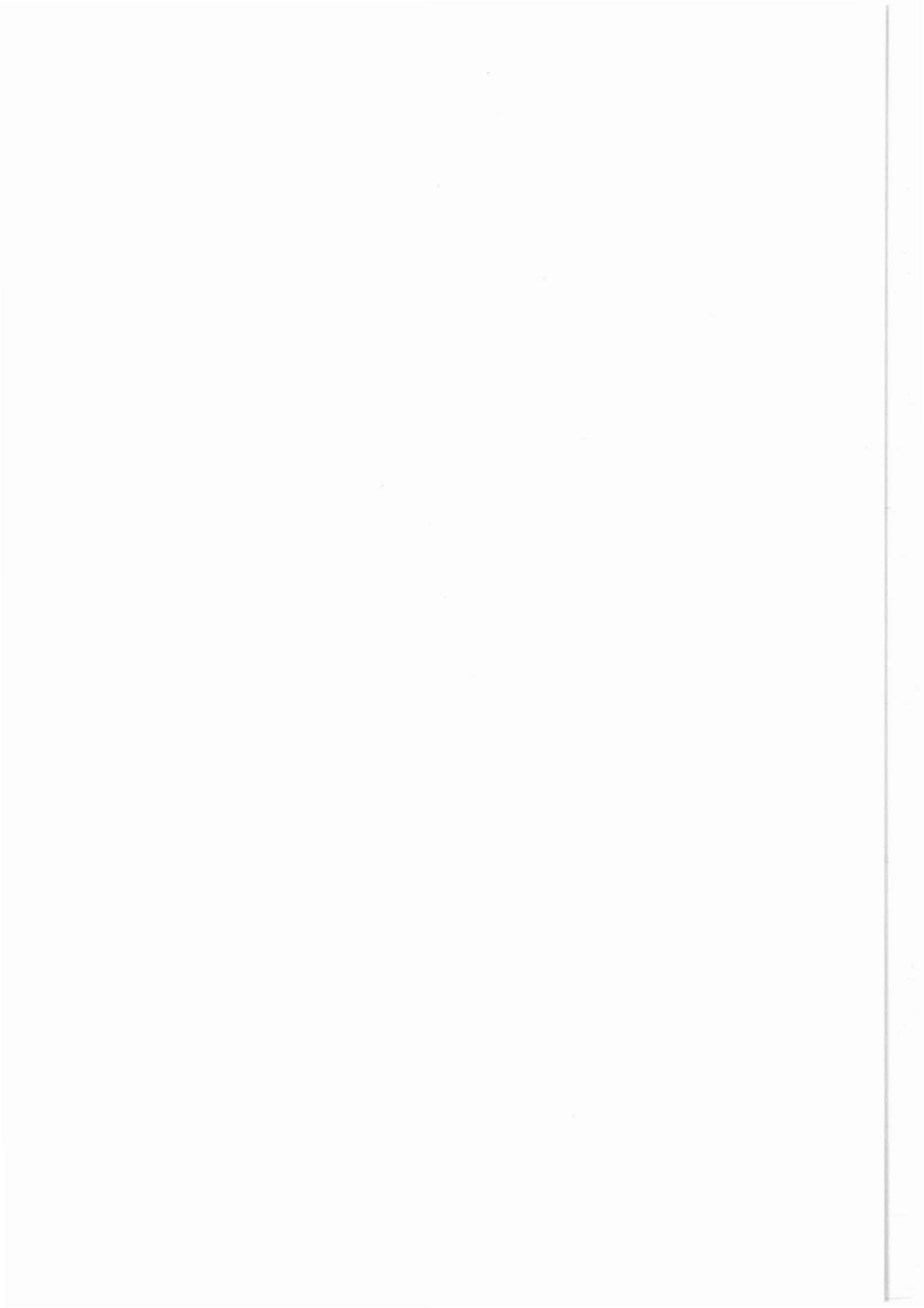


Eastman Christensen GmbH

Christensenstraße 1
3100 Celle

Erarbeitung eines Konzepts für die weitere Entwicklung
von Systemen zum kontinuierlichen Vorwärtskernen
und zum Seitenkernen in der Kontinentalen
Tiefbohrung (KTB)

Dr.-Ing. J. Oppelt



Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Einführung.....	138
1. Anforderungen an Kernbohrsysteme in der KTB-Hauptbohrung.....	139
1.1 Bohrplanung für KTB-Hauptbohrung.....	140
1.2 Erwartete geologische Verhältnisse.....	141
1.3 Temperatur, Druck und Spannungen im Bohrloch.....	142
1.3.1 Einfluß auf Bohrwerkzeuge und Kernprozeß.....	143
1.3.2 Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Kernbohrsystemen.....	144
2. Stand der Technik kontinuierlich betrie- bener Systeme zum Vorwärtskernen und von Systemen zum Seitenkernen.....	145
2.1 Kernbohrerfahrungen im Kristallin.....	146
2.2 Verfügbare Kernbohrsysteme.....	149
2.2.1 Kontinuierliche Systeme zum Vorwärtskernen.....	149
2.2.2 Systeme zum Seitenkernen.....	151
3. Entwicklungsmöglichkeiten für KTB-Kern- bohrsysteme.....	152
3.1 Systeme zum kontinuierlichem Vorwärtskernen....	152
3.1.1 Antrieb über Bohrstrang.....	153
3.1.2 Antrieb über Bohrstrang und Bohrlochsoh- lenmotor.....	156
3.1.3 Antrieb über Bohrlochsohlenmotor.....	157
3.1.4 Antrieb über zwei Bohrlochsohlenmotore.....	160
3.2 Systeme zum Seitenkernen.....	160
4. Realistisches Konzept zur Entwicklung von Kernbohrsystemen.....	162
4.1 Systeme zum kontinuierlichen Vorwärtskernen....	164
4.1.1 Grundannahmen für Entwicklungssysteme.....	165
4.1.2 Vorgeschlagene Entwicklungsarbeit.....	166
4.1.2.1 Kernbohrwerkzeuge für 10 5/8" Bohrloch- durchmesser.....	167
4.1.2.2 Kernbohrwerkzeuge für 8 1/2" Bohrloch- durchmesser.....	170
4.2 Systeme zum Seitenkernen.....	171
5. Projektplanung Kernbohrsysteme KTB.....	172
5.1 Technische Teilziele.....	172
5.2 Kostenplanung.....	176
6. Zusammenfassung.....	177
7. Literatur.....	179

0. EINFÜHRUNG

Die Kernnahme ist beim Abteufen der kontinentalen Tiefbohrung (KTB) in das Kristallin-Gestein von besonderer Bedeutung für den geologisch-wissenschaftlichen Erfolg des Bohrvorhabens. Es wird erforderlich sein, über längere Strecken kontinuierlich zu kernen oder diskontinuierlich Kerne seitlich aus der Bohrlochwand zu entnehmen. Durch das Kernnehmen soll einerseits der Bohrfortschritt möglichst wenig beeinträchtigt werden, andererseits ist eine ausreichende Funktionssicherheit unter den Bedingungen des Kristallins, besonders auch in großen Teufen, unverzichtbar. Die bestehenden Systeme sind hierzu nicht umfassend geeignet. Das Ziel der Studie besteht darin, bestehende Systeme und solche Werkzeuge, die z. Z. bereits in der Entwicklung sind, zu bewerten. Daraus abgeleitet sollen klare Ziele zur Neu- oder Weiterentwicklung solcher Kernbohrsysteme gesetzt werden, die den besonderen Anforderungen der KTB gerecht werden.

Die Studie enthält keine zusammenfassende Darstellung des generellen Standes der Kernbohrtechnik. Hierzu wird vielmehr auf die bekannten und grundlegenden Zusammenstellungen von Noevig (Lit. 1) und Marx und Young (Lit. 2) verwiesen. Auch die Übersicht von J.C. Rowley (Lit. 3) wird im Rahmen der vorliegenden Studie als bekannt vorausgesetzt.

Generelles Ziel dieser Studie ist es, gangbare Wege zur Entwicklung kontinuierlicher Kernbohrsysteme aufzuzeigen, die in der voraussichtlich ab 1989 abgeteufte KTB-Hauptbohrung eingesetzt werden können. Aus diesem Grund wird auch darauf verzichtet, Darstellungen theoretisch möglicher, aber sehr langfristig angelegter Entwicklungsrichtungen ausführlich mit einzubeziehen. Der Umfang der geplanten Entwicklungen muß auch dem Umstand Rechnung tragen, daß nicht über die gesamte Planungsteufe von ca. 14000 m ein Bohrkern gewonnen werden muß. So soll bis in den Bereich der Endteufe der vollständig gekernteten KTB-Vorbohrung überhaupt nicht kernend gebohrt werden.

Falls nachträglich im Bereich des bereits abgeteufte Bohrlochs Gesteinsproben entnommen werden sollen, müssen geeignete Seitenkerngeräte zur Verfügung stehen. Aufgrund der relativ seltenen Einsatzmöglichkeiten für solche Werkzeuge besteht in diesem Bereich eine besonders große Diskrepanz zwischen dem im Kristallin erforderlichen Leistungsverhalten und den Eigenschaften der gegenwärtig kommerziell erhältlichen Geräte.

1. ANFORDERUNGEN AN KERNBOHRSYSTEME IN DER KTB-HAUPTBOHRUNG

Im Mittelpunkt des geowissenschaftlichen Forschungsprojekts "Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland" (KTB) steht die Abteufung einer bis zu 14.000 m tiefen Bohrung in das Kristallin-Gestein einer Lokation in der Nähe von Windischeschenbach/Erbenheim in der Oberpfalz. Es ist geplant, im Bereich unterhalb der Ankerrohrteufe von ca. 3.000 - 5.000 m über ungefähr 30 % der Gesamtteufe Bohrkerne zum Zweck der wissenschaftlichen Auswertung zu gewinnen.

Das Anforderungsprofil geeigneter Kernbohrsysteme wird einerseits bestimmt durch die Einwirkung der physikalischen und geologischen Parameter, besonders in großen Teufen der Bohrung. Andererseits ergeben sich zusätzliche Bedingungen hinsichtlich einer effektiven Handhabung der Kernbohrsysteme.

Als generelle Anforderung zur Anpassung an die zu erwartenden Bohrlochbedingungen muß von allen einzusetzenden Bohrwerkzeugen eine hohe mechanische Stabilität und Zuverlässigkeit erreicht werden. Tab. 1 enthält eine Darstellung der wichtigsten Bohrlochparameter, die je nach Teufe und Ausbildung des Gesteins, den Kernbohrprozeß in unterschiedlichem Umfang behindern.

- o Temperatur
- o Gebirgsspannung
- o Gesteinsfestigkeit
- o Gesteinsabrasivität
- o Gesteinshomogenität
- o Entfernung zur Bohrlochsohle

Tab. 1: Wirksame Bohrloch-Parameter im Kristallin bei großen Teufen

- o Verschleiß an der Bohrkronen
- o Neigungsaufbau
- o Mangelnde Steuerbarkeit des Kernprozesses
- o Geringer Bohrfortschritt
- o Geringe Standlänge der Kronen
- o Nachfall von Gebirge
- o Kernverklemmer
- o Mangelhafter Bohrkleinaustrag
- o Vibrationen im Bohrstrang
- o Leistungsverluste durch Reibung im Bohrloch
- o Bohrstrangverschleiß
- o Überschreitung der Temperatureinsatzgrenze von Werkzeugen
- o Überschreitung der Tragfähigkeit durch große Stranglänge
- o Spülungsverluste
- o Mangelhafter Kerngewinn

Tab. 2: Kritische Einflußgrößen auf Kernbohrarbeiten im Kristallin bei großen Teufen

Die Auswahl und Auslegung von Kernbohrsystemen muß den angeführten kritischen Einflußgrößen (Tab. 2) weitestgehend Rechnung tragen.

1.1 Bohrplanung für KTB-Hauptbohrung

Das grundlegende bohrtechnische Konzept des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland sieht vor, daß neben der eigentlichen übertiefen Hauptbohrung zunächst eine sogenannte Vorbohrung (KTB-VB) in etwa 200 m Entfernung zur Hauptbohrung abgeteuft wird. Unter Berücksichtigung der im Rahmen einer technisch-wirtschaftlichen Vergleichsstudie gewonnenen Erkenntnisse (Lit. 4) wurde von der KTB-Projektleitung festgelegt, daß hierfür ein modifiziertes Seilkernverfahren verwendet wird. Die Bohrlochplanung für die KTB-Hauptbohrung (KTB-HB) sieht vor, mit Kernarbeiten erst im Bereich der erzielten Endteufe der KTB-VB zu beginnen (Abb. 1).

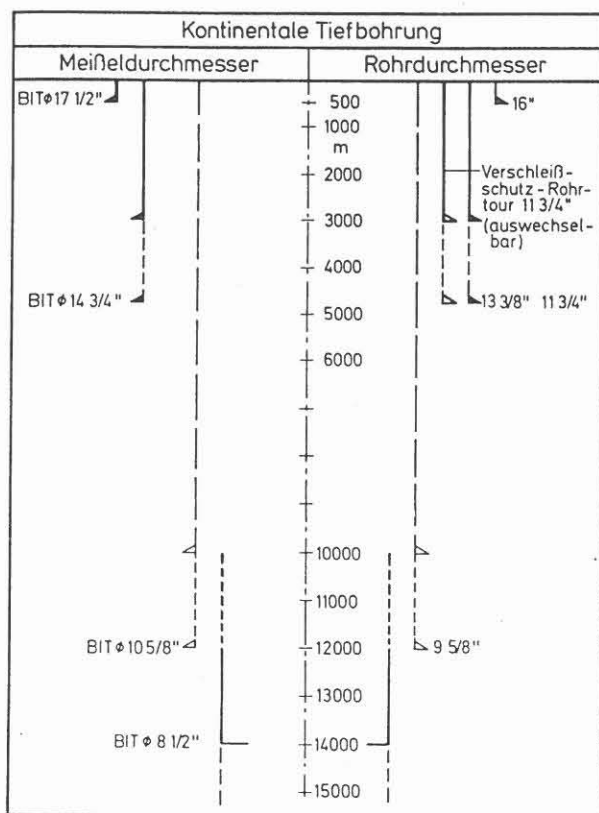


Abb. 1: Bohrlochplanung für KTB-Bohrung (Lit. 5)

Neben dem erhofften Zeitgewinn wird als weiterer wichtiger Vorteil angesehen, daß die Vertikalität des Bohrlochs beim Vollbohren im Kristallin mit geringeren Schwierigkeiten erreicht werden kann.

1.2. Erwartete geologische Verhältnisse

Das Zielgebiet der Bohrung bei Erbendorf in der Oberpfalz befindet sich an der Grenze des Böhmisches Massivs.

Informationen der KTB-Projektleitung schließen auch eine vorläufige geologische Prognose für das Lokationsgebiet ein (Lit 5), die allerdings noch mit sehr großen Unsicherheiten behaftet ist. Es handelt sich jedenfalls, von einer gering mächtigen Deckschicht abgesehen, durchgängig um Kristallines Gestein.

Aufgrund der erwarteten Abrasivität müssen kritische Bauteile durch besondere Maßnahmen gegen Verschleiß geschützt werden. Denkbar sind hier Verschleißschutz-Beschichtungen oder spezielle Stabilisatoren.

Die große Härte des Gesteins bildet einen weiteren kritischen Parameter für die Einsatzfähigkeit der zu entwickelnden Systeme und Werkzeuge. Wenn die Kernbohrsysteme mechanisch zu empfindlich ausgelegt sind, besteht die Gefahr der Zerstörung von Diamantschneiden u.ä. bereits beim Befahren des Bohrlochs.

1.3 Temperatur, Druck und Spannungen im Bohrloch

Die Temperatur des Gesteins auf Bohrlochsohle bildet einen besonders kritischen Parameter für die Funktion von Rollenbohrkronen, Untertagedirektantrieben, Kernbohrsystemen, anderen bewegten Untertagewerkzeugen und auch dem Bohrgestänge. Je höher die erwartete Temperatur ist, desto größer wird der Entwicklungsaufwand für die erforderlichen Werkzeuge sein.

Abb. 2 zeigt in vereinfachender Darstellung die Temperaturverhältnisse an der Lokation Oberpfalz entsprechend der derzeit bekannten geologischen Abschätzung.

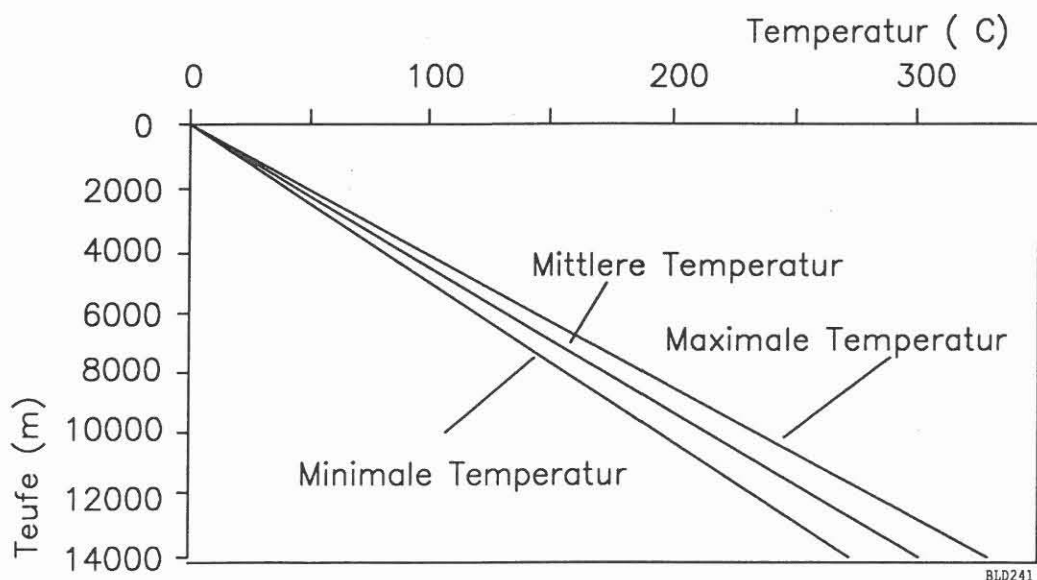


Abb. 2: Temperaturverhältnisse für die Bohrlokation

Verglichen mit einem sonst durchschnittlich angesetzten Gradienten von 3 grad/100 m liegen hier bei einem mittleren Wert von 2 grad/100 m für die Teufe von 15.000 m recht

günstige Verhältnisse vor. Selbstverständlich befindet sich die Temperatur der zirkulierten Spülung immer unterhalb der Bohrlochsohlen-Beharrungstemperatur. Dies zeigt sich deutlich in dem veröffentlichten Zwischenbericht über die Kola SG-3-Bohrung (Lit 6). Die Unterschiede zwischen Gesteins- und Zirkulationstemperatur betragen hier in großer Tiefe bis zu 30 grad. Für die Auslegung der Werkzeuge muß aber sicherheitshalber die Gesteinstemperatur zugrundegelegt werden.

Die Druckverhältnisse auf Bohrlochsohle werden in erster Hinsicht durch den geostatischen Druck bestimmt. Für die vorliegende Lokation wird von einer mittleren Gesteinsdichte von $2,9 \text{ kg/dm}^3$ ausgegangen. Im Rahmen der geologischen Prognose läßt sich damit für die Tiefe von 14000 m ein geostatischer Druck von ungefähr 4000 bar errechnen. Für das Spülgewicht von $1,05 \text{ kg/dm}^3$ stände der Gebirgsspannung in 14000 m Tiefe nur ein Spülungsdruck von wenig mehr als 1000 bar gegenüber.

Die grundsätzliche Ausbildung von Spannungen an der Bohrlochwand ergibt sich entsprechend Abb. 3 (Lit 7).

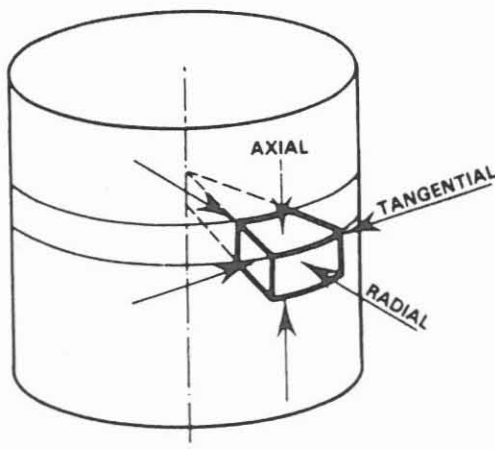


Abb. 3: Spannungen an der Bohrlochwand, nach Lit 7

1.3.1 Einfluß auf Bohrwerkzeuge und Kernprozeß

Erhöhte Temperaturen bilden für viele der heute verwendeten Kernbohrwerkzeuge, bzw. deren Komponenten, einen kritischen Einsatzparameter. Einige der verwendeten Werkstoffe verlieren völlig ihre Funktionsfähigkeit, andere verändern ihre Eigenschaften in bemerkenswertem Umfang.

Das beschriebene Spannungsverhalten im Bohrloch führt zu Problemen bezüglich der Bohrlochform und der Kerngewinnung, wie u.a. auch aus der sowjetischen Bohrung Kola SG-3 bekannt wurde.

Nicht maßhaltige, teilweise erweiterte Bohrlöcher beeinträchtigen die effektive Stabilisierung des Kernrohres. Schwingungen können verstärkt werden, was zu erheblichen Problemen bezüglich der Beibehaltung eines gewünschten Bohrlochverlaufs führt. Ausbrüche und Einstürze der Bohrlochwand sowie andere Bohrlochinstabilitäten können das Bohrloch mit abrasiven Bruchstücken auffüllen. Beim Gestängeeinbau besteht dann insbesondere die Gefahr, daß die relativ großen harten Stücke auch in das Gestängeinnere eintreten und bei der Wiederaufnahme der Kernprozesses Funktionsstörungen hervorrufen.

Die durch die Entspannung des erbohrten Kerns entstehende Volumenänderung führt zu Kernverklemmungen und zu Brüchen entlang der durch die Tektonik vorgegebenen Schwachstellen. Das Kernrohr sollte deshalb möglichst glatt ausgeführt werden und einen etwas größeren Innendurchmesser aufweisen.

Besondere Schwierigkeiten können dabei auch Kerne bereiten, die in schmale Scheiben brechen, wie es u.a. in der Kola-Bohrung (Sowjetunion) gefunden wurde. Die Entstehung der scheibenförmigen Kerne läßt sich auf ein Entspannen des erbohrten, spröden Gesteinsmaterials zurückführen.

1.3.2 Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Kernbohrsystemen

Jede Entwicklung von Kernbohrsystemen für die KTB-HB muß als Ausgangsbasis die derzeit vorhandenen Werkzeuge und Systeme der Tief- und Flachbohrtechnik mit verwenden. Für den Bereich mäßiger Teufen wird es schwerpunktmäßig darauf ankommen, Entwicklungs- und Optimierungsarbeiten in Richtung einer verbesserten Wirtschaftlichkeit zu betreiben. Bei größeren Teufen muß dann das Hauptaugenmerk darauf gerichtet sein, die Betriebssicherheit der Kernsysteme durch entsprechende Verbesserung der Technologie so zu gewährleisten, daß die Kernarbeiten bei gutem Kerngewinn keine wesentliche Beeinträchtigung des Abteufprozesses darstellen. Im Bereich extremer Teufen müssen die Systeme zunächst primär darauf entwickelt werden, daß überhaupt ein Kerngewinn möglich wird.

Teufengrenze m	Bereich	Kernstrecke m	Charakterisierung
3000 (5000)	ET KTB-VB	50	Vollbohren, Seitenkernen, Spatkernen
6000	Mittlere Teufe	350 - 1000	Kerngewinn, Wirtschaftlichkeit, Kernqualität
10000 (12000)	ET 10 5/8"	1300 - 2000	Kerngewinn, Kernqualität
14000	ET KTB-HB	700 - 1300	Kerngewinn

Tab. 3: Kernbohrsysteme für Teufenbereiche der kontinentalen Tiefbohrung (KTB-HB)

Für Zwecke der Entwicklungsplanung soll von den in Tab. 3 aufgeführten charakteristischen Teufenabschnitten ausgegangen werden, die jeweils bestimmte Anforderungen an die Entwicklung von Kernbohrsystemen stellen.

Bis zur erreichten Endteufe der Vorbohrung (KTB-VB) kann in der Hauptbohrung auf einen kontinuierlichen Kerngewinn verzichtet werden. Kontroll-Probenahmen könnten jedoch entweder durch diskontinuierliches Spot-Kernen oder durch nachträgliches Seitenkernen in bereits abgeteuften Bohrlochabschnitten erfolgen. Darüber hinaus böte sich in diesem Abschnitt allerdings die Gelegenheit, in der Entwicklung befindliche Werkzeuge für größere Teufen Feldtests unter realistischen Bedingungen zu unterziehen.

2. STAND DER TECHNIK KONTINUIERLICH BETRIEBENER SYSTEME ZUM VORWARTSKERNEN UND VON SYSTEMEN ZUM SEITENKERNEN

Eine planvolle und effektive Entwicklung optimierter Kernbohrsysteme für die übertiefe KTB-HB muß auf den bisher international gewonnenen Erfahrungen beim Kernen im Kristallin aufbauen. Weiterhin ist der allgemeine Stand der Technik fortschrittlicher Kernbohrsysteme zu berücksichtigen.

2.1 Kernbohrerfahrungen im Kristallin

Im Gegensatz zum Bohren nach Erdöl und Erdgas im Sedimentär-
gestein liegen für das Kristallinbohren bzw. -kernen sehr
wenig Erfahrungen vor. Zudem ist die hier zusammengetragene
Anzahl der Daten relativ schwer überschaubar und kann kaum
in ein einheitliches Bild gebracht werden.

Bezüglich des Einsatzverhaltens von Diamantbohrkronen können
folgende Aussagen gefunden werden.

- o Mit kleinerem Verhältnis von Bohrlochfläche zu Kernfläche
(R-Faktor) verbessern sich Bohrfortschritt und Kronenlebens-
dauer.

Als Beispiel für die Abhängigkeit der Kronenleistung vom
R-Faktor soll die entsprechende vergleichende Auftragung
einiger Ergebnisse für die Standlänge nach Abb. 4 dienen.

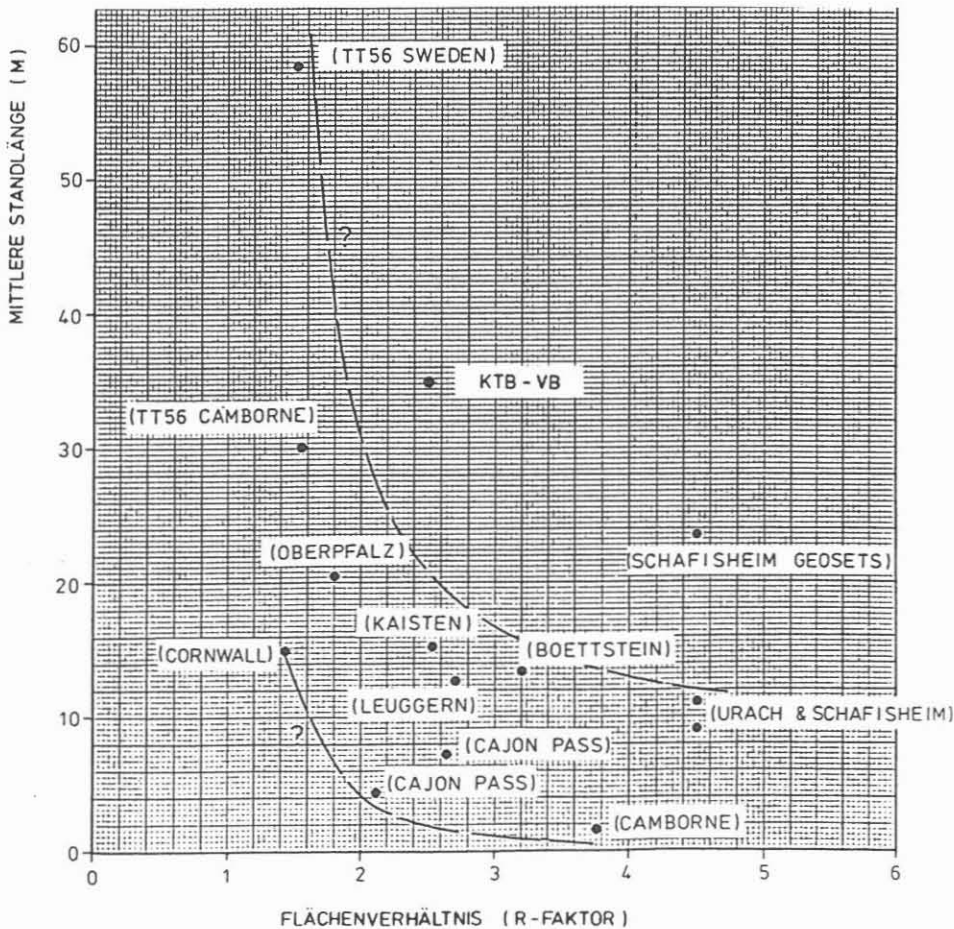


Abb. 4: Mittlere Standlänge von Diamantbohrkronen im Kristallin

- o Bei gleichem Flächenverhältnis scheint das Leistungsbild mit kleinerem Bohrlochdurchmesser insgesamt besser zu sein.
- o Der Bohrfortschritt kann durch zunehmende Drehgeschwindigkeit, z.B. durch Verwendung von Untertagemotoren, verbessert werden. Dabei wird vorausgesetzt, daß solche Systeme erfolgreich angeordnet und betrieben werden können. Die Schneidelemente müssen effektiv gekühlt werden.
- o Das Verhalten in tiefen Bohrungen ist generell schlechter als in flachen Bohrungen. Je tiefer die Bohrungen sind, desto weniger handelt es sich um die reinen unbeeinflussten Probleme des Schneidens und Abtragens.

Allerdings können die angedeuteten Trends nur näherungsweise als Gesetzmäßigkeit angesehen werden. Selbst bei übereinstimmenden geologischen Verhältnissen können signifikante Unterschiede im Leistungsverhalten auftreten. Diese lassen sich z.T. auf die mehr oder weniger optimal eingestellten Betriebsbedingungen zurückführen. Von wesentlicher Bedeutung ist aber auch die Ausschöpfung des durchaus noch vorhandenen Entwicklungspotentials bei Diamantbohrkronen. Durch geeignete Gestaltung können insbesondere imprägnierte Diamantbohrkronen in ihrem Leistungsverhalten beträchtlich verbessert werden. Dazu zeigt Tab. 4 die Ergebnisse (bezogene Größen für Belastung, Bohrfortschritt und Standlänge) von Labortests an einem Bohrversuchsstand, die kürzlich bei Eastman Christensen GmbH in Celle durchgeführt worden sind (Gestein: Amphibolit; Krone: 96 x 63 mm; Spülung: Wasser).

Lfd. Nr.	Design-Typ	WOB/AD (N/mm ²)	ROP•AK/AD (m/h)	s* (m/mm)
1	A	14.2	16.3	6.3
2	B	15.7	31.0	16.6
3	C	13.2	28.5	28.4
4	C	11.6	15.4	18.6
5	C	12.4	15.6	49.4
6	D	8.2	40.0	51.7
7	D	8.2	32.5	9.9
8	D	8.2	15.0	39.5
9	E	11.7	27.1	6.8
10	F	9.2	19.3	18.6

Tab. 4: Bohrleistung imprägnierter Diamantkronen im Laboratoriumsversuch

Die Prüfstandergebnisse ergaben, daß die Bohrleistung durch Optimierung der direkten Schneidflächenbespülung wesentlich erhöht werden kann. Eine Umsetzung der Laborergebnisse in das Bohrfeld muß sorgfältig geplant werden, weil die Umgebungsbedingungen im praktischen Bohrbetrieb von den idealen Bedingungen stark abweichen.

Große Lippenbreiten und Flächenverhältnisse (R-Faktor) sind guten Ergebnissen beim Diamantkernen eindeutig nicht förderlich. Vom Standpunkt der Effektivität des Kernprozesses sind daher Verhältnisse wie im Bergbau, d.h. dünne Lippen und kleine R-Faktoren, grundsätzlich anzustreben. Allerdings müssen dabei konstruktive Probleme, z.B. das der ausreichenden Haltbarkeit der Ausrüstung, gelöst werden. Eine Alternative zur Ausbildung der extrem dünnen Lippe stellt die Möglichkeit dar, bei Kronen mit größerer Lippenbreite durch Änderung bestimmter konstruktiver Parameter ähnliche Betriebsbedingungen wie bei dünnlippigen Kronen zu erhalten.

Auch für Rollenbohrkronen liegen relativ wenig Erfahrungen im Kristallin-Gestein vor. Ohne Berücksichtigung der sowjetischen Kola SG-3-Bohrung können im wesentlichen nur einige Ergebnisse aus Bohrarbeiten im Los Alamos HDR-Projekt, im NAGRA-Endlager-Erkundungsprojekt, im Camborne School of Mines HDR-Projekt sowie aus der Gravberg 1-Bohrung in Mittelschweden bewertet werden. Darüber hinaus wurden in jüngster Zeit im obersten Teufenabschnitt der KTB-Vorbohrung (KTB-VB) zwei unterschiedliche Typen von Rollenbohrwerkzeugen eingesetzt.

Erfahrungen liegen aus der Zeit seit 1974 mit insgesamt 6 verschiedenen Bauarten vor. Wesentliche Grundtypen sind die 4-Rollen-Krone, die 4-Rollen-Hybrid-Krone mit PCD-Schneidelementen zur Verbesserung der Kernqualität und die 6-Rollen-Krone mit je 3 zum Schneiden von Bohrloch und Kern vorgesehenen Rollen.

- o Aufgrund des gegenüber Vollbohrwerkzeugen verringerten Bauraums bereitet die Lagerung der Schneidrollen prinzipiell Schwierigkeiten. Nach den vorliegenden Ergebnissen wurden hierbei jedoch in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte erzielt.
- o Das Schneid- und Verschleißverhalten der im Kristallin üblichen Hartmetall-Stifte konnte ebenfalls verbessert werden. Ein Entwicklungspotential wird hier insbesondere in der Beschichtung dieser Schneidelemente mit noch härteren Materialien gesehen.
- o Ein Kerngewinn, der vergleichbar mit Diamantkronen unter optimalen Betriebsbedingungen ist, scheint gegenwärtig mit Rollenwerkzeugen nicht möglich zu sein.

- o Die Probleme bezüglich des Kerngewinns verschärfen sich offenbar besonders stark mit zunehmender Tiefe. Es müssen daher mit hoher Priorität Vorrichtungen am System Rollenkrone/Kernrohr geschaffen werden, die ein Eindringen des Kerns unter den Spannungsbedingungen tiefer Bohrlöcher erleichtern bzw. überhaupt nur ermöglichen.
- o Aufgrund ihrer Wirkungsweise können mit Rollenbohrkronen im Kristallin bei gleichem R-Faktor ähnliche Bohrleistungen (1-5 m/h, 50 m) erzielt werden wie bei gut dimensionierten Diamantkernsystemen.

Es kann gegenwärtig die Schlußfolgerung gezogen werden, daß Rollenbohrkronen im kristallinen Gestein nur bis zu solchen Teufen gut schneiden, in denen noch keine Spannungs-Entlastungseffekte auftreten. Dies gilt auch für die "Hybrid-Kronen". Rollenbohrwerkzeuge haben grundsätzlich den Vorteil, relativ robust zu sein. Sie eignen sich dazu, beim Befahren des Bohrlochs Räumarbeiten durchzuführen, auf Sohle vorliegender Nachfall kann zermahlen werden, und sie vertragen generell eine relativ raue Behandlung, ohne zerstört zu werden. Verbesserungen sind erforderlich bezüglich einer Integration in die konstruktive Auslegung des Kernrohrs, insbesondere mit Blick auf den Kernfangmechanismus.

2.2 Verfügbare Kernbohrsysteme

Zumindest in der westlichen Welt wurden Kernbohrsysteme für die Anwendung zum Kontinuierlichen Kernen im Kristallin nur im Bereich der Bergbau-Exploration zielgerichtet entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Seitenkernsysteme sind bisher nur vereinzelt erfolgreich im Kristallin eingesetzt worden.

2.2.1 Kontinuierliche Systeme zum Vorwärtskernen

Die aus dem Bergbau-Bereich bekannten Systeme mit Diamantkronen, gegebenenfalls unter Verwendung der Seilkerntechnik, sind für die Teufen und Durchmesser der KTB-Hauptbohrung (KTB-HB) in der vorliegenden Form nicht geeignet. Es scheint aber möglich und sinnvoll, bestimmte Komponenten oder Bauteile für neu zu entwickelnde Kernbohrsysteme zu übernehmen. Ein wesentliches Merkmal der Bergbau-Technik ist die häufige und erprobte Verwendung von kontinuierlichen Kernverfahren.

Aus dem Bereich Ölfeld-Rotary-Kernbohren kann hier grundsätzlich zwischen dem Drehtischantrieb des gesamten Bohrstranges und dem direkten Antrieb des Werkzeugs durch Untertageantrieb unterschieden werden. Der Drehtischantrieb weist prinzipiell den Nachteil einer begrenzten Drehzahl auf. Außerdem verstärken sich mit zunehmender Teufe die Leistungs-

verluste durch Strangreibung im Bohrloch. Schließlich ist auch von einem signifikanten Verschleiß des Gestänges im abrasiven Kristallin auszugehen. Grundsätzlich muß daher nach allen vorliegenden Erfahrungen, zumindest ab mittleren Teufen von 5000 - 6000 m, dem Untertagedirektantrieb der eindeutige Vorzug gegeben werden. Als Antriebe kommen im wesentlichen nur Moineau-Verdrängermotoren und Turbinen in Frage. Der Einsatz von Verdrängermotoren ist jedoch teufenmäßigen Beschränkungen unterworfen, weil die Elastomerauskleidung des Stators derzeitiger Ausführungsformen nur bis zu Temperaturen von ca. 150°C einsetzbar ist. Ein realistisches mittelfristiges Entwicklungsziel bildet eine Temperaturgrenze von 200°C.

Turbinen, die deutlich höhere Fertigungskosten aufweisen, können mit relativ geringem Modifizierungsaufwand für den Einsatz bei höheren Temperaturen umgestellt werden. Größerer Entwicklungsaufwand ist hier allenfalls im Bereich der zu erwartenden Maximaltemperaturen der Bohrung erforderlich. Allerdings sind die gegenwärtig gebräuchlichen Turbinen aufgrund ihrer relativ hohen Drehzahl mit Rollenbohrkronen nicht unter optimalen Bedingungen einzusetzen. Entsprechender Entwicklungsaufwand zur Reduzierung der Drehzahl ist daher unumgänglich (Lit 8).

Die eigentliche Vorrichtung zur Aufnahme des Gesteinskerns bildet sicherlich den kritischsten Teil des gesamten Kernbohrsystems. Im oberen Bohrlochabschnitt bis ca. 6000 m lassen sich zwar mit den vorhandenen Systemen vermutlich Kerngewinne in gewissem Umfang erzielen. Zur Steigerung der Effektivität und Qualität sind aber auch hierfür bereits Entwicklungsanstrengungen erforderlich. Bei Einsatz von Diamantkronen geht es im wesentlichen um eine Erhöhung des Bohrfortschritts. Bei Rollenwerkzeugen ist eine optimale Abstimmung des Systems Krone-Kernrohr erforderlich. Ansatzpunkte für Verbesserungen sind z. B. Ausführung und Beschichtung des Innenrohrs von Kernrohren, Optimierung der Kernfangeinrichtung und Maßnahmen zur Unterstützung des Kerneindringens in das Kernrohr. Kontinuierlich arbeitende Systeme für diesen Teufenbereich existieren zur Zeit nicht.

Für den Teufenbereich ab 6000 m besteht keine realistische Hoffnung, mit den heute zur Verfügung stehenden Systemen nennenswerte Kerngewinne erzielen zu können. Sämtliche Komponenten, also Antrieb, Kernaufnahmevorrichtung und Kernbohrkrone müssen wesentlich überarbeitet werden, weil Temperatur, Gebirgsspannungen und Teufenbedingte Festigkeitsprobleme eine einwandfreie Funktion nicht mehr zulassen. Ab 10000 m Teufe erfahren diese Parameter erneut eine weitere Verschärfung.

Für die KTB-HB gilt generell, daß keine Systeme existieren, die einen kontinuierlichen Kerngewinn in den anstehenden Durchmesserbereichen liefern könnten.

2.2.2 Systeme zum Seitenkernen

Zur Bewertung gegenwärtig zur Verfügung stehender moderner Seitenkernsysteme wurden schließlich nur noch vier Verfahren unter realistischen Gesichtspunkten behandelt (Tab. 5).

Typ	Bohrwerkzeug	Antriebsmotor	Antrieb über	Steuerung über	Kenndurchmesser/-länge (mm)	Kernmagazin	Einsatzteufe Parameter
ITE - EC Moineau-System	Imprägnierte Diamantkrone	Moineau-Motor	Spülung / Strang	Wireline	41	1	150° C -- --
Gearhart Hard Rock Coring Tool	Imprägnierte Diamantkrone	Hydraulikmotor	El. Stromkabel	Multi-Conductor	24/44	12	150° C 1380 bar --
Schlumberger Diamond Core Slicer	Diamant-Sägeblätter	Elektromotoren	El. Stromkabel	Multi-Conductor	25,4 x 914	4	150° C 1380 bar 6700 m
Statoil - EC SWC	Imprägnierte Diamantkrone	Hydraulikmotor	Spülung / Strang	Multi-Conductor	37 / 89	15	70° C (120° C) 3000 m (6000 m)

Tab. 5: Vergleichende Kenndaten von Seitenkernsystemen

Felderfahrten liegen bisher nur für das Gearhart- und das Schlumberger-Werkzeug vor. Sie weisen z. Zt. den am weitesten fortgeschrittenen Entwicklungsstand auf. Beide Werkzeuge werden über Multi-Conductor-Wireline mit Elektromotoren angetrieben, wobei im Gearhart-Werkzeug das Drehmoment der Krone hydraulisch erzeugt wird. Das ITE-EC-System und das Statoil-EC-System werden zunächst am Gestänge eingebaut. Beim ITE-EC-System wird anschließend das Kernrohr mit Moineau-Motor am Seil eingebaut, während beim Statoil-EC-System eine Lanze mit Kernmagazin nachträglich am Seil eingebaut wird. Bei diesen beiden Verfahren erfolgt der Antrieb durch die Bohrspülung. Die maximale Einsatzteufe ergibt sich für alle Systeme durch die Betriebstemperatur.

3. ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR KTB-KERNBOHRSYSTEME

Die Realisierung von Werkzeugen zum kontinuierlichen Vorwärtskernen und zum Seitenkernen in der KTB-HB kann mit unterschiedlichen Mitteln erfolgen. Im vorliegenden Abschnitt soll zunächst die Bandbreite möglicher Entwicklungsziele dargestellt werden. Angesichts der notwendigen zeitlichen und finanziellen Beschränkungen wird dann nachfolgend eine entsprechende Schwerpunkt-Bildung erfolgen, die schließlich in den Vorschlag eines realistischen Entwicklungsprojekts mündet.

3.1 Systeme zum kontinuierlichen Vorwärtskernen

Systeme zum kontinuierlichen Kernen zeichnen sich dadurch aus, daß ein beträchtlicher Teil der üblicherweise für Roundtrip-Arbeiten erforderlichen Zeit eingespart wird, weil das Zutagefördern des Bohrkerns ohne Ausbau des Bohrstrangs möglich ist. Das Funktionieren dieses Prinzips setzt aber eine Standlänge der Bohrwerkzeuge voraus, die ein Mehrfaches der Länge eines einzelnen Kernmarsches beträgt. Ein solches System ist allerdings auch dann gerechtfertigt, wenn aufgrund häufiger Kernverklemmer das Kernrohr bzw. Innenkernrohr besonders häufig ausgebaut werden muß. Ein optimales kontinuierliches Kernbohrsystem beinhaltet neben dem ohne Strang-Roundtrip beförderbaren Kern auch noch die Möglichkeit, die Bohrkronen mit dem Innenrohr zusammen auszubauen. Der Bohrstrang könnte auf diese Weise über die gesamte Kernbohrsektion auf Sohle verbleiben.

Eine Übersicht möglicher kontinuierlicher Systeme wird in Abb. 5 gezeigt. Eine grobe Unterscheidung ist auch hier wieder zu treffen zwischen Systemen auf der Basis des reinen Drehtischantriebs und solchen mit Untertagedirektantrieb. Eine Besonderheit bilden Kombinationssysteme, die auf der gleichzeitigen Verwendung von Rotary- und Motor-Antrieb beruhen. Schlag-Kernbohrsysteme könnten mit dem Bohrstrang oder durch Motoren angetrieben werden.

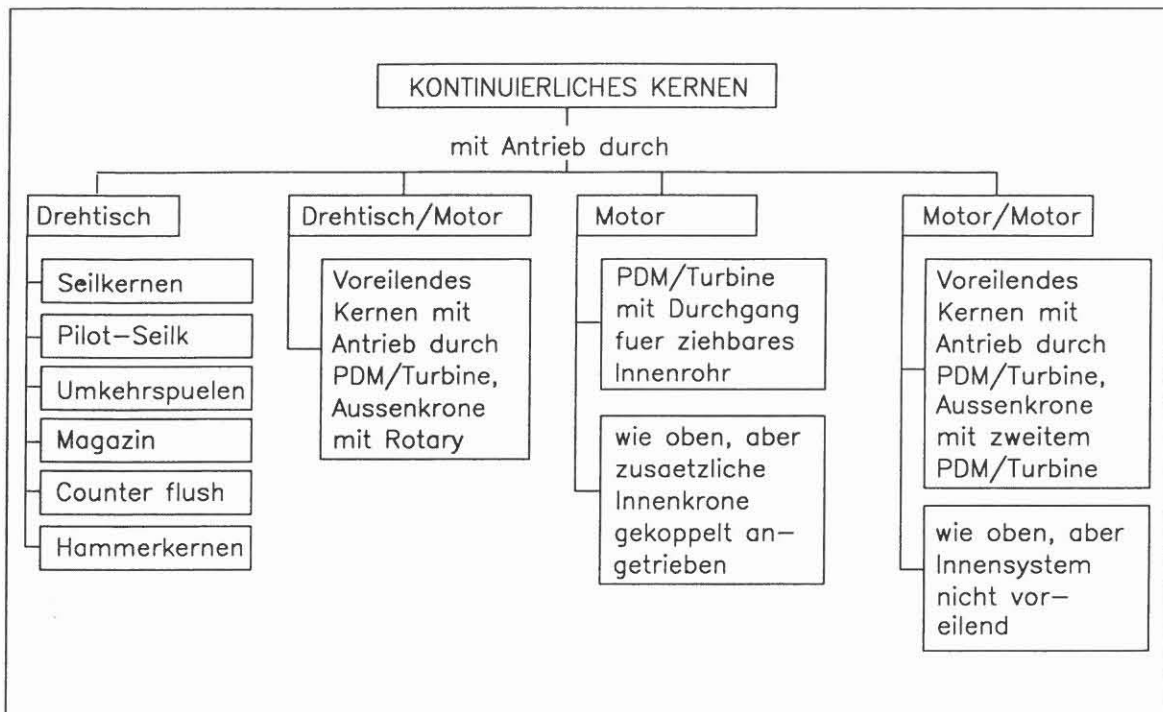


Abb. 5: Kontinuierliche Kernbohrverfahren

3.1.1 Antrieb über Bohrstrang

Das System erster Wahl bei Antrieb des Bohrstrangs von Drehtisch oder Kraftdrehkopf ist das im Bergbau bereits klassische Seilkernen. Dabei wird das Innenkernrohr mit dem Gesteinskern am Seil zutage gefördert. Im Bergbau werden hierzu im allgemeinen spezielle Bohrstränge verwendet, die nur relativ geringfügige Innenverdickungen im Verbinderbereich aufweisen. Falls ein gewöhnliches Rotary-Gestänge mit größeren Durchmessererengungen im Verbinderbereich verwendet werden soll, muß der Durchmesser des Kernrohrs entsprechend klein gehalten werden.

Das beschriebene Standard-System wird mit einem durchgehenden Strang konstanten Durchmessers betrieben. Als Variante dieses Konzepts kann auch eine Anordnung gemäß Abb. 6 realisiert werden.

Dabei wird mit einem Rotary-Bohrstrang das Bohrloch im Nenn-Durchmesser bis auf die Kernbohrteufe gebohrt. Zum Kernen wird am unteren Ende des Drehbohrgestänges ein Bergbau-Seilkernbohrstrang befestigt. Das Bohrloch wird nun mit dem kleineren Durchmesser des Seilkern-Systems durch Verschieben und Drehen des Rotary-Bohrstrangs weiter abgeteuft. Die eingebaute Gestängelänge des Bergbau-Stranges soll mindestens der erwarteten Standlänge der Diamantkrone entsprechen.

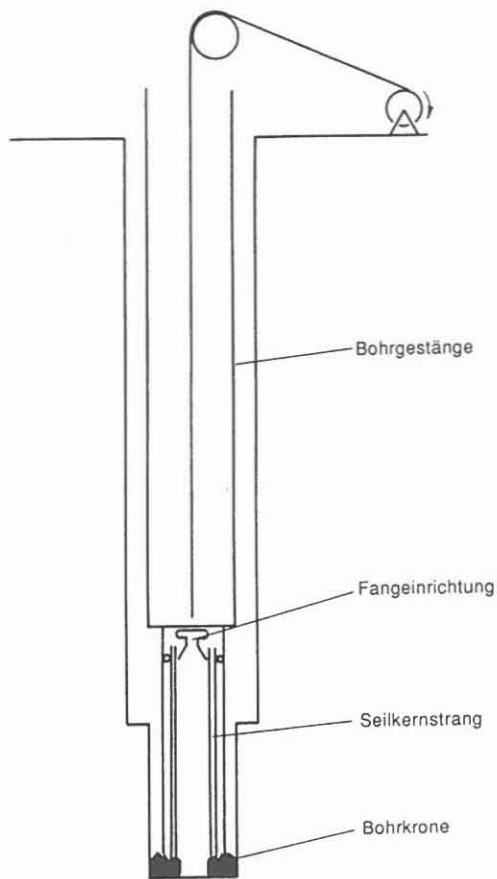


Abb. 6: Im Rotary-Strang abgesetzter Bergbaustrang

Das gefüllte, oder auch das verklemmte, Innenkernrohr muß dann so dimensioniert sein, daß es die engsten Stellen von Seilkernstrang und Rotary-Gestänge passieren kann. Ein Ausbau des kompletten Stranges ist nur erforderlich, wenn entweder die Bohrkrone verschlissen oder die Länge des Bergbau-Gestänges abgebohrt ist. Das Bohrloch wird anschließend mit einem am Drehbohrgestänge angebrachten Vollbohrwerkzeug auf den Nenndurchmesser erweitert. In einer Variante dieser Vorgehensweise könnte der gesamte Bergbau-Strang ziehbar im Drehbohrstrang angeordnet sein. Dann würde nach jedem Befüllen des Kernrohrs der Bergbau-Strang ausgebaut. Anschließend könnte der untere Strang verlängert bzw. die Pilot-Bohrkrone ausgetauscht und die Anordnung wieder eingebaut werden, bis schließlich das Bohrloch mit dem Vollbohrmeißel erweitert wird.

Bergbau-Diamantkernbohrsysteme werden grundsätzlich optimal mit wesentlich höheren Drehzahlen betrieben, als dies der Rotary-Antrieb erlaubt, Es bietet sich daher an, den Bergbau-Strang mit einem Untertagemotor anzutreiben. Als erste Alternative dieser Lösung wäre der nicht-rotierende Teil des Motors mit dem Rotary-Gestänge verbunden, während die Antriebswelle den Übergang zum Bergbau-Strang bildet. Um das

Innenrohr am Seil ausbauen zu können, muß der Motor einen entsprechend großen freien Durchgang besitzen. Als weitere Alternative bietet sich die Verwendung eines im Drehbohrgestänge längsverschieblich an einem Untertageantrieb gekoppelt angeordneten Kernrohrs an, wie schematisch in Abb. 7 dargestellt ist.

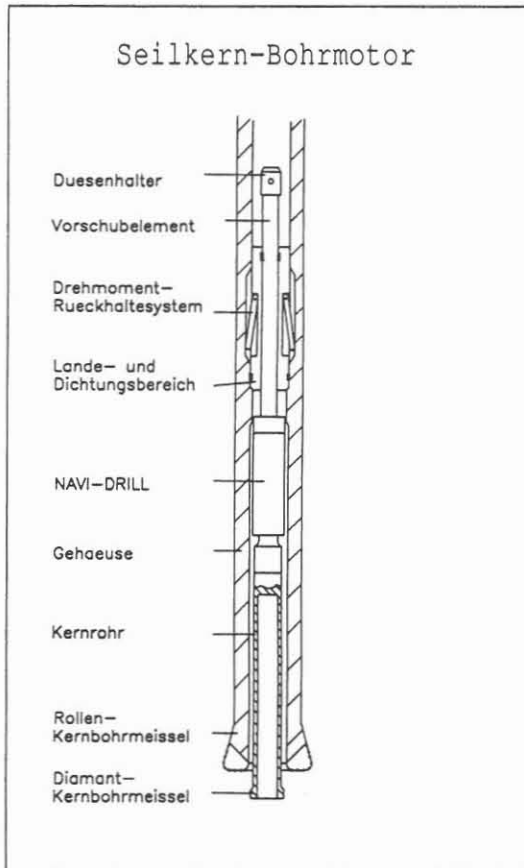


Abb. 7: Hydraulisch drehendes und vorschiebendes Motor-Kerngerät

Die Kombination aus Diamantbohrkrone, Kernrohr, Verdrängermotor und Verriegelungssystem wird in den Strang eingeworfen und verriegelt längs-verschieblich in dessen unterem Teil.

Grundsätzlich wurde bei allen bisher angesprochenen kontinuierlichen Kernverfahren davon ausgegangen, daß der Kernbehälter im weitesten Sinne mit Hilfe eines Seiles zutage gefördert wird. Allerdings ist es prinzipiell auch möglich, das Zutagefördern des gefüllten Innenrohrs mit Hilfe einer sogenannten Umkehrspülung durchzuführen.

Das Magazinkernrohr ermöglicht die untertägige Speicherung einer bestimmten Anzahl kleiner Bohrkern. Die vierte Alter-

native verzichtet schließlich gänzlich auf die Verwendung eines Innenkernrohrs. Bei diesem "Counter-Flush-Verfahren" wird die Spülung permanent durch den Ringraum nach unten gepumpt. Es wird kontinuierlich gekernt. Gesteinskerne brechen ab und werden mit der im Gestänge aufsteigenden Spülung zutage gefördert.

Bohrtechnische Vorteile von Kernbohrwerkzeugen unter Verwendung des überlagerten Schlagbohr-Prinzips bestehen nach Ansicht vieler Fachleute darin, daß kristallines Gestein durch Aufbringen einer impulsartigen Belastung besonders effektiv zerstört werden kann. Es ist daher durchaus denkbar, nach diesem Prinzip auch kontinuierliche Kernbohrwerkzeuge anzutreiben, wenn geeignete Bohrkronen zur Verfügung stehen.

3.1.2 Antrieb über Bohrstrang und Bohrlochsohlenmotor

Kontinuierliches Kernbohren auf der Basis einer Kombination von Drehtisch- und Motorantrieb wurde bereits im Zusammenhang mit der Darstellung nach Abb. 7 angesprochen. Ein System nach diesem Prinzip wurde von Eastman Christensen GmbH im Rahmen des "Ocean Drilling Projects" als Prototyp gefertigt und ersten Tests unterzogen. Mit der Rollenbohrkrone wird dabei ein Durchmesser von 10 1/2" (267 mm) erbohrt. Als Antrieb des inneren Systems dient ein NAVI-DRILL Mach 3 der Größe 3 3/4".

Anstelle des Verdrängermotors, dessen maximale Einsatztiefe durch die Temperaturbeständigkeit der Statorauskleidung begrenzt wird, kann grundsätzlich auch eine Turbine verwendet werden. In Abwandlung dieses Prinzips könnte aber auch vorgeschlagen werden, den Bohrlochsohlenantrieb in das Außenrohr zu verlegen. In diesem Fall würde sich ein innerer Bohrstrang durch die hohlgebohrte Welle des Motors in Richtung der Sohle des Pilotbohrlochs verschieben (Abb. 8). Dabei bleibt der Vorortantrieb stationär auf der Sohle des Bohrlochs mit großem Durchmesser und treibt von dort den ziehbaren Seilkernstrang an. Die Turbine verbleibt auf der Sohle des großen Bohrlochs, wenn der dünne Bergbaustrang zur Kerntrennung mit dem Seil ausgebaut wird. Nachdem ein Teufenabschnitt von bis zu mehreren hundert Metern mit der Pilotgarnitur abgebohrt worden ist, muß das Bohrloch auf den vollen Durchmesser erweitert werden. Dazu wird das äußere Gestänge nach Einwerfen eines Führungsmeißels mit der am unteren Strangende angebrachten Rollenkrone rotiert.

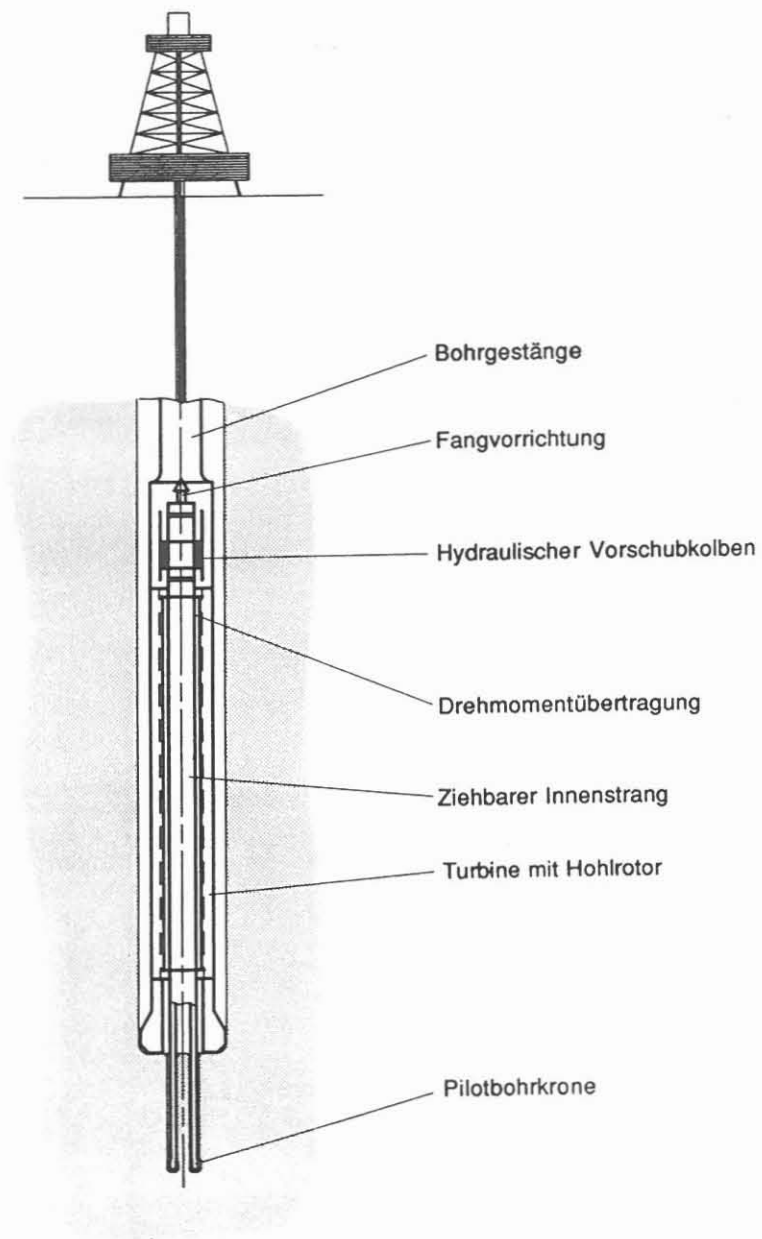


Abb. 8: Pilot-Kernen durch Turbine mit Hohlrotor

3.1.3 Antrieb über Bohrlochsohlenmotor

In großer Teufe der KTB-Bohrung ist damit zu rechnen, daß ein Antrieb des Bohrwerkzeugs von Übertage wegen zu großer Bohrlochreibung Schwierigkeiten bereiten wird. Dann wird auch für Kerneinsätze, speziell für kontinuierliches Kernen, die

ausschließliche Verwendung eines Bohrlochsohlenantriebs erforderlich. Um einen kontinuierlichen Kerngewinn realisieren zu können, muß der Kernbehälter durch das Innenteil des Motors gezogen werden können.

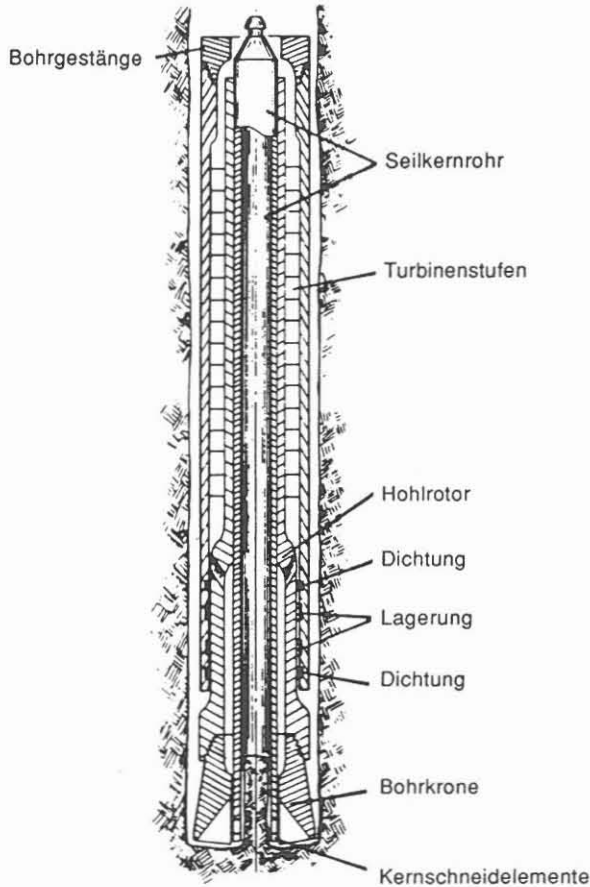


Abb. 9: Bohrturbine mit ziehbarem Innenrohr, nach Lit 3

In Abb. 9 wird beispielhaft die Realisierung dieses Prinzips unter Verwendung einer Turbine als Meißelantrieb aufgezeigt. Um ein möglichst ungestörtes Einwachsen des Kerns in das im Turbinenrotor eingehängte Innenrohr zu unterstützen, ist das Innenrohr gegen Mitdrehen zu sichern. Dies geschieht bei modernen Doppelkernrohren durch eine Wälzlagerung des Innenrohrs. Bei Systemen für diskontinuierlichen Kerngewinn ist bei Eastman Christensen bereits ein anderer Weg beschritten worden. Dazu wird der stillstehende Bohrstrang mit dem Innenteil des Motors verbunden. Es ist auch drehfest an das Innenkernrohr angeschlossen, so daß hier eine drehende Relativbewegung gegenüber dem Kern auszuschließen ist.

Um ein Zutagefördern des Kerns ohne Ausbau des Bohrgestänges realisieren zu können, muß das Innenrohr ziehbar bzw. pumpbar

ausgeführt sein. In der Darstellung nach Abb. 10 ist ein optimiertes System schematisch dargestellt, das die Merkmale

- o Vorortantrieb direkt über Bohrkrone
- o Innenrohr drehfest mit Strang verbunden
- o Innenrohr ziehbar im Strang

gleichzeitig aufweist. Wegen des für den Einbaumechanismus erforderlichen Bauraums muß der Kerndurchmesser gegenüber einer nicht ziehbaren Version reduziert werden. Da die Lippenbreite der Krone entsprechend vergrößert werden muß, wird das Leistungsverhalten prinzipiell verschlechtert.

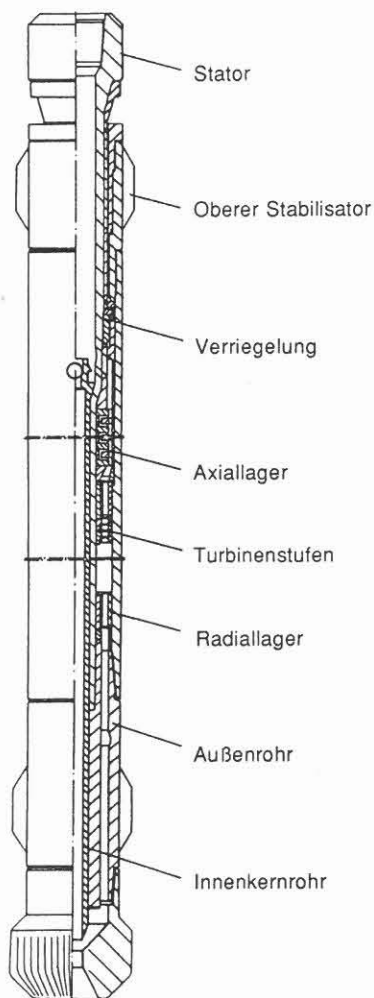


Abb. 10: Turbinen-Kernbohrmotor mit stationärem Innenteil, rotierendem Außenteil und ziehbarem Innenrohr

Entsprechend der Systematik in Abb. 5 ist eine Modifikation des oben beschriebenen Kernbohrprinzips denkbar, bei der eine zweite Krone innerhalb der äußeren Krone läuft und den Kern für das Kernrohr schneidet. Die Krone ist über ein Planetengetriebe mit dem Außenrohr so verbunden, daß sie eine höhere Drehzahl aufweist als die für das Erbohren des Lochdurchmessers verantwortliche Krone. Auf diese Weise kann eine Optimierung des Kerngewinns dadurch angestrebt werden, daß der bei einteiligen Kronen unvermeidliche Effekt der zur Bohrlochmitte reduzierten Umfangsgeschwindigkeit aufgehoben wird. Ein Nachteil dieses Antriebsprinzips besteht darin, daß für die Ankopplung des Innensystems eine recht aufwendige Mechanik erforderlich ist.

3.1.4 Antrieb über zwei Bohrlochsohlenmotore

Der Antrieb der Bohrkrone durch einen Vorortmotor bei gleichzeitig ziehbarem Innenrohr wurde in Abschnitt 3.1.3 ausführlich erörtert. Als wesentliche Vorteile eines Pilotkernsystems mit Motorantrieb sind eine Verbesserung von Kerngewinn und Kernqualität anzuführen. Zum Erweitern des Bohrlochs auf den erforderlichen Durchmesser muß dann anschließend der Strang von Übertage rotiert werden. Es ist zu erwarten, daß dies insbesondere in großen Teufen Schwierigkeiten bereiten wird.

Als Abhilfe ist zu erwägen, diesen Außenantrieb ebenfalls durch einen Untertagemotor zu erzeugen. Solange das innere System voreilend in Betrieb ist, dreht das äußere System nicht. Nach dem Ziehen des Innensystems wird mit dem äußeren System das Bohrloch auf den Nenndurchmesser erweitert.

In Abwandlung dieser Konfiguration könnte auch auf die voreilende Funktion des Innenkernrohrs verzichtet werden. Bei Beaufschlagung beider Antriebssysteme mit Spülung würde der große Bohrlochdurchmesser kontinuierlich weiter abgeteuft. Gleichzeitig könnte aufgrund des abgekoppelten Innensystems der Kerngewinn unter optimalen Bedingungen erfolgen.

3.2 Systeme zum Seitenkernen

Im Rahmen der Darstellung des Standes der Technik in Abschnitt 2.2.2 wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Systeme

- o EC-ITE mit Moineau-Motor über eingebaute Schräge
- o Gearhart-Hard Rock-Coring Tool mit 90°-Kernen
- o Schlumberger Diamond Core Slicer mit Diamantsägeblättern

am ehesten Aussichten auf eine erfolgreiche Anpassung an die Anforderungen zum Seitenkernen im harten Kristallin der KTB-Hauptbohrung bieten. Zwar weist das in Zusammenarbeit zwischen Eastman Christensen und Statoil bis zum ersten Prototyp-Stadium entwickelte Seitenkerngerät in einigen Bereichen Vorteile gegenüber allen anderen Systemen auf. Es ist aber fraglich, ob der entsprechende Entwicklungsaufwand für den möglichen Einsatz in der KTB-HB unter wirtschaftlichen Aspekten gerechtfertigt werden könnte.

Die Systeme von Gearhart und Schlumberger werden elektrisch über Kabel von der Oberfläche angetrieben. In größeren Tiefen nimmt daher der kontinuierliche Leitungswiderstand sehr stark zu, so daß sehr hohe Spannungen zur Verfügung gestellt werden müssen. Die Abmessungen der mit dem Gearhart-Werkzeug gewonnenen Bohrkern sind mit $D = 24 \text{ mm}$ und $l = 44 \text{ mm}$, entsprechend einem Gesteinsvolumen von 20 cm^3 , relativ gering. Die Auswertung der mit dem Gesteinssägeverfahren gewonnenen Kerne weist aufgrund der ungewöhnlichen Probenform einige Nachteile auf.

Insgesamt erscheint es vielversprechend, neben dem versuchsweisen Einsatz des kommerziell erhältlichen Gearhart-Werkzeugs, Entwicklungsarbeit an einem System zu leisten, das sich möglichst gut in die für den Einsatz in der KTB-HB vorgesehenen Bohrsysteme integrieren läßt. Insbesondere sollte es sich um Werkzeuge handeln, die von der Bohrspülung untertage direkt an der Wirkstelle angetrieben werden.

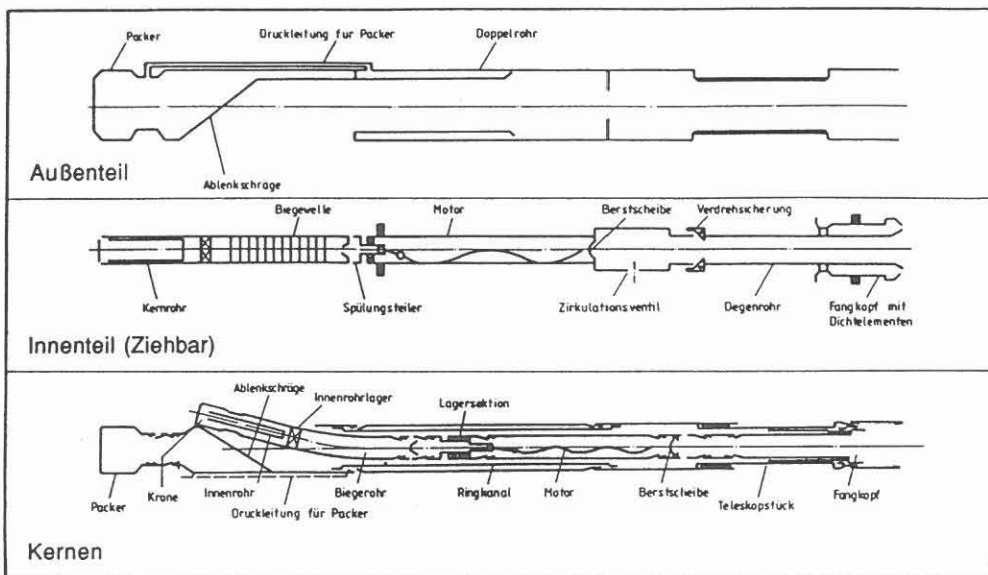


Abb. 11: Im Laboratorium getestetes Prinzip eines Seitenkernbohrgerätes mit Ablenkschräge und Spülmotor (EC/ITE)

Dabei stellt das in Abb. 11 dargestellte Werkzeug nur eine mögliche Ausbildungsform einer Anordnung dar, die aus den wesentlichen Elementen

- o Ablenkschräge als Bestandteil des Bohrstrangs
- o Ziehbare Kombination von Diamantkrone, Kernrohr und Motor
- o Packer zur Festlegung im Bohrloch

besteht.

Der dargestellte Prototyp wurde im Rahmen des BMFT-Entwicklungsprojektes O3E-3001-A vom Institut für Tiefbohrtechnik der TU Clausthal und Eastman Christensen GmbH entwickelt. Schwachstellen bestehen z. Zt. insbesondere im Bereich der Anbohrschräge, der elastischen oder gelenkigen Welle sowie der Temperaturstabilität des Packers. Die Temperaturgrenze des Stator-Elastomers wird erst später erreicht, weil der Stator nur im Spülstrom betrieben wird und daher nicht der tatsächlichen Bohrlochsohlentemperatur ausgesetzt ist. Alternativen zum bestehenden Konzept beinhalten die Möglichkeit, den Antriebsmotor, der auch als Turbine ausgeführt werden kann, in den Bohrstrang zu integrieren. Am Seil wird dann nur das Kernrohr mit Krone herabgelassen. In einer weiteren Lösung könnten Motor, Kernrohr, Krone und Anbohrschräge untertage als Einheit zusammengestellt und im Bohrstrang abgesetzt werden.

4. REALISTISCHES KONZEPT ZUR ENTWICKLUNG VON KERNBOHRSYSTEMEN

Die Analyse vom gegenwärtigem technischen Stand der Kernbohrsysteme, den zu erwartenden Umgebungsbedingungen in der Hauptbohrung des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland sowie der Anforderungen an den Kerngewinn führt auf eine Reihe von Lösungsansätzen zur Entwicklung optimal geeigneter Systeme.

Eine Klassifizierung solcher Teilziele kann u. a. nach der Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Teufen erfolgen. Einige der zu erwartenden Probleme im oberen Bereich bis 6000 m Teufe sind in Tab. 6 genannt.

- o Spülungsverluste im klüftigen Gebirge
- o Kernverklümmungen
- o Bohrlochversatz
- o Bohrlochsohlentemperatur bis 150°C
- o Festwerden durch Nachfall aus gebrochenen Zonen
- o Hoher Kronenverschleiß und geringe Standlänge
- o Schwierigkeiten beim Abreißen des Kerns im kompakten Gebirge
- o Kernverlust auf Sohle, d. h., Kern bleibt zum Teil auf Sohle stehen

Tab. 6: Erwartete Probleme beim Kernem im Teufenbereich zwischen 3000 m und 6000 m

Im mittleren Bereich der hier vorgenommenen Einteilung, von 6000 bis 10000 m, sind u. a. folgende zusätzliche Schwierigkeiten zu erwarten.

- o Erhöhte Bohrlochtemperatur von bis zu 235°C
- o Scheibenbildung (Core Disking) des Bohrkerns infolge Spannungsverhältnisse
- o Sedimentation des Bohrkleins im unteren Bohrlochbereich bei niedrigem Spülgewicht
- o Erhebliche Reibung zwischen Bohrlochwand und rotierendem Strang, insbesondere bei Hinterschneidungen im Bohrlochverlauf
- o Beschädigung der Bohrlochwand durch Ein- und Ausfahren des Gestänges
- o Überschreitung der Teufengrenze konventioneller Drahtseile für Wireline-Systeme
- o Abtasten der Sohle, Kontrolle des WOB sowie die gesamte obertägige Steuerung aufgrund der erheblichen Stranglänge wesentlich erschwert.

Tab. 7: Zusätzliche Probleme beim Kernem im Teufenbereich zwischen 6000 m und 10000 m

Für den letzten Teufenabschnitt der geplanten übertiefen Bohrung bis 14000 m treten noch zusätzliche prinzipielle Schwierigkeiten auf. Bezüglich der kernbohrtechnischen Realisierung dieser Phase wird eine Reduzierung des Bohrl Lochdurchmessers auf 8 1/2" großen Einfluß auf die Auswahl möglicher Systeme nehmen. Folgende kritische Parameter sind

für diese Sektion zusätzlich zu erwarten.

- o Erhöhte Bohrlochtemperatur von bis zu 330°C
- o Kernverklemmung, Bohrfortschritt, WOB und Bohrlochrichtung können ohne Telemetrie-Systeme nicht mehr kontrolliert werden
- o Kernen mit Drehtischantrieb nicht mehr möglich
- o Bohrkleinaustrag im Ringraum des oberen Bohrlochbereiches nicht mehr gewährleistet, wenn übliche Pump-raten für kleine Ringquerschnitte im Kernrohrbereich angewandt werden
- o Aufgrund der außerordentlich großen Spannungsdiffe-renzen auf Bohrlochsohle erfolgt eine Zertrümmerung des abgebohrten Gesteins vor dem Eindringen in das Kernrohr

Tab. 8: Zusätzliche Probleme beim Kernen im Teufenbereich zwischen 10000 m und 14000 m

Anzuwendende Kernbohrtechniken in den hier grob eingeteilten Teufenabschnitten müssen die genannten Schwierigkeiten berücksichtigen. Alle Erfahrungen der Vergangenheit haben gezeigt, daß mehrere Alternativen für Kernbohrsysteme den Vorteil bieten, bei Versagen eines Gerätetyps auf ein alternatives Konzept ausweichen zu können. Sinnvollerweise sollten dabei, falls irgend möglich, sowohl Systeme auf der Basis bewährter Komponenten als auch gänzlich neuartige Techniken berücksichtigt werden. Angesichts eines als beschränkt anzusehenden Zeit- und Finanzrahmens wird es jedoch als notwendig erachtet, für das vorzuschlagende Entwicklungsprojekt eine klare Schwerpunktbildung vorzunehmen.

4.1 Systeme zum kontinuierlichen Vorwärtskernen

Systeme zum Vorwärtskernen werden aus mehreren Gründen umfangsmäßig im Vordergrund der Entwicklung stehen. Sie bieten im Vergleich zu Seitenkernsystemen folgende prinzipielle Vorteile:

- o Gleichzeitige weitere Vertiefung des Bohrlochs beim Kernen
- o Möglichkeit zum Gewinnen ausgedehnter Gesteinskerne von z. B. 6 oder 9 m Länge während eines Kernmarsches
- o Relativ großer Durchmesser des Gesteinskerns

- o Möglichkeit zur Adaptierung umfangreicher Erfahrungen aus dem Spot-Kernen im Sedimentärgestein bei der Erdöl-Erdgas-Exploration sowie von kontinuierlich kernenden Systemen der Berg- und Flachbohrtechnik
- o Relativ günstige Voraussetzungen zur Gewinnung orientierter Kerne

Kontinuierlich arbeitende Systeme haben aus mehreren Gründen eine höhere Priorität als diskontinuierliche Verfahren.

- o Höhere Gesamtwirtschaftlichkeit durch Zutagefördern des Bohrkerns ohne Strangausbau
- o Einsparungen zusätzlicher Roundtrips bei den zu erwartenden Kernverklemmern
- o Integration von Kabelmeßverfahren oder am Kabel einfahrbarer Meßsysteme in das Kernrohrsystem
- o Anwendbarkeit spezieller ziehbarer Innenkernsysteme zur Optimierung der Kernqualität

Angesichts der in großen Teufen des Kristallin zu erwartenden rauen Umgebungsbedingungen muß grundsätzlich großer Wert auf eine robuste und wenig stör anfällige Ausführung der Systeme gelegt werden.

4.1.1 Grundannahmen für Entwicklungssysteme

Auf der Basis der bisher zusammengestellten Erkenntnisse werden einige Grundannahmen getroffen, die zur Festlegung eines vorgeschlagenen Entwicklungsprojekts führen.

- o Rollenbohrwerkzeuge mit Hartmetallstiften ermöglichen einen guten Bohrfortschritt.
- o Die Lebensdauer von Rollenbohrkronen ist wesentlich verbessert worden und bietet die Möglichkeit für weitere Fortschritte.
- o Diamantbohrwerkzeuge bilden eine wesentliche Voraussetzung für Kerngewinn und Kernqualität.
- o Rollenwerkzeuge müssen mit langsamen Drehzahlen ($n < 120$ 1/min) und Diamantbohrwerkzeuge sollten mit hohen Schnittgeschwindigkeiten ($v = 2 - 4$ m/s) betrieben werden.
- o Für den Transport des Kerns bzw. des Kernauffangbehälters wird ein Seil verwendet.
- o Mit zunehmender Teufe wird der Einsatz von Bohrlochsohlenmotoren aus verschiedenen Gründen interessanter
- o Verdrängermotoren auf Basis des Moineau-Prinzips können aus Gründen der Temperaturbeständigkeit nur bis zu einer kritischen Teufe eingesetzt werden. Die kritische Teufe kann zu größeren Werten hin verschoben werden, wenn der Motor nur im Inneren des Stranges unter der Einwirkung der zugeführten Spülung eingesetzt wird.

- o Der im Bereich des 10 5/8"-Bohrlochs eingesetzte Bohrstrang besitzt einen freien Innendurchmesser von mindestens 4" (101,6 mm).

Weiterhin ist eine unverzichtbare Forderung jeder Entwicklungsarbeit an kontinuierlichen Kernbohrwerkzeugen, daß durch ständigen Informationsaustausch mit allen Beteiligten eine vollständige Kompatibilität zu den übrigen Komponenten, wie Bohranlage, Bohrstrang usw. sichergestellt ist.

4.1.2 Vorgeschlagene Entwicklungsarbeit

Das vorzuschlagende Entwicklungsprojekt beinhaltet nicht Verbesserungsarbeiten an diskontinuierlichen Kernbohrsystemen, die möglicherweise im Rahmen der Bohrarbeiten als erforderlich anzusehen sind. Es wird auch nicht eingegangen auf anzustrebende Entwicklungen zur Erhöhung der Standlänge und Steigerung des Bohrfortschritts bei Diamant- und Rollenbohrkronen.

Als Grundvoraussetzung für die effektive Anwendbarkeit von Kernbohrsystemen, die einen Kerngewinn ohne Ausbau des Stranges ermöglichen, ist ein möglichst großer freier Innendurchmesser des Bohrgestänges zu nennen.

Das Entwicklungskonzept konzentriert sich entsprechend der Bohrlochplanung nach Abb. 1 zunächst auf die Sektion mit 10 5/8" Durchmesser. Nach der vorliegenden Planung ist dafür der Teufenbereich von 5000 bis 10000 m vorgesehen. Eine weitere Vertiefung mit diesem Durchmesser würde erfolgen, falls dies technisch möglich ist. Als Planungsvorgabe für die Auslegung kontinuierlicher Kernbohrsysteme kann in diesem Bereich ein kleinster Innendurchmesser von 4" (101,6 mm) vorausgesetzt werden.

Zum Transport des Bohrkerns von Sohle zur Oberfläche wird die Verwendung eines Seiles vorgesehen. Systeme mit umgekehrter Spülungsrichtung sind nämlich als fragwürdig anzusehen, weil Spülungsverluste in der Formation die Funktion stören können. Außerdem können durch die Einleitung der mit Bohrklein beladenen Spülung Probleme im Innenraum des Bohrstrangs auftreten. Herkömmliche Drahtseile konstanten Durchschnichts weisen nicht die für das Erreichen der Endteufe erforderliche Fertigkeit auf. Es wird daher erforderlich, ein neuartiges Konzept für das Seil zu entwickeln. Denkbare Lösungsansätze beinhalten entweder die Nutzung alternativer Werkstoffe, z.B. hochfester Kunststoffe, oder den Aufbau eines abgesetzten Stahlseils mit reduziertem Querschnitt. Den Vorteilen außerordentlich niedrigen Gewichts und hoher mechanischer Festigkeit des Kunststoffs, z. B. Kevlar (Fa. DuPont), steht als Nachteil eine kritische Temperaturfestigkeit gegenüber.

Bei der Auslegung eines neuen Seils sollte in jedem Fall die Möglichkeit berücksichtigt werden, einen elektrischen Leiter für Datenübertragungszwecke zu integrieren.

4.1.2.1 Kernbohrwerkzeuge für 10 5/8"-Bohrlochdurchmesser

Aufgrund der Effektivität des Gesteinszerstörungsprozesses im Kristallin wird die Rollenbohrkrone zunächst das Werkzeug erster Wahl in diesem Bohrlochbereich darstellen. Erfahrungen, wenn auch aus geringeren Teufen, konnten bereits in der KTB-Vorbohrung gewonnen werden. Die bisher bekannt gewordenen Ergebnisse aus der Gravberg 1-Bohrung in Schweden machen jedoch auch deutlich, daß bezüglich der mit solchen Systemen in großen Teufen erzielbaren Kernqualität Vorbehalte angebracht sind.

Es wird vorgeschlagen, auf der Basis der Rollenbohrkrone ein stufenweise ausbaufähiges System entsprechend der Darstellung in Tab. 9 zu entwickeln, das auch die anerkannt gute Qualität des Diamantkernprozesses integriert.

- o Kernrohr mit Rollenbohrkrone 10 5/8" x 3 1/4" Innenrohr mit Außendurchmesser < 100 mm durch Gestänge am Seil ziehbar, Antrieb von Übertage
- o Kernrohr mit Rollenbohrkrone 10 5/8" wird von Übertage angetrieben; am Seil ziehbare voreilende Innenkernbohrgarnitur aus Diamantkrone 100 mm x 61 mm, Bergbau-Kernrohr HWD 4 und modifiziertem 3 3/4"-Moineau-Motor
- o System wie oben beschrieben, jedoch Innenkernbohrgarnitur für Richtbohrarbeiten im Winkel zur Werkzeugachse voreilend
- o Kernrohr mit Rollenbohrkrone 10 5/8" x 3 1/4" wird über Verdrängermotor 8 1/2" angetrieben, Innenkernrohr mit Motorwelle am Seil ziehbar

Tab. 9: Kontinuierliches Kernbohrsystem für Rollenbohrkrone im 10 5/8"-Bohrlochbereich

In der Basisausführung wird das Doppelkernrohr für Rollenkronen so modifiziert, daß das Innenrohr nach Art der im Bergbau eingeführten Diamant-Seilkernbohrtechnik ohne Strangausbau zutage gefördert werden kann. Die Anwendbarkeit dieses Systems kann einerseits dadurch begrenzt werden, daß der Kerngewinn zu schlecht ausfällt. Die Verwendung eines Doppelkernrohrs mit Diamantkrone und ziehbarem Innenrohr

sollte dann erwogen werden. Bisherige Erfahrungen lassen jedoch nur schwache Bohrleistungen erwarten. Hier besteht nun die Möglichkeit, ein voreilendes Diamantkernbohrsystem in ziehbarer Ausführung im Kernrohr mit Rollenbohrkrone einzusetzen, um die Vorteile beider Schneidprinzipien zu nutzen. Ein solches System könnte prinzipiell in modifizierter Form auch dazu verwendet werden, während des Kernens eine erwünschte Abweichung von der Bohrlochrichtung zu erbohren.

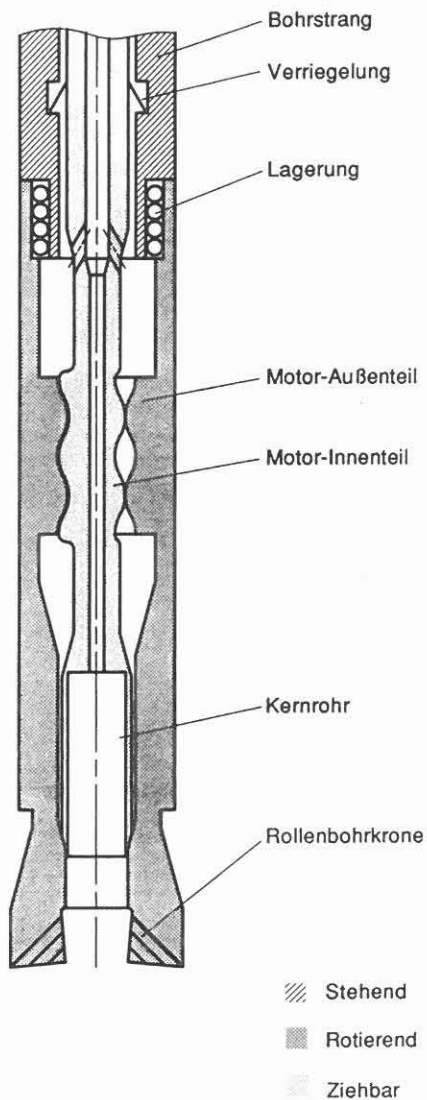


Abb. 12: Motor-Kernsystem mit ziehbarer Welle am Innenrohr

Wenn in größeren Teufen zur Reduzierung des Verschleißes an Gestänge und Bohrlochwand nur noch mit geringer Drehzahl rotiert werden soll, bietet sich der Einsatz eines Bohrlochsohlenantriebs an. Die vorgeschlagene Lösung sieht vor, daß ein Verdrängermotor mit niedriger Drehzahlcharakteristik ein Kernrohr mit ziehbarem Innenrohr antreibt (Abb. 12).

Zum Auswechseln des Kernbehälters wird dieser mit der an der Motorwelle befestigten Fangeinrichtung am Seil zutage gefördert.

Eine Alternative zum Kernem mit Rollenwerkzeugen bildet das Diamantkernem. So kann der Antrieb eines Kernrohrs mit einer Bohrturbine bei relativ hoher Drehzahl erfolgen, was die bekannten Vorteile im Kernprozess erwarten läßt. Tab. 10 zeigt als Vorschlag eine Zusammenfassung der wichtigsten Kenndaten einer solchen Anordnung.

Kernprinzip	- Rotierendes Turbinenaußenrohr mit Diamantbohrkrone, am Seil ziehbares Innenkernrohr in stillstehender Turbinenwelle
Wellenbohrung	- 101,6 m (4") Durchmesser
Bohrkrone	- Diamantwerkzeug 10 5/8" x 3 3/8" (270 x 86 mm)
Kronenlippe	- 92 mm Lippenbreite / 514 cm ² Lippenfläche
Turbine	- 8 1/2"-Turbine mit $n = 887$ 1/min und $T = 2964$ Nm bei $V = 2400$ l/min

Tab. 10: Kontinuierliches Turbinen-Diamantkernsystem für 10 5/8"-Bohrloch

Im Sinne einer möglichst kompakten Bauweise und einer optimal geschützten Kernaufnahme ist ein ziehbares Innenrohr im Inneren des Hohlrotors der Turbine untergebracht. Durch "umgekehrtes" Einbauen der Turbine kann außerdem dafür gesorgt werden, daß die Welle mit dem Strang drehfest verbunden ist und daher stillsteht.

Prinzipiell wäre es auch möglich, durch die Hohlwelle eine Pilot-Kernbohrvorrichtung einzufahren. Eine solche Maßnahme könnte sich aber nur als sinnvoll erweisen, wenn ein Kerngewinn über den vollen Bohrlochdurchmesser aus gesteinsphysikalischen Gründen zu große Probleme bereiten sollte.

Für eine eventuelle Verwendung der Kernbohrturbine mit Rollenwerkzeugen müßte eine deutliche Reduzierung der Drehzahl vorgenommen werden.

4.1.2.2 Kernbohrwerkzeuge für 8 1/2"-Bohrlochdurchmesser

Das vorgeschlagene Konzept zum kontinuierlichen Kernen im 8 1/2"-Durchmesserbereich wird gegenüber dem 10 5/8"- Durchmesser wesentlich durch den deutlich reduzierten Bauraum beeinflusst. So erscheint es nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand realisierbar, ein Pilotkernsystem in der untersten Schwerstange unterzubringen, das zugleich noch am Seil ziehbar ist. Auch die Verfügbarkeit von Rollen-Bohrkronen mit ausreichender Standlänge und Zuverlässigkeit für diese Bohrlochabmessung gilt noch nicht als gesichert. Weiterhin muß das Prinzip des Meißelantriebs von Übertage bei diesen Teufen als sehr fragwürdig angesehen werden. Andererseits begünstigt der relativ kleine Durchmesser aus technischen und ökonomischen Gründen den Einsatz von Diamantbohrwerkzeugen unter den zu erwartenden Bohrlochbedingungen.

Unter Berücksichtigung aller gegenwärtig bekannten Umgebungsbedingungen wird daher die Entwicklung eines Turbinenkernsystems vorgeschlagen. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen soll es soweit wie möglich aus vorhandenen Komponenten aufgebaut werden. Im hohlgebohrten Rotor einer 7 1/4"- Turbine wird dazu ein ziehbares Innenkernrohr untergebracht. Die wichtigsten Systemparameter zeigt Tab. 11.

Kernprinzip	- Rotierendes Turbinenaußenrohr mit Diamantbohrkrone, am Seil ziehbares Innenkernrohr in stillstehender Turbinenwelle
Bohrkrone	- Diamantwerkzeug 8 1/2" x 1,875" (215,9 x 47,62 mm)
Kronenlippe	- 77 mm Lippenbreite / 307 cm ² Lippenfläche
Turbine	- 7 1/4" Turbine mit n = 790 1/min und T = 3000 Nm im Auslegungspunkt

Tab. 11: Kontinuierliches Turbinenkernsystem für 8 1/2"-Bohrloch

Damit das Innenrohr mit einem größten Durchmesser von 71,4 mm auch den im 8 1/2"-Bereich voraussichtlich abgesetzten Strang durchfahren kann, muß dort ein Innendurchmesser von 3" (76 mm) der engsten Stelle vorgesehen werden. Die Diamantbohrkronen sind in Richtung eines guten Bohrfortschritts und vor allem einer großen Standlänge zu optimieren. Die

Kombination der Elemente

- o Hohe Drehzahl
- o Diamantbohrkrone
- o Integrale Verbindung Motor/Kernrohr

bildet die besten Voraussetzungen für einen guten Kerngewinn in großer Teufe.

4.2 Systeme zum Seitenkernen

Gegenwärtig kommerziell erhältliche Systeme und erkennbare Entwicklungsoptionen wurden bereits an anderer Stelle erörtert. Der Überblick hat gezeigt, daß praktisch ein kommerzielles System (Gearhart) die Möglichkeit zur Durchführung von Seitenkernoperationen im Kristallin bietet. Allerdings sind sowohl die Abmessungen des Kerns als auch die Teufenkapazität begrenzt. Eine Weiterentwicklung dieses Systems wird wegen der prinzipiellen Einschränkungen hinsichtlich des Antriebsmechanismus nicht empfohlen.

Hinsichtlich des Entwicklungspotentials muß dem durch die Bohrlochspülung angetriebenen Bohrlochsohlenmotor mit darunter angebrachtem Kernrohr der Vorzug gegeben werden. Die Kombination aus Diamantkrone, Kernrohr und Motor wird über eine im Bohrstrang angebrachte Schräge (Keil) zum Eindringen in die Bohrlochwand veranlaßt. Als Antrieb kann neben dem Verdrängermotor auch eine stationär oder ziehbar angeordnete Turbine eingesetzt werden, was zu einer erheblichen Ausweitung der u. a. durch die Temperatur beeinflussten Teufenkapazität führen würde. Bei dem von Eastman Christensen GmbH und ITE der TU Clausthal vor einigen Jahren bis zur Laboratoriums-Reife entwickelten Seitenkerngerät (siehe Abschnitt 2.2.2) wird zunächst in einem Außenrohr die Ablenkschräge am Bohrstrang eingebaut und das Motorkernsystem nachfolgend am Seil eingeführt. In Abwandlung dieses Prinzips kann auch der Ablenkkeil zusammen mit dem Kernbohrmotor in das Außenrohr am Seil eingelassen werden.

Wenn die Entscheidung zugunsten der Entwicklung eines Seitenkernsystems mit Ablenkschräge und Spülungsantrieb des Motors getroffen wird, muß noch eine endgültige Festlegung erfolgen, ob der vorhandene Labor-Prototyp weiterentwickelt oder stattdessen mit einem modifizierten Konzept begonnen werden soll.

5. PROJEKTPLANUNG KERNBOHRSYSTEME KTB

Die vorliegende Studie hat u. a. zum Ziel, eine Vorklärung der inhaltlichen Schwerpunkte eines nachfolgend zu bearbeitenden Werkzeug-Entwicklungsprojekts herbeizuführen. Eine endgültige Festlegung auf bestimmte Systeme kann nur nach intensiver Diskussion der in der Studie erarbeiteten Konzepte mit der Projektleitung KTB erfolgen.

5.1 Technische Teilziele

Das Ziel einer Bereitstellung kontinuierlich arbeitender Systeme zum Vorwärtskernen sowie von Seitenkerngeräten für Kristallin-Gestein soll durch Entwicklung verschiedener Komponenten erreicht werden, die in möglichst großem Umfang untereinander kompatibel sind. Der vorgetragene Plan stellt einen Mindestbedarf dar. Es werden aber auch Wege aufgezeigt, wie diese Systeme im Bedarfsfall um zusätzliche Komponenten erweitert werden können. Dazu müßte dann allerdings noch eine zusätzliche Kostenplanung vorgenommen werden. Bei kleinerem Bohrlochdurchmesser als dem genannten werden die Grenzen der technischen Realisierbarkeit kontinuierlicher Systeme überschritten. Es besteht dann nur noch die Möglichkeit, im diskontinuierlichen Betrieb weiter zu arbeiten. Insgesamt werden die in Abb. 13 wie folgt charakterisierten Grundsysteme zur Entwicklung vorgeschlagen.

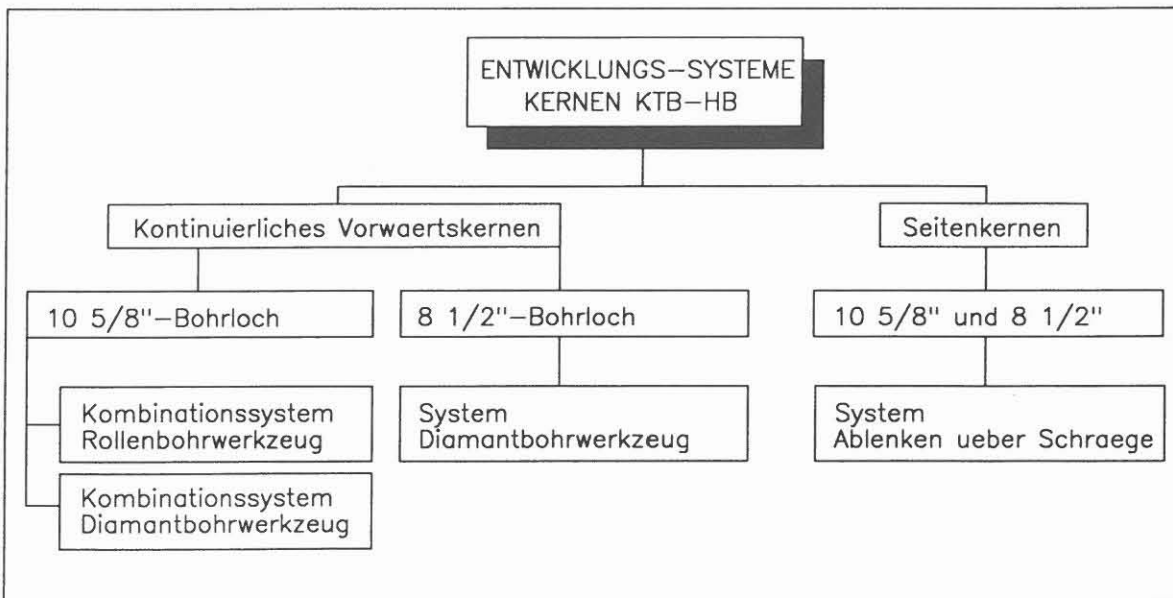


Abb. 13: Kernbohrsysteme für KTB-Hauptbohrung

Lfd.Nr.	Baugruppe	Priorität
1	Seil für Wireline-Arbeiten bis 14000 m Teufe	a
2	Kernrohr mit ziehbarem Innenrohr für RK 10 5/8" x 3 1/4"	a
3	Wie 2, aber RK 10 5/8" x 4" und Pilotkernbohrmotor 3 3/4" (PDM) mit DK 100 x 61 mm	a
4	Wie 3, jedoch 3 3/4"-Turbine	c
5	Wie 3, aber Innenkernbohrsystem für Richtbohrarbeiten über Schräge voreilend	b
6	Wie 2, jedoch Antrieb des Kernrohrs mit PDM	a
7	TURB-Außenrohr mit DK 10 5/8" x 3 3/8", 8 1/2"-Turbine, Innenrohr ziehbar	b
8	Wie 7, jedoch statt ziehbarem Innenrohr Pilotkernbohrmotor 3 3/4"	b
9	Wie 7, jedoch TURB mit Untersetzungsgetriebe und RM	c
10	7 1/4"-TURB mit Hohlrotor und integriertem ziehbarem Innenrohr, DK 8 1/2" x 1.875"	a
11	Seitenkerngerät schräg austreibend mit PDM	a
12	wie 11, jedoch mit stationärer TURB	b

RK :	Rollenbohrkrone
DK :	Diamantbohrkrone
PDM :	Moineau-Verdrängermotor
TURB:	Bohrturbine

Tab. 12: Entwicklungs-Baugruppen

Die in Tab. 12 mit "a" gekennzeichneten Gegenstände sollen Bestandteil eines zentralen Programms zur Entwicklung von kontinuierlichen Vorwärts-Kernsystemen und Seitenkerngeräten sein. Optionen für Erweiterungen dieser Konzepte sind mit "b" und "c" gekennzeichnet. Viele Probleme, die bei Kernarbeiten unter den Bedingungen der übertiefen KTB-HB erwartet werden und im Rahmen dieser Studie auch schon entsprechend betont worden sind, müssen noch technisch gelöst werden. Dies ist im wesentlichen unabhängig davon, ob ein diskontinuierliches oder ein kontinuierliches Kernverfahren betrieben wird. Es muß daher noch einmal ausdrücklich betont werden, daß die vorliegende Projektplanung entsprechend dem Balkendiagramm in Abb. 14 noch keine sichere Lösung der angeschnittenen Zusatzprobleme beinhaltet.

KERNBOHRSYSTEME KTB	1988	1989	1990	1991	1992
(1) System-Anforderungen	▨			▨	▨
(2) HD/HT-Seil	▨				
(3) Kernrohr für RK mit ziehbarem Innenrohr (10 5/8")		▨			
(4) Pilot-Kernbohrmotor für (3)		▨			
(5) PDM-Antrieb für System (3)		▨			
(6) Turbinkernrohr mit integr. Innenrohr (8 1/2"-Bohrloch)			▨		
(7) Seitenkerngerät, schräg austreibend mit PDM		▨			

Abb. 14: Projektplanung Kernbohrsysteme

Zu Beginn der Projektbearbeitungszeit müssen sämtliche Detailanforderungen soweit geklärt werden, wie dies vor dem eigentlichen Bohrbeginn nur irgend möglich ist. Modifikationen zum aufgestellten Konzept werden sich während der eigentlichen Kernarbeiten in der KTB-HB vermutlich nicht vermeiden lassen. Das Vorhandensein eines geeigneten Zugseils ist für die Realisierung aller kontinuierlichen Verfahren von unabdingbarer Bedeutung. Entsprechende Arbeiten

müssen daher zum frühestmöglichen Zeitpunkt begonnen werden. Als erstes System zum kontinuierlichen Kernn soll ein Kernrohr für Rollenmeißel mit ziehbarem Innenrohr bereitgestellt werden, um unmittelbar mit den Kernarbeiten nach Abteufen der oberen Vollbohrstrecke beginnen zu können. Der Entwicklungsaufwand hierfür scheint überschaubar. Besonderes Augenmerk ist u. a. auch auf ein möglichst geschütztes Eindringen des Kerns in das Innenrohr zu richten. Außerdem ist bereits in dieser Phase darauf zu achten, daß das im nächsten Teilziel zu implementierende Pilot-Motorkernsystem entsprechend eingepaßt werden kann. Erste Erfahrungen, allerdings für andere Anwendungen, mit solchen Pilot-Kernsystemen liegen bei Eastman Christensen bereits vor. Entsprechende Ausführungsformen sind inzwischen auch patentrechtlich geschützt (Lit. 9).

Die bisher angesprochenen Systeme basieren noch auf dem Antrieb des Bohrstranges von Übertage. In mittleren bis großen Teufen werden aber häufig Bohrlochsohlenantriebe vorgezogen. Das folgende Teilziel sieht daher vor, für den Untertageantrieb des Kernrohr-Außenteils im 10 5/8"-Bohrloch einen 8 1/2"-Moineau-Motor zu entwickeln, durch den ein Gesteinskern zutage gezogen werden kann.

Für den Bereich des 8 1/2"-Bohrlochs ist aufgrund der hohen Temperatur und des begrenzten Bauraums mit oberster Priorität ein Turbinenkernbohrsystem zu entwickeln. Dabei soll das in die Welle integrierte Kernrohr am Seil ziehbar sein.

Ein wichtiger Anwendungsbereich für Seitenkernsysteme ergibt sich im oberen Teufenabschnitt, zwischen 3000 und 5000 m. Kernoperationen sind hier eigentlich nicht geplant. Zur Überprüfung des in der KTB-Vorbohrung gewonnenen Kenntnisstandes können aber sinnvoll Seitenkerne gezogen werden. Die Entscheidung zwischen den zur Wahl stehenden Systemen mit schräg austreibendem Kernrohr muß noch getroffen werden. Für die Ausführung mit einer Turbine spricht der Umstand, daß damit ein Einsatz in jeder Teufe der KTB-HB möglich ist. Wenn die erforderlichen Turbinenstufen im unteren Teil des Bohrstrangs fest eingebaut sind, muß lediglich nach jeder Seilkernoperation das gefüllte Kernrohr am Seil ausgebaut werden. Im Sinne einer möglichst ausgedehnten Anwendbarkeit sollte das neu zu entwickelnde Gerät sich auch in der 8 1/2"-Sektion im untersten Bohrungsabschnitt einsetzen lassen.

5.2 Kostenplanung

Der Balkenplan nach Abb. 14 berücksichtigt nur die zunächst naheliegenden Entwicklungsschritte für kontinuierliche Kernbohrsysteme. Er beinhaltet weder sinnvolle oder wünschenswerte Ergänzungen bzw. alternative Entwicklungsoptionen, noch bestimmte spezielle Vorrichtungen, die bei kontinuierlichem und auch bei diskontinuierlichem Kernen das Kerneinwachsen in großen Teufen erleichtern sollen.

Unter Zugrundelegung der in Abb. 14 vorgeschlagenen Arbeitsplanung wurde noch eine Abschätzung der Kosten vorgenommen, die für die einzelnen Teilziele nach heutigem Kenntnisstand vorzusehen sind.

	Teilziel	Kosten (TDM)
1	Systemanforderungen	150
2	HD/HT-Wireline	200
3	Kernrohr für 10 5/8", ziehbar	350
4	Pilot-PDM-Kernbohrmotor	800
5	PDM-Außenrohrantrieb für 10 5/8"	1000
6	Turbinen-Kernrohr für 8 1/2"	1500
7	Seitenkerngerät	500
Gesamtprojektkosten		4500

Tab. 13: Kostenübersicht für geplantes Entwicklungsprojekt "Kontinuierliches Kernen", gegliedert nach Teilzielen

Die vorgeschlagenen Kernbohrsysteme sind speziell auf die Anforderungen der übertiefen KTB-Bohrung ausgerichtet. Eine Anwendung für andere Bereiche, außerhalb der KTB, ist zunächst nicht abzusehen. Es ist daher erforderlich, im Rahmen

der Beantragung eines geförderten Projekts einen relativ geringen Eigenanteil für den Antragsteller einzusetzen. Für den Fall, daß andere Systeme, die in Tab. 12 mit "b" bzw. "c" klassifiziert wurden, ersatzweise oder zusätzlich entwickelt werden sollen, können höhere Kosten auftreten.

Generell umfaßt die vorgelegte Kostenplanung die Entwicklungskosten und die Kosten für die Fertigung eines für den Labor- und Feldeinsatz geeigneten Prototyps für jedes der Teilziele. Ausnahmen bilden die Entwicklung des optimierten Seiles und des Seitenkerngerätes. Im Fall des Seiles sollten nur Labortests an kürzeren Seilabschnitten im Zusammenhang mit der Festlegung geeigneter Seileigenschaften vorgenommen werden. Die Anschaffung eines kompletten Seiles, insbesondere im Bereich extremer Teufen, bleibt dem Bohrunternehmen überlassen. Bezüglich des Seitenkerngerätes sind zunächst Vor- und Laboratoriumsuntersuchungen vorgesehen. Nach einer Klärung des Bedarfs und Festlegung auf ein Antriebsprinzip müßte eine separate Prototyp-Fertigung beantragt werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Studie war die Erarbeitung eines Konzeptes für die Entwicklung neuartiger Kernbohrsysteme, die in der Anwendung für die übertiefe KTB-Hauptbohrung einen kontinuierlichen Kerngewinn ermöglichen. In einem zusätzlichen Schwerpunkt wird als Ergänzung der Systeme zum Vorwärtskern auch eine entsprechende Klärung für Werkzeuge zum Seitenkern herbeigeführt.

Dazu ist zunächst festzustellen, daß Kernbohrsysteme, die einen Kerngewinn ohne Ausbau des Gestänges ermöglichen, für den erforderlichen Bohrl Lochdurchmesser gegenwärtig überhaupt nicht existieren. Erfahrungen liegen aus der Seilkerntechnik im Bergbau vor. Einen erschwerenden Parameter bildet die angestrebte extreme Endteufe der KTB-Bohrung. Schließlich müssen die zu erwartenden geophysikalischen Phänomene im Kristallin noch zusätzlich berücksichtigt werden. Zum Erbohren kleiner Kerne aus der Wand eines offenen Bohrlochs ist derzeit nur ein erwähnenswertes kommerzielles Werkzeug erhältlich. Nachteile sind hier jedoch relativ kleine Kernabmessungen, keine vollständige Systemzuverlässigkeit und eine limitierte Teufenkapazität.

Nach der Bewertung der zu erwartenden Einsatzbedingungen und der Zusammenfassung vorliegender Erfahrungen mit Kernbohrarbeiten im Hartgestein werden im Überblick grundsätzliche Entwicklungsmöglichkeiten dargestellt. Schwer-

punkte eines realistischen Konzepts zur Entwicklung im Bereich der 10 5/8"-Sektion bilden Rollenkronen-Kernbohrsysteme ohne und mit Bohrlochsohlenantrieb sowie Hybrid-Systeme, bei denen ein kleineres Kernrohr mit Diamantbohrkrone voreilend im Inneren der untersten Schwerstange eingesetzt wird. Für den im unteren Teil des Bohrlochs vorgesehenen Durchmesser von 8 1/2" konzentriert sich die Entwicklungsempfehlung auf einen Turbinenkernbohrmotor für Diamantkronen mit Hohlwelle zur Aufnahme des Gesteinskerns. Für die Entwicklung von Seitenkernsystemen wird dem Prinzip der Richtungsablenkung eines über eine im Bohrstrang angebrachte Schräge voreilenden Motorwerkzeugs der Vorzug gegenüber komplizierter aufgebauten Systemen gegeben, die senkrecht in die Bohrlochwand eindringen können.

Allen Systemen gemeinsam ist die Verwendung eines Stahl- oder Kunststoffseiles zum Transport des Kerns nach Übertage. Für diese wichtige Systemkomponente sind ebenfalls Entwicklungsaufwendungen vorgesehen. Weiterhin ist allen Systemen die Verwendung der Bohrspülung als Antriebsmedium gemeinsam, soweit nicht der Drehantrieb über das Bohrgestänge vorgenommen wird.

In Form einer konkretisierten Projektplanung werden die Aufwendungen für ein Minimal-Entwicklungsprogramm abgeschätzt, das Aussicht auf Erreichen der geforderten Ziele bietet. Das Programm konzentriert sich streng auf die Entwicklung kontinuierlicher Systeme für den Vorwärts- und Seitenkernbetrieb. Nicht berücksichtigt sind dabei besondere erforderliche Aufwendungen für Untertage-Meßsysteme sowie spezielle mechanisch-hydraulische Systeme, die das Eindringen des Gesteins in das Innenrohr in großen Teufen unterstützen.

Bei der Festlegung der in der Projektplanung genannten Werkzeugtypen wurde besonderer Wert darauf gelegt, daß dabei möglichst weitgehend vorhandene Kernrohrsysteme und Untertageantriebe berücksichtigt werden können. Erweiterungen des Programms oder Austausch bzw. Modifizierung vieler Teilziele sind jederzeit möglich durch Übernahme der ebenfalls dargestellten Alternativen.

7. LITERATUR

1. Noevig, T. Status report on coring procedures in deep-drilling technology. Project report, Energy research and development programme. Technische Universität Clausthal, 1977
2. Marx, C. and Young, F. Darstellung von Kerngewinnungsverfahren und Bewertung ihrer Einsatzmöglichkeiten in übertiefen Bohrungen, Clausthal, 1983
3. Rowley, J. C. Coring technologies for scientific drilling projects - an overview, Los Alamos National Laboratory, Report No. LA 10485-OBES, 1985
4. Oppelt, J. Studie Vorbohrung KTB-Bergbautechnik, Eastman Christensen GmbH, im Auftrag der KTB-Projektleitung, März 1987
5. Wohlgemuth, L. Persönliche Mitteilung, KTB-Projektleitung, März 1987
6. Kozlovsky, Y. A. The superdeep well of the Kola peninsula, Springer Verlag, 1987 (Original-Ausgabe Moskau, 1984)
7. Maury, V. M. und Sanzay, J.-M. Borehole Instability: Case Histories Rock Mechanics Approach, and Results SPE/ADC Paper No. 16051, March 1987 Drilling Conference, New Orleans, Louisiana
8. Krüger, V. und Daenicke, H. Studie Untertageantriebe, Eastman Christensen GmbH, NLfB, Projekt AZK/15-RG 86040, 1988
9. Ostertag, A. und Biehl, J. DE 3,701,914 "Direktangetriebenes Kernbohrwerkzeug", 24.01.1987, Eastman Christensen