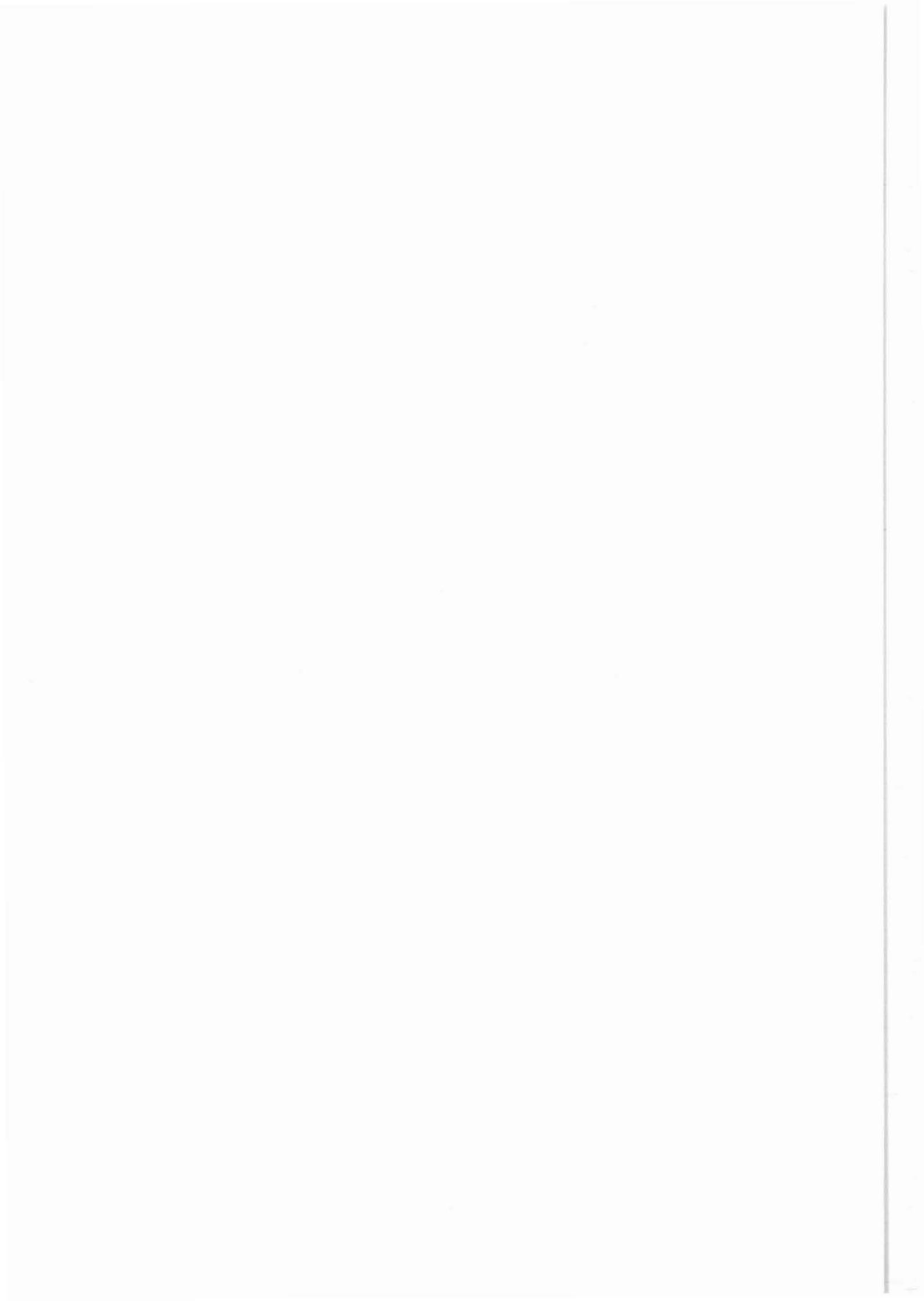


SMAG-Salzgitter Maschinenbau GmbH

Postfach 51 16 40  
3320 Salzgitter 51

Untersuchung zur Entwicklung eines  
hydraulischen Bohrhammers mit Antrieb  
und Steuerung durch die Spülflüssigkeit  
für Tiefbohrungen im Hartgestein in  
Teufen bis 14 000 m

Dr. R. Mayer



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort.....	122
1. Einleitung.....	123
2. Grundlagen für den Einsatz eines Bohrham- mers in der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB)....	125
3. Hydraulischer Bohrhammer für übertiefe Bohrungen.....	126
3.1 Entwicklungsziel des hydraulischen Bohr- hammers.....	126
3.2 Widerprinzip des Bohrhammers.....	127
4. Modell und Berechnungsverfahren des hydrau- lischen Bohrhammers nach dem Widerprinzip.....	128
5. Funktionsnachweis des Hammerprinzips.....	131
6. Planung der Realisierungsphase eines Proto- typs für die KTB-Bohrung.....	131
7. Zusammenfassung.....	132
8. Literaturverzeichnis.....	133

## VORWORT

Die Salzgitter Maschinenbau GmbH (SMAG) übernimmt im Rahmen des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland (KTB) u.a. die Aufgaben der Entwicklung eines neuartigen Bohrwerkzeuges für Bohrungen im Hartgestein und großen Teufen.

Steht zunächst die technische Realisierung einer wissenschaftlichen Bohrung in bisher nicht erreichten Teufen im Vordergrund, so ist schon für die Bohrung die Entwicklung wirtschaftlicher, d.h. leistungsfähiger, Bohrprinzipien erforderlich. Der wirtschaftliche Gesichtspunkt läßt eine direkte Umsetzung der Bohrverfahren auf die Bohrungen zur Rohstoffgewinnung erwarten.

Zusätzliche Anforderungen an das Bohrverfahren stellen die kontinuierlichen, den Bohrvorgang begleitenden, geowissenschaftlichen Untersuchungen der Spülflüssigkeiten und der auf Teilstrecken geforderten Bohrkerne.

Aus den Erkenntnissen der Tiefbohrtechnik im Hartgestein läßt sich ein vorteilhafter Einsatz eines Bohrhammers im Hartgestein insbesondere unter den Randbedingungen des KTB-Projektes erwarten.

## 1. Einleitung

Die Salzgitter Maschinenbau GmbH (SMAG) hat die Aufgabe übernommen, ein zum drehenden Bohren alternatives Bohrwerkzeug für die übertiefe Bohrung des KTB-Projektes im Hartgestein zu realisieren. Die Arbeiten bei der SMAG werden begleitet durch eine Studie zum Stand der Technik des Tiefbohrens im allgemeinen und dem schlagenden Bohren im besonderen.

Im Rahmen des Vorhabens der SMAG sollen mit den Methoden digitaler Simulation die Eigenschaften hydraulischer Bohrhämmer unter spezifizierten Einsatzbedingungen ermittelt werden. Voraussetzung der Berechnungen ist die möglichst sichere Beschreibung der Randbedingungen in Teufen des Bohrloches von bis zu 14.000 m durch die Parameter Druck, Temperatur, die Eigenschaften der Spülung und des Gestänges sowie Daten des Bohrhämmerkonzeptes.

In Wechselwirkung mit den Ergebnissen des Simulationsprogrammes ist das Hammerkonzept mit der Variation der Daten des Bohrwerkzeuges iterativ zu entwickeln. Das Ergebnis der Untersuchung kann, sofern es die positiven Erwartungen des Bohrverfahrens bestätigt, die Vorbereitung einer sich an das beantragte Vorhaben anschließenden Konstruktions- und Realisierungsphase des Bohrwerkzeugs sein und weist auf die Ansatzpunkte technologischer Aufgabenstellungen für seine sichere Realisierung hin.

Nach heutigen Erkenntnissen ist davon auszugehen, daß bei Tiefbohrungen von mehr als 8.000 m im Hartgestein der Einsatz von konventionellen, drehenden Bohrwerkzeugen technisch problematisch wird und an die Grenze der Wirtschaftlichkeit stößt. Das neu zu entwickelnde Bohrgerät "hydraulischer Bohrhämmer auf der Bohrlochsohle mit einem Antrieb über die Spülflüssigkeit" soll die Nachteile der konventionellen Bohrtechnik weitgehend beseitigen. Die folgende Aufzählung beinhaltet die erwarteten Verbesserungen gegenüber der rein drehenden Bohrtechnik.

- Hartgestein läßt sich besser und mechanisch sinnvoller schlagend zertrümmern als schneidend, bohrend, fräsend oder schmirgelnd,
- Das Werkzeug wird dabei weniger zerschlagen.
- Das Werkzeug ist einfacher und daher preiswerter.

- Die Zertrümmerungsarbeit wird dort geleistet, wo sie gebraucht wird, auf der Bohrlochsohle.
- Daraus ergeben sich zwangsläufig höhere Wirkungsgrade und geringere Kosten.

Der Nachteil des bekannten Imlochbohrhammers besteht in der vor allem für ein vierteiliges Gestänge aufwendigen und mit Dichtigkeitsproblemen behafteten, getrennten Führung von Spülung und hydraulischer oder pneumatischer Versorgung des Bohrhammers.

Die Untersuchung soll die genannten, erwarteten Vorteile unter den Randbedingungen des übertiefen Bohrloches bestätigen. Dabei sollen den folgenden Gesichtspunkten des Bohrhammers in zwei Teufenbereichen, 0 bis 5.000 m und über 5.000 m, besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden:

- Beeinflussung der Maßhaltigkeit des Bohrloches,
- Neigungs- bzw. Richtungsstabilität des Bohrhammers und
- Kernmöglichkeit bei mindestens 30 % der Bohrstrecke ab 5.000 m.

Hydraulische Bohrhämmer werden eingesetzt zum Bohren von Sprenglöchern im Bergbau, Tunnelbau und in Steinbrüchen. Diese Bohrhämmer befinden sich jedoch außerhalb des Bohrloches, werden mit einer Hydraulikflüssigkeit (Mineralöl oder Emulsion) angetrieben und auf einer Lafette geführt. Sie sind nur für kurze Bohrlochtiefen, bis ca. 30 m, einsetzbar.

Für tiefere Bohrungen, z.B. in Steinbrüchen und beim Erbohren von Brunnen, werden im Hartgestein Bohrhämmer benutzt, die in das Bohrloch hineinwandern und auf der Bohrlochsohle ihre Schlagarbeit direkt an den Bohrmeißel abgeben. Diese Hämmer werden in der Regel mit Druckluft betrieben. Die SMAG hat auch für diese Anwendungen hydraulische Hämmer mit getrenntem Hydraulikkreislauf und Mehrleitergestängen entwickelt.

In dieser Kurzfassung wird das Ergebnis der Vorstudie zur Entwicklung des hydraulischen Bohrhammers der SMAG mit dem Antrieb über die Spülflüssigkeit vorgestellt. Die ausführlichen Ergebnisse /2/ liegen der KTB Projektgruppe am Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Kurzfassung vor.

2. Grundlagen für den Einsatz eines Bohrhammers in der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB)

Eine Studie zur Ermittlung der Grundlagen des Einsatzes eines Bohrhammers im Hartgestein für übertiefe Bohrungen wurde von der SMAG an das Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung der Technischen Universität Clausthal, ITE, Herrn Prof.Dr.-Ing. C. Marx, vergeben. Die Studie liegt der KTB Projektgruppe im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover vor /1/.

Die Studie beinhaltet eine Aussage zur Tiefbohrtechnik. Zu diesem Punkt kann aus der Studie zitiert werden, daß "die Grundlagen der Tiefbohrtechnik (als Rotary-Technik) bereits vorliegen. Daher bringen gerade in jüngerer Zeit nur wenige Arbeiten neue Erkenntnisse über den Gesteinszerstörungsprozeß. Diese Arbeiten werden kurz vorgestellt." Die Grenzen der Rotary-Technik werden deutlich und machen die Suche nach einem alternativen Bohrverfahren erforderlich für den Einsatz in übertiefen Bohrungen im Hartgestein. "Probleme ergeben sich wenn harte und härteste Gesteinsschichten durchteuft werden müssen, die dem Eindringen von Meißel- oder Diamantschneiden einen großen Widerstand entgegensetzen. Die Diamanten werden beim Drehen einem hohen Verschleiß ausgesetzt und verlieren schnell ihre Wirksamkeit, während Hartmetallstifte nur noch ungenügend in das Gestein eindringen können. Nun ist allgemein bekannt, daß die Bohrgeschwindigkeit in hartem Gestein beim Schlagbohrverfahren höher liegt und mit dieser Methode harte, kristalline Gesteine gebohrt werden können, die mit drehenden, ritzenden Bohrmethoden nur sehr schlecht zerstört werden können." down-hole-Motore unterliegen zusätzlich den kaum erfüllbaren Anforderungen der hohen Belastungen der großen Teufen (hoher statischer Druck, hohe Temperaturen).

Eine Darstellung zum Stand der Technik des schlagenden Bohrens mit einer Gegenüberstellung der konkurrierenden Hammerprinzipien schließt sich an. "Hier zeigt sich, daß die funktionale Verknüpfung der entscheidenden Parameter wie Schlagenergie, Schlagfrequenz, Energieübertragungsgrad, Andruckkraft und Umsetzwinkel äußerst komplex ist und noch nicht alle Zusammenhänge geklärt sind, die den Bohrprozeß beeinflussen."

Insbesondere für die Entwicklung neuer Hammerprinzipien, die wie im Fall des Prinzips der SMAG bisher nicht erreichte Schlagenergien erzeugen, liegen bis heute keine gesicherten Erkenntnisse vor. Dennoch darf vermutet werden, daß das Produkt der Parameter Einzelschlagenergie und Schlagfrequenz von herausragender Bedeutung ist.

Für die Dimensionierung eines Imlochhammers liegen in der Studie des ITE Angaben über die Randbedingungen in übertiefen Bohrungen vor. Auch wenn keine abschließenden Aussagen ohne weitere mineralogische Untersuchungen gemacht werden können, werden die zunächst wesentlichen Daten genannt.

Das ITE empfiehlt abschließend eine "verstärkte weitere Entwicklung dieses Bohrverfahrens ohne Einschränkungen".

### 3.                   Hydraulischer Bohrhammer für übertiefe Bohrungen

Nach den Empfehlungen des ITE und nach den Erfahrungen der SMAG mit hydraulischen Bohrhämmern für den Einsatz in Sprenglochbohrungen für den Steinbruchbetrieb erscheint der Einsatz eines spülwassergetriebenen Bohrhammers unter den hohen Anforderungen eines übertiefen Bohrloches als das wirtschaftliche Bohrverfahren. Hinter dieser Aussage verbergen sich die Vorteile des Verfahrens hinsichtlich seiner Standfestigkeit und der erreichbaren Bohrleistung.

#### 3.1                   Entwicklungsziel des hydraulischen Bohrhammers

Die Entwicklung des Spülwasserhammers wird durch die Forderung bestimmt, aus Gründen der Betriebssicherheit und der Lebensdauer über ein Schlagsystem zu verfügen, das

- keine gleitenden Passungen aufweist, die durch Suspensionen im Spülmedium zu Abrieb und Verklemmung führen,
- keine gleitenden Dichtungen benötigt, die wegen der Reibung und des Verschleißes mit Spülschlamm keine ausreichende Einsatzdauer aufweisen,
- nur gering belastete, bzw. deutlich überdimensionierte Federelemente für die axiale Führung vorsieht, wodurch Dauerbrüche weitgehend eliminiert sind,
- für die Steuerung nur ein einziges Sitzventil verwendet,
- für Kernbohrungen ohne round trip geeignet ist,
- durch die Variation des Speisestroms des Spülwassers oberhalb einer Mindestspeisemenge in der Schlagleistung nicht beeinflusst wird und nicht überlastet werden kann,
- einen möglichst geringen Druckabfall und nur geringe Pulsationen und damit kleine Rückwirkungen auf das Gestänge erzeugt,
- hohe Einzelschlagenergien bis 500 J über ein breites Frequenzspektrum von 2 - 25 Hz erzeugt und
- die Schlagenergie für eine lange Verweildauer des Schlagbolzens auf dem Amboß speichert.

Die Summe der Forderungen kann bei konventionellen Hammerprinzipien bis heute nicht erfüllt werden. Dies führt z.B. zu getrennten hydraulischen Kreisläufen für Spülung und Hammerantrieb (auch bei konventionellen Hämmern der SMAG) oder zu nicht vermeidbaren Passungen z.B. bei einem in der Studie des ITE /1/ vorgestellten Koanderprinzip.

Es zeigt sich allerdings, daß diese Forderungen zu erfüllen sind, wenn die technologisch unüberwindbare Schwachstelle der üblichen Systeme -die Krafterzeugung durch Kolbenwirkung- durch rein dynamische Krafterzeugung mittels Widderstöße einer Wassersäule, die kurzzeitig ein Vielfaches der dem Speisedruck entsprechenden Kraft zur Verfügung stellt, ersetzt wird.

### 3.2. Widderprinzip des Bohrhammers

Der Spülwasserhammer auf Widderbasis in Bild 1 besteht aus

- einem beweglichen Teil -das Impulsrohr 1, dessen unteres Ende als Hammerstück 3 ausgebildet ist und vom Stoßventil 5 zeitweilig verschlossen wird- und
- einem feststehenden, an das Bohrgestänge zu befestigendes, Hüllrohr 2, das an seinem unteren Ende den Stiftschlagbohrer 4 führt.

Das Impulsrohr wird durch die Führungselemente 8 koaxial zum Hüllrohr 2 geführt und stützt sich über die Feder 6 auf dem Hüllrohr 2 ab. Das obere Ende des Impulsrohres 1 bildet stirnseitig mit dem Hüllrohranschluß am Bohrgestänge die mit der Stellung des Impulsrohres 1 veränderliche by-pass-Drossel 7.

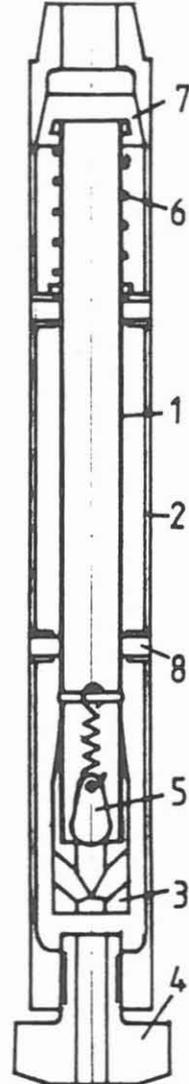


Bild 1:

- Impulsrohr 1
- Hüllrohr 2
- Hammer 3
- Amboß 4
- Stoßventil 5
- Rückholfeder 6
- by-pass-Drossel 7
- Führungsklotz 8

Ausgehend von der Ruhestellung -Impulsrohr 1 verschließt unter der Federwirkung 6 die by-pass-Drossel 7, das Stoßventil 5 ist offen- lassen sich fünf Phasen im Arbeitszyklus beschreiben:

#### 1 Startphase

Der Speisestrom fließt vom Gestänge direkt in das Impulsrohr 1 bis die Schließgeschwindigkeit erreicht wird, bei der die Kraft aus dem Druckabfall am Stoßventil 5 die Schwellenkraft der öffnenden Feder übersteigt und das Stoßventil schlagartig schließt.

## 2 Beschleunigung des Impulsrohres

Nach dem Impulserhaltungssatz tritt nun eine Wechselwirkung zwischen der Wassersäule im Impulsrohr 1 und der Masse des Impulsrohres 1 auf. Das Impulsrohr 1 wird in der endlichen Dauer des Widerstoßes nach Zukovsky bis zur Endgeschwindigkeit, die aus dem Impulsgesetz ableitbar ist, beschleunigt.

## 3 Ballistische Phase

Nach Abschluß der Beschleunigungsphase setzt eine durch die Rückholfeder und die Flüssigkeitsreibung gebremste, gleichförmige Bewegung des Impulsrohres 1 in Richtung Amboß 4 ein.

## 4 Schlag

Analog zum Widerstoß läßt sich auch hier in erster Näherung annehmen, daß das Impulsrohr 1 einen Kraftimpuls mit endlicher Verweildauer in den Amboß 4 einleitet. Die genaue Form des Kraftstoßes ist von den Masseverhältnissen des Hammers und der Eigenschaft der Bohrlochsohle abhängig.

## 5 Rückzug mit Beschleunigung der Wassersäule im Impulsrohr

In der abschließenden Phase zieht die Feder 6 das Impulsrohr 1 zurück. Der Strömungswiderstand an der by-pass-Drossel 7 wächst bei nunmehr geöffnetem Stoßventil 5. Die Wassersäule im Impulsrohr 1 wird auf die Strömungsgeschwindigkeit bis zur Schließgeschwindigkeit der Phase 1 beschleunigt.

Mit den Parametern

- Massenverhältnis Impulsrohr 1 zu Wassersäule im Impulsrohr,
- Federkräfte,
- freie Weglänge in der ballistischen Phase 3 und
- Strömungsquerschnitte an der by-pass-Drossel 7 und am Stoßventil 5

wird Einfluß genommen auf die Schlagenergie und die Schlagfrequenz des Hammers. Beide Größen sind von der Strömungsgeschwindigkeit der Spülflüssigkeit ab einer Mindestspülrate nahezu unabhängig. Eine Überlastung des Hammers kann nicht eintreten. Bei höheren Spülraten schließt alleine die by-pass-Drossel 7 nicht mehr vollständig; die zusätzlichen Spülflüssigkeitsmengen fließen am Impulsrohr 1 vorbei.

## 4. Modell und Berechnungsverfahren des hydraulischen Bohrhammers nach dem Widerprinzip

Ungeachtet seiner verblüffenden Einfachheit ist der Widerhammer trotz relativ unproblematischer, analytischer Erfassung der einzelnen Phasen im Zusammenspiel und deren gegenseitiger Beeinflussung relativ komplex. Die transienten Vorgänge sind geschlossen nur mit dafür geeigneten Methoden erfaßbar und simulierbar.

Das numerische Modell unserer Wahl ist die Bond-Graphen-Methode /3/. Vergleichbar mit der Netzwerktheorie elektrischer Schaltkreise wird das Problem in eine Vielzahl der Grundelemente Feder, Widerstand oder Drossel und Masse diskretisiert. Zur Berechnung der physikalischen Größen Weg, Geschwindigkeit

und Beschleunigung der interessierenden mechanischen Elemente des Problems werden, ausgehend von einer definierten Anfangsbedingung, Druckpotentiale und Durchflußgrößen des Fluids ermittelt.

Das Bond-Graphen-Modell formuliert ein Differentialgleichungssystem, das mit einem unterlagerten, numerischen Berechnungsverfahren gelöst wird.

Das Modell des Widderprinzips ist in Bild 2 skizziert. Der schematische Querschnitt weist auf die wesentlichen, diskreten Elemente des Hammers hin. Die folgende Referenzliste stellt den Zusammenhang zu Bild 1 dar:

Position C34	-	Rückholfeder 6
Position R13	-	by-pass-Drossel 7
Position C14	-	Kompressibles Fluid
Position C24	-	Kompressibles Fluid
Position R33	-	Reibung
Position R25	-	Stoßventil 5
Position C44	-	Eindringverhalten des Hammers.

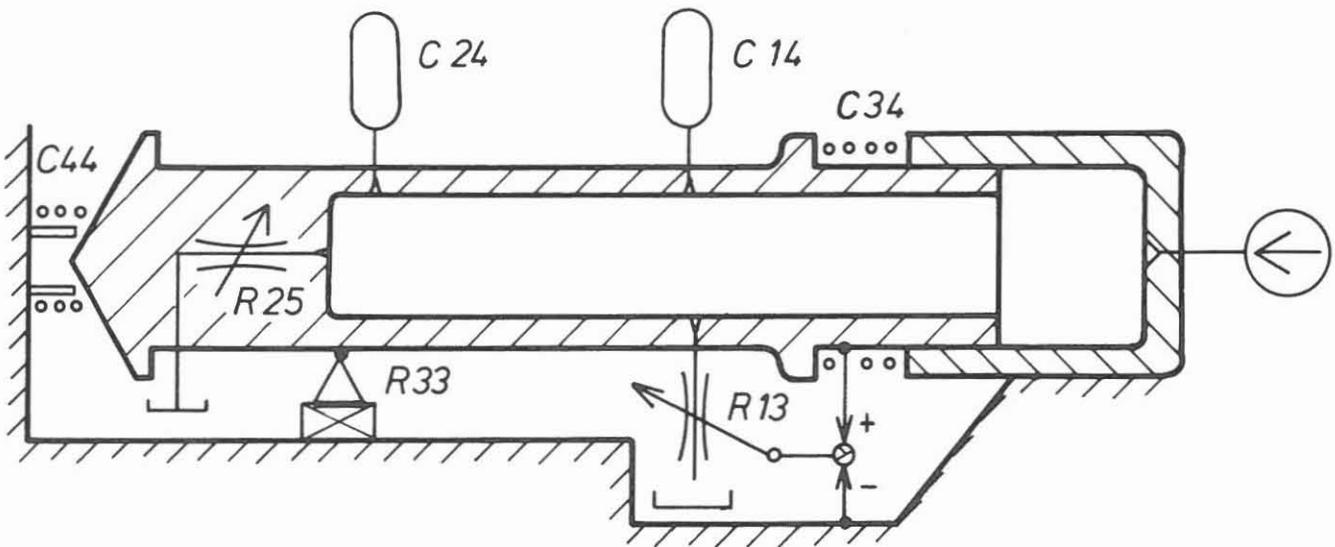


Bild 2: Schematischer Querschnitt des Widderhammers für die Modellierung mit der Bond-Graphen-Methode

Die Ergebnisse der Simulation des Hammers dienen sowohl der Optimierung des Vorganges selbst hinsichtlich der Schlagenergie und der Schlagfrequenz durch die Variation der genannten Parameter des Bohrwerkzeuges als auch der Dimensionierung seiner einzelnen Komponenten.

Bild 3 stellt den zeitlichen Verlauf von vier Zustandsgrößen in der Simulation des kontinuierlichen Betriebs dar. Mit Q25 ist die Durchflußrate im Stoßventil gekennzeichnet, mit X44 der Weg des Hammerkopfes, mit P24 der Druck am Stoßventil und mit P14 der Druck an der oberen Mündung des Impulsrohres.

Die Daten des Berechnungsbeispiels stehen für eine Hammergeometrie in Anlehnung an das im folgenden Abschnitt beschriebene Modell des Funktionsnachweises.

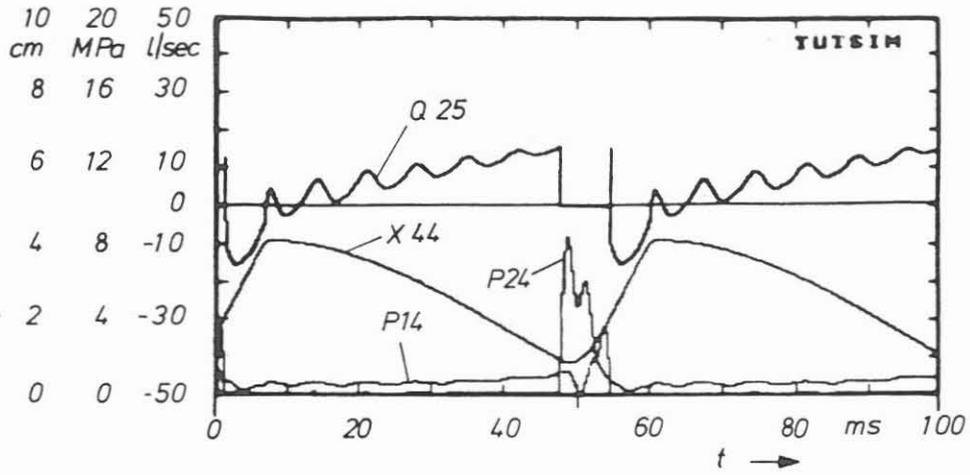


Bild 3: Zeitlicher Verlauf der Zustandsgrößen des Hammers

### 5. Funktionsnachweis des Hammerprinzips

Mit einem Testaufbau nach Bild 4 wurde in einer zunächst horizontalen Anordnung der Funktionsnachweis für den Hammer im Rahmen der Vorstudie geführt. Der Testaufbau lehnt sich ungefähr im Maßstab 1 : 1 an die Geometrie eines realen Bohrwerkzeuges an. Mit der Versuchsanordnung wurden die folgenden, meßtechnisch erfaßten Leistungsdaten gefahren:

Länge Impulsrohr	:	9	m
Masse Impulsrohr	:	50	kg
Masse Wassersäule	:	28	kg
max. Spülrate	:	2000	l/min
max. Spüldruck	:	6	bar
max. Einzelschlagenergie	:	463-163	J
max. Schlagfrequenz	:	3-8	Hz
Widderstoß-Druckspitze	:	120-84	bar

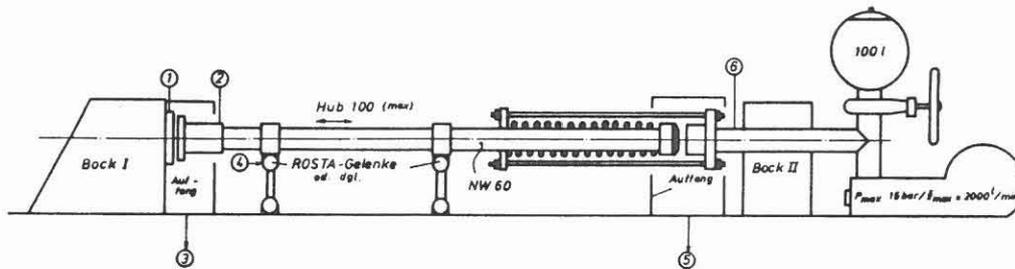


Bild 4: Testaufbau des Widderhammers

Damit sind die für die Versuchsanordnung mit der oben erläuterten Simulation prognostizierten Daten in vollem Umfang erreicht und der Funktionsnachweis für das Hammerprinzip erbracht. Darüberhinaus wird die Leistungsfähigkeit der Simulation auch in ihrer Beschreibung des dynamischen Verhaltens nachgewiesen und der Einsatz des Berechnungsverfahrens für weitere Optimierungen gerechtfertigt.

### 6. Planung der Realisierungsphase eines Prototyps für die KTB-Bohrung

Z.Zt. wird von der SMAG ein Prototyp für eine Probebohrung realisiert. In diesen Prototypen fließen die Erkenntnisse, die aus dem Testaufbau des vorangegangenen Abschnitts gewonnen wurden, ein. Die Optimierung des Prototyps wird durch die Simulation gestützt. Der Prototyp wird mit einem konventionellen Hammerbohrkopf ausgestattet. Die Probebohrung wird im III. Quartal 1988 durchgeführt.

Daran werden sich die Konstruktionsänderungen anschließen, die für die Adaptierung des Hammers an die Einsatzbedingungen in der übertiefen Bohrung des KTB-Projektes erforderlich werden. Versuche zur Standfestigkeit und zur Leistungsfähigkeit unter Bohrlochbedingungen in den Autoklaven des ITE sollen die er-

forderliche Sicherheit für den Hersteller SMAG und den Anwender des Hammers, zunächst das KTB-Projekt, erbringen.

Weitere konstruktive Arbeiten sind für die Realisierung der Kernbohrungen ohne round-trip durchzuführen. Hier sind die bestehenden, prinzipiellen Lösungen zu detaillieren und auszuführen.

Untersuchungen am ITE zur Theorie des schlagenden Bohrens sollen die konstruktiven Arbeiten der SMAG weiter begleiten.

Das Ergebnis der Realisierungsphase wird für das KTB-Projekt einsetzbare Bohrwerkzeuge nach dem Widderprinzip der SMAG sein, die ab 1989 zur Verfügung stehen sollen.

## 7. Zusammenfassung

Teil der Vorstudie zur Realisierung eines mit der Spülflüssigkeit angetriebenen, hydraulischen Bohrhammers auf der Bohrlochsohle ist eine Studie zum technischen Umfeld der Werkzeuge der Tiefbohrtechnik. Das mit dieser Studie beauftragte Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung, Technische Universität Clausthal (ITE) wird in seiner Kernaussage zum schlagenden Bohren zitiert: Das ITE kommt zu dem Schluß, daß das schlagende Bohren im allgemeinen unter den spezifischen Bedingungen übertiefer Bohrungen ein überlegenes Bohrverfahren ist. Detaillierte, z.Zt. laufende Untersuchungen werden am ITE quantitative Ergänzungen zu dieser Feststellung erbringen.

Eine Entwicklung der Salzgitter Maschinenbau GmbH (SMAG) ist der vorgeschlagene Hammer nach dem Widderprinzip. Der Hammer ist gekennzeichnet durch die Vermeidung von gleitenden Passungen, gleitenden Dichtungen und feinmechanischen Teilen. Er weist eine hohe Einzelschlagenergie bei einer mittleren Frequenz auf. Sowohl die Dauerstandfestigkeit, auch unter erschwerenden Bedingungen, als auch die Leistungsfähigkeit sollte daher im Sinne einer wirtschaftlichen Bohrung überdurchschnittlich sein.

Für Optimierungsaufgaben am Hammer steht ein Simulations- und Berechnungsprogramm zur Verfügung, daß bereits für die Nachrechnung eines praktischen Funktionsnachweises eingesetzt wurde und für die Konstruktion eines ersten bohrenden Prototyps Verwendung findet.

Im absolvierten, praktischen Funktionsnachweis der Vorstudie wurde ein horizontales Modell realisiert. Mit diesem Modell wurden bis 463 J Einzelschlagenergie und bis 8 Hz Schlagfrequenz erreicht.

Die Realisierung der Bohrwerkzeuge nach dem von der SMAG vorgeschlagenen Prinzip werden durch die Konstruktion, den Bau und den Einsatz eines ersten, o.a. Prototyps z.Zt. vorbereitet.

8. Literaturverzeichnis

- /1/ PROF.DR. MARX u.a. (1988): Grundlagen für den Einsatz eines Bohrhammers in der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB), Studie des Institutes für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung, Technische Universität Clausthal im Auftrag der Salzgitter Maschinenbau GmbH
- /2/ SMAG (1988): Untersuchung zur Entwicklung eines hydraulischen Bohrhammers mit Antrieb und Steuerung durch die Spülflüssigkeit für Tiefbohrungen im Hartgestein in Teufen bis 14.000 m, Vorstudie im Auftrag der KTB Projektgruppe am Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung
- /3/ DR.SC. JEAN U. THOMA (1975): Introduction to Bond Graphs and their Applications, Pergamon International Library of Science, Technology, Engineering and Social Studies, Braunschweig

Impressum

Redaktion: Dipl.-Ing. H. Kettling, Dipl.-Ing. I. Cyphelly,  
Dr.-Ing. R. Mayer

Titelbild: Hydraulischer Bohrerhammer nach dem Widderprinzip im Funktionsnachweis

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung und Technologie aus dem Landeshaushalt des Landes Niedersachsen (Förderungskennzeichen AZK/25-RG 86040) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Anschrift der Autoren: Salzgitter Maschinenbau GmbH,  
Postfach 51 16 40, D-3320 Salzgitter 51,  
Telefon (05341)302-609

Anschrift des Herausgebers:  
Projektleitung KTB im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung,  
Postfach 51 01 53, D-3000 Hannover 51,  
Telefon (0511)643-2670.