

## 3.2 HÄNEL, R.: Logging Strategie für das KTB

### 3.2.1 Zusammenfassung

Sowohl Bohrlochmessungen als auch das Ziehen von Kernen stellen ein Risiko für die supertiefe Bohrung dar. Die Logging Strategie beinhaltet deshalb als wesentliches Element das Abteufen einer Pilotbohrung mit einem umfangreichen Meßprogramm und einer vollständigen Kernentnahme. Damit wird erreicht:

- Entlastung der supertiefen Bohrung bis zur Teufe der Pilotbohrung.
- Korrelationsmöglichkeit der Bohrlochmeßergebnisse mit den an Bohrkernen erzielten Ergebnissen. Dies erlaubt später in besonderen Situationen Entscheidungen zu treffen, ob den Bohrlochmessungen oder dem Kernen der Vorzug zu geben ist.
- Schaffung eines Test- und Experimentierfeldes zur Überprüfung, inwieweit die für Sedimentgesteine entwickelten Meßmethoden auf kristalline Gesteine übertragen werden können. Zugleich ist die Möglichkeit gegeben, neue und weiterentwickelte Geräte zu testen.

Die Messungen in der Pilotbohrung und der supertiefen Bohrung sollen dabei nach folgendem Schema ablaufen:

- während des Abteufens sind nur unbedingt notwendige Messungen entsprechend der Prioritätenliste auszuführen;
- nach Fertigstellung der Bohrung erfolgt die Durchführung aller übrigen Messungen und Testarbeiten.

Die Realisierung der Gesamtstrategie erfordert mehrere konkrete Detailschritte, wie Erstellung einer Prioritätenliste, Marktstudien, Arbeitsgruppen zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Meßmethoden auf kristalline Gesteine, Arbeitsgruppen zur Neu- und Weiterentwicklung von Meßgeräten und Interpretationsmethoden, Arbeitsgruppen für über das Maß der Service-Firmen hinausgehende Interpretationen, Bereitstellung einer permanenten Logging Unit sowie die Erarbeitung eines Bohrlochmeßprogramms.

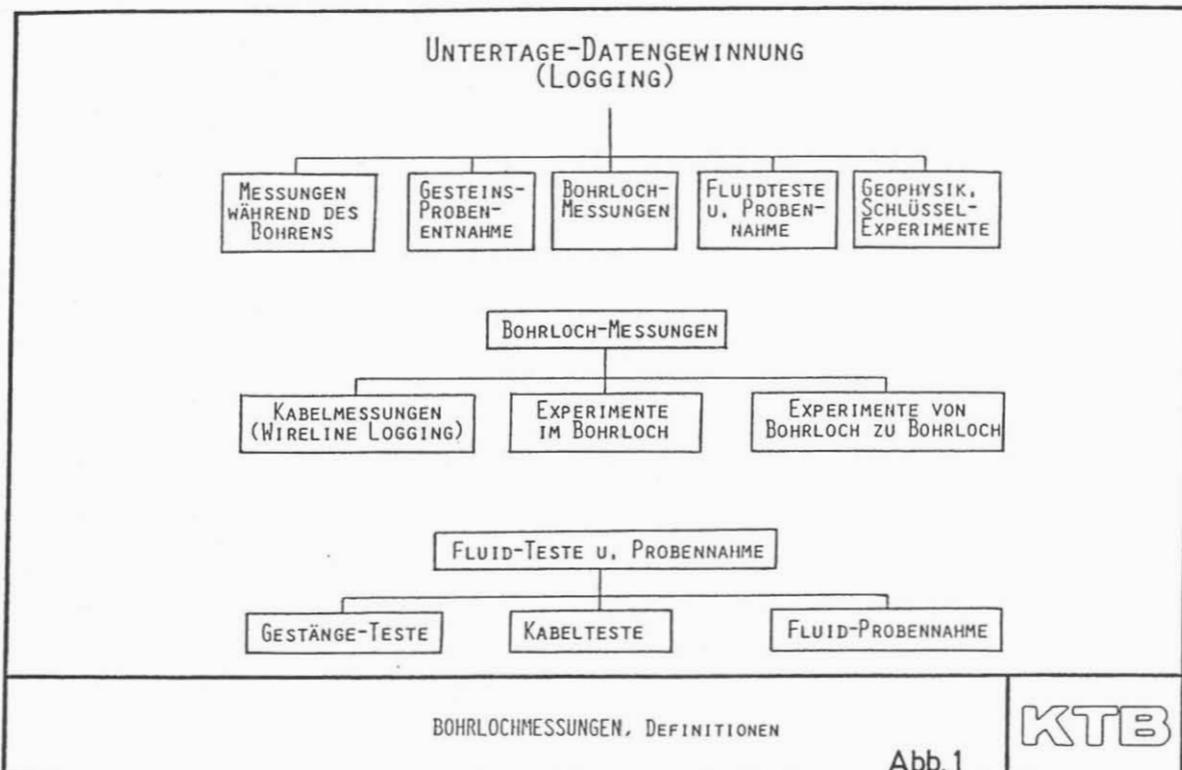
### 3.2.2 Einleitung

Der für das Projekt ideale Fall, Kernentnahme über die gesamte Bohrlochtiefe sowie Ausführung aller verfügbaren Bohrlochmessungen und Bohrlochexperimente, ist aus Kostengründen nicht möglich. Eine unter Berücksichtigung der wissenschaftlichen Zielvorstellungen sinnvolle Reduzierung des Bohrlochmeßprogramms ist daher unumgänglich. Aufgabe des Arbeitsbereiches Bohrlochmessungen der Projektleitung des KTB muß es deshalb sein, eine Strategie zu entwickeln, die mit geringen Kosten einen optimalen Informationsgewinn aus der Kruste ermöglicht.

### 3.2.3 Definitionen

Die Gesamtheit der Untertage-Datengewinnung wird im folgenden als Logging bezeichnet, sofern die Datengewinnung in Abhängigkeit von der Tiefe möglich ist. Folglich umfaßt das Logging folgende Disziplinen (Abb. 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 Gamma-Strahlung. Da das MWD sehr kostspielig ist (DEVAY et al. 1986), muß die Entscheidung, ob das MWD eingesetzt werden soll oder nicht, im wesentlichen der Bohrtechnik vorbehalten bleiben.
- Gesteinsprobenentnahme. Diese ist ganz wesentlich an die zu verwendende Bohrtechnik gebunden. Die Diskussionen hierzu sind noch nicht abgeschlossen; auf Details soll deshalb nicht näher eingegangen werden.
- Bohrlochmessungen. Darunter sind die Messungen mit Sondenkörpern 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 super-tiefen Bohrung zu realisieren sind (FKPE 1986). Wegen ihrer geschlossenen Darstellung werden diese ebenfalls gesondert ausgewiesen.

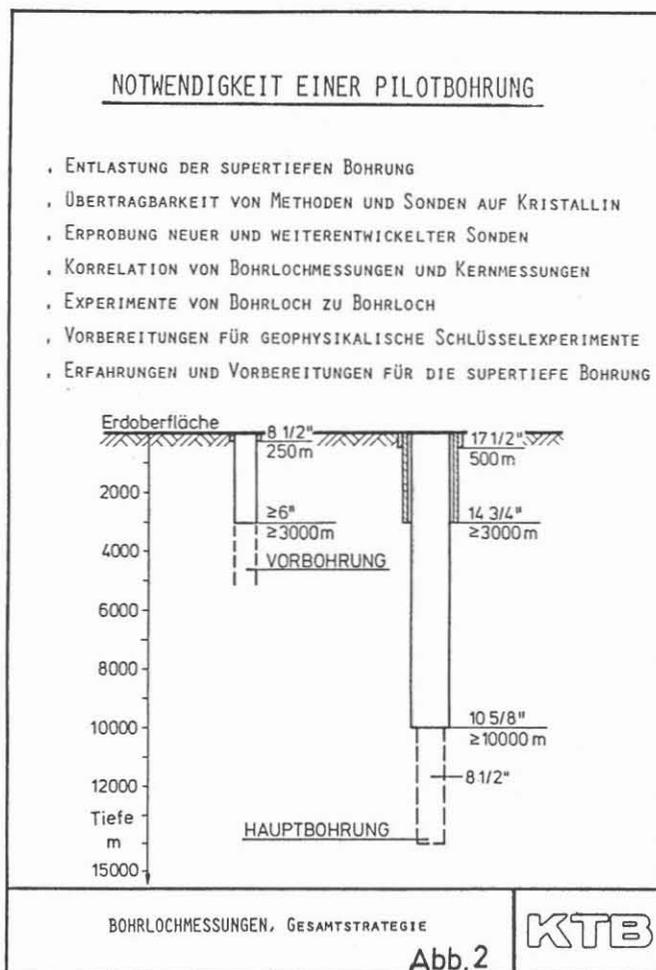


### 3.2.4 Gesamtstrategie

Die Realisierung der wissenschaftlichen Zielvorstellungen erfordert eine supertiefe Bohrung. Vorrangiges Ziel sollte daher ein möglichst risikofreies und zügiges Abteufen der Bohrung sein. Bei der Entlastung der Bohrung sind mithin folgende Punkte zu bedenken:

- Jede Messung stellt ein Risiko dar.
- Messungen verursachen zusätzliche Bohranlagen-Kosten.
- Eine supertiefe Bohrung muß stets großkalibrig angesetzt werden. Durchmesser von 23" und 14 3/4" im oberen Teil der Bohrung sind für Messungen jedoch meist ungeeignet. Vorbohren, Messen und anschließendes Aufbohren erfordert aber ebenfalls zusätzliche Kosten und erhöht das Risiko durch mögliche Fangarbeiten auf gebrochenes Gestänge.

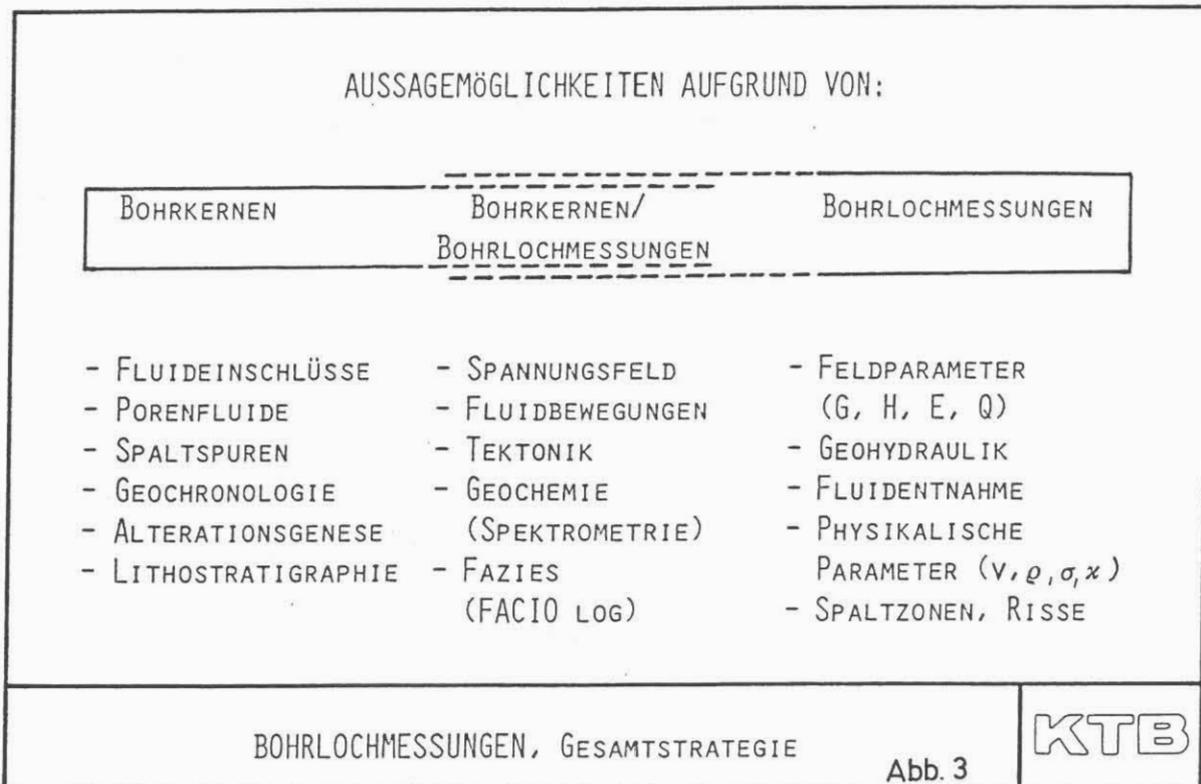
Daraus resultiert die Notwendigkeit einer gesonderten Bohrung (Vorbohrung, Pilotbohrung). Weitere Gründe für eine Pilotbohrung sind in Abb. 2 aufgeführt. Die supertiefe Bohrung könnte alsdann ohne Unterbrechung bis zur Endteufe der Vorbohrung abgeteuft werden, wobei in der Vorbohrung alle geplanten Messungen auszuführen sind.



Die Durchführung der Bohrlochmessungen in der Pilotbohrung und in der Tiefbohrung zur Realisierung der wissenschaftlichen Zielvorstellungen ist in jeweils zwei Schritten vorgesehen.

Pilotbohrung:

- Durchführung der Bohrlochmessungen in der Bohrung während des Abteufens gemäß einer Prioritätenliste. Da diese Bohrung mit geringerem Durchmesser gebohrt werden wird, sind für diesen Teufenabschnitt ideale Meßbedingungen gegeben. Gleichzeitig sollte der Korrelation von Bohrlochmeßergebnissen mit Ergebnissen an Kernen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Dies ermöglicht später in besonderen Situationen Entscheidungen zu treffen, ob den Bohrlochmessungen oder dem Kernen der Vorzug zu geben ist (Abb. 3).
- Durchführung der Bohrlochmessungen in der Bohrung nach Abschluß der Bohrarbeiten unter Einsatz aller Methoden, die nicht in der Prioritätenliste enthalten sind (EARTH LABORATORY).



#### Tiefbohrung:

- Durchführung der Bohrlochmessungen in der Bohrung während des Abteufens mit einer, aufgrund der in der Pilotbohrung gemachten Erfahrungen, verbesserten Prioritätenliste zum Zwecke der Minderung des Risikos für die Bohrung sowie der Kostenreduzierung aufgrund der Stillstandszeiten.
- Durchführung der Bohrlochmessungen in der Bohrung nach Abschluß der Bohrarbeiten unter Einsatz aller Methoden inkl. Langzeitbeobachtungen, die nicht in der Prioritätenliste enthalten sind (DEEP EARTH LABORATORY).

Die Gesamtstrategie sieht weiterhin vor, daß die erprobte Ausrüstung der Service-Firmen eingesetzt und das erworbene Know-how dem Projekt nutzbar gemacht werden soll. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit werden auch KTB-eigene Meßsonden angestrebt, sofern ein häufiger Einsatz vorgesehen ist und diese einfach im Aufbau sind, wie z. B. Temperatursonde, Drucksonde, Fluidsampler etc.

#### 3.2.5 Detailschritte

Die Realisierung der Gesamtstrategie erfordert mehrere konkrete Detailschritte.

Die Prioritätenliste stellt eine Liste von unbedingt notwendigen Bohrlochmessungen dar, die während des Abteufens durchgeführt werden müssen. Die Gründe hierfür sind z. B.:

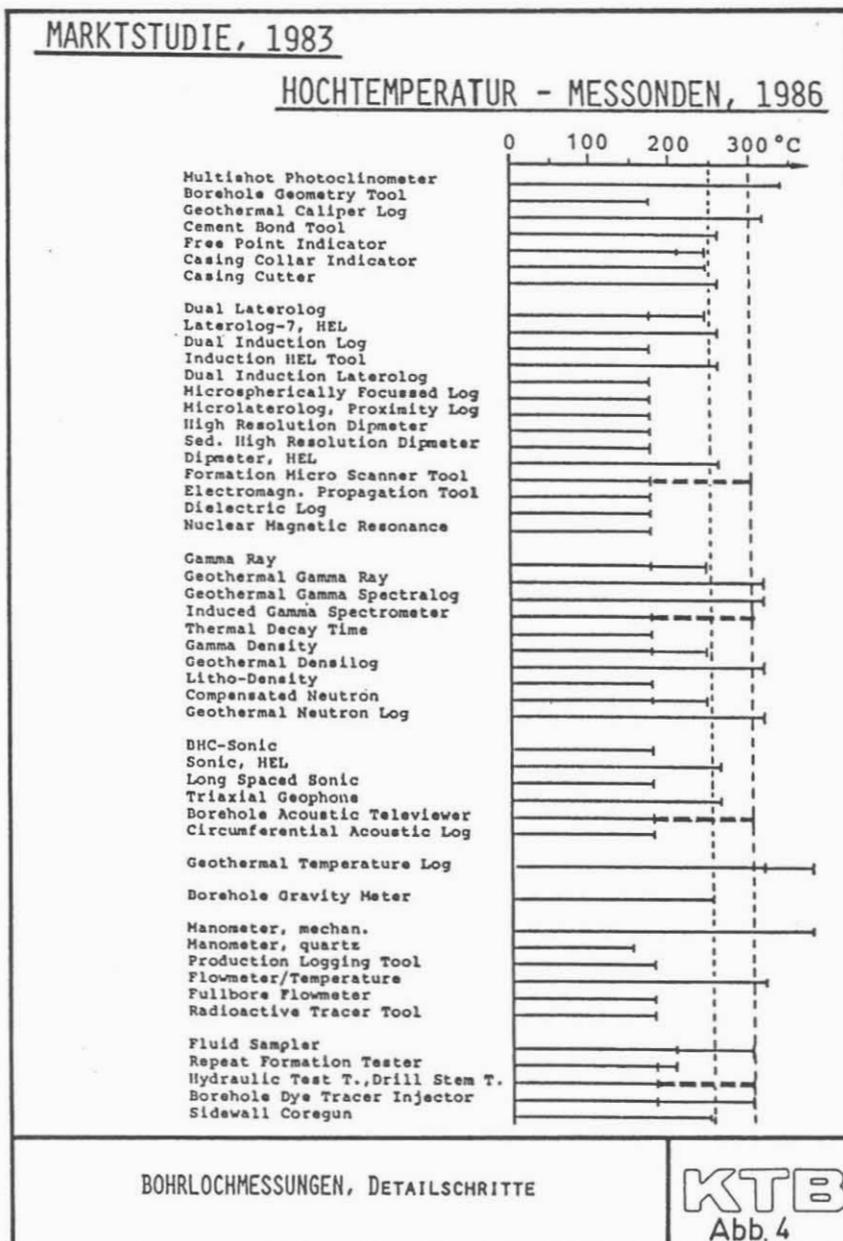
- Schnelle Entscheidungsfindung für den bohrtechnischen Betrieb sowie für das wissenschaftliche Programm (z. B. Kernentnahme, Ausführung eines hydraulischen Tests),
- umgehende Erfassung der in situ-Bedingungen, da diese sonst durch den Bohrbetrieb unwiderruflich verfälscht werden, z. B. durch Eindringen der Spülung in den Porenraum, außerdem leidet die Stabilität des Bohrlochs durch die mechanisch-hydraulische Belastung der Gestängebefahrung (Meißelwechsel).

Im mehreren Arbeitssitzungen wurde eine Liste gemeinsam mit Geowissenschaftlern erarbeitet. Der gegenwärtige Stand, Meßziele und Meßmethoden sind folgende:

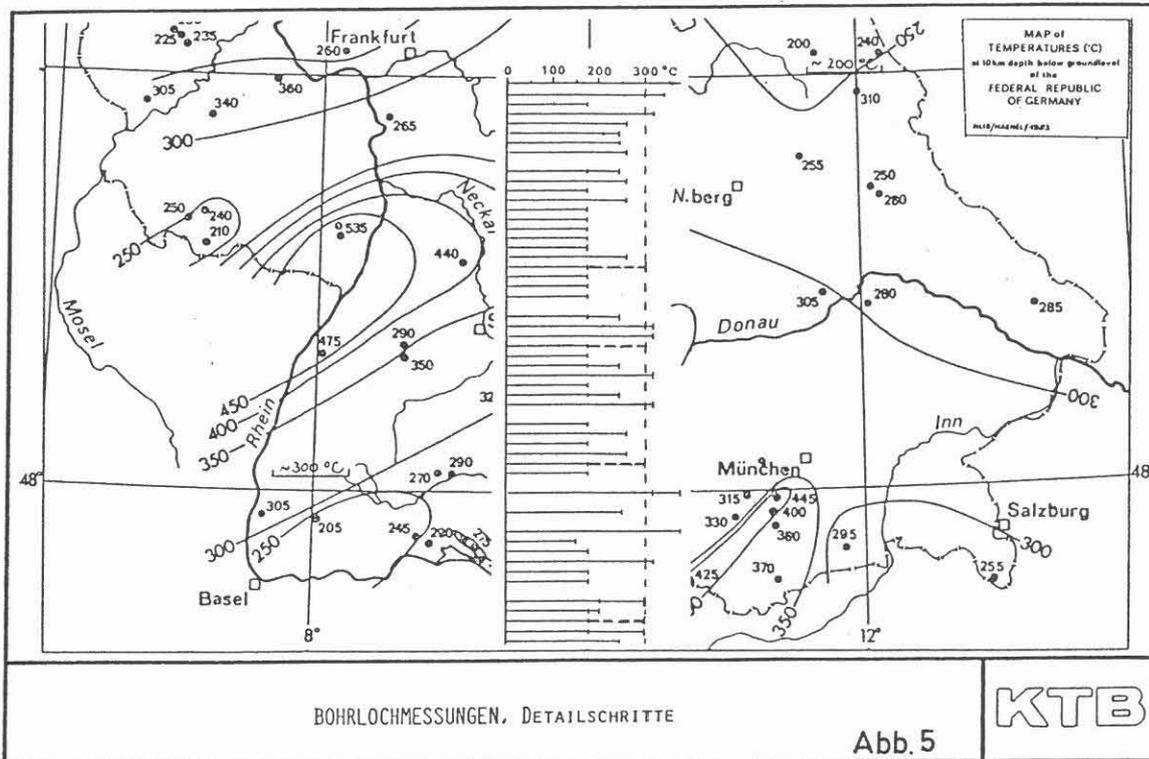
- Beschreibung des thermodynamischen Zustandes:  
Temperatur, Druck, Flüssigkeitsproben  
Geräte: Temperaturen, Druck, FS, AMS, NGS, WLM
- Ermittlung der Porenfluide und der Fluidbewegungen:  
Porosität, Permeabilität  
Geräte: HIT, SDT/WF, LDT/CNL/NGS, DLL/MSFL
- Strukturelle und texturale Beschreibung:  
Kluftsysteme, Einfallen, Streichen  
Geräte: BHTV, FMST, SHDT
- Voraussagen für Bohrtechnik und Wissenschaft:  
Reflexionshorizonte, Geschwindigkeiten, Geschwindigkeitsänderungen (VSP)  
Geräte: Geophone
- Standfestigkeit der Bohrung:  
Spannungsfeld, Break-out Orientierung  
Geräte: Hydrofrac Test Tool, BGT

Diese Prioritätenliste ist zugleich Entscheidungsgrundlage dafür, welche Methoden ggf. schwerpunktmäßig weiterentwickelt und gefördert werden sollten, um die gesteckten Projekt-Ziele zu erreichen.

Die im Jahre 1983 durchgeführte Marktstudie über verfügbare Meßinstrumente wurde auf den neuesten Stand gebracht (verlängerte Balken in Abb. 4). Die unterbrochenen Linien geben an, daß im Sinne der Prioritätenliste Entwicklungsarbeit zur Erreichung der 300 °C-Einsatzgrenze unbedingt notwendig ist - entsprechende Maßnahmen wurden bereits eingeleitet. Weiterentwicklung über 300 °C hinaus würde den finanziellen Rahmen des KTB-Projektes sprengen.



In Abb. 5, einem Kartenausschnitt des Temperaturfeldes in 10 km Tiefe, werden die Temperatureinsatzgrenzen der Meßgeräte dem bisher bekannten Temperaturfeld der Oberpfalz und des Schwarzwaldes gegenübergestellt. Damit sollen noch einmal die Grenzen der Geräteeinsatzmöglichkeiten im Falle einer Bohrtiefe von 14 km verdeutlicht werden. Gleichzeitig wird daraus ersichtlich, daß die von drei unterschiedlichen Arbeitsgruppen ermittelten Ergebnisse - auf der Basis des konduktiven Wärmetransports - recht gut übereinstimmen. Für den Schwarzwald ist eine Temperaturerniedrigung aufgrund von Wasserbewegung in größerer Tiefe nicht auszuschließen.



BOHRLOCHMESSUNGEN, DETAILSCHRITTE

Abb. 5

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

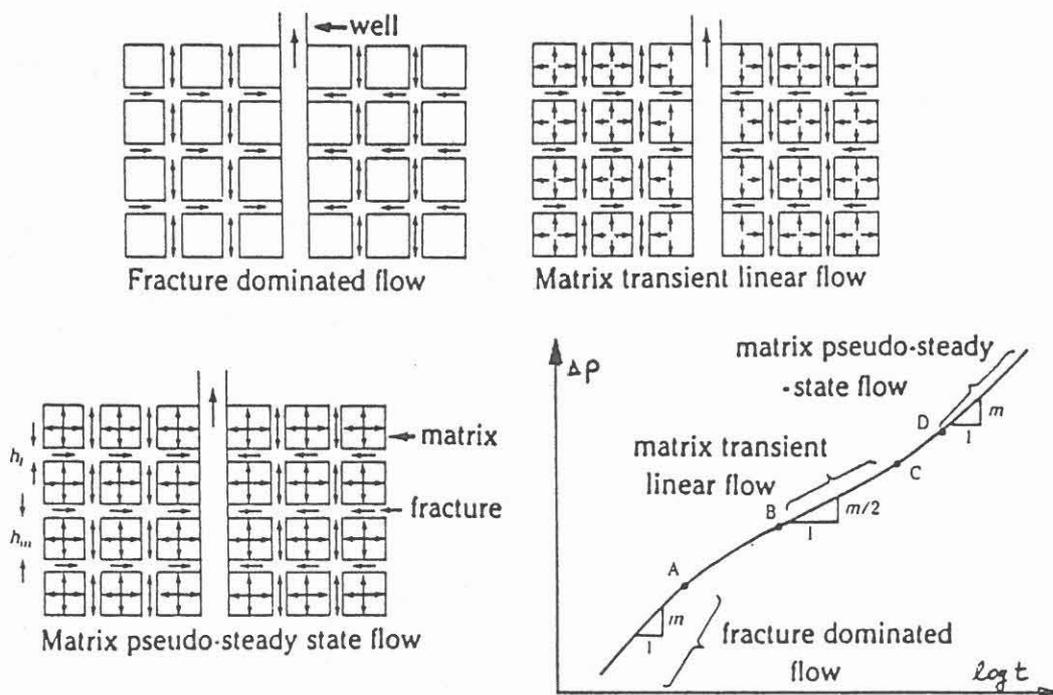
Die zur Verfügung stehenden Bohrlochsonden wurden für den Einsatz in sedimentären Gesteinen entwickelt; ihre Übertragbarkeit ist daher im einzelnen noch zu überprüfen. Einige hierfür zu berücksichtigende Problempunkte sind in Abb. 6 aufgelistet, ebenso die Anzahl der Arbeitsgruppen aus Hochschulen und Ämtern, die auf diesem Gebiet tätig sind. Die beigegefügte Skizze soll auf ein weiteres wesentliches, aber noch nicht eindeutig gelöstes Problem hinweisen; auf die Wegsamkeit von Fluiden. Die hydraulischen Tests werden sicher ein Meßergebnis liefern (unten rechts), doch die Möglichkeit einer sinnvollen Interpretation hängt davon ab, inwieweit das Kristallin durch ein geeignetes Interpretationsmodell approximiert werden kann. Aus der Vielzahl der Modelle wurden drei skizziert.

Notwendige Neu- und Weiterentwicklungen wurden, ausgenommen Packerelemente, gemäß Abb. 7 in Angriff genommen. Weitere Details hierzu können der Arbeit FKPE (1986) entnommen werden. Im unteren Teil ist das Schema einer kombinierten Kühleinheit dargestellt.

## ÜBERTRAGBARKEIT AUF KRISTALLINE GESTEINE

- WIDERSTANDSMESSUNGEN: HOCHOHMIGES KRISTALLIN
- NEUTRONENSONDEN: OPTIMIERUNG DER ENERGIEFENSTER
- POROSITÄT, PERMEABILITÄT:  $P \leq 3 \%$ ,  $k \approx 10^{-9} - 10^{-12} \text{ ms}^{-1}$
- HYDRAULISCHE TESTE: PACKER (T, t,  $\Delta P$ )
- INTEGRIERTE INTERPRETATION: OPTIMIERUNG VON KOMBINATIONEN

### 9 ARBEITSGRUPPEN, INDUSTRIEVERHANDLUNGEN



BOHRLOCHMESSUNGEN, DETAILSCHRITTE

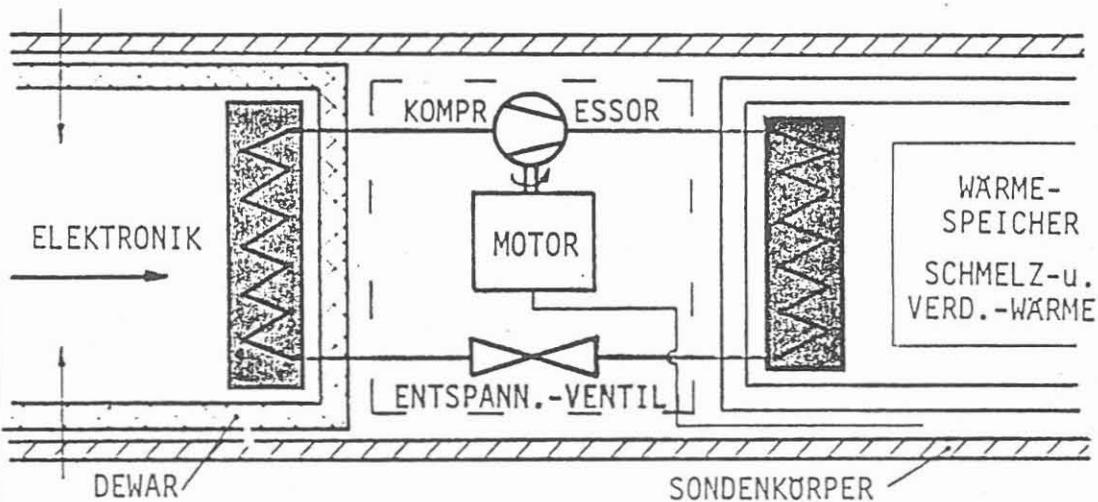
**KTB**

Abb.6

## NEU- UND WEITERENTWICKLUNGEN

- . KÜHLUNG: WÄRMESENKEN, PELTIERELEMENT, MITTELS SPÜLUNG
- . TEMPERATURBEREICHS-ERWEITERUNG: Z.B. WÄRMELEITFÄHIGKEISSONDE, MAGN. SUSZEPTIBILITÄT, SPANNUNGSMESSUNGEN
- . HYDRAULISCHE TEST-TOOLS: PACKER
- . WEITERENTWICKLUNGEN: Z.B. AKUST. TELEVIEWER, TRANSIENTE ELEKTROMAGNETIK
- . NEUENTWICKLUNGEN Z.B. 3-ACHS. FLUXGATE MAGNETOMETER, SPANNUNGSMESSUNGEN

10 ARBEITSGRUPPEN, INDUSTRIEVERHANDLUNGEN



BOHRLOCHMESSUNGEN, DETAILSCHRITTE

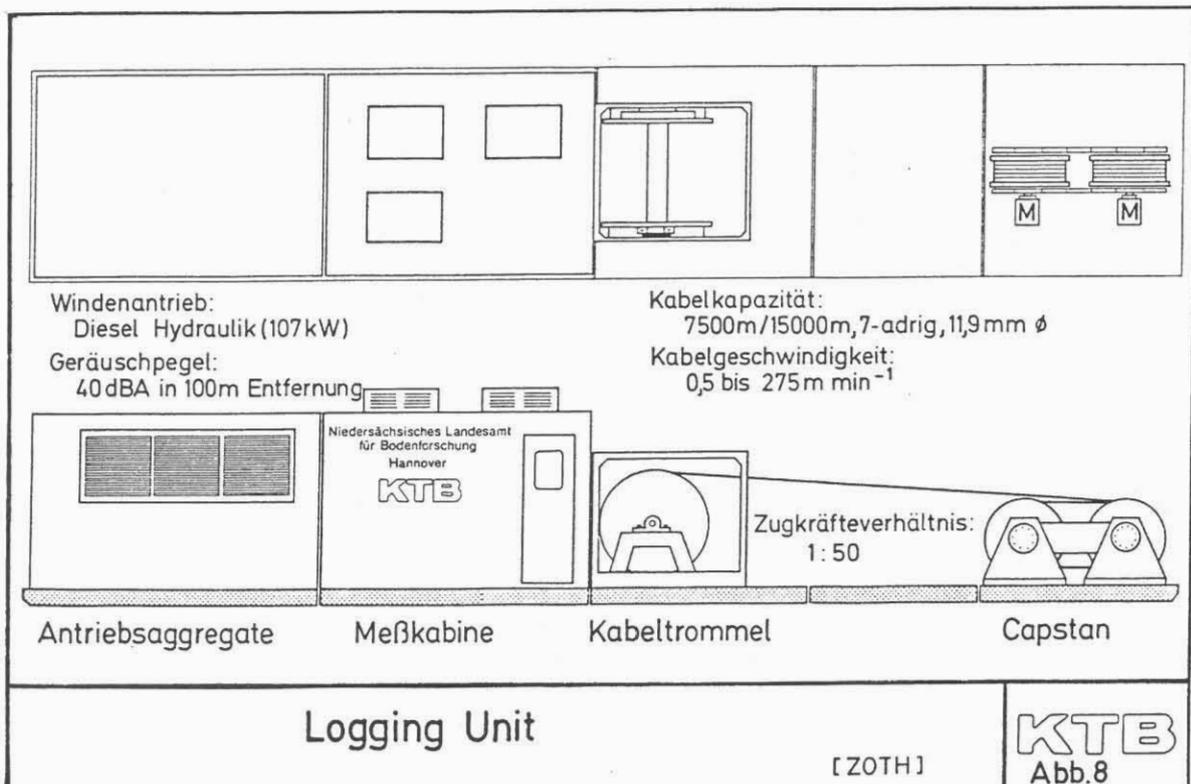
**KTB**

Abb.7

Schließlich wurden mehrere Auswertegruppen geschaffen mit dem Ziel, Auswertungen sicherzustellen, die über das Maß der von den Service-Firmen angebotenen Auswertungen hinausgehen:

- |                                |            |
|--------------------------------|------------|
| - Geothermik                   | Burkhardt  |
| - Porosität, Permeabilität     | Schopper   |
| - Geohydraulik                 | Pusch      |
| - Lithologie, Struktur, Textur | Wohlenberg |
| - Seismik                      | (?)        |
| - Spannungsmessungen           | Born       |
| - Elektr. Messungen            | Greinwald  |
| - Gravimetrie                  | Richter    |
| - Magnetik, Magnetotellurik    | Bosum      |

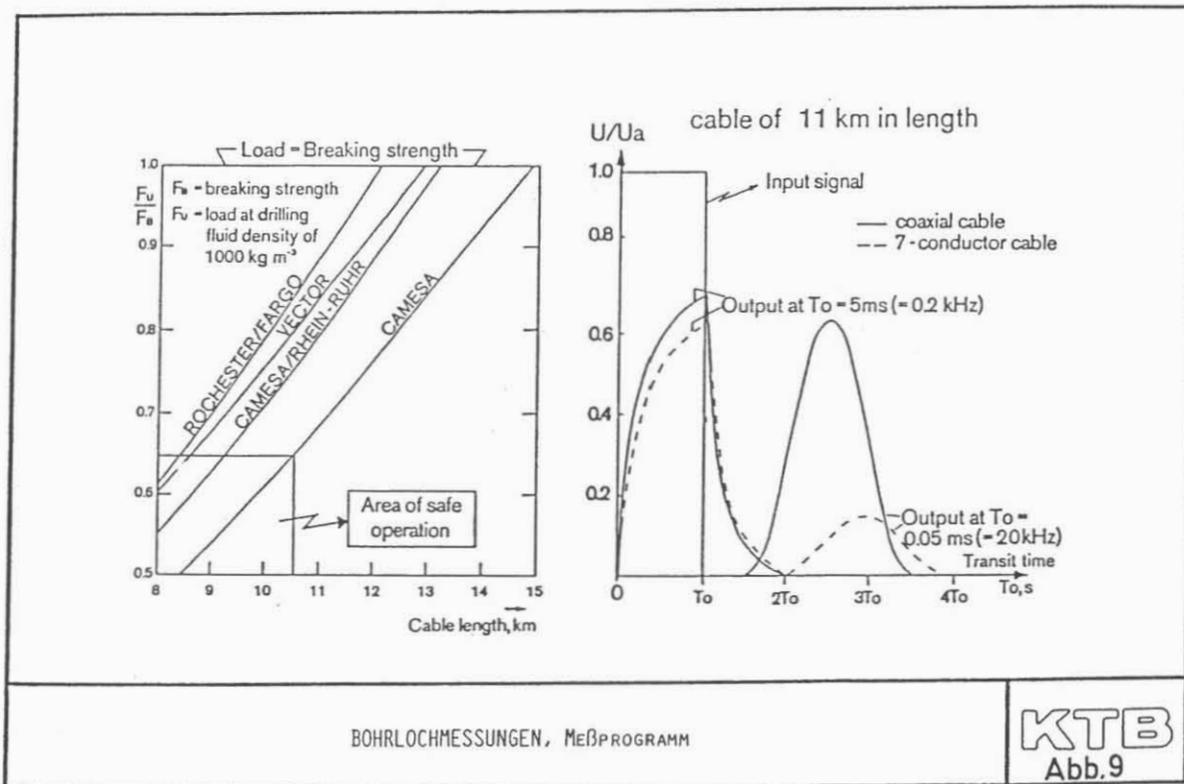
Es ist vorgesehen, daß sowohl für die Pilotbohrung als auch für die supertiefe Bohrung ständig eine Logging Unit zur Verfügung steht. Dabei ist an eine schallgedämmte, ausbaufähige modulare Logging Unit gedacht; Abb. 8. Für Tiefen über 7 km wird eine Capstan Unit hinzugefügt. Diese bewirkt eine Zugentlastung für das Kabel auf der Speichertrommel.



Im Falle von Kabellängen mit  $> 10$  km werden die Zugfestigkeitsgrenzen sehr schnell erreicht; Signalverzerrungen sind ebenfalls zu erwarten (Abb. 9). Doch in beiden Fällen bieten sich Lösungen an, um Messungen bis in ca. 14 km Tiefe ausführen zu können. Die Temperatureinsatzgrenze liegt - analog den Meßgeräten - ebenfalls bei ca. 300 °C (Abb. 10).

Meßprogramme für die Realisierung der wissenschaftlichen Zielvorstellungen wurden bereits in der KBB-Studie (1983) und von DEVAY et al. (1986) aufgestellt. Ein umfassender Versuch ist in dem Bericht von DEVAY et al. (1986) wiedergegeben, der zugleich als Planungsgrundlage für die Projektleitung des KTB dienen soll.

In Abb. 11 und 12 ist das Meßprogramm schematisch im Sinne der Logging Strategie noch einmal dargestellt. Im Falle der supertiefen Bohrung muß man jedoch davon ausgehen, daß Messungen, die erst nach Fertigstellung der Bohrarbeiten ausgeführt werden sollen, z. T. bereits während des Abteufens notwendig sind. Dies wird durch die "einseitigen" Pfeile wiedergegeben. Im übrigen wird auf den Bericht DEVAY et al. (1986) verwiesen.



Manufacture	Camesa/ USA	Rochester/ USA	Vector cable/ USA	US Steel Corp.	Vector cable/ USA	Rochester/ USA
Cable type	7 J46 TFE 7-cond.	7-430 7-cond.	7-46 PFA 7-cond.	7-cond.	2-23 Coax coaxial	2-H-314 C coaxial
Max. length available	12 000 m	13 000 m	12 500 m	13 000 m	15 000 m	10 000 m
Weight	509 kg/km	568 kg/km	521 kg/km	536 kg/km	155 kg/km	277 kg/km
Breaking strength	8 165 kg	8 462 kg	9 723 kg	9 080 kg	2 924 kg	4 140 kg
Temp. rating	315°C	315°C	296°C	288°C	300°C	190°C
Insulation type	TFE	TFE	PFA	PFA	PFA	Datex

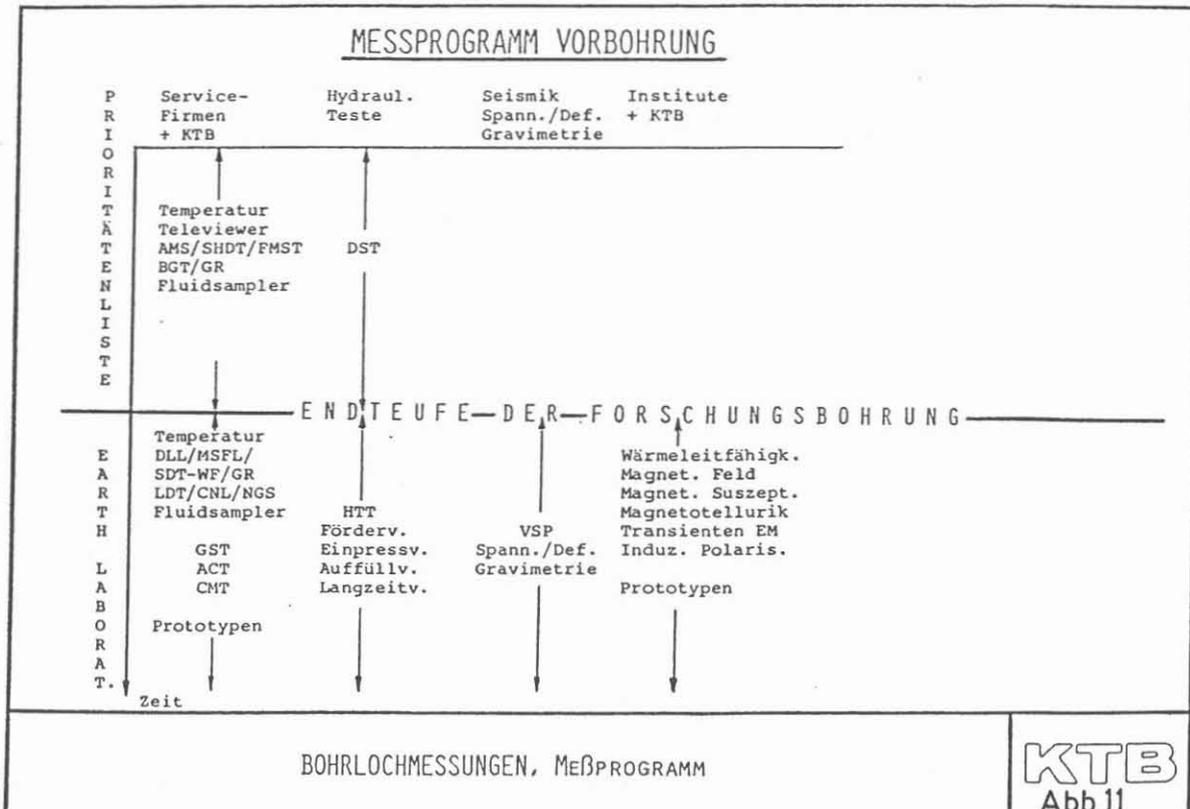
  

D.C. armour resistance	4 Ohm/km	4 Ohm/km	?	4.1 Ohm/km	
D.C. conductor resistance	34.45 Ohm/km	34.45 Ohm/km	23.7 Ohm/km	36.1 Ohm/km	1 : 34.1 Ohm/km a : 12.5 Ohm/km
Capacitance cond. to serve	131 nF/km	131 nF/km	131 nF/km	131 nF/km	131 nF/km
Insulation cond. to serve	2.2 nS/km	2.2 nS/km	15 pS/km	3.3 nS/km	2.2 nS/km
Voltage rating	1000 VDC	1000 V DC	2000 VDC	1000 V eff.	760 V eff.

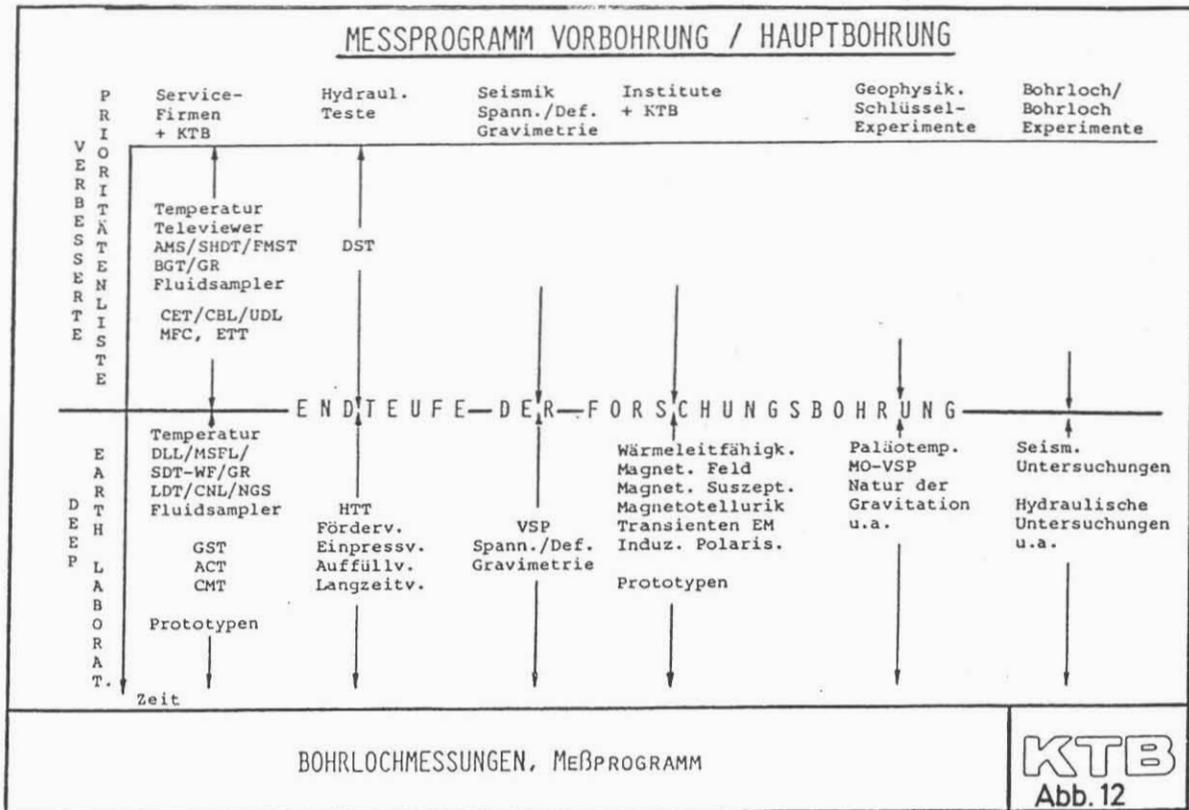
BOHRLOCHMESSUNGEN, MEßPROGRAMM

**KTB**  
Abb.10

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung



Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung



Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

### 3.2.6 Literatur

- DEVAY, L., FRIES, A.P. & HÄNEL, R. (1983): Tätigkeitsbericht der Arbeitsgemeinschaft Bohrlochmessungen (ARGE 2); Kontinentales Tiefbohrprogramm. - NLfB, Archiv, Nr. 95173, Hannover.
- DEVAY, L., DRAXLER, J. & HÄNEL, R. (1986): Konzept eines Meß- und Untersuchungsprogrammes für die Vor- und Hauptbohrung des Kontinentalen Tiefbohrprogramms. - NLfB, Archiv, Nr. 99550, Hannover.
- FKPE (1986): Geophysikalische Schlüsselexperimente in der KTB. - Forschungskollegium Physik des Erdkörpers, Bochum.
- KBB (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. - Kavernen Bau- und Betriebs-GmbH, Hannover.