

2.3 SPERBER, A., CHUR, C.: Konzept der Hauptbohrung - 'Bohrprogramm und Verrohrungsschema'

2.3.1 Einleitung

Trotz weltweit hoher Bohrleistungen liegen nur wenige Erfahrungswerte über das Abteufen von Bohrungen im Kristallin mit größeren Bohrlochdurchmessern bis in größere Teufen vor. Ausnahmen hierzu bilden lediglich die in der nachfolgenden Tabelle (Abb. 1) genannten Bohrungen, während ansonsten im Kristallin vorwiegend mit Hilfe der Schürfbohrtechnik in entsprechend kleinen Durchmesserbereichen gearbeitet wird, so z. B. in Südafrika oder Kanada zur Tiefenerzprospektion. Demgegenüber werden Bohrungen auf Kohlenwasserstoffe in der Regel im Sedimentgestein niedergebracht und aus wirtschaftlichen Gründen größtenteils mit Vollbohrwerkzeugen geteuft; lediglich in Trägerbereichen werden Kerne erbohrt.

Gänzlich anders ist hingegen bekanntlich die Zielsetzung des geplanten Tiefbohrprojektes. Aus diesen unterschiedlichen Zielsetzungen (Kohlenwasserstoffsuche einerseits, geowissenschaftliche Erkundung der nichtsedimentären Erdkruste andererseits) ergeben sich zwangsläufig andere Anforderungen an die Planung und Durchführung dieser Tiefstbohrung, denen insbesondere auch durch die Auswahl eines entsprechenden Bohr- und Verrohrungsprogramms Rechnung getragen werden muß.

LAND	BOHRUNG / FELD	ENDTEUFE (m)	ERBOHRTES KRISTALLIN (m)
CHINA	LIAOHE	2 600	500
DEUTSCHLAND	URACH 3	3 488	1 880
ENGLAND	CORNWALL (3)	2 500 v. T.	2 500 v. T.
FRANKREICH	GPF (2)	1 400	1 400
ITALIEN	LARDERELLO FELD	3 970	150
LIBYEN	AMAL	2 900	200
SOWJETUNION	KOLA SG 3	12 600	12 600
SCHWEDEN	SILJAN RING (GRAVBERG)	(5 000)	(4 900)
SCHWEIZ	NAGRA (5)	2 480	max. 1 400
VEREINIGTE STAATEN	LOS ALAMOS (4)	3 400 v. T.	2 300 v. T.
	SALTON SEA (SSSDP)	3 200	?

**Erbohrtes Kristallin**

[SPERBER]

**KTB**  
Abb. 1

## 2.3.2 Bohr- und Verrohrungsprogramm

### 2.3.2.1 Bohr- und Verrohrungsschema bei KW-Explorationsbohrungen

Das etappenweise Einbringen von Verrohrungen dient in der Regel dazu,

- die Bohrlochabsperrung installieren zu können
- bereits erbohrte Bohrlochabschnitte gegen Nachfall, Zufluß und Verluste zu sichern
- Schichten unterschiedlicher Porendruckgradienten voneinander zu trennen
- und den Steigrohrproduktionsstrang aufzunehmen.

Die Ringräume zwischen Bohrlochwand und Rohr bzw. zwischen zwei Rohrtouren werden zwecks Abdichtung über die gesamte Länge oder nur über einen Teilabschnitt zementiert. Da beim Durchteufen von Sedimentprofilen sowohl drückende Formationen wie quellfähige Tonschichten oder Salinarstrecken als auch poröse, permeable Horizonte, wie Sandsteine, durchteuft werden, muß ein ausreichender Zwischenraum zwischen Bohrlochwand und Verrohrung gewährleistet sein, um mit Hilfe der Zementation eine gute Abdichtung zu erzielen. Dies bedingt, daß zum Beispiel für einen mit 9 5/8" Casing zu verrohrenden Bohrlochabschnitt mit 12 1/4"-Werkzeug vorgebohrt wird. Damit wird bei kaliberhaltigem Bohrloch ein Ringraumpalt zwischen Bohrlochwand und Verrohrung von ca. 33 mm erreicht.

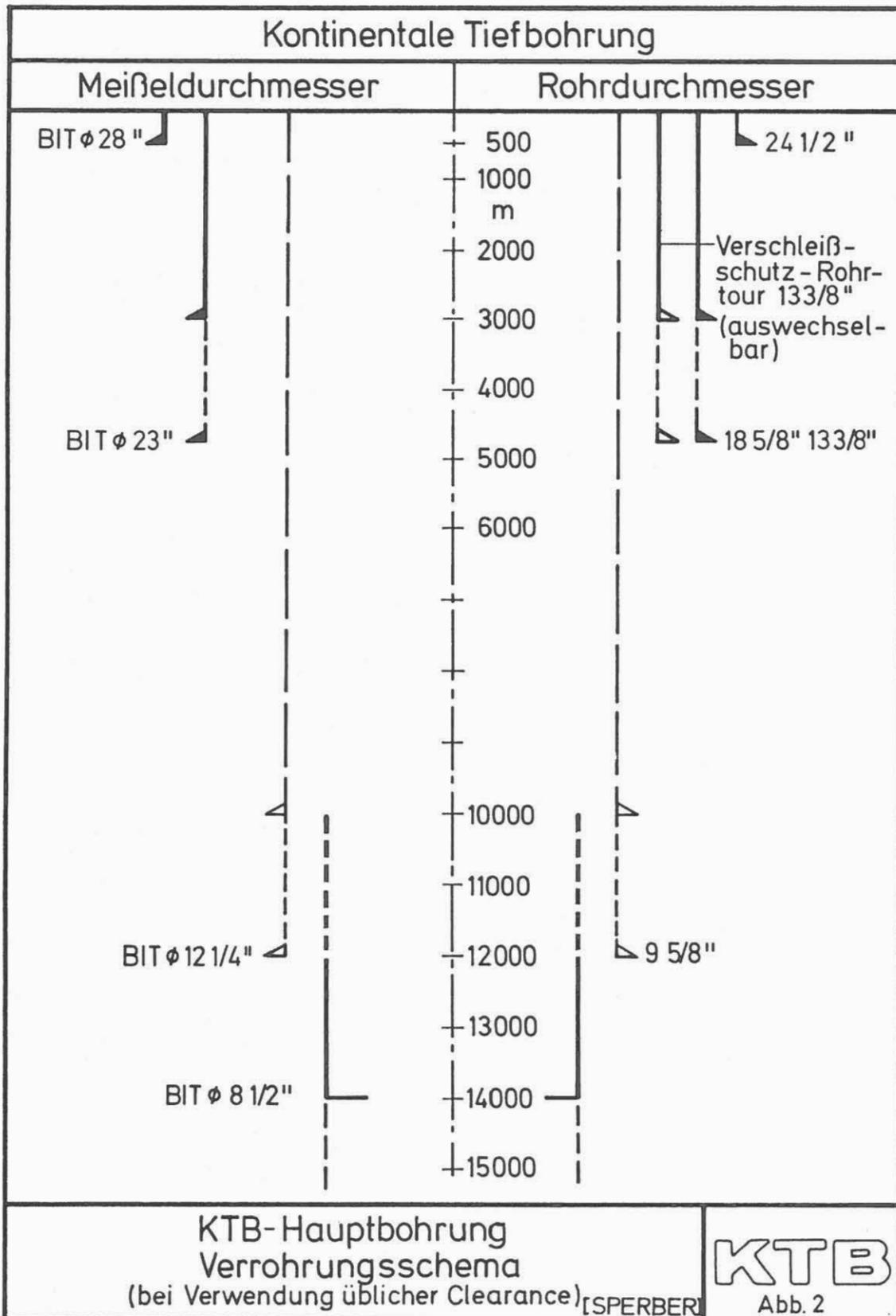
Bei durchgehender Verwendung der in der Kohlenwasserstoff-Exploration üblichen Werkzeug- und Rohrdurchmesserkombinationen würde sich für die Kontinentale Tiefbohrung ein Bohr- und Verrohrungsprogramm ergeben wie es Abb. 2 wiedergibt.

Man sieht, daß in dem gezeigten Fall mit 28" Bohrdurchmesser begonnen werden muß, um die Endteufe mit einem Bohrlochdurchmesser von ca. 8 1/2" zu erreichen.

Dieser Enddurchmesser wird von uns deshalb angestrebt, weil in diesem Durchmesserbereich

- eine große Palette bewährter Vollbohrwerkzeuge zur Verfügung steht,
- gute Bohrfortschritte bei guten Werkzeugstandzeiten erreichbar sind,
- mit gleichem Außendurchmesser gekernt werden kann und
- ausreichend Reserven zur Behebung eventueller Probleme, die möglicherweise das Einbringen einer weiteren Verrohrung erfordern,

geboten sind.

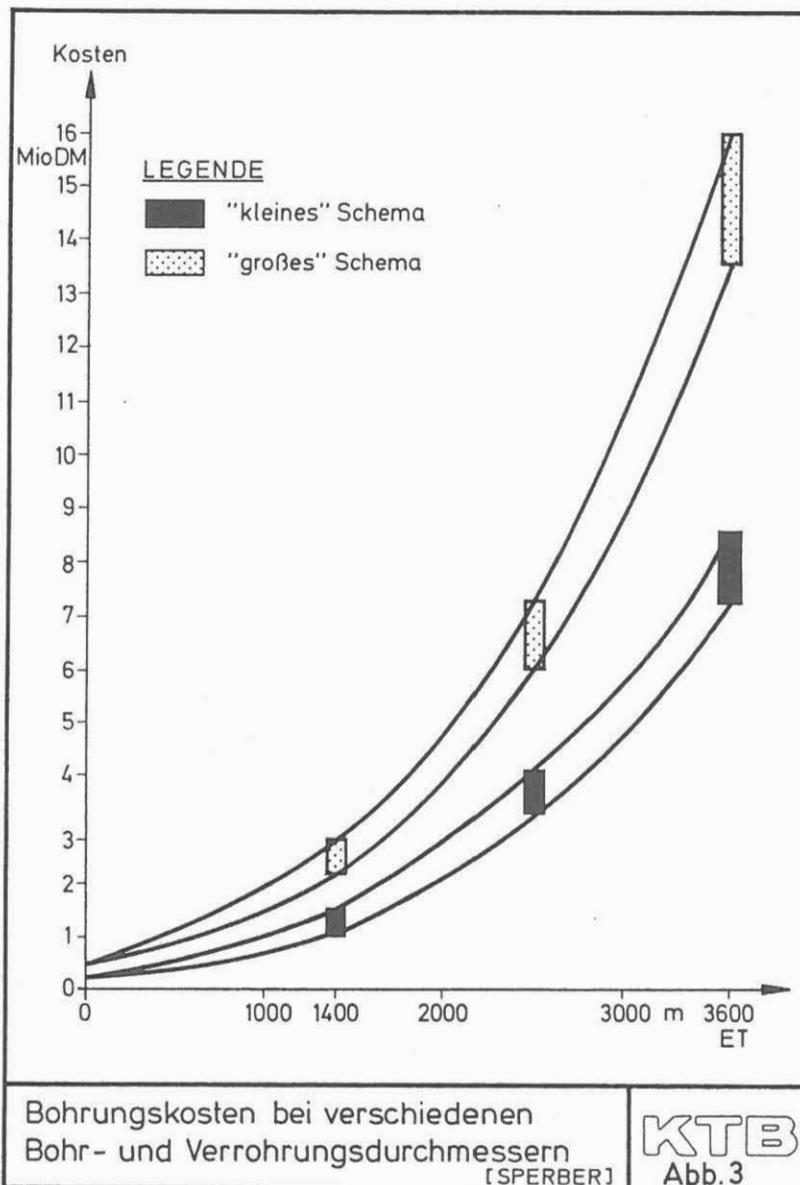


### 2.3.2.2 Einfluß des Bohrdurchmessers auf die Bohrungskosten

Wie leicht einzusehen ist, steigen die Bohrungskosten mit wachsendem Bohr- und Verrohrungsdurchmesser. Dies ergibt sich aus den höheren Kosten für

- die erforderliche Energie für das größere, zu zerstörende Gesteinsvolumen
- Bohrwerkzeuge,
- Spülung und Entsorgung,
- Verrohrung und Zementation.

Außerdem steigt in der Regel der Bohrfortschritt, je kleiner der Werkzeugdurchmesser ist. Daraus resultiert die in Abb. 3 gezeigte Entwicklung der Bohrungskosten in Abhängigkeit von Durchmesser und Teufe.



Andererseits muß auch beachtet werden, daß allgemein die Standzeit der Bohrwerkzeuge mit kleinerem Durchmesser geringer ist.

Dies gilt insbesondere für Rollenmeißel, bei denen die Lager der Meißelrollen, insbesondere bei kleinen Bohrwerkzeugen, die Standzeiten begrenzen. Der Bohrdurchmesser kann, abgesehen von den geowissenschaftlichen Anforderungen, allein schon deshalb nicht beliebig klein gewählt werden; außerdem sind auch die Verfügbarkeit von Bohrwerkzeugen, Untertageantrieben, usw., als auch evtl. technische Probleme bei zu geringen Bohrlochdurchmessern zu berücksichtigen.

So gilt es, diese zum Teil konträren Aspekte zu einem für die Kontinentale Tiefbohrung technisch und wirtschaftlich optimierten Bohr- und Verrohrungsprogramm zu verknüpfen.

### 2.3.2.3 Bohr- und Verrohrungsschema der Kontinentalen Tiefbohrung

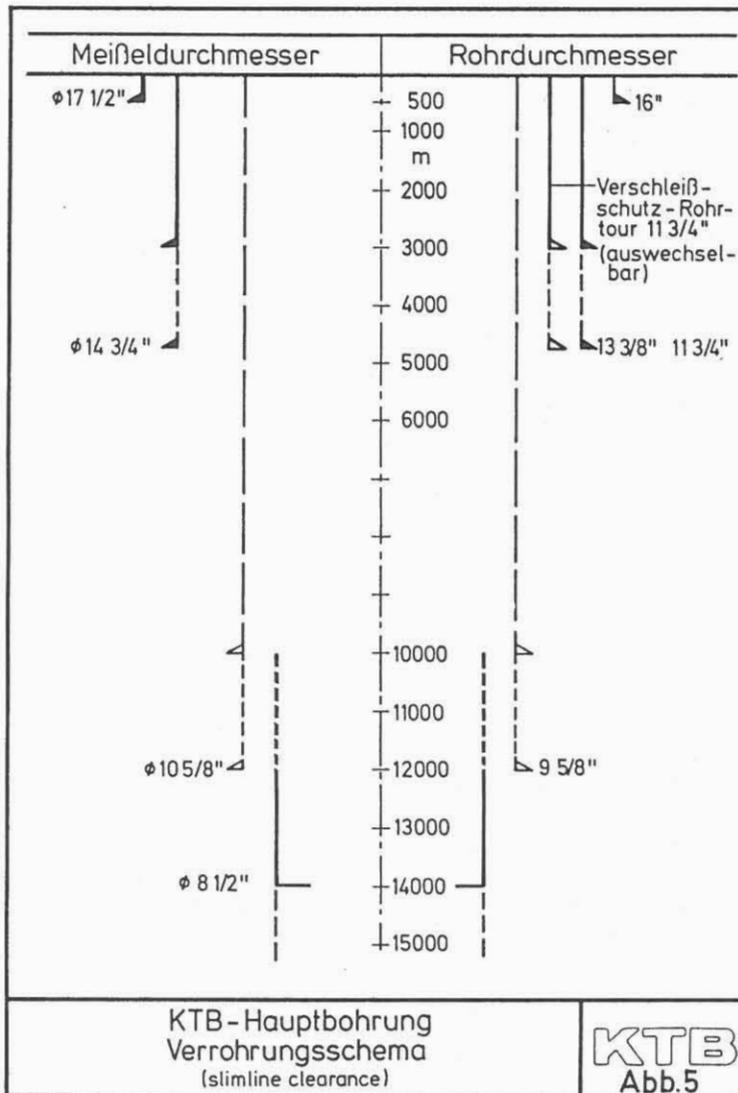
Neben den eben genannten Aspekten, sind auch die Unterschiede zwischen einer auf Kohlenwasserstofferschließung gerichteten Sedimentbohrung und der ausschließlich auf wissenschaftliche Ziele ausgerichteten Tiefbohrung im kristallinen Gebirge zu berücksichtigen. Die wichtigsten Unterschiede sind nachfolgend tabellarisch (Abb. 4) zusammen mit den daraus für das KTB-Projekt zu ziehenden Schlußfolgerungen aufgelistet.

UNTERSCHIEDE	SCHLUSSFOLGERUNGEN
- GESTEINSBEDINGT GERINGE BOHRFORTSCHRITTE UND KURZE WERKZEUGSTANDZEITEN	- VIELE ROUNDTrips, DAMIT STARKER CASING-VERSCHLEISS ZU ERWARTEN, DESHALB SCHUTZ-ROHRTOUR ERFORDERLICH
- SEHR NIEDRIGE POROSITÄT UND PERMEABILITÄT, KEIN FILTERKUCHENAUFBAU, KEINE GASFÜHRUNG	- ENGERE CLEARANCE MÖGLICH, DADURCH BEI GLEICHEM ENDDURCHMESSER KLEINERER STARTDURCHMESSER
- KEINE PLASTISCHEN FORMATIONEN, KEIN „ZUWACHSEN“ DES BOHRLOCHES	
- HÖHERER FORMATIONSBRECHDRUCKGRADIENT	- WENIGER VERROHRUNGEN NOTWENDIG, GERINGERE ABSETZTEUFE AUSREICHEND

**UNTERSCHIEDE KRISTALLINBOHRUNG - SEDIMENTBOHRUNG**  
[SPERBER]

**KTB**  
Abb.4

Weiterhin galt es zu versuchen, so weit wie möglich bei allen Bohrwerkzeugen - insbesondere aber beim Rollenmeißel - weltweit eingesetzte Standardgrößen auszuwählen, da bei diesen Werkzeugen erfahrungsgemäß die höchste Zuverlässigkeit und beste Performance erzielt werden kann, der Nachschub problemlos ist und für diese Standarddurchmesser auch eine breite Palette von Hilfswerkzeugen wie zum Beispiel Fanggeräte usw. zur Verfügung steht. Demgegenüber ist die Anfertigung von "maßgeschneiderten" Futterrohren bzw. Futterrohrverbindern relativ problemlos möglich. Allerdings sollte auch schon aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus hier ebenfalls versucht werden, zumindest möglichst nahe am international üblichen Standard zu bleiben. Die Berücksichtigung dieser Vorgaben führte zu dem in Abbildung 5 dargestellten Bohr- und Verrohrungsschema für das Kontinentale Tiefbohrprojekt.



Der Vergleich mit dem bereits vorher gezeigten Schema unter Verwendung üblicher Clearance-Verhältnisse zeigt, daß durch Reduzieren der Clearance-Verhältnisse mit einem deutlich geringeren Bohrlochdurchmesser begonnen werden kann. So kann dadurch z. B. das zu zerstörende Gesteinsvolumen nahezu halbiert werden, wie aus Abb. 6 ersichtlich ist, in der die einzelnen Teufenabschnitte gegenübergestellt wurden.

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 <sup>3</sup>	0 m	- 500 m	17 1/2" = 78 m <sup>3</sup>	= 39%
23" = 938 m <sup>3</sup>	500 m	- 4000 m	14 3/4" = 386 m <sup>3</sup>	= 41%
12 1/4" = 456 m <sup>3</sup>	4000 m	- 10000 m	10 5/8" = 343 m <sup>3</sup>	75%
<u>8 1/2" = 146 m<sup>3</sup></u>	10000 m	- 14000 m	<u>8 1/2" = 146 m<sup>3</sup></u>	<u>100%</u>
<u>1739 m<sup>3</sup></u>	<u>Gesamtvolumen</u>		<u>953 m<sup>3</sup></u>	= <u>55%</u>
1593 m <sup>3</sup>	davon bis 10000 m		807 m <sup>3</sup>	= 51%

**KTB-Hauptbohrung  
Bohr- und Verrohrungsprogramm**

[SPERBER]

**KTB**  
Abb. 6

T 1065/10.86

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Nachfolgend einige Bemerkungen zu der vorgesehenen Verschleißrohrfahrt:

Neben dem Schutz der Ankerrohrtour vor mechanischem Abrieb durch das Bohrgestänge bei Bohrarbeiten und Roundtrips bietet die unzementierte Verschleißrohrfahrt noch die Möglichkeit, auch bei ausgebautem Bohrstrang bis zur Rohrschuh-teufe zu zirkulieren. Dies erhöht die Bohrlochsicherheit sowohl bei Roundtrips als auch während der zu erwartenden langen Meßphasen, in denen sich kein Gestänge im Bohrloch befindet.

Neben dem geringen Bohrdurchmesser zu Beginn erfüllt dieses Verrohrungsschema die Forderung nach größtmöglicher Flexibilität für evtl. auftretende technische Schwierigkeiten und geologische Unvorhersehbarkeiten. Die verfügbaren Reserven, sowie die dazugehörigen maximalen Bohrlochdurchmesser sind in Abb. 7 dargestellt.

Prinzipiell stehen noch weitere Möglichkeiten zur Verfügung, allerdings unter Verzicht auf die auswechselbare Verschleißrohrtour. So könnte z. B. mit 12 1/4" Werkzeugen aus der 13 3/8" Ankerrohrtour herausgebohrt werden, bis die Wandstärkenminderung durch Verschleiß den festen Einbau der 11 3/4" Rohrtour erfordert. Dieses Vorgehen könnte entsprechend weiter fortgesetzt werden, hätte aber den Nachteil, daß wegen des zur Zeit kaum abschätzbaren Rohrtourverschleißverhaltens ein Erreichen des angestrebten Endteufenbereiches von ca. 12 bis 14 km mit möglichst großem Durchmesser fraglich erscheint.

<u>bei zusätzlichem</u> <u>Verrohren mit</u> <u>(Rohr-OD)</u>	<u>ist Erreichen der ET</u> <u>möglich mit</u> <u>(Meißel-OD)</u>
9 5/8" - 53,5 lb/ft	ca. 8 1/2"
7 5/8" - 39,0 lb/ft	ca. 6 1/2"
5 1/2" - 26,0 lb/ft	ca. 4 1/2"

Reservedimensionen des KTB-Verrohrungsschemas

[SPERBER]

**KTB**  
Abb.7

Das hier vorgeschlagene Bohr- und Verrohrungsschema unterscheidet sich in einem Punkt von der sogenannten "Advanced Open Borehole 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 Borehole 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 dieser Bohrmethode sind:

- vereinfachtes Bohrlochdesign,
- 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 Außendurchmesser (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.

Nachteil bei dieser Bohrmethode ist jedoch, daß bei erforderlich werdendem Rohreinbau das Bohrloch in einem zeit- und kostenaufwendigen separaten Arbeitsgang erweitert werden muß, abgesehen von den technischen Problemen, die auftreten können, wenn z. B. das Bohrloch durch Nachfall mit der Zeit eine ovale Form annimmt. So ergaben Kalibermessungen der Bohrung Kola SG-3 in einigen Bereichen einachsige Auskesselungen bis nahezu dem Dreifachen des Bohrdurchmessers.

Da Nachfall häufig zum Festwerden des Bohrstrangs führt, 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 Borehole Method" etwas zu modifizieren und eine Durchmesserkombination zu wählen, die jeweils einen sofortigen Rohreinbau zuläßt.

Als weiterer Aspekt für die Kontinentale Tiefbohrung ist der angestrebte Anteil an Kernmärschen zu berücksichtigen. Aus den bereits erwähnten Gründen sollte auf ein Kern mit kleinerem Durchmesser und anschließendem Erweitern der Kernstrecke verzichtet werden, andererseits aber soll mit einem wirtschaftlich vertretbaren Kernbohrwerkzeugdurchmesser gearbeitet werden können.

Unter Berücksichtigung des KTB-Gesamtkonzeptes (durchgehend gekernte Vorbohrung), kann voraussichtlich bis zur Ankerrohrteufe auf Kernbohrarbeiten in der Hauptbohrung verzichtet werden, so daß 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 USA eingesetzt wurden.

### **2.3.3      Schlußbetrachtung**

Das hier vorgestellte Bohr- und Verrohrungskonzept basiert zur Zeit naturgemäß noch auf vielen Annahmen, die durch die Vorbohrung bestätigt oder korrigiert werden müssen.

Inwieweit dieses Konzept exakt in die Praxis umgesetzt werden kann, ist daher zur Zeit auch noch nicht vorhersehbar. Das Verrohrungsschema bietet jedoch auch für den Fall, daß Anpassungen erforderlich werden sollten, genügend Flexibilität und Reserven, um das gesteckte Ziel der Kontinentalen Tiefbohrung erreichen zu können.

### **2.3.4      Literatur**

KOSLOWSKI, E. A. (1984): Kola übertief. - Welt der Wissenschaft, März 1984.