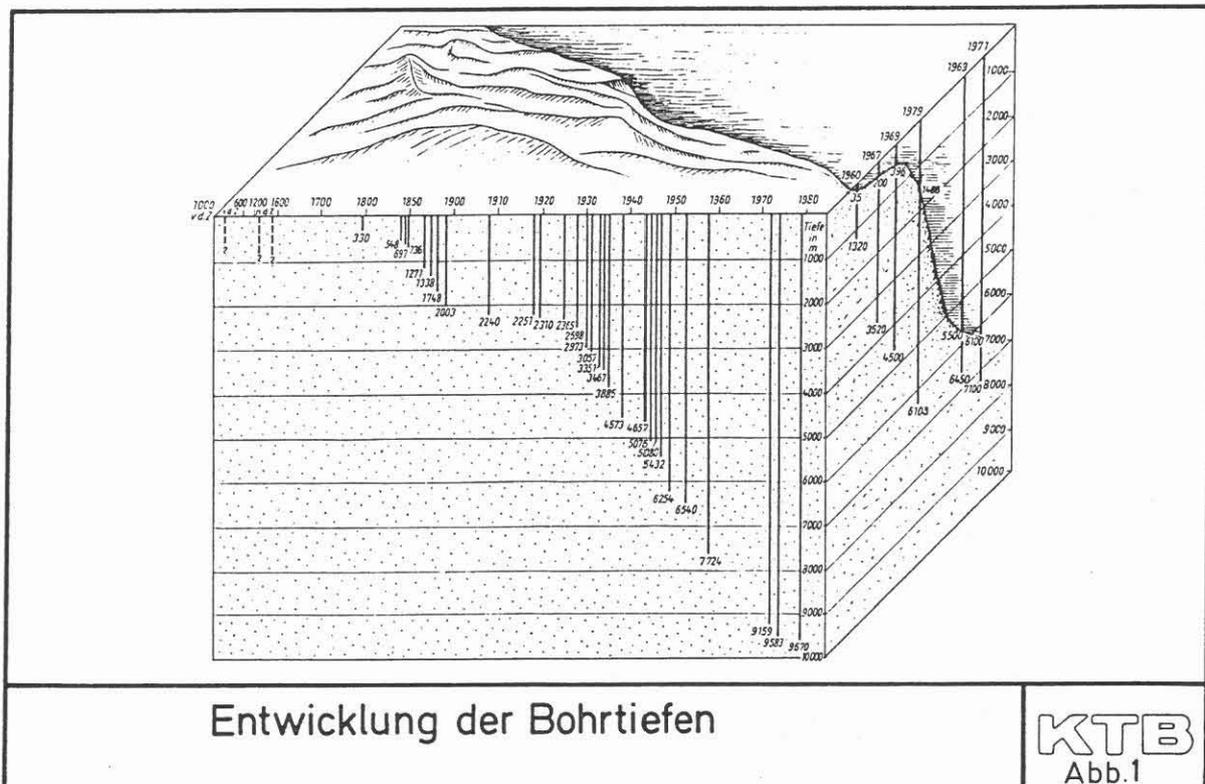


2 FACHBEREICH TECHNIK

2.1 RISCHMÜLLER, H.: Das 'Kontinentale Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland', eine technische Herausforderung

2.1.1 Einleitung

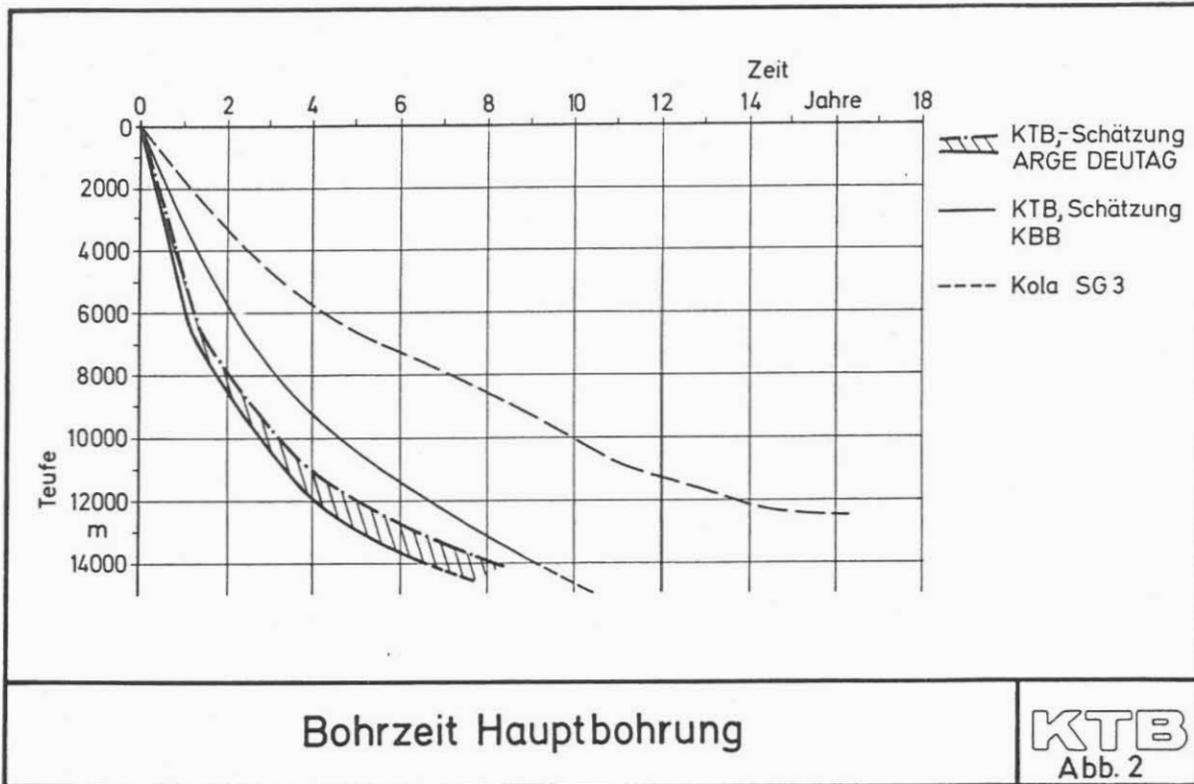
Die Geschichte der Erschließung der Tiefe durch Bohrungen beginnt bereits vor der Zeitrechnung (Abb. 1).



T 1050/9.86

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Das überwiegende Ziel dieser Bohrungen war die Aufsuchung von Rohstoffvorkommen und die Erschließung von Lagerstätten. So nehmen im Zeitalter der beginnenden Industrialisierung etwa seit 1850 die Bohrtiefen von um 500 m rapide auf ca. 2 000 m um die Jahrhundertwende zu – das ist die Zeit der Prospektion auf Kohle und Salz im Gebiet des damaligen deutschen Reiches – stagnieren bis etwa 1925, um dann wieder steil mit der Erschließung immer tieferer Stockwerke zur Kohlenwasserstoff-Suche bis in unsere Zeit anzusteigen. Die kommerziellen Bohrungen haben fast die 10 000 m Marke erreicht. Der wissenschaftlichen kontinentalen Forschungsbohrung Kola SG-3 blieb es vorbehalten, diese Marke zu überschreiten. Sie ist in 15 Jahren Bohrzeit bis 12 060 m Tiefe vorgestoßen (Abb. 2).



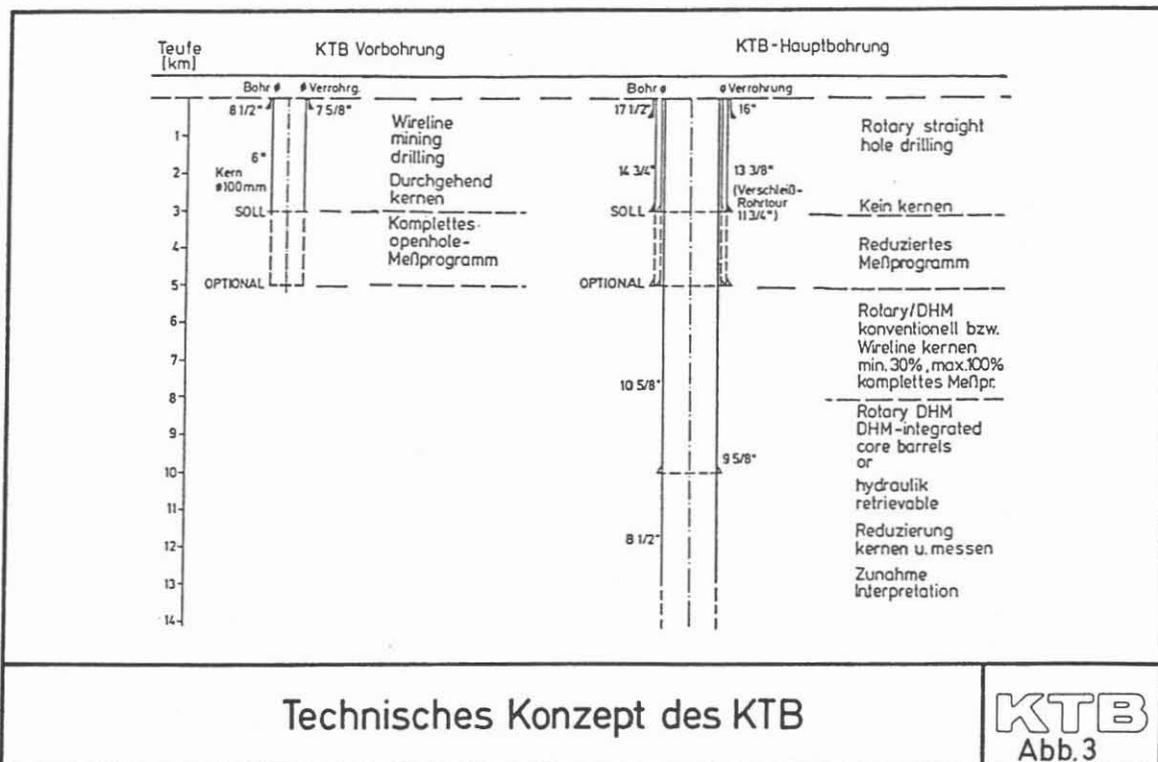
T 1029/9.86

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Aufgabenstellung und Schwierigkeitsgrad einer übertiefen wissenschaftlichen Forschungsbohrung unterscheiden sich erheblich von jeder Art Bohrung auf Rohstoffvorkommen und Lagerstätten. Kommerzielle Bohrungen sollen bekanntlich Lagerstätten aufsuchen und erschließen. Nur in dem Bereich der für die Lagerstätte interessierenden Schichten erfolgen deshalb Kernbohren, umfassende Bohrlochmessungen, Zuflußteste und Laboruntersuchungen. Bei der wissenschaftlichen Forschungsbohrung der kontinentalen Kruste jedoch sind von Anfang an über die ganze Bohrstrecke hinweg Gesteinsproben, Flüssigkeits- und Gasproben, die Feststellung der physikalischen Bedingungen und die geophysikalische Vermessung möglichst langer offener Bohrlochabschnitte erforderlich, um die geowissenschaftlichen Forschungsziele zu erreichen. Gerade im Grenzbereich heutiger technologischer Möglichkeiten und darüber hinaus, d.h. im Temperaturbereich über 150 °C, soll noch eine ausreichende Informationsdichte gewährleistet sein. Immerhin hat die russische Bohrung die grundsätzliche Durchführbarkeit einer übertiefen Bohrung unter Beweis gestellt, wenn sie auch sehr lange gedauert hat und sicherlich unseren Vorstellungen vom Zeit- und Kostenrahmen einer übertiefen Forschungsbohrung nicht entspricht.

2.1.2 Das Gesamtkonzept - ein Synergismus von Vorbohrung, Hauptbohrung, wissenschaftlichem und Bohrlochmeßprogramm

Das technische Konzept des KTB sieht zwei Bohrungen vor: Eine Vorbohrung bis mindestens 3 000, möglichst aber 5 000 m, und die Tiefbohrung mit einer Endteufe von 12 000 bis 14 000 m. Das Konzept ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.



T 1082/12.86

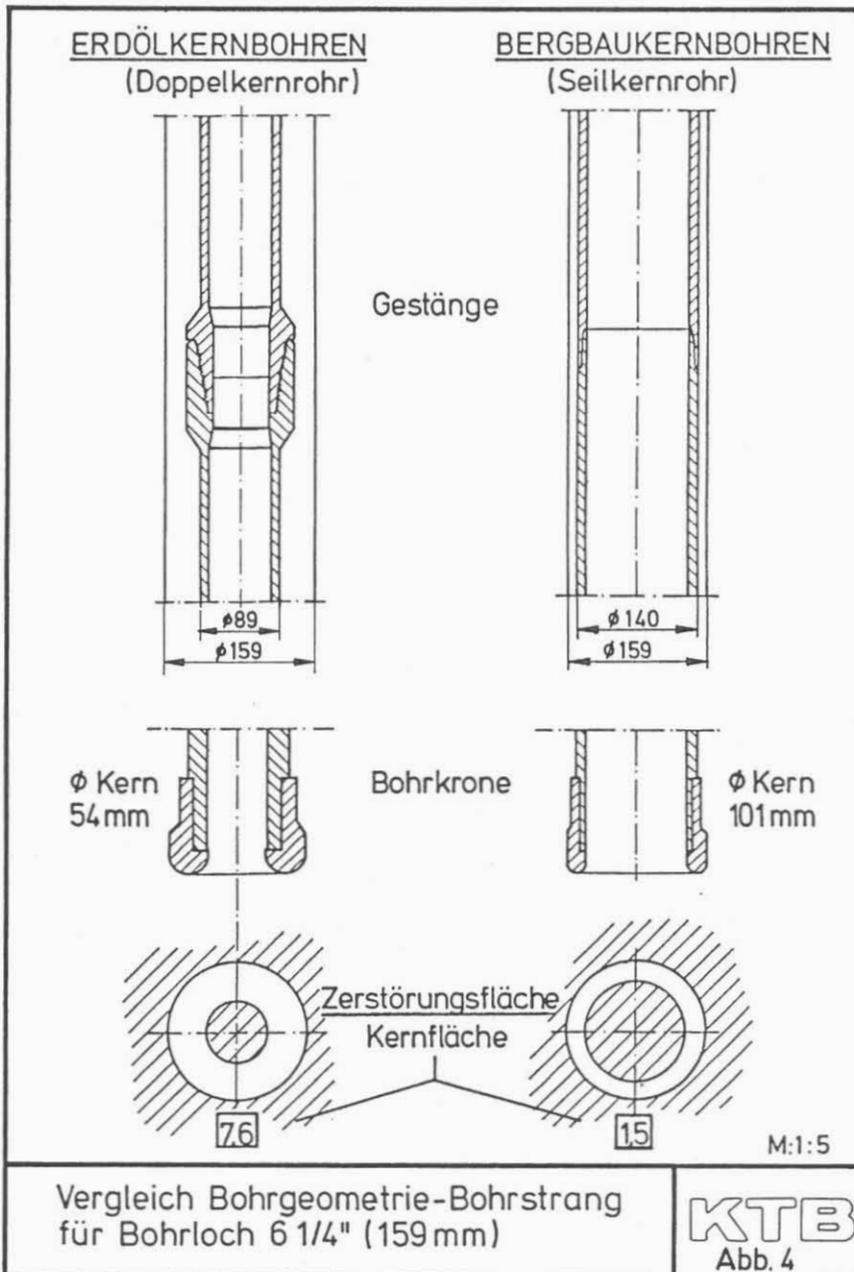
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

2.1.2.1 Vorbohrung

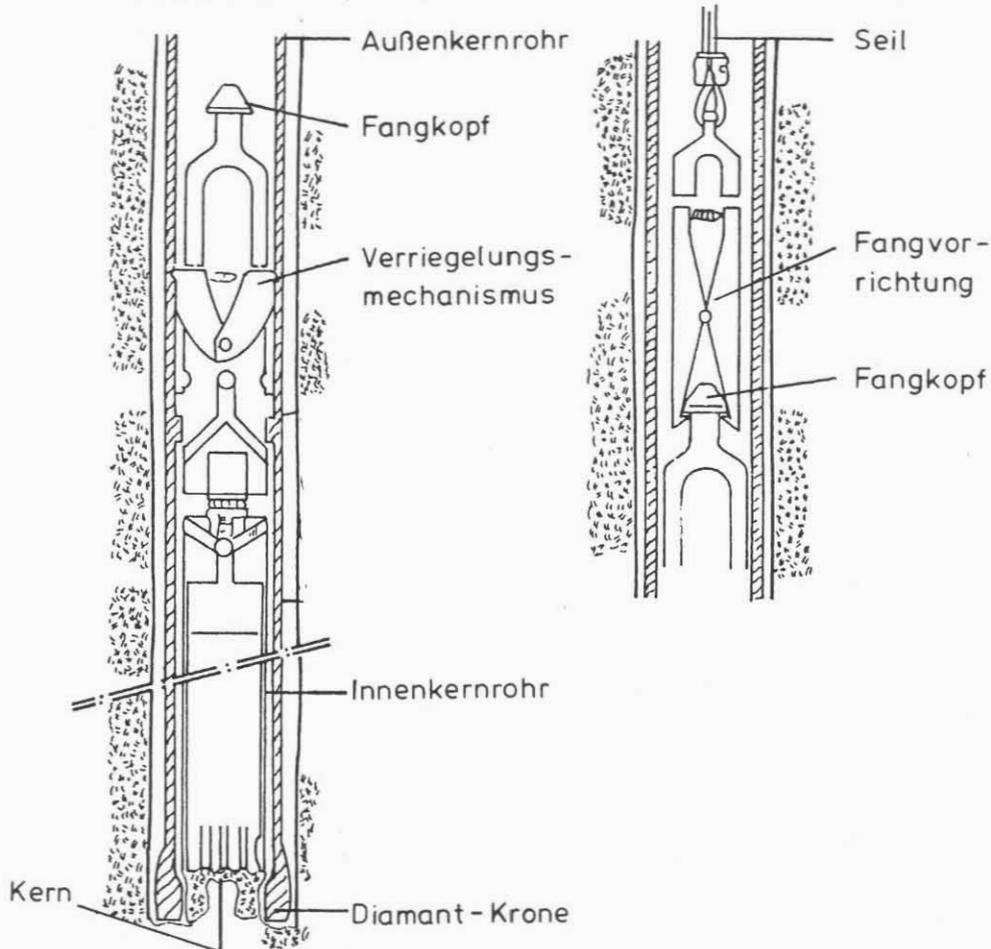
Die Aufgaben der Vorbohrung sind wie folgt:

- Sammlung geowissenschaftlicher Daten
- Entlastung der KTB-Hauptbohrung von Bohrlochmessungen
- Befreiung der KTB-Hauptbohrung von Kernbohrarbeiten (Richtungsstabilität)
- Überprüfung des Temperaturprofils
- Aussage über bohrtechnische Problemhorizonte wie Zuflüsse, Verluste, etc. im Bereich der Ankerrohrtour der KTB-Hauptbohrung
- Erprobung von Bohrwerkzeugen und Meßgeräten
- Kostenersparnis bei der KTB-Hauptbohrung
- Einarbeitung des Arbeitsteams

Nach unserer derzeitigen Überzeugung kann die Bohrung, mit einer Kombination aus Rotary- und bergbaulichem Bohrverfahren durchgeführt, mit etwa zwei Dritteln des Aufwandes im Vergleich zur Anwendung der Rotary-Bohrtechnik hergestellt werden. Beim Bergbau-Bohrverfahren handelt es sich um schnell drehendes Bohren mit dünnlippigen Diamantkronen und Doppelkernrohr bei Verwendung von außen glattem, fast den ganzen Bohrlochquerschnitt ausfüllenden Bohrgestänge. Das innere Kernrohr wird nach Abbohren des Kerns am Seil gezogen (Wire Line Coring), so daß das Werkzeug bis zum Verschleißzeitpunkt auf Sohle bleiben kann (Abb. 4, 5).



1. Konstruktionsprinzip der Seilkernausrüstung



2. Arbeitsabläufe der Kerngewinnung beim Seilkernverfahren



Kerngewinnung mit einer Seilkernausrüstung

KT B
Abb. 5

Gerade die dünnlippige Bohrkronen und die damit im Vergleich zur Rotary-Bohrtechnik deutlich kleinere zu zerstörende Gesteinsfläche ermöglicht den höheren Bohrfortschritt. Demgegenüber erlaubt das Rotary-Gestänge durch die Verstärkung im Bereich der Gestängeverbinder das Bohren in größeren Teufen. Die breite Lippe der Bohrkronen ist hier notwendig, um den für die Gestängeverbinder erforderlichen Querschnitt freizuschneiden.

Die folgende Abb. 6 zeigt das Ergebnis einer Untersuchung über die Bohrfortschritte und Standzeiten der Kronen von Kernbohrungen im Hartgestein. Die wesentlich kleineren Zerstörungsflächen und günstigeren Schnittgeschwindigkeiten beim Bergbaukernbohren ermöglichen eine Verdoppelung der Bohrfortschritte im Vergleich zum Rotarybohren. Mit der Kombination beider Verfahren läßt sich also im Vergleich zur Rotary-Bohrtechnik bei vollem Kerngewinn der Bohrfortschritt verdoppeln, durch Verwendung der Wireline-Technik die Zahl der Roundtrips und durch Einsatz einer Rotary-Bohranlage die Zeit für die Roundtrips reduzieren und so im Bereich mittlerer Teufen eine bemerkenswerte Kosteneinsparung erzielen.

	Bohrung	Bohrfortschritt [m/h]	Standlänge [m]	Zerstörungsfläche [cm ²]
Erdölbohren	Böttstein	0,52	14,2	134
	Weiach	0,48	13,2	134
	Urach	0,58	11,1	282
Bergbaukernbohren	Kaisten	1,11	15,1	84
	Leuggern	1,25	12,7	97
	KTB-Vorerkundg. Schwarzwald / Oberpfalz	0,98	34,5	66

Bohrergebnisse Hartgestein (Kernbohren)

KTB
Abb. 6

T1015/9.86

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Die Vorbohrung soll also eine Endteufe von mindestens 3 000 m erreichen und nach Möglichkeit einen weiteren Teufenbereich bis max. 5 000 m erschließen. Der Endteufenbereich der Vorbohrung korrespondiert mit der Absetzteufe der Ankerrohrtour in der Hauptbohrung. Damit soll erreicht werden, daß bis zu

dieser Teufe in der Hauptbohrung keine Kernbohrarbeiten und wissenschaftlichen Bohrlochmessungen ausgeführt werden müssen, so daß die Hauptbohrung in diesem Abschnitt schneller und dabei noch senkrecht abgeteuft werden kann (siehe auch 2.2).

2.1.2.2 Hauptbohrung

Das Konzept für die Hauptbohrung wurde nach folgenden Kriterien entwickelt:

- Verwendung von international üblichen und bewährten Dimensionen für Bohrwerkzeuge und Untertageequipment wie z. B. Bohrmotoren, Kernrohre, Stofsdämpfer, etc.
- Bohrlochdurchmesser so groß wie nötig, aber so klein wie möglich
- Enddurchmesser bei normalem Verlauf der Bohrarbeiten 8 1/2"

Vergleich der zu zerstörenden Gesteinsvolumina für die verschiedenen Bohr- und Verrohrungsschemata

a) bei üblicher Clearance	von Teufe	bis Teufe	b) bei slimline Clearance	Anteil (a) = 100%
28" = 199m ³	0 m	- 500m	17 1/2" = 78 m ³	= 39%
23" = 938m ³	500 m	- 4000m	14 3/4" = 386 m ³	= 41%
12 1/4" = 456m ³	4000 m	- 10000m	10 5/8" = 343 m ³	75%
8 1/2" = 146m ³	10000 m	- 14000m	8 1/2" = 146 m ³	100%
<u>1739m³</u>	<u>Gesamtvolumen</u>		<u>953m³</u>	<u>= 55%</u>
1593m ³	davon bis 10000m		807m ³	= 51%

**KTB-Hauptbohrung
Bohr- und Verrohrungsprogramm**

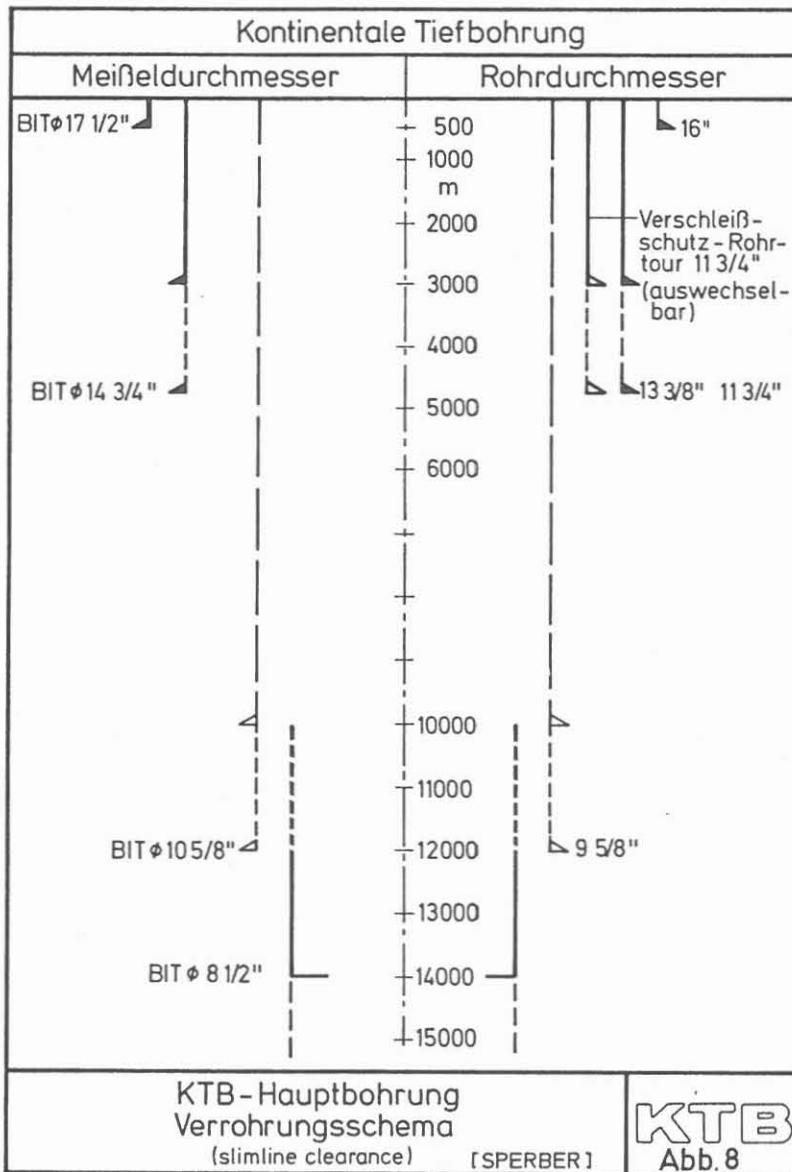
[SPERBER]

**KTB
Abb. 7**

Ein Vergleich (Abb 7) mit dem heute üblichen Verrohrungsschema bei Bohrungen zur Aufsuchung und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen zeigt, daß durch Verringerung der Clearance-Verhältnisse zwischen Bohrlochdurchmesser und

Außendurchmesser der Rohrtouren eine drastische Reduzierung des zu zerstörenden Gesteinsvolumens erreicht werden kann (Slim-Line-Prinzip), die bei dem z.Zt. favorisierten Verrohrungsschema für die Hauptbohrung etwa 50 % beträgt. Hiermit sind natürlich günstigere Bohrfortschritte verknüpft. Weiterhin galt es, so weit wie möglich, bei allen Bohrwerkzeugen - insbesondere aber bei Rollenmeißeln und Bohrkronen - weltweit eingesetzte Standardgrößen auszuwählen, da mit diesen Werkzeugen erfahrungsgemäß die höchste Zuverlässigkeit und beste Leistung erzielt werden kann, Nachschub und Vorhaltung sichergestellt sind und für diese Standarddurchmesser auch eine breite Palette von Hilfswerkzeugen, wie zum Beispiel Fanggeräte, zur Verfügung stehen. Demgegenüber ist die Anfertigung von "maßgeschneiderten" Futterrohren bzw. Futterrohrverbindern relativ problemlos möglich.

Die Berücksichtigung dieser Vorgaben führte zu dem im nächsten Bild dargestellten Bohr- und Verrohrungsschema.



Die Hauptbohrung wird bis 3 000 m bzw. 5 000 m mit 17 1/2" bzw. 14 3/4" Bohrlochdurchmesser gebohrt. Kerne können in diesen Dimensionen nicht erbohrt werden. Dies hätte zur Folge, daß das Bohrloch auf einen kleineren Durchmesser, beispielsweise 8 1/2", abgesetzt werden müßte. Damit ergeben sich aber Stabilisierungsprobleme des Bohrstranges, die in der Praxis zu einer Änderung des Bohrlochverlaufes führen. Gerade der obere Bohrlochabschnitt muß aber so senkrecht wie möglich abgeteuft werden, soll das Ziel einer 12 km bis 14 km tiefen Forschungsbohrung nicht durch unzulässig hohen Verschleiß und Energieverlust im oberen Bohrlochabschnitt infrage gestellt werden.

Das hier vorgeschlagene Bohr- und Verrohrungsschema erfüllt weitgehend die Forderung nach größtmöglicher Flexibilität für evtl. auftretende technische Schwierigkeiten und geologische Unvorhersehbarkeiten, unterscheidet sich jedoch in einem Punkt von der sogenannten "Advanced Open Bore Hole Method" wie sie z.B. für die Bohrung Kola SG-3 vorgeschlagen und bislang durchgeführt worden ist, ohne jedoch deren wesentliche Vorzüge zu verlieren.

Die "Advanced Open Bore Hole Method" sieht vor, aus einer Rohrtour heraus mit einem kleineren als maximal möglichen Durchmesser zu bohren und lediglich bei bohrtechnischen oder geologischen Schwierigkeiten, die einen Rohreinbau erforderlich machen, das Bohrloch bis zu dieser Teufe auf den notwendigen Durchmesser zu erweitern.

Die Vorzüge dieses Konzeptes sind:

- vereinfachtes Verrohrungsschema
- Bohrwerkzeuge und Bohrstrangteile können auf wenige Größen standardisiert werden
- Schutzmöglichkeit der Ankerrohrtour durch wiedergewinnbare Verschleißrohrfahrten
- jederzeit Zirkulationsmöglichkeit bis Rohrschuhteufe über Casing-Ringraum

Die Bohrung Kola SG-3 wurde diesem Prinzip entsprechend abgeteuft, dabei wurde bei 2 000 m eine Ankerrohrtour mit 325 mm Outer Diameter (OD) abgesetzt und zementiert, in diese Rohrtour ein weiterer Rohrstrang mit 245 mm OD eingehängt und aus dieser heraus mit Bohrwerkzeugen von 214 mm OD weitergebohrt.

Nachteilig bei dieser Bohrmethode ist jedoch, daß bei erforderlich werdendem Rohreinbau das Bohrloch in einem zeit- und kostenaufwendigen separaten Arbeitsgang erweitert werden muß. Da Bohrlochwandausbrüche und Nachfall häufig zum Festwerden des Bohrstranges führen, stellt dies eine Gefahr für das Bohrloch dar, die in der Regel nur durch Einbau von Rohren beseitigt werden kann. Bezogen auf die Kontinentale Tiefbohrung bedeutet das, daß mit dem Einbau der 9 5/8" Rohrtour gerechnet werden muß.

Diese Überlegungen führten dazu, das Prinzip der "Advanced Open Bore Hole Method" zu modifizieren und eine Bohrdurchmesserkombination zu wählen, die einen sofortigen Rohreinbau zuläßt, wenn die Situation es erfordert.

Wie bereits dargelegt, kann bis zur Ankerrohrteufe auf Kernbohrarbeiten in der Hauptbohrung verzichtet werden, so daß darunter lediglich in den Durchmesserbereichen 10 5/8" und 8 1/2" gekernt werden muß.

Für beide Durchmesserbereiche stehen bereits erprobte, robuste und wirtschaftliche Diamant- und Rollenkerndrillwerkzeuge zur Verfügung, die bereits bei Hartgesteinsbohrungen in England, Italien und den USA eingesetzt wurden.

Die Tiefbohrung wird mit einer überschweren, eigens zu entwickelnden Bohranlage im Rotary-Bohrverfahren, im Tiefenbereich ab 5 000 m allerdings zunehmend unter Verwendung von Untertage-Bohrmotoren (z.B. Bohrturbine) abgeteuft. Bei einer übertiefen Bohrung verteilt sich die verfügbare Zeit zu etwa einem Drittel auf das Bohren, zu einem weiteren Drittel auf die Roundtrip-Zeit, d.h. die Zeit für den Werkzeugwechsel, und ein Drittel wird für das Messen benötigt. Es ist deshalb wichtig, den Vorgang des Werkzeugwechsels auf ein Minimum zu reduzieren. Nach den Vorarbeiten der mit diesem Problem befaßten Arbeitsgemeinschaften der deutschen Bohrindustrie läßt sich das in erheblichem Umfang realisieren. Wir kommen so beim Kontinentalen Tiefbohrprogramm mit großer Wahrscheinlichkeit zur ersten vollautomatischen Bohranlage (Abb. 9).

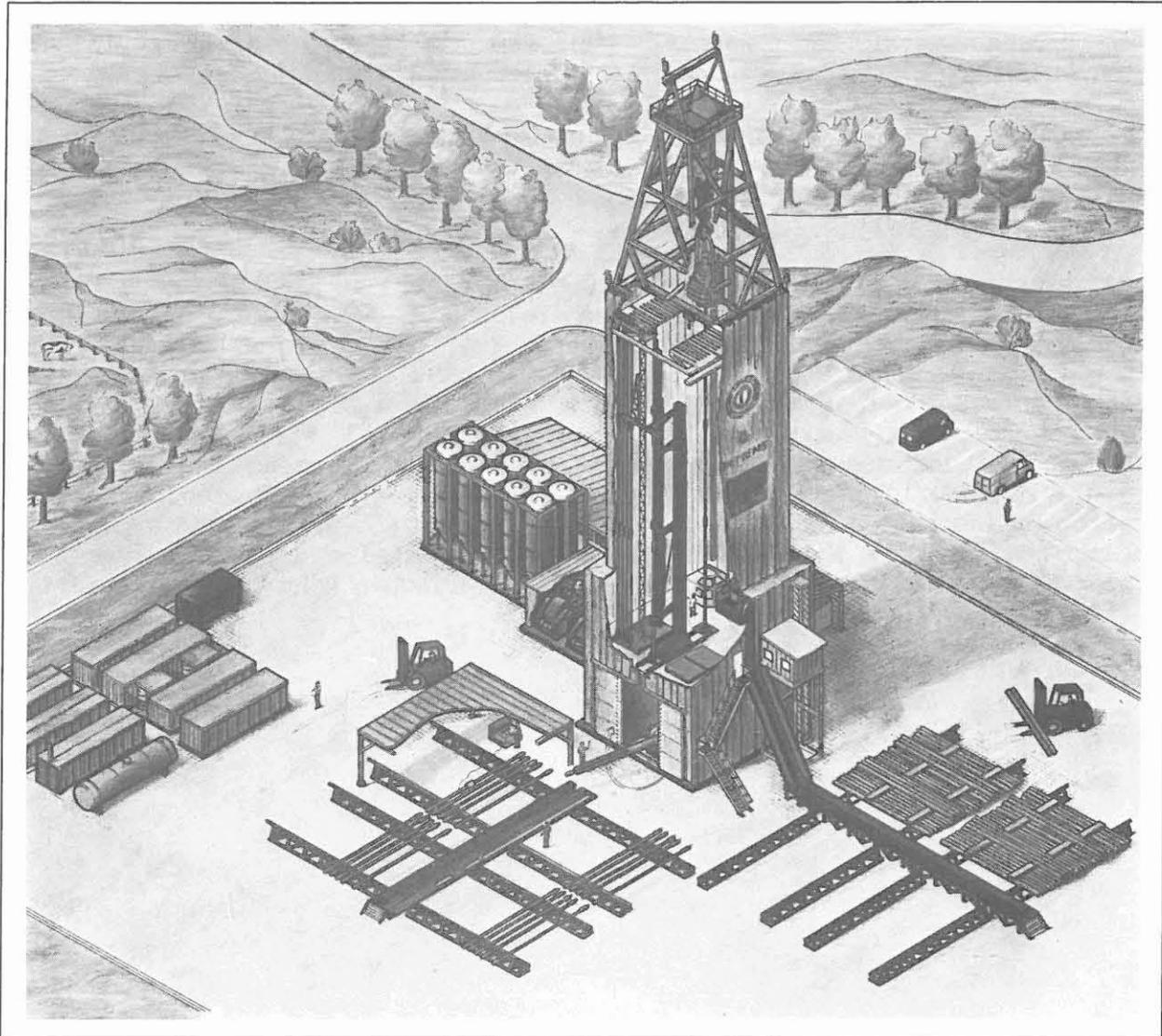
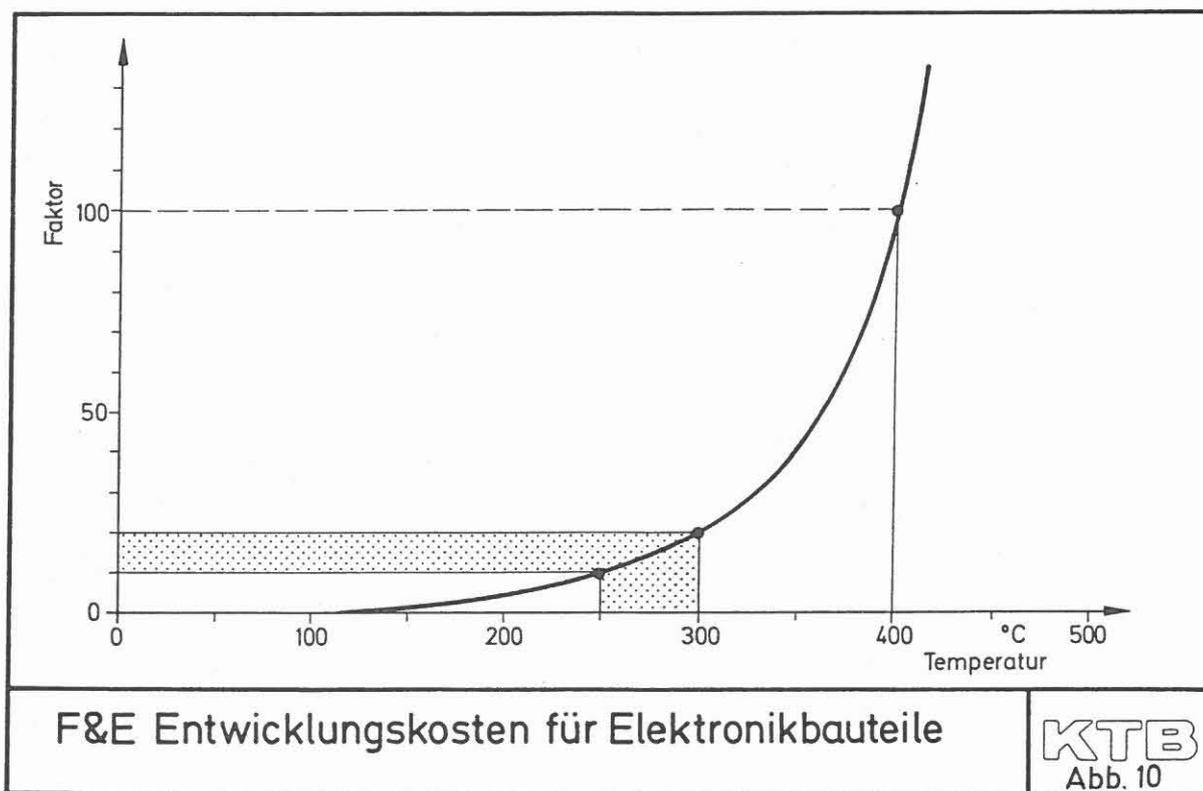


Abb. 9: Die optimierte Bohranlage für über 14 000 m Teufe (nach ARGE Deutag, Preussag, Siemens, Wintershall) mit vollautomatischem Pipehandler, halbautomatischer Gestängeaufnahme und -ablage und einer Setback-Kapazität von zwei vollständigen Bohrsträngen.

2.1.3 Das F- und E-Konzept

Selbstverständlich gilt für die Projektleitung der Grundsatz, wo immer möglich, bewährte Geräte, Technologien und Verfahren einzusetzen und nur dort Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu initiieren, wo das zum Erreichen der geowissenschaftlichen Projektziele unerlässlich ist. Die dominierende technologische Begrenzung ist die Temperatur, und zwar für einen großen Teil der bohrtechnischen Geräte und die Bohrspülung und insbesondere auch für die Meßtechnik im Bohrloch. Die verfügbare Ausrüstung ist bis 150 °C, in wenigen Fällen bis 200 °C ausgelegt. Wie die graphische Darstellung in Abb. 10 zumindest qualitativ aussagt, ist zur Entwicklung elektronischer Bauteile und Geräte für das Temperaturfenster von 250 - 300 °C der 10- bis 20-fache Aufwand, verglichen mit dem konventionellen Temperaturbereich erforderlich. Für 400 °C steigt dieser Entwicklungsaufwand bereits auf das 90- bis 100-fache. Es muß deutlich herausgestellt werden, daß das Budget des Projektes für den Temperaturbereich über 250 - 300 °C weder vorgesehen ist noch dafür im entferntesten ausreicht. Die Frage der Abschätzung des Verlaufes und der Größe der Temperatur ist deshalb von wesentlicher Bedeutung.



Für die Projektleitung ergeben sich eine große Zahl geowissenschaftlicher und technischer F- und E-Projekte mit einem Gesamtvolumen von ca. 60 Mio. DM. Dieser Betrag entspricht den für die DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) zur Forschung an den Universitäten vorgesehenen Mitteln.

2.1.4 Zeitplan

Das Bohrkonzzept der Vorbohrung soll Anfang 1987 ausgearbeitet sein, um bis zum Ende des Frühjahrs 1987 die Bohrplatzplanung und die Ausschreibung der Bohrung durchzuführen. Daran schließt dann die Herstellung des Bohrplatzes an. Dann folgen die Durchführung der Vorbohrung einschließlich des Meßprogramms. Die 3 000 m-Bohrung wird bis Ende 1988 dauern. Sollte bis 5 000 m gebohrt werden, wird die Vorbohrung Ende 1989 beendet sein. Parallel läuft die Vorbereitung der Hauptbohrung, und zwar die Ausarbeitung des Bohrkonzepes, des Bohranlagenkonzepes, die Bohrungsplanung, die Planung der Bohrspülung und ihrer Entsorgung und die Bohrplatzplanung. Diese Aktivitäten dauern bis zum Frühjahr 1988 an und gehen zum Teil darüber hinaus. Noch 1987 ist die Ausschreibung der Bohrkonztraktorleistungen, der Operatorleistungen und der wesentlichen Serviceleistungen und -lieferungen vorgesehen. Die Hauptbohrung kann dann im Sommer 1989 begonnen werden.

Die Schätzung der Bohrzeit der Hauptbohrung ist zum heutigen Zeitpunkt nach wie vor schwierig und noch ungenau. In Abb. 2 sind die Bohrzeit von Kola SG-3, die Schätzung der KBB aus dem Jahre 1963 und eine neuere Schätzung der ARGE Deutag, Preussag, Wintershall und Siemens eingetragen. Es ist durchaus realistisch, davon auszugehen, daß die 14 km tiefe Forschungsbohrung in 8 bis 10 Jahren durchgeführt werden kann. Wichtig in diesem Zusammenhang sind aber auch die Verfügbarkeit einer leistungsfähigen Kernbohrtechnik und eine gute Organisation und Abstimmung der geowissenschaftlichen Messungen und Arbeiten mit den Bohrarbeiten.

2.1.5 Schluß und Ausblick

Zusammengefaßt ist festzustellen, daß es sich beim Bohrkonzzept des KTB um eine interdisziplinär anzugehende geowissenschaftlich-technische und ökonomische Optimierungsaufgabe handelt und daß dieses Bohrkonzzept einen wesentlichen Beitrag zur wirtschaftlichen Verwendung der verfügbaren Mittel, zur Risikominderung und zur Ausrichtung der Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf die wirklich wichtigen Problembereiche zu leisten hat. Durch die tiefere, voll gekernte und weitgehend vermessene Vorbohrung wird die Tiefbohrung in diesem Bereich von Kernbohrarbeiten und Bohrlochmessungen entlastet und kann so wirtschaftlicher mit großem Durchmesser und mit größerer Richtungsstabilität durchgeführt werden, was zur Verschleißminderung beim Bohren in den größeren Teufenabschnitten unerläßlich ist. Die Planungsdaten für die Tiefbohrung, insbesondere die Temperatur- und Druckwerte, werden

verbessert, die bohrtechnischen und geowissenschaftlichen Erfahrungen und die Einarbeitung der Arbeitsteams werden zur wirtschaftlichen Durchführung und Risikominderung der Tiefbohrung beitragen.

Der durch die Vorbohrung erkundete und in der Hauptbohrung durch die Ankerrohrtour größtenteils abgedeckte obere Bohrlochabschnitt stellt eine weitere beträchtliche Minderung des Risikos dar. Die Chancen für das erfolgreiche Durchteufen des mittleren Abschnittes und damit für das Erreichen des übertiefen Bereiches über 10 km sind deutlich verbessert. Um den übertiefen Bereich zu erreichen und dabei noch den geowissenschaftlichen Zielen einer hinreichenden Probengewinnung und Bohrlochvermessung zu entsprechen, müssen die in der Tiefbohrung eingesetzten Ausrüstungen für Temperaturen über 200 °C und Drücke über 1 000 bar bei extremen Zug- und Drehbeanspruchungen zum Teil im Dauerwechselfbereich weiterentwickelt werden. Der Schwerpunkt der dafür notwendigen Forschung liegt bei den Untertageantrieben, Kernbohrsystemen, Bohrwerkzeugen und einer geeigneten Bohrspülung. Das Volumen der technischen Forschung ist mit 40 - 50 Mio. DM erheblich und bedeutet einen kräftigen Impuls für die deutsche Tiefbohrtechnik und für die Bohrlochmeßtechnik [auch Bergbau: Zielbohrstange (BF) und Bore Hole Televiwer (WBK)].