

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung  
Projektgruppe KTB

Stilleweg 2  
3000 Hannover 51

Forschung und Entwicklung zur Durchführung der  
bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen im Projekt  
der Kontinentalen Tiefbohrung

P. Kehrer  
W. Kessels



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung.....	5
2. Entwicklung von Bohrlochmeßsonden.....	8
3. Untersuchungen zur Sondenkühlung und Temperaturertüchtigung von Sondenbauelementen.....	8
4. Untersuchungen zur Gesteinsmechanik und Bohrlochstabilität.....	10
5. Hydraulische Untersuchungsmethoden.....	10
6. Interpretation von Bohrlochmessungen.....	11
7. Langzeitbeobachtungen nach Beendigung der Bohrphase.....	12
8. Meßverfahren.....	13
9. Ausblick.....	13



## 1. Einleitung

Die Durchführung des "Kontinentalen Tiefbohrprojektes der Bundesrepublik Deutschland (KTB)" erfordert den Einsatz neuer Technologien im Bereich Bohr- und Meßtechnik sowie neuer Verfahren zur Interpretation geowissenschaftlicher Daten.

Hierzu fördert die "Projektleitung KTB" im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB) "Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FuE)" bei Industrie, Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Geologischen Landesämtern.

Dabei kommen je nach Themenstellung die beiden Förderungsverfahren "Zuwendung" und "Auftrag" zur Anwendung. Beim ersteren werden bei der Projektleitung KTB beantragte Forschungsvorhaben vom NLfB als Zuwendungsgeber gefördert, bei letzterem vergibt das NLfB Aufträge als Auftraggeber.

Die Projektleitung KTB faßt nach fachlicher Prüfung mehrere FuE-Anträge zu einem Bewilligungsantrag an den Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) zusammen. Im Falle der Bewilligung durch den BMFT vergibt das NLfB die Einzelvorhaben als "Zuwendungsgeber" bzw. "Auftraggeber".

Dabei handelt es sich einerseits um FuE-Vorhaben im Bereich neuer oder erweiterter Technologien der Bohrtechnik/Bohrlochmeßtechnik, die zur technischen Durchführung der Bohrung notwendig sind. Andererseits beinhaltet es auch Studien, die zur Entscheidungsfindung dienen, welche technischen Konzepte verfolgenswert sind bzw. welche Entwicklungen gefördert werden müssen.

Die Abgrenzung zu den Forschungsvorhaben, die im KTB-Schwerpunktprogramm von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert werden läßt sich wie folgt definieren:

- Projektleitung KTB fördert FuE-Vorhaben, die zur technischen und operativen Durchführung der Bohrung notwendig sind.
- DFG fördert Vorhaben der geowissenschaftlichen, z. T. auch der technischen Grundlagenforschung mit Schwerpunkt an den Hochschulen; diese Projekte haben einen engen Bezug zu den wissenschaftlichen Zielsetzungen der Bohrung und arbeiten mit Daten aus der Bohrung selbst bzw. aus dem Umfeld der Bohrung.

Die Koordinierung zwischen den FuE-Vorhaben der Projektleitung KTB und den Forschungsvorhaben des DFG-Schwerpunktes erfolgt in den entsprechenden Gremien wie Arbeitsgemeinschaften und Koordinierungsausschüssen.

Dabei gibt es auch Projekte, die ursprünglich von der DFG gefördert wurden und dann von der Projektleitung KTB übernommen wurden, wenn es sich um die Phase der technischen Realisierung handelt. Es ist auch "komplementäre Förderung" in dem Sinne möglich, daß der wissenschaftliche Teil durch die DFG, der der technischen Entwicklung dagegen durch die Projektleitung KTB gefördert wird.

Im August 1986 wurden dem NLFb vom BMFT erstmals 24 Einzelprojekte in Höhe von 13,5 Mio. DM bewilligt (RG 8604). Im April 1987 wurde dieses Vorhaben um 8 weitere Projekte mit weiteren 10,7 Mio. DM aufgestockt, so daß für insgesamt 32 Vorhaben 24,2 Mio. DM zur Verfügung standen.

Hiervon entfielen allerdings allein 15,3 Mio. DM auf nur vier Projekte:

- Ausrüstung Feldlabor:	5,8 Mio. DM
- Dauermeßstation (Logging Unit):	2,6 Mio. DM
- Bohrlochmeßprogramm Vorbohrung:	5,1 Mio. DM
- Seilkernbohrstrang:	1,8 Mio. DM

---

15,3 Mio. DM  
=====

Hierbei handelt es sich nicht um FuE-Vorhaben im eigentlichen Sinne, sondern um Investitions- und Meßprogramme, die allerdings zum erheblichen Teil "technische Innovation" beinhalten (Geräteprototypen im Feldlabor, 6" Seilkernbohrstrang, spezielle Bohrlochmeßsonden als Teil der Logging Unit, Messungen innerhalb des Bohrlochmeßprogramms mit Bohrlochsonden-Prototypen wie etwa dem 4-Arm-Formation-Micro-Scanning-Tool).

Die verbleibenden 28 eigentlichen FuE-Vorhaben mit einem Gesamtvolumen von 8,9 Mio. DM für den Zeitraum 1986/1989 teilen sich auf die drei Fachbereiche der Projektleitung KTB wie folgt auf:

- 18 Projekte Technik,
- 9 Projekte Operative Programmdurchführung,
- 1 Projekt Geowissenschaften.

Die Projekte des Fachbereiches Technik sind weitgehend abgeschlossen und Kurzfassungen der Vorhaben dieser ersten Bewilligungsphase sind in dem KTB Report 88-5 enthalten. Dieser hier vorliegende KTB-Report 88-11 enthält sowohl Abschluß- als auch Zwischenberichte der im Fachbereich "Operative Programmdurchführung" im Rahmen der o.g. Bewilligungen durchgeführten Projekte.

Im April 1988 sind vom BMFT 6 weitere FuE-Projekte für den Fachbereich "Operative Programmdurchführung" von 1,9 Mio. DM für die Haushaltsjahre 1988 und 1989 bewilligt worden. Berichte dieser gerade erst angelaufenen Projekte sind in diesem Report noch nicht enthalten. Sie sind jedoch bei der im folgenden gegebenen thematischen Übersicht mit aufgeführt.

Dieser Bericht KTB-Report 88-11 setzt das mit dem KTB-Report 88-5 für den Fachbereich Technik erstmals praktizierte Konzept fort, die Ergebnisse des von der Projektleitung KTB geförderten FuE-Programmes den im KTB mitarbeitenden Kollegen zugänglich zu machen.

Die FuE-Projekte können in die folgenden Fachgebiete unterteilt werden:

- |   |              |
|---|--------------|
| 1. Entwicklung von Bohrlochmeßsonden                          | (5 Projekte) |
| 2. Untersuchungen zur Sondenkühlung                           | (2 Projekte) |
| 3. Untersuchungen zur Gesteinsmechanik und Bohrlochstabilität | (2 Projekte) |
| 4. Hydraulische Untersuchungen                                | (2 Projekte) |
| 5. Interpretation von Bohrlochmeßdaten                        | (1 Projekt)  |
| 6. Langzeitbeobachtungen nach Beendigung der Bohrphase        | (1 Projekt)  |
| 7. Meßverfahren   | (2 Projekte) |

Im folgenden soll der Status der verschiedenen Aufgabenschwerpunkte dargestellt werden.

## **2. Entwicklung von Bohrlochmeßsonden**

Die kommerziell von den Servicefirmen angebotenen Bohrlochmeßsonden wurden zum überwiegenden Teil zur Erdöl- und Erdgasprospektion in Sedimentgesteinen entwickelt. In geringem Umfang findet die Bohrlochmeßtechnik auch im Bergbau Anwendung.

Für ein geowissenschaftliches Forschungsprojekt im kristallinen Gebirge wie das der Kontinentalen Tiefbohrung werden auch Messungen benötigt, die in der kommerziellen Meßtechnik bisher nur am Rande von Interesse waren oder gar nicht angeboten wurden. Hinzu kommen Temperatur- und Druckbedingungen in der übertiefen Bohrung, für die kommerzielle Bohrlochmeßsonden normalerweise nicht ausgelegt sind. Entsprechende Ertüchtigungen einiger Meßgeräte sind deswegen notwendig.

Gefördert wird aus den o.g. Gründen z. Zt. die Entwicklung der folgenden Meßsonden:

- Hochtemperatur-Magnetometer-Meßsonde  
(TU Braunschweig, Dr. Musmann)
- Suszeptibilitätssonde für Hochtemperatureinsatz  
(Univ. München, Dr. Pohl)
- Wärmeleitfähigkeitssonde  
(TU Berlin, Prof. Burkhardt)
- Ertüchtigung einer Meßsonde zur induzierten Polarisation  
(Nieders. Landesamt für Bodenforschung, Dr. Vogelsang)
- Akustischer TelevIEWer  
(Westfälische Berggewerkschaftskasse, Dr. Schepers)

## **3. Untersuchungen zur Sondenkühlung und Temperaturertüchtigung von Sondenbauelementen**

Die intensiv in der KTB-Vorbohrung durchgeführten Temperaturmessungen haben gezeigt, daß die in großer Tiefe zu erwartenden Temperaturen wahrscheinlich höher sein werden, als nach der geothermischen Vorerkundung abgeschätzt. Zur Zeit wird ein Temperaturgradient von ca. 30 °K gemessen. In großen Tiefen wird man daher noch höhere Temperaturanforderungen an die Bohrlochmeßtechnik zu stellen haben als dies bisher angenommen wurde.



Technisch besonders problematische Bauelemente der Bohrlochmeßsonden sind dabei:

- die Elektronik,
- die Meßsensoren,
- Antriebe,
- Ventile und Dichtelemente.

Um diese Temperaturprobleme an den Bohrlochmeßsonden zu beherrschen, kann man versuchen

- alle Bauelemente auf die Umgebungstemperatur zu ertüchtigen oder
- bestimmte Bauelemente für eine begrenzte Zeit in einem thermisch isolierenden Dewar-Gefäß kühl zu halten oder
- eine aktive Kühlung mittels Kompressoren oder Peltier-Elementen durchzuführen.

Zur Bearbeitung dieses Themenkreises wurden bisher vom BMFT zwei Projekte bewilligt:

- Eine Studie zur Einsatzmöglichkeit von Peltier - Elementen zur Sondenkühlung  
(Fa. Dr. Neumann, München - abgeschlossen)
- Eine Studie zum Hochtemperatureinsatz von Schlumberger-Meßgeräten  
(Fa. Schlumberger, Paris - wegen vertraglicher Probleme noch nicht angelaufen)

Die Studie von Dr. Neumann zur Peltier-Kühlung wird in diesem KTB-Report veröffentlicht.

Aufgrund des großen technischen Vorsprunges, den die Servicefirmen in Bau und Konstruktion der meisten Bohrlochmeßgeräte besitzen, ist es für die Durchführung der Bohrlochmessungen unerlässlich, daß wenigstens ein Teil dieser Sonden bis in den Hochtemperaturbereich hinein qualifiziert wird. Da Erfahrungen und Know-how der kommerziellen Bohrlochmeß-Firmen auf dem Gebiet Sondenkühlung nicht ohne weiteres auf Meßgeräte der Universitäten und anderer Forschungsinstitute transferierbar sind, müssen hier in weiten Bereichen eigenständige Lösungen angestrebt werden.

#### **4. Untersuchungen zur Gesteinsmechanik und Bohrlochstabilität**

In der KTB-Vorbohrung wurde deutlich, daß Bohrlochstabilitätsprobleme auch im Kristallin auftreten. Man muß hier unterscheiden zwischen Bohrlöcherweiterungen, die auch schon im oberen Bohrlochbereich durch dynamische Beanspruchung beim Bohrvorgang und chemischen Angriff durch die Spülung auftreten, und dem Kollaps der Bohrung, der in großen Tiefen beim Überschreiten der Festigkeitsgrenzen durch die Gebirgsspannungen auftreten kann.

Das Gestein wird durch Temperaturschwankungen im Gebirge und die Druckschwankungen in der Spülungssäule mechanisch belastet. Numerische Berechnungen unter Einschluß der thermomechanischen Belastungen der Bohrlochwand und der Porenwasserdruckschwankungen im Gebirge sind Thema der projektbegleitenden Finite-Element-Berechnungen zur Bohrlochstabilität, die am Institut für unterirdisches Bauen der TU Hannover durchgeführt werden.

Genauso wichtig, wie die Größe der Beanspruchung des Gesteines zu kennen, ist es allerdings, die Festigkeit des Gesteines zur Bewertung der Wirkung der Beanspruchung zu wissen. Solche Festigkeitsuntersuchungen wurden mit Blick auf die thermomechanische Wechselbelastung des Gesteines am Inst. für Felsmechanik der Univ. Karlsruhe durchgeführt.

Der Bereich Bohrlochstabilität ist durch die beiden FuE-Projekte

- Projektbegleitende Berechnungen zur Bohrlochstabilität  
(TU Hannover, Prof. Lux, Prof. Rokahr)
- Untersuchungen zur Wechsellastfähigkeit von Gesteinen  
(TU Karlsruhe, Prof. Natau, Dr. Lempp)

vertreten. Gerade in diesem Arbeitsbereich werden zukünftig bedeutende Anstrengungen nötig sein, um Probleme der Bohrlochstabilität in sehr großen Tiefen zu beherrschen.

#### **5. Hydraulische Untersuchungsmethoden**

Der Fluidtransport in der Kruste stellt eines der wesentlichen Untersuchungsziele des KTB-Projektes dar. Zur Erfassung dieses

Fluid-Transportes müssen sowohl die hydraulischen Parameter des Gebirges ermittelt werden als auch die mögliche Fließrichtung des Fluidtransportes in der Kruste.

Konventionell werden die hydraulischen Parameter mit Packer-Tests ermittelt. Da die Einsatzgrenze dieser Packer zur Zeit bei ca. 5 000 m liegt und ein Einsatz in sehr großen Tiefen fragwürdig ist, muß versucht werden, nach alternativen Meßmethoden zu suchen. Tracer-Tests sind hier eine Möglichkeit, mit der hydraulische Parameter des Gebirges ermittelt werden können, so daß zwei Projekte gefördert wurden, in denen mit Tracer-Methoden versucht wird, die hydraulischen Verhältnisse im Gestein zu untersuchen.

Auch wenn es gelingen sollte, die Packertechnologie für die konventionellen Tests soweit zu verbessern, daß auch in größeren Tiefen hydraulische Tests durchgeführt werden können, wird die Tracer-Untersuchung ihren eigenen Stellenwert behalten, da nur damit Fließrichtungen von Grundwasserströmungen erfaßt werden können.

Die geförderten Projekte sind:

- Tracer-Tests in den KTB-Vorbohrungen  
(GSF München, Prof. Fritz)
  
- Entwicklung einer Micro-Frac-Sonde mit geolektrischer Anzeige  
(Preussag AG, Dr. Sobott)

Beim ersten Projekt wird versucht, die Verteilung eines kurzlebigen radioaktiven Tracers zu untersuchen, während im zweiten Projekt als Tracer eine hochsalinare Lösung dient. Beide Meßmethoden lassen erwarten, daß Erkenntnisse über die hydraulischen Parameter des Gebirges auch in Tiefen erhalten werden können, in denen konventionelle Packer-Tests nicht mehr durchführbar sind.

## 6. Interpretation von Bohrlochmessungen

Die Standard-Interpretationen der Service-Firmen, die in dem Bereich Bohrlochmeßtechnik arbeiten, beziehen sich, den Anforderungen der Kunden gemäß, auf die Interpretation von Bohr-

lochmessungen in sedimentären Gesteinsschichten.

Die Interpretation von Bohrlochmessungen in kristallinem Gestein, wie es in der Kontinentalen Tiefbohrung anzutreffen ist, steht daher noch sehr in den Anfängen und ist erst in den letzten Jahren insbesondere durch Fragestellungen der Abfallbeseitigung mit in den Vordergrund gerückt. Um diese Lücke in der Interpretation von Bohrlochmeßdaten zu schließen, wird als interdisziplinäres Projekt unter Beteiligung der Fachrichtungen Geologie und Geophysik ein Projekt zur geologischen Interpretation von Bohrlochmeßdaten durchgeführt:

- Faziolog/Globelog - Interpretation in der KTB-Vorbohrung (RWTH Aachen, Prof. Walter, Prof. Wohlenberg)

Die Interpretation von Bohrlochmeßdaten im kristallinen Gestein wird im wesentlichen durch die Forschungsarbeiten im DFG-Schwerpunkt des Kontinentalen Tiefbohrprogrammes abgedeckt und erfordert hier in vielen Fällen die Anwendung neuer Interpretationsmethoden.

## 7. Langzeitbeobachtungen nach Beendigung der Bohrphase

Schon in ersten Diskussionen über die Planung einer Kontinentalen Tiefbohrung wurde als ein wesentliches geowissenschaftliches Ziel die Installation eines Observatoriums in großer Tiefe genannt. Nach Beendigung der Bohrarbeiten sollten Langzeitbeobachtungen in großer Tiefe Auskunft über die physikalischen Felder im Gestein geben.

Diese Feldgrößen sind:

- das Porenwasserdruckfeld,
- das Gebirgsspannungsfeld,
- seismologische Untersuchungen,
- die Deformation der Kruste,
- Magnetfeldmessungen,
- Schwankungen des elektrischen Feldes.

Zur Zeit ist noch in der Diskussion, ob ein solches Observatorium schon im Bohrlochtiefsten der Vorbohrung eingerichtet werden soll. Hier ist die temperatur- und druckmäßige Grenze anzutreffen, die zur Zeit mit vorhandener Technologie beherrschbar ist. Außerdem würde ein solches Experiment Erkennt-

nisse liefern, die für den großen Entwicklungsschritt eines Observatoriums in 10 bis 14 km Tiefe Grundlage sein könnten. Entscheidungen hierzu sind noch nicht gefallen.

Ein Experiment, das in ein solches Observatorium eingebaut werden könnte, welches aber auch als Einzelexperiment installiert werden kann, ist der Einbau einer Spannungsmonitorstation in Endteufe der Vorbohrung. Hier sollen Druckaufnehmer in die große Bohrlochtiefe einzementiert werden, die dann die Druckänderungen des Porenwassers und die Druckänderungen, erzeugt durch das konvergierende Gebirge, aufzeichnen sollen. Außerdem wird angestrebt, durch die Genauigkeit der Messungen Gezeitenschwankungen mit aufzulösen.

Gefördert wird zur Zeit eine Vorstudie zu diesem Projekt:

- Vorstudie zum Bau einer Spannungsmonitorstation  
(Gesellschaft für Baugeologie u. -meßtechnik mbH, Dr. Reik;  
TU Karlsruhe, Prof. Borm)

## 8. Meßverfahren

In diesem Bereich wurde bisher ein kleineres Projekt gefördert, das abgeschlossen ist. Es gehört in das Gebiet der Bohrlochmeßtechnik.

- Testmessungen TEM (transient-elektromagnetische Verfahren) in Vorbohrungen an KTB-Lokationen Schwarzwald und Oberpfalz (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dr. Greinwald)

## 9. Ausblick

Im Vordergrund der weiteren Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden u. a. Fragen der Hochtemperaturertüchtigung der Bohrlochmeßgeräte und der Problemkreis Bohrlochstabilität stehen. Auch zur Interpretation der Bohrlochmeßdaten sind weitere Forschungsvorhaben notwendig, um optimale Aussagen für die Geowissenschaften zu erreichen. Hier ist z. B. eine effizientere Kernorientierung, die über die Formation-Micro-Scanner und Televier-Messungen erfolgt, zu nennen.

Etwa jährlich soll in Zukunft ein KTB-Report über die Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich Bohrlochgeophysik erscheinen. Ziel dieser Berichte soll es in erster Linie sein, den am Kontinentalen Tiefbohrprogramm beteiligten Wissenschaftlern einen Überblick über die durch die KTB-Projektleitung geförderten FuE-Projekte zu liefern.

In einem zweiten Teil dieser Reports soll über Untersuchungen, die von den Mitarbeitern der Projektleitung selbst durchgeführt werden, berichtet werden. In diesem Report ist ein entsprechender Artikel zur Fehlerbetrachtung eines Bohrlochmeßsystems mit aufgenommen worden.

Im einem dritten Teil ist geplant, über KTB-relevante Entwicklungen zu berichten, auch wenn diese zur Zeit nicht Teil eines geförderten FuE-Projektes sind. Hier sind insbesondere auch Firmen und Institute angesprochen, die im Unterauftrag wesentliche technologische Komponenten für laufende Projekte liefern oder die glauben, neue Lösungen für bestehende Probleme anbieten zu können.