

Auswahl eines Spülungssystems für die speziellen Anforderungen des KTB-Projektes

B. Engeser (Hannover)

1. EINLEITUNG

Als am Morgen des 7. Januar nach einem Zuflußttest das Drillometer beim Freiziehen der Packer mehr als 50 t Überlast anzeigte, war die wahrscheinlichste Erklärung:

Nachfall auf den oberen Packer aus einer Störungszone im Hangenden.

Eine nach Ausbau der Testgarnitur durchgeführte Kalibermessung bestätigte die vermutete Ursache. Ein wesentlicher Grund für den erheblichen Nachfall liegt in der Verdünnung der Spülung vor Beginn des Testes zur Herstellung optimaler Zuflußbedingungen.

Dies ist nur ein Beispiel für den vielfältigen Einfluß des Spülungssystems auf grundlegende bohrtechnische Parameter. Die Spülung im KTB-Projekt ist aber auch einer der wesentlichen Informationsträger insbesondere in der Hauptbohrung.

Die Einbeziehung dieser Zusammenhänge in Planung und Auswahl des KTB-Spülungskonzeptes ist Gegenstand des folgenden Vortrages.

2. KTB SPEZIFISCHES-ANFORDERUNGSPROFIL

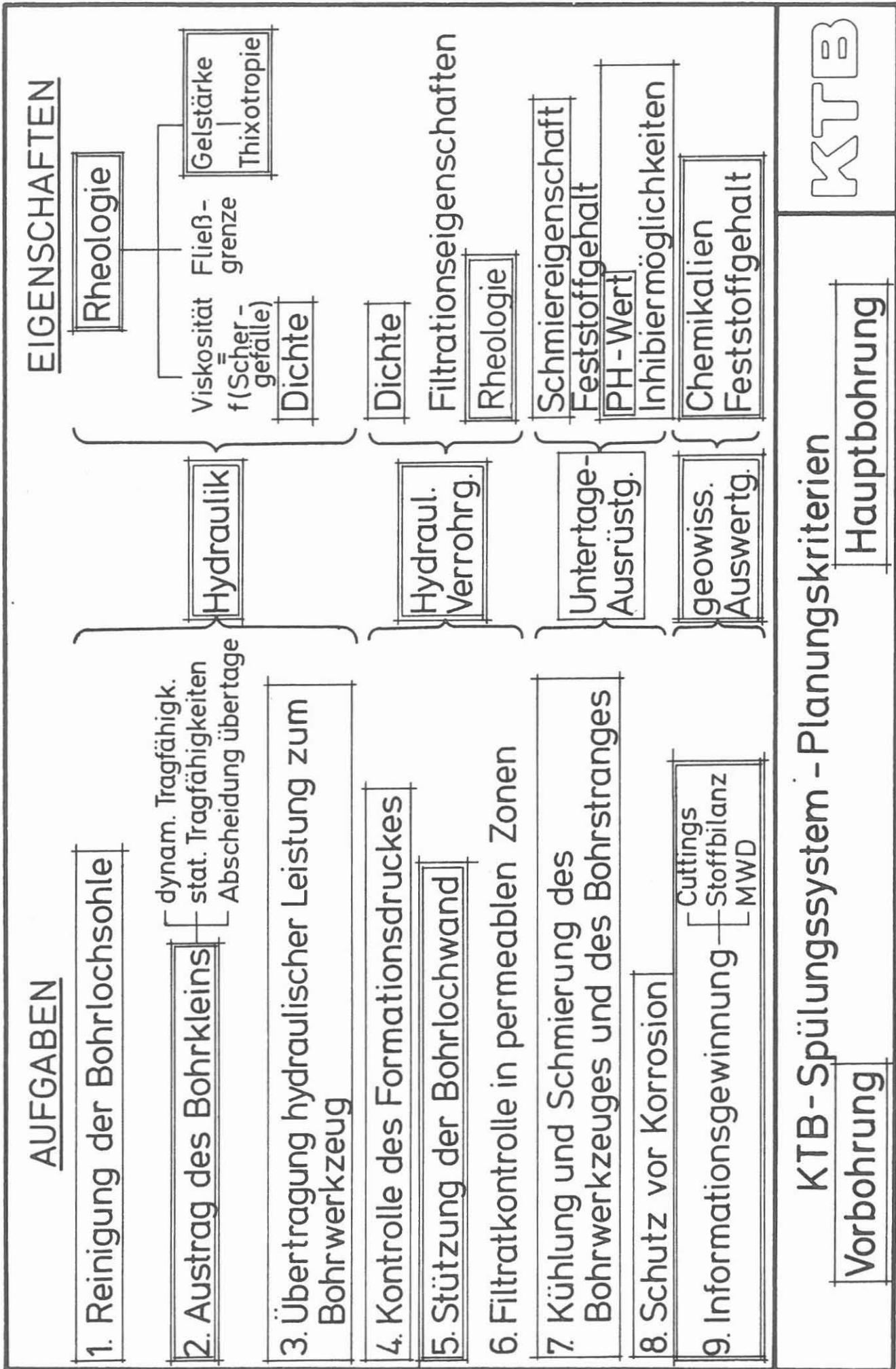
2.1 Bohrtechnische Anforderungen

Das KTB-Spülungskonzept ist wesentlich geprägt durch das technische Konzept mit dem Abteufen von Vor- und Hauptbohrung und dem Einsatz von Rotary-Technik und Seilkerntechnik.

Unabhängig vom angewandten Bohrverfahren muß jedes Spülungssystem eine Reihe grundlegender Aufgaben erfüllen, denen allerdings je nach geologischen Bedingungen, Zielsetzungen und angewandter Technik unterschiedliche Bedeutung zukommt (Abb. 1).

Wegen des Einsatzes der Seilkerntechnik und der damit verbundenen engen Querschnittsverhältnisse im Ringraum standen für die Planung der Vorbohrung die Fragen der Bohrlochshydraulik ebenso wie die Aufgabe der Reibungsverminderung zwischen Bohrstrang und Gebirge im Vordergrund (Abb. 2).

Die rheologischen Eigenschaften der Spülung beeinflussen dabei wegen der Bedeutung der Ringraumdruckverluste nicht nur die geometrischen Abmessungen des Bohrstranges, sondern sind auch für die Einstellung der aktuellen Bohrparameter wie Spülrate oder Fahrgeschwindigkeit beim Ein- und Ausbau des Bohrstranges von Bedeutung (Abb. 3).

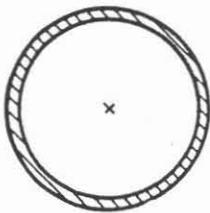


BERGBAUBOHRTECHNIK

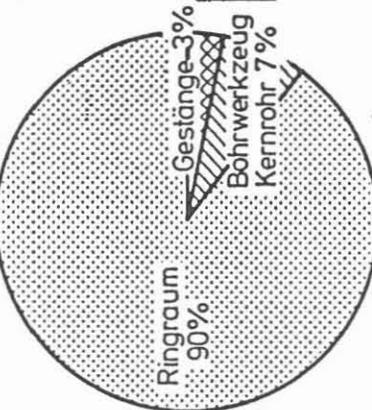
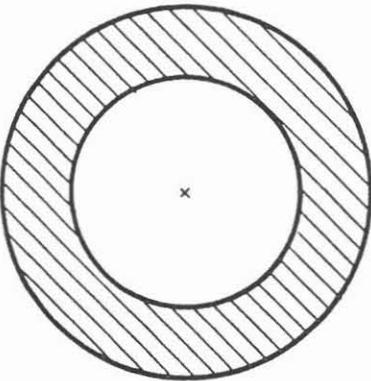
ROTARY-TECHNIK

Ringraumgeometrie

6" Bohrloch ϕ
5 1/2" Bohrstrang



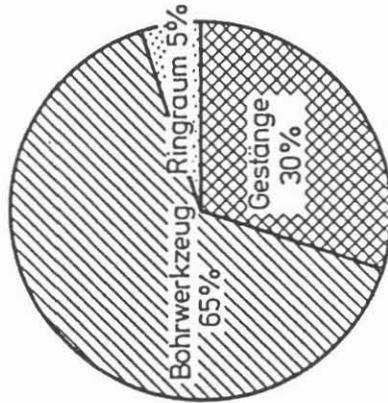
8 1/2" Bohrloch ϕ
5" Bohrstrang



Verteilung der Druckverluste

eff. Sohlendruck $P_{eff} = P_{hydrost.} + \Delta P_{Ringr.}$

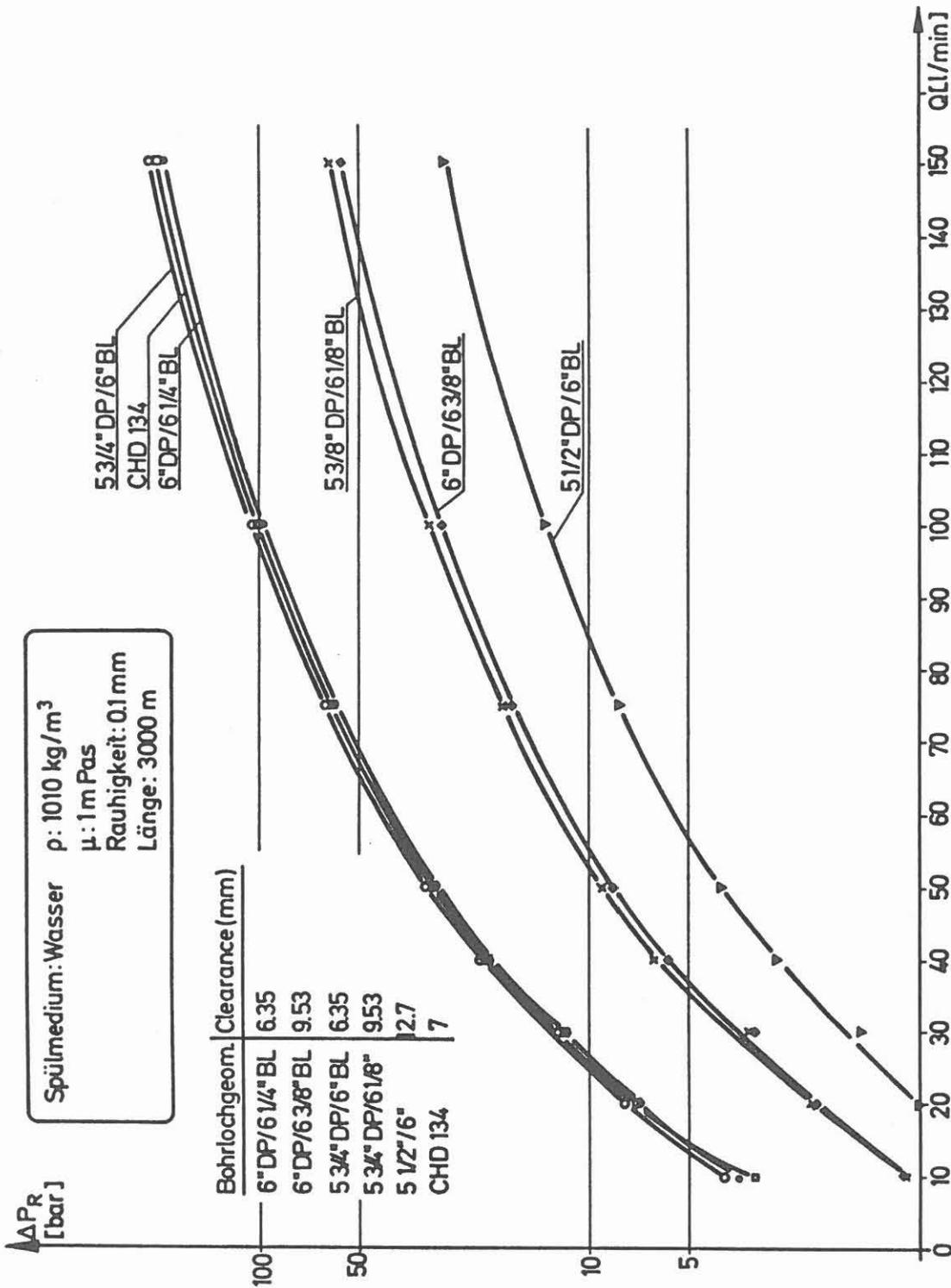
$\Delta P_{Ringr.}$



$P_{eff} > P_{Frac} \Rightarrow$ hydraulisches Aufbrechen des Gebirges

Bohrlochhydraulik: Bergbaubohrtechnik - Rotarytechnik





Ringraumdruckverluste in Abhängigkeit v. Fließrate Q und Bohrlochgeometrie

[Engeser]



T1076/12.86

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Für das Abteufen der Hauptbohrung sind die Fragen der Bohrlochstabilität und die Übertragung hydraulischer Leistung zum Bohrwerkzeug wichtige Punkte, wobei natürlich die Erfüllung der anderen Aufgaben ebenfalls gewährleistet sein muß. Die Forderung nach Hochtemperaturstabilität ist bei der Planung naturgemäß von erstrangiger Priorität.

2.2 Geowissenschaftliche Anforderungen

Die besondere Herausforderung bei der Planung eines Spülungssystems für eine geowissenschaftliche Forschungsbohrung ist die möglichst unbeeinträchtigte und umfassende Auswertung des Informationsträgers Spülung mit der Zielsetzung "Stoffbilanz".

Weiterhin ist eine möglichst geringe Beeinträchtigung der hydraulischen Leitfähigkeit des Gebirges ebenso anzustreben wie eine genaue Teufenzuordnung des Bohrkleins durch Vermeidung von Mehrfachumläufen mittels effektiver Bohrkleinabtrennung bis in den Mikron-Bereich (Tab. 1).

3. AUSWAHLVERFAHREN

Die Planungsphase für die Auswahl eines geeigneten Spülungssystems war gekennzeichnet durch das intensive Bemühen, einen möglichst zufriedenstellenden Kompromiß zwischen geowissenschaftlichen und bohrtechnischen Anforderungen zu finden.

In den Entscheidungsprozeß wurden die einschlägige Industrie ebenso miteinbezogen wie Hochschulinstitute und die mit der geochemischen Spülsaurewertung befaßten Wissenschaftler und Arbeitsgruppen vom Schwerpunktprogramm der DFG.

Mit Hilfe einer Bewertungsmatrix unter Einbeziehung und Gewichtung aller relevanten Parameter wurde versucht, eine Vorauswahl bezüglich der konventionell eingesetzten Spülungssysteme zu treffen. Es zeigte sich jedoch, daß kein am Markt verfügbares System imstande war, das spezielle Anforderungsprofil zufriedenstellend abzudecken (Tab. 2).

- Mit ton-wasserbasischen Spülungen werden weltweit zwar die meisten Bohrungen abgeteuft, für eine geowissenschaftliche Forschungsbohrung sind diese Spülungssysteme wegen der Vielzahl an Komponenten, der schwierigen Abtrennung von Bohrklein und der Beeinträchtigung von hydraulischer Leitfähigkeit und Stoffbilanz nicht geeignet.
- Auch ein Einsatz von ölbasischen Spülungen ist aus geowissenschaftlichen Gründen wegen der daraus resultierenden Kohlenwasserstoffkontamination wenig sinnvoll.
- Feststofffreie organische Polymerspülungen bieten zwar eine Reihe von bohrtechnischen Vorteilen, ein Einsatz ist aber wegen der mangelnden Hochtemperatur- und Scherstabilität und daraus resultierender organischer Zersetzungsprodukte nicht ohne erhebliche Beeinträchtigung der geochemischen Auswertbarkeit möglich.

– Möglichst geringe Beeinflussung der geochemischen Spaltungsanalyse

Kationen

Anionen

Gase Kohlenwasserstoffe
Nichtkohlenwasserstoffe
Stoffbilanz

– Möglichst geringe Beeinträchtigung der hydraulischen Leitfähigkeit des Gebirges
Fluidgewinnung

– Möglichst vollständige Abtrennung des Bohrkleins und Vermeidung von Mehrfachumläufen
Teufenzuordnung

Geowissenschaftliche Anforderungen

KTB

	VORTEILE	NACHTEILE
Ton-wasser-basische Spalungen	Kosten Erfahrung Filtrationsverh.	Bohrkleinabtrennung Vielkomponentensystem Stoffbilanz Permeabilitätsschäd.
Ölbasische Spalungen	Temperatur-stabilität Toninhibierung Reibungs- verminderung	Stoffbilanz Kosten Entsorgung
Organische Polymer-spalungen	Feststofffrei Reibungs- verminderung	biol. Stabilität Temperaturstab. Scherstabilität Stoffbilanz
Wasser	Kosten Entsorgung Temperaturstab. Stoffbilanz	Reibungsvermind. Filtrationsverh. Bohrkleinaustrag Bohrlochstab.

Konventionelle Spalungssysteme

KTB

- Reines Wasser ist trotz der offenkundigen Vorteile bezüglich der geowissenschaftlichen Auswertbarkeit wegen der gravierenden bohrtechnischen Nachteile keine echte Alternative.

Die Entscheidung fiel daher zugunsten eines neuentwickelten und erstmalig in der KTB-Vorbohrung eingesetzten Spülungssystems.

4. DAS KTB-SPÜLUNGSSYSTEM

4.1 Technisches Konzept

Das KTB-Spülungssystem stellt eine wasserbasierte kolloidale Lösung eines silikatischen Viskositätsbildners in der Elementarzusammensetzung Si, Mg, Na, Li, O dar (Tab. 3).

Die rheologischen Eigenschaften sind in weiten Grenzen über die Konzentration des Viskositätsbildners einstellbar. Hervorzuheben sind das stark scherverdünnende Viskositätsverhalten sowie die thixotropen Eigenschaften des Spülungssystems mit der daraus resultierenden statischen Tragfähigkeit für Feststoffe (Abb. 4). Aus Gründen des Korrosionsschutzes wird ein pH-Wert von 9 -10 durch Zugabe von Natriumhydroxid/Natriumkarbonat eingestellt.

Im Falle einer notwendigen Erhöhung der Spüldichte ist bis zu einem Gradienten von $1,4 \text{ kg/dm}^3$ der Einsatz von Natrium-/Kaliumkarbonat vorgesehen, um die Vorteile der feststofffreien Spülung aufrechtzuerhalten. Sind aus sicherheitstechnischen Gründen noch höhere Dichten erforderlich, muß Schwerspat eingesetzt werden. Aus geowissenschaftlichen Gründen wird hierfür hochreiner Baryt medizinischer Qualität vorgehalten.

Die Bekämpfung möglicher Spülungsverluste ist mittels höherkonzentrierter, stark vergelender Lösungen des Viskositätsbildners in Form sogenannter Verlustpillen geplant. In besonders schweren Fällen ist zur Stützung ein in der Korngröße den Kluffweiten angepaßtes Marmormehl hochreiner Qualität vorgesehen.

Auf den Einsatz von Korrosionsschutzinhibitoren wird, solange bohrtechnisch möglich, verzichtet. Zur Minimierung der Sauerstoffkorrosion wird der volle Spülungsstrom über einen Vakuumdegasser entgast.

Großer Wert wurde bei der Auswahl und Planung sämtlicher zum Einsatz kommender Chemikalien auf Reinheit und Spurenelementgehalt gelegt.

4.2 Wertung und Bisherige Erfahrungen

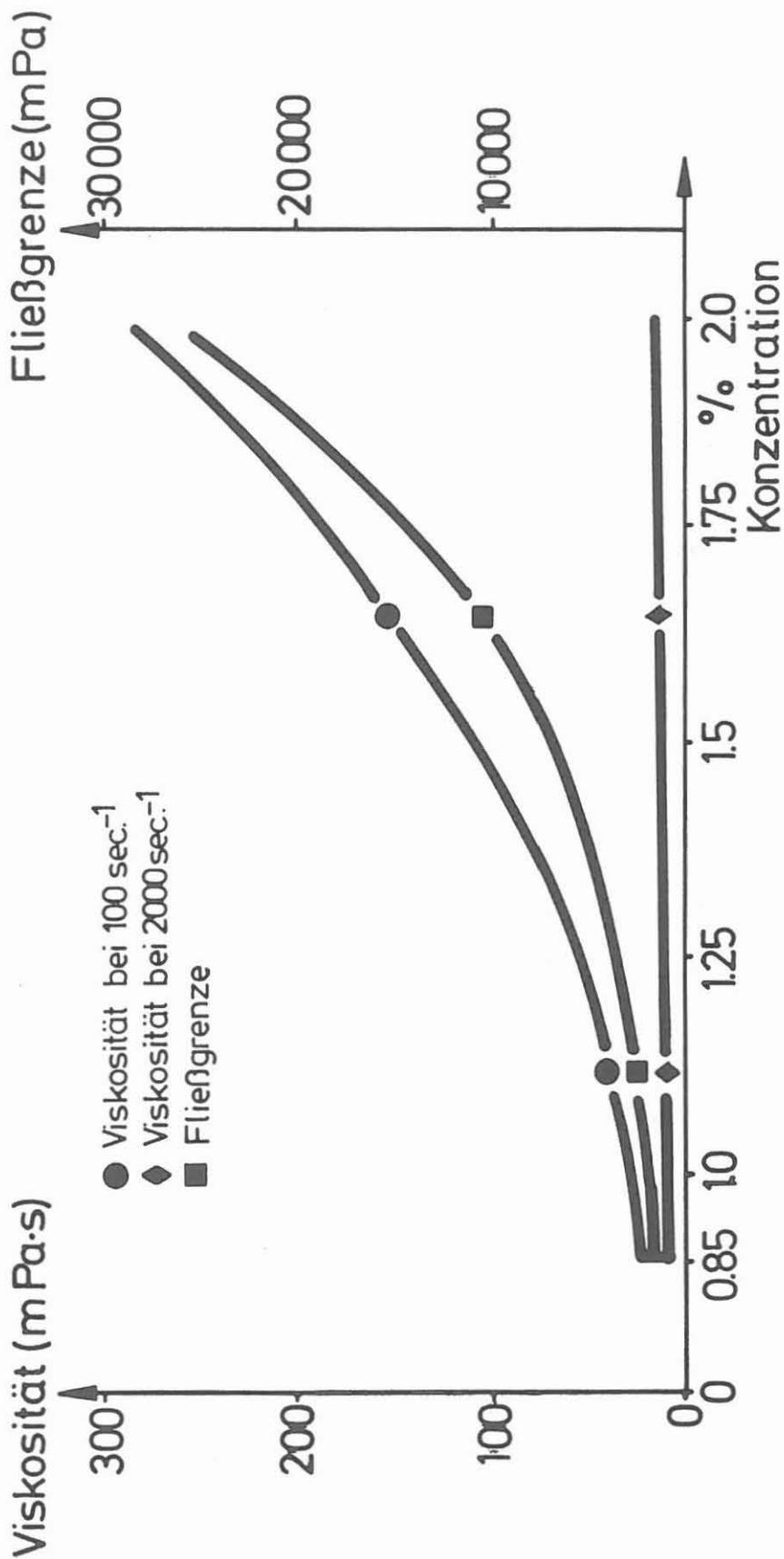
Die wesentlichen Vorzüge des Spülungssystems aus bohrtechnischer Sicht sind:

Z U S A M M E N S E T Z U N G

- wasserbasierte kolloidale Lösung eines anorganischen Viskositätsbildners silikatischer Struktur
- Elementbestandteile
Si, Mg, Na, Li, O
- Konzentrationsbereich
0.7 - 2.5 Gew. %
Einstellung der rheologischen Eigenschaften
(Viskosität, Gelstärke)
- pH-Wert: 9 - 10 (Korrosionsschutz)
Einstellung mit NaOH/Na₂CO₃
- Leitfähigkeit: 0.8 - 1 mS/cm

KTB - Spaltungssystem

KTB



Rheologisches Verhalten von Dehydril HT in Abhängigkeit von der Konzentration nach Henkel KGaA



BESCHWERUNG

- Dichte $\leq 1.4 \text{ kg/dm}^3$: Einsatz von $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3$
Vorteile: Feststofffreie Spalung
Korrosionsschutz
- Dichte $> 1.4 \text{ kg/dm}^3$: Einsatz von Baryt
hochrein (BaSO_4 , min. 97 Gew%)

VERLUSTBEKAMPFUNG

- Einsatz von stark vergelenden Verlustpillen
(Dehydril HT ≥ 2.5 Gew%)
- wenn erforderlich: Unterstutzung durch
Marmormehl (Reinheit min 98% CaCO_3) mit
Korngroenadaptierung.

KORROSIONSSCHUTZ

- Einsatz eines Vakuumdegassers
Verzicht auf Einsatz von
chemischen Korrosionsschutzinhibitoren,
solange technisch moglich.

**KTB – Spalungskonzept:
Problemlosungen**

KTB

- Günstige rheologische Eigenschaften (Scherverdünnung)
- niedriger Reibbeiwert
- gute Voraussetzungen für Bohrkleinabtrennung
- wirksame Verlustkontrolle
- Stabilisierung von Störungszonen (Vergelung)
- unproblematische Entsorgung (ökologische Unbedenklichkeit)
- einfaches Handling (Einkomponentensystem)
- Hochtemperaturstabilität

Erste Ergebnisse von Hochtemperaturtesten zeigen die rheologische Stabilität des Spülungssystems bis in den Temperaturbereich von 250°C und damit die grundlegenden Voraussetzungen für einen Einsatz in der Hauptbohrung.

Im bisherigen Einsatz konnten die wesentlichen Planungsgrundlagen bestätigt werden. Auf die positiven Erfahrungen mit der Stabilisierung zum Nachbrechen neigender Störungszonen ist ebenso hinzuweisen wie auf die Verhinderung von nennenswerten Spülungsverlusten und den überdurchschnittlichen Wirkungsgrad der Zentrifuge bei der Bohrkleinabtrennung.

Aus geowissenschaftlicher Sicht sind folgende Eigenschaften des Spülungssystems von besonderer Bedeutung:

- Minimierung von eingesetzten Chemikalien (Einkomponentensystem)
- Anorganische Zusammensetzung (Kohlenwasserstoffanalytik)
- Feststofffreie Darstellung
- Thermostabilität (keine Zersetzungsprodukte)

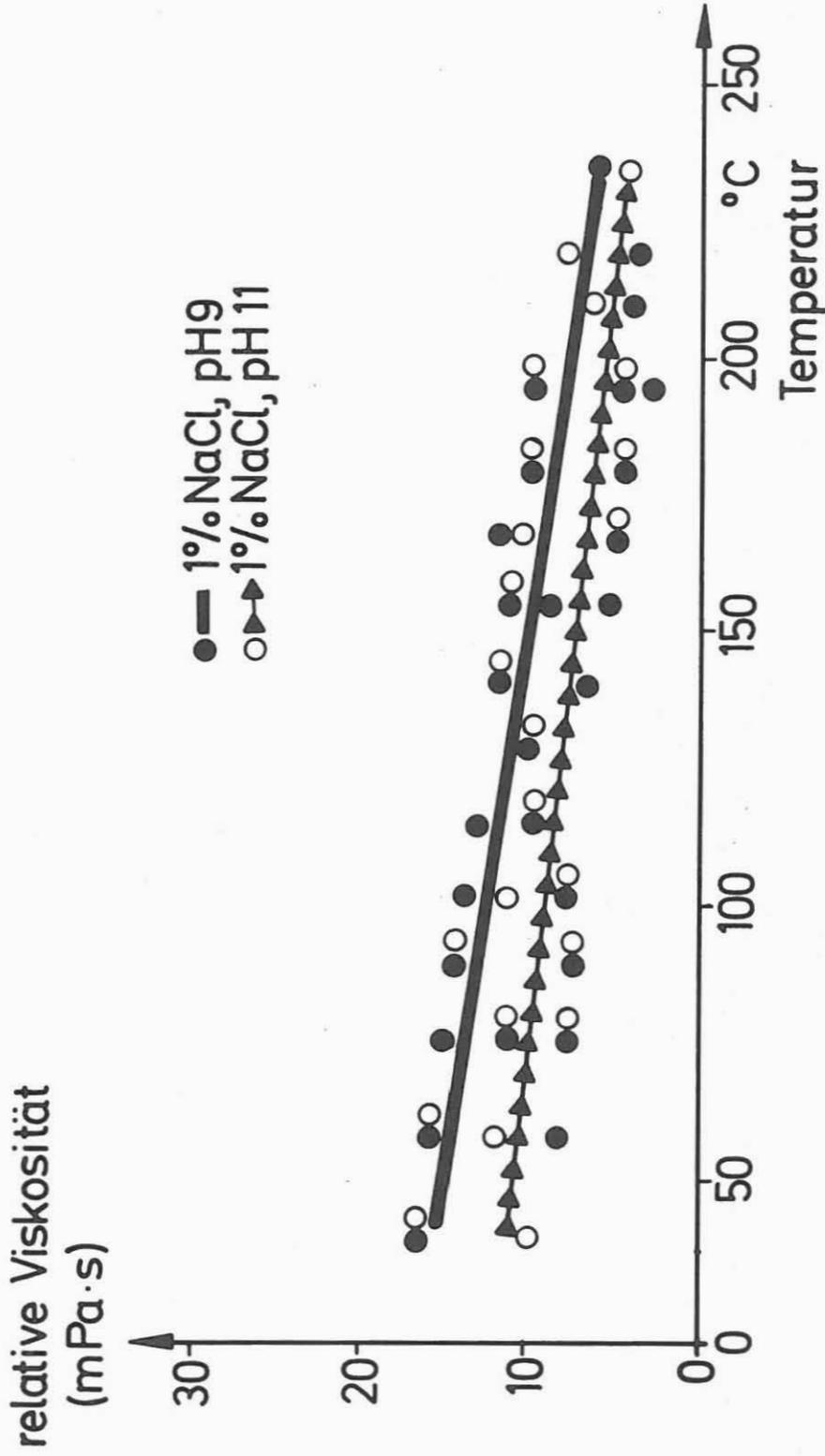
Aufgrund der bisherigen Erfahrungen ist davon auszugehen, daß eine der wesentlichen Zielstellungen, durch Analyse des umlaufenden Spülungsstromes Informationen über das durchteufte Gebirge wie Lithologie oder Fluidinhalte zu gewinnen, erreicht werden kann. Diesbezügliche Ergebnisse wurden bereits in einem vorangegangenen Vortrag vorgestellt.

5. AUSBLICK

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß es durch die intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit im bohrtechnisch-geowissenschaftlichen Bereich gelungen ist, ein Spülungssystem zu finden, das aufgrund der bisherigen Ergebnisse imstande ist, das besondere Anforderungsprofil des KTB-Projektes zufriedenstellend abzudecken.

Für einen Einsatz in der Hauptbohrung müssen die bisherigen Untersuchungen fortgesetzt und vertieft werden. Neben den Fragen des Hochtemperaturverhaltens sind, wie bereits einleitend angesprochen, hierbei auch Fragen der Bohrlochstabilität und ihrer spülungstechnischen Einflußparameter miteinzubeziehen.

(1,25% Dehydril HT; Lösung: Aufheiz- und Abkühlzyklen



Rheologisches Verhalten von Dehydril HT in Abhängigkeit von der Temperatur nach Henkel KGaA

KTB

Bohrtechnisch

- günstige rheologische Eigenschaften (Scherverdannung)
- niedriger Reibbeiwert
- gute Voraussetzungen für Bohrkleinabtrennung
- wirksame Verlustkontrolle
- Stabilisierung von Störungszonen (Vergelung)
- unproblematische Entsorgung (ökologische Unbedenklichkeit)
- einfaches Handling (Einkomponentensystem)
- Hochtemperaturstabilität

Geowissenschaftlich

- Minimierung von eingesetzten Chemikalien (Einkomponentensystem)
- Anorganische Zusammensetzung (Kohlenwasserstoffanalytik)
- Feststofffreie Darstellung
- Thermostabilität (keine Zersetzungsprodukte)

Eigenschaften des KTB-Spülungssystems

KTB