

8.4 Bohrlochstabilität

Ausführender: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover,
KTB-Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik, Dr. W. Kessels

Lfd.-Nr.	Datum	Projekt/Messung	Status
VB-A35	27.04.88	NLFB-103 278	Vortrag KTB-Schwerpunkt-Kolloquium in Gießen

Thema:

Untersuchungen zur Stabilisierbarkeit einer übertiefen Bohrung.

Ziel:

Erkennen von Problempunkten sowie Abschätzung von erforderlichen Maßnahmen zur Stabilität in der Bohrung.

Zusammenfassung:

Schon die ersten 1000 m der KTB-Vorbohrung haben gezeigt, daß Bohrlochinstabilitäten auch im Kristallin der KTB-Lokation auftreten.

Bei relativ konstanter Spülungszusammensetzung zeigen die Kalibermessungen starke Ausbrüche in den ersten Tagen nach dem Durchteufen der instabilen Formation an. Danach wächst das Bohrlochvolumen mit geringerer, aber kontinuierlicher Rate an.

Für eine Analyse des Stabilitätsverhaltens des Bohrloches stehen Kalibermessungen und die Gewichtsbilanzierung der grobkörnigen Bestandteile des Spülsaustretes zur Verfügung. Stabilisierende Maßnahmen sind nur über die Bohrspülung durch Veränderung ihres Gewichtes oder ihrer Viskosität denkbar.

Dabei muß eine Erhöhung des Spülgewichtes nicht zwangsläufig einen Stabilitätswachstum zur Folge haben. Eine Erhöhung des Porenwasserdruckes im Gebirge durch ins Gestein eindringende Spülung führt immer zu einem Stabilitätsverlust.

Ein deutliches Anzeichen hierfür waren die erhöhten Bohrlochausbrüche, die nach Herabsetzen der Spülviskosität für die Durchführung eines hydraulischen Testes auftraten. Aus den Zeitreihen der Spülungsparameter, Kalibermessungen und der Nachfallsiebung soll in Zukunft versucht werden, möglichst frühzeitig das Stabilitätsverhalten des Gebirges zu erfassen und die stabilisierenden Maßnahmen festzulegen.

Einleitung

Die Betrachtung der ersten Kalibermessungen, die in der KTB-Vorbohrung durchgeführt worden sind, zeigte bereits, daß in der anstehenden geologischen Formation mit Bohrlochrandausbrüchen zu rechnen ist. Bei nachfolgenden Wiederholungsmessungen ergab sich ein deutliches Wachstum dieser Ausbrüche.

Abb. 8.30 dokumentiert dies im oberen Teil der KTB-Vorbohrung.

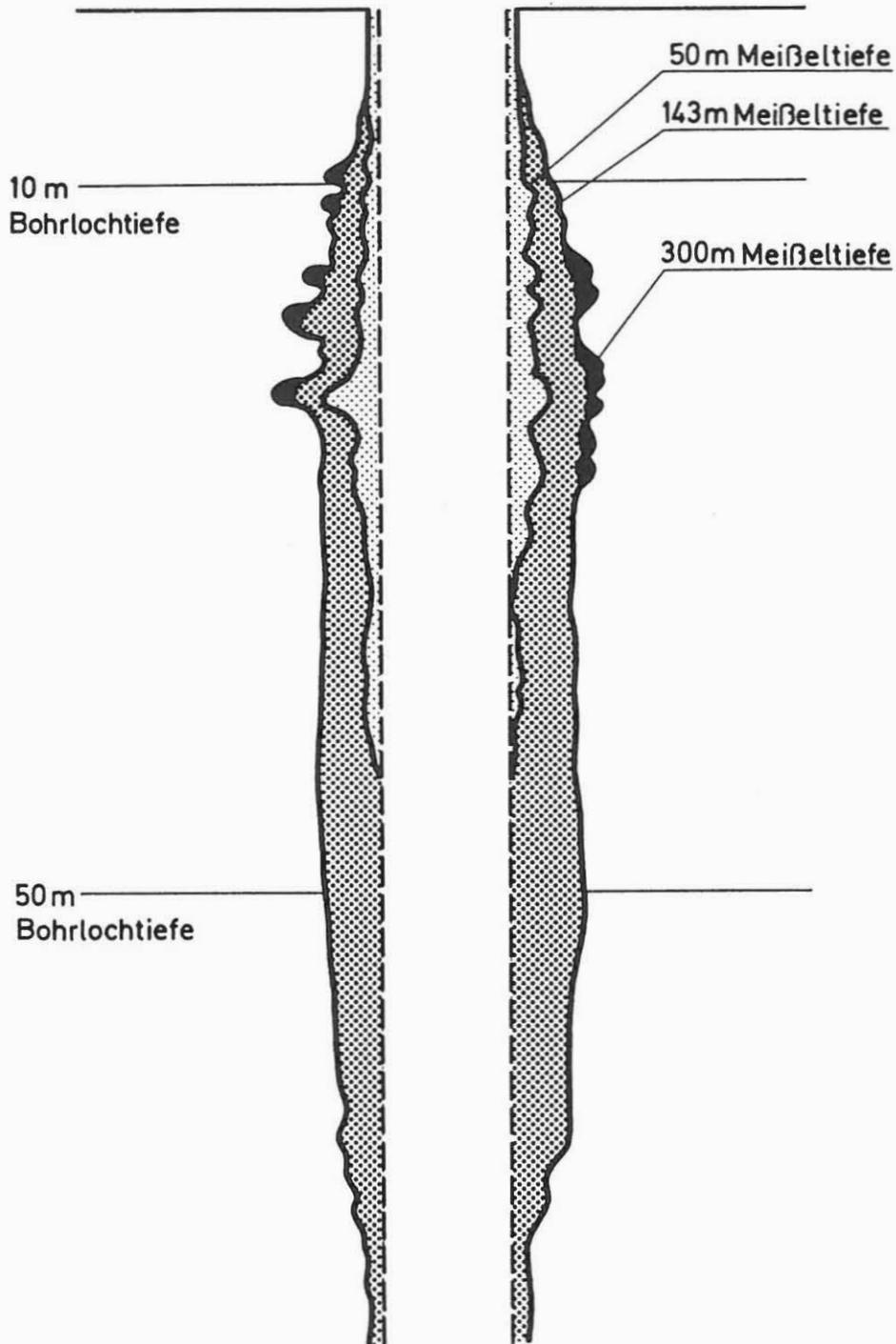
Viele Veröffentlichungen zum Thema Bohrlochstabilität (BRADLEY, 1979; CHEATHAM, 1984; GUENOT, 1987) zeigen, daß für die Stabilitätsrechnungen die im konkreten Fall als unbekannt anzusetzenden Festigkeitskennwerte und das ebenfalls unbekanntes Spannungsfeld der Kruste die entscheidenden Eingangsparameter sind. Alle bisherigen Berechnungen sind dabei vom Ansatz her stationär und damit nicht in der Lage, das zeitabhängige Wachsen von Ausbrüchen zu modellieren.

Insbesondere der instationäre Porenwasserdruckverlauf, der angeregt durch Druckänderungen der Spülungssäule, bei Druckerhöhung die Festigkeit des Gesteins herabsetzt (MURELL, 1965), dürfte für das Wachstum der Bohrlochrandausbrüche von besonderer Bedeutung sein. Dieses gilt auch für die mikroskopischen Spannungen im Gefüge des Gesteines, die bei Entlastung und Temperaturänderung in beträchtlichen Größen auftreten (KESSELS, 1987). Insbesondere in großen Tiefen können auch Krieeffekte für das mechanische Verhalten des Gesteines von Bedeutung sein (RUMMEL, 1986).

Aufgrund der geschilderten Schwächen aller Berechnungen zur Bohrlochstabilität, insbesondere der Unkenntnis der in die Rechnung eingehenden Materialparameter und Spannungsrandwerte, ist die Berechnung eines konkreten Ausbruches in Geometrie und zeitlicher Abfolge nicht denkbar. Dennoch sind solche theoretischen Überlegungen (ZANDER-SCHIEBENHÖFER et al., 1987) und entsprechende Laborversuche zum Festigkeitsverhalten des Gesteines (LEMPP et al., 1987) zum Erkennen der Abhängigkeiten Grundlage für jede Interpretation konkreter Bohrlochstabilitätsbeobachtungen.

Wie in Abb. 8.31 aufgezeigt, ist ein vordringliches Ziel für das Abteufen einer übertiefen Bohrung, Regeln für die Beeinflussbarkeit der Bohrlochstabilität durch technische Maßnahmen zu erarbeiten.

Aus diesem Grund wird in diesem Bericht nicht auf den möglichen Schluß von der Ausbruchorientierung zum Spannungsfeld der Kruste (BLÜMLING, 1986) eingegangen.



Ergebnisse der Kalibermessungen
in der KTB-Vorbohrung

Abb. 8.30
KTB

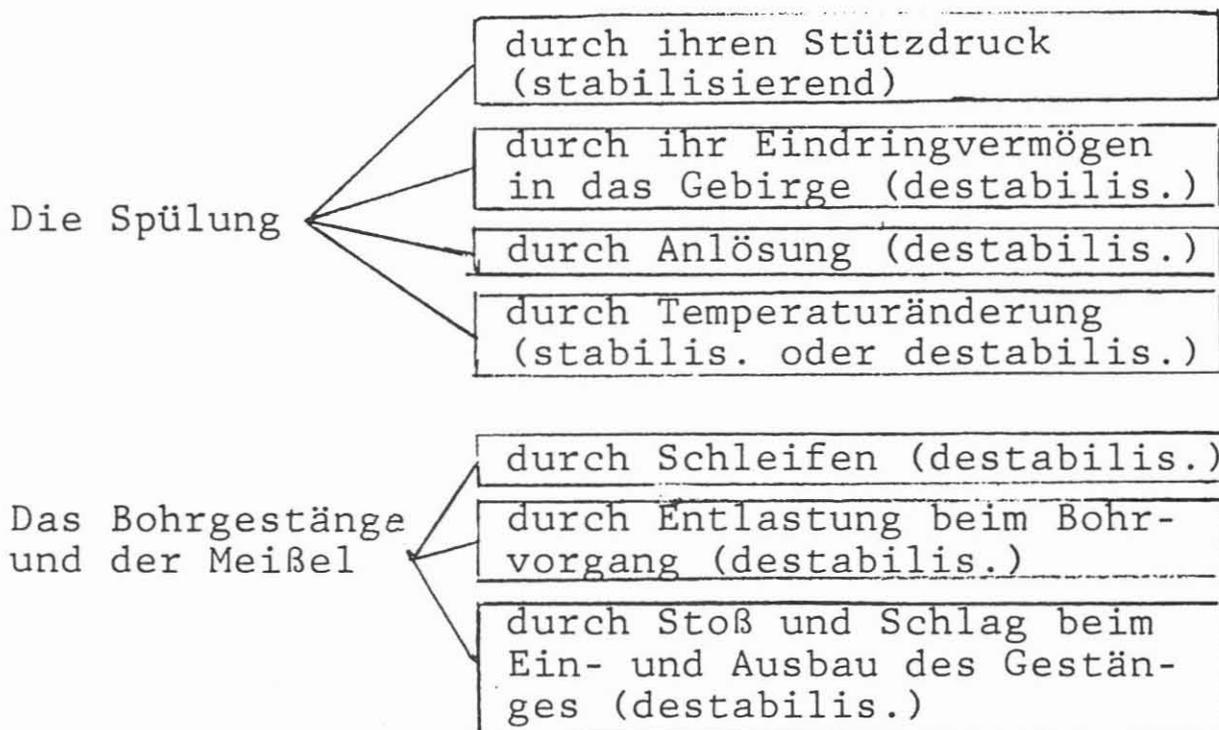
ZIEL

der Untersuchungen zur Bohrlochstabilität
der KTB-PL ist

REGELN

für ihre Beeinflußbarkeit zu erarbeiten

WELCHE BEEINFLUSSBAREN GRÖSSEN WIRKEN AUF
DIE
BOHRLOCHWAND



Ziele und Zielgrößen der Untersuchungen
zur Bohrlochstabilität

KTB

Abb. 8.31

Eine technische Einwirkung auf die Bohrlochwand findet allerdings nur über die Spülung und das Bohrgestänge mit dem Bohrmeißel statt. In Abb. 8.31 sind die wesentlichen Wirkungen dieses technischen Eingriffes aufgezeigt, wobei festzuhalten bleibt, daß grundsätzlich nur über die Bohrspülung ein stabilisierender Effekt möglich ist. Hierbei ist allerdings festzuhalten, daß jede Erhöhung des Stützdruckes (des Spülgewichtes) automatisch durch die in den Porenraum eindringende Spülung einen Festigkeitsverlust des Gesteines hervorruft. Dabei kann bei entsprechenden Spannungsrandbedingungen und hydraulischen Verhältnissen eine Erhöhung des Spülgewichtes eine Destabilisierung bewirken.

Ergebnisse der Bohrlochstabilitätsbeobachtungen in den ersten 1.000 m der KTB-Vorbohrung

Als Beobachtungen zur Bohrlochstabilität wurden im ersten Abschnitt der KTB-Vorbohrung die Kalibermessungen ausgewertet und für einen Teufenabschnitt von ca. 170 m der grobkörnige Spülsaustausch untersucht.

Es wird angestrebt, die Zeitreihen des Ausbruchsverhaltens der Bohrung mit den technischen Einflußparametern zu korrelieren und unter Berücksichtigung theoretischer Modellrechnungen und Festigkeitsuntersuchungen im Labor Stabilitätskriterien zu erarbeiten (s. Abb. 8.32).

Bei der in der KTB-Vorbohrung zur Anwendung kommenden Bohrtechnik (mit Diamant-Bohrkronen) ist zu erwarten, daß die Cuttings so klein sind, daß sie nicht vom Spülungssieb zurückgehalten sondern erst von der Zentrifuge aus der Spülung ausgeschieden werden. Es ist also damit zu rechnen, daß ein wesentlicher Teil des auf dem Schüttelsieb aufgefangenen grobkörnigen Anteiles in der Spülung als Nachfall anzusprechen ist. Erste mineralogische Untersuchungen scheinen dies zu bestätigen (STROH; TAPPER, persönliche Mitteilung, 1988).

Vom grobkörnigen Spülsaustausch wurde daher für den Bohrteufenbereich von 870 m bis 990 m ca. viermal täglich eine Gewichtsbestimmung vorgenommen. Das Ergebnis ist in Abb. 8.33 dargestellt. Die Masse des grobkörnigen Spülsaustausches zeigt bei allen Ein- und Ausbauten des Gestänges deutliche Spitzen. Allerdings lassen sich nicht alle Spitzen mit dem Gestängeeinbau korrelieren. Auch mit den Kernmärschen scheint sich eine schwache Korrelation anzudeuten, so daß davon ausgegangen werden kann, daß auch beim Ziehen eines Kernes grobkörnige Gesteinsteile in den Spülskreislauf gelangen. Aller-

MESSBARE BEOBACHTUNGEN ZUR BOHRLOCH-
STABILITÄT

1. Kaliber-und Televiermessungen
2. Untersuchung des Feststoffanteiles der Spülung

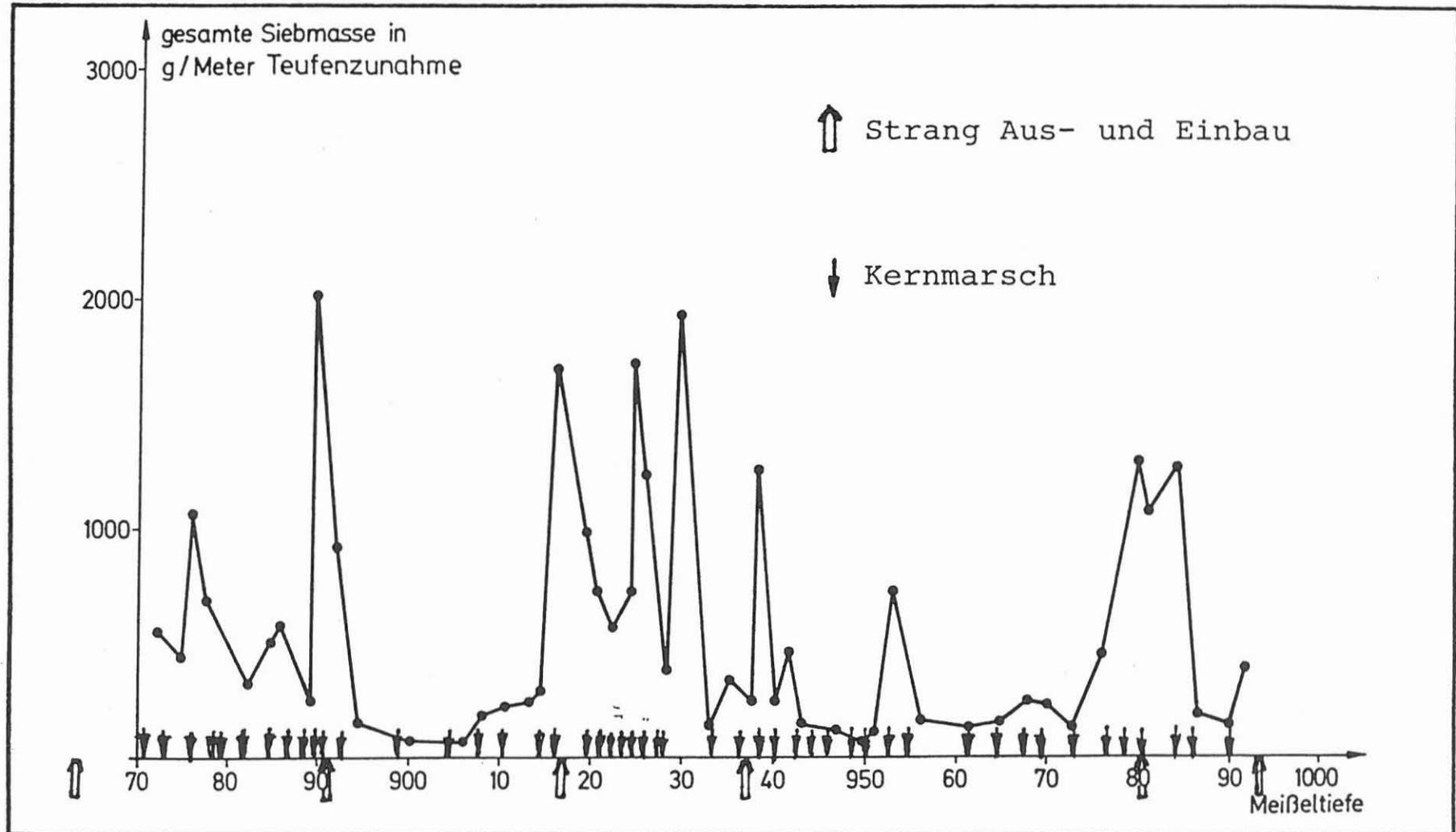
AUSSAGEN ÜBER DIE STABILISIERBARKEIT
KANN MAN ERHALTEN DURCH:

Korrelation des zeitabhängigen Ausbruch-
verhaltens mit den zeitlichen Änderungen
der technischen Einflußparameter

Grundlagen zur Stabilitätsanalyse

KTB

Abb. 8.32



Masse des grobkörnigen Anteils (>0,2 mm) der Spülsausträge bezogen auf die Teufenzunahme für den Teufenbereich 870 m - 990 m der KTB Vorbohrung

KTB
Abb. 8.33

dings ist für eine sichere Interpretation die bisher bestimmte Zeitreihe noch wesentlich zu kurz.

Wichtigster Bestandteil der Beobachtungen zur Bohrlochstabilität ist nach wie vor die Kalibermessung. Hier kann allerdings von der detaillierten Beschreibung einzelner Ausbrüche keine zahlenmäßig belegte Regel zur Stabilisierbarkeit der Bohrung abgeleitet werden. Für die folgenden Stabilitätsbetrachtungen wurden daher die Volumina V festgelegter Bohrlochabschnitte in ihrer zeitlichen Entwicklung ausgewertet. So kann man am ehesten der statistischen Natur eines inhomogenen Gesteinsverbandes Rechnung tragen.

Um die Ausbruchsvolumina, die zwischen zwei nachfolgenden Kalibermessungen für einen Bohrlochabschnitt entstanden sind, miteinander vergleichbar zu machen, wurden diese auf die Zeit zwischen beiden Messungen t und auf die Oberfläche O des Bohrlochabschnittes bezogen. Als Oberfläche wurde die Mantelfläche eines volumengleichen Zylinders mit der Länge des Bohrlochabschnittes angesetzt. Um Teufenabhängigkeiten festzustellen, wurde die Ausbruchsgeschwindigkeit eines Bohrlochabschnittes noch einmal auf die mittlere Ausbruchsgeschwindigkeit der gesamten Bohrung bezogen und so die Teufenausbruchszahl gebildet. In Abb. 8.34 sind die Definitionen noch einmal aufgeführt.

In Abb. 8.35 ist die zeitliche Entwicklung verschiedener 50 m langer Bohrlochabschnitte für den jetzt verrohrten Bohrlochbereich abgebildet. Man sieht hier, daß praktisch alle Bohrlochabschnitte ein kontinuierlich wachsendes Volumen besitzen. Es deutet sich schon bei diesen Messungen an, daß eine besonders starke Ausbruchsentwicklung kurz nach dem Durchteufen des beobachteten Tiefenbereiches auftritt. Um dies zu überprüfen, wurden die Teufenausbruchszahlen aller Kalibermessungen und betrachteten 50 m-Bohrlochabschnitte in Abb. 8.35 im Abstand vom Meißel dargestellt.

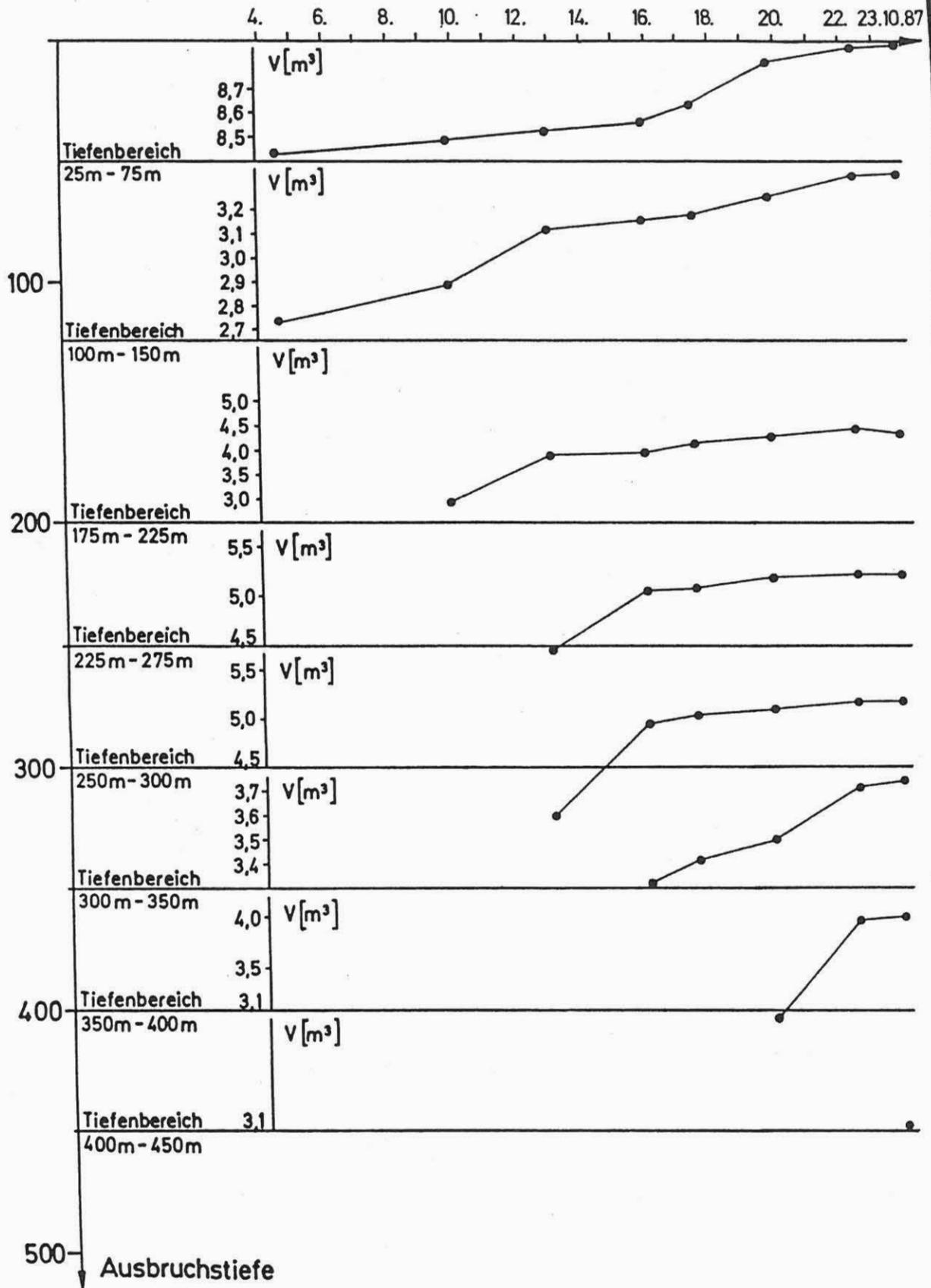
Ein Punkt bei einer Teufenausbruchszahl von 1 bedeutet hier, daß für den betrachteten Bohrlochabschnitt die Ausbruchsgeschwindigkeit der mittleren Ausbruchsgeschwindigkeit des ganzen Bohrloches entsprochen hat. Man kann in Abb. 8.36 deutlich erkennen, daß alle Bohrlochabschnitte, wenn sie einen kleinen Abstand vom Meißel besitzen, relativ große Teufenausbruchszahlen annehmen, d. h. daß die Ausbrüche hier stärker als die mittleren Ausbrüche des ganzen Bohrloches sind.

$V(t)$	=	Volumen eines Bohrlochabschnittes (10 m, 25 m, 50 m, 200 m)
ΔV	=	Volumenänderung eines Bohrloch- abschnittes zwischen 2 Kaliber- messungen
$\frac{\Delta V}{\Delta t_0} = \hat{V}$	=	bohrlochoberflächenbezogene Aus- bruchsgeschwindigkeit
$\frac{\hat{V}_{\text{Abschn.}}}{\hat{V}_{\text{ges. Bohr.}}} = \alpha$	=	Teufenausbruchszahl

Auswertungsgrößen aus den Kalibermessungen

KTB

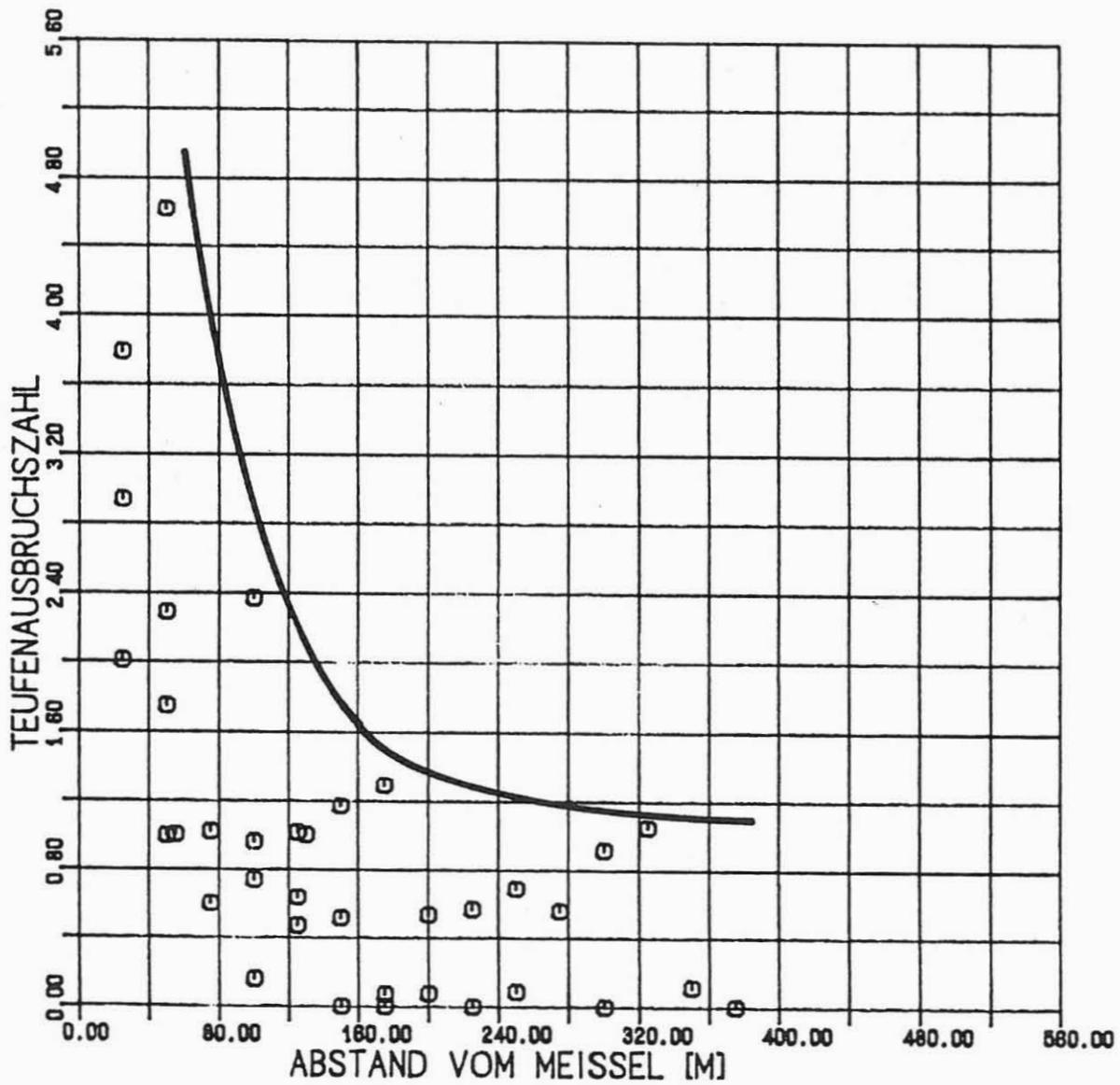
Abb. 8.34



Integriertes Volumen V gemessen im oberen Teil der KTB-Vorbohrung mit der Kalibersonde für verschiedene Teufenbereiche

KTB

Abb. 8.35



Die Teufenausbruchszahl in Abhängigkeit vom Meißelabstand

KTB

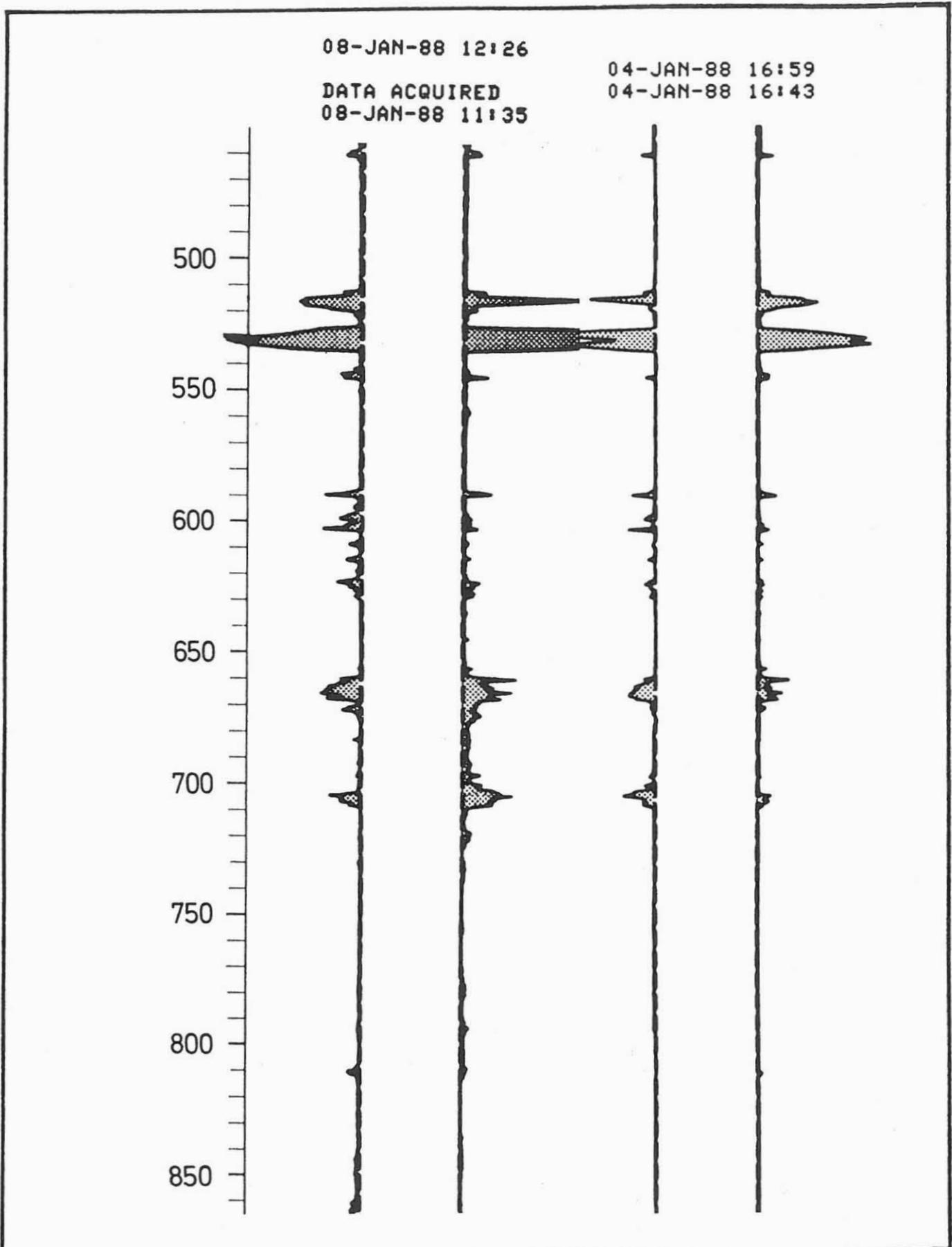
Abb. 8.36

Ausbruchsentwicklung während eines Absenkens der Spülungsviskosität

Zwischen dem 04.01. und dem 08.01.1988 wurde ein hydraulischer Packertest zur Fluidentnahme und zur Bestimmung der hydraulischen Parameter des Gebirges durchgeführt. Für diesen Test wurde die Spülungsviskosität durch die Zugabe von Wasser herabgesetzt und die Bohrung auszirkuliert. Die Packer konnten nach Beendigung des Testes nicht planmäßig gezogen werden.

Die Ursache für die festsitzenden Packer wurden aus der nachfolgenden Kalibermessung deutlich (s. Abb. 8.37). Praktisch über das gesamte Bohrloch waren vom 04. bis zum 08.01.1988 starke Bohrlochausbrüche festzustellen. Wie in Abb. 8.38 ersichtlich, ist diese Instabilität, dokumentiert im unteren Diagramm durch die Ausbruchsgeschwindigkeit, der Herabsetzung der Spülungsviskosität im mittleren Diagramm zuzuordnen. Dargestellt wurde hier die Fließgrenze der Spülung (Yieldpunkt), die während des Testes um einen Faktor 2 herabgesenkt wurde. Um zu untersuchen, ob die relativ starken Ausbrüche der jeweiligen Bohrlochoberfläche proportional sind, wurde für beide Kalibermessungen eine Auswertung der 10 m-Bohrlochabschnitte durchgeführt. Die Ausbruchsvolumina eines jeden Abschnittes wurden dann über der zugehörigen Bohrlochoberfläche (berechnet als Zylindermantel) aufgetragen (Abb. 8.39). Hier deutet sich eine deutliche Proportionalität des Ausbruchvolumens zur Bohrlochoberfläche an. Diese Abhängigkeit bleibt im Grundsatz auch noch bestehen, wenn zur deutlicheren Darstellung auf den 10 m-Abschnitt mit dem größten Ausbruchsvolumen in der Darstellung verzichtet wird (s. Abb. 8.40).

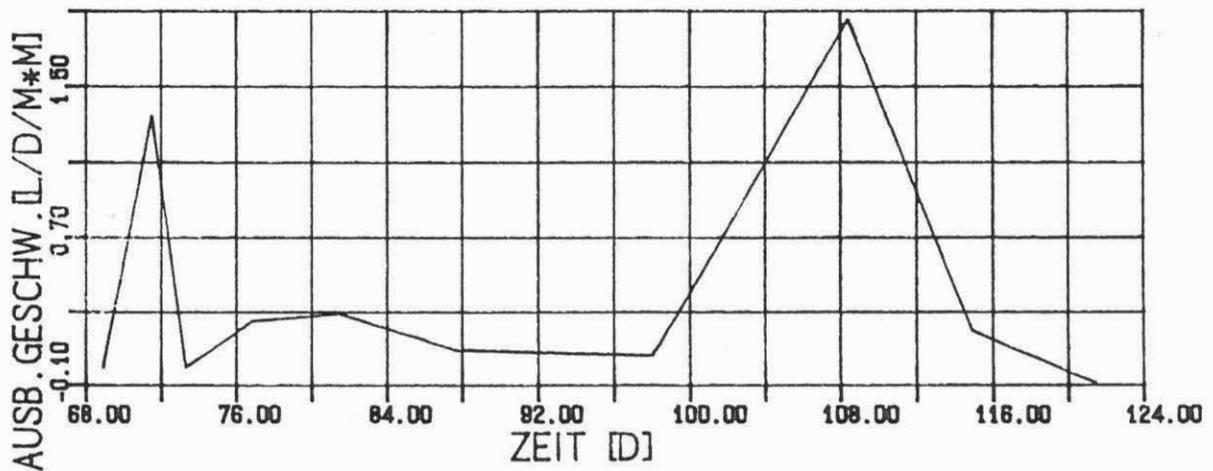
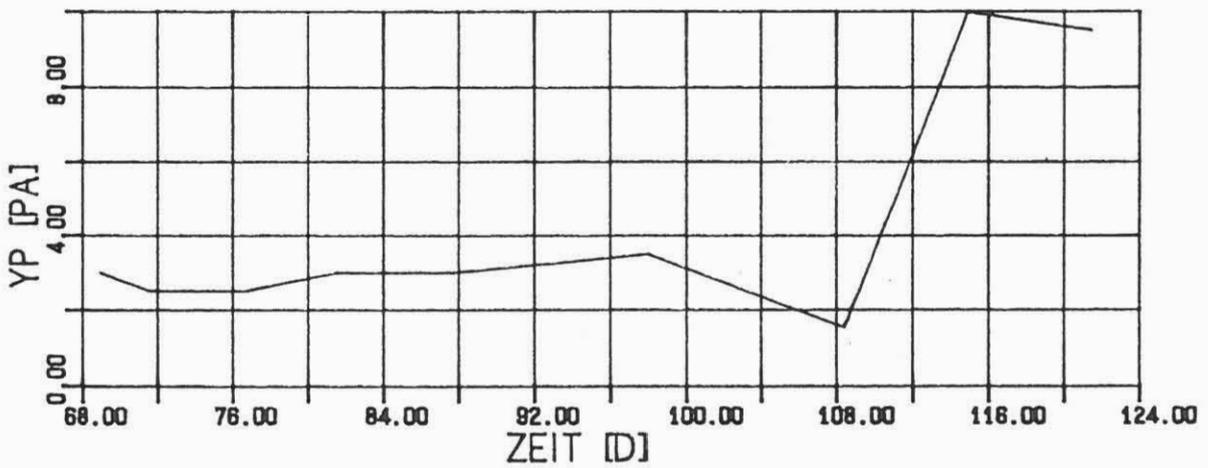
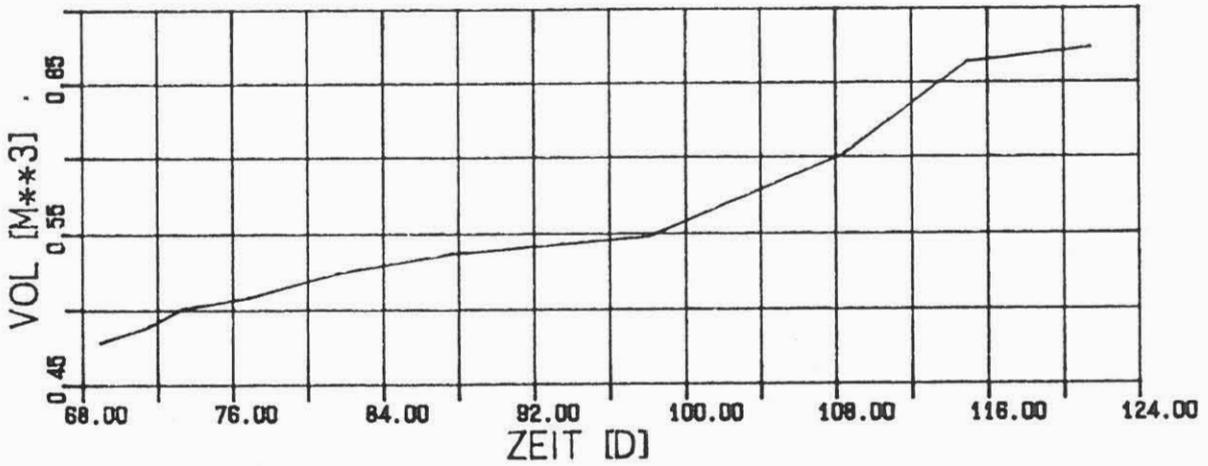
Die hier gezeigten Ergebnisse der Beobachtungen zur Bohrlochstabilität können selbstverständlich nur als ein Anfang der quantitativen Erfassung der Bohrlochstabilitätsbeobachtungen zur Erarbeitung von Regeln für die Bohrlochstabilisierbarkeit angesehen werden. Grundsätzlich bestätigt sich aber auch für diese Kristallinbohrung, daß eine Verhinderung des Eindringens der Spülung in den Porenraum des Gebirges durch eine hohe Spülungsviskosität oder durch Bildung einer hydraulisch isolierenden Schicht an der Bohrlochwand auf jeden Fall von Vorteil für die Erhaltung eines stabilen Bohrloches ist.



Kalibermessungen vor (4.1.88) und nach (8.1.88)
Verringerung der Spülungsviskosität und
Spülgelstärke in der KTB Vorbohrung

KTB

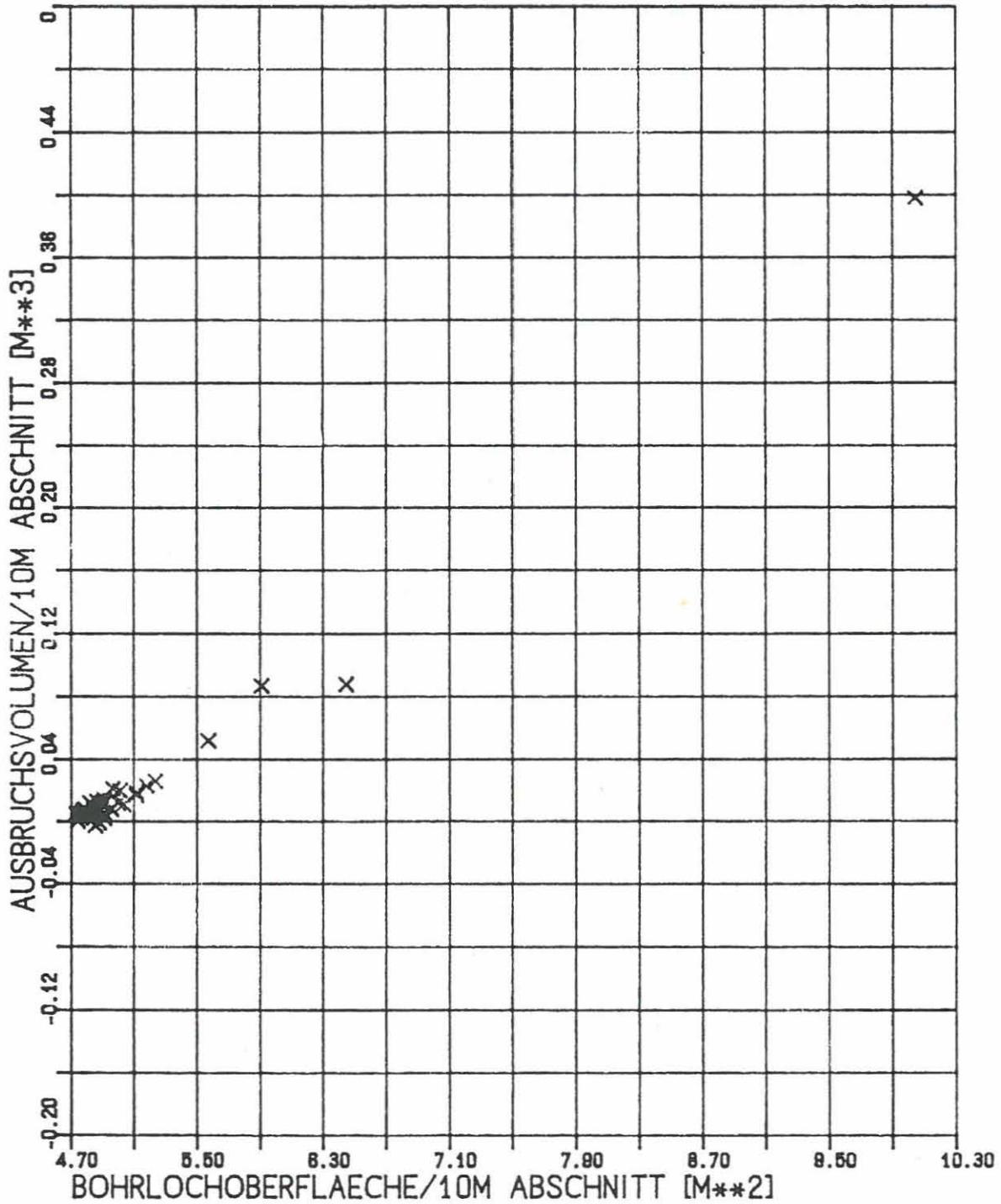
Abb. 8.37

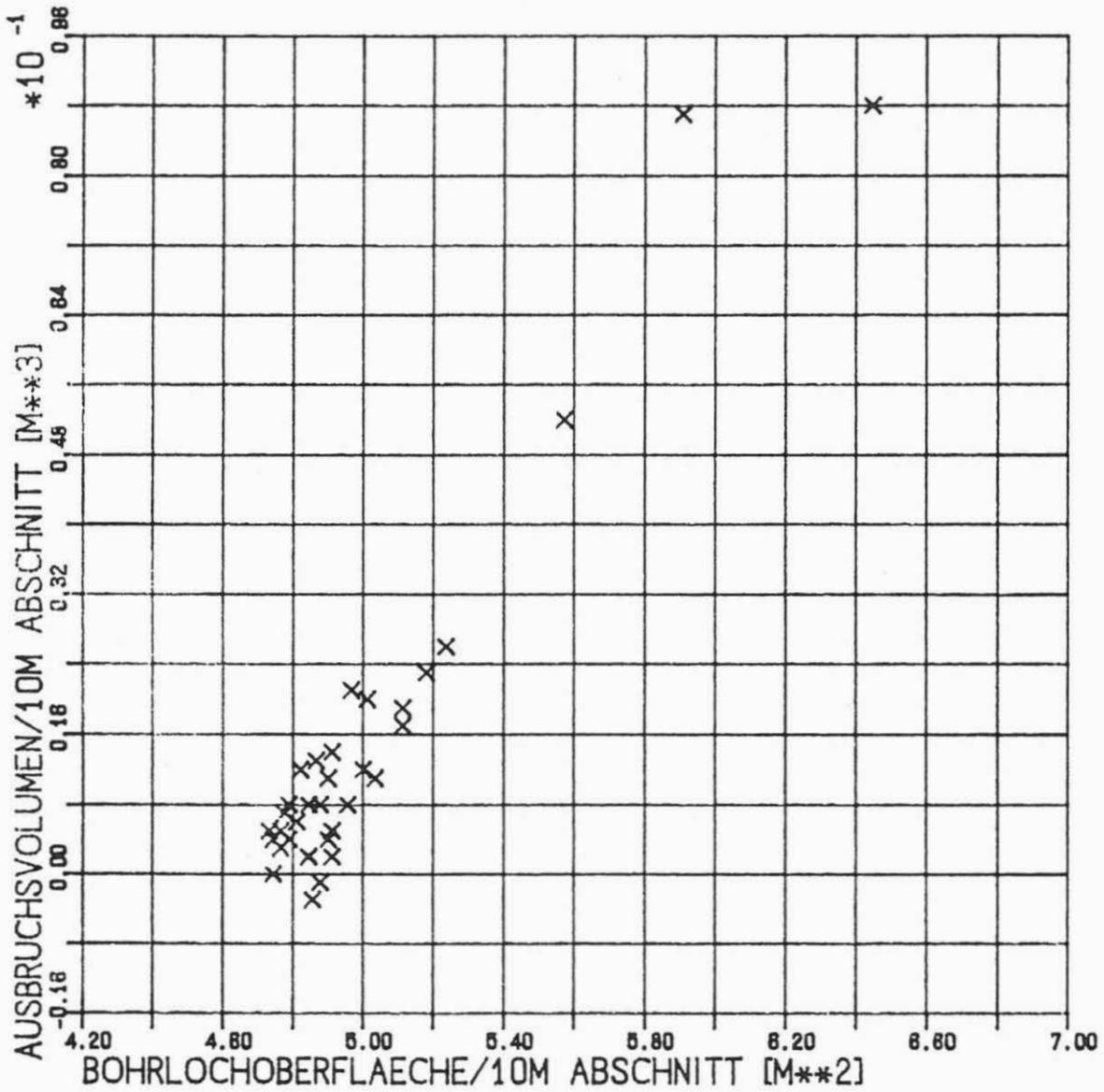


Ausbruchsgeschwindigkeit, Fließgrenze der Spülung und mittleres Volumen der 25 m-Bohrlochabschnitte für den Teufenbereich von 500 - 700 m

KTB

Abb. 8.38





Die Volumenzunahme V in 10 m Abschnitten der KTB Vorbohrung von 500m-800m nach dem Absenken der Spülungsviskosität in Abhängigkeit von der Oberfläche O des Bohrlochabschnittes

KTB

Abb. 8.40

Literatur

- Blümling, P. (1986): In situ Spannungsmessung in Tiefbohrungen mit Hilfe von Bohrlochrandausbrüchen und die Spannungsverteilung in der Kruste Mitteleuropas und Australiens. Dissertation, Universität Karlsruhe, 135pp.
- Bradley, W. B. (1979): Failure of Inclined Boreholes. Journal of Energy Resources Technology, Trans. ASME 101.
- Cheatham, J. B. (1984): Wellbore Stability. Journal of Petroleum Technology, AIME.
- Guenot, A. (1987): Contraintes et ruptures autour de forages pétroliers. Proc, 6th ISMR Congress, Montréal.
- Kessels, W. (1987): Das Spannungsfeld der Erdkruste und seine Wirkung auf eine übertiefe Bohrung. Beiträge zur DGG-Tagung 1987, KTB-Report 87-2, Nds. Landesamt für Bodenforschung, KTB-Projektleitung, Hannover.
- Lempp, Ch., Natau, O. (1987): Änderung von Festigkeitseigenschaften kristalliner Gesteine bei thermomechanischer Wechselbelastung im Hinblick auf die Bohrlochstabilität. KTB-PL F- und E-Projekt 2-609268, NLFb, Hannover.
- Murell, S. A. F. (1965): The Effect of Triaxial Stress Systems on the Strength of Rocks at Atmospheric Temperatures. Geophys. J. R. Astron. Soc. 10, 231-281.
- Rummel, F. (1986): Stresses and Tectonics of the Upper Crust - A Review. Proceedings of the international Symposium on Rock Stress and Rock Stress Measurements, ISRM, Stockholm.
- Stroh, Tapfer: Persönliche Mitteilung; KTB-Feldlabor, Windischeschenbach, 1988.
- Zander-Schiebenhöfer, D., Rokahr R.B., Lux K.H. (1987): Durchführung von projektbezogenen thermomechanischen Berechnungen für den bohrlochnahen Bereich der KTB unter Berücksichtigung von der Projektleitung aus der laufenden Bohrplanung entwickelter Randbedingungen. Zwischenbericht zum KTB-PL F- und E-Vertrag 609 637/8, NLFb, Hannover.