiche im Gamma-Spektrum abdecken (Abb. 7.12). Die Messungen dieser Strahlungsintensitäten sind ein direktes Maß für die Konzentration der entsprechenden Radioisotope in der Formation. Änderungen im Konzentrationsverhältnis können lithologische Wechel anzeigen. Das NGS-Log ist ein wichtiges Hilfsmittel bei der geologischen Korrelation und ermöglicht die Bestimmung des Tongehaltes in Anwesenheit von Th- oder K-haltigen Mineralien. Klüfte werden aufgrund ihrer hydrothermalen Mineralisation (Ausscheiden von Uranoxyden) oft angezeigt.

#### **PDK-100: Neutron Pulse Decay - 100 Channel Analysator**

Das Gebirge wird mit Pulsed Neutron System (14 MeV) bestrahlt. Die Neutronendichte im thermalen Energiebereich wird zwischen den Pulsen gemessen und die Zerfallrate berechnet. Entweder werden die thermalen Neutronen direkt gezählt, oder die beim Einfang der Neutronen freiwerdenden Gammastrahlen. Das Maß ist Sigma ( $\Sigma$ ), der Neutron-Einfangquerschnitt der Formation. Die Messung der Abbauzeit der thermalen Neutronenbevölkerung gibt Informationen über die Konzentration von neutronabsorbierenden Elementen. Chlor ist eines dieser Elemente. Diese Messung eignet sich sehr gut zur Bestimmung der Wassersättigung in öl- oder gasführenden Formationen, wenn die Salinität des Formationswassers hoch ist. Mit diesem neuentwickelten Gerät wird das gesamte Zerfallspektrum in 100 Kanälen von je 10  $\mu\text{sec}$  geteilt und gemessen.

Sonde: Dresser Atlas

#### **TDT: Thermal Decay Time Tool**

Das Meßprinzip ist mit dem PDK-100 identisch. Es ist ebenfalls ein Pulsed-Neutron-System und mißt die Zerfallrate thermischer Neutronen in der Formation. Die Messung des Spektrums erfolgt in vorgegebenen beweglichen Zeitfenstern (sliding gate system); Abb. 7.13. Die TDT-Messungen werden hauptsächlich zur Kontrolle der produktionsbedingten Veränderungen des Öl/Wasser- bzw. Gas/Wasser-Sättigungsverhältnisses gefahren. Sollte die Salinität des Formationswassers zu gering sein, um eine differenzierte Aussage über Flüssigkeitsbewegungen im Gebirge oder hinter der Verrohrung machen zu können, kann mit einer markierten Injektionsflüssigkeit (Borax) gearbeitet werden.

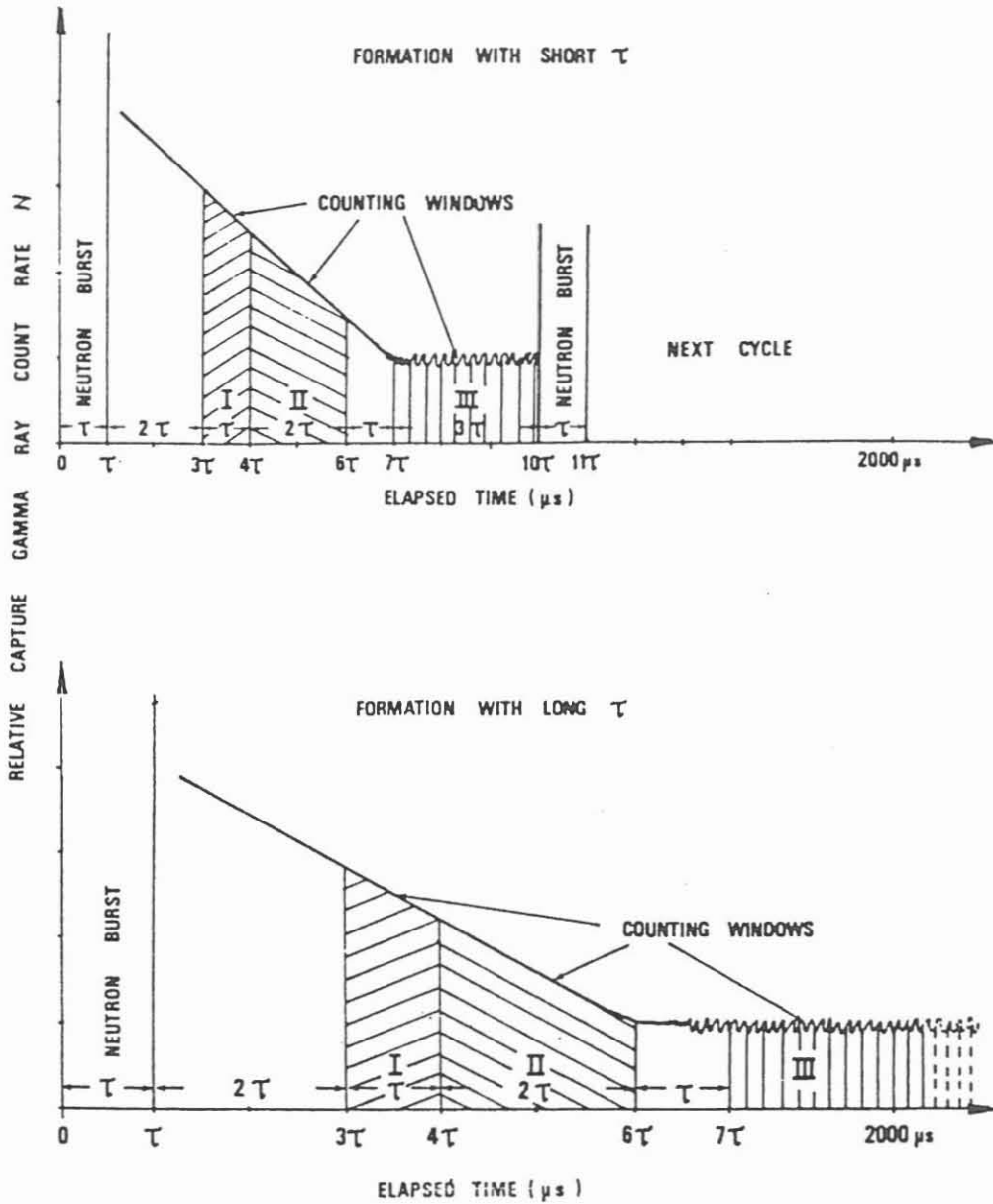


Abbildung 7.13:

Aufnahme des Energiespektrums mittels Thermal Decay Time Tool (TDT). Die Energiefenster I, II und III sind variabel in  $\tau$ .  $\tau$  stellt sich entsprechend der Neutron-Impuls-Länge  $\tau$  und der Zählrate  $N$  automatisch ein. Damit wird gewährleistet, daß die Zählung erst ab  $2\tau$  beginnt und daß die Bohrlocheinflüsse eliminiert werden. Die natürliche Gamma-Strahlung wird durch III erfaßt und automatisch von I und II subtrahiert.



### 7.2.3 Seismo-akustische Verfahren

#### **BHC: Borehole Compensated Sonic (Log), (Akustik-Log)**

Mit dem Sonic-Meßsystem (Abb. 7.14) werden kontinuierlich die Laufzeiten eines Ultraschallimpulses in der Formation über eine konstante Länge gemessen. Das Signal entspricht einer hochfrequenten seismischen P-Welle (Kompressionswelle), deren Geschwindigkeit aus den registrierten Laufzeiten berechnet wird. Diese akustische Messung gibt somit eine Übersicht über die seismische Geschwindigkeitsverteilung entlang der Bohrlochachse. Sie ist ein empfindlicher Indikator für die Lithologie und - bei gleichbleibender Gesteinsmatrix - für die Porosität der durchbohrten Formation. Porositäts- und Lithologiebestimmung sind zwar die wichtigsten, aber nicht die einzigen Anwendungsbereiche des Akustik-Logs. Die seismische Geschwindigkeits-Tiefenfunktion, die durch Integration der Sonic-Daten berechnet werden kann, bildet zusammen mit den Ergebnissen der Geophon-Versenkmessungen die Grundlage für die Zeit-Tiefen-Umrechnung der reflexionsseismischen Daten. Zusammen mit den Dichtedaten des LD-Logs können "synthetische Seismogramme" berechnet werden, die dazu dienen, Ergebnisse der Bohrlochmessungen in die reflexionsseismischen Profile zu integrieren. Wird außer dem Ersteinsatz des akustischen (seismischen) Signals der gesamte Wellenzug registriert und werden diese Seismogramme kontinuierlich übereinander montiert, so unterscheidet man in:

- VD: Variable Density (Log), Amplitudendarstellung durch unterschiedliche Schwarzschilderung;
- VAR: Variable Area (Log), positive Schwingphasen schwarz dargestellt;
- WF: Wave Form (Log), Darstellung des vollständigen Seismogrammes.

Die analogen oder digitalen Aufzeichnungen der Wellenzüge im vertikalen Abstand von 0,15 m erlauben außer der Auswertung der P-Welleneinsätze auch eine Analyse der komplexen S-Welleneinsätze und der Amplitudendämpfung, was wiederum die Berechnung felsmechanischer Parameter (z. B. Poisson-Zahl, Elastizitätsmoduln) möglich macht.

#### **BHTV: Borehole Acoustic Televiewer**

Tastet die Bohrlochwand spiralförmig mit einem rotierenden akustischen Strahl ab (Abb. 7.15). Die Amplitude der reflektierten Schallwelle erlaubt Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Bohrloches. Über den Rechner wird das dreidimensionale Bild der Bohrlochwand in einer Fläche abgewickelt dar-

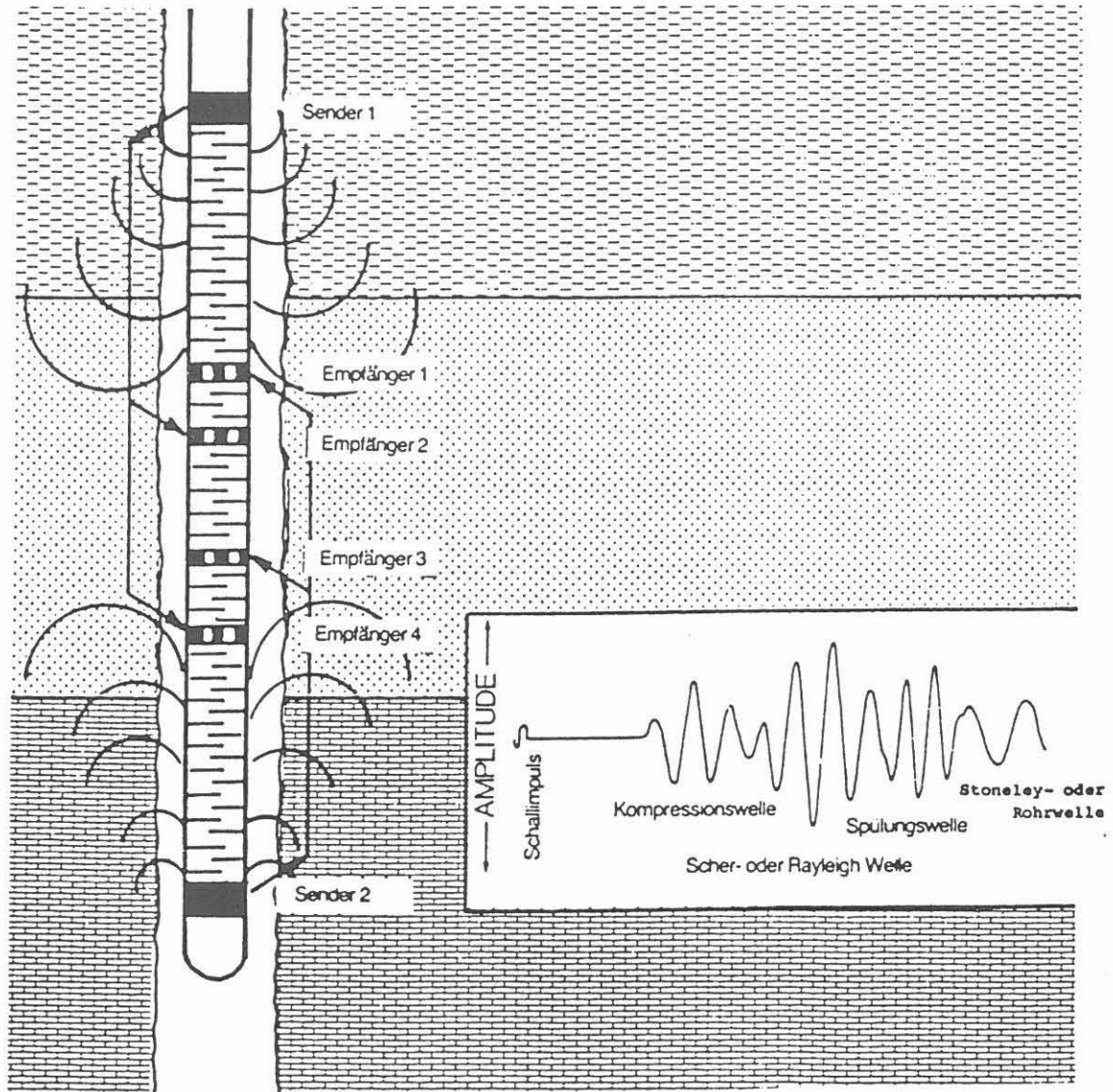


Abbildung 7.14: Prinzip des Borehole-Compensated Sonic (BHC).

# SONIC TELEVIEWER (SABIS)

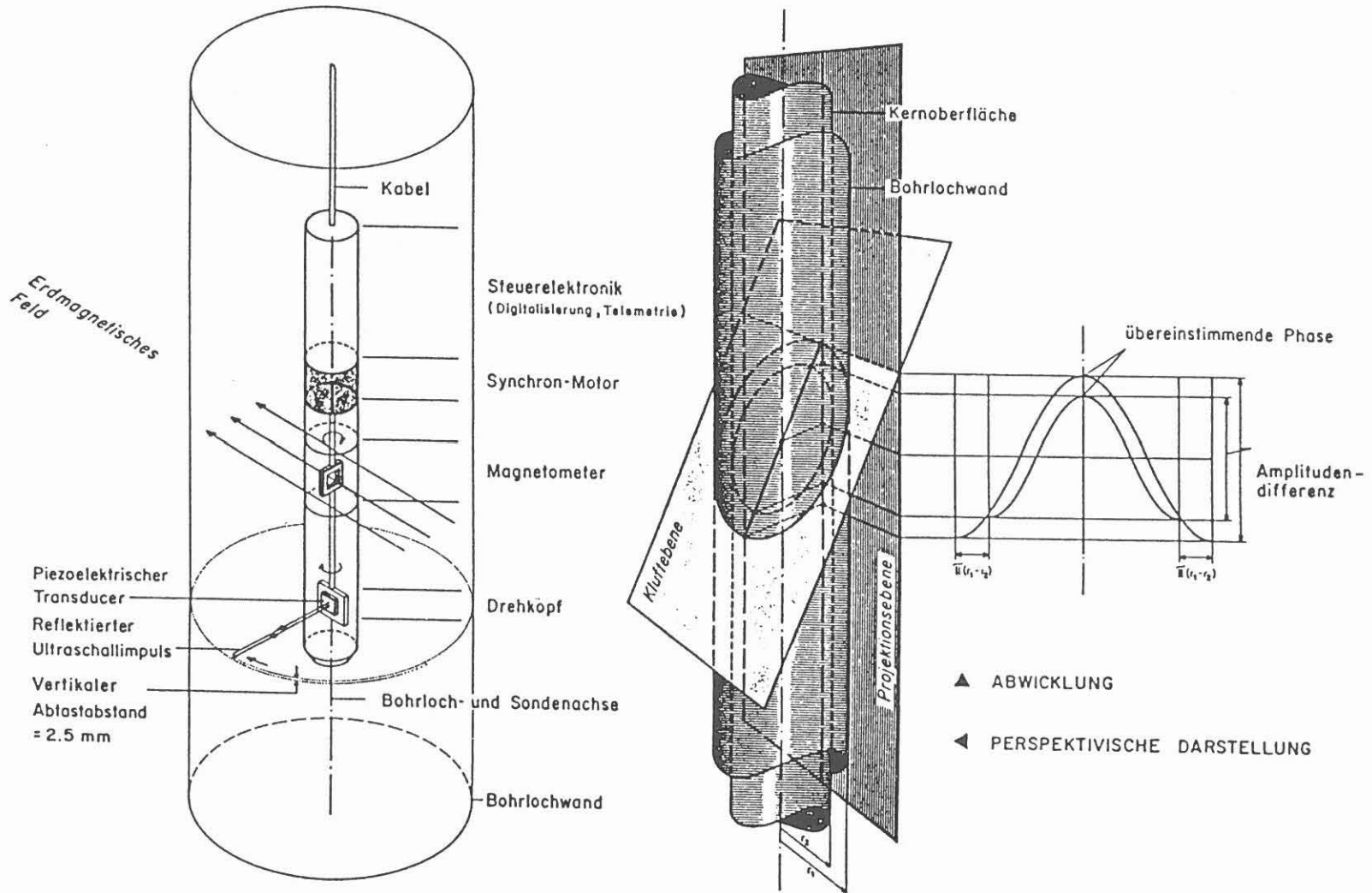


Abbildung 7.15: Borehole Acoustic Televiewer (BHTV), WBK Bochum.

gestellt (Abb. 7.16). In dieser Darstellung können orientierte Strukturelemente wie Klüfte, Wandausbrüche und ggf. auch Grobtextur erkannt werden. Im Laufzeitmodus ergibt die Messung ein sehr genaues Kaliber (ca.  $\pm 1$  mm) der Bohrung. In Bohrungen mit schwerer Spülung ( $> 1,4$  g/cm<sup>3</sup>), zu großem Durchmesser gegenüber der Sonde oder bei großen Bohrlochrandausbrüchen kann dieses Gerät nicht eingesetzt werden, da die Signaldämpfung zu stark ist. Schadstellen der Verrohrung oder Rohrperforationen können mit dem akustischen Televiever ebenfalls genau lokalisiert werden.

#### **MCS: Multi Channel Sonic Tool**

Eine Weiterentwicklung des BHC mit 12 Empfängern. Die Messung entspricht einem Mikro-Seismogramm, das besonders im Hinblick auf Sekundärporosität (Kluftnachweis) von Bedeutung ist. Sonde: Simplec/Lamont Doherty Geological Observatory, USA.

#### **SAT: Seismic Acquisition Tool**

SAT stellt eine 3-D-Geophon-Anordnung dar. Es mißt die an der Oberfläche erzeugten seismischen Wellen direkt oder reflektiert in verschiedenen Teufen des Bohrloches mit drei orientierten Geophonen. Außer den drei Hauptkomponenten des seismischen Wellenzuges werden Bohrlochdurchmesser, Temperatur und eine Mikrowiderstandskurve an jedem Meßpunkt aufgenommen. Da Reflexionen von Bereichen tiefer als Endteufe registriert werden können, ist auch eine Vorhersage über die Gebirgszusammensetzung möglich. Hochdruckzonen können erkannt werden, wenn geologisch-lithologische Vorkenntnisse vorliegen.

#### **SDT: Sonic Digital Tool**

Das Gerät hat einen Block von acht Empfängern und zwei Einzelpfänger. Dadurch werden Long Spacing (ca. 4 m) und Short Spacing (0,15 m) sowie Block-(Array)Laufzeitmessungen ermöglicht; Abb. 7.17. Erstmals wird auch die Spülungslaufzeit kontinuierlich registriert. Auswertungen für Kompressions-, Scher- und Stoneley-Wellen-Laufzeiten sind aus der Wellenzugaufnahme möglich.

#### **SLT: Sonic Long Spacing Tool**

Akustik-Sonde mit längerer Meßbasis (wahlweise 2,4 m, 3 m oder 3,6 m) anstelle von 0,6 m bei der BHC-Sonde. Das SLT-Gerät hat einen tieferen Meßbereich und liefert genauere Daten bei unregelmäßigem Bohrlochdurchmesser (Ausbrüchen) und Änderungen in der Formation. Ein Nachteil ist das etwas geringere vertikale Auflösungsvermögen. Das SLT ersetzt das konventionelle BHC-Log vor allem dort, wo die seismische Anwendung im Vordergrund steht.

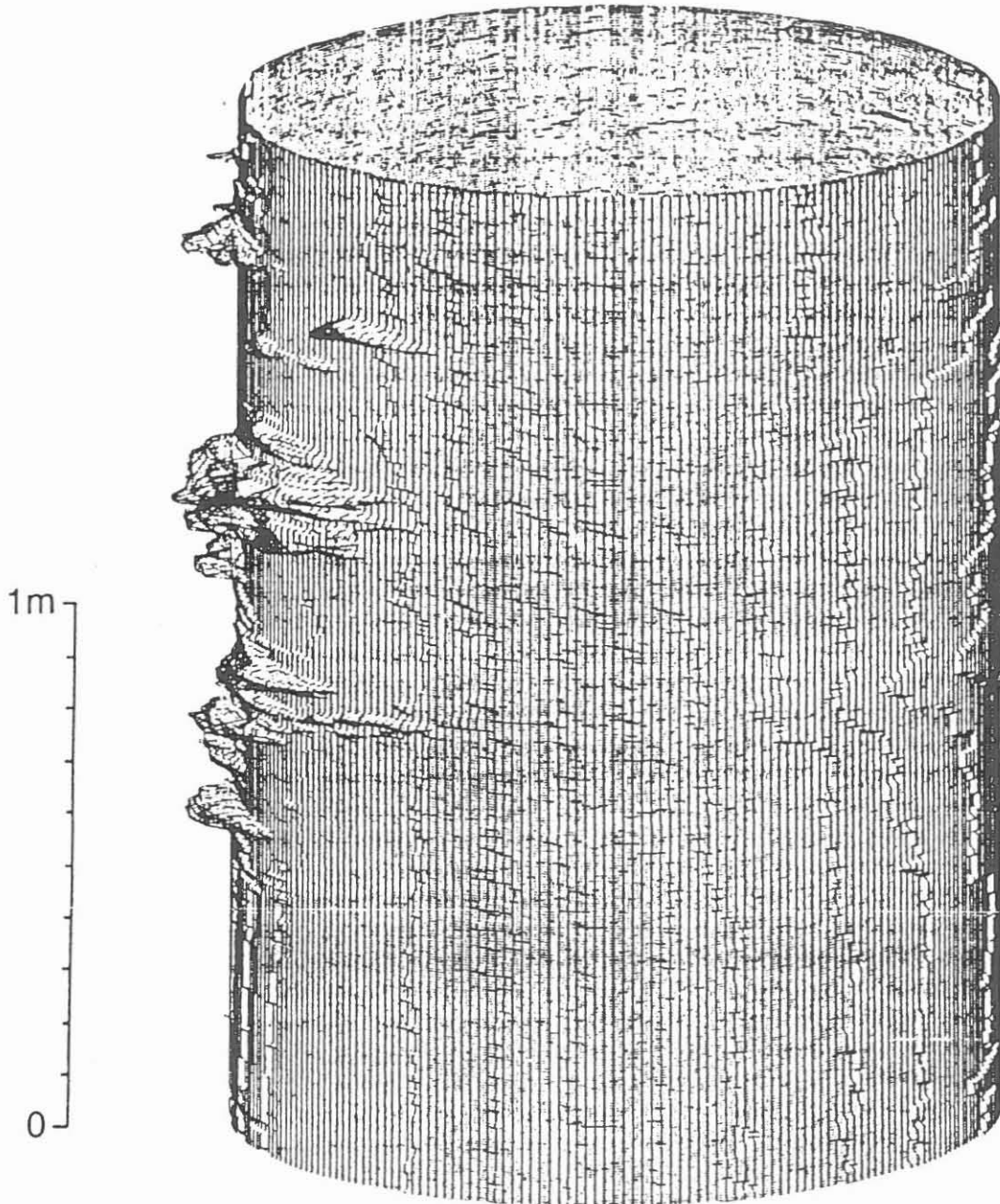


Abbildung 7.16: Bohrlochwand - Aufzeichnung eines Borehole Acoustic Televiewer, Durchmesser der Bohrung beträgt ca. 15 cm, WBK, Bochum.

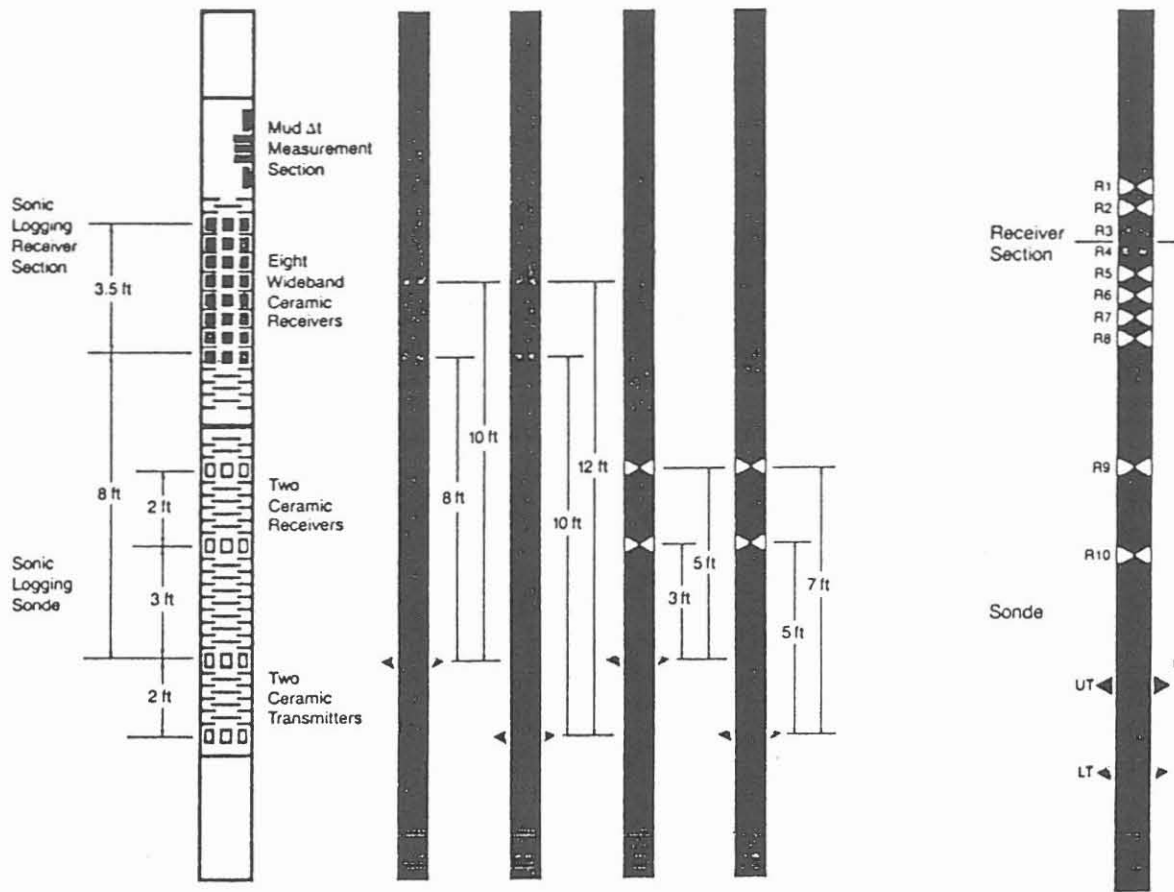


Abbildung 7.17: Sonic Digital Tool (SDT); der Abstand zwischen den Empfängern R 1 - R 8 beträgt jeweils 6 ". Dieses Array-Sonic-System zeigt die Vielfalt der Meßmöglichkeiten.

### **Triaxiale Geophonkette**

Enthält fünf triaxiale Geophongruppen, die in Abständen von 25 m zur Aufnahme seismischer Signale (z. Z. noch nicht orientiert) an der Bohrlochwand angekoppelt werden können. Die Mehrfachregistrierung des gleichen Wellenzuges auf 100 m Meßstrecke wirkt sich bei der Auswertung von VSP- und Stoneley-Wellen-Messungen (letztere dienen zur Lokalisierung von Zerrüttungszonen) besonders positiv aus. Im unverrohrten Bohrloch werden die seismischen P- und Sh-Wellen mit fünf angekoppelten Bewegungsaufnehmern registriert. Die Sonde ist zur Erfassung der Stoneley-Wellen außerdem mit Druckempfängern (Hydrophonen) ausgerüstet. Letztere dienen auch zur Aufnahme der direkten und reflektierten P-Wellen bei der Vermessung verrohrter Bohrungen.

Sonde: Prakla-Seismos, Hannover.

### **7.2.4 Thermometrische Verfahren**

#### **HRT: High Resolution Thermometer**

Registriert ein kontinuierliches Temperaturprofil im Bohrloch. Lokale Wasserzuflüsse können oft als Unstetigkeiten im Temperaturprofil erkannt werden. Infolge verschiedener Störfaktoren (Störung der natürlichen Verhältnisse durch Spülungszirkulation während des Bohrvorganges) kann die natürliche Gebirgstemperatur nur nach sehr langer Wartezeit gemessen werden. Aus den Temperaturveränderungen, die durch Wasserentnahme bzw. -injektion verursacht werden, können sehr niedrige, mit konventionellen Flowmetern nicht mehr meßbare Fließraten berechnet werden.

#### **Wärmeleitfähigkeitssonde ( $\lambda$ -Sonde)**

Bestimmt die Wärmeleitfähigkeit und - unter günstigen Voraussetzungen - auch die Temperaturleitfähigkeit des Gebirges. Ein Abschnitt des Bohrloches wird mit hydraulischen Packern abgedichtet und mit einer zylindrischen Heizquelle aufgeheizt; siehe Abb. 4.6. Der gleichmäßige Temperaturanstieg der eingeschlossenen Wassersäule wird mit mehreren Temperatursensoren aufgenommen. Die Wärmeleitfähigkeit der Formation kann aus dem Temperaturanstieg berechnet werden, wenn die erforderlichen Randbedingungen (Bohrlochvolumen, Bohrlochfüllung, Heizleistung usw.) vorgegeben sind.

Sonde: Institut für Angewandte Geophysik, TU Berlin.

#### **TF: Thermisches Flowmeter**

Anstelle eines mechanischen Spinnerflowmeters kann für Fluidzuflüsse/-abflüsse auch das sog. Thermische Flowmeter eingesetzt werden, welches für Untersuchungen in HDR-Projekten

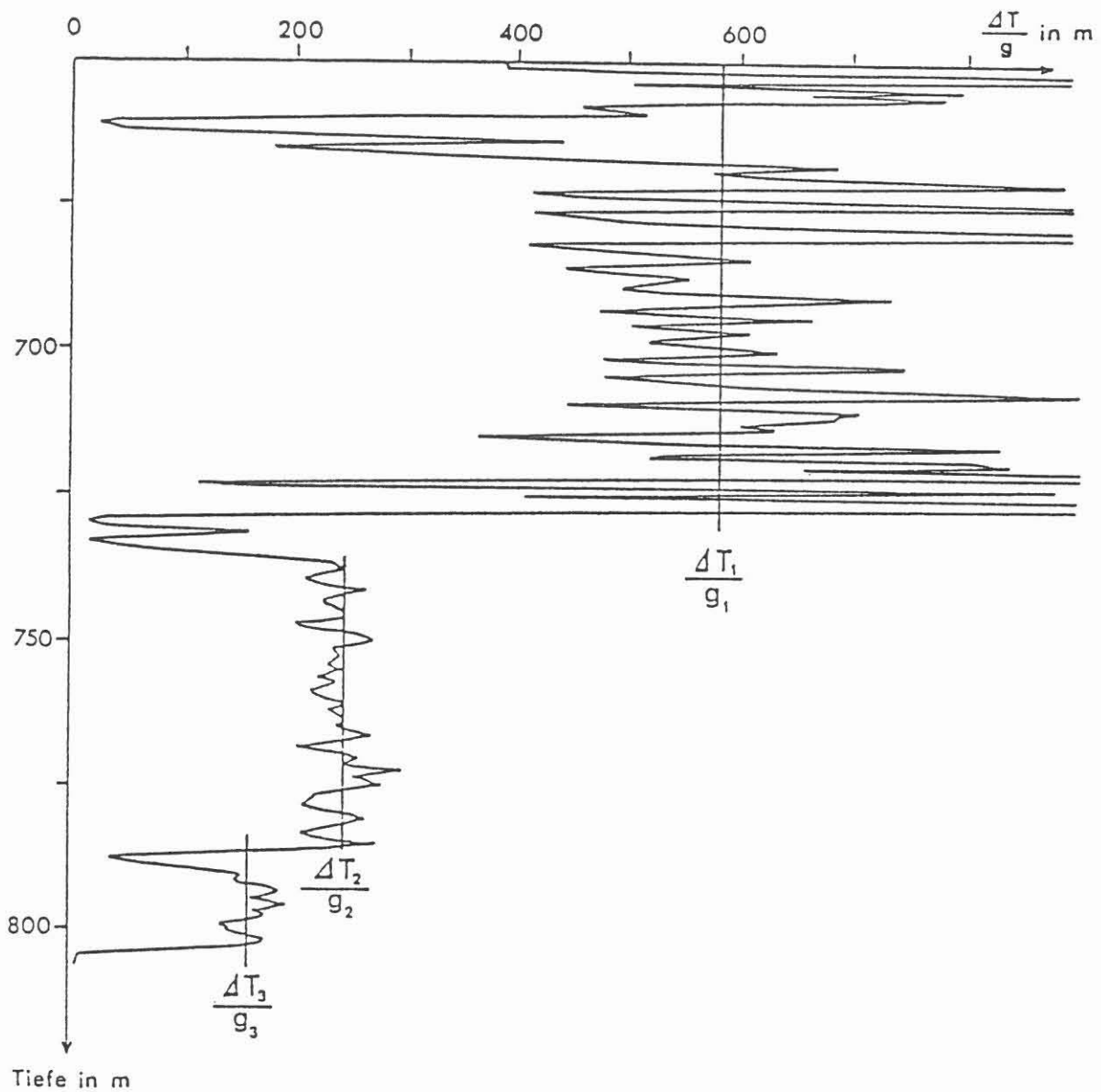


Abbildung 7.18: Darstellung des Quotienten  $\Delta T/g$  zur relativen Wassermengenbestimmung am Beispiel Saulgau. Der stufenförmige Versatz von  $\Delta T/g$  (= ungestörter Temperaturgradient) stellt - bei Kenntnis der injizierten Gesamtwassermenge - ein Maß der injizierten Mengen in den Tiefen von ca. 725, 785 und 805 m dar.



entwickelt wurde (HÄNEL et al. 1987). Es ist empfindlicher als das Spinnerflowmeter und arbeitet gemäß Tab. 3.4 bis zu ca. 350 °C. Unter definierten Testbedingungen werden Temperaturmessungen ausgeführt und entsprechend den Gegebenheiten interpretiert; z. B. Messungen während der Injektion (siehe Abb. 7.18) oder Extraktion, Shut in-Methode (siehe Abb. 7.19) etc.

#### **KTB-Temperatursonden**

Details hierzu wurden bereits in Abschn. 6.3 beschrieben.

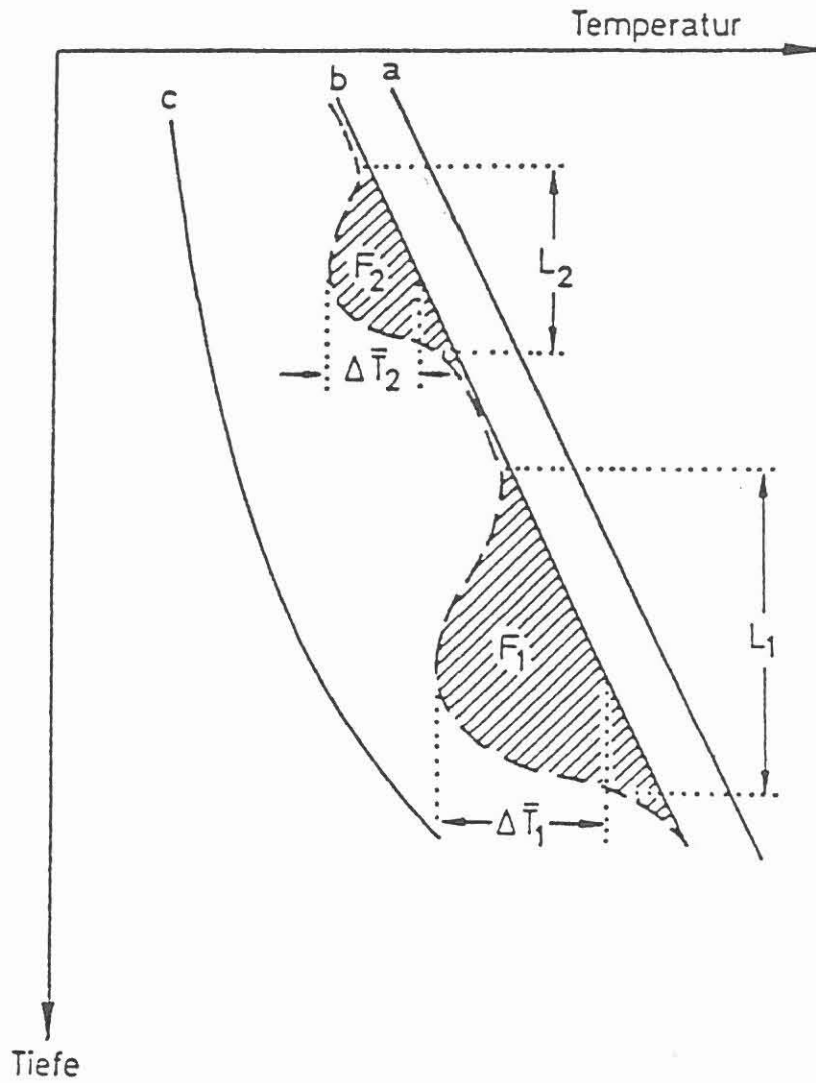


Abbildung 7.19:

Shut in Darstellung zur relativen Wassermengenbestimmung am Beispiel Urach. Die Flächen  $F$ , durch Auskühlung von injiziertem Wasser verursacht, sind ein Maß der injizierten Mengen in den Tiefen von ca. 3 270, 3 325 und 3 370 m.

### 7.2.5 Gravimetrische und Magnetische Verfahren

#### **BHGM: Borhehole Gravity Meter**

Das Lacoste-Romberg-Bohrlochgravimeter mißt die Schwerkraft mit der Bewegung einer federaufgehängten Massenwaage. Aus dem korrigierten Schwerkraftgradienten kann die Gesteinsdichte berechnet werden. Die Eindringtiefe entspricht etwa dem fünf-fachen Stationsabstand und kann somit einige hundert Meter betragen. Aus den BHGM-Messungen können Dichteverteilungs- und Porositätsmodelle in der weiteren Umgebung der Bohrung abgeleitet werden.

Sonde: EDCON, USA.

#### **Magnetische Suszeptibilitätssonde ( $\mathcal{H}$ -Meter)**

Das  $\mathcal{H}$ -Meter besteht aus einem Spulensystem in einem Gehäuse aus unmagnetischem, nicht leitfähigem Material. Die Senderspule, durch die ein Wechselstrom von ca. 1 000 Hz fließt, strahlt ein elektromagnetisches Feld ab. Die Empfängerseite ist mit zwei Spulen ausgerüstet, so daß mit Hilfe einer Kompensationsschaltung kleine Änderungen der Gegeninduktivität gemessen werden können. Die magnetische Suszeptibilität des Gesteins wird i. w. durch den Gehalt und die Natur der ferromagnetischen Mineralien bestimmt und erlaubt somit u. a. eine lithologische Differenzierung des Gesteins.

Sonde: Institut für Geophysik der Universität München.

#### **Triaxiales Fluxgate Bohrlochmagnetometer**

Das Meßprinzip beruht auf einem 3achsigen Ringkernsensor. Der Sensor ist für Temperaturen bis zu ca. 300 °C geeignet und in einem unmagnetischen SONDENGehäuse untergebracht. Die Kalibrierung des Systems erlaubt alsdann die Bestimmung des Erdmagnetfeldes in Richtung und Betrag.

Sonde: Institut für Geophysik und Meteorologie der TU Braunschweig.

### 7.2.6 Technische Verfahren, Produktionskontrollmessungen und andere technische Arbeiten

#### **AMS: Auxiliary Measurement Sonde**

Das Gerät wird meist in Kombination gefahren. Es mißt die Spülungstemperatur, den Spülungswiderstand sowie die Zugkraft am Kabelkopf.

#### **AST: Acoustic Scanner Tool**

Mißt mit großer Punktdichte und Genauigkeit den Innendurchmesser der Verrohrung zwecks Feststellung von Rohrschäden. Außer Korrosionsschäden kann das Niveau unterschiedlicher Flüssigkeiten im Steigrohr bzw. in der Verrohrung festgestellt werden.

**BGT: Borehole Geometry Tool**

Bestimmt kontinuierlich die räumliche Lage der Bohrung. Gleichzeitig wird das Bohrlochkaliber mit vier paarweise gekoppelten, senkrecht zueinander stehenden Meßarmen aufgenommen. Damit lassen sich Volumenberechnungen für die Zementation von Rohrfahrten errechnen. Die Ergebnisse liefern außerdem Hinweise auf die horizontale Haupt- und Nebenspannungsrichtung im Gebirge (siehe auch BOL-Auswertungen Kap. 7.6.3). Die Berechnung des Volumens der Bohrung wird automatisch durchgeführt. Es wird als Totalvolumen und als Volumen des Ringraumes "geplante Verrohrung - Gebirge" ermittelt. Die Neigung und Orientierung der Bohrung kann als kontinuierliches Diagramm oder für vorgegebene Teufenintervalle aufgelistet werden.

**CAL: Caliper Log**

Mißt den Bohrlochdurchmesser durch Abtasten der Wand mit drei, vier oder sechs Meßarmen. Unregelmäßigkeiten ergeben sich in nicht standfesten Formationen vor allem durch Ausbrüche. Kaliberlogs werden von mehreren Standard-Sonden mitregistriert. Die Erfassung des Kalibers ist zur Ermittlung der Bohrlochkorrekturen und zur Beurteilung des Aussagewertes gewisser Messungen (z. B. LDT und EPT) unbedingt erforderlich. Siehe auch BGT.

**Casing Inspection Caliper Tool**

Die Innenwand der Verrohrung wird mit einer Vielzahl von Kaliberfühlern (32, 48, 60) mechanisch abgetastet; registriert wird der Maximal- und Minimalausschlag. Das Schlumberger Multi-Finger-Kaliber (MFC) registriert drei Maximal- und drei Minimalkaliber. Korrosionsschäden und mechanische Beschädigungen der Rohrwand können genau lokalisiert werden (z. B. Perforationen, geplatzttes Rohr etc.).

**CBL: Cement Bond Log**

Die CBL-Sonde wird in der Verrohrung gefahren, um die Zementation zu überprüfen. Das Prinzip beruht auf der Tatsache, daß die Amplitude des Signals ein Maximum in freier Verrohrung und ein Minimum (starke Dämpfung) in gut zementierten Rohren zeigt. Gemessen wird die Dämpfung der Amplitude eines akustischen Signals über einen konstanten Meßabstand von 0,9 m. Aus der Aufnahme des gesamten Wellenzuges des akustischen Signals (siehe auch BHC, VD-Log) werden Hinweise auf die Bindung Zement/Gebirge gegeben. Zur Kontrolle wird außerdem eine Laufzeitmessung ausgeführt. Da Messungen einen Durchschnittswert für den Umfang der Rohre liefern, ist eine Unterscheidung zwischen Zement mit reduzierter Druckfestigkeit oder mit Kanalbildung nicht möglich.

**CET: Cement Evaluation Tool**

Eine Puls-Echo-Technik, bestehend aus acht um 45° versetzten Sensoren, die als Sender und als Empfänger arbeiten; Abb. 7.20. Die Frequenz und die Amplitude dieser Schwingungen ist abhängig von der Impedanz der Flüssigkeit im Bohrloch, der Verrohrung und vom Zement hinter der Verrohrung. Da zwischen Druckfestigkeit und Impedanz des Zementes ein lineares Verhältnis besteht, ist es möglich, über das integrierte Signal aus allen acht Sensoren eine Aussage über die Zementqualität zu erhalten. Da die acht Messungen außerdem auch individuell aufgezeichnet werden (VDL-Prinzip), sind Hinweise auf Kanalbildungen möglich.

**Cutter (Tubing/Drillpipe, Casing)**

Der festgewordene Rohrstrang kann entweder mit einer kreisrunden Hohlladung oder mit Säure durchgeschnitten werden, falls das Abtrennen des Rohrstranges mit anderen Mitteln (siehe FPIT) nicht möglich ist. Schwerstangen können aufgrund des großen metallischen Querschnittes und des kleinen Innendurchmessers mit diesen Cuttern nicht befahren oder geschnitten werden.

**ETT: Electromagnetic Thickness Tool**

Lokalisiert Schadstellen der Verrohrung durch Messung der Phasenverschiebung eines induzierten Magnetfeldes. Mittels Vergleichsmessung kann der Metallverlust durch Korrosion oder mechanische Beanspruchung berechnet werden.

**FPIT: Free Point Back Off Tool**

Das Freipunktbestimmungsgerät ermittelt die genaue Tiefe eines festgewordenen Rohrstranges im Bohrloch durch mechanische Spannungsmessung mit einem magnetostriktiven Sensor. Nach der Freipunktbestimmung wird die unter Vorspannung gebrachte, nächsthöherliegende Rohr- bzw. Gestängezugverbindung durch die Stoßwirkung einer kleinen Sprengladung (Hammerschlagprinzip) gelöst und der unten verbliebene Rohrstumpf (Fisch) mit Spezialwerkzeugen gefaßt und zutage befördert (Washover und Fishing).

**GCT: Guidance Continuous Tool**

Kreiselkompaßgerät, um die Neigung und Orientierung einer verrohrten Bohrung exakt zu messen. Die Orientierung erfolgt gegen geographisch Nord.

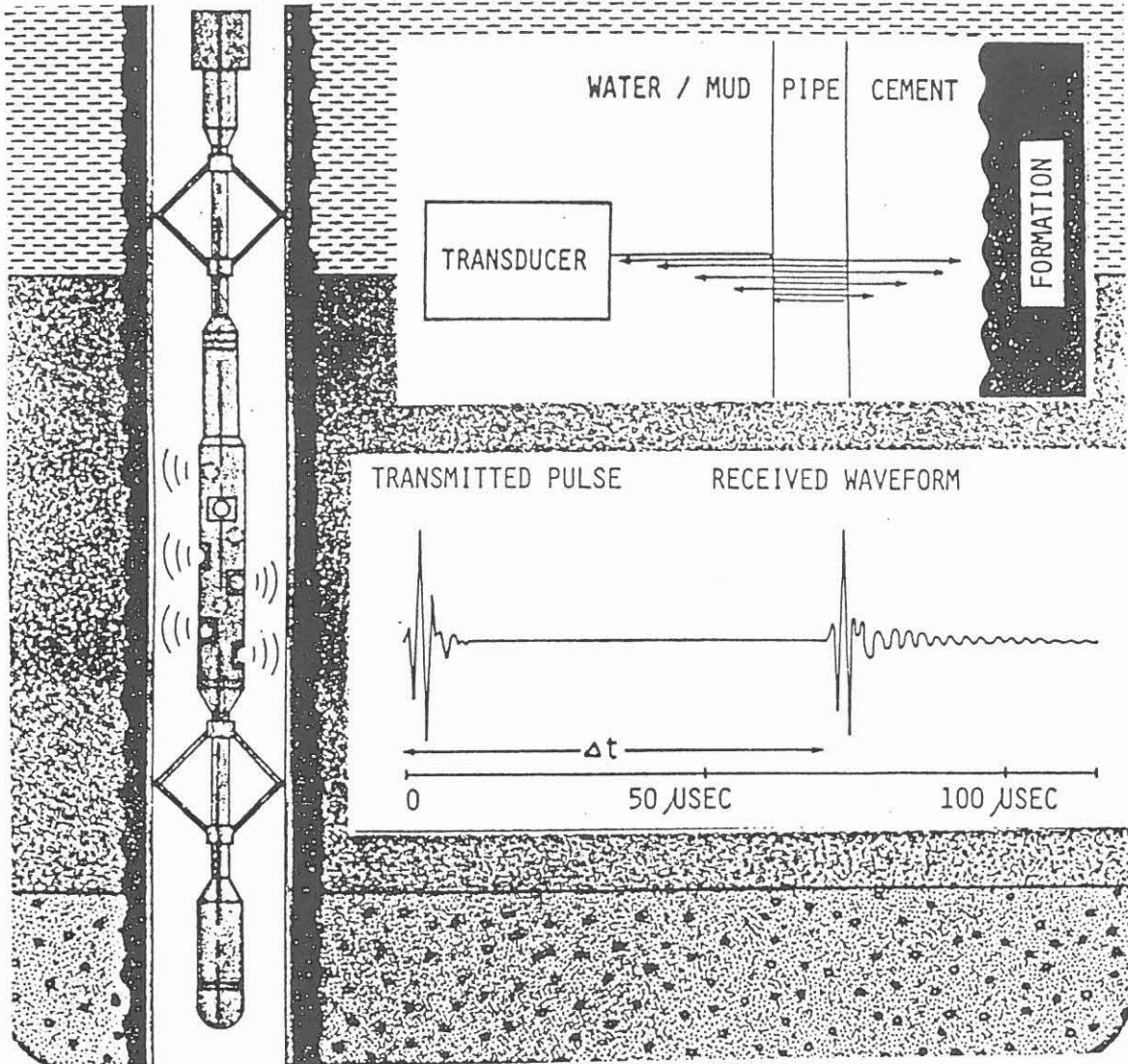


Abbildung 7.20: Cement Evaluation Tool (CET).

**GPIT: General Purpose Inclinator Tool**

Ein Zusatzgerät mit der Meßgenauigkeit des SHDT für die Messung der Neigung und Orientierung der Bohrung, das in Kombination mit allen anderen Geräten gefahren werden kann (Cable Communication und Transmission System sind notwendig).

**GR-CCL: Gamma Ray-Casing Collar Locator**

Das CCL wird eingesetzt, um Rohrmuffen zu lokalisieren. Ein magnetischer Detektor registriert die magnetische Permeabilitätsänderung beim Überfahren der Verschraubungsstellen. Gleichzeitig wird ein GR-Log aufgezeichnet, das mit der im unverrohrten Bohrloch gemessenen GR-Meßkurve korreliert werden kann. Die Ortung von Rohrmuffen dient zur Tiefenkontrolle, z. B. bei Perforationsarbeiten und Produktionskontrollmessungen.

**MSST: Multi Shot Surveying Tools**

Die Sonden werden im Bohrgestänge entweder durch freien Fall oder am Stahl- bzw. seltener am elektrischen Kabel in die Tiefe gebracht. Sie dienen zur Azimut- und Neigungskontrolle während des Abteufens einer Bohrung. Unter den verschiedenen Systemen wird die größte Meßgenauigkeit durch die Kombination eines dreiachsigen Magnetometers mit Erdbeschleunigungssensoren erreicht. In ferromagnetischer Umgebung, z. B. im verrohrten Bohrlochabschnitt, werden gyroskopische Meßsysteme verwendet, die am elektrischen Kabel eingefahren werden.

Sonde: Preussag.

**PAL: Pipe Analysis Log**

Beruhrt auf zwei verschiedenen Meßverfahren: Hochfrequente Wirbelstrommessung dient zur Untersuchung der Innenseite der Verrohrung. Mittels magnetischer Fluxverlust-Messung werden gleichzeitig Schadstellen am Gesamtquerschnitt lokalisiert. Das empfindliche Gerät wird oft zum Nachweis anfänglicher Korrosionsschäden verwendet. Über den Vergleich Wirbelstrom- und Fluxverlust-Messung kann auch auf Außenkorrosion geschlossen werden.

**RTT: Radioactive Tracer Ejector Tool**

Eine kleine Menge radioaktiver Markierungsflüssigkeit (Tracer) wird von einem stationär gehaltenen Meßgerät in den vorbeifließenden Flüssigkeitsstrom (Produktion/Injektion) eingespritzt; Abb. 7.21. Die Zeit zwischen Injektion der Tracerwolke und der ersten Anzeige, die sie an einem oder zwei GR-Zählrohren in einem bestimmten Abstand verursacht, liefert die Fließgeschwindigkeit des produzierten/injizierten Mediums. Daraus läßt sich, wenn der Rohrquerschnitt bekannt ist und der Gerätedurchmesser berücksichtigt wird, die Fließrate ermitteln. Leckstellen in der Verrohrung, Spülungsverlust- oder Zuflußzonen können nachgewiesen werden.

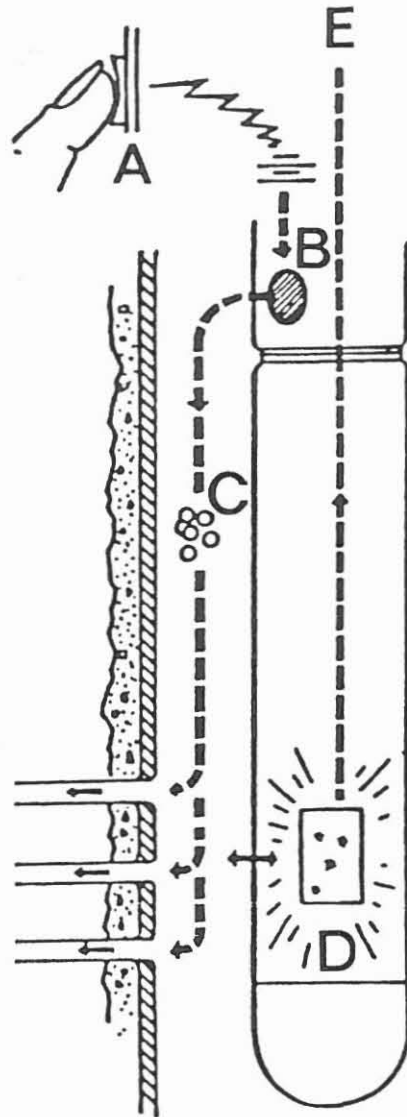


Abbildung 7.21:

Radioactive Tracer Tool (RTT);

A - Tracer Freigabe, B - Tracer Vorratsbehälter,

C - Tracerwolke, E - Gamma-Ray Zähler,

E - zum Registriergerät.



### 7.2.7 Probennahme am Bohrlochmeßkabel

#### **CST: Core Sampler Tool**

Kernrohre aus gehärtetem Stahl werden - je nach Gebirge von unterschiedlicher Bauart - einzeln in vorgewählten Tiefen durch eine Sprengladung von einem Träger aus in das Gebirge geschossen. Die Kernrohre sind durch Haltedrähte mit dem Träger verbunden und können durch Auffahren wieder aus dem Gebirge gewonnen werden. Bis zu 72 Seitenkerne lassen sich pro Einfahrt gewinnen. In weichen bis mittelharten Formationen hat sich das Ziehen von Schußkernen bewährt. Für das Kristallin kann es aufgrund der Gesteinhärte nicht angewandt werden. Außerdem ist zu beachten, daß der Schußvorgang die Gesteinsstruktur zerstört.

#### **FS: Fluid Sampler**

Entnimmt Flüssigkeitsproben aus der Spülungssäule. Die Proben werden unter in situ Druck eingeschlossen und für chemische Analysen nach Übertage befördert. Mit Hilfe einer Hochdrucktransferpumpe kann die Probe aus dem Samplergerät in einen Transportbehälter umgefüllt werden. Die Druckbedingungen, unter denen die Probe genommen worden war, bleiben erhalten. Weitere Details hierzu können dem Abschn. 6.3 entnommen werden.

#### **RFT: Repeat Formation Tester**

Mit diesem Gerät können zwei Flüssigkeitsproben aus dem Gebirge gewonnen werden. In einer bestimmten Tiefe wird durch einen hydraulisch gesteuerten Packer die Formation vom Bohrloch abgedichtet und durch Druckentlastung in Produktion gebracht. Der Fließvorgang wird durch Düsen kontrolliert und kann Übertage verfolgt werden; Abb. 7.22. Durch einen zweifachen vorgeschalteten Test läßt sich sowohl das Gebirgsverhalten wie auch die Abdichtung des Packers (Spüldurchbruch) testen, bevor die Ventile zu der Probenkammer geöffnet werden. Die auftretenden Drücke werden in Abhängigkeit der Zeit registriert und liefern Aussagen über das Produktionsvermögen und die Permeabilität des Gebirges.

#### **Sidewall Core Drilling Tool**

Bis zu 12 seitliche Kerne pro Einfahrt können mit Hilfe einer motorisch betriebenen Diamantkernkrone aus dem Gebirge gewonnen werden. Die exakte Positionierung erfolgt mit einer gekoppelten GR-Sonde. Die Größe der Kerne beträgt 44 x 24 mm. Für die Entnahme einer Probe aus dem Kristallin werden ungefähr 5 Minuten Bohrzeit veranschlagt.  
Sonde: Gearhart, USA.

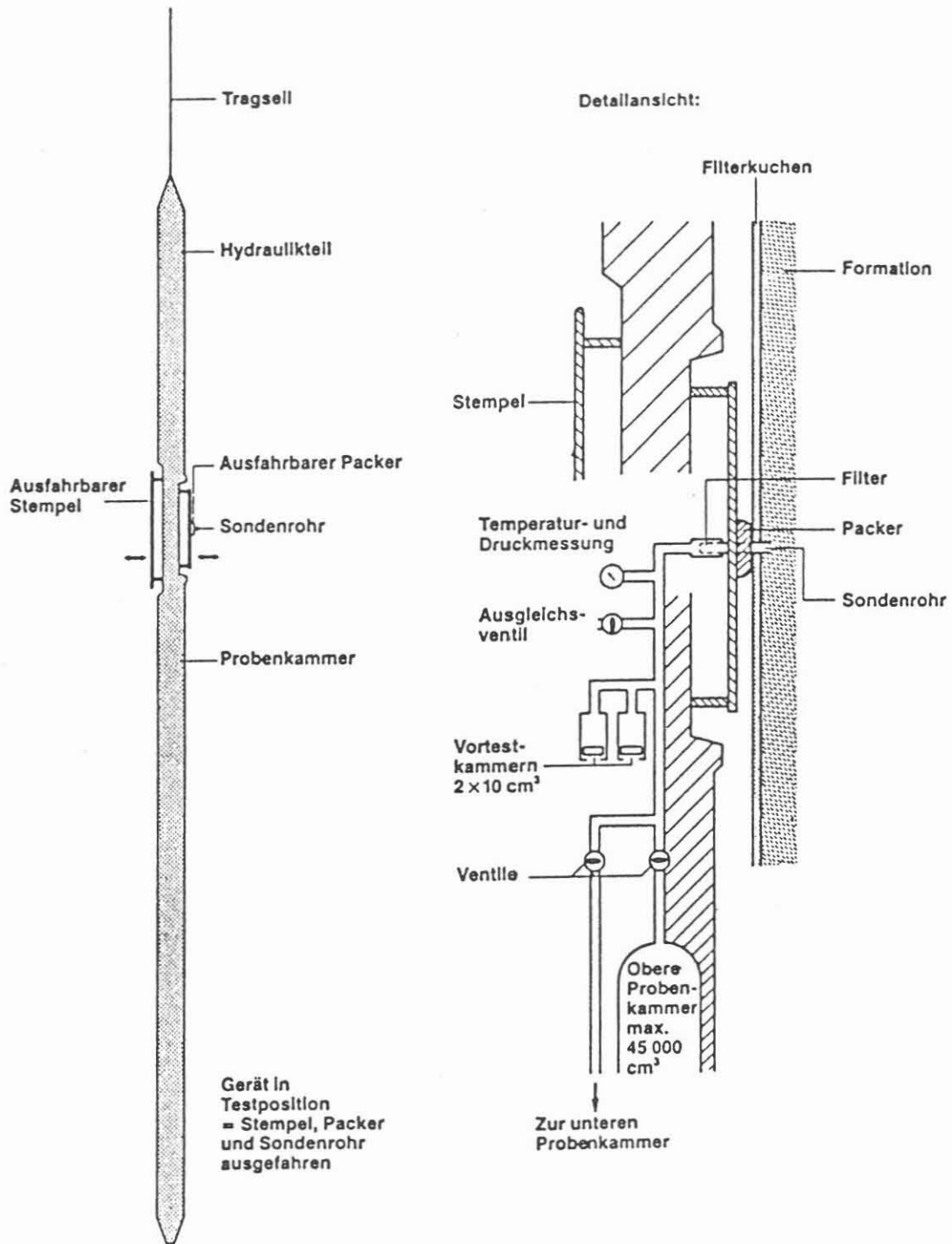


Abbildung 7.22: Repeat Formation Tester (RFT).

### **ITE-Sidewall Coring**

Vom Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung der TU Clausthal (ITE) ist ein Seitenkernsystem entwickelt und gebaut worden, mit dem Kerne aus der Bohrlochwand in 8 1/2" oder größeren Bohrlöchern gewonnen werden können. Der Antrieb des Kernrohres erfolgt durch einen Moineau-Bohrmotor, der von der Bohrspülung angetrieben wird; siehe Abb. 7.23. Der Ein- und Ausbau der Kernapparatur erfolgt mit der Wireline-Technik und erfordert deshalb die Verwendung von 5"-Bohrgestänge. Die Bohrkronen mit dem biegsamen Kernrohr wird über eine Ablenkschräge in die Bohrlochwand gedrückt. Der erbohrte Kern hat einen Durchmesser von 41 mm. Die Länge des vollständigen zylinderförmigen Kernes beträgt 30 cm zuzüglich etwa 30 cm schräg angeschnittener Kern.

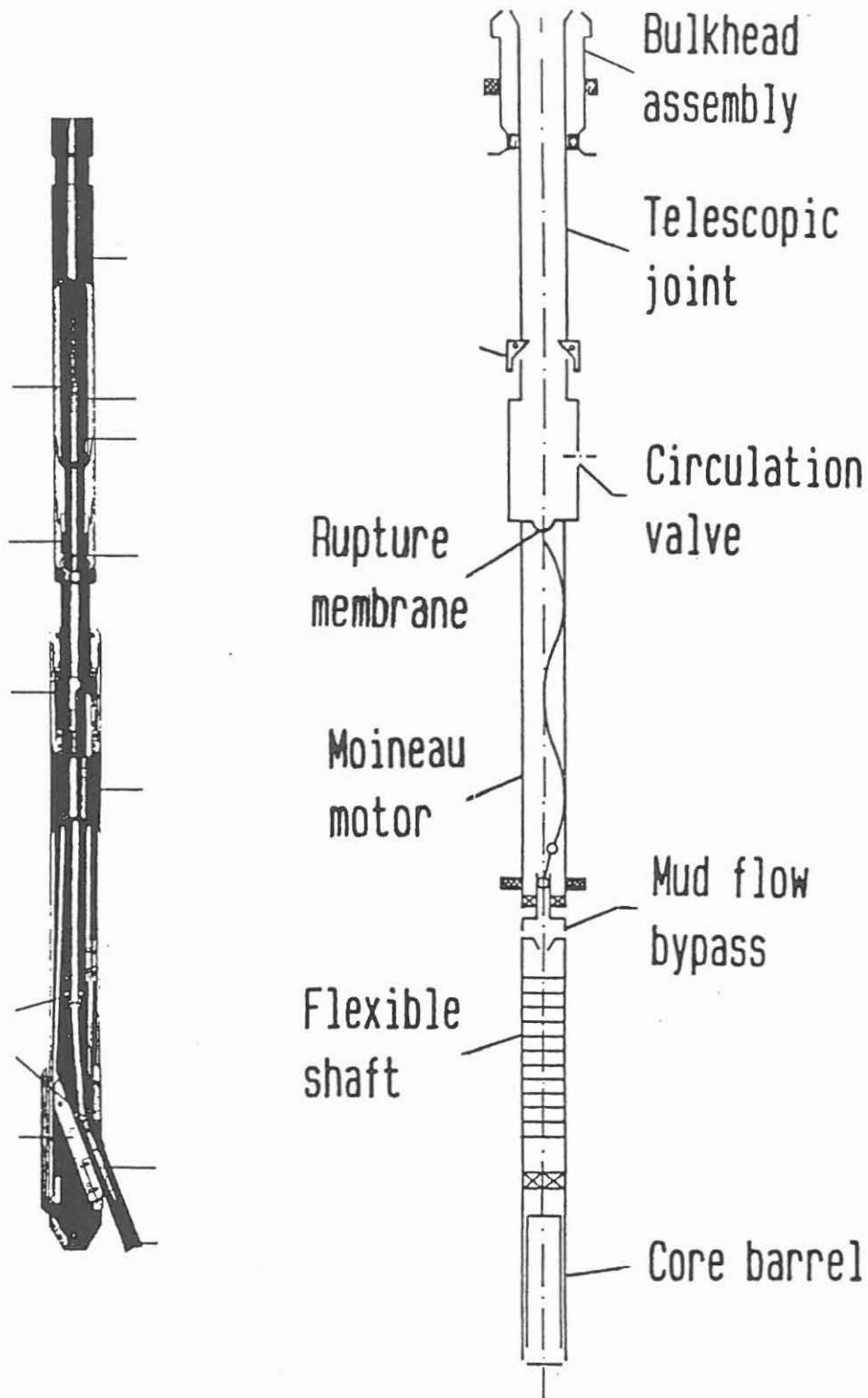


Abbildung 7.23: ITE-Seitenkern-Apparatur.

### 7.3 Hydraulische Teste

Alle hydraulischen Verfahren zeichnen sich dadurch aus, daß die Formationsflüssigkeit kurzzeitig zum Fließen gebracht wird. Die Messungen erfolgen vor, während und nach dem Fließvorgang. Ermittelt werden die Permeabilität  $k$  (Permeabilitätskoeffizient  $k_f$ ), die Transmissibilität  $T_b$ , (Transmissivität  $T_v$ ), der Reservoirdruck,  $p$ , der Speicherkoeffizient  $S$ , der Skinfaktor  $s$ .

Dabei gilt ( $D = \text{Darcy}$ ):

$$T_b = \int k \, dh \quad \text{in m}^3 \text{ oder Dm, } 1 \text{ Dm} = 10^{-12} \text{ m}^2$$

$$T_v = \int k_f \, dh \quad \text{in m}^2/\text{s} \text{ oder } \hat{=} \text{ Dm, weil } 10^{-5} \text{ m s}^{-1} \hat{=} 1 \text{ D}$$

mit

$dh$  = Nettomächtigkeit des Aquifers in m,

$k_f = k \rho g / \mu$  in  $\text{m/s}$ ,

$\rho$  = Dichte in  $\text{kg/m}^3$ ,

$g$  = Schwerebeschleunigung in  $\text{m/s}^2$  und

$\mu$  = dynamische Viskosität in  $\text{Pa s}$  (temperaturabhängig).

Demzufolge sind zu den hydraulischen Verfahren alle Verfahren der Hydrogeologie (vorwiegend Pump teste) und der Erdöl/Erdgas-Lagersättentechnik (vorwiegend Packerteste) zu rechnen.

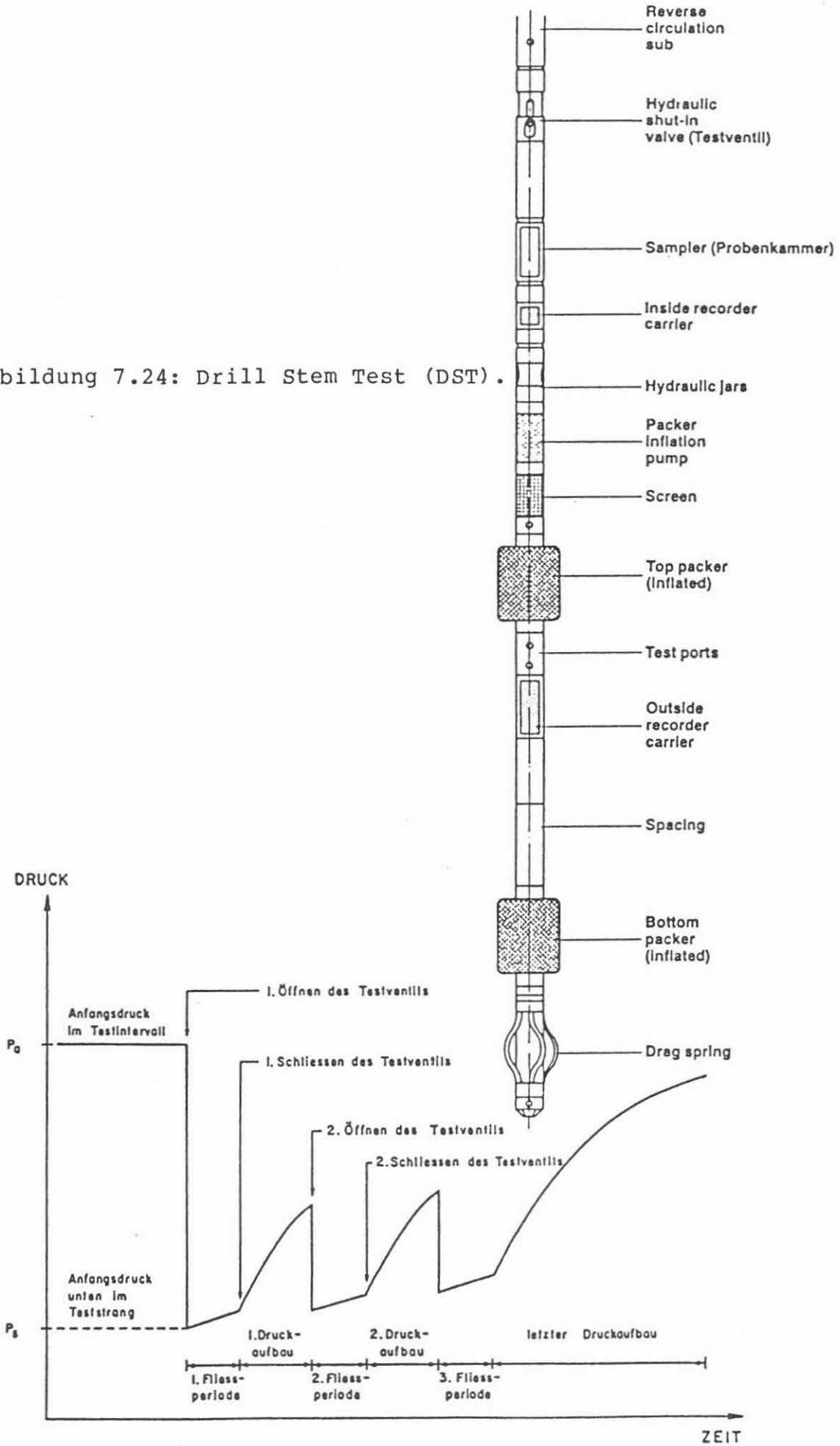
In der geplanten Pilotbohrung und der supertiefen Forschungsbohrung des KTB-Projektes ist die Durchführung von Pumpversuchen kaum zu erwarten, obwohl derartige Teste z. B. in der Kristallinbohrung Urach ausgeführt wurden (HAENEL, 1982; STOBER 1986). Es wird deshalb für die zahlreichen Testmöglichkeiten mittels Pumpversuchen auf die umfangreiche Literatur verwiesen, z. B. LANGGUTH & VOIGT (1980), KRUSEMANN & de RIDDER (1973), SCHNEIDER (1973).

Auch im Bereich der Lagerstättentechnik gibt es zahlreiche Testmöglichkeiten, vergl. hierzu z. B. MATTHEWS & RUSSEL (1967), MARX et al. (1983). Im folgenden soll deshalb nur eine kleine Auswahl beschrieben werden.

#### **7.3.1 Drill Stem Test, DST**

Der Drill Stem Test wird vorwiegend während des Abteufens einer Bohrung eingesetzt. Zur Isolierung der Testintervalle werden wiedergewinnbare oder aufbohrbare Einfach- oder Mehrfachpacker abgesetzt; Abb. 7.24. Häufig wird dieses Meßsystem auch durch Stützanker zusätzlich gesichert. Die Intervalllänge beträgt im Fall von Stützankern 1,5 bis max. 60 m und ohne Stützanker sogar bis mehrere hundert Meter.

Abbildung 7.24: Drill Stem Test (DST).



Durch eine Absenkung des hydraulischen Gegendruckes (Wasser- oder Stickstoffvorlage) über das Testerintervall wird kurzzeitig diese Zone in Produktion genommen und aus dem Gebirge Flüssigkeit gefördert. Drucksensoren registrieren während der Förderung den Fließdruck und nach Schließen des Fließventils den Druckaufbau (Schließdruck). Zum Beispiel kann mit piezoelektrischen Sensoren (Temperaturgrenze ungefähr 150 °C) eine sehr gute Auflösung der gemessenen Drücke erreicht werden. Das hydraulische Druckniveau der Formation (Porendruck) läßt sich bestimmen, sobald eine ausreichende Testdauer (je nach Transmissivität und Effektivdruck sind bis zu 48 h erforderlich) den Vergleich des gemessenen Druckaufbaues mit berechneten Typenkurven erlaubt. Im allgemeinen wird im Testintervall auch die Temperatur aufgezeichnet.

Bei niedriger Permeabilität werden zur Verkürzung der erforderlichen Testdauer Wasserinjektions-Teste (Pulse Injection Tests) durchgeführt. Gemessen wird der Druckabfall nach kurzzeitiger Druckbeaufschlagung.

Der DST sollte unmittelbar nach Durchteufen der Formation durchgeführt werden, da zu diesem Zeitpunkt die hydraulische Beanspruchung des durchörterten Gebirges durch den Bohrvorgang gering ist. Dies ist besonders bei Schwachdruckzonen (= geklüftetes Kristallin) wichtig.

In den Kristallinbohrungen der NAGRA (1985) wurde der DST nicht angewendet. Stattdessen wurde mit dem HTT gearbeitet.

### **7.3.2 Hydraulic Test Tool, HTT**

Das HTT entspricht etwa dem DST. Wie dieses, kann es als Einfach- oder Doppelpackersystem eingesetzt werden. Es unterscheidet sich von einem DST-Gerät jedoch wie folgt:

- Das HTT wird vorwiegend nach Erreichen der Endteufe bzw. vor Absetzen einer Verrohrung eingesetzt.
- Die Packer werden hydraulisch durch die Steigleitung (Tubing) aufgepumpt und gesetzt, während das Lösen durch Anziehen der Steigleitung erfolgt. Das Setzen und Lösen ist beliebig wiederholbar.
- Wichtiger Bestandteil des HTT ist ein Druck- und Temperatursensor, der über entsprechende Kanäle in der Testgarnitur mit dem abgepackerten Intervall sowie den Bohrlochabschnitten oberhalb des oberen Packers und unterhalb des unteren Packers hydraulisch verbunden ist; Abb. 7.25. Bei der Doppelpacker-Konfiguration können also Druck und Temperatur unterhalb, innerhalb und oberhalb des zu testenden Intervalls gemessen werden. In der Einfachpacker-Konfiguration werden zweimal Druck und Temperatur in

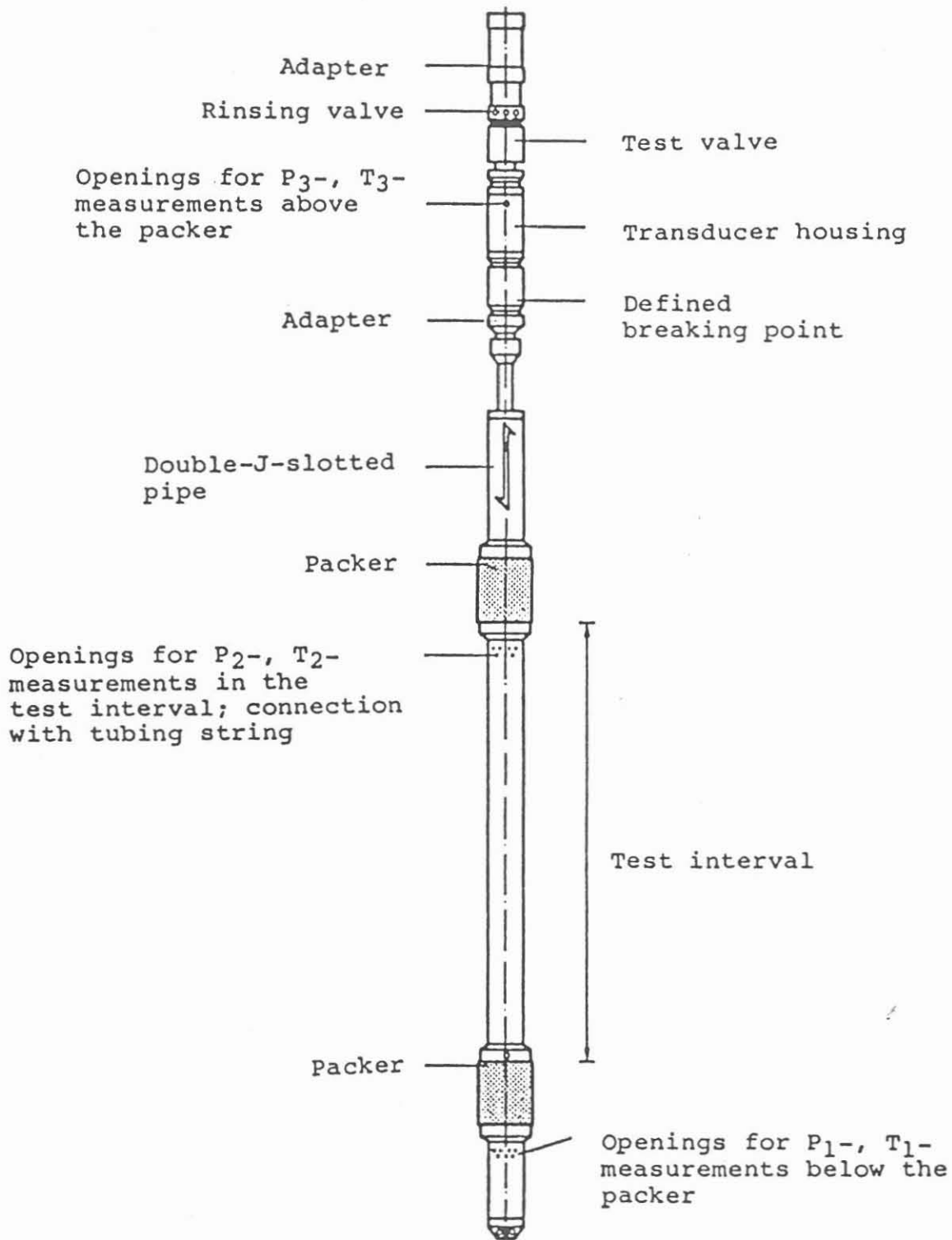


Abbildung 7.25: Hydraulic Test Tool (HTT).



der Teststrecke sowie einmal im Bohrloch darüber gemessen. Die Temperatur- und Druckwerte aus den oben genannten drei bzw. zwei Bohrlochabschnitten werden nach Übertage übertragen.

Die Messung der Druck- und Temperaturwerte unterhalb und oberhalb des abgepackerten Intervalls erlaubt eine permanente Kontrolle der Packersitze. Undichtigkeiten zwischen Packer und Bohrlochwand sowie hydraulische Umläufigkeiten im Gebirge (z. B. entlang von Klüften) lassen sich in den meisten Fällen erkennen. Die Zuverlässigkeit des Testergebnisses wird dadurch wesentlich erhöht.

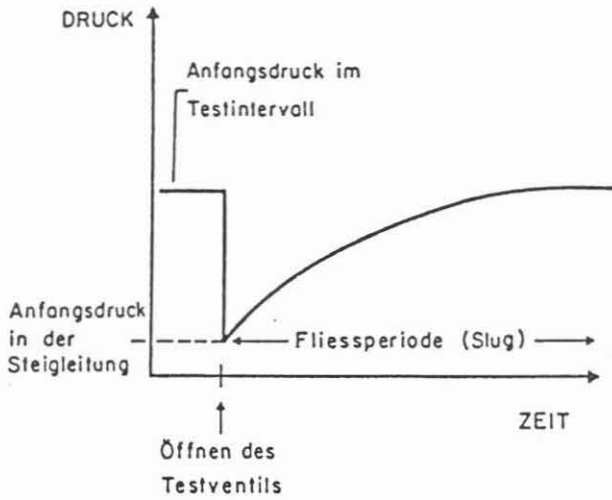
Die Testmöglichkeiten im nichtstationären Zustand sind in Abb. 7.26 skizziert; vergl. hierzu auch NAGRA (1985).

Bei Zufluß aus dem Gebirge können in einem Druckbehälter Fluidproben entnommen und zutage befördert werden. Die Ergebnisse ermöglichen die Aufstellung eines hydraulischen Profils der Bohrung. Zu diesem Zweck ist - nach den bisherigen Erfahrungen im Kristallin - ein Test pro durchschnittlich 25 bis 50 m erforderlich.

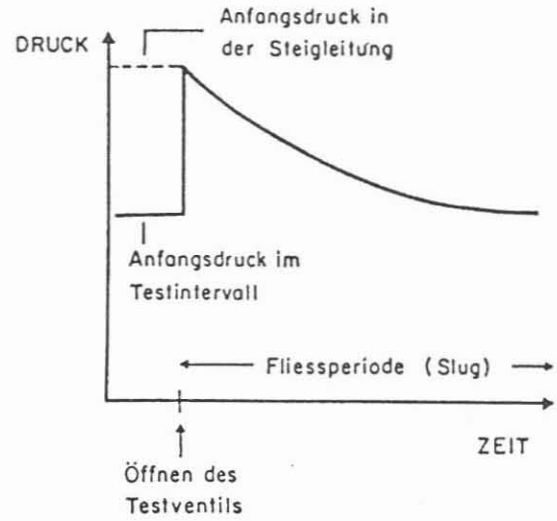
### **7.3.3 Hydraulischer Auffülltest**

Nach Erreichen der Endteufe bzw. vor Absetzen der Verrohrung wird nach längerer Stillstandszeit der Bohrung, je nach Möglichkeit bis zu ca. 3 Tagen, zunächst ein Referenz-Temperaturlog gefahren. Anschließend wird die Bohrung entweder einmalig (Slug Test) oder ständig (Constant Head Injection Test) mit Wasser bis zum Auslauf nachgefüllt. Aus der beobachteten Spiegelabsenkung bzw. aus den gemessenen Nachfüllraten kann - in Kenntnis der Randbedingungen - die integrierte Transmissivität des offenstehenden Bohrlochabschnittes berechnet werden. Der Abfluß kalten Wassers aus der Bohrung in die Formation verursacht eine unterschiedliche lokale Auskühlung des Gebirges. Der örtliche Auskühlungsgradient ist in erster Näherung von der Aufnahmefähigkeit der einzelnen Zonen in der Bohrung abhängig. Infolgedessen können aus den gemessenen Temperaturstörungen außerdem die Fließraten und somit auch die abgeflossenen Wassermengen und die relativen Transmissivitäten als Funktion der Tiefe berechnet werden. Für die Ermittlung eines aussagefähigen Temperaturgradienten sind außer der Nullmessung drei bis vier Temperaturlogs während der Injektion erforderlich.

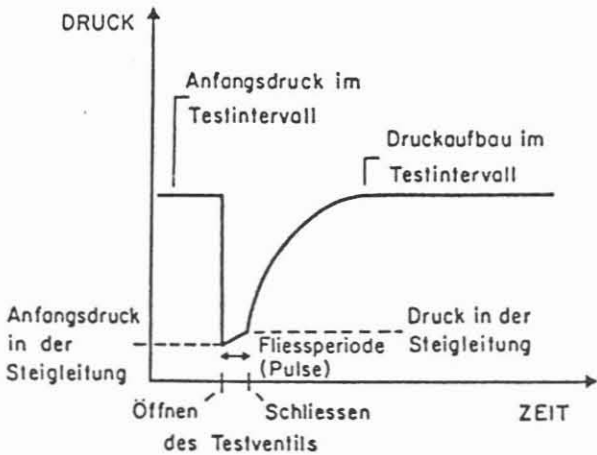
**A - Slug - Withdrawal - Test**



**B - Slug - Injection - Test**



**C - Pulse - Withdrawal - Test**



**D - Pulse - Injection - Test**



Abbildung 7.26: Testmöglichkeiten mit dem HTT.

A - für durchlässige Zonen geeignet, da größere Zuflußmengen erforderlich sind.

B - wie A.

C - für gering durchlässige Zonen geeignet.

D - wie C.

#### **7.3.4 Langzeit Wasserspiegel-Absenkttest**

Der Flüssigkeitsspiegel in der Bohrung wird durch anhaltendes Abpumpen der Spülung so weit abgesenkt wie die verfügbare Pumpenleistung bzw. die Bohrlochstabilität es erlauben. Das Absenken des hydrostatischen Druckes verursacht einen Zufluß aus dem Gebirge in die Bohrung. Nach Einstellung des Abpumpens wird das Ansteigen des Flüssigkeitsspiegels mittels Temperatur- und Druckmessungen, Mud Logs oder Echolot beobachtet. Aus der Anstiegsrate kann - in Kenntnis der Randbedingungen - die integrierte Transmissivität des offenstehenden Bohrlochabschnittes ermittelt werden.

#### **7.3.5 Markierter Fördertest**

Markierte Förderversuche werden zur hydraulischen Untersuchung geringpermeabler Bohrlochabschnitte eingesetzt.

In einer in Produktion (Injektion) stehenden Bohrung wird von einem in bestimmten Teufen angehaltenen Meßgerät eine geringe Menge Flüssigkeit, die mit radioaktivem Material von kurzer Halbwertszeit ( $^{131}\text{J}$ ) markiert ist, ausgestoßen. Dieser radioaktive Marker (Tracer) wird vom Flüssigkeitsstrom mitgetragen und an zwei GR-Sensoren, die sich in einem vorgegebenen konstanten Abstand am Meßgerät befinden, vorbeigeführt. Die Zeit zwischen den beiden GR-Ausschlägen wird gemessen und entspricht der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit. Das Volumen errechnet sich aus Rohrquerschnitt abzüglich Gerätequerschnitt und Fließgeschwindigkeit; vergl. hierzu auch RTT. Bei sehr niedrigen Fließgeschwindigkeiten in der Bohrung wird die veränderte Lage der Tracerwolke in größeren Zeitabständen mit einem kontinuierlichen GR erfaßt. Die Halbwertszeiten des Tracers und eine mögliche Durchmischung während der Befahrung müssen berücksichtigt werden. Wenn diese Messung in mehreren Teufen durchgeführt wird, kann ein Förder-/Injektionsprofil der Bohrung ermittelt werden. Dies ist ein Meßsystem, mit dem auch nur sehr geringe Fließbewegungen gemessen werden können.

## **7.4 Seismische Untersuchungen**

### **7.4.1 Geophonversenkmessungen**

Geophonversenkmessungen (Geophone Survey, GS) dienen zur Bestimmung der vertikalen Geschwindigkeitsverteilung im Gebirge. An der Erdoberfläche werden Schallimpulse durch Verwendung von Sprengstoff, Vibratoren oder Luftpulsern erzeugt. Der direkte, abwärtsgehende und reflektierte Impuls wird von in der Bohrung in verschiedenen Teufen angehaltenen triaxialen Einzelgeophonen oder Geophonketten aufgenommen. Aus dem registrierten Wellenzug können seismische Laufzeit und Geschwindigkeit als Funktion der Tiefe ermittelt werden.

Seismische Geschwindigkeitsmessungen sind für die Auswertung von reflexionsseismischen Messungen und für die Kalibrierung der Sonic-Messungen (BHC) notwendig. Sie stellen einerseits die Basis für die Berechnungen synthetischer Seismogramme aus den kalibrierten BHC-Logs dar und dienen andererseits als Bindeglied zwischen Bohrlochmessungen und Oberflächenseismik.

### **7.4.2 Multi-Offset Vertical Seismic Profiling**

An der Erdoberfläche werden in verschiedenen Abständen und/oder Richtungen von der Bohrung (Linien- oder Rasterquellenpunkte) mit Sprengstoff, Luftpulser oder mit dem Vibroseis-Verfahren seismische Wellen erzeugt; Abb. 7.27. Nach jeder Anregung werden sowohl die abwärtsgehenden (direkten) als auch aufwärtsgehenden (reflektierten) Wellenfronten mit einer - im Bohrloch versenkten und an der Bohrlochwand angekoppelten - 3-Komponenten-Geophonkette registriert. Gleichzeitig können auch die Spülungs(druck)wellen mit Hydrophonen aufgenommen werden. Vielversprechend, jedoch äußerst kostspielig ist eine Variante, die oft auch als 3-D-Moving Source Vertical Seismic Profiling (MO-VSP) bezeichnet wird. Bei dieser Variante werden die Anregungspunkte im quadratischen oder radialen Flächenraster bis etwa 10 km von der Bohrung verteilt. Als Bohrlochaufnehmer bleibt eine Geophonkette stets im Bohrlochtiefsten verankert.

Die Ergebnisse erlauben die Zuordnung der Reflexionen zum Bohrprofil, die genaue Erfassung des räumlichen und anisotropen Geschwindigkeitsfeldes, die bessere Trennung der P- und S-Welleneinsätze, die Identifizierung der Multiplen, die Ermittlung der wahren Amplituden und somit die Berechnung der Dämpfungskennwerte. Erst die Kenntnis dieser Größen ermöglicht die zuverlässige Deutung reflexionsseismischer Messungen. Ein besonderer Vorteil des Vertical Seismic Profiling (VSP) liegt jedoch im Informationsgewinn unterhalb der Bohrlochsohle, so daß bei entsprechender Langzeitregistrierung (bis zu 10 s) Bohrprognosen erstellt werden können. Die tiefen Reflexionen erlauben die Entwicklung von Modellvorstellungen zum stofflichen Bestand des unverritzten Gebirges.

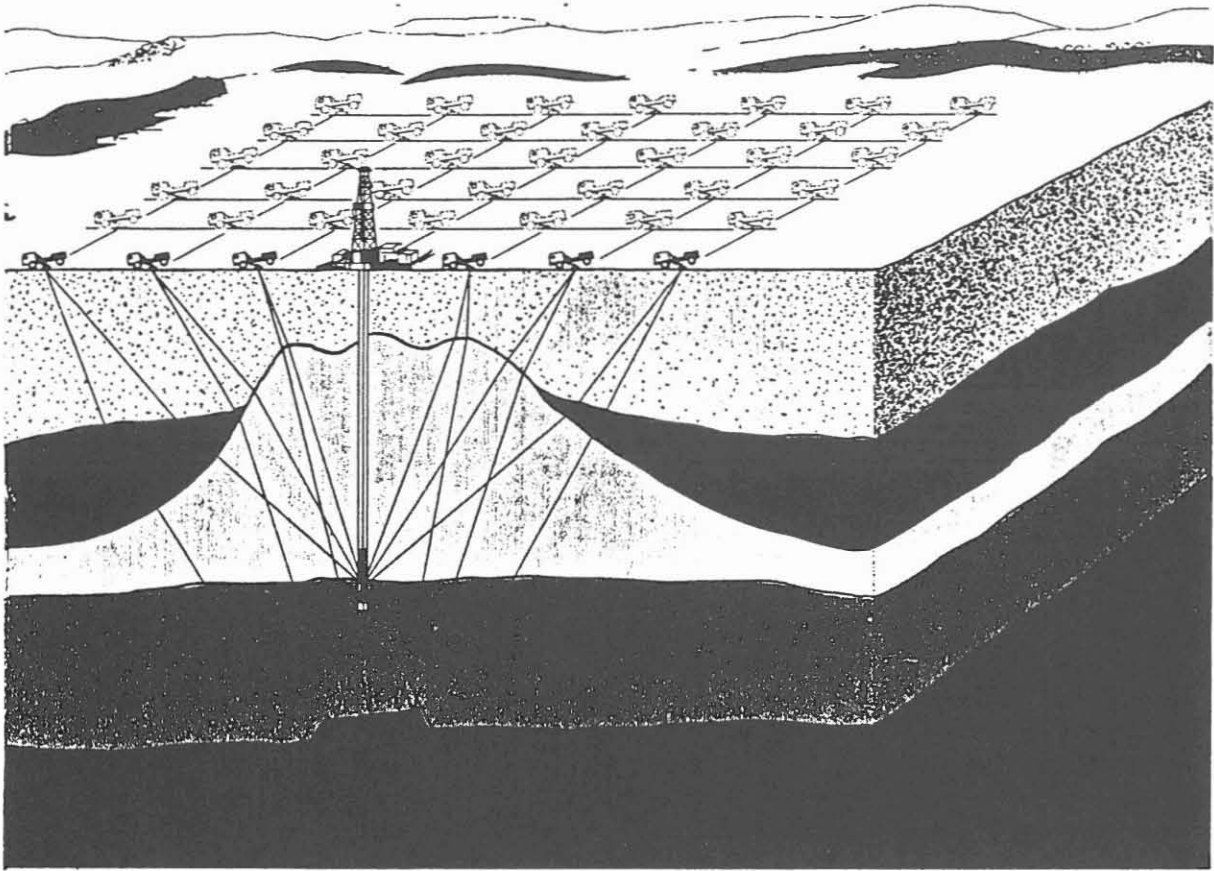


Abbildung 7.27: Multi-Offset Vertical Seismic Profiling.

#### **7.4.3 Variable Acoustic Log (VAL)**

Ein Sender, der zugleich Empfänger ist, erzeugt in einer Bohrung eine niederfrequente P-Welle. Diese läuft durch die Spülungsflüssigkeit und trifft auf die Bohrlochwand. Dort werden einerseits in das Gebirge eindringende P- und S-Wellen erzeugt und andererseits sog. Rohrwellen (Tube Waves, T-Wellen); vergl. hierzu Abb. 7.28 A. Im Falle einer permeablen Zone oder einer Störung werden die T-Wellen reflektiert, ebenso wie die in dieser Zone durch P- und S-Wellen erzeugten T-Wellen. Beim Einfahren der Sonde wird eine permeable Zone zunächst durch ein schwaches Signal erfaßt. Bei Annäherung an die Zone wird die Signalstärke zunehmen und die Laufzeit abnehmen. Bei anschließender Entfernung von der Zone setzt der umgekehrte Vorgang ein: abnehmende Signalstärke und zunehmende Laufzeit; siehe Abb. 7. 28 B. Die Amplitude der reflektierten T-Wellen ist ein Indikator für die Signifikanz einer Störungszone und/oder permeablen Zone und unter bestimmten Vereinfachungen zugleich ein Maß für die Permeabilität. Das Verfahren erlaubt außerdem die Bestimmung der gesteinsmechanischen Parameter (Kompressions- und Schermodul).

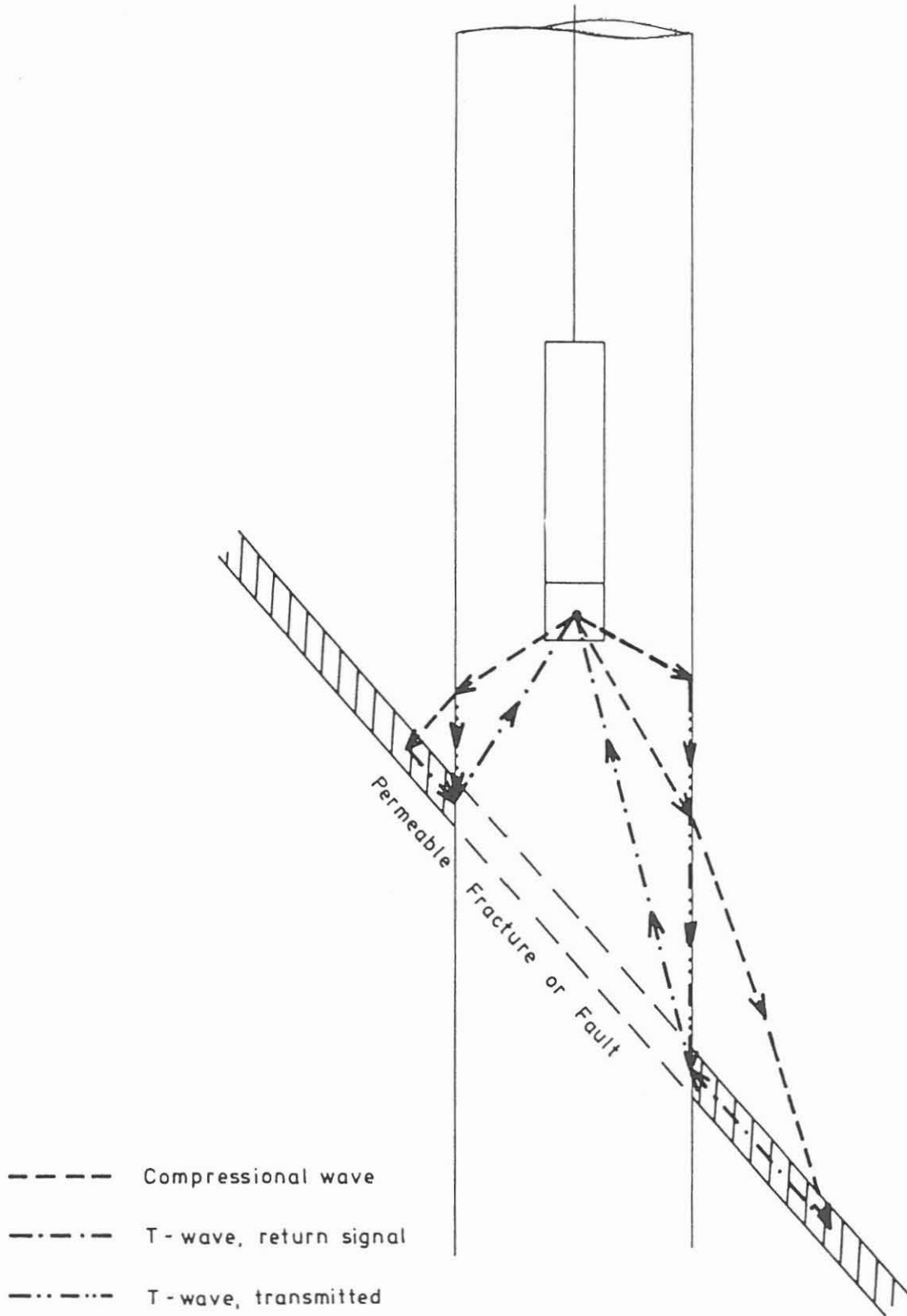
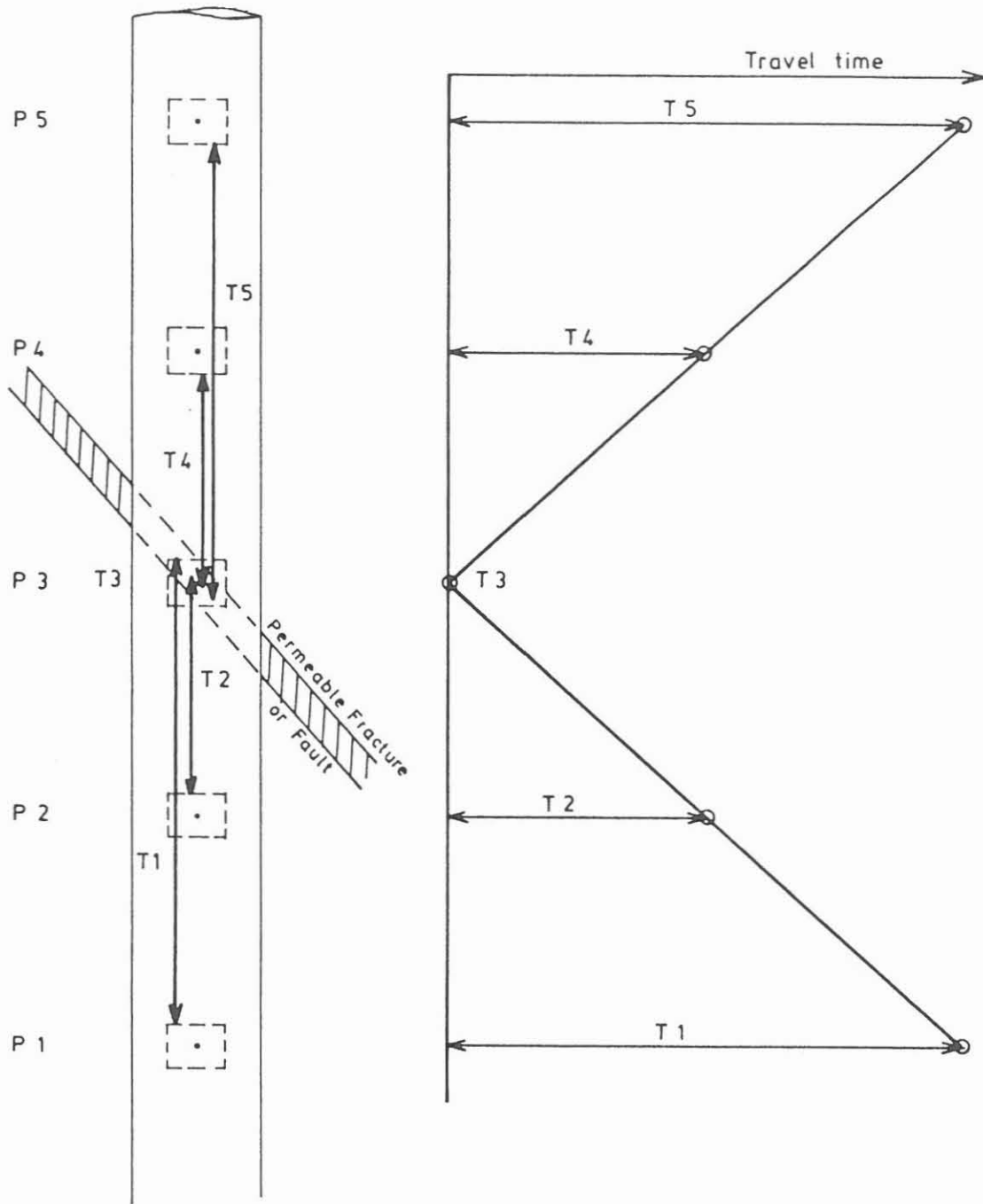


Abbildung 7.28A: Rohrwellen (Tube Wave)-Wellenstrahlen.



 P 1 - 5 Consecutive logging tool positions

 T 1 - 5 Travel time of tube wave signals

Abbildung 7.28B: Rohrwellen - Laufzeitdarstellung.



## 7.5 Spannungs- und Deformationsmessungen

### 7.5.1 Hydrofrac-Test

Beim Hydrofrac-Verfahren wird in einem abgepackerten Bohrlochbereich hydraulisch ein Riß erzeugt, dessen Öffnungs- und Schließverhalten durch die vorherrschende Gebirgsspannung bestimmt wird. Da bei der Frac-Erzeugung die Zugfestigkeit des Gebirges überschritten werden muß (sofern keine natürliche Kluft vorhanden ist), kann auch auf die gebirgsmechanische Festigkeit des Gebirges geschlossen werden. Die Frac-Sonde ist ein Doppelpacker-Gerät, das am Bohrlochmeßkabel eingefahren und in der gewünschten Tiefe hydraulisch abgesetzt wird (Abb. 7.29). Der Abstand zwischen den zur Zeit eingesetzten Packern beträgt 2 m. Das Verfahren wurde bisher bis in Tiefen von 2000 m eingesetzt. Der zum Messen erforderliche Druck wird mit einem Pumpenaggregat am Bohrlochkopf erzeugt und durch einen Hochdruckschlauch oder ein wickelbares Rohr (coiled tubing) in den abgepackerten Bereich geleitet. Initialfracdruck, Wiederöffnungsdruck und der Schließdruck werden mit einem Sensor untertage aufgenommen. Die Hauptspannungen im Gebirge werden in der üblichen Auswertung aus diesen Daten mit den folgenden Formeln berechnet:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= P \\ S_{\max} &= 3P_s - P_r - P_p \end{aligned}$$

mit:  $P_s$  = Schließdruck (= zur Offenhaltung der erzeugten Klüfte erforderlicher Mindestdruck)

$P_r$  = Wiederöffnungsdruck

$P_p$  = Porenwasser- bzw. Kluftwasserdruck.

Hierbei wird vorausgesetzt, daß der Frac sich vertikal in Richtung der größten horizontalen Hauptspannung fortpflanzt und eine Hauptachse des Spannungstensors in der Bohrlochachse orientiert ist.

Da mit dem Schließdruck  $P_s$  die senkrecht auf die Frac-Oberfläche wirkende Gebirgsspannung ermittelt wird (Integral über die Frac-Oberfläche), ist insbesondere diese Gebirgsspannungskomponente mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

Für die Erfassung der räumlichen Lage der Hauptspannungen muß die Frac-Orientierung im Bohrloch ermittelt werden. Dies kann z. B. durch einen Akustik-TelevIEWer geschehen. Zur Zeit erfolgt die Bestimmung der Frac-Orientierung unter Verwendung von Abdruckpackern.

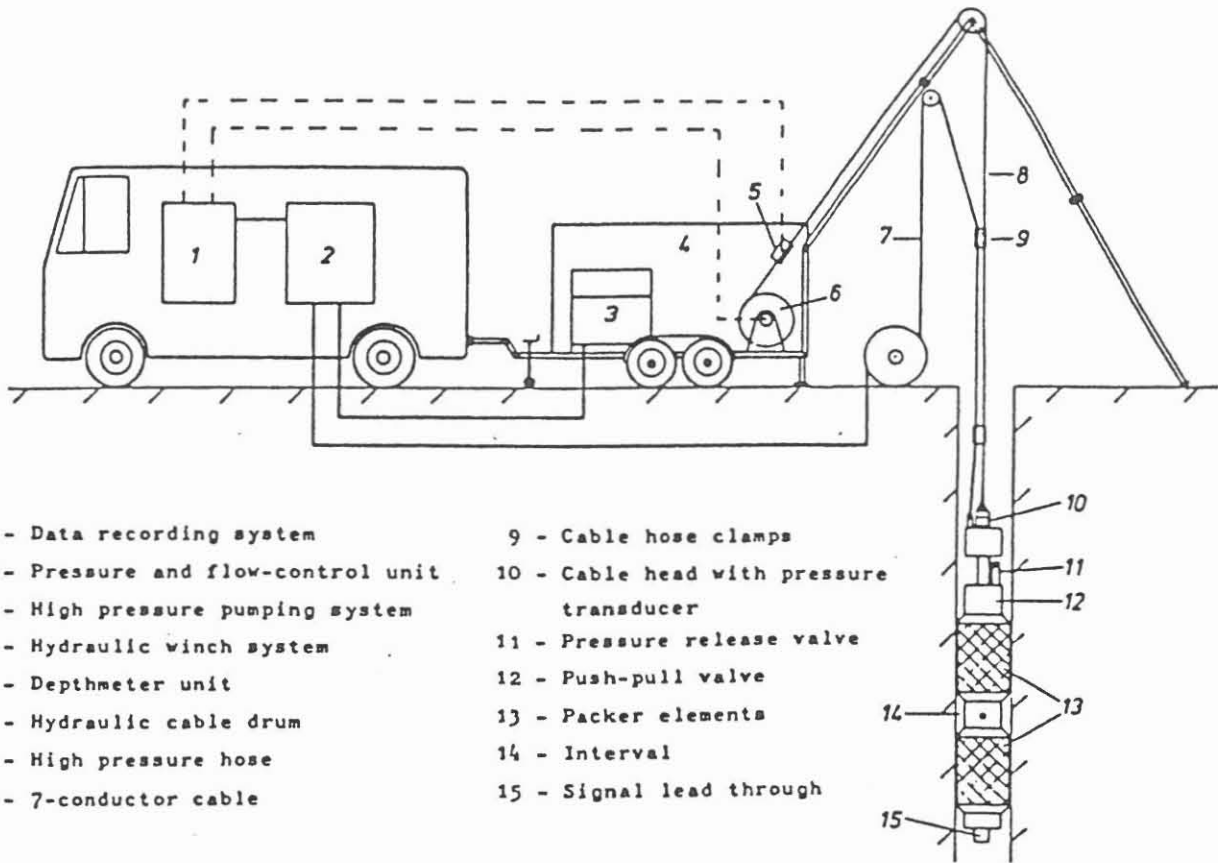


Abbildung 7.29: Hydrofrac Test-Ausrüstung, Universität Bochum.

### 7.5.2 Bohrlochrandausbrüche (Breakouts)

In einer Bohrung treten, insbesondere bei langer Bohrzeit, Ausbrüche an der Bohrlochwand auf, die Aussagen zur Hauptachsenorientierung des Gebirgsspannungsfeldes erlauben. Bei der Auswertung von Bohrlochausbrüchen wird nun davon ausgegangen, daß die Ausbrüche besonders stark in Richtung der kleinen Hauptachse des horizontalen Spannungsfeldes erfolgen. Trotz der sehr starken technisch bedingten mechanischen Belastung des Bohrlochnahbereiches zeigen eine Vielzahl von Auswertungen, daß sich über räumlich weite Gebiete eine tektonisch verständliche gleichförmige Orientierung der Bohrlochausbrüche finden läßt. Dies kann als Indiz dafür angesehen werden, daß durch einen mehrachsigen Spannungszustand des Gebirges Bohrlochausbrüche induziert werden. Die Bestimmung der Bohrlochausbrüche kann sowohl mit einem akustischen Televier als auch mit einem Mehrarm-Kaliber erfolgen. Des Weiteren ist mit der Registrierung der Bohrlochausbrüche ein Schluß auf die gebirgsmechanische Festigkeit des anstehenden Gebirges möglich.

## **7.6 Rechnergestützte Logauswertungen**

Die visuelle Logauswertung wird in zunehmendem Maße durch rechnergestützte Auswertungen abgelöst. Im folgenden sollen deshalb einige hierfür gebräuchliche Begriffe kurz erläutert werden; vergl. hierzu auch Tab. 7.1.

### **7.6.1 Logdarstellungen und Datenaufbereitung vor Ort**

#### **Real Time Log**

Synoptische Darstellung der Messungen auf Film oder auf Magnetband in wahlfreiem Format, registriert gegen Tiefe oder Zeit.

#### **Log File**

Magnetbandaufzeichnung der einzelnen Messung. Normalerweise besitzt jede Messung oder Kombinationsmessung ein eigenes Log File.

#### **Field Edit Tape**

Dieses Magnetband enthält die Abfolge der Logwerte jeder einzelnen Messung oder jeder Kombinationsmessung in Maßeinheiten kalibriert (z. B. ohm m, g cm<sup>3</sup> usw.).

#### **Single File Playback**

Wiedergabe eines Log File auf Film im gewählten Format.

#### **Edit/Merge File**

Zwei unabhängige Log Files (z. B. Wiederholungsmessungen, verschiedene Meßfahrten mit Überlappung) werden tiefenkorrigiert auf ein Magnetband oder einen Film gebracht.

#### **Composite Log**

Bis zu 16 verschiedene Meßkurven können zur Qualitätskontrolle oder zur Auswertung vor Ort zusammengefaßt im gewählten Logformat auf Film oder Bildschirm dargestellt werden.

#### **Normalized Tape, (EC Tape)**

Dieses Magnetband wird aus dem aufbereiteten Band (EDIT/MERGE Tape) hergestellt unter Berücksichtigung der Korrekturen für den Bohrlocheinfluß, die Nacheichung usw. Es enthält korrigierte Werte und dient als Datenbasis für weiterführenden Auswertungen. In der Tab. 7.2 sind die Korrekturen für Bohrlocheinflüsse zusammengefaßt.

#### **Datenliste**

Es besteht die Möglichkeit, maximal sechs verschiedene Meßwerte als Funktion der Tiefe in Matrixformat aufzulisten.

Tabelle 7.1: Stufen der rechnergestützten Aufnahme und Verarbeitung von Meßdaten.

Die Aufnahme der Meßdaten erfolgt an der Bohrung, die Verarbeitung entweder an der Bohrstelle oder im Rechenzentrum der Servicefirmen oder des Auftraggebers.

(1) Aufnahme: Magnetbandaufzeichnung - Film - Bildschirmkontrolle

Acquisition Data Tape

- Rohdatenband enthält:
- Rohdaten unskaliert
  - Skalierte Daten (physik. Größen)
  - Geräteparameter (Frequenz, HV, CPS)
  - Teufenkorrektur-Meßsensoren, Kabelspannung
  - Korrespondenz Ingenieur-Rechner (Scroll)
  
  - Eichwerte
  - Bohrungsdaten, Spülungsdaten

Film

- Gleichzeitige Registrierung (Real Time Log)
- Hauptmessung
  - Wiederholungskontrollmessung
  - Filmkopf
  - Eichwerte
  - Bohrungsdaten
  
  - Bildschirmkontrolle

Field Edit Tape

- Bereinigtes Feldband enthält:
- Skalierte Meßdaten
  - Ausgewählte Geräteparameter (CPS, Meßfenster)
  - Eichwerte
  - Bohrungsdaten, Spülungsdaten

Edit-Merge Tape

- Zusammengespieltes Band enthält:
- Zusammenspiel mehrerer Messungen, teufenkorrigiert, in einer Datenfolge (Log File)

- Mehrere Messungen zusammengespielt auf einen Film
- Bildschirmkontrolle

Normalized Tape

- Band mit normalisierten Daten enthält:
- Meßdaten für Bohrlocheinfluß, korrigiert (Spülung, Durchmesser, Temperatur)

- Korrigierte Daten können auf Film dargestellt werden
- Bildschirmkontrolle

(2) Auswertungen: Aufnahme auf Magnetband - Film - Bildschirmkontrolle

Wellsite Interpretations

- Datenlisten
- Häufigkeitsdiagramme (Histogram)
- Numerisches Datendiagramm (Crossplot, 2-, 3-dimensional)
- Umrechnung auf vertikale Teufen
- CYBER - Produkte - Programme: CYL, CYLDT, CYDIP, CYFIL, CYDR, CYWST, CYGEO, CYVSP, CYRFT, CYTVD etc.

- Auswertungen werden auf Film wiedergegeben
  
- Bildschirmkontrolle

Computer Centre Products

- Auswertungen vom Rechenzentrum.  
(Ausführliche Programme: iterative Auswertungen der höheren Hierarchie)
- Multivarianz-Analysen
  - Synthetische Logs
  - Programme: GLOBAL, FACIOLOG, MECHPRO, VSP, MSD, CSB, DETFRA, LITHO etc.
  - Datenlisten

- Auswertungen werden auf Film dargestellt
  
- Programmsteuerung über Bildschirm

Tabelle 7.2: Korrekturen für die Kompensation des Bohrlocheinflusses.

Meßmethoden	Bohrloch- durchm.	Sonden- navigat.	Schulter- formation	Spülungs- Widerstand	Salinität	Dichte	Filter- kuchen	Tempe- ratur	Emission der radio- akt. Quelle	Verrohr. Zement	Sonst.
Dual Laterolog	+		+	+				+			
Induktion Logs	+		+	+				+			
Mikrowiderst.- Logs		+		+			+	+			
Dipmeter		+					+				
Sonic Logs	+										
Dichte Logs	+					+	+	+	+		
Neutron Logs	+				+	+	+	+	+	+	+
Neutron- Impuls Logs	+				+	+		+	+	+	
Gamma Spectrometrie	+							+		+	+
Bohrloch- gravimetrie	+					+		+			+

### **Histogramm**

Tiefenbezogene Häufigkeitsverteilung einzelner Meßwerte. Histogramme werden vorwiegend bei der Logfazies-Zonierung, bei der Bohrloch-zu-Bohrloch-Korrelation, bei der Log Qualitätskontrolle und zur Festlegung weitgehend parameterkonstanter Tiefenbereiche für die Crossplots verwendet.

### **Crossplot und Ratio Plot**

Innerhalb eines ausgewählten Tiefenabschnittes können gemessene Wertepaare im kartesischen Koordinatensystem (x-, y-Achse) als graphische Verteilungsfunktion dargestellt werden. Statt einfacher Meßwerte werden auch Verhältniszahlen von zwei Meßwerten als Koordinatenachsen benutzt; in diesem Fall spricht man von einem Ratio Plot. Der Tiefenbereich der Plots wird innerhalb der statistischen Zuverlässigkeitsgrenze möglichst klein gehalten, um eine gute Vertikalauflösung zu erreichen und um eindeutige Korrelationen mit Kerndaten zu gewährleisten. Die Crossplots können mit einer dritten Variablen (GR, Kaliber, Deep Laterolog) ergänzt werden (z-Achse). Die so erhaltene Punktwolkenverteilung zeigt eine charakteristische Struktur, welche die petrophysikalischen Eigenschaften des Gebirges widerspiegelt und mit statistischen Methoden, z. B. mit der Regressionsanalyse, weiter untersucht werden kann.

Die im Kristallin am häufigsten ausgewerteten Crossplots sind in der Tab. 7.3 zusammengefaßt.

## **7.6.2 Auswertungen vor Ort**

Nachfolgend werden wichtige Auswerteverfahren beschrieben, die im Kristallin mit Aussicht auf Erfolg eingesetzt werden können oder für den Bohrbetrieb von Bedeutung sind.

### **CYBD: CYBER Bond Quicklook**

Berechnet aus der Dämpfung akustischer Wellen in der verrohrten und zementierten Bohrung die Zementierungsgüte. Der dargestellte Cement Bond Index ist die gemessene Signalamplitude, ausgedrückt im Prozentsatz der größten Signalamplitude, die einer freien bzw. schlecht zementierten Verrohrung entspricht.

### **CYCEP: CYBER Cement Planning**

Berechnet den Zementbedarf zur Abdichtung des Ringraumes zwischen Bohrlochwand und Verrohrung aus 4-Arm-Kalibermessungen (BGT oder HDT).

### **CYDIP: CYBER Dip**

Auswertung der Dipmetermessung. Streichen und Einfallen der Formation und des Bohrlochverlaufs werden berechnet.

Tabelle 7.3: Crossplot-Auswertungen im Kristallin.

Abkürzung	Wertepaare	Aussagevermögen über
RHOB-NPHI	Massendichte - Neutronporosität	wassergefüllte Porosität, im Kristallgitter gebundenes Wasser
RHOB-PEF	Massendichte - Photoelektrischer Absorptionsindex	Lithologie, Schwermineralien, Alteration
RHOB-DT	Massendichte - Soniclaufzeit	Sekundärporosität (durch steil- stehende Klüfte)
PHIDN-DT	Porosität aus RHOB/NPHI Crossplot - Soniclaufzeit	Lithologie, Porosität, Sekundärporosität
THOR-POTA	Thoriumkonzentration - Kaliumkonzentration	Diagenese, Verwitterung, Lithologie
THOR-URAN	Thoriumkonzentration - Urankonzentration	Alteration, petrogenetische Differenzierung, Störungszonen, Spalten, hydrothermale Wasser- führung und Mineralisation
G-NEU	Gamma Zählrate - Neutron Zählrate	Petrogenetische Differenzierung, Alteration, Klüftigkeit
M-N (Litho-Porosity Crossplot)	$M = ((DTF-DT)/$ $(RHOB-RHOF)) \cdot U$ $N = (NPHIF-NPHI)/$ $(RHOB-RHOF)$ $U = 0,003 = \text{metrischer}$ Umrechnungsfaktor Zusatz F $\hat{=}$ Flüssigkeit	Lithologie, Sekundärporosität, im Kristallin nur beschränktes Aussagevermögen



**CYDR: CYBER Directional Log**

Auswertung der Borehole Geometry Tool- bzw. Dipmeter-Messung. Räumlicher Verlauf der Bohrung wird berechnet und als Projektion in beliebiger Ebene dargestellt (Deviation Plot). Die Ergebnisse bilden die Grundlage bohrtechnischer Entscheidungen und erlauben die genaue Lokalisierung der Meßpunkte (z. B. Koordinaten und lotrechte Tiefe der Versenkgeophone).

**CYFIL: CYBER Fracture Identification Log**

Berechnet aus den Mikrowiderstandslogs des Dipmeter vier Differenzkurven, so daß Identifizierung der Klüfte und Abschätzung der räumlichen Lage planarer Diskontinuitäten möglich ist. CYFIL wird vor der Durchführung hydraulischer Versuche ausgewertet und dient dann zur Auswahl der Packertestzonen.

**CYGEO: CYBER-Geogram**

Ein synthetisches Seismogramm wird aus den Sonic- und Dichtelogs mit ausgewählten Eingabeparametern (Wellenform, Frequenzfilterung, mit oder ohne Multiplen) berechnet und dargestellt. Das benutzte Sonic Log wird vorher mit der seismischen Geschwindigkeitsmessung kalibriert und das Dichtelog von Bohrlocheffekten bereinigt.

**CYPL: Cyber Production Log**

Feldauswertung der Production Combination Tool-Messung. Dargestellt werden die korrigierten Fließraten, die Fluidichte, der Temperaturgradient und der Spülungsdruck bzw. der Fließdruck während Einpressung oder Förderung.

**CYTVD: CYBER True Vertical Depth**

In Abhängigkeit der Neigung und des Azimuts einer Bohrung wird die wahre Tiefe berechnet.

**CYVSP: CYBER Vertical Seismic Profiling**

Wellenzug-Prozessing des Vertical Seismic Profiling, schließt folgende Schritte ein: wahre Amplituden, Stapeln, Frequenz- und Geschwindigkeitsfilterung, Vorhersage- und Wellenformdekonvolution. Das VSP-Profil wird für die Auswertung in Graustufen dargestellt.

**CYWST: CYBER Well Shooting**

Berechnet die korrigierte seismische Laufzeit und die Intervallgeschwindigkeit als Funktion der Tiefe aus der Geophonversenkungsmessung, so daß eine unmittelbare Qualitätskontrolle der P-Wellen-Geschwindigkeitsmessung möglich ist.

### 7.6.3 Auswertungen im Rechenzentrum

#### **BOL: Breakout Orientation Log**

In Bohrungen, die in Regionen mit unausgeglichenen Spannungsfeldern abgeteuft werden, treten durch Scherspannungen verursachte Bohrlochrandausbrüche auf, die zur Ovalisierung des Bohrlochdurchmessers führen. Das Programm ermittelt aus 4-Arm-Kaliber-, Neigungs- und Orientierungsdaten der BGT-, HDT- und SHDT-Messungen die räumliche Orientierung der Ovalität. Die Richtung der Hauptachse wird der Minimum-Spannungsrichtung gleichgesetzt.

#### **DELTAT SHEAR: Sonic Waveform Analysis und MECHPRO: Mechanical Properties Log**

Die Zielsetzung der Schallwellenzuganalyse ist die Trennung der Kompressions- und Scherwelleneinsätze und die Registrierung der Intervall-Laufzeiten der Kompressions- und Scherwellen. Die Berechnung erfolgt unter Verwendung von variablen Zeitfenstern, die so gewählt werden, daß möglichst nur die Kompressions- und Scherenergie, nicht aber störende Einsätze bewertet werden. Sodann können in Kenntnis des Hangenddruckes (aus Dichtelog) und des Porendruckes (Formationsteste oder Annahmen) die elastischen Konstanten (Schermodul, Poissonzahl, Young Modul und Kompressibilität) aus den Hook'schen Formeln ermittelt werden. Unter gewissen Annahmen hinsichtlich des tektonischen Spannungszustandes (z. B. radialisotropes Spannungsfeld) wird der Mohr'sche Kreis konstruiert, woraus der hydraulische Frac-Druck (Breachdruck) abgeleitet werden kann.

Die MECHPRO-Analyse hat im Sedimentgestein große Bedeutung für die Produktionsplanung. Eine zu hohe Druckentlastung (critical drawdown pressure) kann zum Kollaps der Bohrlochwand und zur Sandproduktion führen. Eine geringpermeable Zone kann durch hydraulische Frac-Behandlung zu besserer Produktion gebracht werden (fracture pressure gradient).

In beiden Fällen gibt das MECHPRO-Programm Auskunft über das Gebirgsverhalten bei entsprechenden Drücken.

#### **DETFRA: Detection of Fractures**

Berechnet die Wahrscheinlichkeit von Klüften aus mehreren Logs. Um zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, müssen möglichst viele Messungen in die Berechnung der Kluftwahrscheinlichkeit eingehen. Dies muß vor allem deswegen gefordert werden, weil das Aussagevermögen einzelner Logs nicht nur von den typischen Sondeneigenschaften (Meßparameter, Eindringtiefe und Vertikalauflösung) abhängt, sondern auch von Zufallsgrößen, wie Kluftgeometrie, Bohrlochbeschaffenheit, Sondennavigation usw.

Als komplementäre Klüftindikatoren können Messungen gemäß Tab. 7.4 in die Auswertung einbezogen werden. Jede der Messungen ist dafür geeignet, wenn das Korrelationsgesetz zwischen der typischen Anomalie und der Klüftigkeit bekannt ist. Die Korrelation kann z. B. durch sorgfältigen Vergleich zwischen den Logs und Kernmaterial - evtl. unter Zuhilfenahme von Vergleichsmessungen (in anderen Bohrungen bzw. Test Pits) - empirisch ermittelt werden. In der Regel wird für jede Meßkurve ein Schwellenwert der Anomalie festgelegt, über den hinaus das Vorhandensein von Klüften zunehmend wahrscheinlich erscheint. Der Schwellenwert stellt Plausibilität 0, die maximale Anomalie im gewählten Tiefenabschnitt Plausibilität 1 dar. Im Wertebereich zwischen 0 und 1 wird die Plausibilität als eine diskrete Funktion der Meßanzeige ausgedrückt, so daß die individuellen Messungen in normierte "Plausibilitäts-Logs" umgewandelt werden können. Mit Hilfe der sog. Bayesischen Logik läßt sich die Kombination mehrerer Wahrscheinlichkeiten ermitteln. Somit kann aus den individuellen Plausibilitäten der einzelnen Logs die Gesamtplausibilität der Klüftigkeit aus allen Logs berechnet werden.

**Dipmeter-Auswertungen: CLUS, GEOD, MSD, CSB, LOC**

Von Bohrungen durchhörte Diskontinuitäten im Gebirge können durch Dipmeter-Auswertungen in ihrer räumlichen Lage bestimmt werden. Durch Kreuzkorrelationen wird der vertikale Versatz der Widerstandsanomalien ermittelt. Nach Korrektur für Bohrlochneigung und -orientierung sowie für die relative Geräte-lage wird mit Hilfe der Rotation der aus dem Versatz der Widerstandskurven berechneten Flächennormalen das wahre Einfallen planarer Diskontinuitäten/Schichten/Klüfte usw.) errechnet.

Für die Auswertung steht die folgende Software zur Verfügung:

**CLUS, Cluster (HDT):** Statistisches Intervall-Korrelationsverfahren. Korrelationsintervall, Schrittastand und Suchwinkel müssen als Steuerparameter vom Benutzer spezifiziert werden (strukturelle Aussage).

**GEOD, Geodip (HDT):** Mustererkennungsverfahren, das zur Detailauswertung von Sedimentationsstrukturen dient. Korrelationsintervall, Schrittastand und Suchwinkel müssen ebenfalls vorgegeben werden. Kurze Intervalle bringen ausgezeichnete Auflösung.

**MSD; Mean Square Dip (SHDT):** Korrelation von Elektrodenträger zu Elektrodenträger; Pad to Pad Correlation. Auswerteparameter sind ebenfalls vorzugeben. Anwendungsgebiet ist das Erkennen von Makro-Strukturen.

Tabelle 7.4: Klüftigkeitsanzeige mit DETFRA-Auswertung, Meßmethoden und Klüftindikatoren.

Messung	Klüftigkeitsanzeige
Dipmeter-Mikrowiderstand (HDT, SHDT, FMST)	Leitfähigkeit durch Wassersättigung (bes. bei hochohmiger Matrix)
Makrowiderstand (Laterolog, Induction Log)	Matrixwiderstand, Klüftleitfähigkeit
Natürliche Gamma Spektrometrie (NGT)	Sekundärmineralisation durch Uran in Klüften
Litho-Density Log (LDT)	Gesteinsdichte-Anomalie negativ: fluidgefüllte Klüfte positiv: Schwermineralien-Ablagerungen (Schwerspat aus der Spülung)
Dichte-Korrektur (LDT) und Kaliber (CAL)	Bohrlochbeschaffenheit, Wandausbrüche in Schwächezonen, hohe Korrekturanzeige
Elektromagnetische Wellenausbreitung (EPT)	Hohe dielektrische Konstante in wasserführenden Klüften
Neutron-Porosität (CNT)	Erhöhte Wasserstoffkonzentration in den Klüften (durch H <sub>2</sub> O-Sättigung)
Sonic Logs (BHC, SLT, SDT) einschl. Multichannel Sonic (MCS)	Akustische Geschwindigkeit, Sekundärporositätsindex, Frequenz- und Energiespektren, Dämpfung der P- und pseudo Sh-Wellen, Q-Faktor, Mustererkennungsverfahren (akust. Wellenzuganalyse), z. B. "Spikes-Analyse" (=Interferenzen), "Chevron-Patterns" (=Diffraktionsmuster) an den Grenzflächen der Klüfte
Seismische Messungen (SAT, Triax. Geophonkette)	Spülungswellen Analyse, Quellenortung, Interferenzen und Dämpfung, Frequenz- und Energie-Spektren, seismische Geschwindigkeit
Nuclear Magnetic Log (NML)	"Free Fluid Index" in wassergefüllten Klüften

**CSB, Continuous Side by Side Correlation (SHDT):** Korrelation zwischen benachbarten Meßelektroden des gleichen Elektrodenträgers (Pad) ergibt wesentlich verbesserte Feinauflösung. Zur Untersuchung von Sedimentstrukturen und Gefügeuntersuchungen sowie pegmatitischer Texturen geeignet.

**LOC, Local Dip (SHDT):** Besonderheiten der Elektrodenträger-zu-Elektrodenträger-Korrelation werden hervorgehoben (Pad to Pad Feature Correlation/Derivative Dip). Erkennen von Klüften und Klufthäufigkeit ist das Anwendungsgebiet.

#### **FACIOLOG, Lithofazies Log:**

Das durchteufte Gebirge wird, zunächst von Kernanalysen ausgehend, in 5 bis 20 verschiedene Lithofazies-Typen eingeteilt (z. B. Granit, frisch, kompakt; Biotitgranit, kakiritisiert, stark umgewandelt, Ganggesteine, Aplit-Aplitgranit usw.).

Die Lithofaziesfindung aus der Log-Datei fußt auf der Tatsache, daß die Bohrlochmessungen unterschiedliche Faziesmerkmale widerspiegeln (z. B. Gamma-Spektrometrie die mineralogische Zusammensetzung, Dichte- und Neutronlogs die Porosität, Dipmeter das Gefüge usw.). Es muß nur die richtige Korrelation, ein "Eichschlüssel", zwischen den Lithofazies und den relevanten Logfazies-Merkmalen (den sog. Hauptkomponenten) gefunden werden. Hierzu werden über einen größeren Tiefenabschnitt (Key Well Section) die normierten Meßdaten im n-dimensionalen Raum aufgespannt, dessen Achsen den einzelnen Bohrlochmessungen entsprechen. Die Darstellung bildet eine diffus strukturierte Punktwolke, in deren Schwerpunkt ein neues Koordinatensystem (Hauptkomponentensystem) derart festgelegt wird, daß die größte Ausdehnung der Punktwolke mit der sog. ersten Hauptkomponente und die kleinste Ausdehnung mit der n-ten Hauptkomponente zusammenfällt. Als nächstes werden die Anhäufungen der Punktwolke mit einem Multivarianz-Analyseverfahren erst in lokalen, dann in regionalen Schwerpunkten zusammenfaßt (sog. Cluster-Analyse). Die relevanten regionalen Schwerpunkte werden mit Elektrofazies-Kennzahlen versehen und die Kennzahlen als Funktion der Tiefe dargestellt. So entsteht das sog. "Elektrofazies-Log". Die Zuordnung des Elektrofazies-Log zu den festgelegten Lithofazies-Typen erfolgt mit Hilfe eines Korrelationsverfahrens. Die Lithofazies können anschließend durch einfache Übertragung der Korrelation für das gesamte Meßintervall einschließlich nicht gekernter Strecken ausgewiesen werden. Mit der Lithofazies-Auswertung wurden im Kristallin bereits gute Erfahrungen erzielt; NAGRA (1985).

**GLOBAL: Multimineral-Auswertung**

Eine volumetrische Analyse der Gesteinszusammensetzung. Wenn genügend Messungen vorhanden sind, kann nach Porosität, Wasser-/Kohlenwasserstoffsättigung und mindestens 7 unterschiedlichen Gesteinskomponenten aufgelöst werden. Im Kristallin ist es schwer, einfache analytische Beziehungen zwischen Meßdaten und den mineralogischen Bestandteilen herzuleiten. Deshalb wird die Analyse sich mehr auf statistische Verfahren stützen müssen, um brauchbare Ergebnisse zu liefern. Resultate, nachdem sie an Bohrkernen kalibriert worden waren, sind aus Kristallin-Bohrungen bekannt.

## 7.7 Vertikalauflösung und radiale Eindringtiefe

Die Vertikalauflösung der Bohrlochmeßverfahren umfaßt ein breites Spektrum. Sie reicht von einigen Zentimetern bei den Mikrowiderstandsmessungen bis zu einigen hundert Metern bei den hydraulischen Versuchen. Unterschiedliche Konstruktionsmerkmale können sogar bei Meßgeräten, die auf dem gleichen Meßprinzip beruhen, größenordnungsmäßig verschiedene Vertikalauflösungen ergeben (z. B. Borehole Compensated Sonic bis zu 10 cm, Sonic Digital Tool bis einige Meter). Für die Vertikalauflösung (s) einzelner Meßverfahren gelten in erster Näherung folgende Faustregeln:

- bei den Doppelpacker-Untersuchungsmethoden (DST, HTT Hydrofrac, Wärmeleitfähigkeitssonde) wird s mit dem Packerabstand gleichgesetzt, also  $s = 1,6$  bis 200 m;
- bei fokussierten Widerstandsmessungen entspricht die Auflösung dem Durchmesser des Meßstrombündels an der Bohrlochwand, also  $s = 0,025$  bis 1 m;
- die Auflösung konventioneller Leitfähigkeitsmessungen im ungestörten Kristallin ist gleich Null, da der Sondenfehler (elektronischer Rauschpegel) ein Vielfaches des Formationssignals beträgt;
- bei den elektromagnetischen Meßverfahren - mit Ausnahme des EM-Radars - ist die Auflösung geringfügig größer als der Antennenabstand,  $s = 0,04$  bis 1 m;
- die Vertikalauflösung nuklearer Aktivierungsverfahren (Neutron-Neutron, Neutron-Gamma, Gamma-Gamma) entspricht ungefähr der Summe der Spacing (bis 0,65 m), der halben Zählerlänge (0,15 bis 0,45 m) und der Eindringtiefe (0,1 bis 0,35 m), also  $s = 0,2$  bis 1,4 m;
- natürliche Gamma-Meßsonden können vertikale Strahlungsintensitäten in der Zählerlänge (Szintillationskristall 0,3 m), (GM-Zähler 0,9 m) plus Eindringtiefe (bis 0,2 m) voll auflösen;
- bei Sonic Tools - mit Ausnahme des Circumferential Micorasonic Tools - entspricht die Vertikalauflösung dem Abstand zwischen den Empfängern,  $s = 0,15$  bis 4 m.

Die begrenzte Vertikalauflösung der Meßsonden bewirkt einen Integrationseffekt (Mittelwertbildung). Dem steht als Kontrast der ins mikroskopische Detail reichende Informationsinhalt der Bohrkerne gegenüber. Aus diesem Grund ist die Korrelation oft sehr problematisch. Die teufengerechte Zuordnung beider Dateien wird dadurch nicht leichter, daß Log- und Kernteufen mit unterschiedlichen Meßverfahren ermittelt werden.

Zur Lösung des Korrelationsproblems wurde sowohl das Einfräsen von horizontalen Markierungsrinnen in die Bohrlochwand als

auch das Einschießen radioaktiver Markierungen ins Gebirge vorgeschlagen. Beide Methoden versprechen wenig Erfolg im Kristallin. Dagegen könnte man mit einem modifizierten Seitenkernbohrer am Bohrgestänge radioaktive Markierungskapseln absetzen. Des weiteren besteht die Möglichkeit, das gemessene Gamma Ray Log mit Gamma Ray Messungen am Kern zu vergleichen. Diese Methode wird bereits routinemäßig in Erdöl-Explorationsbohrungen eingesetzt.

Die radiale Eindringtiefe ist definiert als der zylindrische Bereich, aus dem 90 % des Formationssignals kommt und die als radiale Entfernung von der Bohrlochwand angegeben wird. Sie ist neben den Konstruktionsmerkmalen der Sonden auch sehr stark von der Bohrlochbeschaffenheit und von der Lithologie abhängig.

In der Tab. 7.5 wurde die radiale Eindringtiefe des Signals der wichtigsten Meßsonden im sedimentären Bereich aufgelistet, wobei in der Anmerkung Einflußfaktoren auf die Eindringtiefe angegeben sind. Es gelten folgende Randbedingungen:

- Bohrllochdurchmesser 8 1/2" (216 mm)
- Konventionelle Wasserspülung
- homogenes Sedimentgebirge mit niedriger Effektivporosität
- Sondendurchmesser 3 1/2" (89 mm), Sonde an Bohrlochwand anliegend, bei Sonic Log zentriert.

Für Kristallingebirge können nach derzeitigem Kenntnisstand noch keine Angaben gemacht werden. Im ungestörten Kristallin ist die radiale Eindringtiefe - mit Ausnahme der seismo-akustischen Verfahren - wesentlich geringer als im Sedimentgebirge.

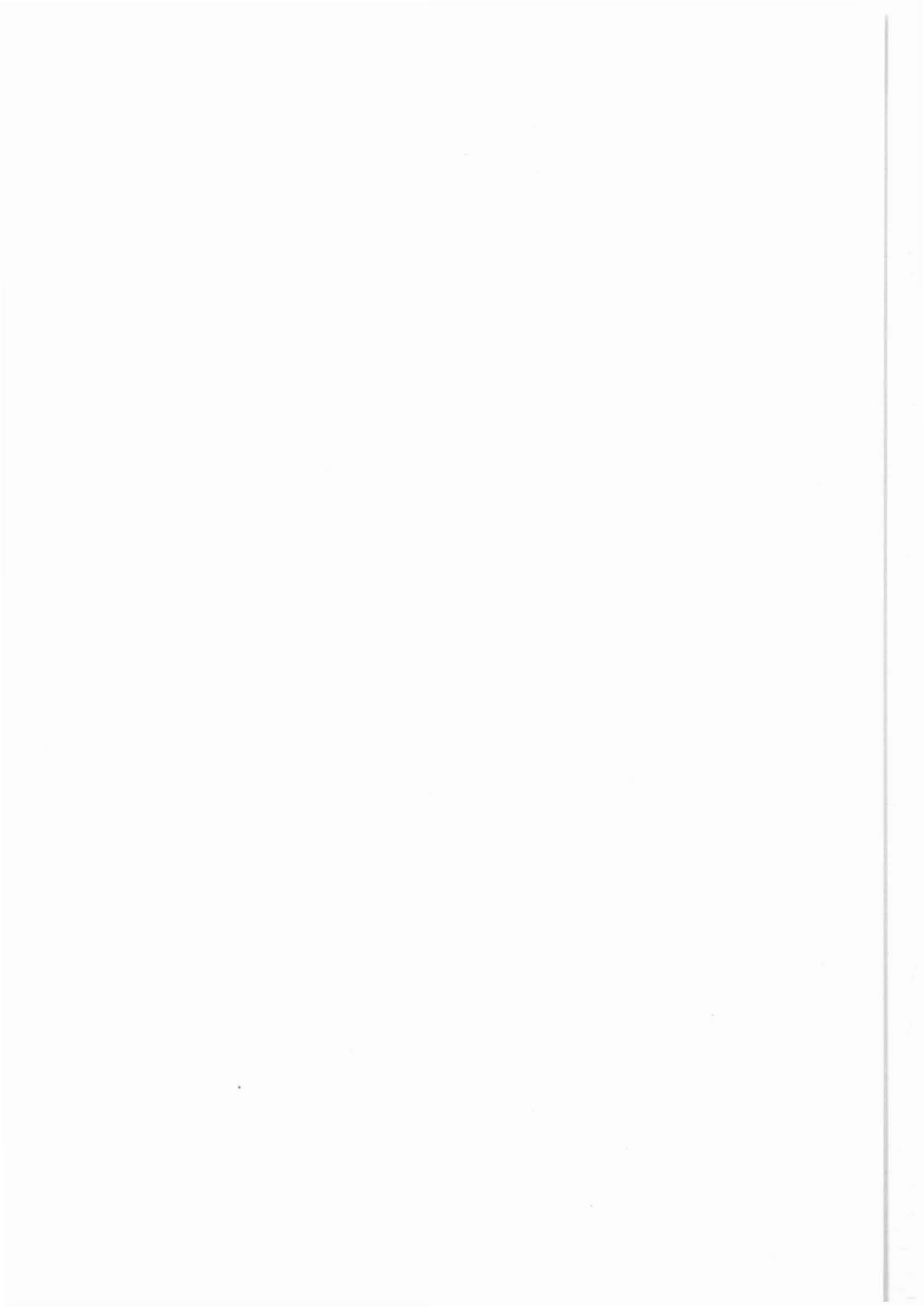


Tabelle 7.5: Mittlere radiale Signaleindringtiefe für sedimentäre Ablagerungen.

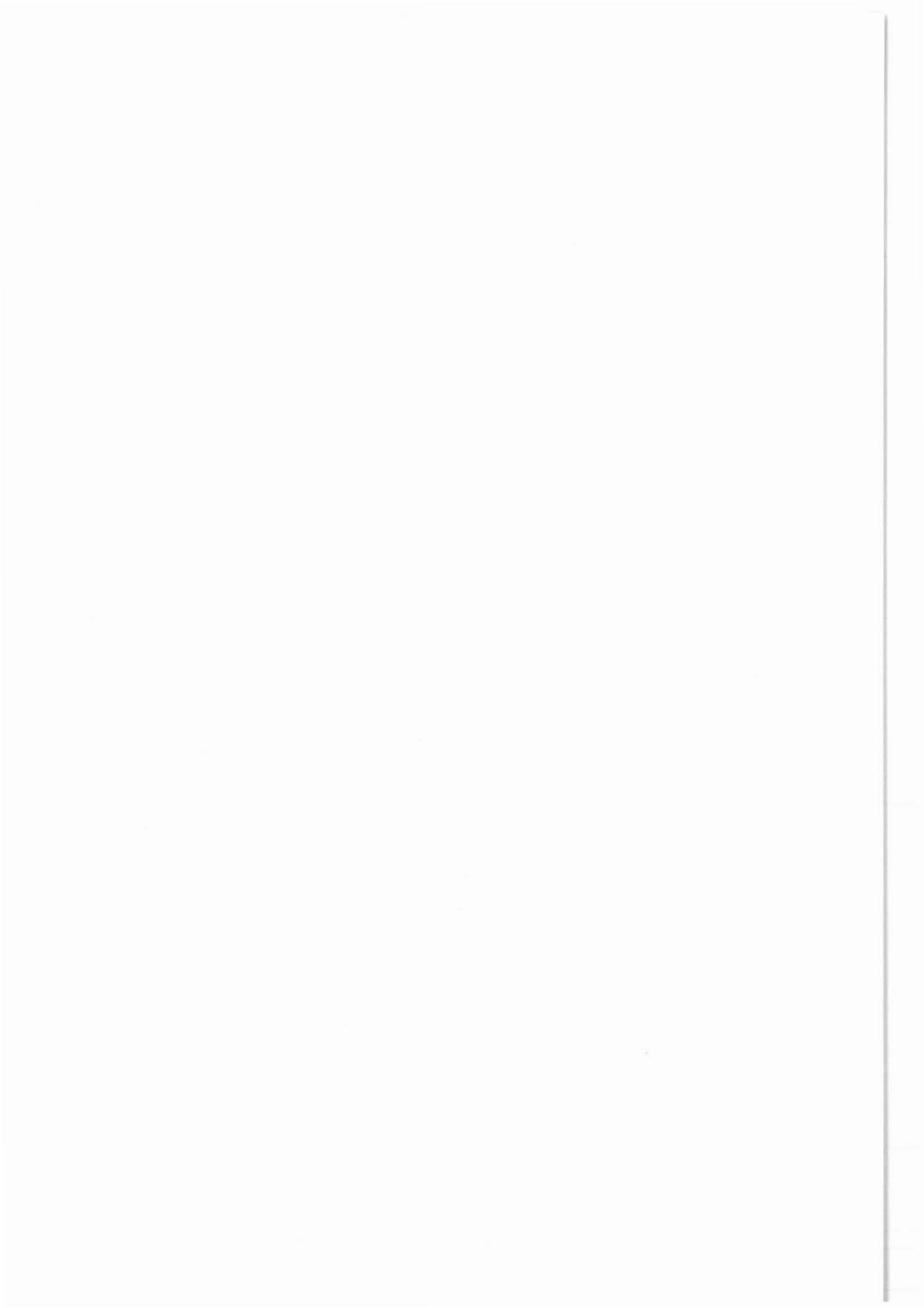
Meßmethode/Meßgerät	radiale Eindringtiefe, (r)		Anmerkung
	m	rel. Größenordnung	
DST-Drill Stem Test			
HHT-Hydrological Test Tool	10 <sup>-1</sup> bis ung. 20		
Hydraulischer Auffüllversuch	einige 10 <sup>-1</sup> bis	groß	r = f(hydrostat. Druckdifferenz, Permeabilität, Zeit, PHI)
Langzeit-Wasserspiegelabsenk.	cca. 10 <sup>2</sup>		
Markierter Förderversuch			
Openhole Einpreßversuch			
Dielectric Log	5·10 <sup>-2</sup> - 3·10 <sup>-1</sup>		
DPT-Deep Propagation Tool	1,5·10 <sup>-1</sup> - 3·10 <sup>-1</sup>	mittel	r = f(F, EPS, PHI, RMA, RMUD, SW)
DLL/MSFL-Dual Laterolog/ Micro Spherically Focussed Log	4/7·10 <sup>-2</sup>	groß/klein	(zwei Meßbereiche)
EM-Radar	10, 2·10 <sup>2</sup> bei Ro = 10 <sup>4</sup> 5·10 <sup>2</sup> bei Ro = 10 <sup>6</sup>	klein groß	r = f(PHI, RMA, RMUD, SW)
EPT-Electromagnetic Propagation Tool	2,5·10 <sup>-2</sup> - 5·10 <sup>-2</sup>	klein	
HDT-High Resolution Dipmeter Tool			
Formation Micro Scanner Tool	3·10 <sup>-2</sup>		r = f(PHI, RHOB, SW)
SHDT-Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool		klein	
NML-Nuclear Magnetic Resonance Tool	2,5·10 <sup>-2</sup>		
CNT-Compensated Neutron Tool	2,5·10 <sup>-1</sup>		r = f(HKONZ, PHI, RHOB)
CNT-G		mittel	r = f(HKONZ, PHI, RHOB, SIG)
GR-Gamma Ray			
NGS-Natural Gamma Spectrometry	1,7·10 <sup>-1</sup>		r = f(RHOB, RKONZ)
LDT-Litho Density Tool	1,3·10 <sup>-1</sup>	klein	r = f(PHI, RHOB, SW)
GST-Gamma Spectrometer Tool			
PDK-100-Neutron Pulse and Decay	3·10 <sup>-1</sup>	mittel	r = f(HKONZ, SIG, RHOB), (zwei Spektralbereiche)
TDT-Thermal Decay Time Tool			r = f(RHOB, SIG)
BHC-Borehole Compensated Sonic	ung. bis 10 <sup>-1</sup>	klein	r = f(PHI, SW, RHOB, F, WM)
MCS-Multi Channel Sonic			r = f(PHI, SW, RHOB)
BHTV-Borehole Televiwer	-	-	
CMT-Circumferential Microsonic Tool	10 <sup>-3</sup>	sehr klein	
SAT-Seismic Aquisition Tool	10 <sup>3</sup> - 5·10 <sup>3</sup>	sehr groß	r = f(Anregungsenergie, F)
Triaxiale Geophonkette			
SDT-Sonic Digital Tool	ung. bis 1,5·10 <sup>-1</sup>	klein/mittel	r = f(PHI, RHOB, SW, P, WM)
SLT-Sonic Long Spacing Tool			
HRT-High Res. Thermometer			
Wärmeleitfähigkeitssonde	einige 0,1 m	mittel/groß	r = f(CAP, HEN, LAMBDA, RHOB)
BHGM-Borehole Gravity Meter	bis 10 <sup>2</sup>	groß	r = f(RHOB, STA), bei Bestimmung von RHOB
PLT-Production Logging Tool	-	-	
Measuring While Drilling:			
Electromagnetic Wave Propagation	bis 6·10 <sup>-1</sup>	klein/mittel	r = f(EPS, PHI, RMA, RMUD, SW)
Gamma Ray	1,3·10 <sup>-1</sup>	klein/mittel	r = f(PHI, RHOB, RKONZ)
Laterolog	1·10 <sup>-1</sup>		r = f(PHI, SW, RMA, RMUD)
Hydrofrac-Versuche	bis 10 <sup>2</sup>	klein - groß	r = f(PEF, PHIS, PFRAC)
Hard Inclusion Sonde	-	-	
Überbohrverfahren	-	-	

Abkürzungen

CAP	= Wärmekapazität	PHIS	= Sekundärporosität
EPS	= räuml. diel. Konstante	RHOB	= Massendichte, Gesamtdichte
f(X)	= Funktion von X	RKONZ	= radioaktive Mineralienkonzentration
F	= Senderfrequenz und frequenzabhängiger Gütefaktor	RMA	= elektr. Widerstand der Gesteinsmatrix
HEN	= Heizleistung der Quelle	RMUD	= Spülungswiderstand
HKONZ	= Wasserstoffkonzentration	Ro	= Gebirgs-widerstand (wassergefüllt)
LAMBDA	= Wärmeleitfähigkeit	SIG	= Neutronen Einfangquerschnitt
PEF	= Effektivdruck	STA	= Stationsabstand bei der Berechnung
PHI	= Porosität	SW	= Wassersättigung
		WM	= Wellenmodus (P-, S- oder geführte Wellen)



## 8 Bohrlochmeßprogramm



## 8 Bohrlochmeßprogramm

### 8.1 Planungsvorgaben

#### 8.1.1 Bohrlochmessungen

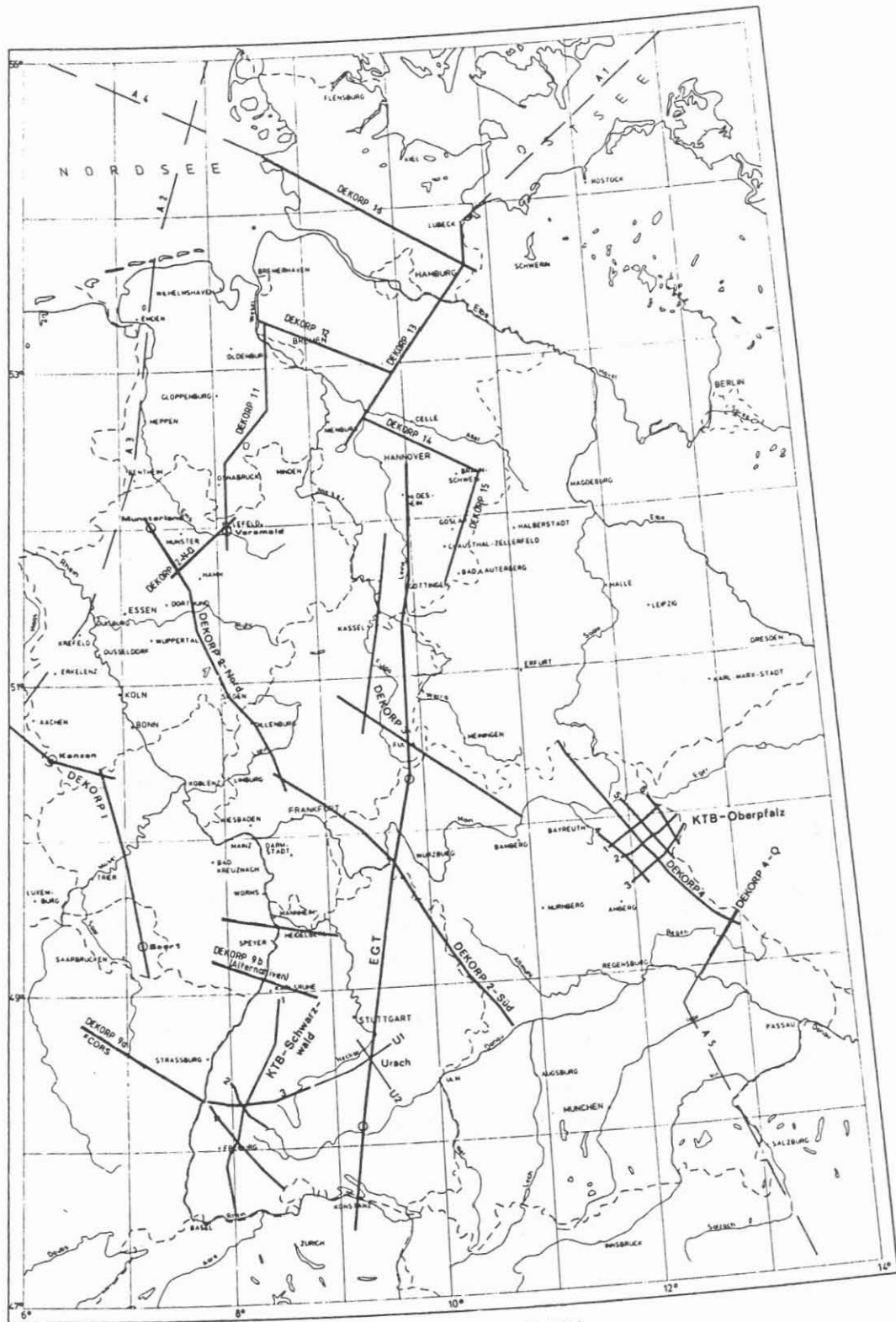
Die Vorgaben zur Planung und damit zur Durchführung eines Meßprogramms lassen sich unmittelbar aus dem im Kap. 3 beschriebenen Arbeitsprogramm ableiten, insbesondere aus:

- dem Gesamtziel der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik der Projektleitung;
- der Prioritätenliste, d. h. deren Umsetzung in Meßgrößen und damit in Meßverfahren gemäß Tab. 8.1;
- der Prioritätenliste, derzufolge bestimmte Messungen während des Abteufens der Bohrung und andere nach Fertigstellung der Bohrung auszuführen sind;
- den Teilzielen 3 und 4, d.h. den Messungen und dem Vergleich von Meßdaten unter quasi in situ Bedingungen, simulierten Bedingungen und normalen pT-Bedingungen;
- den Schlüsselexperimenten.

Darüber hinaus basiert das Meßprogramm auf den Interessen mehr oder weniger stark ausgeprägter Arbeitsgruppen, nachlesbar in den entsprechenden Protokollen, wie z. B.:

- ARGE 1, Korrelation von Bohrlochmessungen und Messungen an Bohrkernen, Kern-Nachorientierung, Mineralkomponenten etc.;
- ARGE 3, in situ Spannungsfeld;
- ARGE 4, Logauswertungen;
- AGRU Geothermik der ARGE 4 in Zusammenarbeit der Arbeitsgruppe Geothermik des FKPE, geothermische Untersuchungen;
- AGRU Geohydraulik der ARGE 7, hydraulische Teste;
- DEKORP, Abstimmung mit den Arbeiten zum Vertical Seismic Profiling;
- Fachbereich Technik (Bohrtechnik) der PL, Neigung und Azimut sowie Kalibermessungen etc.

Im Rahmen des Deutschen Kontinentalen Reflexionsseismischen Programms (DEKORP) wurden in der Umgebung der KTB-Bohrlokation Untersuchungen gemäß Abb. 8.1 ausgeführt. Diese sollen innerhalb einer Fläche von ca. 18 km<sup>2</sup>, die Bohrungen KTB Oberpfalz VB und HB einschließend, durch 3-D-Seismik in Verbindung mit Multi-Offset Vertical Seismic Profiling vervollständigt werden.



**DEKORP und KTB**

- vermessene Profile
- - - geplante Profile
- Bohrung

**EUROLITH:**

- geplante Profile (A1 bis A5) auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

—○ Europäische Geo - Traverse (EGT) mit Großsprengungen

Abbildung 8.1: Lage der vermessenen DEKORP-Profile, insbesondere im Bereich Windischeschenbach (siehe KTB-Oberpfalz).

**Tabelle 8.1:** Prioritätenliste und, die zur Realisierung erforderlichen Bohrlochmessungen bzw. Parameter

1. Beschreibung des thermodynamischen Zustandes:  
Temperatur- und Druckmessungen,
2. Ermittlung der Porenfluide und der Fluidbewegungen:  
Porositäts- und Permeabilitätsbestimmungen, z. B.  
mittels Hydraulic Test Tool (Lynes), Nuklear- und  
akustischen Verfahren,
3. Strukturelle und texturelle Beschreibung:  
Akustik Televiwer, Formation MicroScanner Tool,
4. Voraussagen für Bohrtechnik und Wissenschaft:  
Vertical Seismic Profiling
5. Standfestigkeit der supertiefen Bohrung:  
Spannungsmessverfahren

### 8.1.2 Hydraulische Teste

Eine besondere Stellung im Bohrlochmeßprogramm nehmen die hydraulischen Teste gemäß Punkt 2 der Prioritätenliste ein, weil deren Kosten mühelos den gleichen Betrag erreichen können wie das übrige Meßprogramm. Die ARGE Fluide und deren AGRU Geohydraulik haben deshalb gemeinsam mit der KTB-Projektleitung in zahlreichen Arbeitssitzungen ein Meßprogramm erarbeitet, welches einerseits den Mindestbedürfnissen der Geowissenschaftler Rechnung trägt und andererseits unter dem Gesichtspunkt des Sparsamkeitsprinzips erarbeitet wurde.

#### Begründung zur Notwendigkeit der geohydraulischen Teste

Die Erfassung von Fluiden und Fluidbewegungen in der Kruste stellt eine wesentliche Voraussetzung zur Klärung von Detailfragen dar und tritt in nahezu allen 8 Haupt-Zielvorstellungen des KTB auf (EMMERMANN 1986). Aus der Sicht der Hydrogeologen und Geophysiker sind geohydraulische Messungen hauptsächlich aus folgenden Gründen notwendig:

1. Zur Ermittlung von rezenten und Paläofluidbewegungen mittels Hydrogeochemie und Isotopenhydrologie.

Im Rahmen des KTB soll die hydrogeologische Situation in der Vorbohrung, der Tiefbohrung und im Umfeld der Tiefbohrung erkundet werden. Insbesondere sollen lokale und, falls vorhanden, regionale Fließsysteme erforscht werden. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den Stoff- und Gastransport in den Grundwassersystemen in Abhängigkeit von den geologischen Gegebenheiten gerichtet. Die für den Stoff- und Gastransport wichtige Grundwasserbewegung im tiefen Untergrund in kristallinen Gesteinen erfolgt hauptsächlich in vorgegebenen gut durchlässigen Kluftbahnen. Diese in ihrer räumlichen Lage zu erkunden und deren Durchlässigkeiten zu quantifizieren, ist eine wichtige Aufgabe der geohydraulischen Messungen. Die Interpretation der hydrogeochemischen und isotopenhydraulischen Daten erfordert im KTB Hinweise von seiten der Geohydraulik, ob und ab welcher Tiefe eine auf- oder absteigende Grundwasserbewegung vorhanden ist.

**Hierfür sind erforderlich:** Fluidproben, Durchlässigkeits- und Druckspiegelbestimmungen von Klüften sowie Angaben zu deren Verteilung und Lage.

Die Reaktionsgeschwindigkeiten der Krustenalteration in den zu untersuchenden Tiefenbereichen sind u. a. von der Fließgeschwindigkeit und den Massenumsätzen des Grundwassers abhängig. Die Durchlässigkeiten im Untergrund kontrollieren somit die Verwitterungs- und Mineralumbildungsraten der



Primärminerale und die Ausfällung der Sekundärminerale. Andererseits führen die Verwitterungsprodukte zur Änderung der Durchlässigkeiten. PETERS et al. (1985) konnten in der NAGRA-Tiefbohrung Böttstein anhand petrographischer Untersuchungen zeigen, daß die Mineralumwandlungsprodukte oft die Klüfte verschließen und die Durchlässigkeiten herabmindern. Andererseits waren es die Quarzneubildungen in einigen stark verwitterten Klüften, die das Verschließen der Klüfte verhinderten und Bahnen hoher Durchlässigkeit (Kakirite) ermöglichten. Allein anhand der Gesteinsansprachen war jedoch eine Abschätzung der Wasserwegsamkeiten nicht möglich, hierzu lieferten die umfangreichen geohydraulischen Messungen die notwendigen Daten. Es ist eine wichtige Aufgabe des KTB; die Wechselwirkungen von Hydrogeochemie und Geohydraulik zu untersuchen.

**Hierfür sind erforderlich:** Fließgeschwindigkeits- (also Druck und Durchlässigkeit) sowie Durchlässigkeitsbestimmungen in Klüften.

## 2. Erfassung der Genese von Mineral- und Thermalwässern

Die durch Umfelduntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse sollen mit den im Verlauf der Vor- und Tiefbohrung erhaltenen geohydraulischen Daten in Beziehung gesetzt werden und so zur Beantwortung von Fragen nach Genese und Transport von Fluiden und Gasen im Tiefenuntergrund beitragen. Die geohydraulischen Messungen leisten somit einen wichtigen Beitrag zur Diskussion über die Genese von salinaren und thermalen Grundwässern in Kristallingesteinen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß im weiteren Umfeld der Tiefbohrung Sedimentgesteine an das Kristallin stoßen und damit die Frage des Austausches von Formations- und Kluftwässern im Kristallin in bezug auf die Genese der Tiefenwässer behandelt werden kann. Die geohydraulischen Messungen sollen auch Hinweise darüber geben, ob tatsächlich solche Wasserwegsamkeiten vorhanden sind. Die kombinierten geohydraulischen und hydrogeochemischen Untersuchungen in der Nordschweiz (NAGRA) ermöglichten den Nachweis einer Formationswassermigration aus den Sedimentgesteinen in das umliegende Kristallin (PEKDEGER & BALDERER, 1987). Einzig und allein eine tiefe Bohrung im Zusammenhang mit hydraulischen Testen ist in der Lage, Migrationswege nachzuweisen, da diese Messungen sowohl Richtung, Geometrie als auch die Durchlässigkeit von Kluftsystem erfassen können. Um ein gutes Auflösungsvermögen und evtl. die Interpretierbarkeit zu gewährleisten, ist als weitere Einflußgröße die Durchlässigkeit der umgebenden Matrix genau zu bestimmen.

**Hierfür sind erforderlich:** Fluidproben, Durchlässigkeitsbestimmungen

3. Aussagen zum Stoff- und Wärmetransport für die Geophysik  
(vergl. hierzu auch Abschn. 4.4, Vorhaben 2)

Die Erarbeitung eines geohydraulischen Krustenmodells ist einerseits notwendig, um die hydraulischen Teste interpretieren zu können. Andererseits liefern die hydraulischen Teste Hinweise darauf, wie die Kruste zu modellieren ist. Diese Interpretation ist wesentliche Voraussetzung zum Verständnis der in Abb. 8.2 dargestellten Krustenfluide-Aktivitäten (BEHR & EMMERMANN, 1983) sowie für die Interpretation der in Abb. 8.3 dargestellten geophysikalischen Phänomene (Wärmetransport, Niedriggeschwindigkeitsschicht, Zone hoher elektrischer Leitfähigkeit). Z. B. ist die geothermische Nutzung der tiefen Grundwasserleiter eine Funktion der Durchlässigkeit des Untergrundes. Der Wärmetransport und die Ausbildung von geothermischen Tiefenstufen hängt u.a. auch vom Wassertransport selbst ab. Die Nutzung der geothermischen Energie nach dem Hot Dry Rock Verfahren erfordert ebenfalls genaue Kenntnisse der hydraulischen Untergrundverhältnisse. Die Reservoirmodellierung für Wärme- und Stofftransport benötigt als Grundparameter sowohl von Kluftsystemen als auch von der Matrix möglichst genaue Daten wie Porosität, Durchlässigkeit u. ä. Schließlich ist zu berücksichtigen, daß die im Labor zu ermittelnden Daten (Porosität, Permeabilität) unbedingt mit Hilfe einiger Bohrloch-in situ-Messungen zu kalibrieren sind.

**Hierfür sind erforderlich:** Geohydraulische Parameter wie Porosität, Permeabilität, Transmissivität, Speicherkoeffizient etc.

Dabei muß noch einmal auf die folgenden wichtigen Aspekte hingewiesen werden:

- Ohne HTT-Messungen ist eine Modellierung von Fluidtransportvorgängen nicht möglich. HTT-Messungen liefern Angaben über das hydraulische Zusammenwirken von Kluft und Matrix und deren Speicher- und Transporteigenschaften. Sie stellen damit Basisdaten für die Modellierungsarbeiten zur Verfügung.
- Ohne HTT-Messung gibt es keine Aussagen über den Zustand der bohrlochsnahen Zone (Skin) und damit über den Zustand von Kern- und Fluidproben (Infiltration).
- HTT-Messungen geben Auskunft über Fluiddrücke im Porenraum und liefern damit wichtige Informationen über das hydraulische Potential, das die Migration von Fluiden steuert.

Um diese Zielvorstellungen zu realisieren, sind meßtechnisch folgende Einzelschritte notwendig:

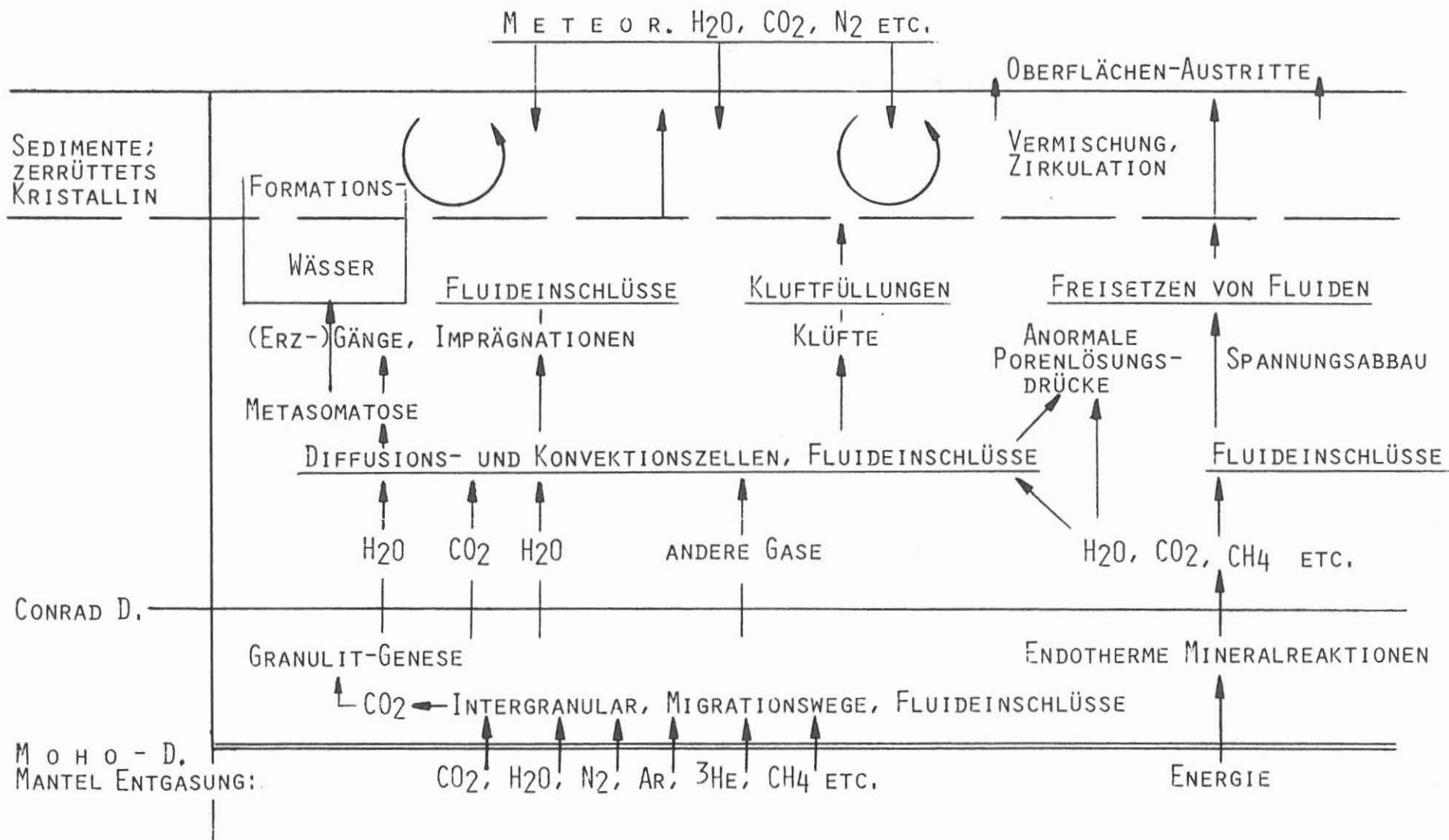


Abbildung 8.2: Fluide und Fluidbewegungen in der kontinentalen Kruste.

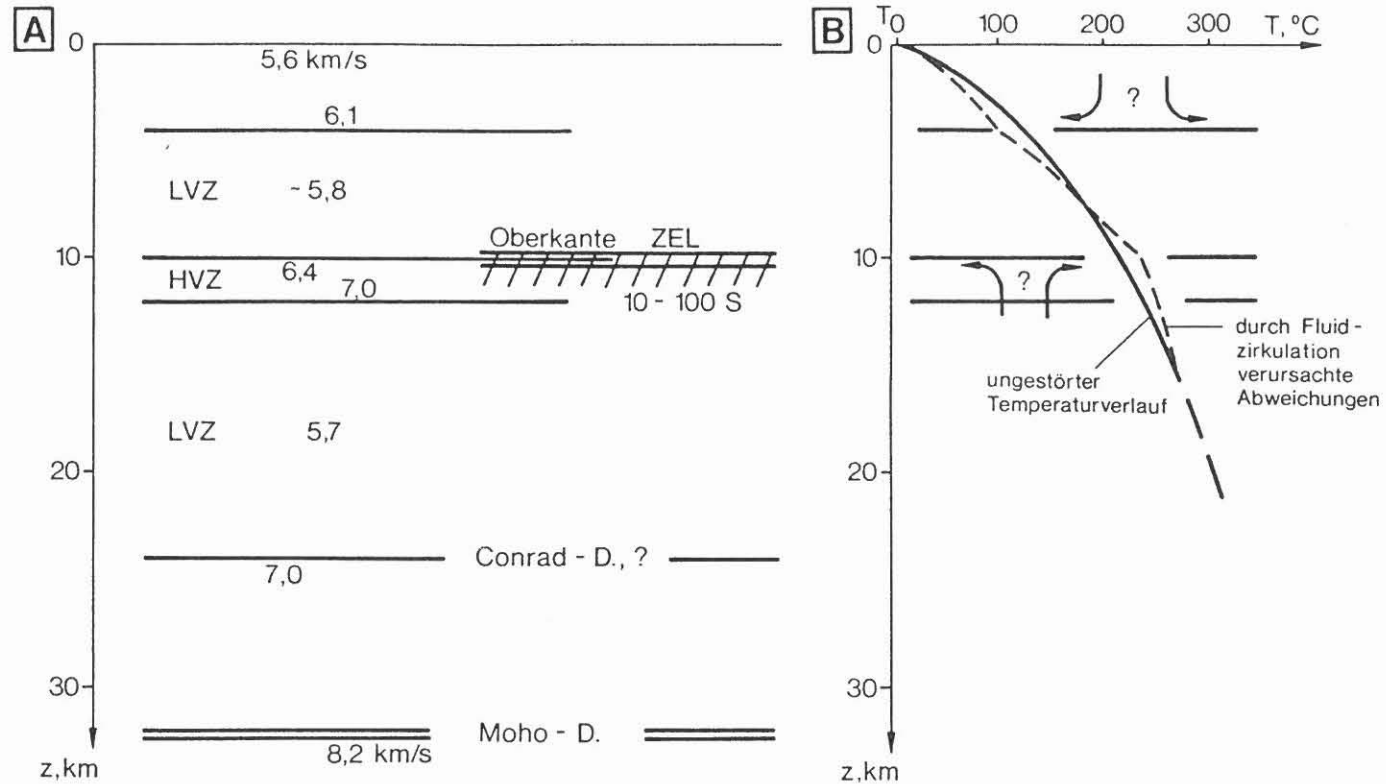


Abbildung 8.3: A - Seismische und magnetotellurische Ergebnisse der Vorerkundung Oberpfalz. Die Hoch- und Niedriggeschwindigkeitszonen (HVZ, LVZ) sowie die Zone der erhöhten elektrischen Leitfähigkeit (ZEL) sind möglicherweise als Folgen von Porositäten und Fluidgehaltsänderungen zu erklären, deren Ursachen vielleicht in großangelegten Krustenfluid-Aktivitäten zu suchen sind.

B - Der mit Krustenzirkulationen verbundene Energietransport läßt, je nachdem, ob aufwärts oder abwärts gerichtete Fluidbewegungen auftreten, entsprechende Abweichungen vom "ungestörten Temperaturverlauf" eines Temperaturlogs erwarten.

- Nachweis von Fluiden
- Nachweis von Fluidbewegungen
- Erfassung geohydraulischer Parameter

Der **Nachweis von Fluiden** kann hierbei erfolgen durch:

Fluidsampler, Drill Stem Tests, Repeat Formation Tester und Pumpversuche;

der **Nachweis von Fluidbewegungen** durch:

Tracertests, Temperaturmessungen, regelmäßige Fluidentnahme und Gradientenmessungen für H, Cl, C, O etc. mittels Gamma-spektrometrie Tool, Geochemical Logging Tool u.a.

Bei der **Erfassung geohydraulischer Parameter** handelt es sich i. w. um:

Porosität, Permeabilität (hydraulische Leitfähigkeit), Porenwasserdruck, Speicherkapazität, Skin-Effekt, Kluftgeometrie und Transmissibilität (Transmissivität).

Entsprechend der Tab. 8.2 sind die geohydraulischen Tests die Voraussetzung und Basis von ca. 20 (!) Arbeitsgruppen.

### **Test-Programm**

Das Test-Programm wurde im Rahmen von intensiven Diskussionen erarbeitet. Die Arbeitsgruppe Geohydraulik, die der ARGE Fluide angegliedert ist, hat sich unter der Federführung von Herrn Prof. Pusch zu diesem Zweck sechsmal zusammengefunden; außerdem fanden zwei Arbeitssitzungen unter der Leitung von Herrn Prof. Emmermann speziell zum Themenkreis "Entnahme von Fluidproben mit dem Fluidsampler" statt. Die vorläufig abschließende Diskussion und Verabschiedung des Test-Programms erfolgte auf der Sitzung der ARGE Fluide am 23./24.09.1987.

**Tabelle 8.2:** Interessenten, deren Projekte ganz oder teilweise auf der Durchführung von geohydraulischen Testen beruhen

**A) Fluidproben**

Feldlabor-PL, Windischeschenbach, Dr. Dietrich  
Inst. für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung,  
Universität Gießen, Dr. Erzinger  
Inst. für Angewandte Geologie, FU Berlin, Prof. Pekdeger  
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF),  
München, Prof. Fritz  
BGR, Hannover, Dr. Faber  
MPI für Kernphysik, Universität Heidelberg, Prof. Kirsten  
Inst. für Mineralogie, Universität Münster, Prof. Grauert  
Medizinische Fakultät, Fachrichtung Mikrobiologie und  
Hygiene, Universität des Saarlandes, Prof. Schweissfurth  
Inst. für Mikrobiologie, Universität Regensburg,  
Prof. Stetter  
HYDROISOTOP GmbH, Attenkirchen, Dr. Eichinger

**B) Hydraulische Parameter**

ITE, TU Clausthal, Prof. Pusch  
Inst. für Technische Mechanik, TU Clausthal,  
Prof. Zimmermann  
BGR, Hannover, Dr. Jung  
NLfB, Hannover, Dr. Schulz  
Inst. für Angewandte Geologie, FU Berlin, Prof. Pekdeger  
Inst. für Angewandte Geophysik, TU Berlin, Prof. Burkhardt/  
Dipl.-Geophys. Clauser  
Inst. für Geophysik, TU Clausthal, Prof. Neugebauer  
Inst. für Geophysik, TU Clausthal, Prof. Schopper  
Inst. für Geophysik, Universität Karlsruhe, Prof. Wilhelm

Das Test-Programm umfaßt zwei Phasen (Tab. 8.3):

- Phase 1: Teste während des Abteufens der Bohrung und
- Phase 2: Teste nach Beendigung der Bohrung.

Grundsätzlich ist anzumerken, daß die Geowissenschaftler an die Entnahme-Prozedur der Fluide sowie an die Testabläufe höchste Ansprüche stellen, die ein entsprechend hochwertiges Testtool und sorgfältigste Ausführung über relativ große Zeiträume erfordern. Für die etwa 3 000 m tiefe Bohrung Oberpfalz VB sind insgesamt ca. 40 Teste vorgesehen.

In der Bohrung Böttstein (NAGRA, Schweiz) wurden hingegen auf 1 500 m etwa 120 Teste ausgeführt; auf 3 000 m bezogen ergibt dies 240 Teste. Daraus wird zugleich deutlich, daß bei der Anzahl der geplanten Teste für die Vorbohrung strengste Maßstäbe im Hinblick auf die zu erwartenden Kosten angelegt wurden. Die Zielvorstellungen beider Projekte, KTB und NAGRA, sind dabei durchaus zunächst gleichwertig: Nachweis von Fluiden und Fluidbewegungen. Der Verwendungszweck der Ergebnisse ist jedoch unterschiedlich: KTB - Krustenforschung, NAGRA - Lagerung von Abfallstoffen.

Tabelle 8.3: Geohydraulisches Test-Programm,

x) = Fluidabnehmer gemäß Tab. 8.2.

Anzahl Messungen	Detail-Ziel	Testdauer Testinterv.	Parameter	Ausführung	Auswertung	
<b>Phase 1: Während des Abtaufens der Bohrung</b>						
9	Drill Stem Tests, DST	repräs. Fluidgewinnung,	je < 24 h	Chemismus, Isotopen	Firma, KTB	x)
		erste Inform. zur Geohydraulik Druckspiegelhöhen	5 - 10 m	p, k, s	Firma	Firma, ITE (Pusch)
5	Repeat Format. Tests, RFT	Erprobung einer repräs. Anwend., Fluidentnahme, erste Inform. zur Geohydraulik	je < 1 h	Chemismus, Isotopen (k)	Firma	x) Firma, ITE (Pusch)
	Fluidsampling nach Bedarf	Fluidgewinnung		Chemismus, Isotopen	KTB	x)
<b>Phase 2: Nach Fertigstellung der Bohrung</b>						
<b>A - Thermische Flowmetermessungen, TF</b>						
4 - 6	Intervall-Teste über größere Bohrloch-Abschnitte mittels TF (Auffüllteste)	Aufsuchen von permeablen Zonen, Klassif. nach Fluidaufnahme-fähigkeit Orient.-Hilfe für Einzelmessungen	3 - 4 d (?) 50 - 500 m	T, AT,	Firma KTB	NLFB (Schulz)
<b>B - Druck-Teste</b>						
20	Kurzzeit-Gestängesteste in Klüftzonen	Klufttransporteigenschaften, Kluftspeichereigenschaften, sofern möglich, Fluidgewinnung	je < 8 h > 3 m	k, p, s P, S Chem., Isotopen	Firma	Firma ITE (Pusch) ")
3 - 5	Langzeit-Gestängesteste in Klüftzonen (Injektionsteste) sofern möglich druckabhängig	Erfassung von Kluftsystemen, Transp. + Speicher-Eigensch., Kluftgeometrie	je 4 d 3 - 30 (100) m	k, T <sub>b</sub> , p, s P, S k = f(p), w, l	BGR (Jung) (Firma)	BGR (Jung)
10	Matrix-Teste in mögl. kluftfreiem Gebirge (Injektionsteste)	Matrixpermeabilität Transp. + Speicher-Eigensch.	je ca. 24 h > 1 m	k, p, s P, S	Firma	Firma ITE (Pusch) TM (Zimmermann)
	Fluidsampling nach Bedarf	Änderungen im Chemismus Hinweise auf Fluidbewegungen		Chemismus	KTB	x)



## 8.2 Meßprogramm

Entsprechend den Vorgaben im Abschn. 8.1 erfolgte die Ausarbeitung des Bohrlochmeßprogramms; vergl. hierzu Abb. 8.4 und 8.5.

Die Endteufe der Bohrung Oberpfalz VB ist zunächst bis auf 3 000 m Tiefe vorgesehen. Sofern dieser Abschnitt erfolgreich verläuft, ist eine Vertiefung bis maximal 5 000 m geplant. Das Meßprogramm wurde für 3 000 m ausgelegt. Für 5 000 m Tiefe sind die Pfeile in Abb. 8.3 sinngemäß zu verlängern zuzüglich zwei Zwischenmessungen à +700 m.

Das Temperaturfeld in unmittelbarer Umgebung der Bohrung wird durch den Bohrvorgang gestört. Das ungestörte Temperaturfeld stellt sich nach Fertigstellung der Bohrung ein, sofern die Stillstandszeit (Wartezeit) - je nach Genauigkeitsanforderungen an die gemessene Temperatur - das 1- bis 10fache der Bohrzeit beträgt. Um nach Möglichkeit schon während des Abteufens der Bohrung auf die ungestörte Temperatur schließen zu können, sind gemäß Abschn. 6.1 (Protokoll v. 15.01.87) etwa alle 50 m Messungen im Bohrloch tiefsten auszuführen. Gleichzeitig werden Messungen in einem Abstand von ca. 1,2 m darüber ausgeführt, die in Abb. 8.4 als Temperatur-Differenz bezeichnet werden. Zusätzlich sind bei Unterbrechungen des Bohrbetriebes Langzeitmessungen (TEMP-L) auszuführen.

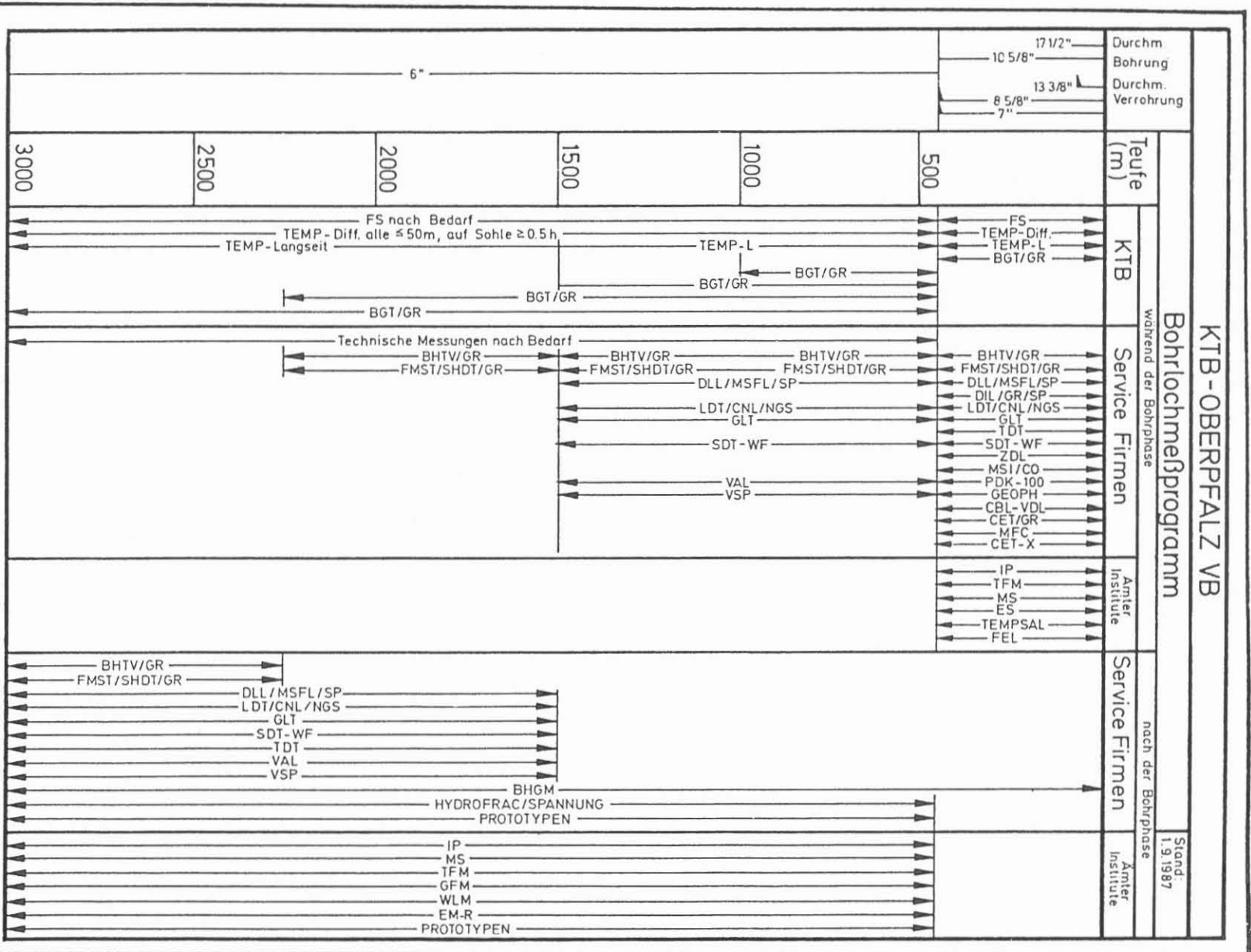
Das Borehole Geometry Tool (BGT) soll in mehreren Intervallen gefahren werden, wobei die bereits vermessenen Teufen stets wiederholt werden. Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Zeitabhängigkeit der Bohrlochwandausbrüche studieren zu können im Hinblick auf Aussagen zum Spannungsfeld.

Das BHTV und FMST sind nicht nur im Sinne der Prioritätenliste (Tab. 8.1) von Bedeutung, sondern auch im Hinblick auf die nachträgliche Kernorientierung sowie die nachträgliche Unterscheidung von offenen und geschlossene Klüften (unterschiedliche Widerstände beim FMST).

Die elektrischen Messungen DLL, MSFL dienen zur Ermittlung des Gesteinswiderstandes, von Spülungsverlustzonen, Porositätsbestimmungen und als Basiswerte für die Übertragung in den Raum durch die Übertage-Geoelektrik.

Die nuklearen Methoden sind unter dem Schwerpunkt Elementanalyse, Erkennung von Mineralbestandteilen incl. Porositätsabschätzungen zu sehen sowie im Falle des NGS zur Erfassung der Wärmeproduktion des Gesteins durch radioaktive Elemente.

Die Ausführung der VSP-Messungen erfolgt entsprechend dem Protokoll v. 15.12.86 in 1 500 m Tiefe für die einfachste Ver-



PLANUNG : BOHRLOCHMESSUNGEN

JD-87/1



Abb. 8.4



sion (siehe Abschn. 7.4.1). Im Falle der Endteufe ist ein Multi-Offset Vertical Seismic Profiling (siehe Abschn. 7.4.2) in Verbindung mit der geplanten 3-D-Reflexionsseismik vorgesehen.

Vor dem Einziehen der Verrohrung sind alle Messungen auszuführen, die einen störenden Einfluß durch die metallische Verrohrung erwarten lassen.

Nach Beendigung der Bohrphase werden entsprechend der Prioritätenliste bzw. der Gesamtstrategie alle übrigen anstehenden Messungen ausgeführt. Dies bezieht sich auf Messungen der Ämter, Hochschulen und Institute sowie auf die Service-Firmen incl. der Spannungsmessungen mittels Hydraulic Fracturing Technique (Abschn. 7.5.1.).

Das hydraulische Test-Programm (Abb. 8.5) wurde bereits eingehend im vorangegangenen Abschn. 8.1.2 beschrieben. Zusätzlich wurden Einpreß- und Auffüllversuche in die Planung aufgenommen, da diese trotz geringer Kosten eine wertvolle Ergänzung in Test-Programm darstellen.

Die für den Bohrbetrieb erforderlichen technischen Messungen, wie CAL, T, CBL, Casing Inspection sowie Messungen für den Fall von Fangarbeiten wie FPI, BO etc. wurden unter dem Begriff technische Messungen zusammengefaßt und erklären sich durch den gegebenenfalls notwendigen Einsatz von selbst.

Das Meßprogramm beinhaltet auch den Einsatz von Prototypen, obwohl diese zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht spezifiziert werden können.

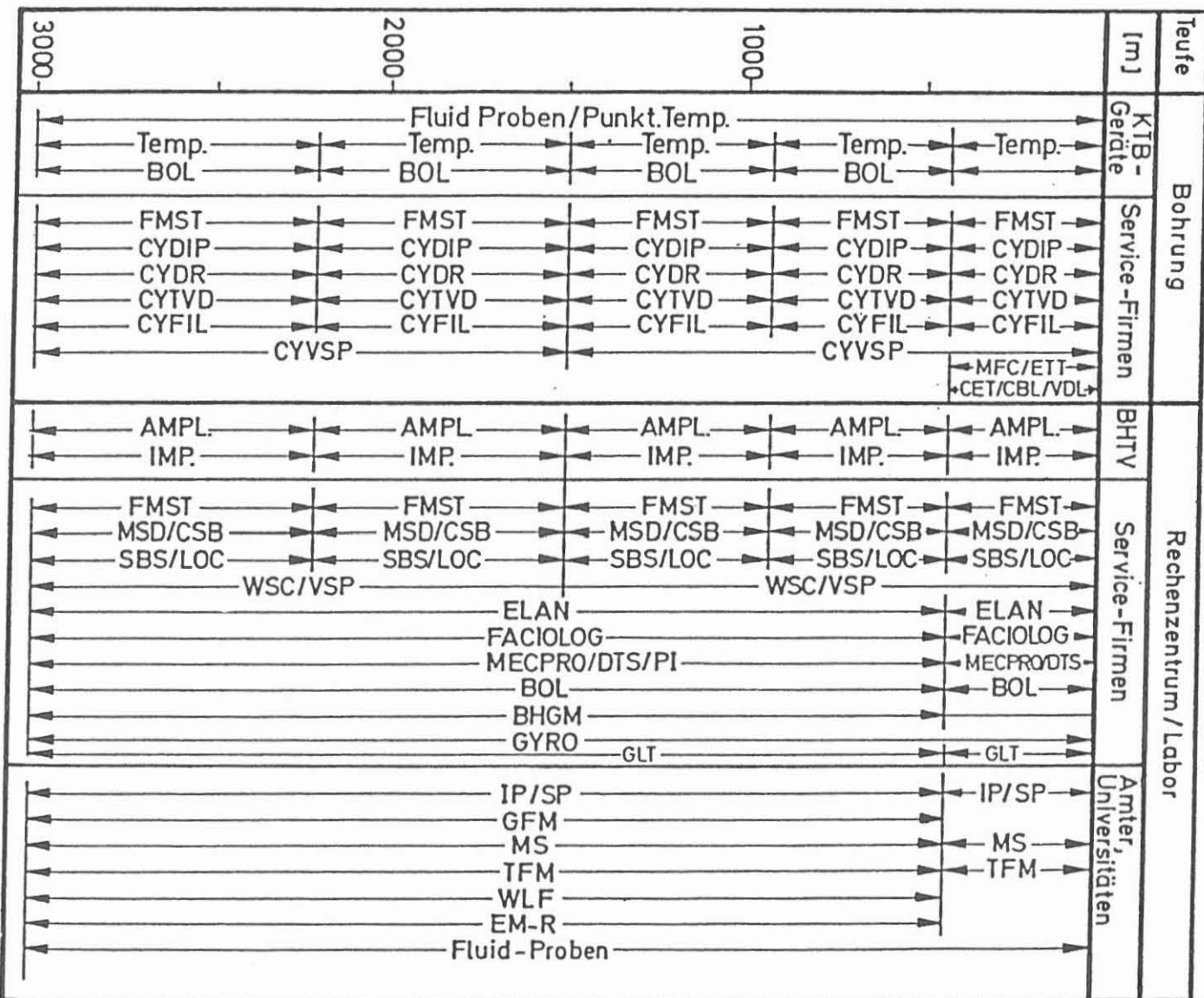
Vorgesehen, aber in der Abb. 8.4 nicht gesondert ausgewiesen, sind schließlich Vergleichsmessungen, wie z. B. Temperaturmessungen durch KTB und NLFB/Geothermik, TDT und PDK-100 etc. Die Ergebnisse dieser Messungen sollen Aufschluß darüber geben, welchem Verfahren bei nachfolgenden Bohrlochmessungen der Vorzug zu geben ist.

Mit der Durchführung der Bohrlochmessungen sind gemäß der Gesamtstudie auch Auswertungen durch die Service-Firmen verbunden. Diese sind in Abb. 8.6 analog der Abb. 8.4 dargestellt. Deren Bedeutung wurde bereits in Abschn. 7.6 erläutert.

Die Reihenfolge der in Abb. 8.4 dargestellten Messungen gibt nicht notwendigerweise den zeitlichen Ablauf wieder.

# Bohrung: KTB-Oberpfalz VB.

## Auswertungen



Stand: 10.7.87

## Auswertungen



### 8.3 Datenfluß

Es ist Aufgabe der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik der PL, die Bohrlochmeßergebnisse zu überprüfen, zu kopieren, einheitlich zu formatieren, zugriffsbereit abzulegen, an Interessenten weiterzuleiten und die Interpretation dieser Daten sicherzustellen. Der hierfür geplante erforderliche Ablauf ist in Abb. 8.7 als Datenfluß-Diagramm dargestellt. Im einzelnen ist hierzu anzumerken:

- **Bohrlochmessungen.** Hierbei handelt es sich um die unter Abschn. 8.2 auszuführenden Untersuchungen, die jeweils in Verbindung mit einem AMS und GR gefahren werden.
- **Qualitätskontrolle.** Die Messungen sind hinsichtlich Meßqualität, Vollständigkeit und korrekter Beschreibung im Log-Heading zu überprüfen.
- **Vorabauswertung.** Die Vorabauswertung (Quicklook-Darstellung) ist notwendig als vorbereitende Meßnahme für die Sofortentscheidung.
- **Sofortentscheidung.** Aufgrund der vorliegenden Meßdaten wird entschieden ob:
  - . Wiederholungsmessung erforderlich ist,
  - . andere, ergänzende Messungen durchzuführen sind,
  - . Informationsweitergabe an Bohrbetrieb und/oder Feldlabor zu erfolgen hat.

Die dabei zu berücksichtigende Entscheidungslinie ist: Meßtruppleiter, Bohrlochgeophysik-Aufsichtsperson (PL) - Bohrplatz-Aufsichtsperson - PL-Direktorium.

- **Formatierung.** Alle Daten sind im Log Interpretation Standard (LIS) darzustellen.
- **Tiefenkorrelation.** Die Auswertung der Bohrlochmessungen erfordert, daß alle Angaben auf eine Tiefe korrigiert und bezogen werden. Dabei ist zu berücksichtigen:
  - . Tiefe: Bohrteufe (1. Ordnung)  
Seigerteufe (2. Ordnung)
  - . Bezug: Ackersohle (1. Ordnung)  
GR-Hilfspunkte (2. Ordnung)
  - . Messungen erfolgen mit Hilfe von:  
magnetischen Marken  
Zweifach-Laufrädern  
Gestängemaßen
  - . Korrektur: EDV-Korrekturprogramm; muß noch erarbeitet werden.

- **Normalisierung.** Anbringung von Bohrlochkorrekturen
- **Interpretation.** Diese erfolgt durch Service-Firmen, Projektleitung, Hochschulen und Ämter.
- **Ablage.** Im geplanten Zentralarchiv; Details stehen jedoch noch nicht zur Verfügung.

Etwa zwei Tage nach Durchführung einer Messung der Service-Firmen sollte eine erste Bewertung der Daten erfolgen und mündlich erläutert werden. Nach etwa 14 Tagen können an der Lokation in Windischeschenbach oder in der PL in Hannover auch Kurzberichte über die Messungen erwartet werden. Die Empfänger von Daten incl. die PL sollen etwa halbjährlich einen Bericht über den Fortgang ihrer Arbeit geben. Dieses Schema soll auch für die Institutsmessungen gelten.

Da in den Service-Firmen keine geeignete Software zur Auswertung der Institutsmessungen vorhanden ist, gehen diese Daten sofort an die Institute und dann an die PL. Die Datenpunkte sollten jedoch, wie bei den Bohrlochmeßfirmen, etwa alle 15 cm oder dichter gewonnen werden. Für die Speicherung der Daten ist anzustreben, daß diese untereinander vergleichbar sind (LIS-Format).

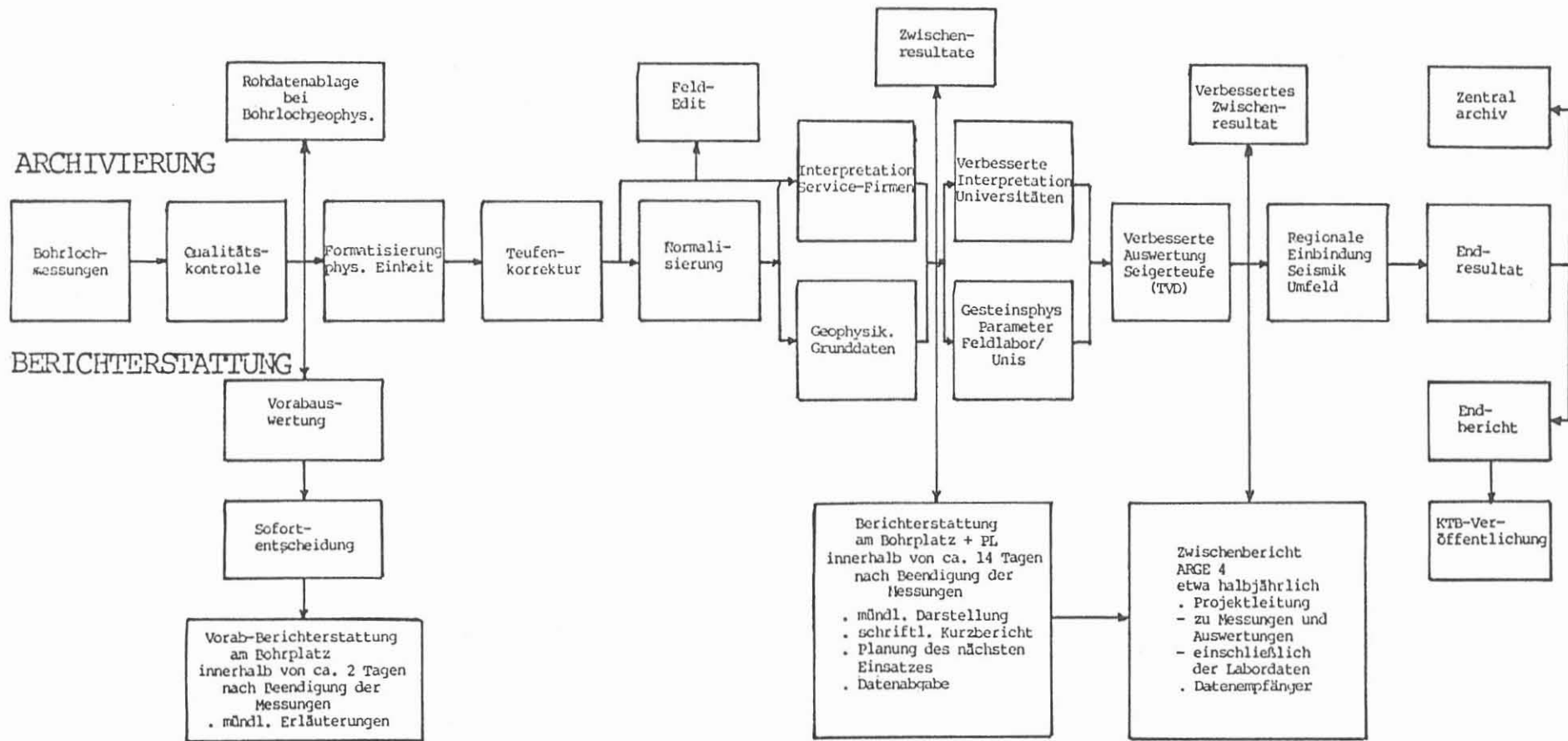


Abbildung 8.7: Datenflußdiagramm.



## 9 Literaturverzeichnis

- Althaus, E., Behr, H.-J., Eder, F. W., Goerlich, F., Maronde, D., Ziegler, W., 1984: Memorandum Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland ("KTB"), Fortschritte und Stand 1984. - Kommission für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung der DFG, Bonn, 15 S.
- Behr, H.-J. & Emmermann, R., 1983: Statusbericht des kontinentalen Tiefbohrprogramms (KTB) der Bundesrepublik Deutschland. Band 1 Forschungskonzeption. - Unveröff. Beitrag, 119 S.
- Borm, G. & Reik, G., 1987: Bericht über den Aufbau einer Spannungsmonitorstation in der KTB-Vorbohrung anlässlich der 1. Spannungs-Arbeitsgruppensitzung 1987.
- Crain, E. R., 1986: The log analysis handbook, Volume 1: Quantitative log analysis methods. - Penn Well Books, Tulsa, Oklahoma, USA, 684 p.
- Dakhnov, V. N., 1959: Geophysical well logging. - Colorado School of Mines, translated by G. V. Keller (1962), Vol. 57, No. 2, 445 p.
- Dauermeßstation 1, 1984: siehe Fries, A. P. & Hänel, R., 1984
- Dauermeßstation 2, 1985: siehe Fries, A. P. & Hänel, R., 1985
- Dennis, B. R., Koczan, S. P. & Stephani, E. L., 1986: High-Temperature Borehole Instrumentation. - Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA, LA-10558-HDR, 46 p.
- Desbrandes, R., 1985: Encyclopedia of Well logging. - Imprimerie Nouvelle, St.-Jean-de-Braye (France), 584 p.
- Devay, L., Fries, A. P. & Hänel, R., 1983: Tätigkeitsbericht der Arbeitsgemeinschaft Bohrlochmessungen (ARGE 2). - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 95 173, 174 S.
- Devay, L. & Hänel, R., 1983 a: Tätigkeitsbericht der Arbeitsgemeinschaft Bohrlochmessungen (ARGE 2). - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 94 671, 59 S.
- Devay, L., Fries, A. P. & Hänel, R., 1983 b: Tätigkeitsbericht der Arbeitsgemeinschaft Bohrlochmessungen (ARGE 2), Bericht 2. - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 95 173, 174 S.

- Devay, L., Fries, A. P. & Hänel, R., 1984: Tätigkeitsbericht der Arbeitsgemeinschaft Bohrlochmessungen (ARGE 2), Bericht 3. - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 96 609.
- Devay, L., Draxler, J. & Hänel, R., 1986: Konzept eines Meß- und Untersuchungsprogrammes für die Vor- und Hauptbohrung des Kontinentalen Tiefbohrprogramms. - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 99 550, 149 S.
- DFG, 1981: Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland. - Kommission für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung der DFG, Bonn, Mitteilung XI, 70 S.
- DFG, 1985: Mitteilung XIV der Kommission für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung. - Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, S. 147 - 166.
- Emmermann, R., 1986: Das deutsche Kontinentale Tiefbohrprogramm, Forschungskonzeption und Zielsetzungen. - Geowissenschaften in unserer Zeit, 4. Jg., Nr.1, S. 19-33.
- FKPE, 1986: Geophysikalische Schlüsselexperimente in der KTB.- Bochum (Forschungskollegium Physik des Erdkörpers), 98 S.
- Fries, A. P. & Hänel, R., 1984: Untersuchungen zu einer Dauermeßstation (Well Logging Unit) für das deutsche Kontinentale Tiefbohrprogramm (Bericht 1). - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 96 396, 50 S.
- Fries, A. P. & Hänel, R., 1985: Untersuchungen zu einer Dauermeßstation (Well Logging Unit) für das deutsche Kontinentale Tiefbohrprogramm (Bericht 2). - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 97 746, 24 S.
- Fries, A. P. & Hänel, R., 1985: Untersuchungen zu einer Computereinheit für das Deutsche Kontinentale Tiefbohrprogramm. - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 97 953, 25 S.
- Haenel, R. (Ed.), 1982: The Urach geothermal project (Swabian Alb, Germany). - Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung), 419 S.
- Hänel, R., 1987: Logging Strategie für das KTB. - KTB Report 87-1, Hannover, S. 117 - 129.
- Kertz, W., 1969: Einführung in die Geophysik. - Bl. 1, Bibliogr. Inst., Mannheim, 232 S.

- Kessels, W., 1987: Installation eines Deep Earth Observatoriums Vorbohrung (DEO-V) in der KTB-Vorbohrung, Projektvorschlag. - BGR/NLFB, Hannover, Archiv-Nr. 101 873, 9 S.
- Krusemann, G. P. & de Ridder, N. A., 1973: Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten. - Köln (Verlagsgesellschaft R. Müller), 191 S.
- Langguth, H. R. & Voigt, R., 1980: Hydrogeologische Methoden.- Berlin (Springer Verlag), 486 S.
- Marx, C. & Felix, K. M., 1983: Messen während des Bohrens (MWD - Measurement While Drilling). - Statusbericht des KTB, Band 3, S. 470 - 539.
- Marx, C., Schimmel, G. & Hennchen, M., 1983: Darstellung und Bewertung von Zuflußverfahren (DST, FIT) im offenen und verrohrten Bohrloch. - Statusbericht des KTB, Band 7, S. 234 - 336.
- Matthews, C. S. & Russel, D. G., 1967: Pressure build up and flow test in wells. - New York, Dallas, H. L. Doherty Memorial Fund of AIME, 167 S.
- NAGRA, 1985: Sondierungsbohrung Böttstein, Untersuchungsbericht. - NAGRA, Techn. Bericht 85-01, Baden, Schweiz, 190 S. sowie 2 Beilagenbände.
- Parker, R. H., 1987: Geothermal Energy Project, Logging System. - Internal Report, Camborne School of Mines, Pool, Redruth, Cornwall UK, 2B-42, 73 p.
- Pekdeger A. & Balderer W., 1987: The occurrence of saline groundwaters und gases in the crystalline rocks of Northern Switzerland. - In: Fritz, P. & Frape, S. K. (ed.) "Saline Water and Gases in Crystalline Rocks", Geological Ass. Canada Spec. Papers 33, S. 157 - 174.
- Peters, T., Matter, A., Blaesi, H. R. & Gautschi, A., 1985: Sondierbohrung Böttstein: Geologie. - NAGRA, Techn. Bericht NTB 85-02, Baden, Schweiz.
- Salustowicz, A., 1965: Der Gebirgsdruck auf den Streckenausbau als Funktion der Zeit. - Abh. Dt. Akad. Wiss. Berlin, Klasse für Bergbau, Hüttenwesen und Montangeologie, Akademie-Verlag Berlin, S. 85 - 92.
- Schneider, H., 1973: Die Wassererschließung. - Essen (Vulkan-Verlag), 886 S.

Schneider, H. J. (Ed.), 1983: Vorplanung und Untersuchung über die Realisierbarkeit Kontinentaler Tiefbohrungen für wissenschaftliche Zwecke einschließlich einer Kosten- und Risikoabschätzung sowie über eine Organisation für die Planung und Durchführung einer Tiefbohrung. - Hannover (Kavernen Bau und Betriebs-GmbH), Bd. I, 377 S., Bd. II, 281 S.

Serra, O., 1984: Fundamentals of well-log interpretation. - Elsevier, Amsterdam, New York, 423 p.

Statusbericht, 1984: Statusbericht des Kontinentalen Tiefbohrprogramms (KTB) der Bundesrepublik Deutschland. - Alfred-Wegener-Stiftung, Koordinierungsbüro KTB, Bd. I, 219 S., Bd. II, 417 S., Bd. III, 680 S., Bd. IV, 86 S., Bd. V, 10 S.

Stober, I., 1986: Strömungsverhalten in Festgesteinaquiferen mit Hilfe von Pump- und Injektionsversuchen. - Geol. Jb., Hannover, C 42, 204 S.

Tätigkeitsbericht 1, 1983 a: siehe Devay, L. & Hänel, R., 1983a.

Tätigkeitsbericht 2, 1983 b: siehe Devay, L., Fries, A. P. & Hänel, R., 1983 b.

Tätigkeitsbericht 3, 1984: siehe Devay, L., Fries, A. P. & Hänel, R., 1984.

Anhang 1: Alphabetische Auflistung der von den Service-Firmen und den Instituten verwendeten Abkürzungen.

ACBL/VDL	- <u>A</u> coustic <u>C</u> ement <u>B</u> ond <u>L</u> og/ <u>V</u> ariable <u>D</u> ensity <u>L</u> og
ACL	- <u>A</u> coustic <u>C</u> aliper <u>L</u> og
AC SIGN	- <u>A</u> coustic <u>S</u> ignature
ACT	- <u>A</u> luminium <u>C</u> lay <u>T</u> ool
AL	- <u>A</u> coustic <u>L</u> og
AMS	- <u>A</u> uxiliary <u>M</u> easurement <u>S</u> onde
AST	- <u>A</u> coustic <u>S</u> canner <u>T</u> ool
A-VD-WF	- <u>A</u> mplitude- <u>V</u> ariable <u>D</u> ensity- <u>W</u> aveform
BGL	- <u>B</u> ore <u>H</u> ole <u>G</u> eometry <u>L</u> og
BGT	- <u>B</u> ore <u>H</u> ole <u>G</u> eometry <u>T</u> ool
BHC	- <u>B</u> ore <u>H</u> ole <u>C</u> ompensated <u>S</u> onic <u>L</u> og
BHC-VDL	- <u>B</u> ore <u>H</u> ole <u>C</u> ompensated <u>S</u> onic- <u>V</u> ariable <u>D</u> ensity <u>L</u> og
BHC-A-VDL	- <u>B</u> ore <u>H</u> ole <u>C</u> ompensated <u>S</u> onic- <u>A</u> mplitude- <u>V</u> ariable <u>D</u> ensity <u>L</u> og
BHGM	- <u>B</u> ore <u>H</u> ole <u>G</u> ravity <u>M</u> eter
BHTV	- <u>B</u> ore <u>H</u> ole <u>T</u> ele <u>V</u> iewer
BO	- <u>B</u> ack <u>O</u> ff
BOL	- <u>B</u> reakout <u>O</u> rientation <u>L</u> og
BP	- <u>B</u> ridge <u>P</u> lug
CAL	- <u>C</u> aliper <u>L</u> og
CBL	- <u>C</u> ement <u>B</u> ond <u>L</u> og
CBL-VD-CEL	- <u>C</u> ement <u>B</u> ond <u>L</u> og- <u>V</u> ariable <u>D</u> ensity- <u>L</u> og- <u>C</u> ement <u>E</u> valuation <u>L</u> og
CCL	- <u>C</u> asing <u>C</u> ollar <u>L</u> ocator
CDL	- <u>C</u> ompensated <u>D</u> ensilog
CDT	- <u>C</u> ompensated <u>D</u> ensity <u>T</u> ool
CDR	- <u>C</u> ontineous <u>D</u> irectional <u>R</u> ecord
CEL	- <u>C</u> ement <u>E</u> valuation <u>L</u> og
CET	- <u>C</u> ement <u>E</u> valuation <u>T</u> ool
CF	- <u>C</u> ontineous <u>F</u> lowmeter
CFM	- <u>C</u> ontineous <u>F</u> lowmeter
CH	- <u>C</u> ased <u>H</u> ole
CIS	- <u>C</u> ustomer <u>I</u> nstrument <u>S</u> ervice (Einfahren von Fremdgeräten)
CL	- <u>C</u> asing <u>L</u> og
CMT	- <u>C</u> ircumferential <u>M</u> icrosonic <u>T</u> ool
CNL	- <u>C</u> ompensated <u>N</u> eutron <u>L</u> og
CNT	- <u>C</u> ompensated <u>N</u> eutron <u>T</u> ool
CNT-D	- <u>C</u> ompensated <u>N</u> eutron <u>T</u> ool, Typenbezeichnung D, (Hostile Environment Tool)
CNT-G	- <u>C</u> ompensated <u>N</u> eutron <u>T</u> ool, Typenbez. G
Coregun	- <u>S</u> idewall <u>C</u> oregun <u>S</u> ampler
CST	- <u>C</u> ore <u>S</u> ample <u>T</u> aker
CSU	- <u>C</u> yber <u>S</u> ervice <u>U</u> nit
CPT	- <u>C</u> asing <u>P</u> roduction <u>T</u> est
CWL	- <u>C</u> onductor <u>W</u> ireline <u>L</u> og (Druck- und Temperaturmessung von Lynes)

- DB - Dump Bailer
- DD - Deepth Determination
- DIFL - Dual Induction Focused Log
- DIL - Dual Induction Log
- DIS - Dual Induction Spherically Focussed Log (Tool)
- DIT - Dual Induction Tool
- DFIL-HDT - Dipmeter Fracture Identificaton Log  
High Resolution Dipmeter Tool
- DLL - Dual Spacing Laterolog
- DLT-C - Dual Laterolog High Temperature Tool, Typenbez. C,  
(Hostile Environment Tool)
- DMS - Drop Multishot Photoclinometer Survey
- DMT - Dipmeter Tool
- DNLL - Dual Neutron Lifetime Log
- DPT - Deep Propagation Tool
- DS - Directional Survey
- DST - Drill Stem Test
- DT - Dipmeter Tool
  
- EL - Electric Log
- EMR - Electromagnetic Reflection (Radar)
- EPT - Electromagnetic Propagation Tool
- ES - Electrical Survey
- ETT - Electromagnetic Thickness Tool
  
- FBS - Fullbore Flowmeter Survey
- FCD - Formation Compensated Density Log
- FDC - Formation Density Compensated
- FDL - Flow Density Log
- FDT - Fluid Density Tool
- FGT-C - Formation Density Geothermal Tool, Typenbez. C,  
(Hostile Environment Tool)
- FIL - Fracture Identification Log
- FIT - Formation Interval Tester
- FMM - Packer Flowmeter Manometer
- FMST - Formation Micro Scanner Tool
- FP - Free Point
- FPD - Free Point Detector
- FPI - Free Point Indicator
- FPIT - Free Point Indicator Tool (Kombination mit BO)
- FS - Fluid Sampler
- FT - Formation Tester
- FW - Full Wave
- FWF - Full Wave Form
  
- G - Gamma Ray Log
- GCT - Guidance Continuous Tool
- GFM - Gradienten Fluxgate Magnetometer
- GL - Guard Log
- GLT - Geochemical Logging Tool
- GM - Gradiomanometer
- GMS - Gradimanometer Survey
- GPIT - General Purpose Inclinometer Tool
- GR-CCL - Gamma Ray-Casing Collar Locator
- GR,GRL - Gamma Ray Log
- GS - Geophon Survey

GSL - Gamma Spectrometry Log  
GSP - Geothermal Spinner Flowmeter  
GST - Gamma Spectrometry Tool  
GTL - Geothermal Temperature Log, (Hochtemperatursonde)

HDT - High Resolution Dipmeter Tool  
HDT-F - High Resolution Dipmeter Tool, Typenbez. F,  
(Hostile Environment Tool)  
HE - Hostile Environment Tool (Hochleistungsgerät)  
HEL - Hostile Environment Logging  
HRDIP - High Resolution 4-Arm Diplog  
HRT - High Resolution Temperature Log  
HTT - Hydrological Test Tool

ICT - Inflatable Combination Tool  
IEL - Induction Electric Log  
IES - Induction Electrical Survey  
IL - Induction Log  
IP - Induced Polarisation  
IRT - Induction Resistivity Tool  
ISP - Induction Spherical Log  
ISPL - Induction Spherical Log  
IWL - Induction Wave Log

JB - Junk Basket

L - Laterolog  
LDT - Litho-Density Tool  
LL - Laterolog  
LL-3 - Laterolog 3  
LL-7 - Laterolog 7  
LLD - Laterolog Deep  
LLS - Laterolog Shallow  
LSBHC - Long Spacing BHC Acousticlog

MAN - Manometer  
MCS - Multi Channel Sonic Tool  
MFT - Multi Formation Tester  
ML - Microlog, Minilog  
MLL - Microlaterolog  
MMS - Mini Multishot Photoklinometer Survey  
MO-VSP - Move-Out Vertical Seismic Profile  
MS - Magnetometer Survey  
MSFL - Micro Spherically Focussed Log  
MSI-C/O - Multiparameter Spectroscopy Instrument-  
Continuous Carbon/Oxygene Log  
MSST - Multiple Shot Surveying Tools  
MST - Magnetic Suszeptibility Tool  
MWD - Measuring While Drilling

N - Neutron Log  
NDL - Noise Detector Log  
NGS - Natural Gamma Spectrometry  
NGT - Natural Gamma Spectrometry Tool  
NL - Neutron Log  
NLL - Neutron Lifetime Log  
NML - Nuclear Magnetic Resonance Log  
NMS - Nuclear Magnetism Survey

OH - Open Hole  
OR-4-Arm  
CAL - Orientation 4-Arm Caliper  
OSP - Offset Seismic Profilng  
OTV - Optical Televiewer

PAL - Pipe Analysis Log  
PC - PhotoClinometer  
PCT - Production Combination Tool  
PDK-100 - Neutron Pulse Decay - 100 Channel Analysator  
PFM - Packer Flowmeter  
PFS - Production Fluid Sampler  
PHT - Photon Log  
PLT - Production Logging Tool  
PML - Proximity Log  
PPS - Production Packer Service  
PROX - Proximity Log, Proximity Microlog, Proximity Mini-  
log  
PS - Pressure Survey  
PT - Production Test

RDT - Radial Differential Thermometer  
RES - Resistivitymeter  
RFT - Repeat Formation Tester  
RTT - Radioactive Tracer Ejector Tool

SABIS - Scanning Acoustic Borehole Image System  
SAT - Seismic Acquisition Tool  
SDT - Sonic Digital Tool  
SFL - Spherical Focussed Log  
SHDT - Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool  
SL - Sonic Log  
SLS - Sonic Long Spacing  
SLT - Sonic Long Spacing Tool  
SLT-M - Sonic Log High Temperature Tool, Typenbez. M,  
(Hostile Environment Tool)  
SNP - Sidewall Neutron Porosity Log  
SOBIS - Scanning Optical Borehole Image System  
SONAN - Acoustic Noise Detector  
SP - Spontaneous Potential  
SPEC - Natural Gamma Ray Spectroscopy  
SRPG - Surface Recorded Pressure Gauge  
SSS - Sonic Short Spacing  
SWN - Sidewall Epithermal Neutron Log  
SYS - Synthetic Seismogram



TBT - Thru Tubing Bridge Plug Tool  
TEM - Transient Electro Magnetic  
TFM - Triaxiales Fluxgate Magnetometer  
TGR - Tubing Gaugering  
TDT - Thermal Decay Time Log (Neutron)  
TEM - Temperature Log  
TF - Thermisches Flowmeter  
TIL - Tracer Injection Log  
T-Log - Temperature Log  
T/P-Log - Temperatur und Druckmessung  
TVT - Borehole Televiewer Tool  
TTC - Thru Tubing Caliper

USEL - Ultra Long Spacing Electric Log

VAL - Variable Acoustic Log  
VAR - Variable Area  
VD - Variable Density  
VDL-AC  
Sign - Variable Density-Acoustic Signature Log  
VSP - Vertical Seismic Profilng

WF - Wave Form  
WLM - Wärmeleitfähigkeitsmessung

Umrechnungen:

Von °F auf °C  $T_C = 0.555 (T_F - 32)$   
Von °C auf °F  $T_F = 1.8 T_C + 32$   
Von psi auf bar  $bar = 0.069 psi$   
Von bar auf psi  $psi = 14.5 bar$   
Von Zoll auf mm  $Zoll = 25,4 mm$   
Von mm auf Zoll  $mm = 0,0394 Zoll$



Anhang 2: Funktionsgleiche Meßgeräte der Service-Firmen.

- (1) Neuentwicklungen (Prototype Tools), die im Feldeinsatz erprobt werden.  
 (2) Neuentwicklung, kein kommerzieller Einsatz geplant, jedoch für das KTB verfügbar.  
 OH = Open Hole; CH = Cased Hole

Schlumberger		Dresser Atlas		Gearhart		Ein- satz
Bezeichnung	Abkürzung	Bezeichnung	Abkürzung	Bezeichnung	Abkürzung	
<u>Elektrische Verfahren</u>						
<u>Makrowiderstand</u>						
Laterolog	LL	Laterolog	LL			OH
Dual Laterolog	DLL	Dual Laterolog	DLL	Dual Laterolog	DLL	OH
Dual Induction Laterolog	DIL	Dual Induction Focussed Log	DIFL	Dual Induction Laterolog	DIL	OH
Induction Elektrolog	IEL/ISF	Induction Electrical Survey	IES	Induction Electrical Log	IEL	OH
Induction Spherical Log						
<u>Mikrowiderstand</u>						
Microlog	ML	Minilog	ML	Micro Electric Log	MEL	OH
Microlaterolog	MLL	Micro Laterolog	MLL	Micro Laterolog	MLL	OH
Proximity Microlog	FML	Proximity Minilog	FML			OH
High Resolution Dipmeter	HDT	High Resolution Diplog	DIP	Four Electrode Dipmeter	FEL	OH
Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool	SHDT	Strata Diplog (1)				OH
Formation Micro Scanner Tool	FMST					OH
<u>Elektromagnetische Verfahren</u>						
<u>EM-Wellenausbreitung</u>						
Electromagnetic Propagation Tool	EPT	Dielectric Log, 47 MHz	DCLL			OH
		Dielectric Log, 200 MHz (1)	DCLH			OH
<u>Spin Relaxation</u>						
Nuclear Magnetic Resonance Log	NML	Nuclear Magnetism Log (1)	NML			OH

Nukleare Verfahren

<u>Nat. Gamma</u> Gamma Ray Log	GR	Gamma Ray Log Core Gamma Ray Log	GR Core Log			OH/CH
Natural Gamma Spectroscopy Tool	NGT	Natural Gamma Ray Spectral Log	Spectralog			OH
<u>Gamma-Gamma</u> Formation Density Log (Compensated)	FDC	Compensated Densilog	CDL	Compensated Density Log	CDL	OH
Litho Density Tool	LDT	Z-Density Log (1)				OH
<u>Neutron-Neutron und Neutron-Gamma</u> Compensated Neutron Tool	CNT	Neutron Log Gamma Ray Neutron Log	NL GNL	Compensated Neutron Log	CNS	OH/CH
Sidewall Neutron Porosity Log	SNP	Sidewall Epithemal Neutron Log	SWN	Sidewall Neutron Log	SNL	OH
<u>Neutron Impuls-Gamma</u> Gamma Ray Spectroscopy Tool	GST	Continuous Carbon/Oxygen Log	COC			OH
Thermal Decay Time Tool	TDT-K	Neutron Lifetime Log	NLL			CH/(OH)
Dual Spacing Thermal Decay Time Tool	TDT-M	Dual Detector Neutron Lifetime Log	DNLL			CH/(OH)

Seismische und akustische Verfahren

<u>NF-Schallwellen</u> Borehole Compensated Sonic Log	BHC	BHC-Acousticlog Variable Density	AC ACBL/VDL	Borehole Compensated Sonic	BCS	OH
Full Wave Form	WF	Acoustic Signature	AC SIGN			
Sonic Long Spacing	SLS	Long Spaced BHC Acousticlog	ACL			OH
Circumferential Microsonic Tool (2)	CMT	Circumferential Acousticlog (1)	CAC			OH
Sonic Digital Tool	SDT					
<u>HF-Schallwellen</u> Borehole Televiwer	BHTV	Borehole Televiwer Tool	TVT			OH/(CH)

Seismische Verfahren  
Seismic Acquisition Tool

SAT

Well Shooting

WS

QH

Thermische Verfahren

Temperatur

High Resolution Thermometer HRT

Temperature Log  
Differential Temperature

TEMP  
TEMP DIFF

Temperature Log

QH/CH  
QH/CH

Hilfsmessung

Auxiliary Measurements Sonde AMS

Tension

TENS

QH/CH

Produktionskontrollmessungen und technische Arbeiten

Tiefenkontrolle

Gamma Ray Casing Collar  
Locator GR-CCL

Gamma Ray Casing Collar  
Locator

GR-CCL

Gamma Ray Casing Collar  
Locator

GR-CCL

CH

Bohrlochzustands-Kontrolle  
Borehole Geometry Tool BGT

Borehole Geometry  
Dual Caliper

BGC

QH

Bohrbetrieb-Fangarbeiten  
Free Point Back  
Off Tool FPIT

Free Pipe Indicator  
Back Off

FPI  
BO

Free Point and  
Back Off System

QH/CH

Tubular Goods  
Jet Cutter TGC

Jet Cutter  
Casing/Drillpipe, Tubing

COG/TC

Casing/Drillpipe  
Cutters  
Chemical Cutter  
Junk Shot Charge

CH

CH

QH/CH

Verrohrungskontrolle  
Electromagnetic  
Thickness Tool  
Pipe Analysis Log ETT

Magnelog

MGL

CH

Multi-Finger Caliper MFC

Vertilog  
Casing Potential Profile  
Multi-Finger Caliper

VTL  
CPP  
MFC

Pipe Inspection Caliper  
Radial Differential  
Thermometer

PIC  
RDT

CH

CH

CH

CH

Acoustic Scanner Tool AST

<u>Zementations - Güteprüfung</u>						
Cement Bond Variable	CBL-VDL	Cement Bond Amplitude Log	CBA	Cement Bond Log	CBL	CH
Density Log						CH
Cement Evaluation Tool	CET					CH
		Acoustic Three Pad Device (1)				CH
				Differential Temperature Log	DTL	CH
Audio Log	AUDIO	SONAN Log	SONAN	Borehole Audio Tracer Survey		CH
		Photon Log (uncamp. N - N)	PHT			CH
<u>Tracer-Fließratenmessung</u>						
Radioactive Tracer Ejector Tool	TET	Tracerlog/Nuclear Flowlog	TL			OH/CH OH/CH
<u>Temperatur, Druck, Fließratenmessungen</u>						
Production Logging Tool (Fluid Log)	PLT (FL)	Production Combination Tool	PCT	Stack Tool System		CH/OH
Continuous Flowmeter	CFS	Continuous Spinner Flowmeter	CSF	High Sensitivity Flowmeter		CH/OH
Basket Flowmeter Log	BFL	Log				CH/OH
Fullbore Flowmeter	FBS	Basket Flowmeter Log	BFL			CH/OH
Through Tubing Caliper	TTC	Through Tubing Caliper Log	TTL	X-Y Caliper Log		CH/OH
Manometer (mech.)	MAN	Surface Recorded Pressure Gauge	SRPG			CH/OH
Manometer (HP)	HP	Borehole Pressure Log (HP)	HPW	Quartz Pressure Gauge Logging		CH/OH
High Resolution Thermometer	HRT	High Resolution Thermometer	HRT	High Resolution Thermometer		CH/OH
Gradiomanometer Survey	GM					CH/OH
Production Combination Tool	PCT	Inflatable Packer Tester	IPT			CH/OH
Packer Flowmeter	PFM	Packer Flowmeter/Casing Leakage Detector	PFM/CLD			CH
Fluid Analyser	FAN			Hydro Log		CH/OH
		Fluid Density Log	FDL	Fluid Density (G - G)		CH/OH
<u>Lagerstätten-Kontrollmessungen</u>						
Thru-Tubing Gamma Ray Neutron Log	GRN	Gamma Ray/Neutron Log	GRN			CH
Thru-Tubing Neutron Log	NL	Neutron Log	NL			CH
Thermal Decay Log	TDT-K TDT-M	Neutron Lifetime Log	NLL			CH

Produktionsausbau, Absetzen von Plugs

Bridge Plug Setting	BP	Bridge Plug Setting	BPS	Bridge Plugs	CH
Production Packer and Retainer Setting	PPS	Production Packer Setting	PS		CH
Cement Dump Bailer	DB	Cement Dump Bailer	DB	Dump Bailer	CH
Junk Basket	JB	Junk Basket	JB	Downsweep Junk Basket	CH
Thru-Tubing Bridge Plug	TBT	Tubing Bridge Plug Setting	TPS	Thru-Tubing Bridge Plug	CH
Thru-Tubing Dump Bailer	TBT-DB			Dump Bailer	CH
Tubing Gauge Run	TGR				CH
				Thriftee Frac Plug	CH

Casing Perforation

Selective Csg. Gun		Casing Squeeze Perforation	CSS	Single Point Entry	CH
Casing Hollow Carrier, Sand Control		Jumbo Jet Koneshot	JBK	Strip Jet, Strap Jet,	CH
		Golden Jet	GDJ	Hollow Steel Carrier, Sand Control	CH
Hohlladungsperforatoren		Cluster Jet	HSD	Hohlladungsperforatoren	CH

Steigrohr-Perforation

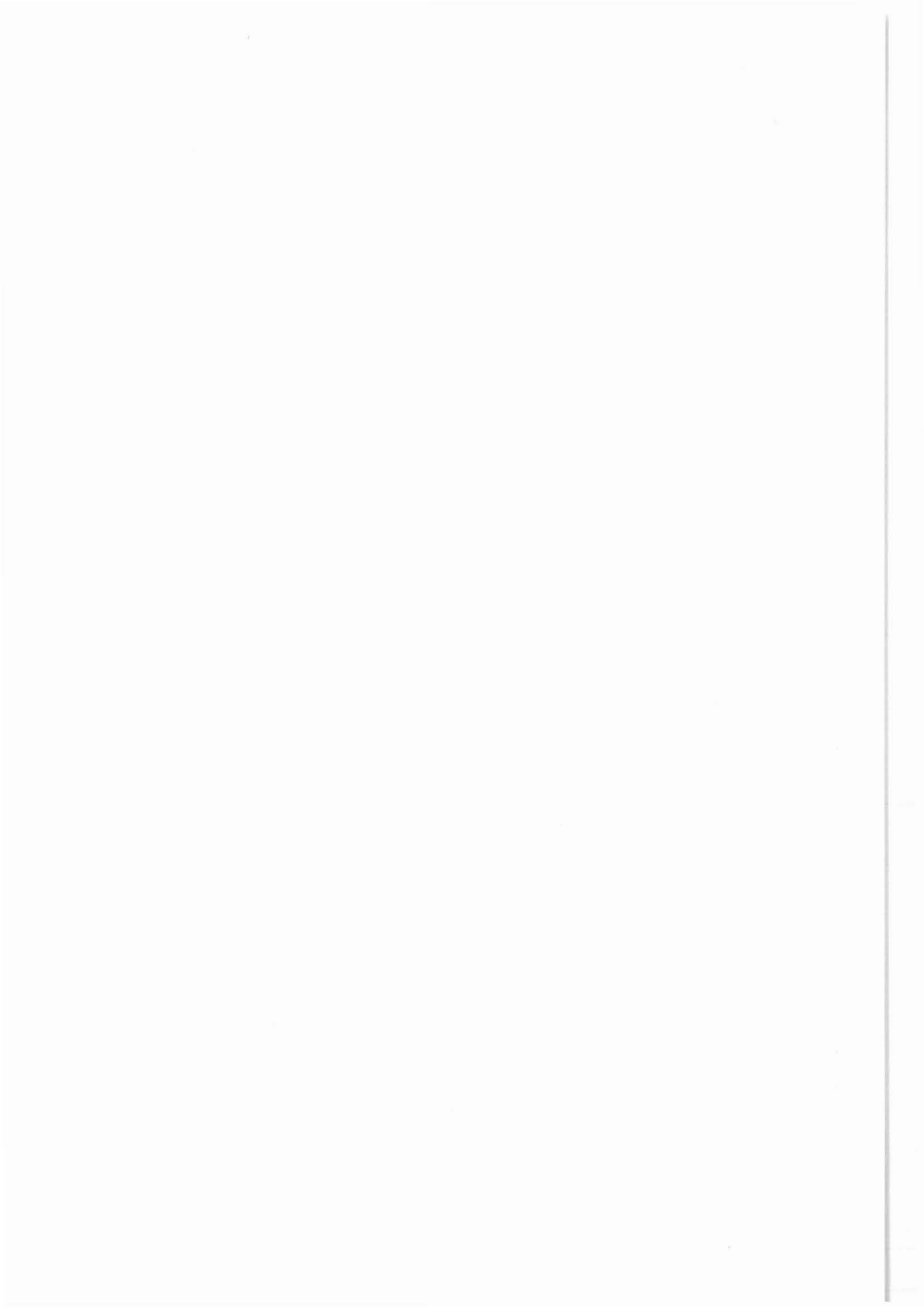
Through Tubing		Jumbo Jet Slimkone	SLK		CH
Hollow Carrier		Link Cone	LKK	Gowinder	CH
Hohlladungsperforatoren		Bar Cone	BRK	Tornado Link	CH
		Hohlladungsperforatoren		Hohlladungsperforatoren	

ProbenentnahmeFluidproben

Repeat Formation Tester	RFT	Formation Multi Tester	FMT	Selective Formation Tester	SFT	OH
Fluid Sampler	FS	Production Fluid Sampler	PFL			OH/CH

Kern

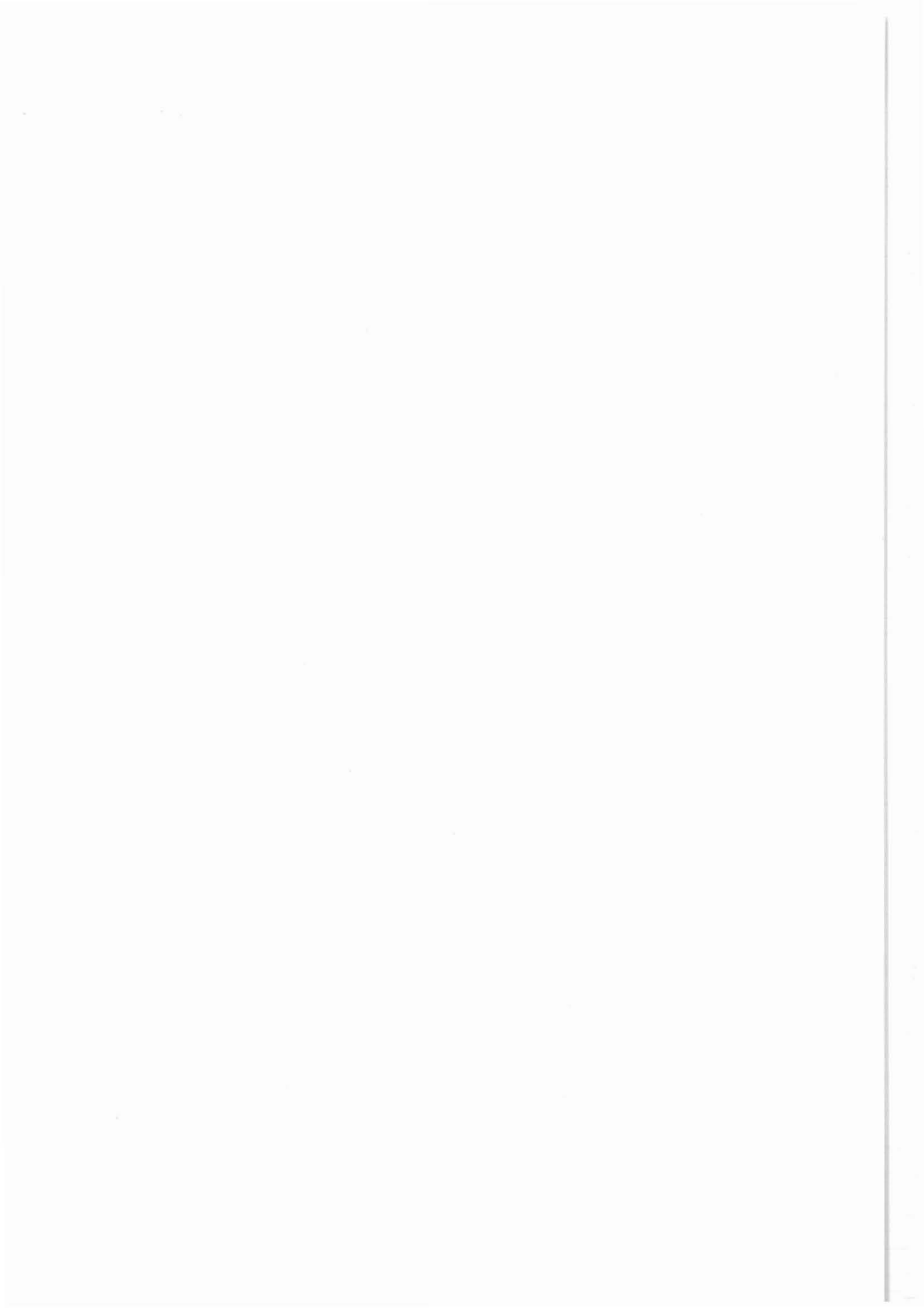
CST Sidewall Sampler	CST	Sidewall Coring (Coregun)	SWC	Sidewall Core Gun	SWC	OH
----------------------	-----	---------------------------	-----	-------------------	-----	----





Anhang 3: Alphabetische Auflistung der im Text verwendeten  
KTB-bezogenen Abkürzungen

AGRU	Arbeitsgruppe
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
DEKORP	Deutsches Kontinentales Reflexionsseismisches Programm
DEO	Deep Earth Observatory
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DMSt	Dauermeßstation
FB	Fachbereich
FKPE	Forschungskollegium Physik des Erdkörpers
F- und E-Vorhaben	Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben
GS	Geophysikalische Schlüsselexperimente
HDR	Hot Dry Rock
KTB	Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland
KTB-Oberpfalz HB	Hauptbohrung Oberpfalz
KTB-Oberpfalz VB	Vorbohrung (Pilotbohrung) Oberpfalz
NLFB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
PL	Projektleitung des Kontinentalen Tiefbohrprogramms
SSP	Schwerpunktprogramm Kontinentales Tiefbohrprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft



**Anhang 4:** Adressenliste von Mitarbeitern, die aufgrund ihres Aufgabenbereiches mit der Bohrlochgeophysik der PL zusammenarbeiten

Prof. Dr. E. Althaus, Tel. 07 21/6 08-33 16  
Mineralogisches Institut der Universität, Kaiserstr. 12, 7500 Karlsruhe

F. Bauer, Tel. 04 21/8 77 67-20  
c/o Dresser-Atlas DRESSER EUROPE S.A., Postf. 61 01 44, 2800 Bremen 61

Prof. Dr. H. J. Behr, Tel. 05 11/6 43-26 68  
a) NLFb-KTB, Postfach 510153, 3000 Hannover 51,  
b) Geol.-Paläontologisches Institut der Universität Göttingen,  
Tel. 05 51/39-79 11, Goldschmidtstr. 3, 3400 Göttingen

Dr. G. Borm, Tel. 07 21/6 08-32 94  
Institut für Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Kaiserstr. 12,  
7500 Karlsruhe

Prof. Dr. W. Bosum, Tel. 05 11/6 43-28 07  
BGR, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dr. Erhard Bradel, Tel. 05 11/731439  
Elsterweg 21, 3012 Langenhagen

Dr. Kurt Bram, Tel. 05 11/6 43-26 75  
NLFb-KTB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dipl.-Ing. Heiko von Brunn, Tel. 0 53 23/72-2203  
Institut für Technische Mechanik TU Clausthal, Graupenstr. 3,  
3392 Clausthal-Zellerfeld

Thomas Büttgenbach, Tel. 02 21/4 70-25 54  
Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität  
Albertus-Magnus-Platz, 5000 Köln 41

Dr. G. Buntebarth, Tel. 0 53 23/72-22 32  
Institut für Geophysik der TU Clausthal, Postfach 12 53  
3392 Clausthal-Zellerfeld

Prof. Dr. Hans Burkhardt, Tel. 0 30/3 14-7 26 28  
Institut für Angewandte Geophysik, Lagerstättenforschung und Petrologie der  
TU Berlin, Ackerstr. 71-76, Sekr. ACK 2, 1000 Berlin 65

Dipl.-Geophys. Christoph Clauser, Tel. 0531/8012-2226, GSF, Institut für  
Tieflagerung, Abt. Endlagersicherheit, Theodor-Heuss-Str. 4,  
3300 Braunschweig

Frau Birgit Clauß, Tel. 07 21/6 08-4594  
Institut für Geophysik der Universität Karlsruhe, Hertzstr. 16,  
7500 Karlsruhe

W. Debschütz, Tel. 0 53 23/7 21  
Institut für Geophysik der TU Clausthal, Postfach 230,3392 Clausthal-  
Zellerfeld

Dr. H.-G. Dietrich,  
a) NLfB-KTB, Tel. 05 11/6 43-26 05, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51  
b) Feldlabor Windischeschenbach, Tel. 0 96 81/3764

Dipl.-Ing. J. Draxler,  
a) Tel. 05 11/6 43-26 73, NLfB-KTB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51  
b) Dauermeßstation Windischeschenbach, Tel. 096 81/3795

Prof. Dr. R. Emmermann, KTB-Schwerpunkt, Tel. 06 41/7 02-83 70  
Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung Universität  
Gießen, Senckenbergstr. 3, 6300 Gießen

Prof. Dr. L. Engelhard, Tel. 05 31/3 91-52 28  
Institut für Geophysik der TU, Mendelssohnstr. 1, 3300 Braunschweig

Dr. Jörg Erzinger, Tel. 06 41/7 02-83 90  
Inst. für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung, Universität Gießen,  
Senckenbergstr. 3, 6300 Gießen

Prof. Dr. Wolfgang Franke, Tel. 06 41/7 02-83 60  
Inst. für Geologie und Dynamik der Lithosphäre, Senckenbergstr. 3  
6300 Gießen

Prof. Dr. Gerhard Gaul, Tel. 02 51/83-1  
Institut für Kernphysik der Universität, Domagkstr. 71, 4400 Münster

Prof. Dr. P. Giese, Tel. 0 30/8 38-39 71, FU Berlin, Rheinbabenallee 49  
1000 Berlin 33

G. Graup, Tel. 06 41/7 02-1  
Universität Gießen, Senckenbergstr. 3, 6300 Gießen

Dr. Siegfried Greinwald, Tel. 05 11/6 43-32 12 (2563)  
BGR, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dipl.-Geophys. Michael Grinat, Tel. 05 11/6 43-23 43  
NLfB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dr. Wolfgang Grosse-Brauckmann, Tel. 0 75 51/16 23  
c/o Ing.-Büro für Geophysikalische Meßtechnik, Mühlbachstr. 111  
7770 Überlingen

Prof. Dr. U. Haack, Tel. 06 41/7 02-83 70  
Mineralogisch-Petrologisches Institut der Universität Gießen,  
Senckenbergstr. 3, 6300 Gießen

Prof. Dr. Ralph Hänel, Tel. 05 11/6 43-26 65  
NLfB-KTB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Frau Susanne Haverkamp, Tel. 02 41/80-1  
Institut für Geophysik RWTH Aachen, Lochnerstr. 4 - 20, 5100 Aachen

Dr. rer. nat. Helmut Heide, Tel. 06 98/79 08-27 64  
Battelle-Institut e. V., Am Römerhof 35, 6000 Frankfurt 90

Dr. Michael Heinisch  
a) NLfB-KTB, Tel. 05 11/6 43-26 08, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51  
b) Feldlabor Windischeschenbach, Tel. 0 96 81/3764

Prof. Dr. Eckhard Hinze, Tel. 06 41/7 02-1  
Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung der Universität,  
Senckenbergstr. 3, 6300 Gießen

Gerd Hörmansdörfer, Tel. 05 11/61 40 01  
c/o Firma GEOTRON GmbH. Kühltechnik, Rotenburger Str. 30, 3000 Hannover 51

Dipl.-Geophys. Herbert Hoffmann, Tel. 05 11/6 41-22 87  
c/o BEB, Postfach 51 0360, 3000 Hannover 51

Prof. Dr. Joachim Homilius, Tel. 05 11/6 43-23 49  
NLfB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Herr K.H. Jacob, Tel. 05 91/6 12-5 12  
Deutsche Schachtbau- und Tiefbohrgesellschaft mbH, Waldstr. 39  
4450 Lingen/Ems

Dipl.-Geophys. Matthias Jonas, Tel. 0 53 23/7 21  
Institut für Geophysik der TU Clausthal, Postfach 230  
3392 Clausthal-Zellerfeld

Dr. Reinhard Jung, Tel. 05 11/6 43-28 57  
BGR, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dipl.-Ing. H. J. Kaiser, Tel. 05 11/12 32-1  
c/o PREUSSAG AG, Postfach 48 29, 3000 Hannover 1

Dr. P. Kehrler, Tel. 05 11/6 43-26 72  
NLfB-KTB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Prof. Dr. Hartmut Kern, Tel. 04 31/8 80 29 19  
Mineralog.-Petrograph. Institut und Museum der Universität,  
Olshausenstr. 40, 2300 Kiel

Dr. W. Kessels, Tel. 05 11/6 43-26 78  
NLfB-KTB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dipl.-Ing. G. Knauf, Tel. 0 51 41/15-2 91  
c/o Mobil Oil, Burggrafstr. 1, 3100 Celle

Kristian Krammer, Tel. 0 89/23 94-42 31  
Inst. für Allg. u. Angew. Geophysik der Universität, Theresienstr. 41/4  
8000 München 2

Dr. Falko Kuhnke, Tel. 05 31/3 91-52 33  
Inst. für Geophysik und Meteorologie der TU, Mendelssohnstr. 1  
3300 Braunschweig

Prof. Dr. H. Kulke, Tel. 0 53 23/72-21 66  
Inst. für Geologie und Paläontologie TU Clausthal, Leibnizstr. 10  
3392 Clausthal-Zellerfeld

Christoph Kuth, Tel. 02 21/4 70-25 54  
Inst. f. Geophysik u. Meteorologie, Albertus-Magnus-Platz, 5000 Köln 41

Dr. Lauterjung, Tel. 06 41/7 02-1  
Mineralogisch-Petrologisches Inst.Uni. Gießen, Senckenbergstr. 3  
6300 Gießen

Dipl.-Geol. Rolf Lingnau, Tel. 05 11/69 70 41/42  
c/o Schlumberger Verfahren, Niederl. Hannover, Podbielskistr. 102  
3000 Hannover 1

Dr. Siegfried Lorch, 05 11/6 43-26 25  
NLfB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Herrn Prof. Dr. R. Meissner, Tel. 04 31-8 80 39 14  
Inst. f. Geophys. der Univ. Kiel, Olshausenstr. 40 - 60, 2300 Kiel

Dr. Klaus Müller, Tel. 0 30/3 14-7 26 28  
Institut für Angewandte Geophysik, Lagerstättenforschung und Petrologie der  
TU Berlin, Ackerstr. 71-76, Sekr. ACK 2, 1000 Berlin 65

Dr. G. Musmann, Tel. 05 31/3 91-52 17  
Inst. für Geophysik und Meteorologie der TU, Mendelssohnstr. 1  
3300 Braunschweig

Prof. Dr. Fritz M. Neubauer, Tel. 02 21/4 70-23 10  
Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität  
Albertus-Magnus-Platz, 5000 Köln 41

Prof. Dr. H.J. Neugebauer, Tel. 0 53 23/72-26 41  
Institut für Geophysik der TU Clausthal, Postfach 12 53  
3392 Clausthal-Zellerfeld

Prof. Dr. W. Nover, Tel. 02 28/73-27 60  
Institut f. Mineralogie der Universität Bonn, Poppelsdorfer Schloß  
5300 Bonn

Prof. Dr. E. R. Oxburgh  
Dept. of EARTH Sciences, University of Cambridge  
Downing ST, Cambridge CB2 3EQ, UK

Prof. Dr. A. Pekdeger, 030/838-2912  
Institut f. Angew. Geologie, FU Berlin, Rheinbabenallee 49,  
1000 Berlin 33

Dr. Jean Pohl, Tel. 089/23 94-42 30  
Inst. für Allg. u. Angew. Geophysik der Universität, Theresienstr. 41/4  
8000 München 2

Prof. Dr. mont. Günter Pusch, Tel. 0 53 23/72-26 18  
ITE TU Clausthal, Agricolastr. 10, 3392 Clausthal-Zellerfeld

Jürgen Richter, Tel. 02 21/4 70-25 54  
Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität, Albertus-Magnus-  
Platz, 5000 Köln 41

Prof. Dr. H. Rischmüller, Tel. 05 11/6 43-26 69  
NLfB-KTB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Frank Röhrs, Tel. 02 41/80-1  
Institut für Geophysik RWTH Aachen, Lochnerstr. 4 - 20, 5100 Aachen

Prof. Dr. F. Rummel, Tel. 02 34/7 00-32 79  
Institut für Geophysik der Ruhruniversität Bochum  
Gebäude NA 3/165, Postfach 10 2148, 4630 Bochum 1

Professor Dr. L. Rybach, Tel. 00 41/13 77 20 76  
ETH HÖnggerberg, Inst. für Geophysik, Postfach 266, CH-8093 Zürich/Schweiz

Dr. Scharf, Tel. 05 11/6 42-1606  
Prakla-Seismos GmbH, Postfach 51 05 30, 3000 Hannover 51

Dr. R. Schepers, Tel. 02 34/6 25-2 69  
Westf. Berggewerkschaftskasse, Abt. Geophysik, Herner Str. 45, 4630 Bochum 1

Dipl.-Ing. A. Schmelz, Tel. 04 21/8 77 67-20  
c/o Dresser-Atlas DRESSER EUROPE S.A., Postf. 61 01 44, 2800 Bremen 61

Prof. Dr. J. R. Schopper, Tel. 0 53 23/72-22 33  
Institut für Geophysik der TU Clausthal, Postfach 2 30  
3392 Clausthal-Zellerfeld

Prof. Dr. A. Schult, Tel. 0 89/23 94-42 26  
Inst. für Allg. u. Angew. Geophysik der Universität, Theresienstr. 41/4  
8000 München 2

Dr. Rüdiger Schulz, Tel. 05 11/6 43-40 14  
NLfB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dipl.-Ing. K. Schwab, Tel. 05 11/69 70 41/42  
c/o Schlumberger Verfahren, Niederl. Hannover, Podbielskistr. 102  
3000 Hannover 1

Frau Petra Schweitzer, Tel. 0 53 23/72-1  
ITE TU Clausthal, Agricolastr. 10, 3392 Clausthal-Zellerfeld

Dipl.-Ing. J. Siebert, Tel. 0 53 23/72-26 18  
ITE TU Clausthal, Agricolastr. 10, 3392 Clausthal-Zellerfeld

Dipl.-Ing. Axel Sperber, Tel. 05 11/6 43-26 83  
NLfB-KTB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dipl.-Geophys. Andi Stiefel, Tel. 07 21/6 08-45 54  
Institut für Geophysik der Universität Karlsruhe, Hertzstr. 16  
7500 Karlsruhe 21

Straub, Tel. 07 21/5 95-47 30  
c/o Siemens AG, Bereich Meß- und Prozeßtechnik Standarderzeugnisse, E 689,  
Postf. 21 12 62, 7500 Karlsruhe 21

Prof. Dr. Soffel, Tel. 0 89/23 94-42 26  
Inst. für Allg. u. Angew. Geophysik der Universität, Theresienstr. 41/4  
8000 München 2

Frau E. Staroste, Tel. 0 03 22/2 35-63 52  
c/o Kommission der Europäischen Gemeinschaften, DGXII,  
Rue de la Loi, 200, B-1049 Brüssel

Dr. Erich Steveling, Tel. 05 51/39-74 63  
Institut f. Geophysik der Universität Göttingen, Postfach 23 41  
3400 Göttingen

Dr. K.-M.-Strack, Tel. 02 21/4 70-33 86  
Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität  
Albertus-Magnus-Platz, 5000 Köln 41

Dipl.-Ing. U. Theurer, Tel. 0 75 51/16 23  
c/o Ing.-Büro für Geophysikalische Meßtechnik, Mühlbachstr. 111  
7770 Überlingen

Rudolf Thierbach, Tel. 05 11/6 43-32 09  
BGR, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51

Dr. Heiner Villinger, Tel. 04 71/4 83 10  
Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung, Columbuscenter  
2850 Bremerhaven

Dr. Dietrich Vogelsang, Tel. 05 11/6 43-32 09  
NLfB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51



Götz E. Watta, Tel. 0 51 41/8 15 51  
c/o GEOCOM GmbH, Bruchkampweg 7, 3100 Celle

Prof. Dr. K. Weber, Tel. 05 51/39-79 00  
Institut. für Geologie und Dynamik der Lithosphäre, Goldschmidtstr.3  
3400 Göttingen

Dr. K. Weiss, Tel. 05 61/3 01-1  
c/o Wintershall AG, Abt. Geothermik, Postf. 10 40 60, 3500 Kassel

Prof. Dr. H. Wilhelm, Tel. 07 21/6 08-44 39  
Geophysikalisches Institut der Universität, Hertzstr. 16, Bau 42  
7500 Karlsruhe 21

Prof. Dr. G. Will, Tel. 02 28/73-27 60  
Institut f. Mineralogie der Universität Bonn, Poppelsdorfer Schloß  
5300 Bonn

Helmuth Winter, Tel. 0 69/7 98-82 81  
Institut für Geophysik der Universität Frankfurt, Feldbergstr. 47  
6000 Frankfurt

Dipl.-Ing. Th. Wöhrl  
a) NLFb-KTB, Tel. 05 11/6 43-26 07, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51  
b) Feldlabor Windischeschenbach, Tel. 0 96 81/3764

Prof. Dr. J. Wohlenberg, Tel. 02 41/80-48 25/26  
Lehrstuhl f. Angewandte Geophysik RWTH Aachen, Lochnerstr. 4 - 20  
5100 Aachen

Prof. Dr. B. Zimmermann, Tel. 0 53 23/22 37  
Institut für Technische Mechanik TU Clausthal, Graupenstr. 3,  
3392 Clausthal-Zellerfeld

Dipl.-Ing. G. Zoth  
a) Tel. 05 11/6 43-26 64, NLFb-KTB, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51  
b) Dauermeßstation Windischeschenbach, Tel. 096 81/3795