

**DAS DEUTSCHE KONTINENTALE TIEFBOHRPROJEKT
- EINE HERAUSFORDERUNG AN DIE BOHRLOCHGEOPHYSIK -**

R. Hänel

Zusammenfassung

Die Realisierung der geowissenschaftlichen Ziele erfordert ein umfangreiches Meßprogramm sowohl an Bohrkernen als auch im Bohrloch unter in situ-Bedingungen. Die Bohrlochmessungen müssen unter den Druck- und Temperatur-Zustandsbedingungen ausgeführt werden, die in der angestrebten Tiefe von 14 000 m herrschen. Temperaturen um 300 °C und Drücke von 200 MPa sind zu erwarten. Bohrlochmessungen unter extremen Bedingungen wurden bisher entweder aus Hochtemperatur-Bohrungen verhältnismäßig geringer Tiefen (z. B. S. Vito 1 - 419 °C / 3 046 m) oder aus übertiefen Bohrungen in Gebieten mit relativ niedrigen Temperaturgradienten (z. B. Kola SG 3 - 12 500 m / 210 °C) bekannt. Die dabei gewonnenen Erfahrungen werden analysiert.

Für die Bohrlochmessungen ist eine Strategie notwendig, die einen optimalen Informationsgewinn im Rahmen der verfügbaren finanziellen und technischen Mittel ohne Gefährdung der Bohrung ermöglicht. Die Entlastung der übertiefen Bohrung im großkalibrigen, oberen Bereich erfordert daher eine Vorbohrung. Diese erlaubt außerdem Untersuchungen zur Korrelation der Meßergebnisse Bohrkern-/Bohrlochmessungen und zur Übertragbarkeit der für sedimentäre Gesteine entwickelten Methoden auf das Kristallin.

Eine permanente Logging Unit mit einem überlangen Kabel sowie die Sicherstellung von Kühlsystemen für die Meßsonden sind unabdingbare Voraussetzungen für die Durchführung des wissenschaftlichen Meßprogramms in der Hauptbohrung. Eine Auswahl von anstehenden technischen und wissenschaftlichen Problemen wird erläutert.

1 Einleitung

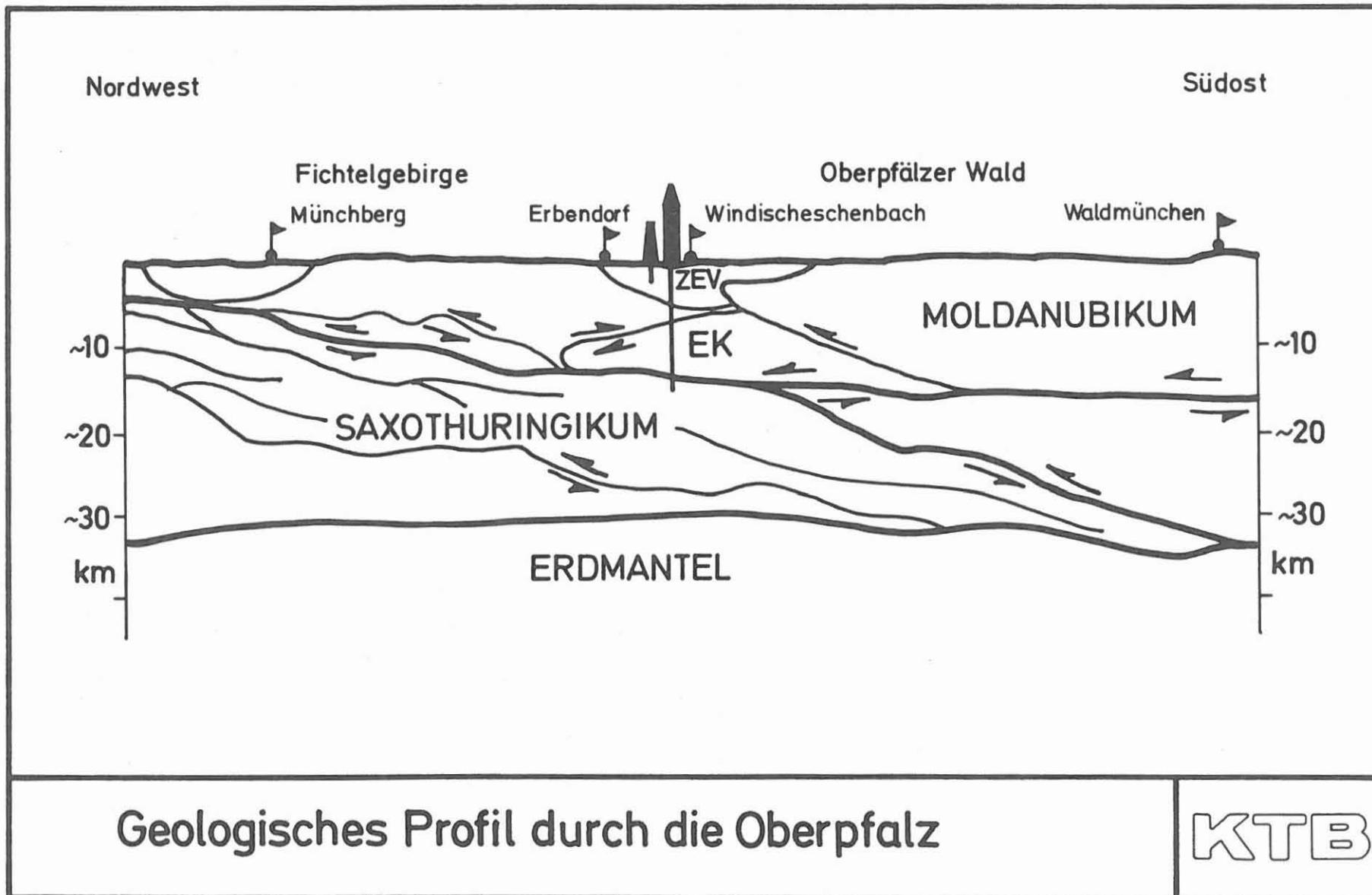
Das Ziel des großangelegten Forschungsvorhabens ist die Grundlagenforschung, wobei die Realisierung dieses ehrgeizigen Vorhabens zu einem ganz wesentlichen Teil durch die Bohrlochgeophysik getragen werden muß und daher zugleich eine Herausforderung an diese darstellt. Die geplante Bohrung von 10 000 bis 14 000 m Tiefe soll in der Oberpfalz im Kristallin im Bereich der Überschiebungszone Moldanubikum/Saxothuringikum abgeteuft werden; vergl. Abb. 1. Dieses Gebiet bietet u. a. ausgezeichnete Möglichkeiten, die intrakontinentale Struktur, die Gleitmechanismen unter in situ-Bedingungen, Niedrig- und Hochgeschwindigkeitszonen in relativ geringer Tiefe sowie Metamorphose-Vorgänge bei Erwartungstemperaturen bis zu ca. 300 °C zu studieren. Im Herbst dieses Jahres ist vorgesehen, zunächst eine Vorbohrung (Pilotbohrung) mit $\geq 3\ 000$ m Tiefe und ≥ 6 " Durchmesser abzuteufen.

2 Erfahrungen mit Messungen unter extremen Bedingungen

In der Abb. 2 sind die Bohrungen mit den höchsten gemessenen Temperaturen sowie mit den größten erreichten Tiefen dargestellt. Die höchsten Temperaturen wurden mit 419 °C mit einem Zinkblättchen in der Bohrung San Vito 1 und die größte Tiefe mit der Bohrung Kola SG 3 erreicht. Eine einfache Einteilung dieser Bohrungen ist möglich. Und zwar in Bohrungen über 300 °C, wo Messungen aus meßtechnischen Gründen kaum noch möglich sind, und in Bohrungen über 8 000 m Tiefe, die aufgrund der gegenwärtigen Bohrtechnik bereits mit Schwierigkeiten verbunden sind.

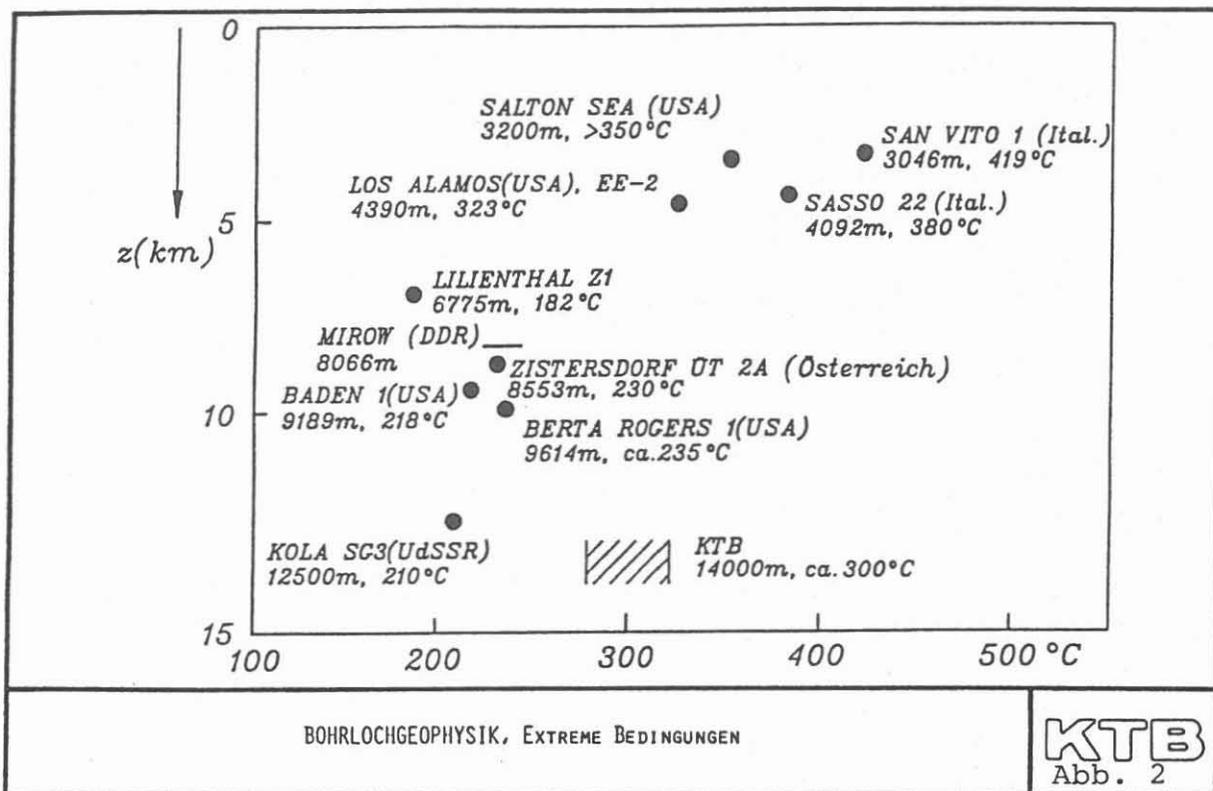
2.1 Hochtemperatur-Bohrungen

Hierbei handelt es sich um Bohrungen zur Exploration geothermischer Energie. Dabei wurden meist nur relativ einfache mechanische Instrumente vom Typ Kuster (T,p) eingesetzt sowie entsprechende Fluidsammler. Die Einsatzgrenzen liegen bei etwa 380 °C. Dabei ist anzumerken, daß die Messungen der Industrie relativ "routinemäßig" abliefen; wohingegen bei den Forschungsvorhaben stets versucht wurde, die Grenze des gerade noch Meßbaren zu erreichen. Ein durchaus typisches Meßprotokoll aus dem Forschungsprojekt Salton Sea ist in Abb. 3 wiedergegeben.



T1067 b / 2.87

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung



BOHRLOCHGEOPHYSIK, EXTREME BEDINGUNGEN

KTB
Abb. 2

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

SALTON SEA BOREHOLE

2ND FLOW TEST - 10,564 FT.

03/21/86	0- 5,000	KUSTER SPINNER/PRESSURE	SPINNER FAILED AT 5,000 FT.
03/21/86	0-10,000	KUSTER T/P	BASELINE ERROR ON TEMP. CHART.
03/22/86	0-10,400	KUSTER T/P	BHT 350 ± 10 °C.
03/22-23	10,400	1ST LANL DOWNHOLE FLUID SAMPLER	NO SAMPLE DUE TO SEAL FAILURE CAUSING MOTOR TO FLOOD AND SHORT OUT.
03/23/86	10,400	2ND LANL	NO SAMPLE DUE TO SEAL FAILURE.
03/23/86	10,400	1ST LEUTERT DOWNHOLE FLUID SAMPLER	FAILURE DUE TO LCM CLOGGING BULLNOSE.
03/23/86	10,200	2ND LEUTERT	CLOCK STOPPED SO CANISTER DID NOT CLOSE.
03/23/86	10,200	3RD LEUTERT	O-RINGS ON SAMPLER BOTTLE FAILED.
03/23-24		USGS BETHKE FLUID INCLUSION	WIRELINE BROKE LEAVING TOOL IN BOTTOM OF HOLE. ONE FISHING ATTEMPT WITH NOT RECOVERY.
03/25/86	10,200	3RD LANL	SAMPLE BOTTLE RETURNED EMPTY.
03/25/86	10,200	4TH LANL	RECOVERED 1.5 LITERS LIQUID AND .5 LITER GAS
03/25/86	10,200	5TH LANL	BOTTLE DID NOT OPEN.

BOHRLOCHGEOPHYSIK, EXTREME BEDINGUNGEN

KTB
Abb. 3

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

2.2 Supertiefe Bohrungen

Auf zwei Bohrungen soll im folgenden beispielhaft eingegangen werden.

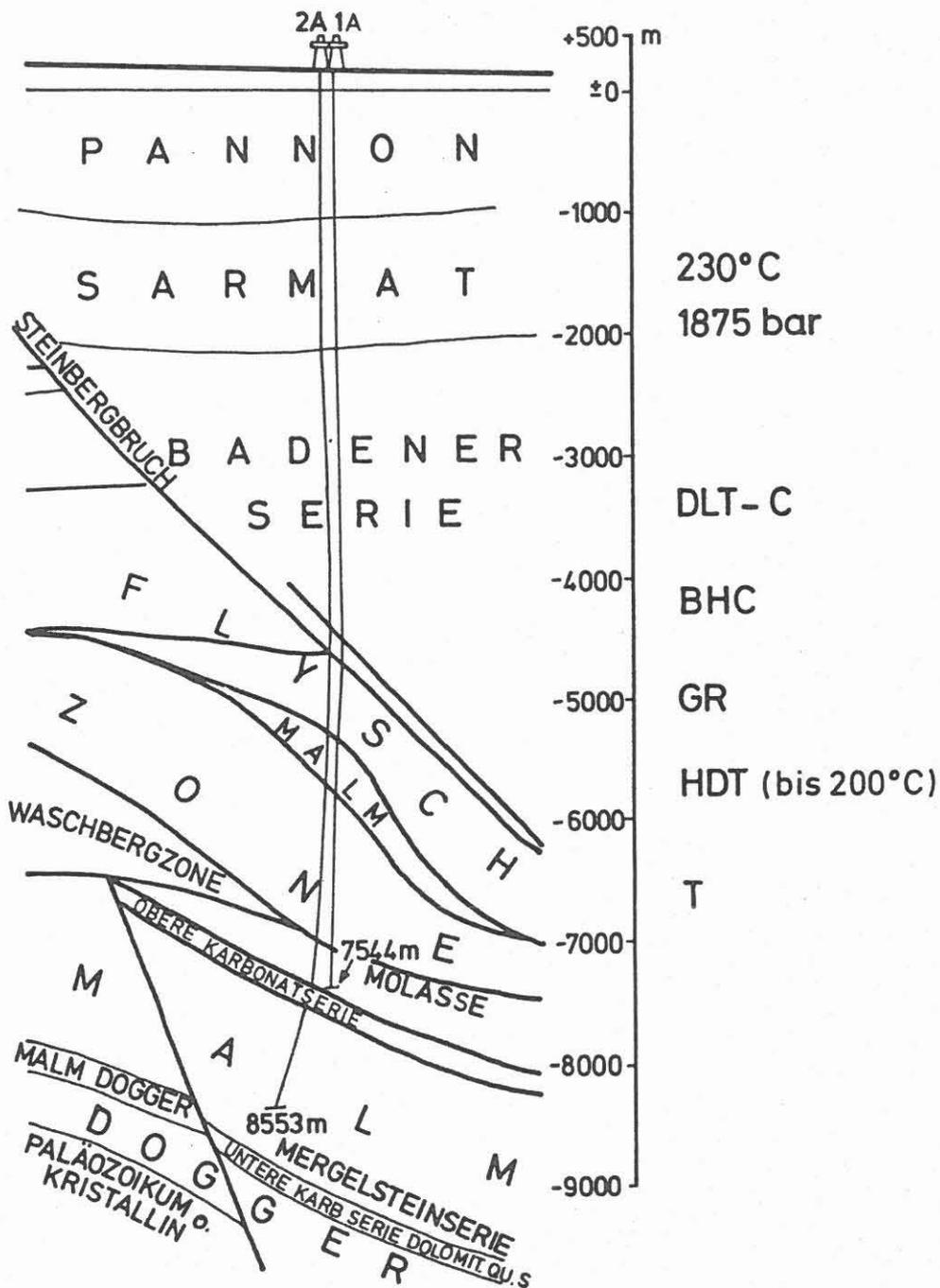
In Abb. 4 sind die Bohrungen Zistersdorf 1A und 2A dargestellt. Die Bohrung 1A mit 20 Monaten Bohrzeit mußte wegen Gasausbruch aufgegeben werden. Die Bohrarbeiten zur Bohrung 2A begannen im März 1980, die Endteufe wurde im Mai 1983 erreicht; anschließende Untersuchungen wurden im Jahre 1987 eingestellt. Bis in 7 000 m Tiefe erfolgten die gängigen Messungen mit Standardgeräten, wie Compensated Neutron Log (CNL), Micro Spherically Focussed Log (MSFL), Induction Electrical Survey (IES) usw. Die in Abb. 4 aufgelisteten Messungen wurden bis zur Endteufe erfolgreich ausgeführt. In Abb. 5 ist die zeitabhängige Zunahme des Breakout-Vorganges dargestellt. Da die Bohrung Tonmergel durchteufte, mußte sie für die Bohrlochmessungen ständig freigeräumt werden. Die Kosten der Messungen belaufen sich bis 7 000 m auf etwa 6 % und zwischen 7 000 und 8 500 m auf etwa 13 % der Gesamtkosten des jeweiligen Bohrlochabschnittes.

Die Bohrarbeiten zur Kola-Bohrung begannen im Jahre 1970; im Juni 1979 wurden ca. 9 600 m (160 °C) und im August 1984 ca. 12 050 m (205 °C) erreicht (BEHR et al. 1984). Abb. 6 zeigt die bis in größere Tiefe ausgeführten Messungen. Die Geräte sind bis auf 200 °C ausgelegt, ausgenommen die Geophone, die max. 125 °C erreichen. Auch in dieser Bohrung treten beträchtliche Breakouts auf (Abb. 7), die dazu führten, daß die einst nur bis 2000 m Tiefe verrohrte Bohrung jetzt vollständig verrohrt wird. Dieselbe Abbildung enthält eine Darstellung, aus der eine recht gute Korrelation von Wärmeproduktion und Geschwindigkeit gemäß RYBACH (1976) hervorgeht. Den Temperaturverlauf gibt Abb. 8 wieder (ausgezogene Kurve), wobei die gestrichelte Kurve die Temperatur nach ca. 6 Stunden Zirkulation (32 l/s) angibt. Die Temperaturen in 12 000 m sind höher als erwartet. Berechnet man die Temperatur aus der für diese Region gültigen Wärmestromdichte und der für die Kola-Bohrung bei Raumtemperatur gemessenen Wärmeleitfähigkeit, so erhält man tatsächlich nur ca. 160 °C in 12 km Tiefe. Verwendet man hingegen eine - wie üblich - temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit $\lambda(T)$, so stehen die errechneten Werte im Einklang mit den Meßwerten. Die in Abb. 8, unten, dargestellte und durch Spülungsverlauf erzielte Auskühlung wird für die Ausführung von Bohrlochmessungen genutzt. Entsprechendes gilt für die Bohrung Zistersdorf.

Die hieraus für Bohrungen unter extremen Bedingungen gewonnenen Erfahrungen für die Bohrlochgeophysik sind folgende:

- . Einsatz von geschultem Personal, Erfahrungsaustausch
- . Konservative Planung
- . Technische Einschränkungen für > 250 °C und > 8 000 m
- . Einsatz von eigenen Sonden für häufige Wiederholungen
- . Bohrlochabweichung, Kaliber und Temperatur ständig messen
- . Zeitliches und finanzielles Durchstehvermögen

Z I S T E R S D O R F

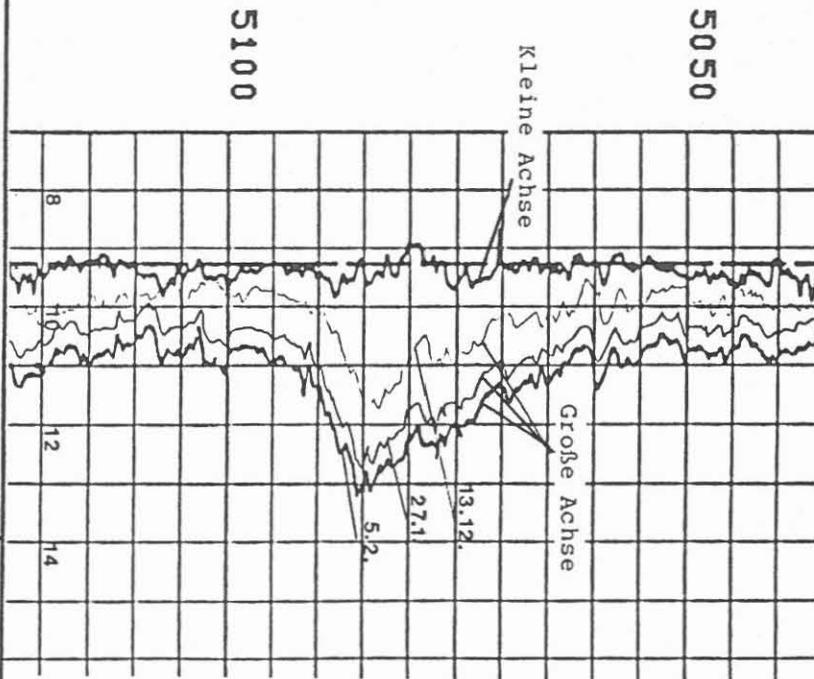


BOHRLOCHGEOPHYSIK, EXTREME BEDINGUNGEN

KT B

Abb. 4

Break Out

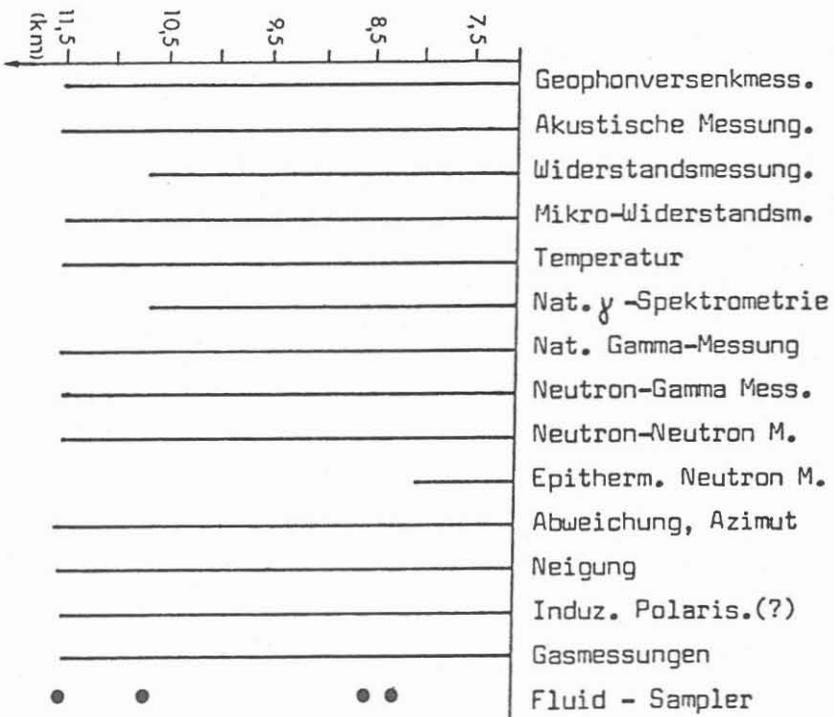


BOHRLOCHGEOPHYSIK, EXTREME BEDINGUNGEN

KTBB
Abb. 5

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

KOLA-BOHRUNG

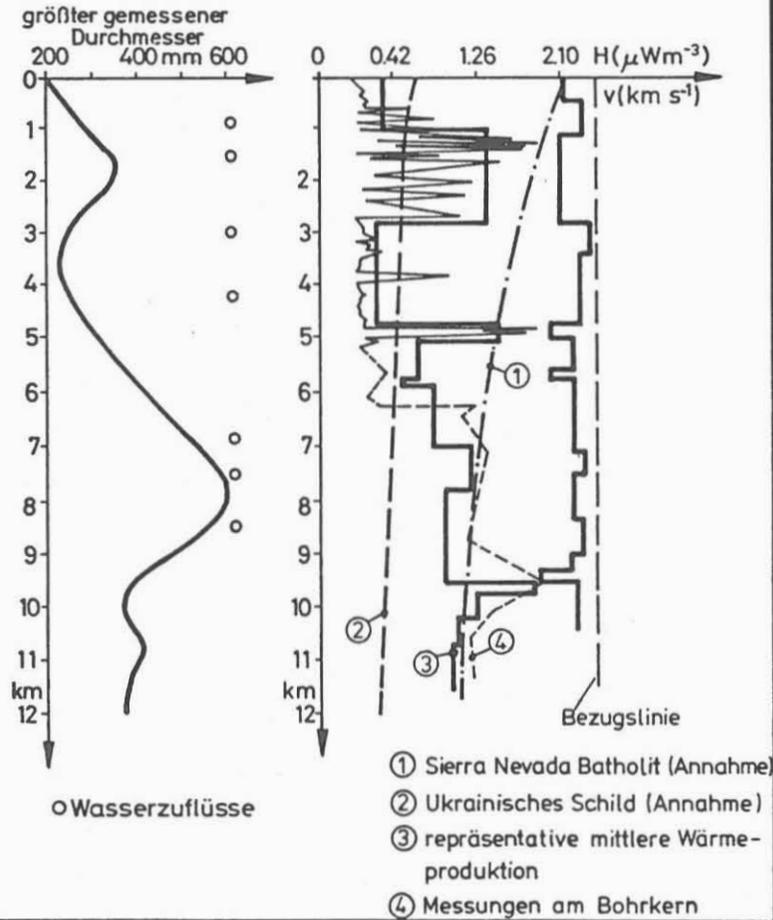


BOHRLOCHGEOPHYSIK, EXTREME BEDINGUNGEN

KTBB
Abb. 6

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

KOLA-BOHRUNG

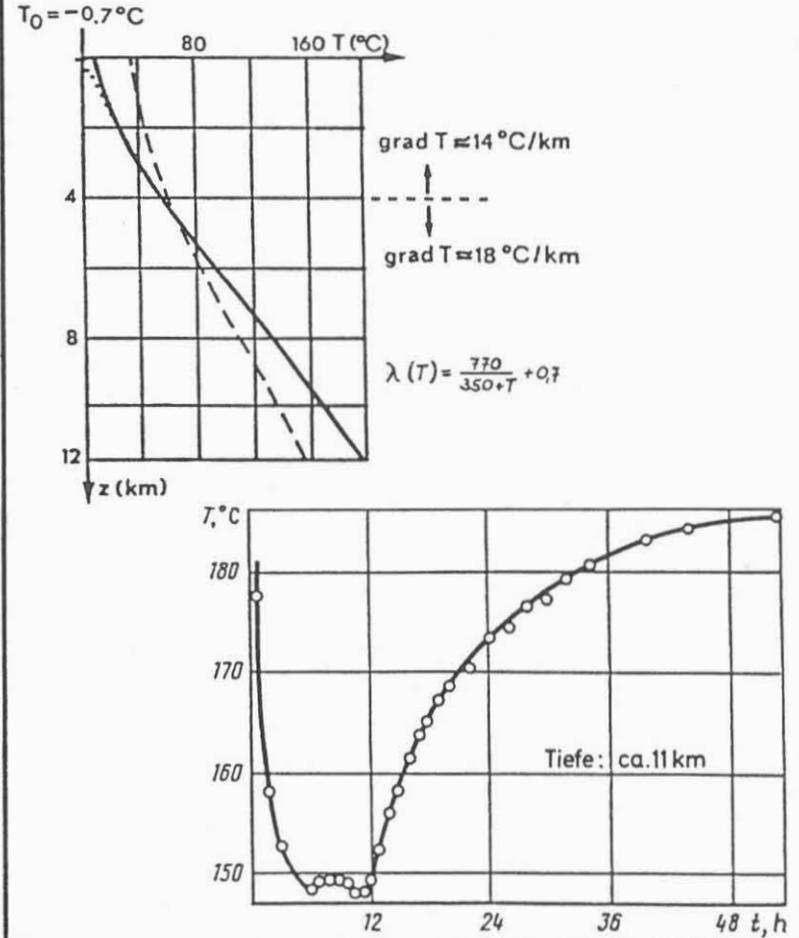


BOHRLOCHGEOPHYSIK, EXTREME BEDINGUNGEN

KTB
Abb. 7

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

KOLA-BOHRUNG



BOHRLOCHGEOPHYSIK, EXTREME BEDINGUNGEN

KTB
Abb. 8

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

3 Bohrlochmessungen, Teste und Experimente im KTB

3.1 Strategie zur Durchführung der Bohrlochmessungen

Wichtig ist, die Hauptbohrung so wenig wie möglich zu gefährden. Jede Kernentnahme und jede Bohrlochmessung stellt jedoch ein Risiko dar. Eine Entlastung kann mit Hilfe einer Pilotbohrung (Vorbohrung) erreicht werden, da die Hauptbohrung alsdann ohne Kernentnahme und ohne Bohrlochmessungen bis zur Tiefe der Pilotbohrung durchgehend abgeteuft werden kann. Darüber hinaus ist eine Pilotbohrung eine unabdingbare Voraussetzung für die Bohrlochgeophysik, vergl. hierzu Abb. 9.

Die Korrelation der Meßergebnisse von Bohrkernen und aus Bohrlochmessungen ergibt sich aus der Notwendigkeit, daß später aus Zeit- und Kostengründen ständig die Entscheidung ansteht, Kerne zu ziehen oder Bohrlochmessungen auszuführen. Zu diesem Zweck muß genau bekannt sein, daß bestimmte Ergebnisse nur durch Kernen und andere nur durch Bohrlochmessungen gewonnen werden können; Abb. 10. Dazwischen liegt ein großer Bereich, in Abb. 10 ebenfalls nur angedeutet, der der Ergebnisse aus beiden Untersuchungen bedarf bzw. es gilt abzuklären, welche Methode für die anstehende Fragestellung hinreichend genaue Ergebnisse liefert.

Man war sich sehr bald darüber einig, daß aus finanziellen Gründen nicht alle wünschenswerten Messungen, insbesondere während des Abteufens, ausgeführt werden können. Es wurde deshalb eine Prioritätenliste erarbeitet, die etwas darüber aussagt, welche Messungen während des Abteufens der Bohrung unbedingt auszuführen sind; Abb. 11.

Für die Durchführung des umfangreichen Meßprogramms ist eine permanente Logging Unit am Bohrplatz vorgesehen.

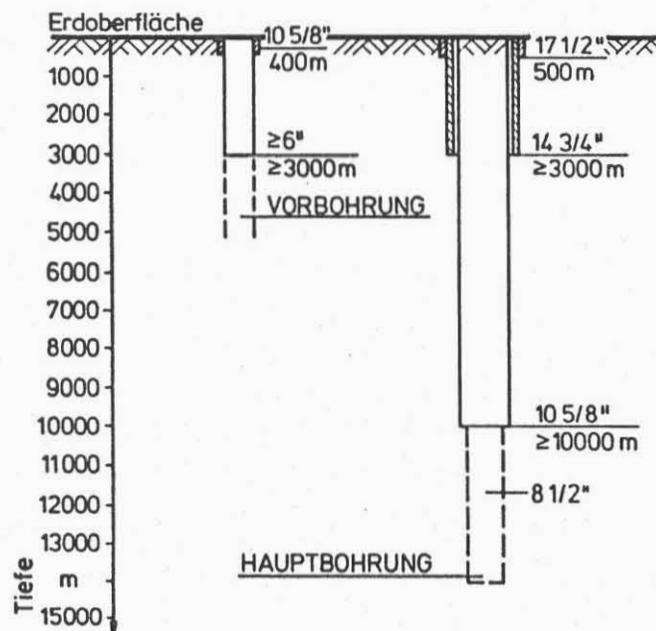
3.2 Technische Aspekte

Im folgenden sollen einige anstehende technische Probleme angesprochen werden, die für die Realisierung zugleich eine Herausforderung an die Bohrlochgeophysik darstellen.

Die Abb. 12 zeigt die Zerreißfestigkeit der gängigen Kabel aufgrund des Eigengewichtes. Im Falle des Camesa-Kabels wird diese bei ca. 15 km Bohrtiefe erreicht. Unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors und des Sondengewichtes sind gegenwärtig nur knapp 11 km erreichbar. Materialverbesserungen sind notwendig, insbesondere unter Berücksichtigung der zu erwartenden Temperatur von ca. 300 °C. Die zu erwartende Signalverzerrung ist ebenfalls dargestellt und bedarf noch einer Lösung.

NOTWENDIGKEIT EINER PILOTBOHRUNG

- Entlastung der supertiefen Bohrung
- Übertragbarkeit von Methoden und Sonden auf Kristallin
- 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



AUSSAGEMÖGLICHKEITEN AUFGRUND VON:

Bohrkernen	Bohrkernen Bohrlochmessungen	Bohrlochmessungen
- Fluideinschlüsse	- Spannungsfeld	- Feldparameter (G, H, E, Q)
- Porenfluide	- Fluidbewegungen	- Geohydraulik
- Spaltspuren	- Tektonik	- Fluidentnahme
- Geochronologie	- Geochemie (Spektrometrie)	- Physikalische Parameter
- Alterationsgenese	- Fazies (Facio log)	- Spaltzonen, Risse
- Lithostratigraphie		

BOHRLOCHGEOPHYSIK, STRATEGIE

KTB
Abb. 10

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

BOHRLOCHGEOPHYSIK, STRATEGIE

KTB
Abb. 9

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

PRIORITÄTENLISTE

- . THERMODYNAMISCHER ZUSTAND:
TEMPERATUR, DRUCK
- . PORENFLUIDE, FLUIDBEWEGUNGEN:
POROSITÄT, PERMEABILITÄT,
z.B. MITTELS DST, HTT,
NUKLEAR- UND AKUST. VERFAHREN
- . STRUKTUR, TEXTUR:
TELEVIEWER, FORMATION MICRO
SCANNER
- . VORAUSSAGEN FÜR BOHRTECHNIK
UND WISSENSCHAFT:
VERTICAL SEISMIC PROFILING
- . BOHRLOCHSTABILITÄT:
SPANNUNGMEßVERFAHREN

M E S S - S T R A T E G I E

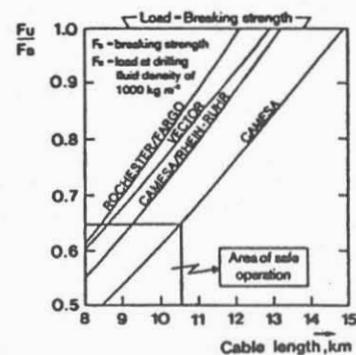
- Vorbohrung
 - . Während des Abteufens: gemäß Prioritätenliste
 - . Nach dem Abteufen : übrige Messungen
- Hauptbohrung
 - . Während des Abteufens: gemäß Prioritätenliste
 - . Nach dem Abteufen : übrige Messungen

BOHRLOCHGEOPHYSIK, STRATEGIE

KTB
Abb. 11

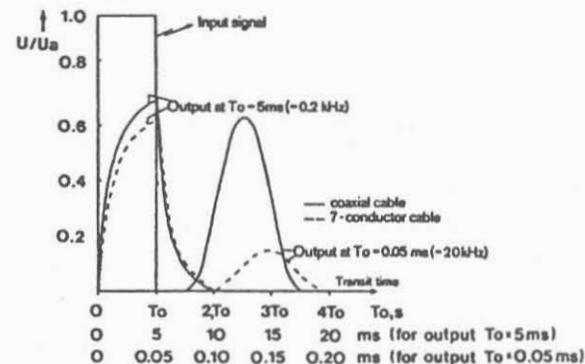
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Load range of logging cables



Electrical pulse transmission

Distortion of a rectangular pulse
of pulse width T_0 by a cable of
11 km in length



BOHRLOCHGEOPHYSIK, STRATEGIE

KTB
Abb. 12

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Höchste Priorität im Rahmen von Neu- und Weiterentwicklungen haben die Kühlsysteme. Denn wenn es gelänge, eine geeignete Kühlung für die Sonden zu entwickeln, könnten deren Temperatureinsatzgrenzen zu höheren Temperaturen verschoben werden. In Abb. 13 sind die grundsätzlichen Möglichkeiten aufgelistet; Entwicklungs- und Forschungsarbeiten hierzu sind angelaufen.

Aufgrund einer Marktanalyse zeichnete sich sehr bald das Fehlen bestimmter Sonden ab. Es wurde deshalb rechtzeitig damit begonnen, Bohrlochsonden im Hinblick auf höhere Einsatztemperaturen zu entwickeln bzw. weiterzuentwickeln, siehe Abb. 14. Entsprechend der Prioritätenliste ist der akustische Televiewer von großer Bedeutung. Der bei der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum, vorhandene Televiewer wird deshalb für höhere Temperaturen ausgelegt, gleichzeitig die Meßgeschwindigkeit erhöht und durch automatisch fokussierende Sensoren die Meßqualität im Falle von ovalen Bohrungen verbessert. Die Abb. 15 soll verdeutlichen, was ein Televiewer zu leisten vermag; man erkennt deutlich Ausbrüche und Störungen.

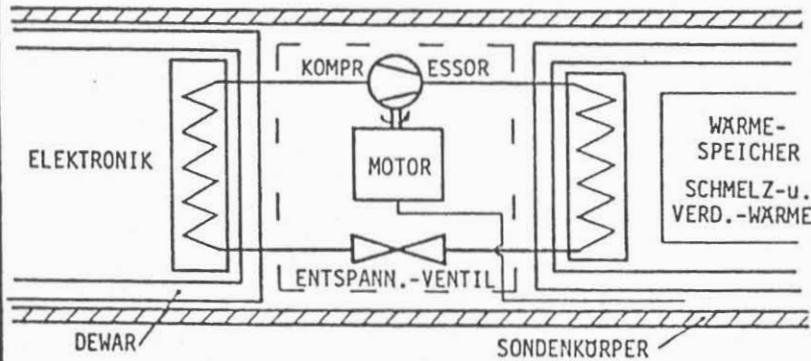
Seit Anbeginn wird im KTB diskutiert, daß nach Abschluß der Bohrarbeiten die Bohrung als tiefes Erd-Laboratorium (Deep Earth Laboratory) genutzt werden sollte. Eine Arbeitsgruppe ist nunmehr angetreten, konkrete Ideen hierzu zu entwickeln. Die Skizze in Abb. 16 beschreibt einen ersten Versuch. Demzufolge soll im Bohrlochtiefsten eine Spannungsstation einzementiert und darüber eine einfahrbare Anlage mit konventionellen Geräten angekoppelt werden. Die Frage hierbei ist, wie das Gerät zu installieren ist, ohne daß die Befahrbarkeit der Bohrung eingeschränkt wird. Außerdem sind die Probleme des Gesteinsnachfalls zu lösen sowie die zu erwartenden hohen Temperaturen von ca. 300 °C zu berücksichtigen. Das Deep Earth Laboratory stellt somit ebenfalls eine große Herausforderung an die Techniker und Bohrlochgeophysiker dar.

3.3 Wissenschaftliche Aspekte

Die Bohrlochmeßgeräte und Interpretationsmethoden wurden im wesentlichen für Sedimentgesteine, d. h. für die Erdöl-/Erdgas-Exploration entwickelt. Es muß daher geprüft werden, inwieweit eine Übertragbarkeit auf kristallines Gestein erlaubt ist. Von den nuklearen Methoden ist bekannt, daß diese einer kritischen Überprüfung bedürfen. Die elektr. Methoden vermögen das hochohmige Kristallin nicht zu differenzieren. Der gesamte Leitfähigkeitsmechanismus muß neu durchdacht werden incl. der Gültigkeit der ARCHIE-Formel. Die klassische Geohydraulik ist für Porenaquifere entwickelt worden. Die Begriffe der Permeabilität und selbst der des Speicherkoeffizienten dürfen nicht bedenkenlos übernommen werden.

KÜHLUNGSMÖGLICHKEITEN

- KÜHLUNG DER BOHRUNG
- SONDEN IM KÜHLSTROM
- DEWAR
- DEWAR MIT METALLFOLIE UND WÄRMESENKEN
- PELTIERELEMENTE
- KOMBINATION: DEWAR-WÄRMEPUMPE-WÄRMESENKEN



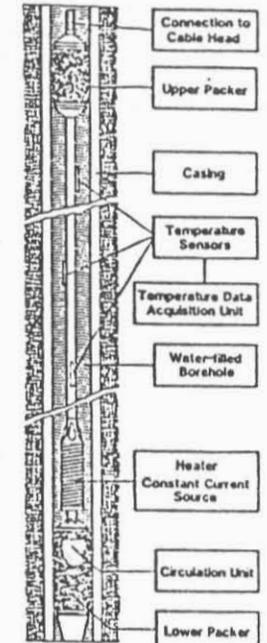
BOHRLOCHGEOPHYSIK, TECHNISCHE ASPEKTE

KTBB
Abb. 13

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

BOHRLOCHSONDEN-ENTWICKLUNGEN

- TRIAXIALES FLUXGATE-MAGNETOMETER
- MAGNETISCHE SUSZEPTIBILITÄT
- GRADIENTEN-MAGNETOMETER
- INDUZIERTE POLARISATION
- TRANSIENTEN-ELEKTROMAGNETIK
- HYDROFRAC-SPANNUNGSMESSUNGEN
- WÄRMELEITFÄHIGKEIT
- AKUSTISCHER TELEVIEWER

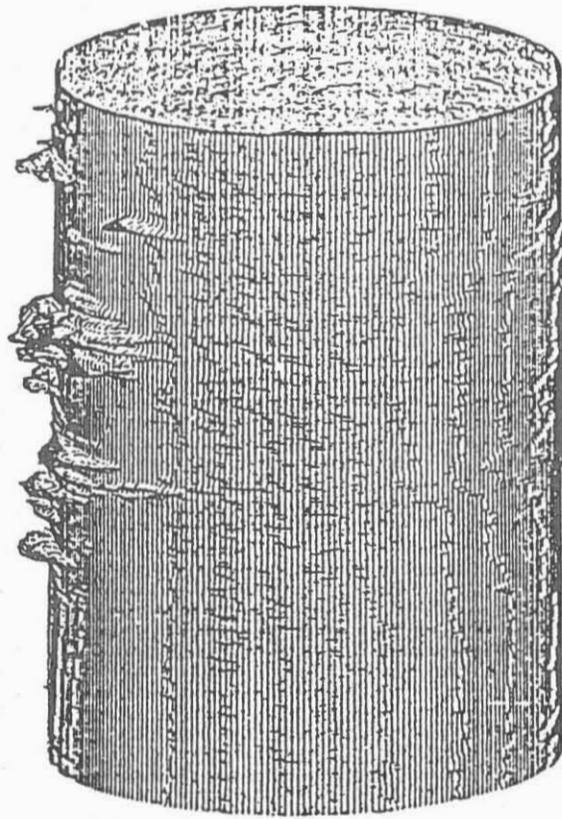


Wärmeleitfähigkeitssonde (TU Berlin)

BOHRLOCHGEOPHYSIK, TECHNISCHE ASPEKTE

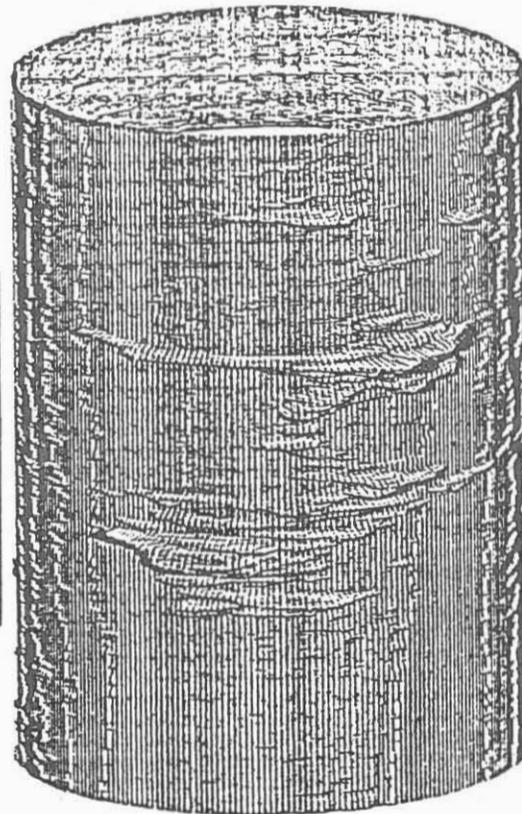
KTBB
Abb. 14

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung



1m

0



0

0,1m

AKUSTISCHER

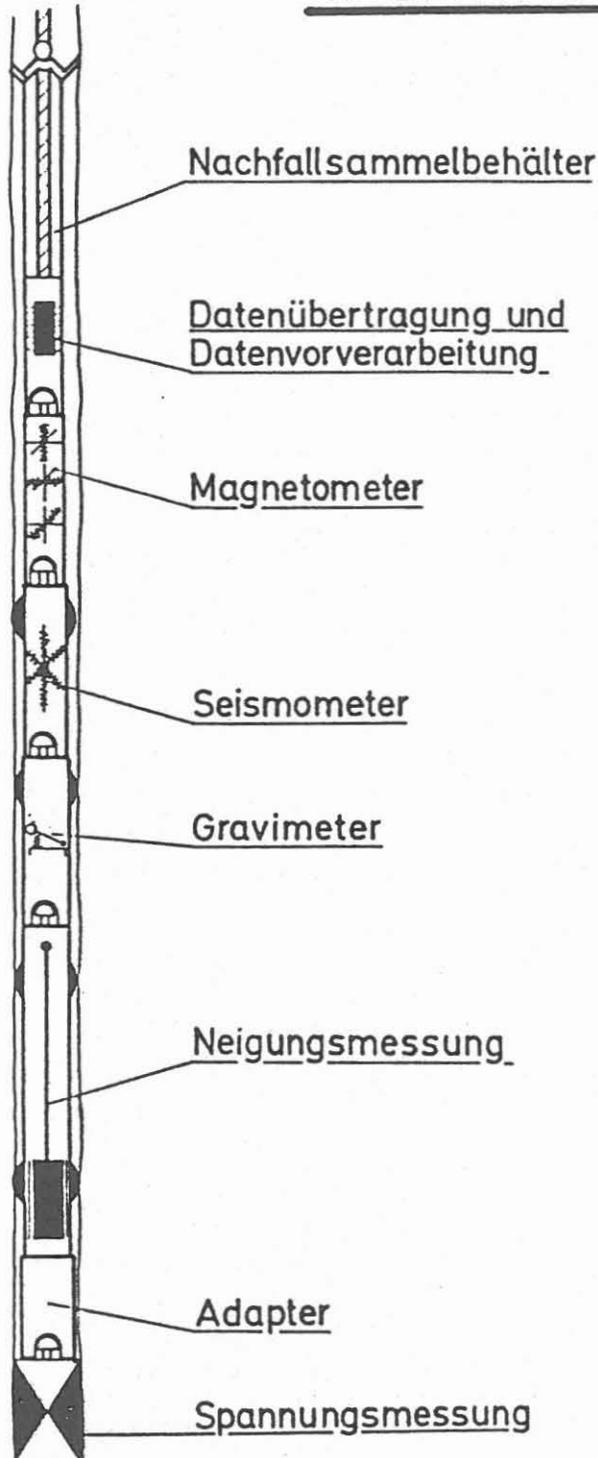
TELEVIEWER

BOHRLOCHGEOPHYSIK, TECHNISCHE ASPEKTE

KTB
Abb. 15

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

OBSERVATORIUM



BOHRLOCHGEOPHYSIK, TECHNISCHE ASPEKTE,
WISSENSCHAFTLICHE ANFORDERUNGEN

KTB
Abb. 16

In den geowissenschaftlichen Zielvorstellungen spielen die Fluide und Fluidbewegungen eine dominierende Rolle, wie z.B. die Mantelentgasung, der Stofftransport, endogene/exotherme Reaktionen, Wärmetransport, Zirkulationssysteme. Es sind Vorstellungen über Transportwege zu entwickeln, wie können diese mit Hilfe von Bohrlochmessungen nachgewiesen werden, wie sind Fluide aus dem Gestein zu extrahieren bei Porositäten von vielleicht weniger als 3 %.

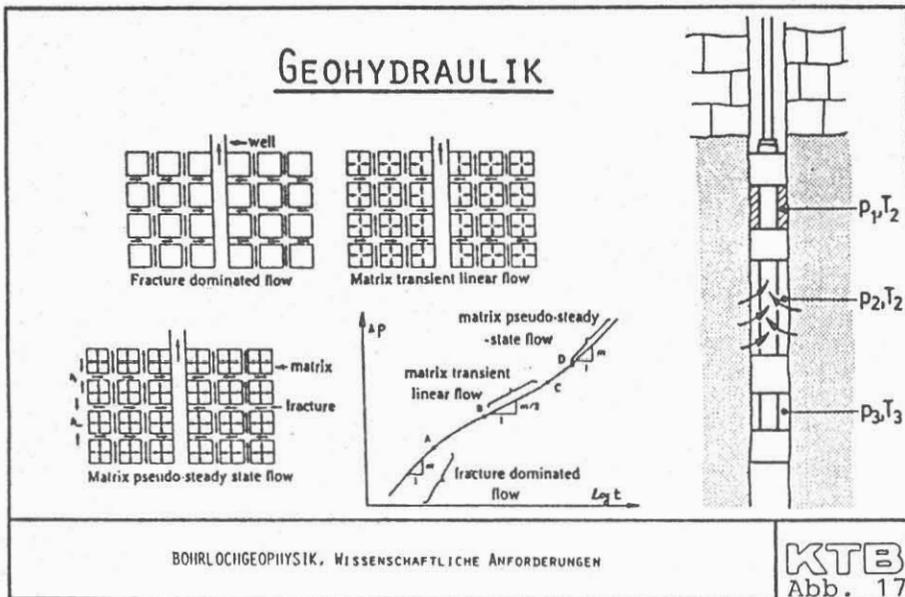
In Abb. 17 sind einige Modelle für das Kristallin dargestellt, um die Ergebnisse hydraulischer Tests erklären zu können. Weitere Modelle sind denkbar. Umgekehrt lassen die Ergebnisse hydraulischer Tests auch Hinweise auf den Aufbau des kristallinen Grundgebirges erwarten. Da die Matrix-Permeabilitäten sehr klein sind, ist damit zu rechnen, daß beim Testen die Flüssigkeit durch die aufgelockerte Bohrlochwand um den Packer migriert. Meßmöglichkeiten außerhalb eines Doppelpacker-Intervalls sind deshalb für Kontrollzwecke notwendig. Gegebenenfalls sind 4-fach Packer-Systeme einzusetzen, die entsprechende Schutzdrücke ermöglichen; p_1 und p_2 gemäß Abb. 17, rechte Seite.

Für die Bohrlochgeophysik ist es wichtig, die Bohrung möglichst lange unverrohrt offen zu halten. Dies hängt aber ganz entscheidend von der Bohrlochstabilität ab; siehe Abb. 5, Abb. 7 und Abb. 18 (ein Ausschnitt aus der schwedischen Forschungsbohrung Gravberg am Siljan Ring). Abgesehen von den in Abb. 18 formulierten anstehenden Forschungsaufgaben ist zu klären, wie in einer solchen Bohrung noch hinreichend genau gemessen werden kann.

Einen ganz wesentlichen Faktor stellen die Schlüsselexperimente dar (FKPE 1986), die nur mit Hilfe einer supertiefen Bohrung durchführbar sind. In Abb. 19 sind einige Experimente aufgelistet und der Einfluß der Paläotemperatur, den es zu erforschen gilt, ist schematisch dargestellt. Schließlich werden für den Nachweis, inwieweit die Gravitationskonstante wirklich eine Konstante₃ ist, Meßgenauigkeiten in der Tiefe und der Dichte von 10^{-3} gefordert; siehe Abb. 20.

Diese kleine Auswahl soll verdeutlichen, welche immensen Anforderungen an die Geophysiker gestellt werden, um die anstehenden Probleme zu lösen.

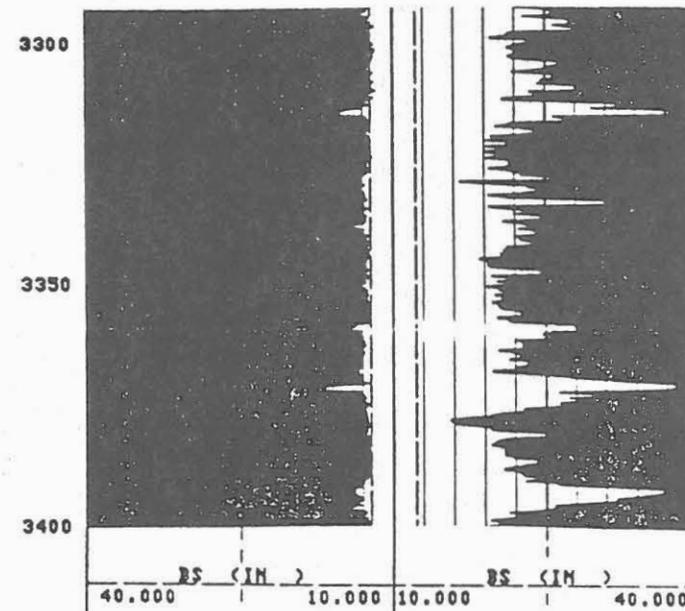
GEOHYDRAULIK



Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

SPANNUNGSFELD, BOHRLOCHSTABILITÄT

- Tiefenextrapolation
- Break out, Umsetzung in Absolutwerte
- Geräte- und Methodenentwicklungen
 - Kern-Messungen
 - In situ Bestimmungen



BOHRLOCHGEOPHYSIK, WISSENSCHAFTLICHE ANFORDERUNGEN

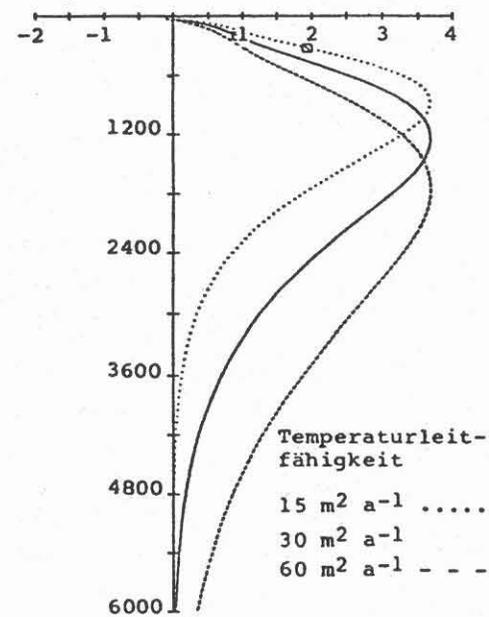
KTB
Abb. 18

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

SCHLÜSSEL - EXPERIMENTE

- Seism. Anisotropie - Experiment
- Paläotemperatur - Einfluß
- Transienten - Elektromagnetik
- Überprüfung des Gravitationsfaktors
- und andere

Temperaturkorrektur in K



BOHRLOCHGEOPHYSIK, WISSENSCHAFTLICHE ANFORDERUNGEN

KTBB
Abb. 19

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

ÜBERPRÜFUNG DES GRAVITATIONSFAKTORS

Schwerepotential: $\phi(r) = -g \frac{M}{r}$

$$\phi(r) = -\frac{M}{r} \cdot (1 + \alpha \cdot e^{-\mu r}) G_{\infty}, \text{ FUJII (1971)}$$

Schwerebeschleunigung: $g(r) = \frac{d\phi(r)}{dr} = G(r) \frac{M}{r^2}$, $G(r) = G_{\infty}(1 + \alpha(1 + \mu r^2)e^{-\mu r})$

Überprüfung: $\frac{\Delta g}{\Delta z} = \frac{4\pi}{3} G_0 \rho$

Erforderliche Meßgenauigkeit für $\Delta g \approx 1$ gal über 10⁴ m:
 Δz und ρ auf 10⁻³ genau

BOHRLOCHGEOPHYSIK, WISSENSCHAFTLICHE ANFORDERUNGEN

KTBB
Abb. 20

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Literatur

- FKPE, 1986: Geophysikalische Schlüsselexperimente in der KTB. - Forschungskollegium Physik des Erdkörpers e.V., Universität Bochum, Geophys. Institut, 98 S.
- Behr, H.-J., Fuchs, K., Hänel, R. & Vidal, H., 1984: Exkursion zur Tiefbohrung KOLA-SG 3. - BGR/NLFB Archiv Hannover, Nr. 96 967, 19 S.
- Rybach, L., 1976: Radioactive heat production in rocks and its relationship to other petrophysical parameters. - Pageoph. 114 pp. 309 - 317.