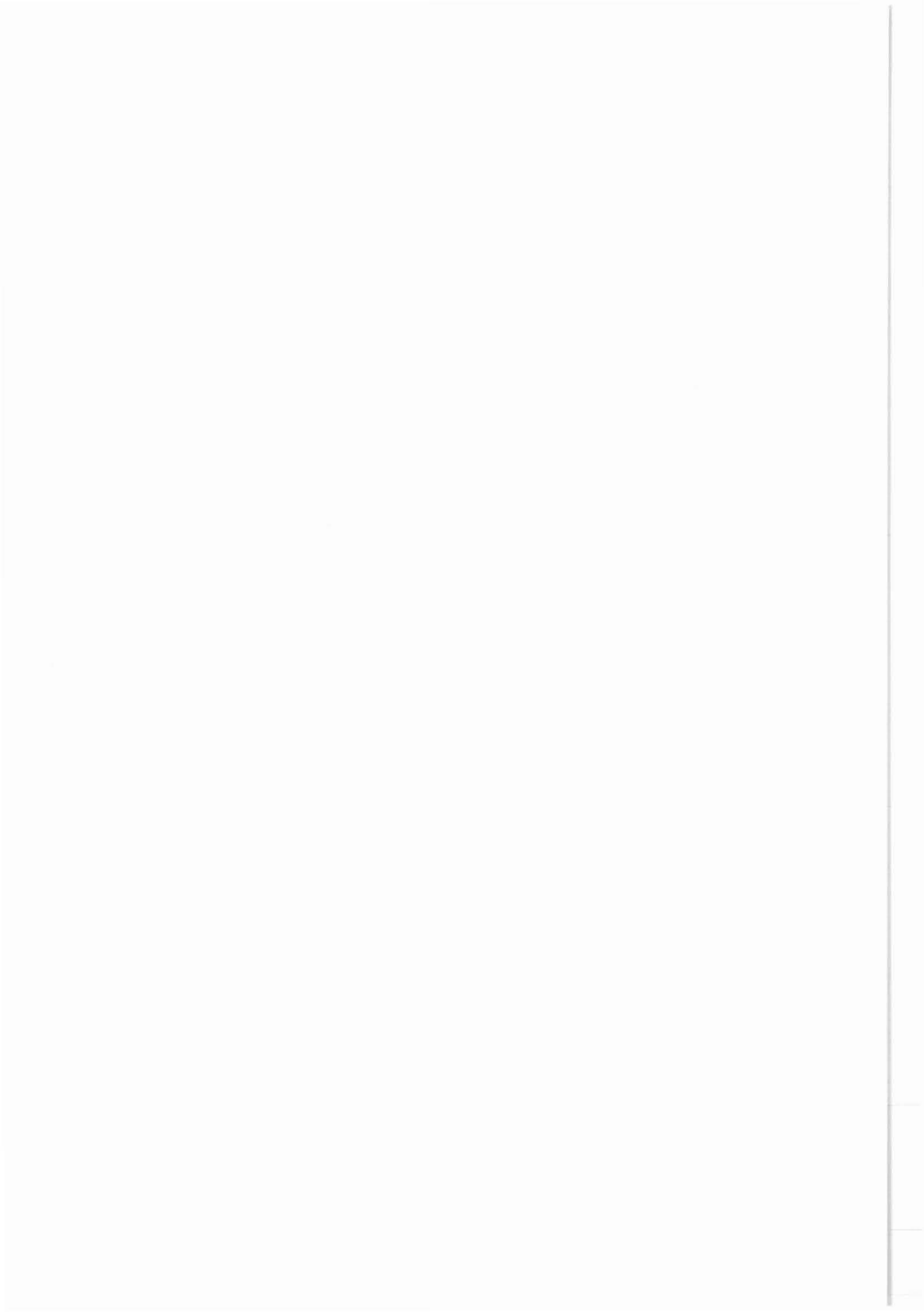


Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung  
Technische Universität Clausthal

Agricolastraße 10  
3392 Clausthal-Zellerfeld

# Kernbohren im Hartgestein Seitenkerntechnik

Prof. Dr.-Ing. C. Marx  
Dipl.-Ing. J. Weltermann



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zusammenfassung.....	185
2. Einleitung.....	185
3. Bedeutung der Gewinnung von Kernen aus der Bohrlochwand.....	186
4. Darstellung der Voraussetzungen für ein leistungsstarkes Kernbohren im Hartgestein.....	186
5. Betrachtung der verfügbaren Seitenkerne- gewinnungsverfahren.....	190
5.1 Eintreibverfahren.....	190
5.1.1 Lochstanzverfahren.....	190
5.1.2 Kernschießverfahren.....	190
5.2 Eindrehverfahren.....	193
5.2.1 Seitenkerngerät der Firma A-1 Bit & Tool Company.....	193
5.2.2 Seitenkernsystem des Instituts für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung....	195
5.2.3 Side Wall Coring Tool der Firma Eastman Christensen.....	201
5.2.4 Seitenkernsystem der Firma Gearhart (Hard Rock Coring Tool).....	201
5.3 Kernsägeverfahren.....	203
6. Bewertung der Seitenkernverfahren.....	205
7. Literaturverzeichnis.....	212



## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Studie wird auf die Bedeutung der Entnahme von Kernen aus der Bohrlochwand als Möglichkeit zur Verringerung der Kosten der Kerngewinnung in großen Teufen und als Beitrag zur Verbesserung des Leistungsbohrprozesses hingewiesen. Nach der grundsätzlichen Darstellung der Voraussetzungen für ein leistungsstarkes Kernbohren im Hartgestein wird ein Überblick über die derzeit verfügbaren Seitenkernsysteme und deren Einsatzmöglichkeiten unter Berücksichtigung der bei der Kontinentalen Tiefbohrung auftretenden Besonderheiten gegeben.

In einer abschließenden Bewertung der einzelnen Verfahren wird ein Vergleich der im Hartgestein einsetzbaren Seitenkernsysteme vorgenommen. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, daß eine Weiterentwicklung des Seitenkernverfahrens des Institutes für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung für KTB dringend empfohlen werden kann, da sich dieses System allen anderen betrachteten Verfahren als überlegen erweist.

## 2 EINLEITUNG

Für Forschungsbohrungen stellt die Bereitstellung von erbohrtem Kernmaterial eine besonders hoch zu bewertende Voraussetzung für die petrographische Beurteilung der durchbohrten Schichten dar. Da das Kernbohren bei den im Rahmen des KTB angestrebten Bohrlochdurchmessern von 8-1/2" bzw. 10-5/8" und Teufen von 12 bis 14 km auf den Bohrmeter bezogen erheblich kostenaufwendiger als das Vollbohrverfahren ist, müssen die Kernbohrstrecken auf ein Minimum begrenzt werden. Für das KTB-Projekt wird angestrebt, 25 % der Gesamtbohrmeter kernend zu bohren.

Die Möglichkeit, auch aus dem im Vollbohrverfahren abgetauften Bohrlochbereich Kernproben zu gewinnen, kann durch Seitenkernverfahren realisiert werden. Für Hartgestein steht diese Technik jedoch nur sehr eingeschränkt zur Verfügung und bedarf einer weiteren Entwicklung /11/.

### 3 BEDEUTUNG DER GEWINNUNG VON KERNEN AUS DER BOHRLOCHWAND

Seitenkernverfahren werden zur Gewinnung von Kernen aus der Bohrlochwand eines gebohrten, jedoch unverrohrten Bohrloches eingesetzt. Gegenüber den konventionell aus der Bohrlochsohle erbohrten Kernen weisen diese Verfahren wesentliche Vorteile auf:

- Eine Unterbrechung des Leistungsbohrprozesses zum Zwecke des Kernens ist nicht erforderlich
- Nach Erreichen der erforderlichen Teufe können im Bereich des offenen Bohrloches durch Bohrlochmeßverfahren für die Seitenkerngewinnung interessante Teufenabschnitte ermittelt und gezielte Kernentnahmen durchgeführt werden.
- Mehrfache Kerngewinnung bei einem Geräteeinsatz ohne Gestängeaus- und -einbau ist möglich
- Kerngewinn aus Bereichen mit hohen Kernverlusten beim konventionellen Kernen ist möglich

Besondere Probleme ergeben sich beim Seitenkernen aus der Forderung, eine für Analysen ausreichende Kerngröße und Kernqualität zu erhalten. Weiterhin ergeben sich Einsatzgrenzen für einige Systeme, die durch große Teufen und Gesteinhärten bestimmt sind.

### 4 DARSTELLUNG DER VORAUSSETZUNGEN FÜR EIN LEISTUNGSSTARKES KERNBOHREN IM HARTGESTEIN

Das Bohren in kristallinem Gestein in großen Teufen (10 bis 15 km) mit Bohrlochdurchmessern von 8-1/2" und größer ist für industrielle Anwendungen bisher nicht notwendig gewesen. Aus diesem Grund sind spezielle Bohr- und Kerntechniken für die genannten Einsatzbedingungen nicht entwickelt worden. Für die existierenden Rotary-Kernsysteme in Bohrlöchern mit Durchmessern von 8-1/2" und Hartgestein sind Bohrfortschritte von  $v = 0,5$  m/h und Meißelstandzeiten von  $S = 10$  m charakteristisch. Hier sind deutliche Leistungseinbußen gegenüber dem Kernen in Sedimentgestein festzustellen. Kernmenge und Qualität der Kernbeschaffenheit nehmen ebenfalls ab /11/.

Die Weiterentwicklung bestehender Systeme ist unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und technologischer Gesichts-

punkte notwendig. So sollten für die geplanten Teufen Kernsysteme mit Wireline-Technik eingesetzt werden, um zeitraubende und die Bohrleistung mindernde Roundtrips zu vermeiden. Die Meißelstandzeiten sollen 30 m, d.h. etwa das dreifache heute möglicher Kernlängen von 9 m, betragen /11/.

Einen wichtigen Einfluß auf die Leistung des Kerngewinnungsprozesses hat das Verhältnis R von Außendurchmesser des Meißels zum Kerndurchmesser. Große Verhältnisse von R, d.h. dicklippige Bohrkronen, verursachen beim Kernen in Hartgestein mehr Probleme als der Einsatz von dünnlippigen Kronen /14/.

In diesem Zusammenhang hat sich ein kleiner Bohrlochdurchmesser von 50 bis 75 mm als günstig in kristallinem Gestein erwiesen /11/. So werden in der Bergbauindustrie mit imprägnierten Diamantbohrkronen im Hartgestein durchschnittliche Bohrgeschwindigkeiten von  $v = 6$  m/h und Kronenstandzeiten von  $S=60$  m erreicht. Wie aus Abbildung 1 zu erkennen ist, liegen die geometrischen Verhältnisse in anderen Bereichen vergleichsweise höher als in der Bergbauindustrie.

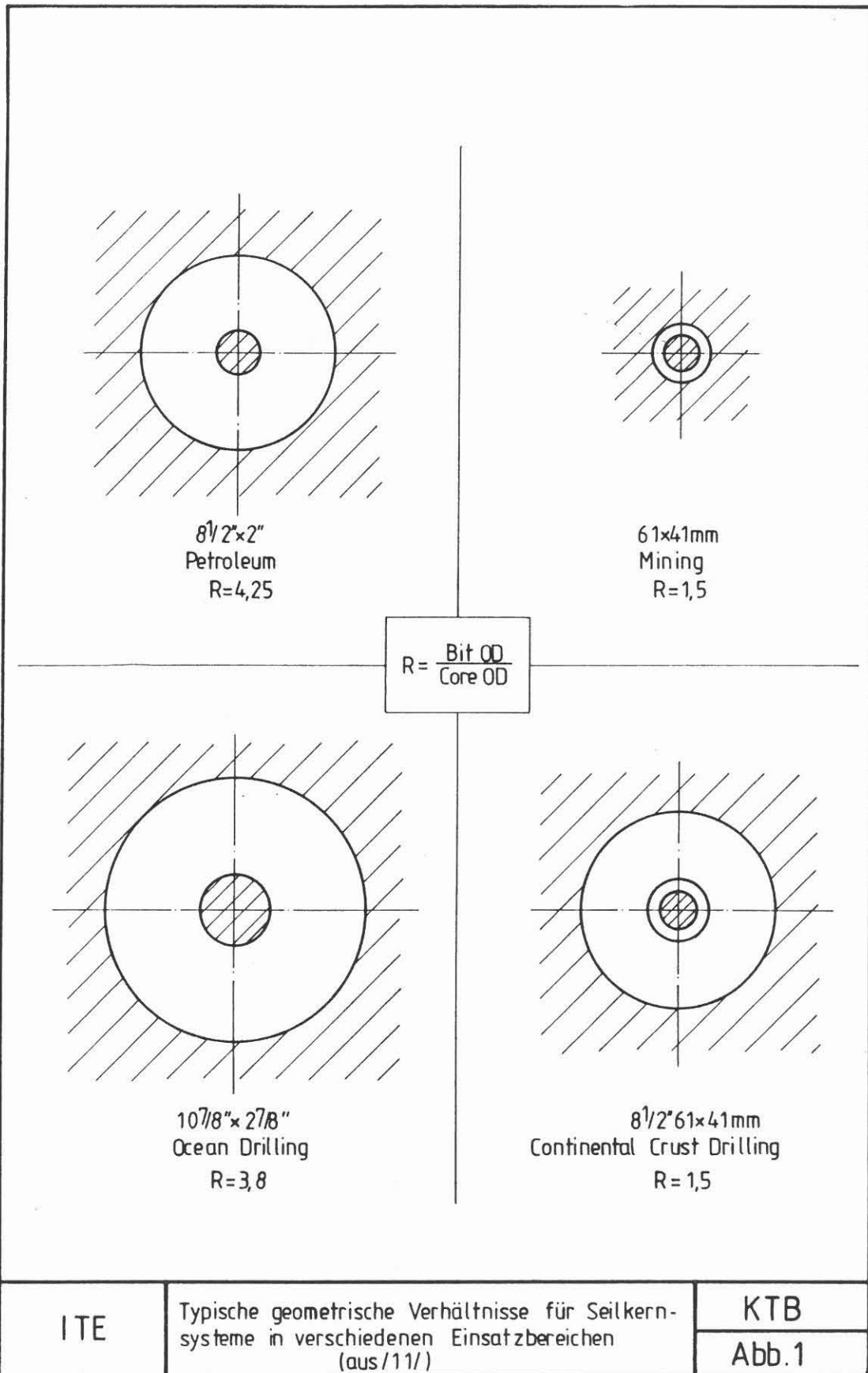
Diese Erfahrungen haben sich in der Schürfb Bohrtechnik beim Diamec-Verfahren bestätigt, welches im harten Gebirge Anwendung findet. Es werden Kronen mit schmaler Lippenbreite und imprägnierter Körnung gegenüber breiten Lippen mit gesetzten Diamanten beim Wireline-System eingesetzt. /2/.

Der Vorteil der imprägnierten Bohrkronen liegt in der relativ konstanten Bohrgeschwindigkeit durch Abnutzen und erneutes Freilegen von Diamantmaterial gegenüber den oberflächengesetzten Bohrkronen. Bei diesen verringert sich unter konstanten Bohrbedingungen die Bohrgeschwindigkeit rasch /15/ (siehe Abbildung 2).

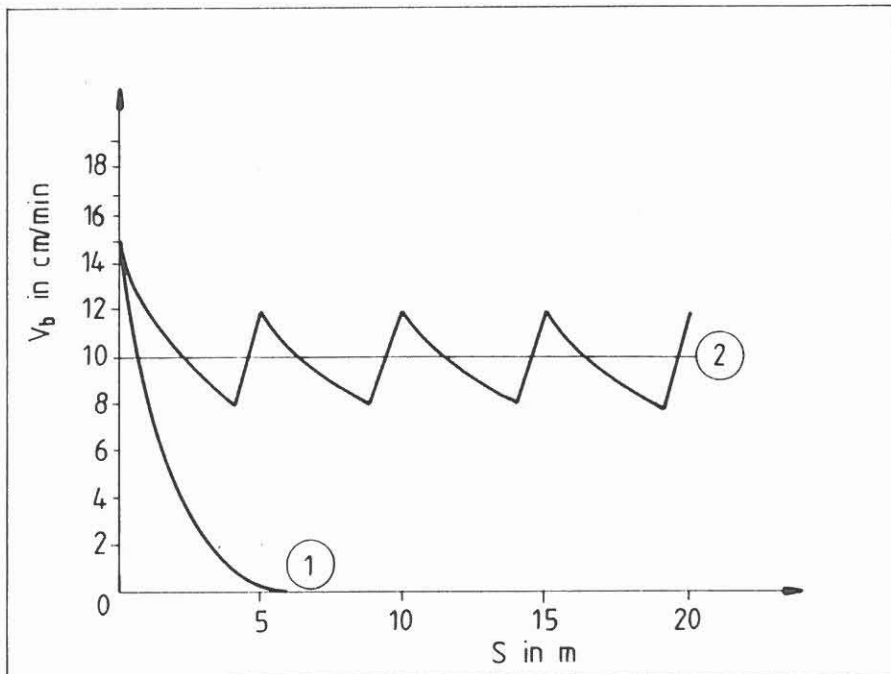
Mit zunehmender Teufe wird besonders im Hartgestein zur Kerngewinnung der Einsatz von Untertageantrieben (Moineau-Motoren) interessant. Diese liefern nämlich die für die Gesteinszerstörung mit Diamantkronen günstigen hohen Drehzahlen, welche es gleichzeitig erlauben, mit geringeren Andrücken zu bohren und die Standzeiten der eingesetzten Diamantkronen zu erhöhen /5/.

Mit der Kombination aus Bohrmotor und Kernrohr können im Hartgestein gegenüber dem konventionellen Kernen hohe qualitative und quantitative Kerngewinne mit größeren Bohrfortschritten erreicht werden /1,2,3,5,11/.

Die bisher genannten Grundsätze zum Kernen in Hartgestein gelten prinzipiell auch für das Seitenkernen. Sie sind der Beurteilungsmaßstab für die nachfolgend aufgeführten Verfahren zur Seitenkerngewinnung.







ITE	Bohrfortschritte von oberflächengesetzten (1) und imprägnierten Diamantbohrkronen (2) (aus/21/)	KTB
		Abb. 2

## 5 BETRACHTUNG DER VERFÜGBAREN SEITENKERNGEWINNUNGS- VERFAHREN

### 5.1 Eintreibverfahren

#### 5.1.1 Lochstanzverfahren

Die einfachste und zugleich älteste Methode zur Kernentnahme bietet das Eintreiben eines Kernrohres auf mechanische Weise. Auf Grund seiner bedingten Einsatzfähigkeit in sehr weichen Formationen und seiner unzureichenden Kerngrößen spielt dieses Verfahren jedoch heute keine Rolle mehr /6/.

Das Gerät besteht aus einem eigenen starkwandigen Gehäuseteil, welcher am Ende eines Gestängestranges eingelassen wird (siehe Abbildung 3). Der gelenkige Teil, der für die Kernaufnahme bestimmt ist, gleitet entlang des schräggestellten Keilstückes gegen die Bohrlochwand. Wenn der Bohrstrang nachgelassen wird, drückt sich das Kernrohr in die Bohrlochwand. Beim Anheben des Bohrstranges klappt das Kernrohr mit dem gewonnen Kern über die Keilfläche wieder ein und kann über eine Fangvorrichtung gezogen werden /6/.

#### 5.1.2 Kernschießverfahren

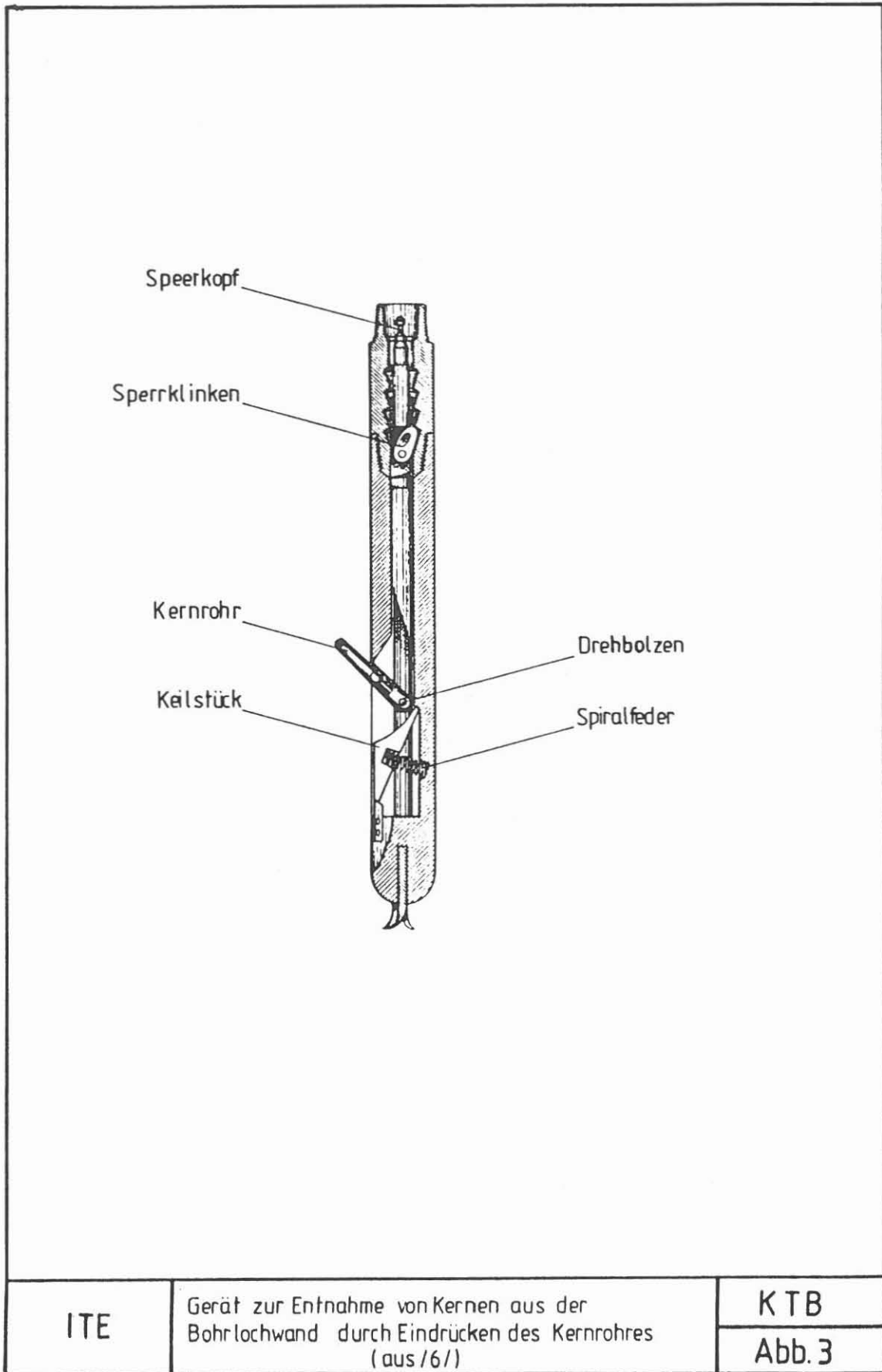
Beim Kernschießen werden aus einem Kernschußgerät durch elektrisch gezündete Sprengladungen kleine Kernrohre seitlich in die Bohrlochwand eingeschossen (siehe Abbildung 4).

Das Gerät wird an einem mehradrigen, isolierten Kabel in das unverrohrte Bohrloch eingelassen. Die zylindrischen und hohlen Schußkörper haben vorn eine Schneide. Bei weichem Gestein hat der Schneidkopf eine scharfe Schneide, bei hartem Gestein ist er mit stumpfen Schneidwinkeln gezahnt /6,9,10/.

Die Ladungen werden einzeln gezündet, um ein Festsetzen des Gerätes zu vermeiden. Die Kernrohre sind durch zwei Stahldrähte mit dem Gehäuse verbunden. Sie werden durch Ziehen am Aufhängeseil aus der Bohrlochwand geholt. Bis zu 100 Kerne können während eines Gerätemarsches gewonnen werden /9,10/.

Die Kerngrößen hängen von der Größe des Kernschußgerätes ab. Durchmesser und Länge betragen im Hartgestein jeweils 1" /6,8,9,10/.

Kernschußgeräte können in Bohrlochdurchmessern von 4" - 25" eingesetzt werden.



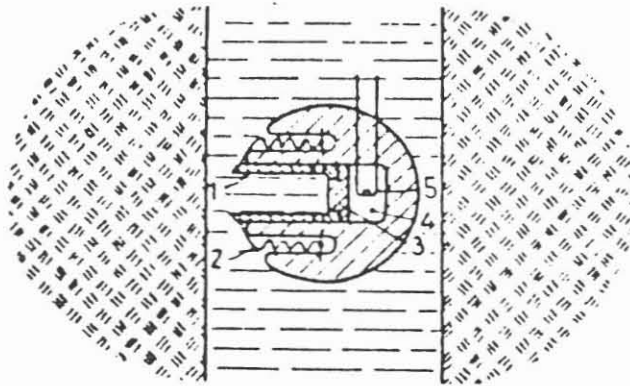
ITE

Gerät zur Entnahme von Kernen aus der Bohrlochwand durch Eindringen des Kernrohres (aus /6/)

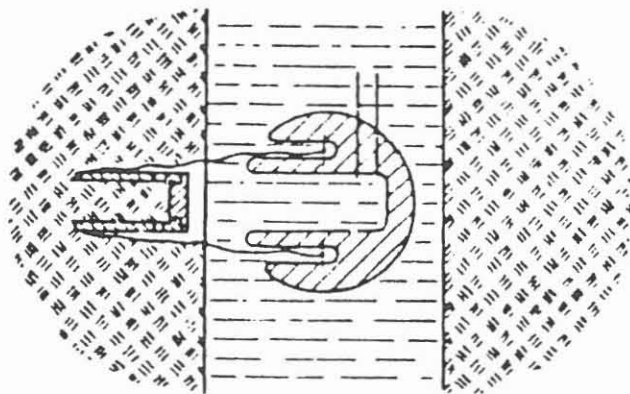
KTB

Abb. 3

A) Gerät in Schußstellung



B) Kernrohr in die anstehende Formation geschossen



- 1) Geschöß (Kernrohr)
- 2) Stahldraht
- 3) Geschößboden
- 4) Ladung
- 5) Zünder

ITE

Das Prinzip des Kernschießens (aus/6/)

KTB

Abb. 4

Die Seitenkerne weisen gegenüber gebohrten Kernen aus der gleichen Formation entscheidende Abweichungen auf. Diese Unterschiede, z.B. bezüglich Porosität und Permeabilität, entstehen durch die große Einschlagschubkraft des Kernschießens, die eine Zertrümmerung bzw. eine Beschädigung der Gesteinsprobe verursacht.

Abweichungen tauchen auch gegenüber den ursprünglichen Sättigungsverhältnissen auf. Diese beruhen auf Porositätsänderungen und Spülungsfiltratinvasion.

In hartem Gestein ist der Kerngewinn in der Regel sehr niedrig. Die Kernprobe ist außerdem bei erfolgreichem Einsatz sehr klein und liegt unter 1". In nicht konsolidierten Sanden kann der Kern ausgewaschen werden /6,8,9,10/.

Im Bereich der Kernrohrschneiden tritt bei steigender Härte des Gesteins eine zunehmende Pulverisierung des Gesteinsmaterials auf.

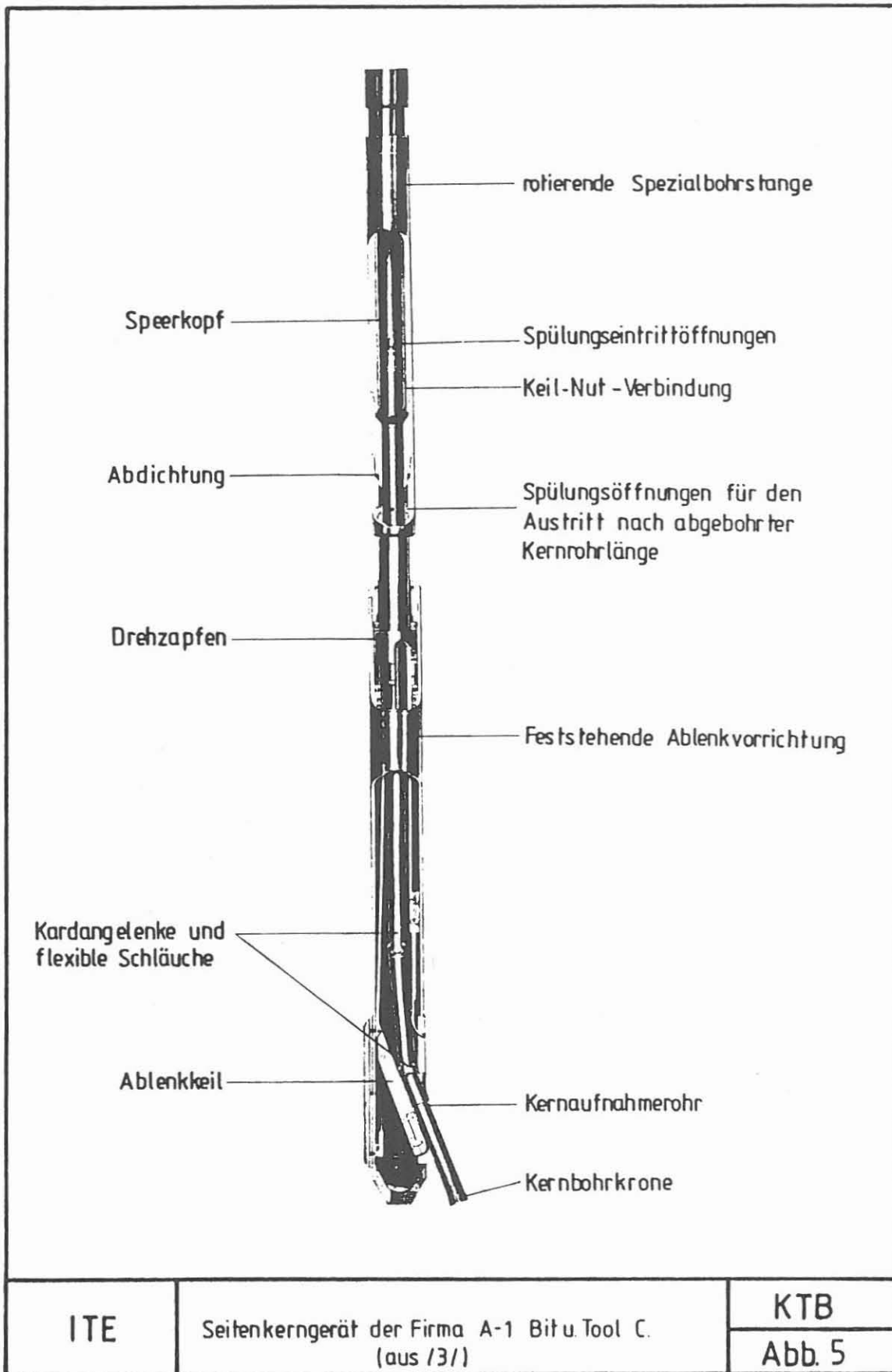
Das Kernschießen ist durch die Temperaturempfindlichkeit des Sprengstoffes auf Bohrlochtemperaturen von 205 °C und hydrostatische Drücke von 1380 bar begrenzt /9,10/.

Die aufgeführten Nachteile und der in der Regel zu kleine Kern lassen dieses Seitenkernverfahren für das KTB-Projekt als ungeeignet erscheinen.

## 5.2 Eindrehverfahren

### 5.2.1 Seitenkerngerät der Firma A-1 Bit & Tool Company

Um einen Kern aus der Bohrlochwand herauszudrehen, wurde von der A-1 Bit & Tool Company ein Gerät konstruiert, das am Ende eines Gestängestranges bis zur gewünschten Teufe eingebaut wird. Es besteht aus einer unteren feststehenden Ablenkvorrichtung und einem oberen Gehäuse, das sich mit dem Bohrstrang dreht (siehe Abbildung 5). Das Gehäuse enthält eine Keilnut, eine Abdichtung und einen Drehzapfen. Die Keilnut überträgt die Rotation des Bohrgestänges auf das Kernrohr. Die Abdichtung schließt den Raum zwischen dem Gehäuse und dem Kernrohr ab, so daß der hydraulische Druck der Spülung das Kernrohr in die Formation drücken kann. Die Ablenkvorrichtung ist am Gehäuse aufgehängt und nimmt nicht an der Drehbewegung teil /6/. Der Ablenkwinkel beträgt 20° zur Bohrlochachse. Die Winkelbeweglichkeit des Kernrohres wird durch Kardangelenke hergestellt. Diese sind mit flexiblen Schläuchen ummantelt, damit die Spülung nicht austreten kann.



Das Kernrohr besteht aus einer Mitnehmerstange mit einer für das Gehäuse passenden Keilnut, welche das Drehmoment überträgt und die Abwärtsbewegung des Kernrohres erlaubt. Beim Kernbohren wird der Gestängestrang gedreht. Ist die Kernlänge abgebohrt, kann die Spülung durch spezielle Öffnungen in den Ringraum entweichen. Der Abfall des Spülungsdruckes wird übermäßig registriert und das Kernrohr gezogen. Das Gehäuse wird zu einer neuen Position bewegt. Nach Einwerfen eines neuen Kernrohres kann ein weiterer Kern erbohrt werden.

Für Bohrlochdurchmesser im Bereich von 6" bis 8-3/4" können Kerne mit einem maximalen Durchmesser von 1" gewonnen werden. Bohrlochdurchmesser bis 12-1/4" erlauben Kerndurchmesser von 1-1/4". Die Länge der Kerne beträgt 20 bis 45 cm /1,3,6/.

Es bestehen keine wesentlichen Veränderungen der gesteinsphysikalischen Eigenschaften gegenüber den ursprünglichen Lagerstättenbedingungen /6/.

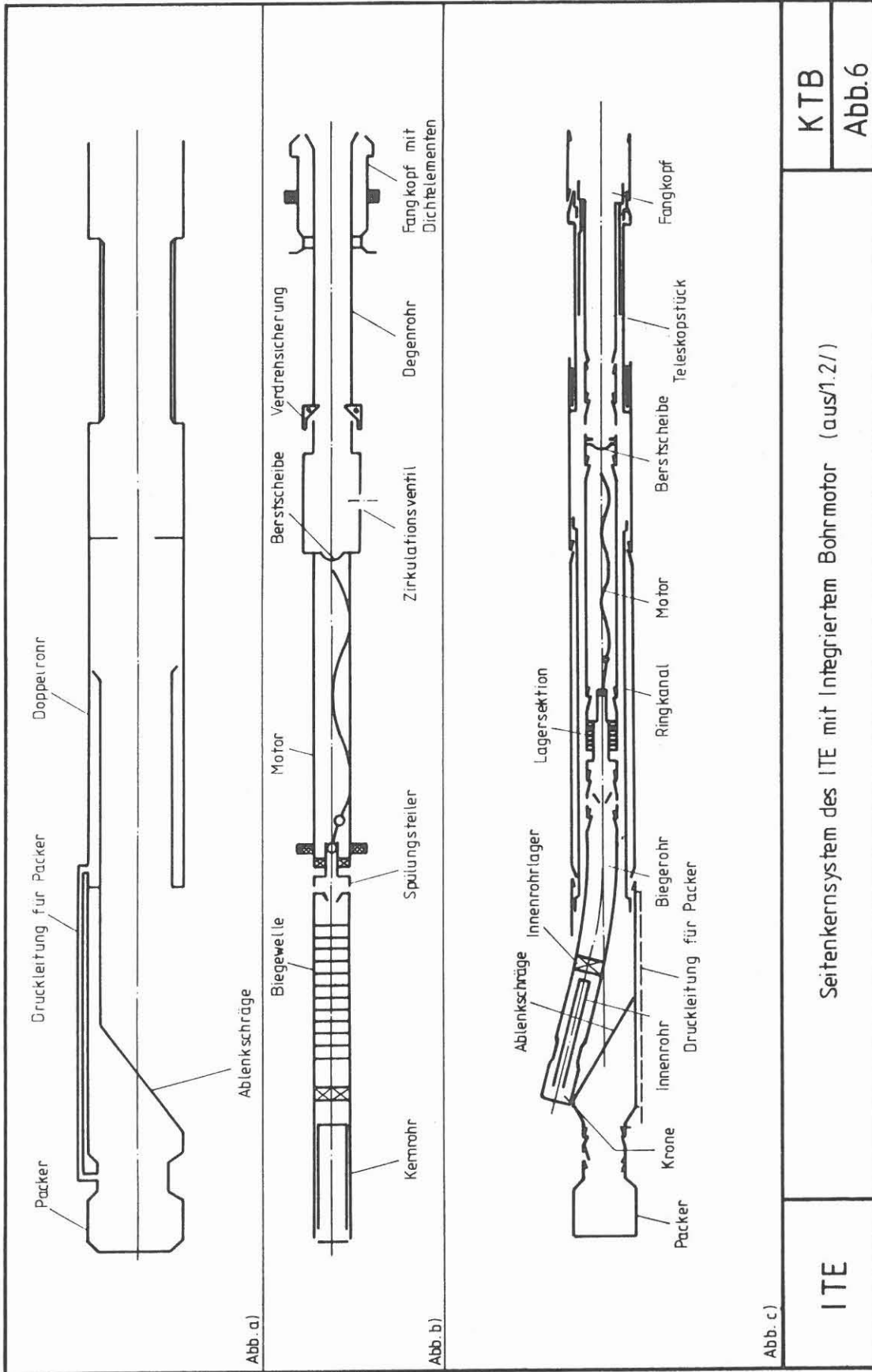
Über die Kardangelenke und den großen Ablenkwinkel kann nur eine begrenzte Andruckkraft erzeugt werden. Das System wird aus diesem Grund für den Einsatz in weichen bis harten Formationen, nicht jedoch für sehr harte Gesteine als anwendbar betrachtet /1,6/.

Als besondere Nachteil dieser Ausführung wird die niedrige Drehzahl, bedingt durch den Antrieb über den Drehtisch, angesehen, die bei dem kleinen Kronendurchmesser zu sehr ungünstigen Schnittbedingungen führen /1,2,3,6/.

#### 5.2.2 Seitenkernsystem des Institutes für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung

Das Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung (ITE) hat im Rahmen eines BMFT-Projektes 03 E 3001 A für Sedimentgestein ein Seitenkernsystem konzipiert und entwickelt, mit dem Kerne aus der Bohrlochwand in 8-1/2" oder größeren Bohrlöchern gewonnen werden können. Dieses System kann die gestellte Aufgabe auch im Hartgestein leisten, wenn entsprechende Weiterentwicklungen durchgeführt werden.

Der Antrieb des Kernrohres erfolgt durch einen Moineau-Bohrmotor (z.B. Eastman/Christensen, Dyna Drill). Beim Einsatz dieses Seitenkernsystems wird zunächst der Bohrstrang mit Absetzpacker, Anbohrschräge und dem äußeren Außenrohr mit Teleskopstück sowie Landeschulter bis in eine vorbestimmte Absetzteufe eingebaut. Das separate Innensystem mit dem Kernrohr und dem Bohrmotor als Hauptelementen wird danach am Seil eingelassen. Nach Abbohren der gewünschten Kernstrecke wird das Innensystem gezogen. Der Packer erlaubt ein mehrfaches

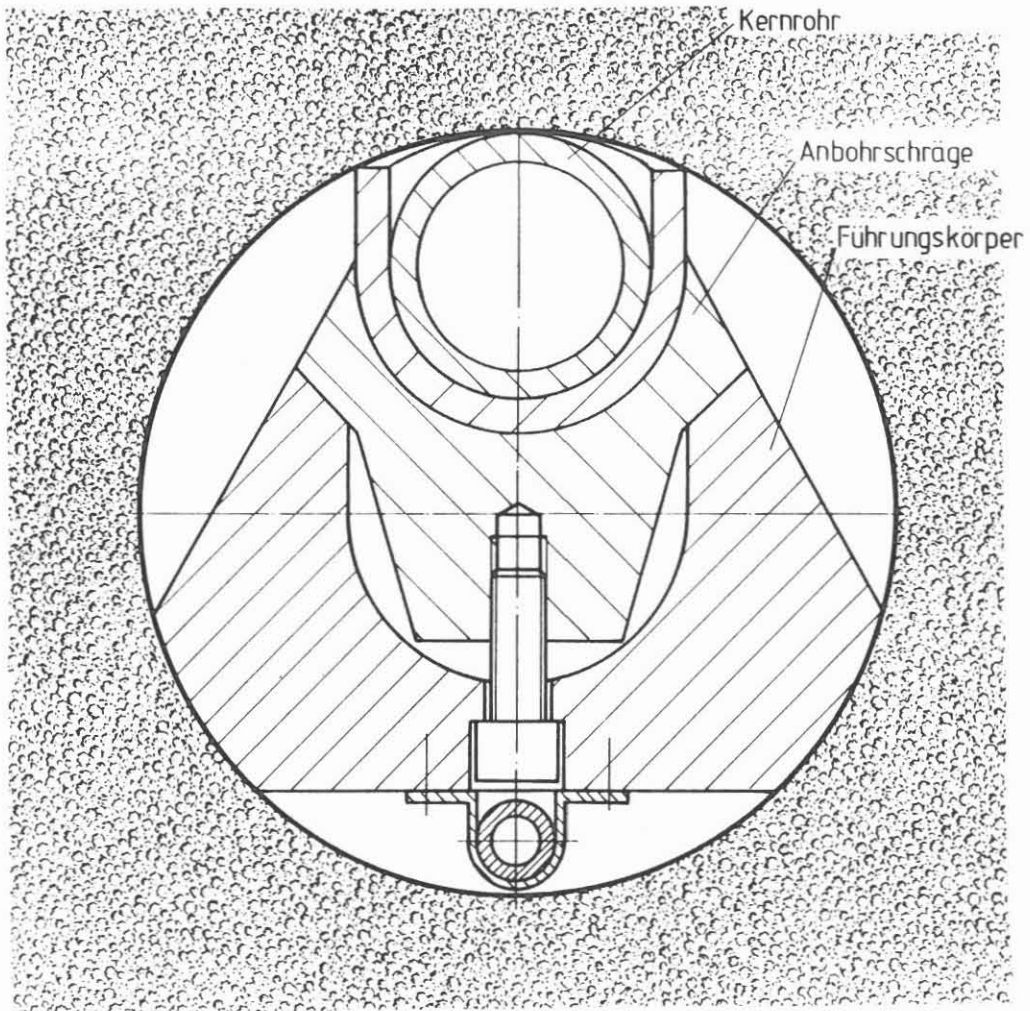


KTB  
Abb.6

Seitenkernsystem des ITE mit Integriertem Bohrmotor (aus 1.2.1)

ITE





ITE

Führungskörper mit Anbohrschräge

KTB

Abb. 7

Lösen und erneutes Setzen, so daß mehrere Kerne während eines Gestängeeinbaus gezogen werden können /1,3,5/.

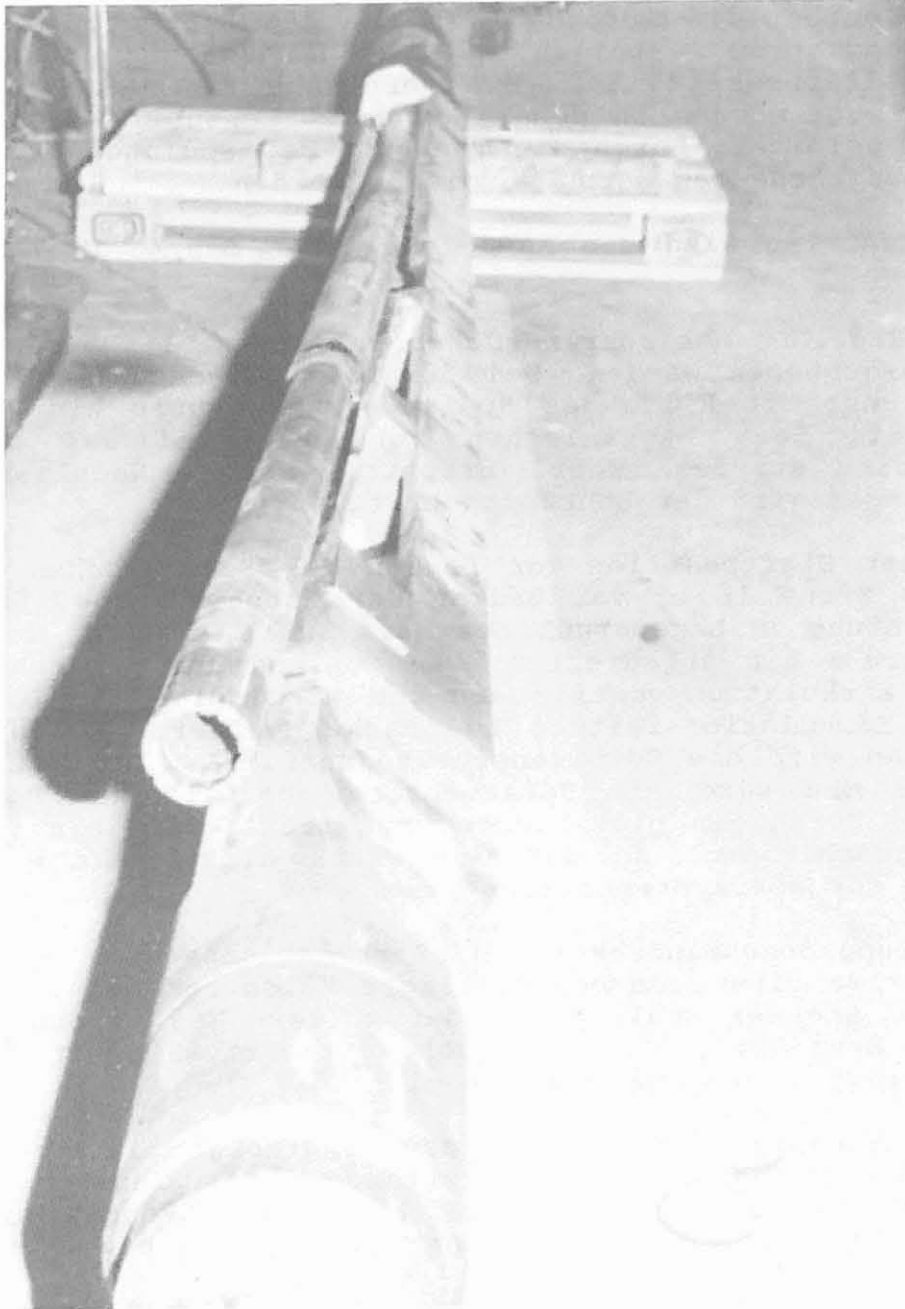
Abbildung 6 verdeutlicht die einzelnen Systemkomponenten und die Funktionsweise des Kerngerätes. Das Bohrstrangelement besteht aus Packer, Anbohrführung, Doppelrohr, Teleskopstück und Anschlußgehäuse (Abbildung 6a). Das ziehbare Kernbohrsystem enthält das Kernrohr mit Diamantkrone, Biegewelle, Spülungsteiler, Bohrmotor, Zirkulationsventil, Verdrehsicherung, Vorschubeinrichtung und Fangkopf mit Dichtelementen für die Zieharbeiten (Abbildung 6b).

Die exakte Fixierung und Positionierung des Gerätes im Bohrloch wird durch den am Ende des Bohrstrangelementes angeordneten Packer erreicht. Dieser verfügt über eine 1,68 m lange, aufblasbare Gummimanschette, die durch den Spülungsdruck aufgepumpt wird und sich an die Bohrlochwand anlegt. Eine Verbindungsleitung führt den aus dem Ringraum des Doppelrohres kommenden, zum Setzen des Packers notwendigen Druck am Fenster der Anbohrschräge vorbei zum Packer. Eine am Top des Bohrmotors befindliche Berstscheibe verhindert während des Aufpumpvorganges, daß der Spülungsdruck über den Motor entweichen kann.

Über dem Packer befindet sich ein Führungskörper. In einem Fenster ist die Anbohrschräge plaziert, welche die Krone in die Bohrlochwand führt. Abbildung 7 zeigt einen Schnitt durch den Führungskörper und die Anbohrschräge. Letztere setzt sich aus zwei Teilen mit unterschiedlicher Steigung zusammen. Ein kurzes Anfangsstück mit einer Steigung von  $16^{\circ}20'$  soll die Krone in einem Bereich, wo sie noch nicht schneidet, an die Bohrlochwand heranzuführen. Der zweite Teil der Anbohrschräge besitzt eine Steigung von  $4^{\circ}30'$  und soll die Krone unter diesem Winkel in das Gestein hineinführen. Die Größe dieses Winkels wurde in Versuchen am ITE experimentell ermittelt. Die Gesamtlänge der Ablenkschräge beträgt 1,27 m. Sie ist als leicht austauschbares Verschleißteil gefertigt /1,3,5/.

Oberhalb der Anbohrschräge befindet sich ein Doppelrohr, das als Übertragungselement für den zum Setzen des Packers notwendigen Druck dient. Das sich nach oben anschließende Teleskopstück hat die Aufgabe, bei festgesetztem Packer den zum Abbohren eines Kernes notwendigen Hub von 1,5 m zu ermöglichen. Das Einschubteil wird über das Anschlußgehäuse mit dem Bohrstrang verbunden.

Am unteren Ende des ziehbaren Kernbohrsystems befindet sich das Kernrohr. Verwendet wird ein konventionelles Doppelkernrohr der Serie BWD-4 der Firma Eastman Christensen. Als Kernbohrkopf wird eine oberflächenbesetzte Diamantbohrkrone verwendet. Bei einem Außendurchmesser von 61 mm erbohrt sie einen Kern von 41 mm Durchmesser. Die Länge des vollständigen, zylinderförmigen Kernes beträgt 30 cm, sowie etwa 30 cm Anschnittkern /3/.



ITE

Austritt des Kernrohres aus dem Gehäuse

KTB

Abb. 8

Die oberhalb des Kernrohres angeordnete Biegewelle soll die für die Ablenkung notwendige Winkelbeweglichkeit zwischen Kernrohr und Bohrmotor ermöglichen (siehe Abbildung 8).

Der sich an die Biegewelle nach oben anschließende Spülungsteiler hat die Aufgabe, den aus dem Bohrmotor austretenden Spülungsstrom zu teilen, so daß nur etwa ein Drittel durch das Doppelkernrohr fließt. Die verbleibenden zwei Drittel der Spülmengemenge werden in den Ringraum zwischen Bohrlochwand und Gestänge geleitet. Durch die Trennung des Spülungsstromes soll eine Auswaschung des Kerns vermieden werden.

Als Drehantrieb wird ein handelsüblicher 2-3/4" Moineau-Motor verwendet.

Die Regelung des Bohrandruckes kann hydraulisch oder mechanisch vorgenommen werden. Bei der hydraulischen Regelung wird der Vorschub mit Hilfe des Spülungsdruckes über ein Degenrohr realisiert. Beim mechanischen Vorschub wird das Degenrohr durch ein starres Rohr ersetzt. Durch Nachlassen des Bohrstranges wird der Bohrfortschritt erreicht.

In der Startposition vor Beginn des Kernmarsches befindet sich die Krone 15 cm vor Beginn der Anbohrschräge. Durch die Außendichtung am Lagerstuhl des Navi-Drill wird das Doppelrohr zum Ringraum hin abgedichtet. Die Spülung tritt durch Öffnungen des Zirkulationsventils aus und wird durch das Doppelrohr und die Zirkulationsleitung zum Packer geführt. Durch langsames Pumpen wird die Gummimanschette entfaltet. Bei einem Druck von 10,3 MPa wird die Berstscheibe oberhalb des Bohrmotors zerstört. Durch den plötzlichen Druckabfall wird ein Ventil im Packer geschlossen, so daß der Druck nicht mehr entweichen kann und das Kernsystem fixiert ist.

Die Spülggeschwindigkeit im Zirkulationsventil steigt an. Dadurch wird eine federbeaufschlagte Hülse vor seine Öffnungen geschoben und der Spülung ist der weitere Weg in den Ringraum zwischen Navi-Drill und Außenrohr versperrt. Sie wird über den Motor geleitet, der zu drehen beginnt.

Nach Beendigung des Bohrvorganges erfolgt das Abreißen des Kernes durch Anheben des Bohrstranges. Das Innensystem wird zurück in die Startposition gezogen. Durch Fangen mit einem OverShot kann es mittels Wireline-Technik ausgebaut werden.

Nach Lösen des Packers kann der Bohrstrang in eine neue Kernposition gebracht werden. Das Innensystem wird mit einer neuen Berstscheibe ausgerüstet erneut eingeworfen und der gesamte Vorgang wiederholt /1,3,5/.

### 5.2.3 Side Wall Coring Tool der Firma Eastman Christensen

Von der Firma Eastman Christensen wurde der Prototyp eines Side Wall Coring Systems erprobt, welches mit einem während des Kernens horizontal ausgerichteten Kernrohr Gesteinsproben aus der Bohrlochwand erbohrt. Das System besteht im wesentlichen aus einem Mittellrohr mit der Kernbohrereinrichtung, einem darüber liegenden hydraulischen Antriebssystem und einem darunter angeordnetem Ventilpaket mit anschließendem Computer und Batteriepaket. Der größte Durchmesser beträgt 8-1/4". Die Kerne werden aus der Seitenwand senkrecht zur Bohrlochachse erbohrt und im Kernmagazin abgelegt. Sie haben einen Durchmesser von 38 mm und eine Länge von 80 mm. Der Antrieb des Kernrohres erfolgt über einen Moineau-Motor. Die Steuerung der Kernbohrereinrichtung geschieht über ein Kommunikationskabel mit einer übertägigen Kontrolleinheit.

Erfahrungen mit dem Side Wall Coring Tool liegen noch nicht vor.

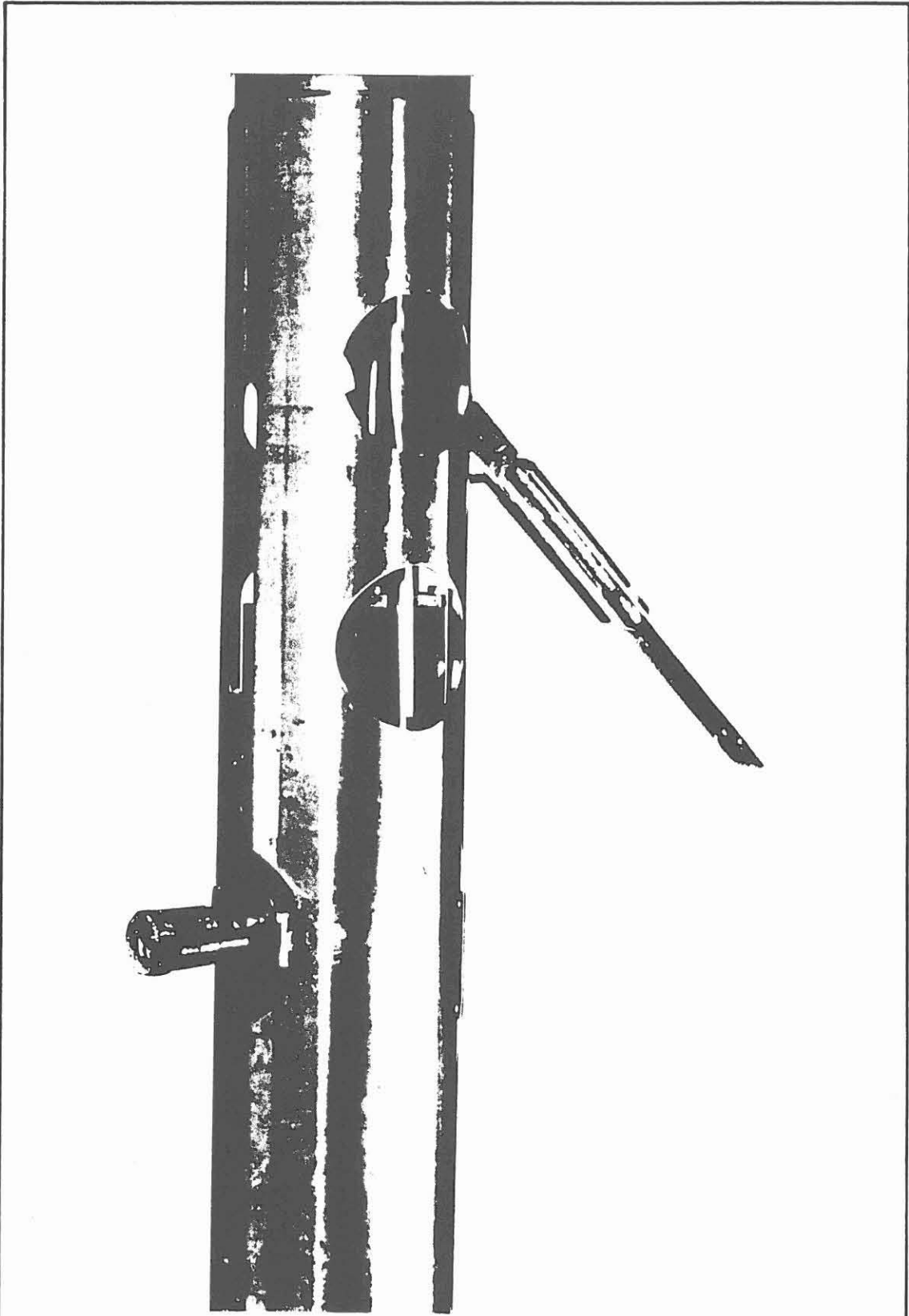
### 5.2.4 Seitenkernsystem der Firma Gearhart (Hard Rock Coring Tool)

Bei diesem Seitenkernsystem handelt es sich um ein Gerät, welches bei ausgebautem Bohrgestänge mittels Kabel in das Bohrloch gefahren wird. Über eine integrierte Meßeinrichtung wird das Gerät in der gewünschten Teufe positioniert und mit Sperrklinken an der Bohrlochwand verklemmt. Durch einen im Gehäuse integrierten Elektromotor wird eine Diamantbohrmaschine mit  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$  angetrieben. Ist der Kern aus der horizontalen Lage abgebohrt, richtet sich die Bohrmaschine im Gehäuse vertikal auf. Der Kern wird aus der Kernhülse herausgedrückt und in einer Kernkammer abgelegt. Auf diese Weise können bis zu zwölf Kerne bei einmaligem Einfahren erbohrt werden (siehe Abbildung 9). Die Kerngröße ist mit 24 mm im Durchmesser und 35 mm in der Länge klein, aber ausreichend für viele Untersuchungen /11,16/.

Über das Kabel kann über Tage im Meßwagen der Bohrprozeß überwacht und gesteuert werden.

Der Bohrl Lochdurchmesser kann 6-3/4" bis 12-3/4" betragen. Das Gerät ist bis zu Temperaturen von 150 °C und Drücken von 1380 bar einsetzbar /11,16/.

Bei bisherigen Einsätzen erzielte das Gerät laut Firmenangaben Kerngewinne zwischen 30% und 100 %.



ITE	Hard-Rock Coring Tool der Fa. Gearhart (aus /21/)	KTB
		Abb. 9

### 5.3 Kernsägeverfahren

Ein Kernsägegerät wird von der Firma Schlumberger unter dem Namen "Diamond Core Slicer" angeboten. Wie aus Abbildung 10 zu sehen ist handelt es sich hierbei um ein Gerät, das mit Hilfe von zwei diamantbesetzten Sägeblättern, die einen Winkel von 45° einschließen, einen dreieckigen Kern aus der Bohrlochwand schneidet.

Die Kerne haben die Form eines gleichseitigen Dreieckes mit einer Seitenlänge von 2,54 cm. Hieraus ergibt sich ein Kernquerschnitt von ca. 2,77 cm<sup>2</sup>. Die maximale Kernlänge beträgt 91,44 cm. Während eines Einsatzes können vier Kerne gewonnen werden. Dieses entspricht einer Kernstrecke von 3,66 m und einem Gesamtkernvolumen von ca. 1015,1 cm<sup>3</sup>. Abstriche vom nutzbaren Kernvolumen müssen bei Vorhandensein von Filterkuchen gemacht werden, da der horizontale Vorschub der Sägeblätter begrenzt ist /1,3,6/.

Die Sägeblätter werden von einem Elektromotor mit einer Leistung von 1,1 kW angetrieben. Dieser Motor ist bis zu Temperaturen von 149 °C und einem Druck von 1380 bar einsetzbar. Eine weitere Teufenbegrenzung ergibt sich aus der maximalen Kabellänge von ca. 6700 m. Bei einer Kabellänge über 3000 m ist eine Erhöhung der eingespeisten Spannung (U = 550 V) erforderlich /1/.

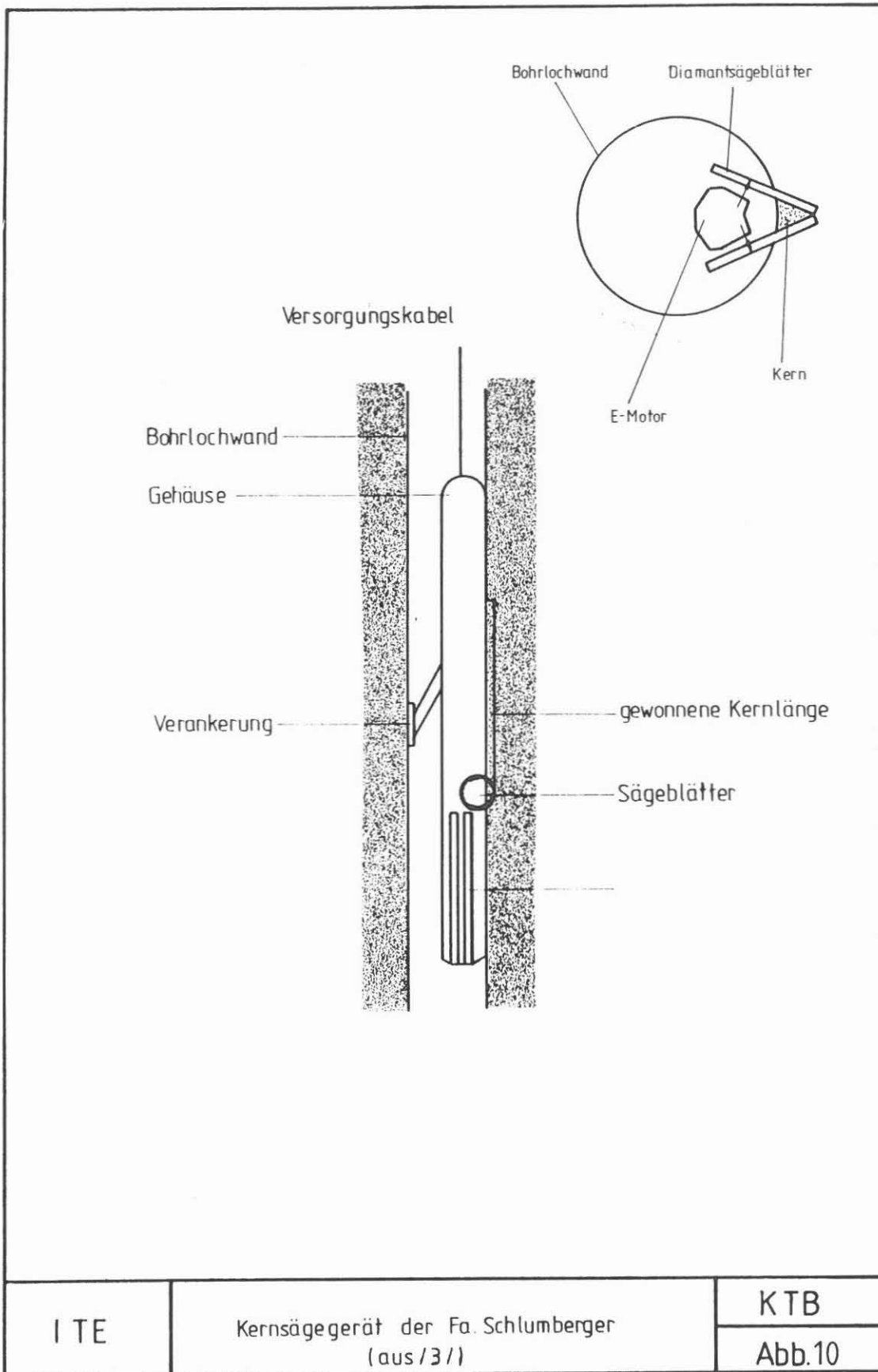
Durch den Einbau einer Orientierungsrichtung ist eine nachträgliche Bestimmung von Einfallen und Streichen der gekernteten Schichten möglich.

Das Kernsägegerät ist in Bohrlöchern mit Durchmessern von 6-1/3" bis 15-1/4" einsetzbar.

Die Sägeblätter können sehr weiche bis sehr harte Gesteine (Granit) schneiden. Das Kernsägen verursacht keine gesteinsphysikalischen Veränderungen im Kern /1,11/.

Nicht konsolidierte Gesteine neigen während des Kernsägens zum Zerfall und können verloren gehen. Geklüftete Formationen können gekernt, jedoch nicht immer ganze Kerne gewonnen werden /1,3,6/.

Erfahrungen mit diesem Gerät beim probeweisen Einsatz in kristallinem Gestein wurden von der schweizerischen Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA) gemacht. Aus einem Teufenbereich von 1241,0 m bis 1386,6 m wurden vier Kerne gezogen. Ein Kern aus frischem Granit hatte eine Länge von 1 m. Der Kerngewinn bei den restlichen Kernen aus hydrothermal umgewandeltem Granit lag zwischen 3 % und 50 %.





Die Auswertung dieser Kerne war nur sehr beschränkt möglich. Die Qualität der konventionell gewonnen Kerne konnte nicht erreicht werden /13/.

## 6 BEWERTUNG DER SEITENKERNVERFAHREN

Der Vergleich der beschriebenen Seitenkernverfahren erfolgt nach der prinzipiellen Einsatzfähigkeit in kristallinem Hartgestein unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 genannten Forderungen.

Verfahren, welche sich von der Konzeption her nicht für diesen Einsatzbereich eignen, sind das Lochstanzverfahren, das Eindrehverfahren der A-1 Bit & Tool Company und das Kernschießverfahren.

Während das Eindrehverfahren wegen der ungünstigen Schnittbedingungen und der geringen Andruckmöglichkeit aufgrund der Kardangelenke im Kernrohrbereich aus der Betrachtung herausfällt, scheidet das Kernschießverfahren wegen schlechter Kernbeschaffenheit, zu geringer Kerngröße und einer Teufenbegrenzung durch das verwendete Kabel für einen Einsatz im Rahmen des KTB-Projektes aus (siehe Tabelle 1 u. 2).

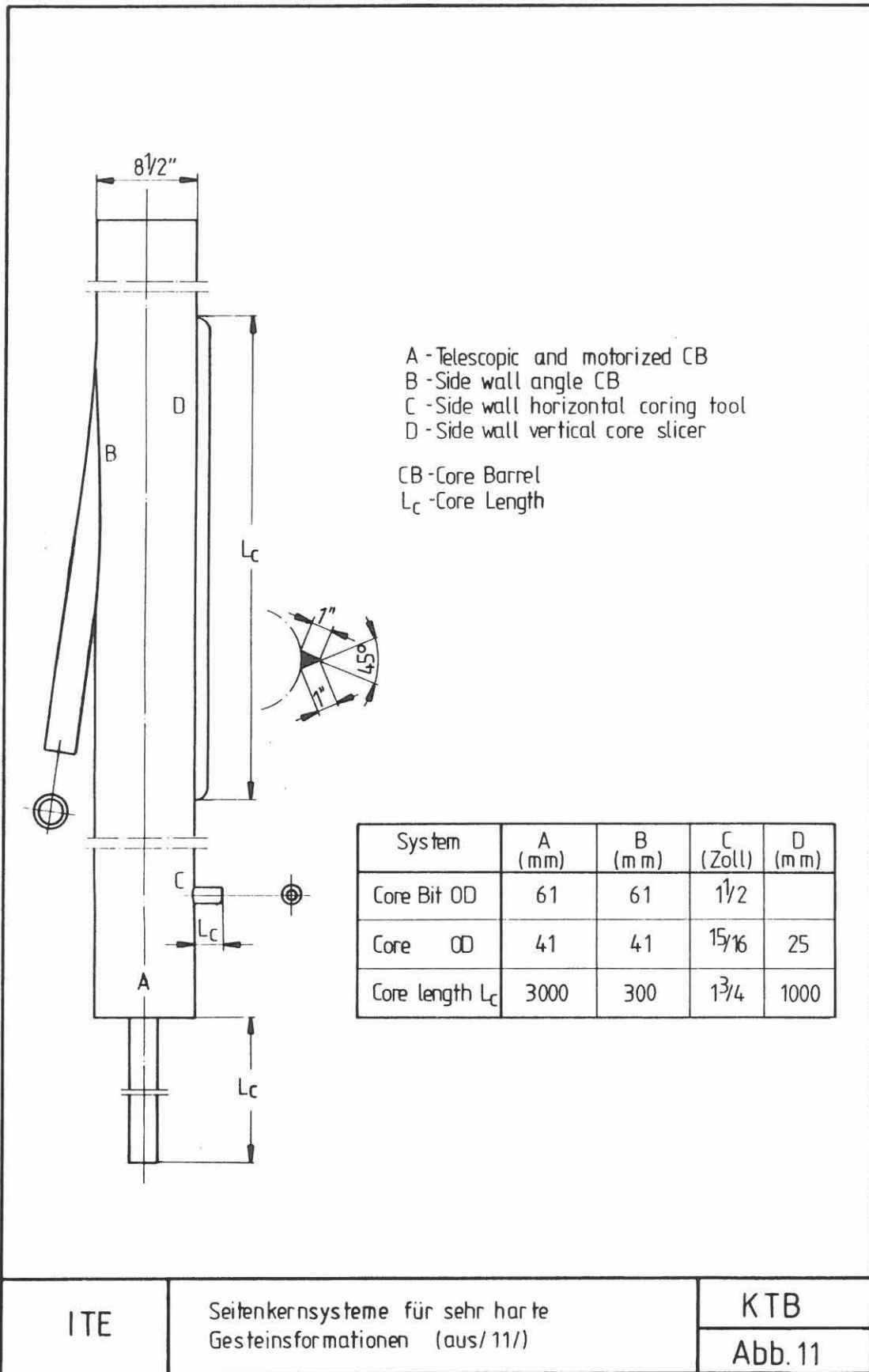
Für einen möglichen Einsatz in sehr harten Gesteinsformationen verbleiben somit das ITE-System, das Hard Rock Coring Tool und das Kernsägeverfahren.

In Abbildung 11 sind diese Seitenkernverfahren dargestellt. Deutlich ist hier der Vorteil des ITE-Systems (Version B) gegenüber den anderen Seitenkernverfahren (Version C und D) zu erkennen.

Das ITE-System und das Gerät der Firma Gearhart weisen mit  $R = 1,6$  bezüglich der Meißelabmessungen sehr gute Werte für das Kernem im Hartgestein auf (siehe Tabelle 3). Der Vorteil des ITE-Systems liegt hier in den bedeutend größeren Abmessungen der gewonnen Kerne (siehe Tabelle 1).

Die Druckbelastbarkeit liegt bei allen Systemen mit etwa 1400 bar in der gleichen Größenordnung. Alle Verfahren sind im geforderten Bohrlochdurchmesserbereich von 8-1/2" bis 10-5/8" einsetzbar (siehe Tabelle 2).

Hard Rock Coring Tool und Diamond Core Slicer weisen jedoch andere entscheidende Nachteile gegenüber dem ITE-System auf. Sie benötigen zum Antrieb des Elektromotors (siehe Tabelle 2) eine übertägige Stromversorgung. Mit zunehmender Teufe (> 3000 m) sind größere Spannungen wegen des Leitungswiderstandes erforderlich. Das Kabel, an dem die Geräte herabgelassen



ITE

Seitenkernsysteme für sehr harte Gesteinsformationen (aus/ 11/)

KTB

Abb. 11

werden, und die Temperaturbelastbarkeit von nur 150 °C grenzen die Einsatztiefe ein.

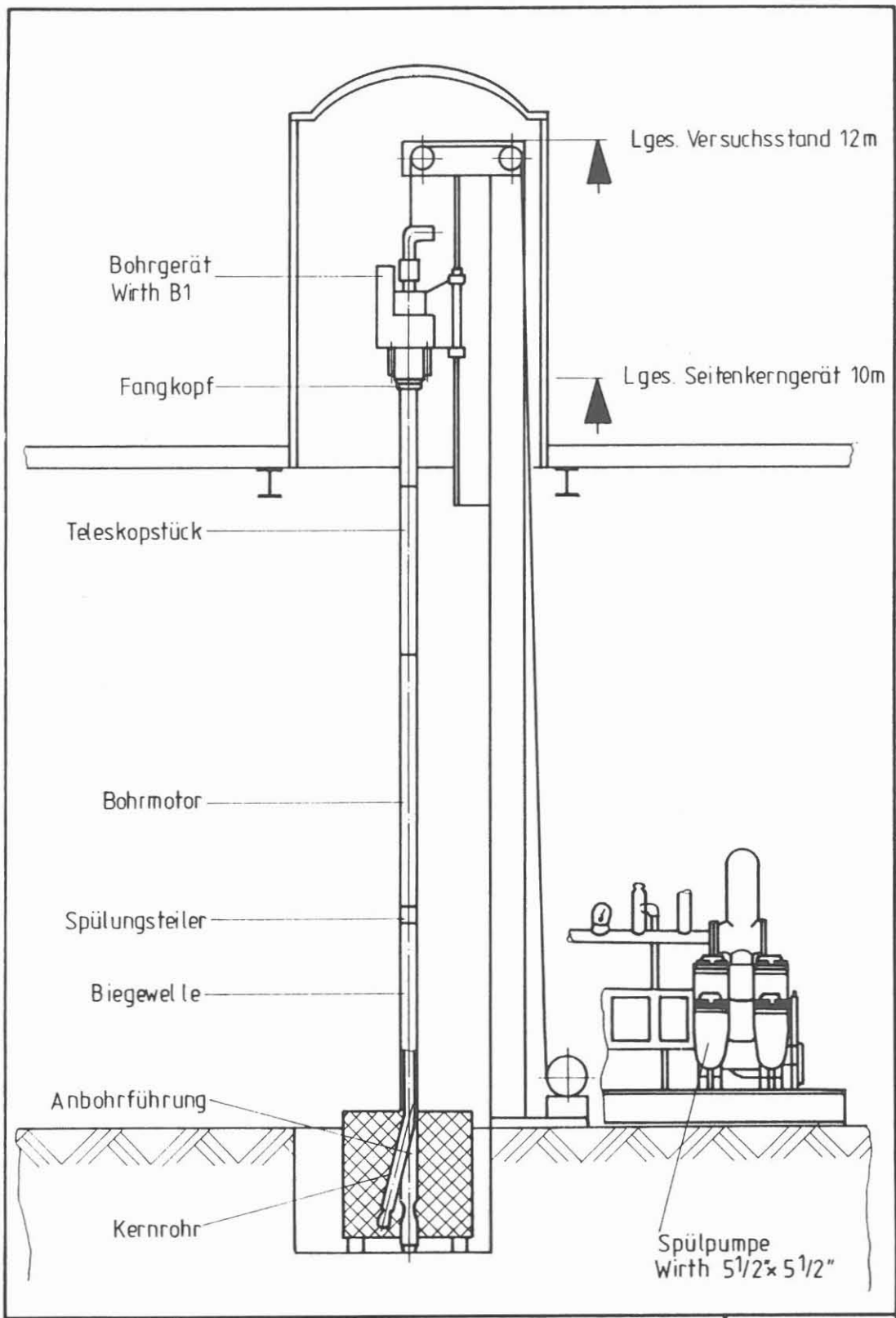
Beide Geräte können bei einem Geräteeinsatz nur eine bestimmte Kernmenge ziehen. Sie beträgt beim Hard Rock Coring Tool mit 12 Kernen aufgrund der geringen Kerngröße nur etwa 190 cm<sup>3</sup> (s. Tabelle 1). Danach muß das Gerät zum Entleeren des Kernmagazins gezogen werden. Das ITE-System erlaubt durch die Wireline-Technik während eines Geräteeinsatzes bedeutend größere Kernmengen. Rechnet man die Kernanschnittlänge hinzu, erreicht man bereits bei einem Kernmarsch etwa 600 cm<sup>3</sup>.

Das Kernsägeverfahren weist bei Kernlängen von etwa 900 mm eine gegenüber dem ITE-System schlechtere Kernqualität auf.

Gemessen an den geforderten Eigenschaften für ein leistungsfähiges Seitenkernsystem in großen Teufen und kristallinen Gesteinsformationen ist hier eine eindeutige Entscheidung für das Seitenkerngerät des Institutes für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung zu treffen. Es ermöglicht durch seine Konzeption einen weiten Einsatzbereich bezüglich Teufe, Gesteinhärte, Druck- und Temperaturbedingungen sowie die Gewinnung von großen Kernen mit für geowissenschaftlichen Auswertungen geeigneten Qualitäten und Quantitäten.

Der Prototyp wurde am ITE unter schwierigen Bedingungen getestet und hat seine Funktionsfähigkeit unter Beweis gestellt. Die Versuchsergebnisse zeigten die erforderlichen Anpassungen für einen Einsatz des Gerätes in Hartgestein auf.

Die Abbildung 12 zeigt schematisch den zur Weiterentwicklung des Seitenkerngerätes geplanten Versuchstand am ITE.



ITE	Schematische Darstellung des Versuchsstandes zum Seitenkernen	KTB Abb.12
-----	---	---------------

Seitenkernsystem	Kernlänge [mm]	Kerndurchmesser [mm]	Kernmenge pro Einsatz [cm <sup>3</sup> ]	Einschätzung des Prozentualen Kerngewinns [%]	Kernorientierung	geowissenschaftliche Auswertbarkeit
Kernschießen	25	25	772,2 (1287)	ca. 70	nein <sup>1)</sup>	auf Grund Porositäts- u. Permeabilitätsveränderungen für KTB nicht geeignet
A-1 Bit&Tool	200 - 450	32	unbegrenzt (wireline)	-	nein <sup>1)</sup>	für geowissenschaftliche Auswertung in Hartgestein nicht geeignet
ITS-Seitenkernsystem	300 (600)	41	unbegrenzt (wireline)	100 % (bei Testversuchen in Sedimentgestein)	nein <sup>1)</sup>	für geowissenschaftliche Auswertung in Qualität u. Quantität geeignet
Hard Rock Coring Tool	35	24	190	78 - 100	nein <sup>1)</sup>	für geowissenschaftliche Auswertung in Qualität u. Quantität geeignet
Diamond Core Slicer	910	25 (Seite)	1015	3 - 50 % (NAGRA-Ergebnisse in kristallinem Gestein)	nein <sup>1)</sup>	auf Grund der NAGRA-Ergebnisse unzureichend

<sup>1)</sup> orientierter Geräteeinbau möglich

Tabelle 1: Beurteilungskriterien für die geowissenschaftliche Auswertung von Seitenkernen

Seitenkernsystem	Kernverfahren	Antriebssystem	Kernmeißel	Kernmeißel- durchmesser OD/ID [mm]	R = -- OD ID	Meißel- standzeiten [m]	Bohrge- schwindigkeit [m/h]
ITE-Seiten- kernsystem	Wireline	Moineau-Motor	Diamantbohr- krone (imprä- niert)	61/41	1,6	> 30	3
Hard Rock Coring Tool	Kabel	Elektromotor	Diamantbohr- krone (imprä- niert)	38/24	1,6	> 20	0,5
Diamond Core Slicer	Kabel	Elektromotor	diamantbesetzte Sägeblätter	76 (OD)	-	50	3,5

Tabelle 3: Technische Daten verfügbarer Seitenkernsysteme für Hartgestein

Seitenkern- systeme	Temperatur- belastbarkeit [°C]	Druck- belastbarkeit [bar]	Bohrloch- durchmesser [inch]	Teufenbegrenzung durch Kabel <sup>4)</sup>	Gesteins- härte (max.)
Kernschießen	205 <sup>1)</sup>	1380 <sup>1)</sup>	4 - 25	ja	sehr hart
ITE-Seiten - kernsystem	175 <sup>2)</sup>	1380 <sup>2)</sup>	>= 8-1/2	nein	sehr hart
Hard Rock Coring Tool	150 <sup>3)</sup>	1380 <sup>3)</sup>	6-3/4 - 12-3/4	ja	sehr hart
Diamond Core Slicer	150 <sup>3)</sup>	1380 <sup>3)</sup>	6-1/3 - 15-1/4	ja	sehr hart

- 1) durch Sprengstoffempfindlichkeit bedingt
- 2) durch Elastomerteile des Moineau-Motors bedingt
- 3) durch Elektromotor bedingt
- 4) durch Zunahme des Leitungswiderstandes und Belastbarkeit des Kabels

Tabelle 2: Einsatzgrenzen der Seitenkernsysteme

7 LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Young, F. Darstellung von Kerngewinnungsverfahren und Bewertung ihrer Einsatzmöglichkeiten in übertiefen Bohrungen. Diplomarbeit, Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung, TU Clausthal, August 1983
- 2 Marx, C.  
Behrens, J. Statusbericht Schürfbohrtechnik. Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung, TU Clausthal, Mai 1981
- 3 Marx, C.  
Krömer, E.J. Entwicklung neuer und Verbesserung bestehender Kerngewinnungsmethoden. Forschungsbericht BMFT-FB-T 82-091, Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung, TU Clausthal, Juni 1982
- 4 Nawangsidi, D. Untersuchung kritischer Einflußfaktoren und neuartiger Systemkomponenten beim Kernbohren. Dissertation, TU Clausthal, Februar 1980
- 5 Marx, C.  
Jürgens, R.  
Rohde, H. Spezielle Entwicklungen für die Tiefbohrtechnik. Erdöl-Erdgas-Zeitschrift, 97. Jg., Februar 1981, S. 42 - 46
- 6 Marx, C.  
Növig, T. Statusbericht über Kerngewinnungsverfahren in der Tiefbohrtechnik. Mitteilung aus dem Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung (ITE), TU Clausthal, 1977
- 7 N.N. Entwicklung und Erprobung eines Gamma-Ray-Mess-Systems und einer Seitenkernapparatur für den Einsatz in Schürfbohrungen. Abschlußbericht zum BGR-Forschungsvorhaben 6/79 B der Christensen Diamond Products GmbH, Oktober 1982
- 8 Toney, J.B. Coring. World Oil, August 1, 1985, S. 29-36
- 9 N.N. Information der Firma Dresser Atlas Europe S.A., Dresser Atlas Division, Niederlassung Bremen, Juli 1983



- 10 Wolk, P. The Mechanics of Sidewall Sampling.  
Dresser Atlas, Technical Memorandum  
Volume 7, No. 1, March 1976
- 11 Marx, C. Drilling and Coring Techniques for  
Rischmüller H.Hard Rock  
Erdöl-Erdgas-Kohle, 102. Jahrg., 1986,  
Heft 7/8, S. 333 - 337
- 12 N.N Unterlagen der Firma Eastman  
Christensen GmbH, November 1986
- 13 NAGRA Technical Report NTB 85-01,  
Sondierbohrung Böttstein,  
Untersuchungsbericht, Juni 1985
- 14 Marx, C. Diamantbohrwerkzeuge und ihr Einsatz in  
Flachbohrungen  
Christensen Diamont Products,  
Celle, 1972
- 15 Marx, C. Entwicklungsmöglichkeiten moderner  
Schürfbohrtechnik  
Erzmetall 33, 1980, Nr. 4,  
S. 196 - 201
- 16 NN Hard Rock Coring Tool  
Unterlagen der Firma Gearhart  
Wireline Services Ltd,  
Dyce, Aberdeen 1987