

### 3 FACHBEREICH OPERATIVE GEOLOGIE

#### 3.1 KEHRER, P.: Konzept einer optimalen Datenanalyse an Vor- und Hauptbohrung

##### 3.1.1 Zusammenfassung

Eine optimale "Datengewinnung" aus Vor- und Hauptbohrung ist Voraussetzung für den Erfolg des Kontinentalen Tiefbohrprojektes der Bundesrepublik Deutschland. Das entsprechende Konzept muß berücksichtigen, daß einerseits die wissenschaftlichen Ziele erreicht werden, andererseits sind den technischen Möglichkeiten wie Bohrtechnik (Risiko) und Meßtechnik Rechnung zu tragen, sowie Aspekte des Programm-Budgets und Zeitaufwandes zu beachten. Die Organisation dieser Datengewinnung erfordert die Koordination und Mitarbeit aller Beteiligten sowie eine straffe Leitung durch die Projektgruppe KTB.

Zur **Untertage-Datengewinnung** (Logging) sind insbesondere Messungen während des Bohrens (Measurement While Drilling), Bohrlochmessungen, Entnahme von Gesteinsproben (Kerne, Seitenkerne, Bohrklein) und Fluidproben (Flüssigkeiten und Gase) sowie diverse Tests und Experimente im Bohrloch (z. B. Spannungsmessungen), zwischen Bohrloch und Oberfläche (z. B. seismische Geschwindigkeiten) sowie zwischen der Vor- und Hauptbohrung (z. B. elektrische Leitfähigkeiten) geplant.

Die **Übertage-Datengewinnung** der festen, flüssigen und gasförmigen Proben beginnt mit der fachgerechten Probennahme und Probenbehandlung in der "Mud Logging-Unit" unmittelbar am Bohrturm, einer anschließenden intensiven ersten Bearbeitung im Feldlabor auf dem Bohrplatz in den Fachbereichen Geophysik, Geochemie/Mineralogie/Petrologie sowie Geologie/Tektonik und einer anschließenden weiteren detaillierten Bearbeitung der Proben in den Laboratorien der am Projekt mitarbeitenden Hochschulen. Im Feldlabor sollen insbesondere die Parameter gemessen und analysiert werden, die zeitlichen Veränderungen unterliegen, routinemäßig kontinuierlich bzw. diskontinuierlich erfaßt werden müssen bzw. die Basis für schnelle Entscheidungen bilden.

Zu dem für das KTB erarbeiteten "Konzept Datengewinnung" ist zu bemerken, daß zunächst die auf dem Markt vorhandenen bewährten Strategien, insbesondere die Erfahrung der Erdöl- und Service-Industrie, genutzt werden. Kommerzielle Anbieter aus dem Bereich der Bohrlochmessungen sollen die Aufgaben abdecken, die optimal von ihnen durchgeführt werden können. Andererseits trägt das Konzept den Besonderheiten dieser Forschungsbohrung Rechnung, die darin begründet sind, daß es sich hier um kristallines Gebirge im Gegensatz zu sedimentären Schichten wie im Bereich der Erdöl-/Erdgas-Exploration handelt: Umfang und Genauigkeit der benötigten Daten liegen über den Ansprüchen kommerzieller Bohrungen. Es müssen Langzeit-Messungen und -Tests durchgeführt werden, und wegen der großen Teufe ergeben sich Probleme hinsichtlich Temperatur und Druck. Außerdem arbeitet eine größere Zahl von Arbeitsgruppen diverser Disziplinen an diesem Projekt mit.

### 3.1.2 Einführung

Zur Erreichung der von den Geowissenschaften im Rahmen des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland vorgegebenen Zielsetzung ist es notwendig, einerseits eine übertiefe Forschungsbohrung abzuteufen, wofür der Fachbereich Technik im Rahmen der Projektleitung zuständig ist, andererseits während und nach Beendigung der Bohrung eine optimale Datenakquisition zu gewährleisten, um ein Maximum an Informationen aus dieser Bohrung zu gewinnen. Für diesen Bereich ist der Fachbereich "Operative Programmdurchführung" im Rahmen der Projektleitung zuständig.

Diese Vorgaben stehen im Spannungsfeld zwischen der Bohrtechnik einerseits, die insbesondere ein ungestörtes, kostengünstiges und sicheres Bohren zum Ziele hat und kein Risiko für das Bohrloch eingehen kann, und der Wissenschaft, die verständlicherweise den Wunsch nach einer Vielfalt von Daten höchster Genauigkeit hat sowie eine Reihe von Langzeitbeobachtungen durchführen will.

Der Bereich der Datengewinnung läßt sich zunächst in die beiden Gebiete "Untertage" und "Übertage" unterteilen. Zu den Möglichkeiten der Datengewinnung "Untertage" gehören u. a. die Messungen während des Bohrens, die Gesteinsprobenentnahme, wie z. B. das konventionelle Kernen bzw. das Entnehmen von Seitenkernen nach Beendigung der Bohrung, die Probenahme von Fluiden (Gasen, Flüssigkeiten), der umfangreiche Bereich der Bohrlochmessungen sowie Tests und Experimente. Die Möglichkeiten der Datengewinnung "Übertage" umfassen insbesondere die Probenahme nach Austritt an der Oberfläche und die Aufbereitung der festen und flüssigen bzw. gasförmigen Proben im Rahmen der Bohrungsbearbeitung. Diese erfolgt im Feldlabor an der Bohrung, wo eine größere Zahl von sofort notwendig werdenden Messungen durchgeführt werden kann, sowie für Spezialuntersuchungen in Laboratorien an anderen Orten.

### 3.1.3 Organisation

Der Fachbereich "Operative Programmdurchführung" in der Projektleitung KTB hat die Aufgabe, die Bohrungsbearbeitung zu konzipieren und zu organisieren mit dem Ziel einer optimalen Datengewinnung in enger Abstimmung mit:

- Fachbereichen Technik und Geowissenschaften der Projektleitung
- Hochschul-Forschungsteams
- Schwerpunkt KTB (DFG)
- Koordinierungsausschuß KTB
- beteiligten Ressorts
- Arbeitsgemeinschaften "Bohrlochmessungen" und "Feldlabor"
- Bohr- und Service-Industrie.

Eine straffe Organisation durch die Projektleitung KTB mit Koordination der am Projekt beteiligten Mitarbeiter ist notwendig. Eine schnelle Datenverarbeitung und erste Interpretation an der Bohrung als Grundlage für laufende Entscheidungen, z. B. Festlegung der zu kernenden Intervalle, sowie als Basis für die nachgeschalteten detaillierten Untersuchungen, muß durch die Organisation sichergestellt werden.

### 3.1.4 Untertage-Datengewinnung (Logging)

#### 3.1.4.1 Möglichkeiten

Die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten der Untertage-Datengewinnung sollen für das Projekt intensiv genutzt werden. Dazu gehören u. a. die Entnahme von Gesteinsproben im Bohrloch (Kerne und Seitenkerne). Flüssigkeits- und Gasproben können einerseits aus der Spülung, andererseits durch Teste (Zuflüsse) gewonnen werden.

Einen wichtigen Bestandteil der Untertage-Datengewinnung stellen die sog. Bohrlochmessungen dar ("Wireline-Logging"), bei denen an einem Kabel geführte Sonden diverse physikalische Parameter messen. Experimente, wie z. B. Spannungsmessungen im Bohrloch, oder zwischen beiden Bohrlöchern der Vor- und Hauptbohrung sowie zwischen Oberfläche und Bohrloch, sind ebenfalls ein wichtiger Bestandteil der Datengewinnung. Zu nennen ist noch das Verfahren des "Messens während des Bohrens" ("Measurement While Drilling"), das aber beim heutigen Stand der Technik sehr kostenintensiv ist und nur die Messung einer begrenzten Zahl von Parametern zulässt.

#### 3.1.4.2 Probennahme

Die Probennahmen von Gesteinen (Kernen) und Fluiden (Flüssigkeiten und Gase) in der Bohrung sind für die Bewertung der durchteuften Schichten von größter Wichtigkeit. Die Gesteinsprobenentnahme ist ganz wesentlich an die zu verwendende Bohrtechnik gebunden (u. a. MARX und RISCHMÜLLER 1986). Beim Kernen lassen sich grundsätzlich unterscheiden:

- Kernen als Teil des Bohrvorgangs zum Vertiefen der Bohrung
- Seitenkernen aus der Bohrlochwand nach Durchteufen des Gebirges.

Für die geologische Bearbeitung sind die "normalen Kerne" von weit größerer Aussagekraft, da sie einen größeren zusammenhängenden Teil des Gebirges der vertikal durchteuften Schichten repräsentieren, während die Seitenkerne nur wenige cm messende kleinere Gesteinsstücke aus der Seitenwand des Bohrlochs darstellen.

Die Seitenkerne haben jedoch den Vorteil, daß sie auch nach Beendigung des Bohrvorgangs in den Bereichen genommen werden können, die während des Durchteufens des Gebirges aus Kostengründen nicht gekernt wurden. Deswegen sind auch Seitenkerne für bestimmte Untersuchungen unverzichtbar. Sie stehen in ihrem wissenschaftlichen Untersuchungswert praktisch zwischen den Vollkernen und dem mit der Spülung ausgetragenen Bohrklein, das aus der Zerstörung des Gesteins mit dem Meißel herrührt.

Die Art des Kernens hängt von der Bohrtechnik ab. In der auf 3 000 m ausgelegten Vorbohrung, die im Falle guter technischer Realisierung auf 5 000 m vertieft werden soll, soll eine Bergbau-Schürfbohrmethode mit Seilkernen angewandt werden. Dabei soll mit schnell drehenden dünnlippigen Bohrkronen, die nur ein geringes Gesteinsvolumen zu zerstören haben, gebohrt werden, und die Kerne können anschließend mit einem Seil gezogen werden. Dieses aus der Bergbautechnik stammende Bohrverfahren garantiert im allgemeinen in

kristallinen Gesteinen einen guten Bohrfortschritt und einen hohen Kerngewinn mit glattwandigen, zusammenhängenden Kernen. Die Vorbohrung soll mit diesem Verfahren voll gekernt werden, so daß eine Entnahme von Seitenkernen in der Vorbohrung außer zu Testzwecken weitgehend entfallen kann.

Die auf 12 000 bis 14 000 m ausgelegte Hauptbohrung kann aus Kostengründen nicht voll gekernt werden. Für die von der Vorbohrung durchteufte Strecke entfällt ohnehin die Notwendigkeit des Kernens in der Hauptbohrung. Das darunterliegende tiefere Gebirge wird nach wissenschaftlichen Prioritäten und technischen Möglichkeiten in Teilen gekernt. Das Kernens mit der in der Hauptbohrung angewandten Rotarybohrtechnik in hartem Gestein hat oft nur ein begrenztes Potential mit geringen Bohrfortschritten, kurzen Meißel-Standzeiten und geringerem Kerngewinn als im sedimentären Gebirge.

In ausgewählten, nicht gekerntem Bereichen der Hauptbohrung werden Seitenkerne genommen werden müssen. Dabei gibt es prinzipiell mehrere technische Methoden, die im kristallinen Gebirge und wegen der Temperaturen in größeren Teufen z. T. nicht einsatzfähig sind:

- Beim "Horizontalen Seitenkernen" ("Sidewall Horizontal Coring Tool") werden im sedimentären Gebirge eine Reihe von Seitenkernen aus der Bohrlochwand herausgeschossen. Für kristallines Gebirge bietet die Industrie ein an einem Kabel eingeführtes Seitenkerngerät an, das mittels Elektromotoren als Antrieb 12 Kerne (24 x 28 mm) aus der Bohrlochwand herausbohrt. Dieses Gerät ist jedoch nur bis 150 °C einsetzbar und bis zu einem Druck von 1 400 bar. Neben der Temperaturgrenze ist das Gerät zur Tiefe hin weiterhin begrenzt durch die Schwierigkeit, die notwendige elektrische Energie über das Kabel vor Ort zu bringen.
- Das "Schrägwinkel-Seitenkerngerät" ("Sidewall Angle Core Barrel") wurde vom "Institut für Tiefbohrtechnik" (u. a. MARX und RISCHMÜLLER 1986) über ein BMFT-Vorhaben entwickelt mit guten Resultaten im sedimentären Gebirge, muß aber für den Einsatz in kristallinen Gesteinen noch weiterentwickelt werden. Bei diesem Verfahren wird ein ca. 30 cm langer Kern schräg mit einem kleineren Kernrohr aus der Bohrlochwand herausgebohrt, nachdem es mittels eines Keils im Bohrloch entsprechend abgelenkt wurde.
- Die dritte Möglichkeit bietet ein Gerät, das am Kabel ins Bohrloch eingeführt wird und mittels Diamantsägen ein dreieckförmiges ca. 1 m messendes Gesteinsstück vertikal aus der Bohrlochwand herausfräst. Technische Schwierigkeiten bei bisherigen Einsätzen und die Begrenzung zur Tiefe hin wegen des Problems des Vorortbringens der notwendigen elektrischen Energie und der Temperaturen lassen nur einen begrenzten Einsatzbereich erwarten.

Für die Probennahme von Fluiden (das sind Flüssigkeiten und Gase) stehen folgende drei Methoden zur Verfügung:

- Kabelteste (z. B. "Repeat Formation Tester"): Bei den Kabeltesten wird eine Sonde eingefahren, von der aus ein Fühler gegen die Bohrlochwand zur Aufnahme von Gasen und Flüssigkeiten gepreßt wird. Bei den geringen Matrixporositäten in kristallinen Gesteinen und bei dem praktisch nur punktförmig erfaßten Bohrlochabschnitt hat diese Methode wohl kaum Erfolgchancen für das Projekt.

- Gestängeteste ("Drill Stem Test"): Bei den Gestängetesten werden bestimmte vertikale Abschnitte der Bohrung durch an die Bohrlochwand angepreßte "Packer" vom hydrostatischen Druck der Spülungssäule abgedichtet, so daß Flüssigkeiten und Gase aus dem Gebirge in das Gestänge hineinfließen können.
- Fluid Probennahme: Bei der Fluid-Probennahme ("Fluid Sampler") werden an Kabeln eingeführte Sonden in definierte Bereiche des Bohrlochs hinabgelassen, in denen Zuflüsse erwartet werden, und aus der Spülung Proben entnommen. Der Nachteil ist, daß die entnommenen Proben naturgemäß Mischproben von Zuflüssen aus dem Gebirge und Spülung darstellen.

Zusammenfassend zu den Möglichkeiten der Probennahme im Bohrloch läßt sich sagen, daß

- hinsichtlich der Gesteinsprobennahme das volle Kern aus wissenschaftlicher Sicht die meisten Ergebnisse verspricht, wobei insbesondere beim Seilkernen im Rahmen des Schürfbohrrens gute Ergebnisse zu erwarten sind,
- auf Seitenkerne in vorher nicht gekernten Bereichen nicht verzichtet werden kann, die technischen Möglichkeiten aber aus heutiger Sicht durchaus begrenzt sind,
- bei der Probennahme von Fluiden die technisch aufwendigeren Gestängeteste den relativ besten Erfolg versprechen, während die Kabelteste kaum Ergebnisse bringen dürften. Die technisch relativ einfachen Fluid-Sampler werden häufig eingesetzt werden, erbringen aber nur gemischte Proben von Zuflüssen und Spülung.

#### 3.1.4.3 Bohrlochmessungen

Darunter sind die Messungen mit Sondenkörpern am Kabel ("Wireline-Logging") sowie die Experimente im Bohrloch und von Bohrloch zu Bohrloch zu verstehen.

Bohrlochmessungen ("Wireline-Logging") werden insbesondere bei der Erdöl-/Erdgasexploration angewandt. Von speziellen Service-Firmen werden eine größere Zahl von Meßinstrumenten sowie die entsprechende Datenverarbeitung und Interpretationsmethoden angeboten. In geringerem Umfang werden Bohrlochmessungen auch bei der Suche nach anderen Rohstoffen wie Kohle, Erzen, Grundwasser etc. benutzt.

Die Probleme, die sich für die Übernahme der konventionellen Bohrlochmessungen ergeben, sind insbesondere darin bedingt, daß die gängigen Messungen im allgemeinen für Sedimentgesteine und nicht für kristallines Gebirge entwickelt wurden. Außerdem sind sie entsprechend den Anforderungen der heutigen Kohlenwasserstoffexploration für Tiefen bis max. 8 000 m, Drücken bis etwa 1 500 bar, sowie für Temperaturbereiche bis zu 170 - 180 °C ausgelegt, nur in Ausnahmefällen sind bereits Weiterentwicklungen bis in den Bereich von ca. 250 °C erfolgt. Letzteres insbesondere durch eine Weiterentwicklung der kommerziellen Exploration für größere Tiefen und durch die in den letzten Jahren ausgeführten Geothermik-Projekte. Im Rahmen der Bohrlochmessungen kommen eine größere Zahl geophysikalischer Methoden zum Einsatz wie Seismik, Geoelektrik, Magnetotellurik, Geothermik, Gravimetrie, Kernphysik sowie Magnetik.

Das von der Projektleitung KTB in Zusammenarbeit mit dem Schwerpunkt KTB entworfene Vorprogramm für Messungen und Tests in der Vorbohrung entspricht den von den Geowissenschaften geforderten Prioritäten und berücksichtigt die bereits in Bohrungen des Kristallins gemachten Erfahrungen. Die genaue Ermittlung der Temperaturen und des Druckes, der Standfestigkeit des Gebirges, die Erkennung der Klüftigkeit als mögliche Bewegungsbahn von Fluiden und die Bewertung der Lithologie und Textur sind Ziel der Untersuchung. Als Vorerkundung für die Hauptbohrung sind seismische Untersuchungen im Bohrloch ("Vertical Seismic Profiling") vorgesehen.

Das Konzept sieht vor, die prioritären Bohrlochmessungen abschnittsweise während des Abteufens der Bohrung durchzuführen, während die weniger prioritären Messungen und Experimente sowie die Langzeitversuche anschließend durchgeführt werden. In dieser ca. 10 Monate umfassenden Langzeit-Testperiode in der Vorbohrung nach Abschluß der Bohrarbeiten sollen Fluidbewegungen, Permeabilität, Wärmeproduktion etc. festgestellt und registriert werden. Die gewonnenen Kenntnisse sollen der Planung für die Hauptbohrung dienen.

Das Meßprogramm in der Vorbohrung hat insbesondere folgende Aufgabe:

- Entlastung der supertiefen Bohrung von Meßarbeiten,
- Übertragbarkeit von Methoden und Sonden auf Kristallin prüfen,
- Erprobung neuer und weiterentwickelter Sonden,
- Korrelation von Bohrlochmessungen und Kernmessungen,
- Experimente von Bohrloch zu Bohrloch,
- Vorbereitungen für geophysikalische Schlüsselexperimente,
- Erfahrungen und Vorbereitungen für die supertiefe Bohrung.

Bei der Tiefbohrung ist die 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 geplant. Anschließend werden nach Abschluß der Bohrarbeiten die Messungen unter Einsatz aller Methoden einschließlich Langzeitbeobachtungen, die nicht in der Prioritätenliste enthalten sind, durchgeführt. Die Gesamtstrategie für Vor- und Hauptbohrung 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. Außerdem ist der Einsatz von Sonden der am Projekt mitarbeitenden Hochschul-Institute geplant.

Soweit kommerziell verfügbar, sollen Routineauswertungen der Meßergebnisse bei den einschlägigen Service-Firmen durchgeführt werden. Für darüber hinausgehende Dateninterpretation wurden in enger Abstimmung zwischen Projektleitung KTB und den am Projekt mitarbeitenden Hochschul-Instituten **Auswertegruppen** auf folgenden Gebieten gebildet:

- Geothermik
- Porosität, Permeabilität

- Geohydraulik
- Lithologie, Struktur, Textur
- Seismik
- Spannungsmessungen
- Elektr. Messungen
- Gravimetrie
- Magnetik, Magnetotellurik.

Noch zu schließende technologische Lücken, die für die Durchführung des KTB-Programms notwendig sind, sollen durch ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm geschlossen werden (siehe unter 3.1.7). Einige Projekte im Bereich der Weiterentwicklungen von Bohrlochmeßsonden wurden bereits in Auftrag gegeben. Weitere Projekte des von der Projektleitung KTB betreuten F- und E-Programms werden z. Zt. definiert und sollen 1987/88 beginnen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß Bohrlochmessungen ein wesentlicher Bestandteil der Untertage-Datenerfassung sind. Nur sie garantieren Parameter, die unter in-situ Bedingungen gemessen worden sind und ergeben ein kontinuierliches geologisch-mineralogisches Profil. Die Kalibrierung der Messungen an vorhandenen Kernen erlaubt die Übertragung der Information auf Zonen, die nicht gekernt worden sind oder in denen Kernverlust zu verzeichnen war. Das sehr kostenintensive Bohren von orientierten Kernen kann entfallen, da mit Hilfe von neueren Verfahren der Bohrlochmeßtechnik wie "Akustik TelevIEWer" und "Formation Micro Scanning Tool" die Nachorientierung von Kernen durchgeführt werden kann.

#### 3.1.4.4 Dauermeßstation (Logging Unit)

Die Einrichtung einer KTB-eigenen, permanenten Dauermeßstation ist notwendig, da dadurch jederzeit Bohrlochmessungen für wissenschaftliche Untersuchungen sowie die bohrtechnische Sicherheit möglich sind, die Nutzung eigener KTB-Sonden sowie von Hochschulen entwickelter Meßsonden gewährleistet ist und nach Abschluß der Bohrarbeiten zeitintensive Messungen bzw. Wiederholungsmessungen kostengünstiger durchgeführt werden können.

Eine bis 7 000 m Tiefe einzusetzende modular gebaute, schallgedämmte Dauermeßstation, die nach entsprechender Umrüstung auch auf den Teufenbereich bis 14 000 m ausgebaut werden kann, wird z. Zt. beschafft. Für Tiefen über 7 000 m wird eine Capstan Unit hinzugefügt. Diese bewirkt eine Zugentlastung für das Kabel auf der Speichertrommel.

Im Falle von Kabeln mit > 10 km Länge werden die Zugfestigkeitsgrenzen sehr schnell erreicht; Signalverzerrungen sind ebenfalls zu erwarten. Doch in beiden Fällen bieten sich Lösungen an, um Messungen bis in ca. 14 km Tiefe ausführen zu können. Die Temperatureinsatzgrenze des Kabels liegt bei ca. 300 °C.

Bei der Diskussion um die Anschaffung einer KTB-eigenen Dauermeßstation im Gegensatz zur Vergabe der kompletten Messungen an die einschlägige Service-Industrie spielten auch die Erfahrungen anderer größerer Forschungsprojekte wie das Geothermik-Projekt in Los Alamos, das englische Geothermik-Projekt in Cornwall sowie die russische Forschungsbohrung Kola SG-3 eine entscheidende Rolle. Hinsichtlich der Möglichkeiten des Einsatzes eines Meßwagens bzw. einer auf Kufen gebauten Skid Unit hat sich nach längerer Diskussion ergeben, daß für die Belange des KTB eine Skid Unit die bessere Lösung darstellt.

#### **3.1.4.5 Teste und Experimente**

Fluidteste und Probenentnahme stellen einen wichtigen Schwerpunkt im Rahmen des Projektes dar. Zu nennen sind Gestänge-Teste (DST), Kabelteste (z. B. RFT) und Probennahme aus der Spülung mit Fluidsamplern in definierten Teufen (siehe unter 3.1.4.2). Unter geophysikalischen Schlüsselexperimenten sind geophysikalische Untersuchungen zu verstehen, die nur mit Hilfe einer supertiefen Bohrung zu realisieren sind. Diese Experimente wurden vom "FORSCHUNGSKOLLEGIUM PHYSIK DES ERDKÖRPERS" in einer Studie besonders ausgewiesen (FKPE 1986). Die Realisierungsmöglichkeiten dieser Schlüsselexperimente werden z. Zt. in diversen Arbeitsgruppen diskutiert.

#### **3.1.5 Übertage-Datengewinnung**

##### **3.1.5.1 Methodik**

Unter diesem Begriff soll die Gewinnung aller denkbaren Daten durch Beschreibungen, Messungen und Analysen von festen, flüssigen und gasförmigen Proben nach ihrem Erscheinen übertage zusammengefaßt werden. Erste Untersuchungen erfolgen in der "Sample Unit" unmittelbar am Turm, umfassendere im nachgeschalteten Feldlabor.

Hierzu ist für das Projekt ein detailliertes Fließschema erarbeitet worden, das Probennahme, Beschreibung, Analytik, Verteilung, Dokumentation, Archivierung etc. aufzeigt. Die Probennahme an der Oberfläche von Spülproben (Cuttings, Bohrklein) und Spülung und die erste Bearbeitung der Proben in der sogenannten "Sample Unit" (Mud Logging Unit) ist, abgesehen von der höheren Probendichte, ähnlich wie bei Erdöl- und Erdgasbohrungen, während das Feldlabor hinsichtlich Ausstattung und Personal bzw. Quantität und Qualität seiner Analytik weit über das hinaus geht, was normalerweise bei kommerziellen Bohrungen vor Ort gemacht wird. Insofern trägt das Feldlabor dem Forschungscharakter der Bohrung Rechnung.

##### **3.1.5.2 Bohrungsbearbeitung**

Unter "Bohrungsbearbeitung" (Mud Logging, Sampling) soll hier die routinemäßige Entnahme von Bohrklein und Spülung, die kontinuierliche Messung von Gasen in der Spülung und die Behandlung der Proben sowie erste Beschreibungen in der unmittelbar am Bohrturm stehenden "Sample Unit" (Mud Logging Unit) verstanden werden, eine Art kleineres Container-Labor. Diese wird vom Projekt angemietet oder angekauft.

Gewöhnlich erfolgt die kontinuierliche Bohrungsbearbeitung anhand des Bohrkleins (Cuttings), das durch die Bohrspülung ausgetragen wird.



Petrographische Beschreibung und Abschätzung der prozentualen Zusammensetzung erlauben Aussagen über die durchteufte Lithologie. Die geologischen Daten zusammen mit den wichtigsten bohrtechnischen Parametern werden laufend in einem sogenannten Sampler-Log festgehalten und digitalisiert gespeichert.

Die routinemäßige Untersuchung der Bohrspülung auf ihre chemische Zusammensetzung vor und nach einem Spülungsumlauf zur frühzeitigen Erkennung sich ändernder Zustände im Bohrloch ist neben der Kontrolle ihrer physikalischen Eigenschaften (z. B. Dichte, Temperatur, elektrischer Widerstand, Viskosität etc.) eine wichtige Maßnahme der geologischen und technischen Überwachung einer Tiefbohrung. In kristallinen Gesteinen liefern die zu erwartenden geringfügigen Gaszutritte in der Spülung Hinweise auf Einflüsse des erbohrten Gebirges sowie das Vorhandensein von Kluftzonen.

### 3.1.5.3 Feldlabor

Im Rahmen der Grundlagenforschung soll das KTB-Feldlabor alle Aufgaben übernehmen, die unbedingt vor Ort, d. h. auf der Bohrlokation und ohne Zeitverzögerung durchgeführt werden müssen. Dazu gehören u. a. die Analyse von Fluiden (Gase/Flüssigkeiten) aus Spülung und Testen, die Untersuchung des Bohrkleins (Cuttings) sowie der Bohrkern, die

- zeitlichen Veränderungen unterliegen,
- routinemäßig kontinuierlich oder diskontinuierlich erfaßt werden müssen,
- eine Basis für nachgeschaltete Spezialuntersuchungen an den Hochschulen darstellen.

Im wesentlichen sind folgende Arbeitsrichtungen im Feldlabor vertreten:

- Geologie/Tektonik (z. B. Aufnahme des Makro- und Mikrogefüges von Bohrkernen)
- Petrologie/Mineralogie (z. B. makro- und mikroskopische Beschreibung)
- Lagerstättenkunde (z. B. makro- und mikroskopische Diagnose von Erz- und Gangmineralien)
- Geochemie (z. B. chemische Analysen von Gasen, Bohrklein und Bohrkernmaterial)
- Geophysik (Bestimmung verschiedener geophysikalischer Eigenschaften)
- Petrophysik (z. B. Relaxationsmessungen an Bohrkernmaterial).

Das Feldlabor wird mit Kernlager eine Fläche von ca. 1 000 m<sup>2</sup> umfassen. Etwa 30 Wissenschaftler und Techniker werden im Dreischichtbetrieb die Messungen durchführen. Diese Wissenschaftler, die von mehreren Hochschulinstituten kommen, sowie die Techniker, die im wesentlichen vor Ort kontraktiert werden sollen, werden über ein DFG-Projekt im Rahmen des KTB-Schwerpunktes angestellt.

Die Projektleitung KTB errichtet das Gebäude, führt den Ankauf der wissenschaftlichen Geräte durch und stellt die Betriebsmittel zur Verfügung. Ihr obliegt die Leitung des Feldlabors, wozu mehrere Mitarbeiter von Hannover zur Bohrung abgestellt werden.

Das Feldlabor ist ein entscheidendes Element im Rahmen des Forschungsprojektes KTB. Dadurch steht eine große Zahl von Messungen, die vor Ort durchgeführt werden und über die entsprechend laufend berichtet wird, allen Mitarbeitern am Projekt zur Verfügung. Die umfassende Erarbeitung wissenschaftlicher Daten sowie ein schneller Datenfluß soll die Basis für weitergehende Untersuchungen und Entscheidungen darstellen. Das Feldlabor soll mit Beginn der Vorbohrung im 3. Quartal 1987 soweit wie möglich arbeitsfähig sein.

Dem Feldlabor angeschlossen ist ein geologisches Zentralmagazin, in dem Kerne, Bohrklein und Spülungsproben zunächst gelagert werden, um jederzeit für die weitere Bearbeitung zur Verfügung zu stehen.

### **3.1.6 Data Unit (Zentrale Computer-Einheit)**

Die in großer Zahl bei der Durchführung der kontinentalen Tiefbohrung anfallenden Meßdaten müssen erfaßt, archiviert und sowohl mit wissenschaftlicher als auch mit operativer Zielsetzung ausgewertet werden. Nach Empfehlung einer Arbeitsgruppe "Zentrale Datenerfassung", die sich aus Vertretern der Industrie, des Schwerpunktes und der KTB-Projektleitung zusammensetzt, sollte an der Bohrstelle ein zentraler Rechner vorhanden sein, der einen schnellen Zugriff für Entscheidungsfindungen des Bohrbetriebs sowie für wissenschaftliche Experimente gestattet. Er soll den Wissenschaftlern eine Auswertung vor Ort ermöglichen und eine Archivierung der Rohdaten gestatten. Dieser Rechner hat 3 periphere Unterrecheneinheiten zusammenzufassen: Die Bohrtechnik, das Feldlabor und die Bohrlochmeßtechnik. Im Rahmen eines DFG-Projektes wurde bereits 1985 ein umfangreicher Bericht "Untersuchungen zu einer Computereinheit für das Deutsche Kontinentale Tiefbohrprogramm" vorgelegt (FRIES und HÄNEL 1985).

Realisiert werden soll schon bis zum Beginn der Bohrarbeiten an der Vorbohrung im 3. Quartal 1987 mit PC's die Datenerfassung und -verarbeitung für die technische Durchführung der Vorbohrung, für das Feldlabor und die Dauermeßstation. Die Installation der gesamten Recheneinheit bis zum Beginn der Vorbohrung ist aus zeitlichen Gründen nicht möglich. Das endgültige Konzept der Data Unit wird z. Zt. noch erarbeitet.

### **3.1.7 Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben**

Im Bereich der Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die von der Projektleitung KTB initiiert und betreut werden, sind eine Reihe von Vorhaben begonnen worden, nachdem die Bewilligung durch den Bundesminister für Forschung und Technologie erfolgt ist. Hierzu gehören die Entwicklung von Bohrloch-Meßsonden wie Televier und Wärmeleitfähigkeitssonde, Probleme der Kühlung von Sonden bei hohen Temperaturen, die Installation einer Monitor-Station zur Messung von Spannungen in der Vorbohrung, sowie thermomechanische/gebirgsmechanische Berechnungen.

Weitere Projekte befinden sich in der Planung und sollen 1987 begonnen werden. Partner in den KTB F- und E-Vorhaben sind Industriefirmen, Hochschulinstitute und Geologische Landesämter.

### 3.1.8 Technische Limitationen

Hinsichtlich der technischen Limitationen der Datengewinnung ist anzumerken:

- Temperatur:  
Im Normalfall sind die Bohrlochmeßgeräte bis ca. 170 - 180 °C ausgelegt, eine Reihe von Meßsonden ist jedoch bereits bis 250 °C einsetzbar ("Hostile Environment Logging), ganz vereinzelt bis 300 °C verfügbar. Weitere Entwicklungen bis 300 °C laufen bzw. werden noch initiiert, über 300 °C ist jedoch mit extremen meßtechnischen Schwierigkeiten zu rechnen.
- Teufe:  
Kerngewinnung und Teste werden mit zunehmender Teufe erschwert, Tragfähigkeit der Kabel bis 11 - 12 km verfügbar, 12 - 14 km sind jedoch mit Modifikationen am Kabel erreichbar.
- Druck:  
Bohrlochmeß-Sonden sind als Sonderanfertigung bereits bis 2 100 bar (30 000 psi) ausgelegt und erprobt. Mit höheren Drücken wird bei diesem Projekt nicht gerechnet.
- Spülung:  
In größerer Tiefe und bei höheren Temperaturen notwendige komplexere Spülungen erschweren Aussagefähigkeit der Analysen, Erkennen von Zuflüssen und Probennahme.

### 3.1.9 Konzept

Das von der Projektleitung KTB in Zusammenarbeit mit dem Schwerpunkt KTB und dem Koordinierungsausschuß KTB erarbeitete und im vorherigen kurz skizzierte Konzept der Datengewinnung aus Vor- und Hauptbohrung versucht sowohl der wissenschaftlichen Zielsetzung als auch den technischen Möglichkeiten wie auch dem vorgegebenen Kostenrahmen gerecht zu werden.

Zur **Untertage-Datengewinnung** (Logging) ist in diesem Rahmen zu bemerken:

- Bohrlochmeß-Programm
  - . Während der Bohrphase abschnittsweise Durchführung der prioritären Messungen, auch unter dem Gesichtspunkt der Datensicherung und schnellen Auswertung
  - . Nach der Bohrphase Durchführung der übrigen Messungen und der Langzeit-Versuche
- Kerngewinnung
  - . Kerne über die gesamte Bohrteufe in der Vorbohrung, nur in Teilbereichen der Hauptbohrung nach geowissenschaftlichen Vorgaben und technischen Möglichkeiten
  - . Seitenkerne nach Abteufen beider Bohrungen in ausgewählten Bereichen nach Auswertung der Logs und Teste

- Experimente/Teste im Bohrloch und zwischen beiden Bohrlöchern nach wissenschaftlicher Priorität, Zeitaufwand und Risiko.

Zur **Übertage-Datengewinnung:**

- Im Rahmen der Bohrungsbearbeitung werden in einer "Sample Unit" (Container) unmittelbar am Turm analog kommerzieller Erdöl-/Erdgas-Bohrungen die Spülproben aufbereitet, erste Beschreibungen und Untersuchungen durchgeführt sowie die Gase in der Spülung laufend gemessen.
- In einem Feldlabor auf dem Bohrplatz werden zahlreiche Untersuchungen vor Ort durchgeführt, die
  - . zeitlichen Veränderungen unterliegen
  - . kontinuierlich erfaßt werden müssen
  - . Grundlage nachgeschalteter Untersuchungen sind.

Das Konzept beinhaltet sowohl bewährte Untersuchungsmethoden/Strategien der Tiefbohrindustrie bzw. der Erdöl-/Service-Industrie und nutzt die Erfahrung kommerzieller Anbieter durch Vergabe entsprechender Aufträge, trägt jedoch andererseits den Besonderheiten des KTB-Forschungsprojektes Rechnung, die u. a. darin bestehen:

- Kristalline Gesteine statt sedimentäres Gebirge,
- Hohe Ansprüche an Umfang und Genauigkeit der Daten,
- Langzeit-Messungen bzw. Versuche/Teste,
- Mitarbeit zahlreicher Disziplinen und Arbeitsgruppen,
- Durch übergroße Tiefe bedingte Probleme wie Druck und Temperatur.

Das Konzept "Datengewinnung Vor- und Hauptbohrung" für das KTB-Projekt läßt sich wie folgt zusammenfassen:

- Versuch einer optimalen Datenerfassung untertage und übertage zur Erreichung der wissenschaftlichen Ziele vor dem Hintergrund technischer Möglichkeiten, des Zeitaufwandes und der Kosten.
- Kombination bewährter Strategien (aus der Industrie) und den Besonderheiten des Forschungsprojektes.
- Schließung noch vorhandener technologischer Lücken durch Förderung von F- und E-Vorhaben.
- Schnelle Datenverarbeitung und erste Interpretation an der Bohrung als Grundlage für Entscheidungen und als Basis nachgeschalteter detaillierter Untersuchungen.
- Datensicherung durch abschnittweise Messung prioritärer Parameter.
- Straffe Organisation durch die Projektleitung KTB und Koordination der Arbeiten zusammen mit dem Schwerpunkt KTB.

### 3.1.10 Literatur

- DIETRICH, H.G. & HEINISCH, M. (1986): Die geowissenschaftliche Bohrungsbe-  
arbeitung vor Ort unter Einbeziehung des Feldlabors.  
- KTB-Kolloquium; Seeheim.
- DRAXLER, J. (1986): Erfahrungen mit Bohrlochmessungen im Kristallin. - KTB-  
Kolloquium; Seeheim.
- FRIES, A.P. & HÄNEL, R. (1985): Untersuchungen zu einer Computereinheit für  
das Deutsche Kontinentale Tiefbohrprogramm. - NLFb; Hannover.
- HÄNEL, R. (1986): Logging Strategie für das KTB. - KTB-Kolloquium; Seeheim.
- MARX, C. & RISCHMÜLLER, H. (1986): Drilling and Coring Techniques for Hard  
Rock. - Erdöl Erdgas Kohle, 102: 33-337; Hamburg.