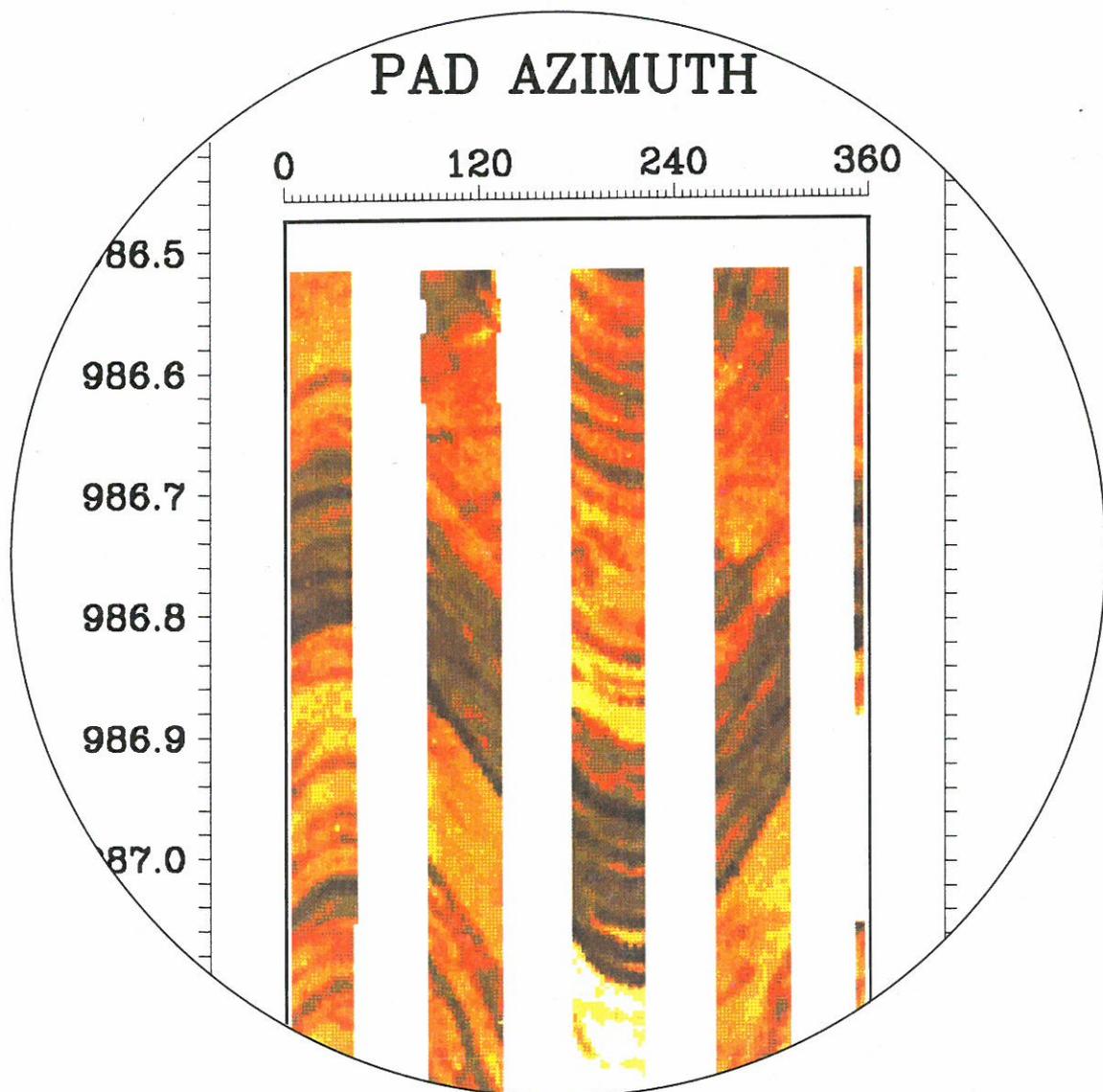


# KTB REPORT 88-4

## Grundlagenforschung und Bohrlochgeophysik (Bericht 4)

Bohrlochmessungen in der KTB-Oberpfalz VB

– Intervall 478,5–1529,4 m –



Herausgegeben von der  
Projektleitung Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland  
im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung

J. K. Draxler und R. Hänel

Redaktion: Prof. Dr. R. Hänel, Dipl.-Ing. J. K. Draxler

Druck: A. Bernecker, 3508 Melsungen

**Titelbild:**

Farbdarstellung einer Messung mit dem 4-Pad-Formation Micro-Scanner Tool (FMST; Prototyp Fa. Schlumberger); hohe Leitfähigkeit entspricht dunkler und niedrige Leitfähigkeit heller Farbtönung.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (Forschungskennzeichen: RG 8604) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

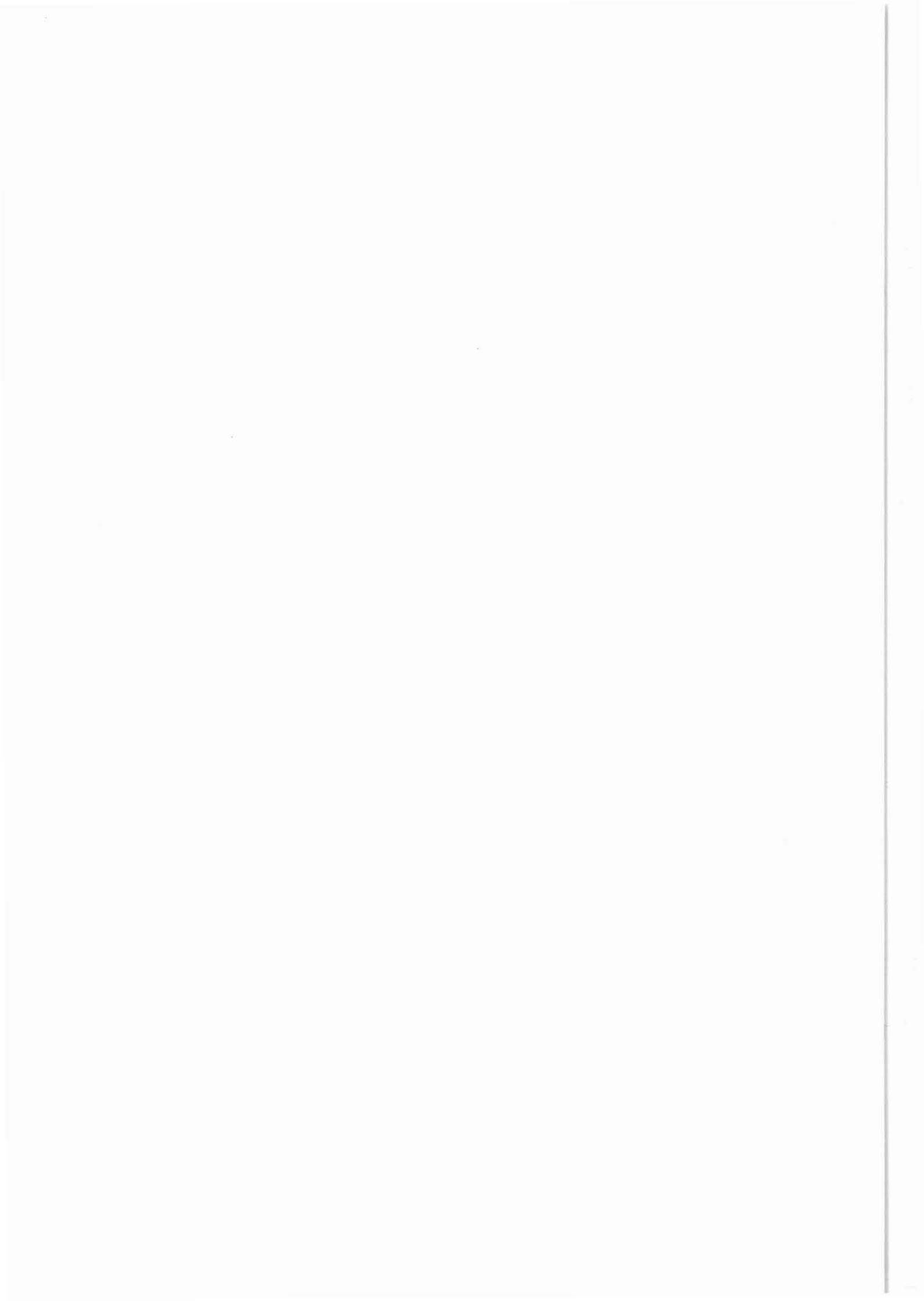
Anschrift des Herausgebers: Projektleitung KTB im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Postfach 510153, D-3000 Hannover 51. Telefon (0511) 643 2670.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung.....	3
2 Angaben zur Bohrung KTB-Oberpfalz VB.....	7
3 Übersicht zu den bohrlochgeophysikalischen Aktivitäten.....	9
4 Intervallmessungen 478,5 - 1529,4 m.....	17
4.1 Temperaturmessungen.....	17
4.2 Kaliber-, Neigungs- und Orientierungsmessungen..	24
5 Zweite Meßserie bei 992,0 m, dritte Meßserie bei 1529,4 m.....	27
6 Auswertungen, Zwischenberichte.....	63
7 Hydraulische Teste.....	113
8 Zwischenberichte der KTB-PL, Bohrlochgeophysik.....	121
8.1 Meßgeräte.....	121
8.2 Permeabilitätsbestimmungen.....	129
8.3 Temperaturstörungen.....	155
8.4 Bohrlochstabilität.....	179
9 Anforderung von KTB-Meßdaten.....	



# Zusammenfassung



## ZUSAMMENFASSUNG

Die bohrlochgeophysikalischen Aktivitäten werden unterschieden in Intervallmessungen, Meßserien, Auswerteergebnisse/Zwischenberichte und Hydraulische Teste. Der vorliegende Report ist als unmittelbare Fortsetzung des KTB-Reports 87-4 zu verstehen. Die anschließend durchgeführten Messungen werden aufgelistet, an Hand eines Log-Ausschnittes erläutert und durch technische Anmerkungen vervollständigt und zwischenzeitlich eingegangene Auswertungen werden analog vorgestellt.

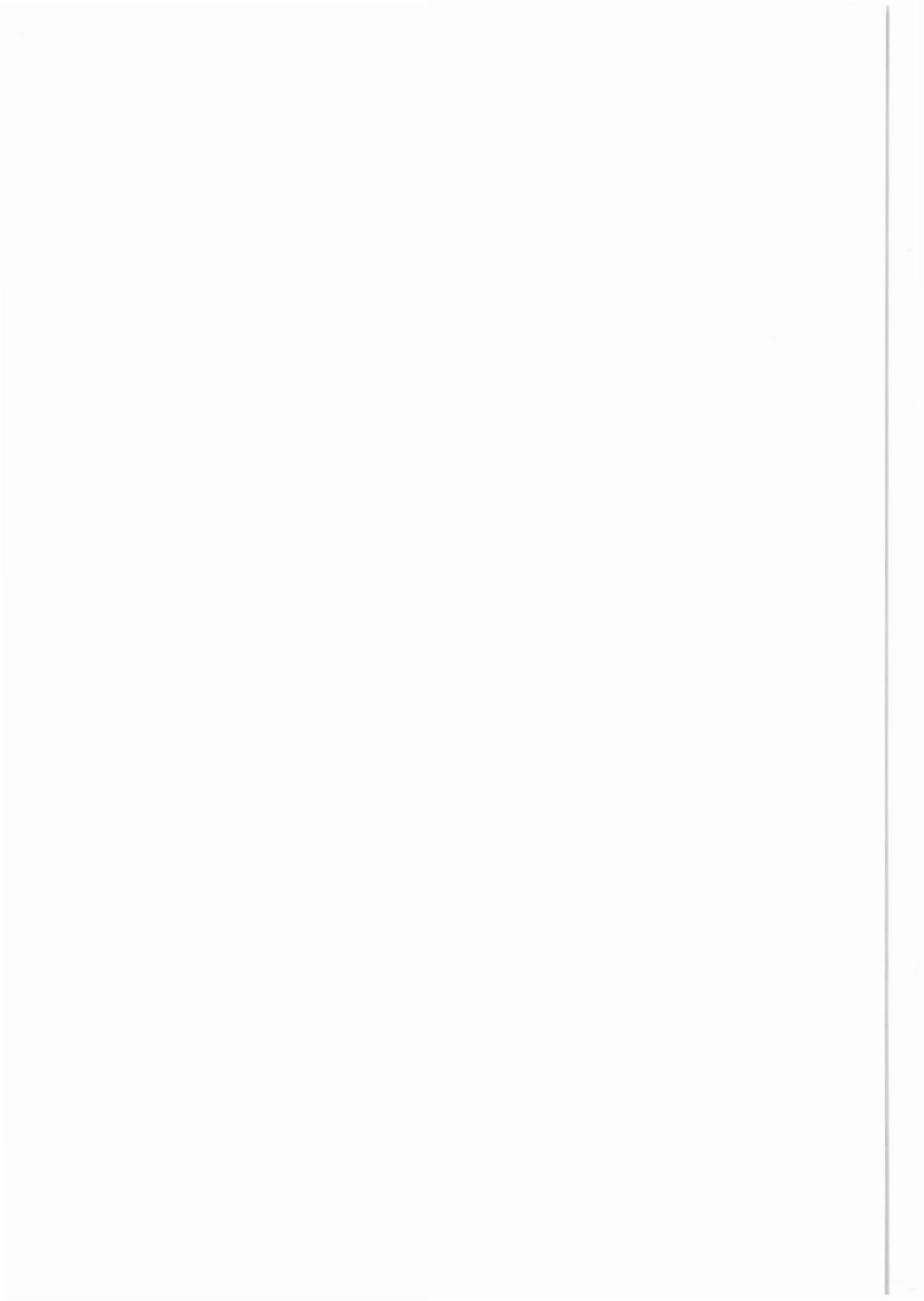
Ergänzt werden diese Ausführungen durch Berichte der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik der Projektleitung. Es handelt sich hierbei um eine Kurzbeschreibung von Bohrlochsonden, die im KTB-Report 87-3 nicht beschrieben wurden, um einen Beitrag zur Permeabilitätsermittlung, um zu erwartenden Temperaturstörungen in der Pilot- und Hauptbohrung sowie um Überlegungen zur Bohrlochstabilität.

Der Report dient zugleich als Dokumentation aller bisher ausgeführten Messungen.

Interessenten können unter Verwendung der dem Bericht beigelegten austrennbaren "Anforderungen für KTB-Bohrlochmeßdaten" die Daten und Auswerteergebnisse sowie Zwischenberichte abrufen. Mit der Entgegennahme der Daten erwächst dem Empfänger unter Berücksichtigung der Autorenrechte die Pflicht der regelmäßigen Berichterstattung über den Fortgang der Interpretationsarbeiten. Die Erstveröffentlichung muß in der KTB-Berichtreihe dokumentiert werden.



# 1 Einleitung



## 1 EINLEITUNG

Die Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik des Fachbereiches Operative Bohrgeologie der Projektleitung ist entsprechend den Empfehlungen der ARGE 4 (Gesteinsphysik, Bohrlochmessungen und Log-Interpretation) gehalten, die Geowissenschaftler des KTB-Projektes über die durchgeführten Bohrlochmessungen zu informieren. Gleichzeitig dient der vorgelegte Report als Dokumentation der bisher ausgeführten Bohrlochmessungen und verfügbaren Ergebnisberichte.

Die Durchführung der Messungen erfolgte auf der Basis des zu Beginn des KTB-Projektes erarbeiteten Arbeits- und Bohrlochmeßprogramms. Dieses wurde bereits in den KTB-Reporten 87-3 und 87-4 (Grundlagenforschung und Bohrlochgeophysik, Report 2 und 3) ausführlich beschrieben. Abweichungen hiervon ergeben sich aus den Erfordernissen, wie z. B. der Erfassung von permeablen Zonen zur Durchführung von Drill Stem Testen. Eine Übersicht über die geplanten Messungen - und als Vergleich zu den tatsächlich ausgeführten Messungen - kann den Abbildungen 1.1 und 1.2 entnommen werden.

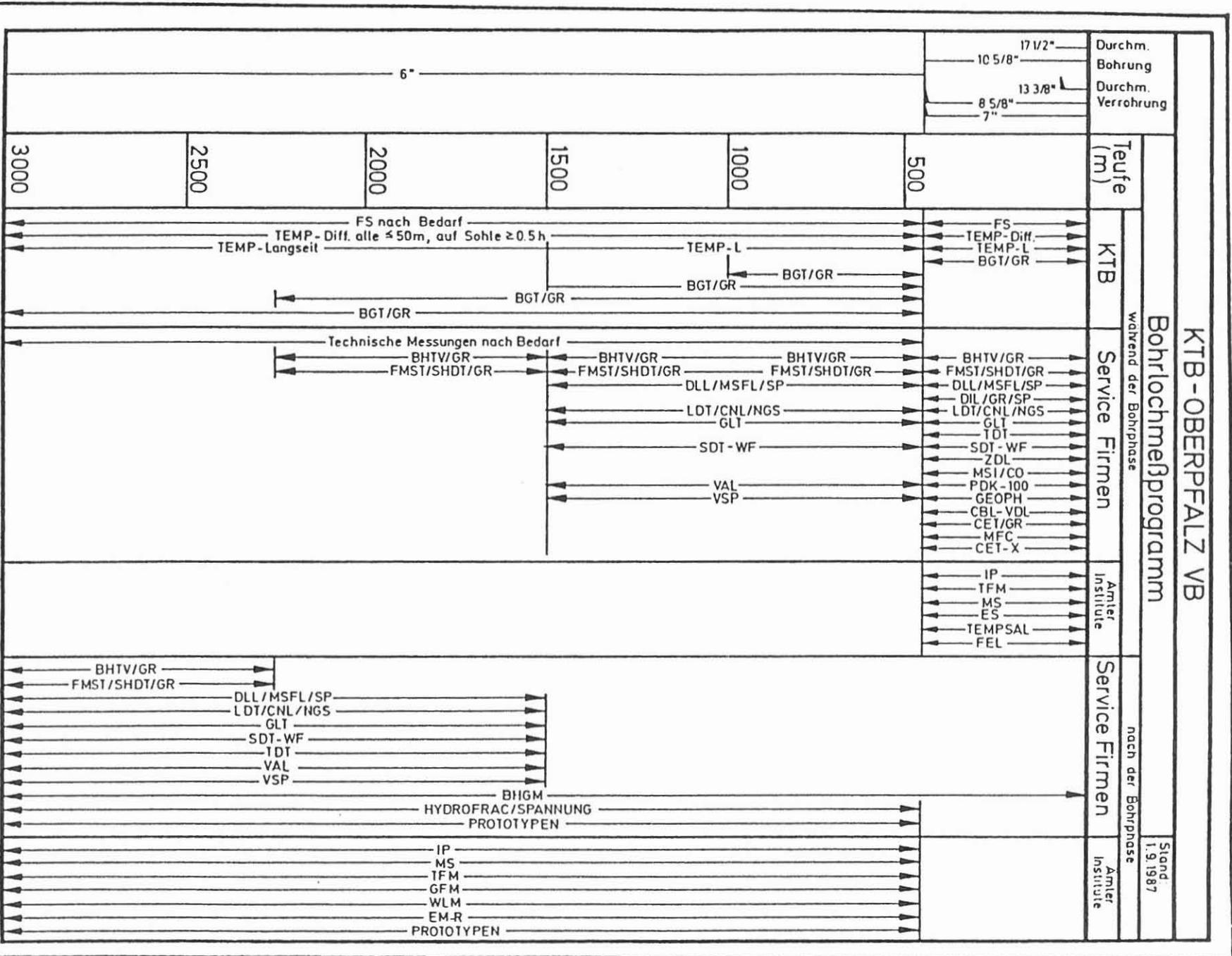
Die Meßergebnisse der Bohrlochmessungen bis in 478,5 m Tiefe sind in dem KTB-Report 87-4 (Grundlagenforschung und Bohrlochgeophysik, Bericht 3) dokumentiert. Der vorliegende Report ist die Fortsetzung dieser Dokumentation und stellt die Meßergebnisse bis in 1529,4 m zusammenfassend vor. Insgesamt wurden bisher 143 Bohrlochmessungen nahezu störungsfrei ausgeführt, davon 126 mit der Dauermeßstation.

Soweit möglich, wurden die Echtzeit-Messungen in LIS-Format auf Magnetband und auf Film oder Papier aufgezeichnet. Von diesen Filmen fertigte man an der Lokation Lichtpausen an. Sie tragen den Vermerk "FELDPAUSE" und sind als Sofortkopien gedacht.

Für Ausarbeitungen und Interpretationen sollen ausschließlich korrigierte Daten verwendet werden. Mit der Entgegennahme der Daten erwächst dem Empfänger gemäß dem oben genannten Datenflußdiagramm die Pflicht, der Projektleitung bzw. in den ARGEN regelmäßig über den Fortgang der Interpretationsarbeiten zu berichten, vergl. hierzu KTB-Report 87-3 sowie Protokoll ARGE 4 vom 20.08.1987. Entsprechend diesem Protokoll sind auch die Autorenrechte zu beachten. Erstveröffentlichungen sind in KTB-Reporten vorzusehen.

Die Meßdaten können, nachdem sie teufenkorrigiert und normalisiert sind, bei der Projektleitung des KTB unter Verwendung der diesem Report beigefügten austrennbaren "Anforderungen für KTB-Bohrlochmeßdaten" abgerufen werden:

Dipl.-Ing J. K. Draxler, NlFB-KTB PL  
Stilleweg 2, 3000 Hannover 51  
Tel.: 0511-6432673 (H), 09681-40028 (WE)  
Fax: 0511-6432686 (H), 09681-40038 (WE).



**KTB - OBERPFALZ VB**

**Bohrlochmeßprogramm**

während der Bohrphase

nach der Bohrphase

Stand:  
1.9.1987

KTB

Service Firmen

Ämter  
Institute

Service Firmen

Ämter  
Institute

Durchm.  
Bohrung  
Durchm.  
Verrohrung

Teufe  
(m)

**PLANUNG : BOHRLOCHMESSUNGEN**

JD-87/1



Abbildung 1.1





2 Angaben zur Bohrung  
KTB-Oberpfalz VB



## 2 ANGABEN ZUR BOHRUNG KTB-OBERPFALZ VB

Nachstehend werden einige Angaben nur insoweit zusammengestellt, als diese für die Durchführung der Bohrlochmessungen bzw. für die später sich anschließenden Interpretationen von Bedeutung sind.

### Lokation

- . Koordinaten: R-Wert 5519 865,  $\lambda$  : 15° 14' 7"
- . H-Wert 4508 590,  $\varphi$  : 40° 42' 57"
- . Höhe über NN: 513,5 m; auch Ackersohle genannt
- . Gemeinde: Windischeschenbach
- . Kreis: Neustadt an der Waldnaab
- . Land: Bayern

### Angaben zur Bohranlage

- . Typ: Salzgitter A-Mast
- . Drehtischhöhe: 7,4 m über Ackersohle
- . Teufenbezugshöhe: Ackersohle
- . Verrohrungstiefen:
  - 13 3/8" bis 27,4 m (zementiert)
  - 8 5/8" bis 478,5 m (zementiert)
  - 7" EXL-WC bis 480,0 m
  - (Schutzrohrfahrt, nicht zementiert)

### Bohr- und Meßzeiten

- . Bohrbeginn 22.09.1987, 18.00 Uhr
- . Einstellen der Zirkulation 26.10.1987, 12.30 Uhr
- . Bohrlochmessungen 478,5 m 26.10.1987, 15.00 Uhr bis
- . und Drill Stem Teste 07.11.1987, 9.00 Uhr
  
- . Bohrbeginn 14.11.1987, 7.00 Uhr
- . Einstellen der Zirkulation 19.12.1987, 12.30 Uhr
- . Bohrlochmessungen 992 m 19.12.1987, 16.45 Uhr
- . Unterbrechung 23.12.1987, 14.00 Uhr bis
- . 04.01.1988, 6.00 Uhr
- . Bohrlochmessungen 992 m 04.01.1988, 11.00 Uhr bis
- . und Drill Stem Teste 09.01.1988, 11.30 Uhr
  
- . Bohrbeginn, Richtbohr- 10.01.1988 bis 28.01.1988
- . arbeiten (992 - 1228,8 m)
- . Fortsetzung der Kernbohr- 31.01.1988, 06.00 Uhr bis
- . arbeiten 27.02.1988, 4.00 Uhr
- . Einstellen der Zirkulation 27.12.1988, 10.00 Uhr
- . Bohrlochmessungen 1529,4 m 27.02.1988, 15.30 Uhr bis
- . 03.03.1988, 07.30 Uhr

#### Spülung bei Meßbeginn am 19.12.1987

- . Süßwasser mit Dehydril HT
- . Spülgewicht: 1,02 g/cm<sup>3</sup>
- . Spülviskosität (Trichter): 33/27 s
- . Spülungswiderstand: 11,0 Ohm m bei 23,6 °C
- . pH-Wert der Spülung: 9,28

#### Spülung bei Meßbeginn am 04.01.1988

- . Süßwasser mit Dehydril HT
- . Spülgewicht: 1,02 g/cm<sup>3</sup>
- . Spülviskosität (Trichter): 35/28 s
- . Spülungswiderstand: 13,4 Ohm m bei 16 °C
- . pH-Wert der Spülung: 8,26

#### Spülung bei Meßbeginn am 28.02.1988

- . Süßwasser mit Dehydril HT
- . Spülgewicht: 1,02 g/cm<sup>3</sup>
- . Spülviskosität (Trichter): 41/37 s
- . Spülungswiderstand: 8,5 Ohm m bei 15 °C
- . pH-Wert der Spülung: 9,29

#### Kerngewinn

Bis zur Teufe von 478,5 m wurde mit dem Rotary-Bohrverfahren gearbeitet. Dieses Bohrverfahren erlaubte für den Kerngewinn den Einsatz des sog. Doppelkernrohres, welches aufgrund der Erfahrungen i. a. keinen 100 %igen Kerngewinn erwarten läßt.

Ab 478,5 m Tiefe wird das Mining-Bohrverfahren eingesetzt. Dieses Verfahren ermöglicht in Verbindung mit einem Doppelkernrohr einen optimalen Kerngewinn.

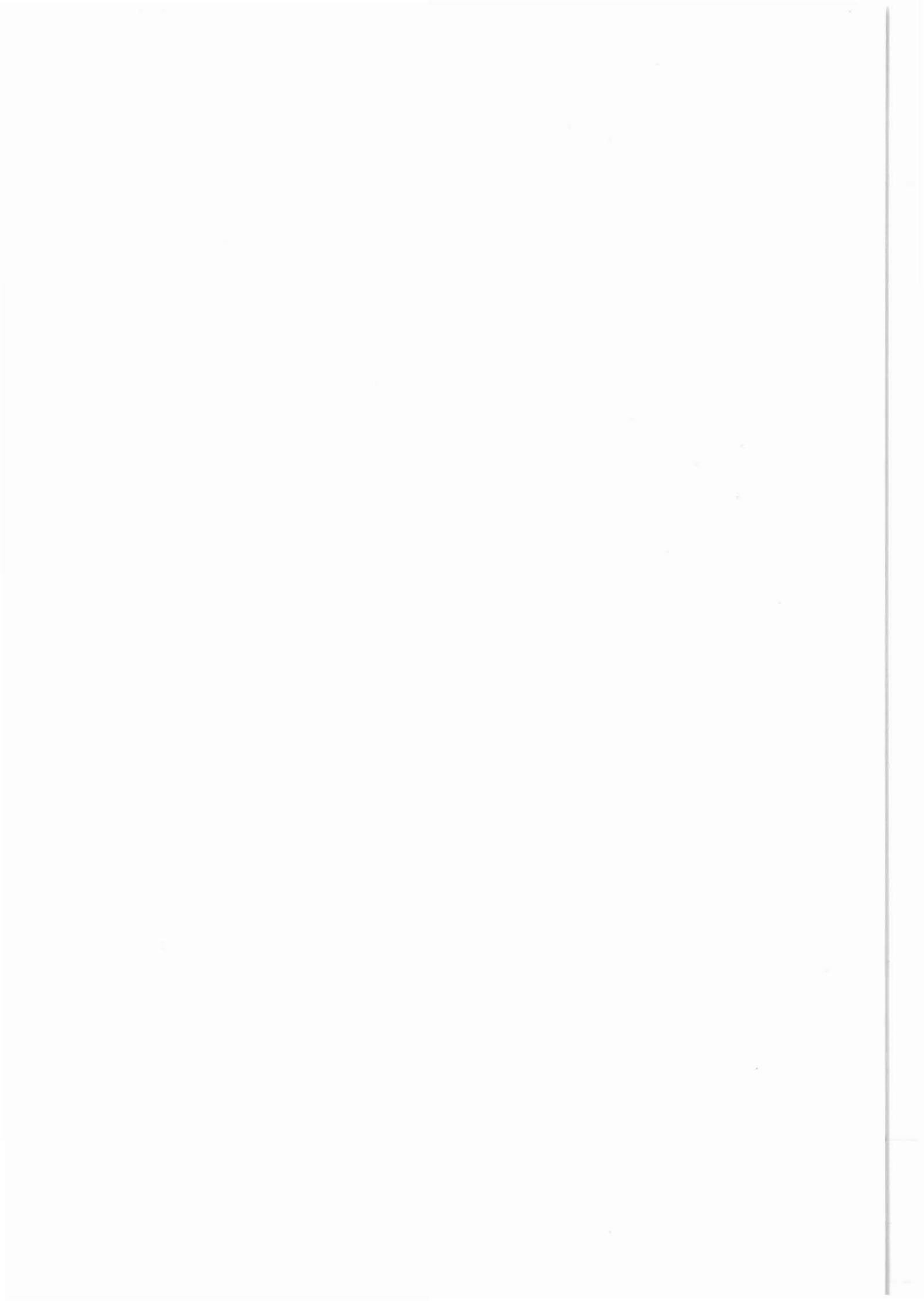
Kerngewinn:

0 - 28 m:	-
28 - 86 m:	ca. 1 %
86 - 333 m:	ca. 35 %
333 - 478 m:	ca. 79 %
478 - 992 m:	ca. 98 %
992 - 1177 m:	- (Richtbohrstrecke)
1177 - 1183 m:	100 %
1183 - 1228,8 m:	- (Richtbohrstrecke)
1228,8 - 1529 m:	ca. 98 %

Damit steht genügend Bohrkernmaterial für Laboruntersuchungen sowie vergleichende Untersuchungen mit den Bohrlochmessungen zur Verfügung.

Während der Neigungskorrektur (Richtbohrphase) konnte nicht gekernt werden. Ein Korrelationskern wurde in Tiefe von 1177 - 1183 m gebohrt.

### 3 Übersicht zu den bohrloch- geophysikalischen Aktivitäten



### 3 ÜBERSICHT ZU DEN BOHRLOCHGEOPHYSIKALISCHEN AKTIVITÄTEN

Die bohrlochgeophysikalischen Aktivitäten lassen sich unterteilen in:

- Intervallmessungen. Messungen, die während des Abteufens der Bohrung ausgeführt werden.
- Meßserien. Messungen, die von einer bestimmten momentanen Sohle der Bohrung entsprechend der Planung ausgeführt werden.
- Auswertungen, Zwischenberichte. Ergebnisse, die aufgrund einer weiteren Bearbeitung der Intervallmessungen bzw. Messungen aus den Meßserien erzielt werden.
- Hydraulische Teste. Untersuchungen mit dem Ziel, Fluide und geohydraulische Parameter zu erlangen.

Im folgenden wird eine tabellarische Übersicht über alle bisher ausgeführten Messungen, Auswertungen, Zwischenberichte und Hydraulischen Teste gegeben:

Tab. 3.1 - Bohrlochmessungen (Intervallmessungen,  
Meßserien)

Tab. 3.2 - Auswertungen, Zwischenberichte

Tab. 3.3 - Hydraulische Teste.

Die in Tabellen aufgelisteten Arbeiten (Messungen, Auswertungen, Teste) tragen folgende für die Archivierung gewählte Identifizierung, wobei VB für Vorbohrung steht:

für Messungen	VB-00001, 0002 ....
für Auswertungen	VB-A0001, A0002 ...
für Teste	VB-T0001, T0002 ...

Weitere Angaben sind:

Das Datum ist der Tag der Durchführung der Messung, der Auswertung oder des Testes. Die Zeitangabe gibt den Meßbeginn, die Meßzeit und die Gesamtzeit in Stunden (60 Minuten) an. Ferner wurde angegeben die Meßstrecke, Ausführender, Datenträger und Maßstab der Log-Aufzeichnungen.

Für die Bezeichnungen der Messungen, Auswertungen und Teste wurden die firmenüblichen Abkürzungen übernommen.

Unter der Run-Nr. ist die Anzahl der Messungen oder Teste mit demselben Gerät (System) in der Bohrung zu verstehen.

Besonderheiten werden unter Bemerkungen erwähnt.

Legende zu den Tabellen 3.1, 3.2 und 3.3

Liste der Ausführenden:

<u>Nr.</u>	<u>Name</u>
1	KTB
2	NLFB
3	BGR
4	Schlumberger
5	Western Atlas
6	WBK
7	ELGI (Ungarn)
8	PRAKLA-SEISMOS
9	PETRODATA
10	TU München
11	PREUSSAG
12	TU Berlin
13	Lynes
14	Universität Karlsruhe

Liste der Datenträger:

<u>Kürzel</u>	<u>Bedeutung</u>
A	Plot
B	Western Atlas Tape (BIT)
D	Datenliste
F	Film
L	Schlumberger Tape (LIS)
O	Floppy
P	Pause
R	Report/Bericht
S	Seismic Tape (SEGY)
T	Transparent

Liste der Maßstäbe:

<u>Kürzel</u>	<u>Bedeutung</u>
1	1 : 1000
2	1 : 200
4	1 : 40
5	1 : 50
8	1 : 80
A	1 : 25
B	1 : 10
C	1 : 5
S	stationär

Erläuterung der Abkürzungen:

AMS	Auxiliary Measurement System
BGL	Borehole Geometry Log
BHTV	Borehole Teleyviewer
CBL	Cement Bond Log
CEL	Cement Evaluation Log
CNL	Compensated Neutron Log
DIL	Dual Induction Log (Phasor)
DLL	Dual Laterolog
DST	Drill Stem Test
ES	Electrical Survey
FEL	Focused Electrical Log
FMST	Formation MicroScanner Tool
FS	Fluid Sampler
GEOPH	Geophone Survey
GLT	Geochemical Logging Tool
GRL	Gamma Ray Log
GYRO	Gyroscope
HRT	High Resolution Temperature Log
IP	Induced Polarisation (stationary-continuous)
LDT	Litho-Density Tool
MEMT/MEMN	Memory/Temperature, Memory/Neigung
3-D MAG	3-Component Magnetometer
MFC	Multi-Finger-Caliper
MS	Magnetic Susceptibility
MSFL	Micro Spherically Focussed Log
MSI/CO	Multiparameter Spectroscopy Instrument/Continuous Carbon Oxygen Log
NGS	Natural Gamma Spectrometer
PDK-100	Pulsed Neutron Decay Time-100 channel
SDT	Sonic Digital Tool
SHDT	Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool
SP	Spontaneous Potential
TDT-P	Thermal Neutron Decay Time, Type "P"
TEMP	Temperature
TEMP-DIFF	Temperature; Temperaturmessung mit 2 Sensoren
TEMP-DVH	Temperature; Temperatursonde mit 2 Sensoren mit variablem Spacing, Messung im Hängen (Einfahrt)
TEMP-DVS	Temperature; Temperatursonde mit 2 Sensoren mit variablem Spacing, Stationärmessung
TEMP-DFS	- wie vor, jedoch mit festem Spacing (114 cm)
TEMP-SAL	Temperature-Salinity
VAL	Variable Amplitude Log
WF	Waveform Recording
ZDL	Z-Density Log

Lfd.Nr.	Datum	Uhrzeit	Ges.zeit	Messzeit	Teufe		Ausf.	Messungen	Daten-traeeger	Mess-stab	Bemerkungen	Run
					Top	Basis						
VB-00001	240987	1030	230	045	0.0	27.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	F/L	2		1
VB-00002	260987	000	200	045	10.0	52.1	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	F/L	2		2
VB-00003	260987	200	130	010	12.7	52.5	1	BGL/GA	P/L	2		2
VB-00004	280987	415	300	045	0.0	97.8	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	F/L	2		3
VB-00005	280987	715	245	055	0.0	94.0	1	BGL/GA	P/L	2		3
VB-00006	011087	1300	230	130	0.0	146.3	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	P/L	2		4
VB-00007	011087	1530	130	020	25.0	144.0	1	BGL/GA	F/L	2		4
VB-00008	011087	1700	130	045	0.0	144.0	1	TEMP-DIFF/GR	P/L	2S	GEOCOM (#2/3/4)	4
VB-00009	041087	930	230	045	21.0	180.0	1	BGL/GA	F/L	2		5
VB-00010	041087	1200	230	100	0.0	178.0	1	FS/SINGLE SHOT	F/L			1
VB-00011	051087	1830	215	100	23.0	203.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	P/L	2		6
VB-00012	051087	2130	200	100	0.0	202.0	1	TEMP-DIFF/GR	P/L	2S	GEOCOM (#5/6/7)	6
VB-00013	051087	2330	115	030	23.7	203.0	1	BGL/GA	F/L	2	2X	6
VB-00014	091087	1315	245	130	10.0	248.0	1	TEMP-DIFF/GR	P/L	2S	GEOCOM (#10/11/12)	7
VB-00015	091087	1600	230	115	4.6	254.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	P/L	2		7
VB-00016	091087	1830	345	045	19.0	248.0	1	BGL/GA	F/L	2		7
VB-00017	121087	1500	245	145	3.0	303.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	P/L	2		8
VB-00018	121087	1745	215	130	0.0	301.5	1	TEMP-DIFF/GR	P/L	2S	GEOCOM (#14/15?16/17)	8
VB-00019	121087	2000	115	045	17.2	302.0	1	BGL/GA	F/L	2	2X	8
VB-00020	151087	1800	300	135	2.3	353.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	P/L	2		9
VB-00021	151087	2100	200	050	21.9	353.0	1	BGL/GA	F/L	2		9
VB-00022	151087	2300	200	115	5.0	351.0	1	TEMP-DIFF/GR	P/L	2S	GEOCOM (#18/19/20)	9
VB-00023	171087	730	200	045	23.0	376.0	1	BGL/GA	F/L	2	2X	10
VB-00024	191087	1430	230	150	0.0	409.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	F/L			11
VB-00025	191087	1700	130	030	20.0	402.0	1	BGL/GA	F/L	2		11
VB-00026	191087	1830	200	100	20.0	400.3	1	TEMP-DIFF/GR	P/L	2S	GEOCOM (#21/22/23)	11
VB-00027	221087	515	145	030	25.0	423.9	1	BGL/GA	F/L	2		12
VB-00028	231087	2115	345	150	4.1	447.3	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	FI	2		13
VB-00029	241087	100	130	040	18.4	447.5	1	BGL/GA	FI	2		13
VB-00030	241087	230	230	130	0.0	447.5	1	TEMP-DIFF/GR	PA	2S	GEOCOM (#24/25/26)	13
VB-00031	261087	1430	330	200	0.0	483.6	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	FI	2		14
VB-00032	261087	1800	100	035	22.0	478.5	1	BGL/GAL	F/P/L			14
VB-00033	261087	1900	330	105	27.4	478.0	4/1	DLL/MSFL/GAL	F/P/L	2		1
VB-00034	261087	2230	200	130	0.0	478.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	F/L	2		15
VB-00035	271087	030	400	100	27.4	478.0	4/1	DIL(Phase)/SP/GAL	F/L	12		1
VB-00036	271087	430	200	100	6.0	478.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	F/L	2		16
VB-00037	271087	630	830	800	27.4	478.0	4/1	FMST/SHOT/GAL	F/L	12		1
VB-00038	271087	1500	230	130	0.0	478.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	P/L	2		17
VB-00039	271087	1730	1300	1200	27.4	478.5	4/1	SDT/WF/GAL	F/L	12		1
VB-00040	281087	630	230	115	0.0	478.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	F/L	2		18
VB-00041	281087	900	600	240	27.4	478.0	4/1	LDT/CNL/NGS	F/P/L	12		1
VB-00042	281087	1500	300	200	20.0	478.5	2	TEMP				1
VB-00043	281087	1800	1300	1100	27.4	478.5	4/1	BHTV/GAL	F/P/L	48		1
VB-00044	291087	700	300	115	0.0	468.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GRL	F/L	2		19
VB-00045	291087	1000	1400	1030	27.4	476.0	4/1	GLT	F/P/L	2		1
VB-00046	291087	2300	100	030	27.4	478.0	4/1	SP	F/P/L	2		1
VB-00047	301087	000	2000	1900	27.4	478.0	6	BHTV (SAB 89,48)	P	5		1
VB-00048	301087	2000	500	300	27.4	479.5	5	ZDL	F/P	12		1
VB-00049	311087	100	300	200	27.4	476.6	5	PDK-100	F/P	12		1
VB-00050	311087	400	1530	1500	60.0	476.3	5	MSI/CO	F/P	12		1

Tabelle 3.1/1

Lfd.Nr.	Datum	Uhrzeit	Ges.zeit	Messzeit	Teufe		Ausf.	Messungen	Daten-träger	Massstab	Bemerkungen	Run
					Top	Basis						
VB-00051	311087	1930	300	200	27.4	478.5	7	IP (kontin.)				1
VB-00052	311087	2230	230	200	27.4	478.5	7	MS				1
VB-00053	011187	100	430	200	0.0	478.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	1		20
VB-00054	011187	530	230	200	27.4	478.5	8	GAL				1
VB-00055	011187	800	3345	3300	0.0	478.5	8	GEOPH.				1
VB-00056	021187	1745	445	230	7.0	479.0	4/1	TDI-P/GAL,HRT	F/L	12		1
VB-00057	021187	2230	1930	1800	27.4	478.5	3/1	3-D MAG.	P			1
VB-00058	031187	1800	1100	1000	27.4	478.5	9/1	VAL	P	12		1
VB-00059	041187	500	130	100	0.0	235.0	1	FS		2	GEODOM	21
VB-00060	041187	630	100	030	0.0	238.0	1	FS (IGU)			bei 238 m	2
VB-00061	041187	730	330	230	27.4	210.0	10	MS				1
VB-00062	041187	1100	430	400	194.0	474.0	2	IP (stationær)	P		(Vogelsang)	1
VB-00063	041187	1530	200	130	27.4	478.5	10	MS				2
VB-00064	041187	1730	130	100	0.0	478.5	2	TEMPSAL			(Repsold)	1
VB-00065	041187	1900	130	100	27.4	478.5	2	FEL			(Repsold)	1
VB-00066	041187	2030	200	130	27.4	478.5	2	ES			(Repsold)	1
VB-00067	041187	2230	1030	1000	27.4	478.5	3/1	3-D MAG.	P			2
VB-00068	051187	900	230	110	0.0	477.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L			22
VB-00069	051187	1130	500	300	24.2	478.5	1	BGL/GAL	F/L		(4 x)	15
VB-00070	051187	1630	130	100	0.0	478.5	1	FS			(2 x)	3
VB-00071	061187	1100	230	200	0.0	225.0	1	FS (IGU)			aufgest. in Testgarnitur	4
VB-00072	071187	1500	130	030	20.0	478.0	1	BGL/GR	F/L	12		23
VB-00073	121187	0100	230	115	2.0	477.0	4/1	CBL/VDL/GR	F/L	12		1
VB-00074	121187	0330	300	100	5.0	479.0	4/1	CEL/GR	F/L	12		1
VB-00075	121187	2230	230	115	3.5	480.0	4/1	CEL(WANDSTAERKE)/GR	F/L	12		1
VB-00076	131187	0100	200	115	3.0	479.0	4/1	MFC	F/L	12		1
VB-00077	191187	1130	230	050	389.9	571.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/P/L	2		24
VB-00078	191187	1400	210	015	471.0	570.0	1	BGL/GR	F/P/L	2		24
VB-00079	231187	0930	200	100	389.2	643.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	1		25
VB-00080	231187	1130	150	030	471.0	643.0	1	BGL/GR	F/L	1	2x	25
VB-00081	271187	1800	230	100	395.0	708.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	1		26
VB-00082	271187	2030	100	030	0.0	706.0	1	SINGLE SHOT				1
VB-00083	271187	2130	200	030	476.0	708.0	1	BGL/GR	F/L	2		26
VB-00084	301187	000	400	015	475.0	740.0	1	BGL/GR	F/L	2		27
VB-00085	011287	1145	245	135	390.0	764.9	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	1		28
VB-00086	011287	1430	100	025	471.0	764.9	1	BGL/GR	F/L	2		28
VB-00087	031287	1430	145	045	475.0	804.9	1	BGL/GR	F/L	2		29
VB-00088	051287	330	130	045	467.3	818.3	1	BGL/GR	F/P/L	12		30
VB-00089	081287	1300	400	130	440.0	865.1	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	1		31
VB-00090	081287	1700	315	045	460.5	863.0	1	BGL/GR	F/L	2		31
VB-00091	131287	200	215	045	474.0	917.3	1	BGL/GR		12		32
VB-00092	191287	1645	715	600	0.0	992.0	11/1	GYRO			PREUSSAG	
VB-00093	201287	1400	400	135	465.3	991.9	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	15		33
VB-00094	201287	1800	230	130	460.5	994.7	1	BGL/GR	F/L	12		33
VB-00095	201287	2030	530	430	467.0	994.5	4/1	4-PAD FMST/AMS/GR	F/P/L	2	Prototype Schlumb. Paris	1
VB-00096	211287	230	500	135	463.0	991.9	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	15		34
VB-00097	211287	730	400	145	476.0	925.0	4/1	FMST/AMS/GR	F/P/L	2		2
VB-00098	211287	1130	330	100	389.0	991.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	15	aufgestanden bei 991 m	35
VB-00099	211287	1500	500	130	473.0	987.5	4/1	DLL/MSFL/AMS/GR	F/P/L	12		2
VB-00100	211287	2000	500	130	459.5	992.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GAL	F/L	15		36

Tabelle 3.1/2

Lfd.Nr.	Datum	Uhrzeit	Ges.zeit	Messzeit	Teufe		Ausf.	Messungen	Daten-traeeger	Massstab	Bemerkungen	Run
					Top	Basis						
VB-00101	221287	100	1730	1430	477.0	986.0	4/1	BHTV/GPIT/GR	F/P/L			2
VB-00102	040188	1030	230	130	290.0	990.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/L	1	aufgestanden bei 990.5 m	37
VB-00103	040188	1300	200	035	460.6	990.0	1	BGL/GR	F/P/L			37
VB-00104	040188	1500	600	145	582.0	971.0	1	FS			GEOCOM 7x	37
VB-00105	040188	2100	200	045	514.0	971.0	1	FS			Salvamoser 2x	37
VB-00106	040188	2300	200	045	421.0	990.1	4/1	SP	F/P/L	12		2
VB-00107	050188	0100	500	230	480.0	992.0	?	IP				2
VB-00108	060188	1030	200	035	0.0	834.0	1	SURF.READOUT			DST 3 LYNES	2
VB-00109	080188	0915	245	025	474.0	840.0	1	BGL/AMS/GR	F/L	12		38
VB-00110	110188	0000	31800	000			11/1	STEERING TOOL				
VB-00111	130188	1200	1615	1400	480.0	1017.8	4/1	CERT			10x	
VB-00112	170188	1500	445	130	460.6	1061.5	1	BGL/AMS/GR	F/L	12		39
VB-00113	210188	0545	315	035	392.0	1131.5	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/P/L	1		40
VB-00114	210188	0900	200	035	474.0	1131.5	1	BGL/AMS/GR	F/L	12		40
VB-00115	230188	1530	300	135	441.0	1177.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/P/L	1		41
VB-00116	230188	1830	130	045	475.0	1177.0	1	BGL/AMS/GR	F/P/L	12		41
VB-00117	290188	0945	245	135	440.0	1229.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/P/L	1		42
VB-00118	290188	1230	215	100	472.0	1229.0	1	BGL/AMS/GR	F/L	12		42
VB-00119	010288	1230	530	040	545.0	585.0	1	FS			GEOCOM 3x	
VB-00120	070288	0600	400	145	440.0	1294.8	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/P/L	1		44
VB-00121	070288	1000	245	100	466.0	1293.8	1	BGL/AMS/GR	F/P/L	12		44
VB-00122	100288	1030	430	000	0.0	0.0	1	IO			4 EINF. BEI 517 AUFGEST.	
VB-00123	110288	0615	145	020	476.0	650.0	1	BGL/GR	F/P/L	2		
VB-00124	110288	0800	730	045	1230.0	1295.0	1	FS			GEOCOM 3x	
VB-00125	150288	1245	300	150	439.0	1374.8	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/L S	15		47
VB-00126	150288	1545	315	110	475.0	1374.2	1	BGL/AMS/GR	F/P/L	12		47
VB-00127	230288	1800	135	030	1042.0	1109.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/L		aufgestanden bei 1115.0	48
VB-00128	230288	1935	200	100	0.0	1115.0	1	BGL/AMS/GR	F/L		aufgestanden bei 1115.0	48
VB-00129	270288	1430	545	400	462.0	1526.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/P/L	15		49
VB-00130	270288	2015	445	120	465.0	1525.1	1	BGL/AMS/GR	F/P/L	12		49
VB-00131	280288	100	430	115	946.0	1521.2	4/1	OLL/MSFL/AMS/GR	F/P/L	12		3
VB-00132	280288	530	230	130	961.0	1528.2	4/1	4-PAD FMST	F/P/L	2		2
VB-00133	280288	800	630	330	432.0	1524.0	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/P/L	15		50
VB-00134	280288	1430	300	010	470.0	552.0	4/1	IO LDT/CNL/NGS/AMS	F/L			2
VB-00135	290288	1130	700	315	457.6	1523.0	4/1	LOT/CNL/NGS/AMS	F/P/L	12		3
VB-00136	290288	1830	430	320	459.0	1529.4	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/P/L	1		51
VB-00137	290288	2300	1730	1440	470.0	1529.0	4/1	GLT	F/P/L	12		2
VB-00138	010388	1630	1130	900	1104.0	1528.3	4/1	BHTV/GPIT/GR	F/L			3
VB-00139	020388	400	230	120	473.0	1525.0	1	SP	F/P/L	12		3
VB-00140	020388	630	1300	830	467.0	1523.0	4/1	SDT	F/P/L	12		2
VB-00141	020388	1930	300	000	1205.0	1240.0	4/1	IO BHTV(2)	F/L			4
VB-00142	020388	2230	510	200	499.4	1529.4	1	TEMP-DIFF/AMS/GR	F/L	1		52
VB-00143	030388	330	530	400	480.0	1520.0	2	IP	P		(Vogelsang)	2

Tabelle 3.1/3

Lfd.Nr. (Ausw.)	Datum	Lfd.Nr. (Mess.)	Teufe		Ausf.	Auswertung	Daten- traeger	Mass- stab	Bemerkungen	Run
			Top	Basis						
VB-A0001	301087	VB-00037	190.0	478.0	4/1	CYBERDIP	F/L	2		1
VB-A0002	271087	VB-00037	27.4	478.0	4/1	CYBERDR	P/L		H30045LR	1
VB-A0003	121187	VB-00073	5.0	478.0	4/1	CYBERBOND	F/L	2	CBL/VOL-Film	1
VB-A0004	121187	VB-00074	5.0	478.0	4/1	CET (ak. Kaliber)	F/P/L	2	CET-Film	1
VB-A0005	111287	VB-00035	27.4	478.0	4	PHASOR PROCESSING	F/L	2		1
VB-A0006	271087	VB-00037	27.4	478.0	4	BOL (OCA)	P/L	2	H30044RL	1
VB-A0007	271087	VB-00037	27.4	478.0	4	MSD/CSB	P/T/L	2/1	H30044RL	1
VB-A0008	271087	VB-00037	27.4	478.0	4	FMST (2-Pad)	P/T/L	2	H30045LR	1
VB-A0009	271087	VB-00037	27.4	478.0	4	FMST (orient. 2-Pad)	P/T/L	2/4	H30045LR	1
VB-A0010	211287	VB-00043	60.0	478.0	4	BHTV/GA	P/T/L	4	Abschnitte 1-6	1
VB-A0011	290188	VB-00039	27.4	478.0	4	STC (SOT)	F/T/L	2	H10096WW	1
VB-A0012	010787	DFG-Bu			12	ENDBERICHT-Berlin	R		Porositaet/Permeabilit.	
VB-A0013	011287	8604/01				ENDBERICHT Fa. Neumann	R		siehe KTB 87-3, PL 5	
VB-A0014	011287	8604/31	30.0	470.0	3	ZW.BERICHT-1 BGR	R/A		Bosum 3-D Magnetik	
VB-A0015	011287	8604/07			3	ENDBERICHT-BGR	R		siehe KTB 87-3, PL 2	
VB-A0016	111287	VB-00090	27.4	864.6	4	CYBERDR	F/L		Directional Plots	31
VB-A0017	031287	VB-T1, T2			13	ENDBERICHT-Lynes	R/A			
VB-A0018	051287	VB-00052	27.0	478.0	7	ENDBERICHT-ELGI	R/A		IP	
VB-A0019	180188	VB-00101	480.0	992.0	4	BHTV/GA	P/T/L	4	Abschnitte 7-13	2
VB-A0020	200188	VB-39, 41	27.4	478.0	4	NORM	P/T/L	2/1	Compositelog	1
VB-A0021	210188	VB-00047	27.4	478.0	4	GLT	T/L	2/1	Elementanalyse	1
VB-A0022	210188	VB-00094	480.0	992.0	4	FMST (4-Pad)	P/L	8	Prototype Schlumb. Paris	1
VB-A0023	210188	VB-00114	478.0	1131.0	4	CYBERDR	F/P/L		Directional Plots	40
VB-A0024	210188	VB-00094	30.0	990.0	4	CYBERDR	F/L		Directional Plots	
VB-A0025	290188	VB-00039	27.4	478.5	4	CYBERFIL	L	2		
VB-A0026	010288	8604/03			11	ENDBERICHT-Preussag	R		siehe KTB 87-3, PL 7	
VB-A0027	020288	VB-00118	475.0	1228.8	4	CYBERDR	F/P/L		Directional Plots	
VB-A0028	100288	VB-T3	813.0	839.0	13	ENDBERICHT-Lynes	R/A		DST-3	
VB-A0029	150288				9				VAL	
VB-A0030	190288	VB-39, 41	27.4	478.0	4	NORM	P/T/L	2/1	Compositelog ueberarb.	1
VB-A0031	010388	8604/29			11	ENDBERICHT-Preussag	R		HT	
VB-A0032	150488				14	ZWISCHENBERICHT1-Karlsru.	R		Hauptspannungsrichtungen	
VB-A0033	180488	NL103167			1	VORTRAG DGG/KOELN- KTB	R		Temp. Stoerungen	
VB-A0034	200488	VB-54, 55			8	ENDBERICHT-Prakla	R		Geophonversenkmessungen	
VB-A0035	270488	NL103278			1	VORTRAG KTB-KOLL.Giessen	R		Stabilitaetsbetr.	
VB-A0036	290488	VB-00140	467.0	1523.0	4	SOT-GA	P/L	2	STC	
VB-A0037	020588	NL103347			1	KURZINFORMATION- KTB	R		T-Messungen	
VB-A0038	040588	VB-00130	27.4	1529.4	4	CYBERDR	P/L		Directional Plots	
VB-A0039	090588		500.0	992.0	4/1	COMPOSITE BGL-TEMP	F/P/L	1	Temp. Zusammenspielung	
VB-A0040	110588	VB-00062	194.0	474.0	2	IP				
VB-A0041	150588	VB-00140	467.0	1523.0	1	SOT-DTL/VP/VS	T		manuelle Ausw. Dr. Bram	

Tabelle 3.2

Tabelle 3.3

Lfd.Nr.	Datum	Uhr-zeit	Ges.zeit	Messzeit	Teufe Top	Basis	A.	Test	Daten- traeger	Bemerkungen	Surf- RO
VB-T0001	061187	530	810	340	219.8	257.0	13	DST 1	O/B/P	Geraet verstopft, kein Zufluss	NEIN
	061187	1600	300	0	219.8	257.0	13	DST 1.2		Packer nicht gesetzt	NEIN
	061187	2000	140	0	219.3	256.5	13	DST 1.3		Packer nicht gesetzt	NEIN
	061187	2200	100	0	216.8	254.0	13	DST 1.4		Packer nicht gesetzt	NEIN
VB-T0002	061187	2300	340	0	347.8	385.0	13	DST 2		Packer nicht gesetzt	NEIN
	071187	250	220	0	219.8	257.0	13	DST 1.5		Packer nicht gesetzt	NEIN
VB-T0003	060188	2150	1700	0	813.0	839.0	13	DST 3	B/P		
VB-T0004	030388	900	730	320	817.0	1237.5	1/4	RFT/HP/GR	P	auch unter VB-144 gefuehrt !	

A. ==> Ausfuehrender  
 Surf RO ==> Surface Read-out

## 4 Intervallmessungen 478,5–1529,4 m



#### **4 INTERVALLMESSUNGEN 478,5 - 1529,4 m**

In der Zeit vom 15.11.1987 bis zum Erreichen der Teufe bei 1529,4 m am 26.02.1988 wurden folgende Messungen mit KTB-eigenen Geräten gefahren:

##### **4.1 Temperaturmessungen**

Hierfür wurde eine speziell für KTB gebaute Ausrüstung eingesetzt. Die Temperatursonde (TEMP-DIFF) besteht aus zwei Temperaturfühlern, die 1,2 m voneinander entfernt angeordnet sind. Diese Sonde wird in Kombination mit der Gammastrahlenmessung (GRL) und dem Auxiliary Measurement System (AMS) gefahren; also TEMP-DIFF/GR/AMS.

Die Messungen wurden jeweils nach dem Ausbau des Bohrgestänges im Hängen vom Rohrschuh bei 478,5 m bis zur jeweiligen Sohle ausgeführt. Auf Sohle wurde dann die Temperatur für einen Zeitraum von ungefähr einer halben Stunde registriert. Die Aufzeichnung erfolgte auf Film und gleichzeitig auf Magnetband.

In Abb. 4.1 ist ein Logbeispiel (VB- 126) gegeben und in Tab. 4.1 sind alle durchgeführten Messungen zusammenfassend dargestellt.

Der Tabelle 4.2 können alle mit dem Kernbohrmeßsystem (vergl. hierzu Abschn. 8.1) aufgezeichneten Temperaturdaten entnommen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß zu jeder Aufzeichnung ein Datensatz analog der Abb. 4.2 zur Verfügung steht.

Abbildung 4.1

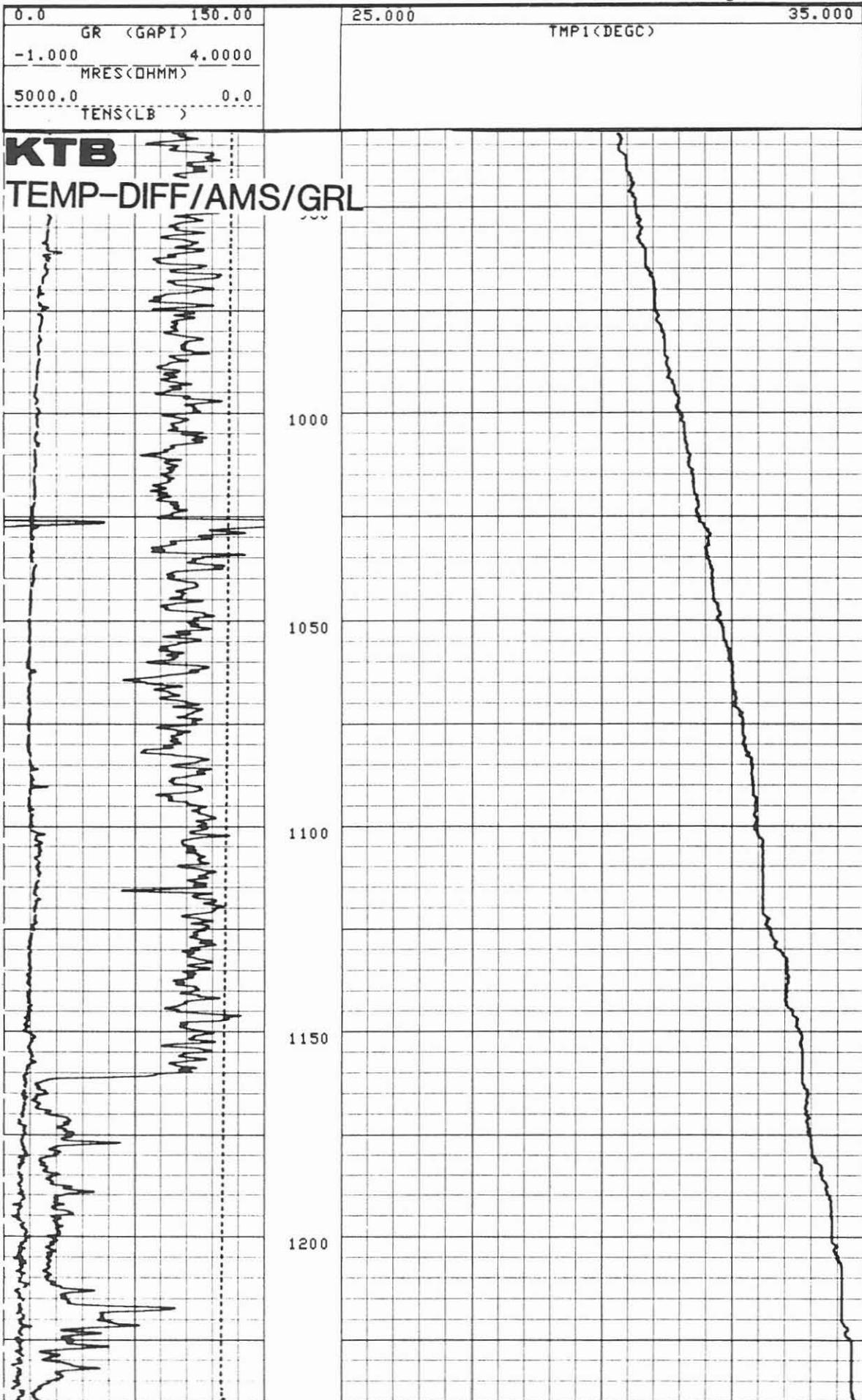


Tabelle 4.1: Temperaturmessungen mit KTB-Geräten TEMP; Auflistung analog den Intervallen 478,5 m - 992,0 m und 992,0 m - 1529,4 m.

Datum	Lfd. Nr.	Run-Nr.	Intervall	min. Meßzeit gesamt	stat.	h nach Ende d.Zirkulat.
19.11.87	VB- 77	24	389,9 - 571,0	47	29	3,0
23.11.87	VB- 79	25	389,2 - 643,0	53	29	4,7
27.11.87	VB- 81	26	395,0 - 708,0	59	29	4,9
01.12.87	VB- 85	28	390,0 - 764,9	67	30	5,4
08.12.87	VB- 89	31	440,0 - 865,1	75	30	7,6
21.01.88	VB- 113	40	392,0 - 1131,5	120	41	4,75
23.01.88	VB- 115	41	441,0 - 1177,0	102	31	4,0
29.01.88	VB- 117	42	440,0 - 1229,0	108	31	4,8
07.02.88	VB- 120	44	440,0 - 1295,8	119	35	5,9
15.02.88	VB- 125	47	439,0 - 1374,8	103	72	8,4
23.02.88	VB- 127	48	1042,0 - 1109,0	Fehlmessung		

Tabelle 4.2: Temperatur- und Neigungsmessung mit KTB-Geräten MEM.

Gerät I

Lfd. Nr.	Initialisierung		Dateiname	Meßdaten			Teufen	
	Datum	h		Datum	von h	bis h	von m	bis m
1	1987		K87 1205	04.12.	17.10 -	21.02	811 -	812
	04.12.	12.05			21.02 -	22.19	812 -	500
2	07.12		Ausfall					
3	07.12.		K87 1208	07.12.	16.12 -		848 -	857
				08.12.		04.39		
4	10.12. 17.00		K87 1215	11.12.	14.20 -		875 -	882
				12.12.		08.02		
5	13.12. 12.43		K87 1216	13.12.	15.32 -		909 -	917
				14.12.		07.15		
6	16.12. 17.23		K87 1219	16.12.	20.05 -		945 -	965
				17.12.		16.35		

Tabelle 4.2 : Fortsetzung

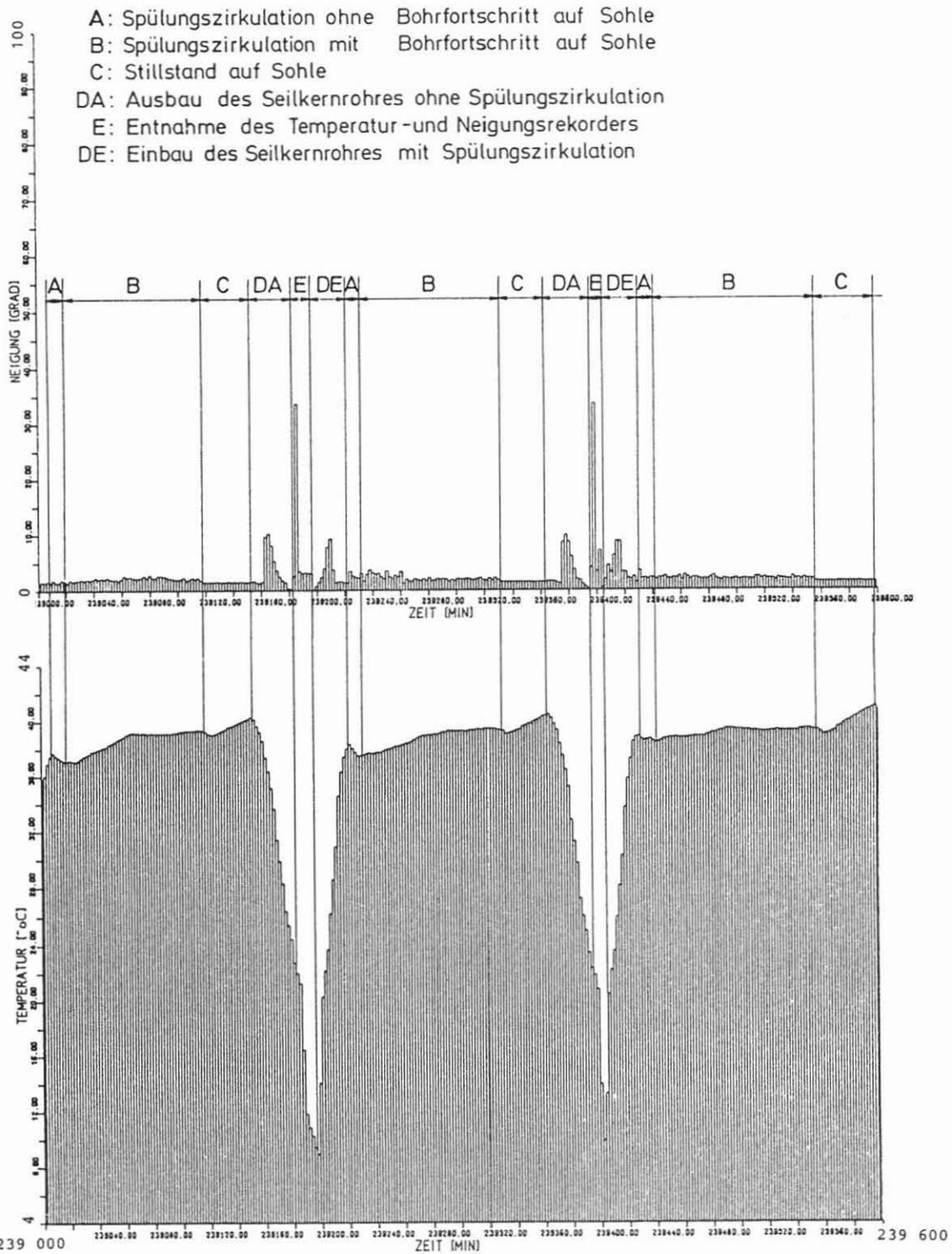
Gerät II

Lfd. Nr.	Initialisierung		Dateiname	Meßdaten			Teufen	
	Datum	h		Datum	von h	bis h	von m	bis m
	1987							
1	04.12.	18.41	K87 1206	05.12. 06.12.	13.08 - 12.49		814 - 829	
2	08.12.	22.00	K87 1210	09.12. 10.12.	11.08 - 11.21		859 - 875	
3	11.12.	13.18	K87 1212	11.12. 12.12.	16.26 - 11.27		885 - 903	
4	14.12.	11.55	K87 1215	14.12. 15.12. 15.12.	14.17 - 12.14 14.15		919 - 933 933 - 500	
5	17.12.	16.38	K87 1221	17.12. 18.18.	21.43 - 02.28		970 - 975	
	1988							
6	02.02.	10.30	K88 0203	02.02.	17.32 - 23.08		1232 - 1238	
7	05.02.	10.23	K88 0205	05.02.	14.42 - 14.57		1257,5	
8	06.02.	10.42	K88 0207	06.02.	10.05 - 22.53		1281 - 1288	
9	08.02.	18.20	K88 0210	09.02. 12.02.	07.00 - 16.45		1300 - 1333	
10	12.02.	11.42	K88 0215	13.02. 14.02.	23.27 - 05.36		1338 - 1368	
11	16.02.	10.05	K88 0217	16.02.	09.45 - 10.24		1372,0	
12	19.02.	12.03	K88 0222	Testmessung			0	

Tabelle 4.2: Fortsetzung

Gerät III

Lfd. Nr.	Initialisierung		Dateiname	Meßdaten			Teufen	
	Datum	h		Datum	von h	bis h	von m	bis m
	1987							
1	03.12.	16.58	K87 1204	04.12.	03.05 - 15.09			
2	06.12.	11.30	K87 1207	06.12. 07.12.	15.15 -	01.36	831 -	844
3	10.12.	10.08	K87 1211	10.12.	14.20 -	18.10	877 -	879
4	12.12.	11.45	K87 1213	12.12.	15.42 -	21.10	906 -	907
5	entfällt							
6	18.12.	16.32	K87 1222	18.12. 19.12. 19.12.	20.48 -	12.58	976 -	984
					12.59 -	15.18	984 -	450
	1988							
7	03.02.	16.40	K88 0204	04.02.	00.42 -	02.52	1239 -	0
8	05.02.	14.02	K88 0206	05.02. 06.02.	19.23 -	10.20	1263 -	1281
9	07.02.	13.44	K88 0208 K88 0209	08.02. 08.02.	01.06 - 01.21 07.58 - 12.24		1293 1321 -	1327
10	11.02.	17.16	K88 0213	12.02. 12.02.	01.35 - 01.40 07.58 - 12.24		1293 1321 -	1327
11	15.02.	19.36	K88 0216	16.02.	09.40 -	09.55	1373	
12	17.02.	10.40	K88 0218	17.02. 18.02.	23.08 -	08.07	1396 -	1399
13	23.02.	11.06	K88 0223	23.02.	12.18 -	12.33	1470	



Temperatur und Neigungsaufzeichnung in der KTB  
Vorbohrung im Bohrstrang bei einer Bohrteufe von ca.1550m  
(Abstand vom Bohrmeißel = 6,5m)

**KTB**

Abb. 4.2

## 4.2 Kaliber- Neigungs- und Orientierungsmessungen

Mit der Kalibersonde wird die Bohrlochwand mit vier Kaliberarmen abgetastet. Die gegenüberliegenden Arme sind zu einem Paar zusammengefaßt. Damit ergibt sich eine Aufzeichnung von zwei Kaliberkurven. Das Gerät enthält außerdem ein Neigungs- und magnetisches Orientierungsmeßsystem, um die Neigung und Richtung der Bohrung zu bestimmen. Diese Informationen werden kontinuierlich aufgezeichnet. Ein GRL dient auch hier der Teufenreferenz und das AMS der Meßsicherheit. In Abb. 4.3 ist ein Logbeispiel zu BGL/GRL/AMS dargestellt und in Tab. 4.3 sind alle bisher durchgeführten Messungen aufgelistet.

Die Kalibermessungen haben gezeigt, daß in den Bereichen zwischen 505 - 615 m, 630 - 765 m, 990 - 1170 m und 1380 - 1386 m Bohrlocherweiterungen aufgetreten sind. Eine wesentliche Vergrößerung einer Auskesselung konnte dabei meist nur bei den ersten Vergleichsmessungen nachgewiesen werden; später trat eine gewisse Stabilisierung ein.

Darüber hinaus stehen noch Neigungsmessungen mit den KTB-eigenen Geräten MEMN/EMT zur Verfügung: vergl. hierzu Tab. 4.2 und Abb. 4.2.

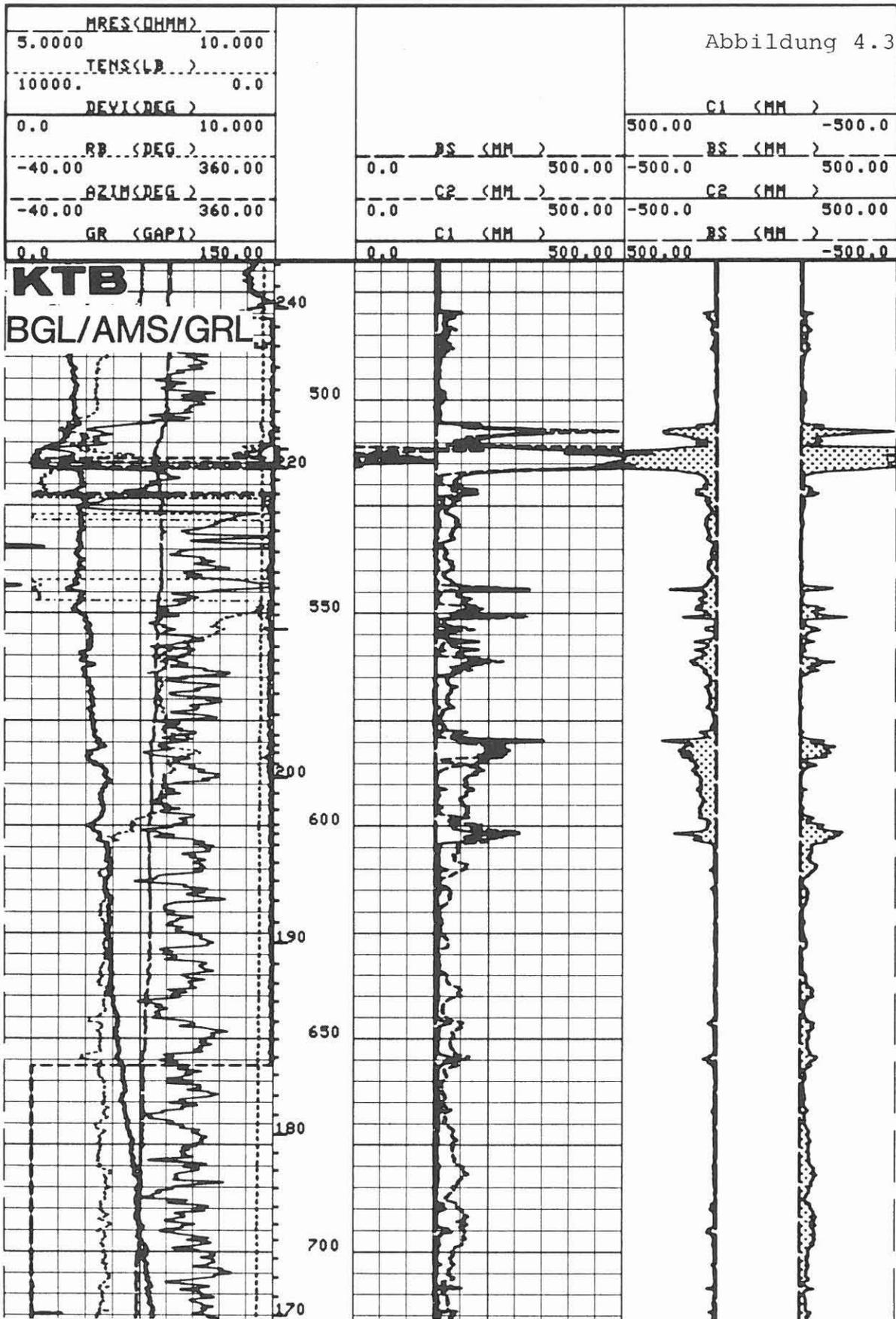
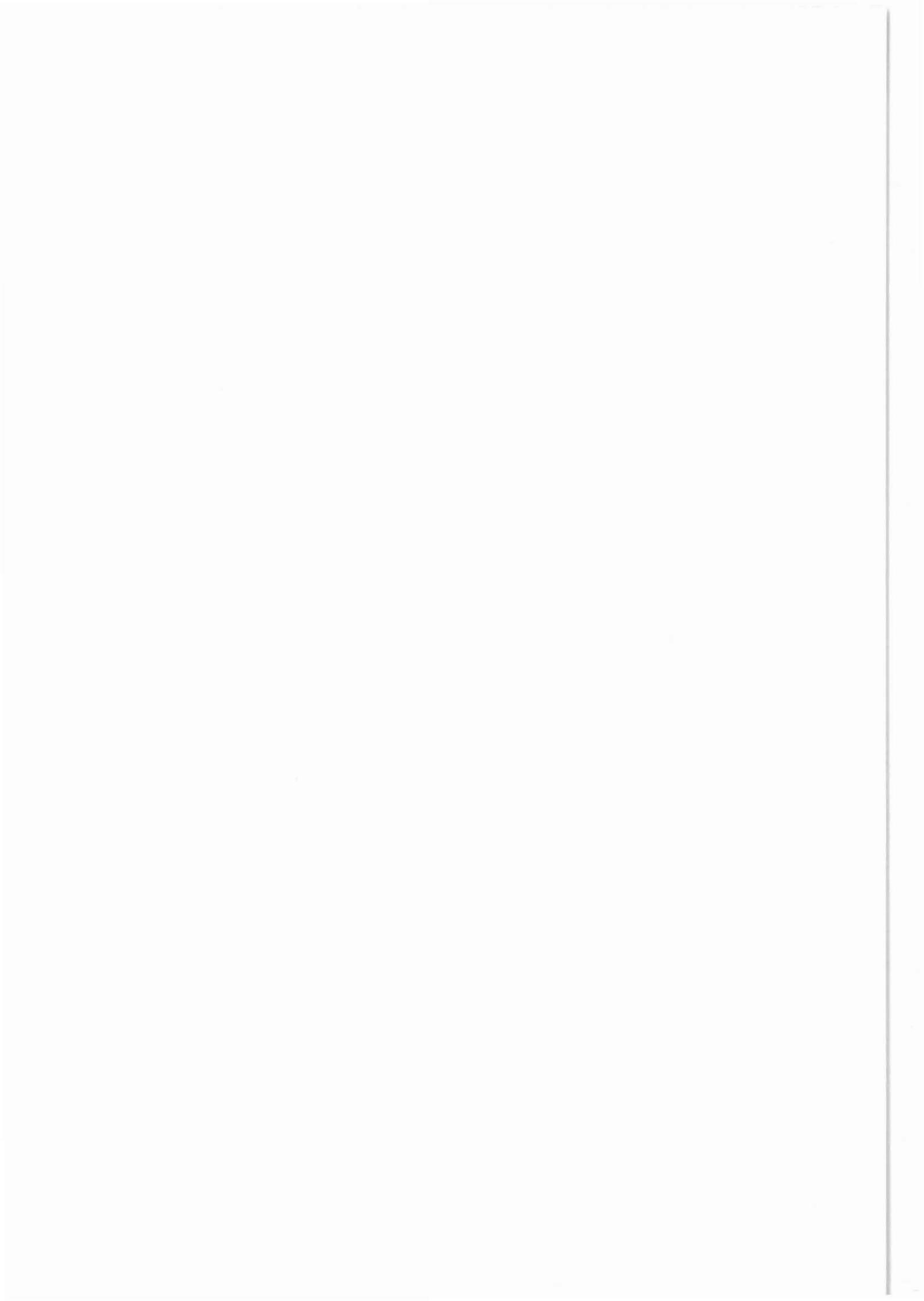


Tabelle 4.3: 4-Arm-Kalibermessungen mit KTB-Geräten BGL; Auflistung analog den Intervallen 478,5 m - 992,0 m und 992,0 m - 1529,4 m.

Datum	Lfd. Nr.	Run-Nr.	Meßintervall	Bemerkungen
19.11.87	VB- 78	24	471,0 - 570,0	
23.11.87	VB- 80	25	471,0 - 643,0	2 x gemessen
27.11.87	VB- 83	26	476,0 - 708,0	
30.11.87	VB- 84	27	475,0 - 740,0	Neigungskontrollmessung
01.12.87	VB- 86	28	471,0 - 764,9	
03.12.87	VB- 87	29	475,0 - 804,9	Neigungskontrollmessung
05.12.87	VB- 88	30	467,3 - 821,3	Neigungskontrollmessung
08.12.87	VB- 90	31	460,5 - 863,0	
13.12.87	VB- 91	32	474,0 - 971,3	Vergleichsmessung mit Gyro, Preussag
17.01.88	VB- 112	39	460,6 - 1061,5	Kontrollmessung nach dem Richtbohren
21.01.88	VB- 114	40	474,0 - 1131,5	
23.01.88	VB- 116	41	475,0 - 1177,0	
29.01.88	VB- 118	42	472,0 - 1229,0	
07.02.88	VB- 121	44	466,0 - 1294,6	
11.02.88	VB- 123	-	476,0 - 656,0	aufgestanden bei 656 m
15.02.88	VB- 126	47	475,0 - 1374,2	
23.02.88	VB- 128	48	0,0 - 1115,0	aufgestanden bei 1115 m

5 Zweite Meßserie bei 992,0 m,  
dritte Meßserie bei 1529,4 m



## 5 ZWEITE MEßSERIE BEI 992,0 m, DRITTE MEßSERIE BEI 1529,4 m

Die Messungen der zweiten und dritten Meßserie wurden entsprechend dem Meßprogramm gemäß Abb. 1.1 dieses Berichtes ausgeführt.

Zum Zeitpunkt der zweiten Meßserie war das Mud Logging-System noch nicht voll einsatzfähig; vergl. hierzu auch Kap. 7. Für die Auswahl von Testhorizonten war es daher notwendig geworden - analog der ersten Meßserie - zusätzliche Messungen zu fahren. Dies waren: BHTV, FMST; DLL/MSFL, IP und SP. Das SP steht nunmehr als KTB-eigene Sonde zur Verfügung und wird deshalb in Zukunft bei jeder Meßserie mitgefahren werden.

In der dritten Meßserie wurden sowohl das VAL als auch das VSP nicht durchgeführt. VAL wurde aus Kostengründen bereits in der ersten Meßserie getestet; analoge Ergebnisse werden mit dem SDT erzielt; vergl. hierzu Protokoll vom 10.03.1988. Die VSP-Messungen waren zum Zeitpunkt der dritten Meßserie mit den zuständigen Auswertegruppen noch nicht hinreichend ausdiskutiert. Die VSP-Messungen sollen deshalb in der vierten Meßserie bei ca. 2.200 m Tiefe ausgeführt werden.

Für die Temperaturmessungen ließ sich das von der AGRU Geothermik vorgeschlagene Meßschema (KTB-Report 87-4, S. 31, Tab. 5.2) nicht einhalten. Der tatsächliche zeitliche Meßabstand kann der Tab. 5.1 entnommen werden.

Im folgenden wird - soweit möglich - von jeder Messung ein Ausschnitt aus dem Tiefenbereich von etwa 1140 m - 1200 m kopiert, verkleinert und als Abbildung beigelegt. Außerdem werden die aufgezeichneten Meßgrößen erläutert. Ergänzende Anmerkungen sollen die Informationen vervollständigen. Damit ist nicht nur eine möglichst vollständige Dokumentation beabsichtigt, sondern es wird versucht, zugleich einen möglichst umfassenden Überblick über das nunmehr zur Verfügung stehende Meßmaterial zu vermitteln. Der potentielle Interessent soll damit in die Lage versetzt werden, Meßmaterial für seine Aufgabenstellung optimal auswählen und abrufen zu können.

Die bei den technischen Anmerkungen angegebene Datenrate (Sampling Rate) gibt an, in welchen Abständen in Zentimeter Bohrlochlänge oder Sekunden ein Meßwert während des Loggens aufgenommen wird.

Unter der Bezeichnung Datendichte ist die zeitliche Datenaufnahmefrequenz (Sampling Interval) je feststehendem Meßpunkt zu verstehen, z. B. Wellenzugaufnahme der Digital Sonic Messung. Ein Beispiel hierzu findet sich in Abb. 5.1.

Bei allen Messungen ist zu berücksichtigen, daß die Messungen - außer der Temperatur - stets von Sohle aufwärts gefahren werden. Die Temperaturmessungen hingegen werden meist nur im Hängen registriert.

Tabelle 5.1: Beginn der Temperaturmessungen nach Beendigung der Spülungszirkulation in Stunden (h), vergl. hierzu Kap. 2.

Zweite Meßserie (992,0 m)

Meßbeginn ab Einfahrt:

28,7	38,4	47,8	58,25	382,8
------	------	------	-------	-------

Meßbeginn im Bohrlochtiefsten:

29,55	39,4	49,0	59,4	384,0
-------	------	------	------	-------

Dritte Meßserie (1529,4 m)

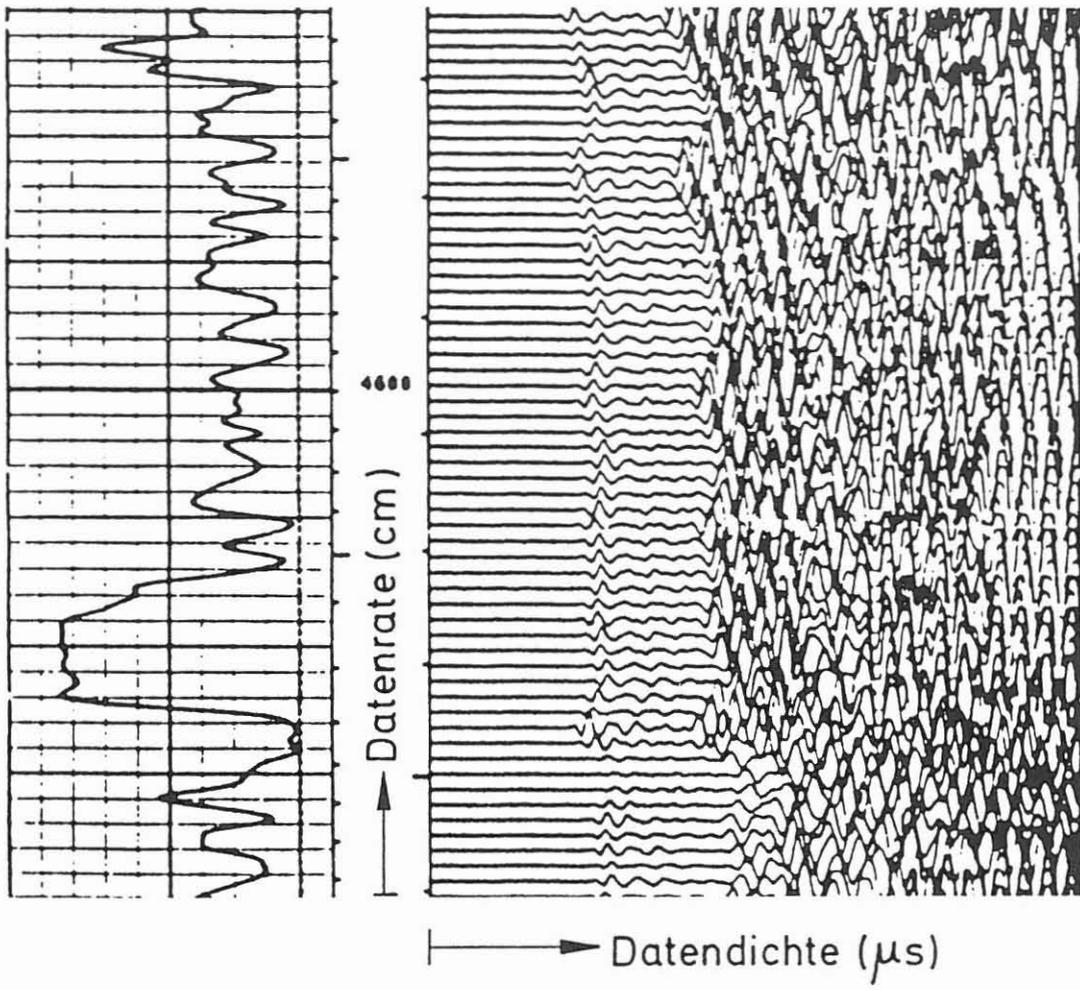
Meßbeginn ab Einfahrt:

5,5	24,45	10,8	63,25
-----	-------	------	-------

Meßbeginn im Bohrlochtiefsten:

8,2	26,5	12,65	65,3
-----	------	-------	------

Abbildung 5.1



**TEMP-DIFF/AMS/GRL** (Temperaturmessung mit zwei Sensoren/Auxiliary Measurement System/Gammastrahlenmessung)

**Ausführender:** KTB/NLFB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall Messung	
			im Hängen	stationär
VB - 31	26.10.87	14	0,0 - 478,5 m	478,4 m
VB - 34	26.10.87	15	0,0 - 478,5 m	478,4 m
VB - 36	27.10.87	16	6,0 - 478,5 m	478,4 m
VB - 38	27.10.87	17	0,0 - 478,5 m	478,4 m
VB - 40	28.10.87	18	27,4 - 478,5 m	478,4 m
VB - 42	28.10.87	NLFB	0,0 - 478,5 m	478,4 m
VB - 44	29.10.87	19	0,0 - 468,0 m	467,9 m
VB - 53	01.11.87	20	0,0 - 478,5 m	478,4 m
VB - 59	05.11.87	21	0,0 - 235,0 m	-
VB - 93	20.12.87	33	465,3 - 993,2 m	993,2 m
VB - 96	21.12.87	34	463,0 - 992,0 m	992,0 m
VB - 98	21.12.87	35	399,0 - 989,0 m	989,0 m
VB -100	21.12.87	36	459,5 - 993,6 m	993,6 m
VB -102	04.01.88	37	290,0 - 993,0 m	993,0 m
VB -129	27.02.88	49	462,0 - 1526,0 m	1526,0 m
VB -133	28.02.88	50	451,0 - 1524,6 m	1524,6 m
VB -136	29.02.88	51	472,0 - 1529,4 m	1529,4 m
VB -142	02.03.88	52	459,4 - 1520,4 m	1520,4 m

**Beispiele:**

Einzelmessung im Hängen gemessen, Run 51; siehe Abb. 5.2.

Zusammenspielung der Runs 33, 34, 35, 36 und 37; siehe Abb. 5.3.

**Meßziel:**

Ermittlung der Temperatur, des Temperaturfeldes, des geothermischen Gradienten sowie Bestimmung von Verlust- und/oder Zuflußzonen.

**Durchführung:**

Die Messungen wurden von Ackersohle oder Zwischenteufe bis Endteufe im Hängen (im Abwärtsfahren) gefahren. Außerdem wurde auf Bohrlochsohle die Sonde mindestens eine halbe Stunde und ab Run 49 mindestens eine Stunde stationär gehalten und die Temperatur gegen Zeit registriert. Die Messungen sind zeitlich in das von der AGRU Geothermik vorgegebene Programm entsprechend den Möglichkeiten eingegliedert worden; vergl. Tab. 5.2. Mit diesen Wiederholungsmessungen wurde die Temperaturrückbildung beobachtet, um auch zusätzliche Informationen über Zufluß- und/oder Verlustzonen zu erhalten.

Teufenmaßstab 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit 10 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

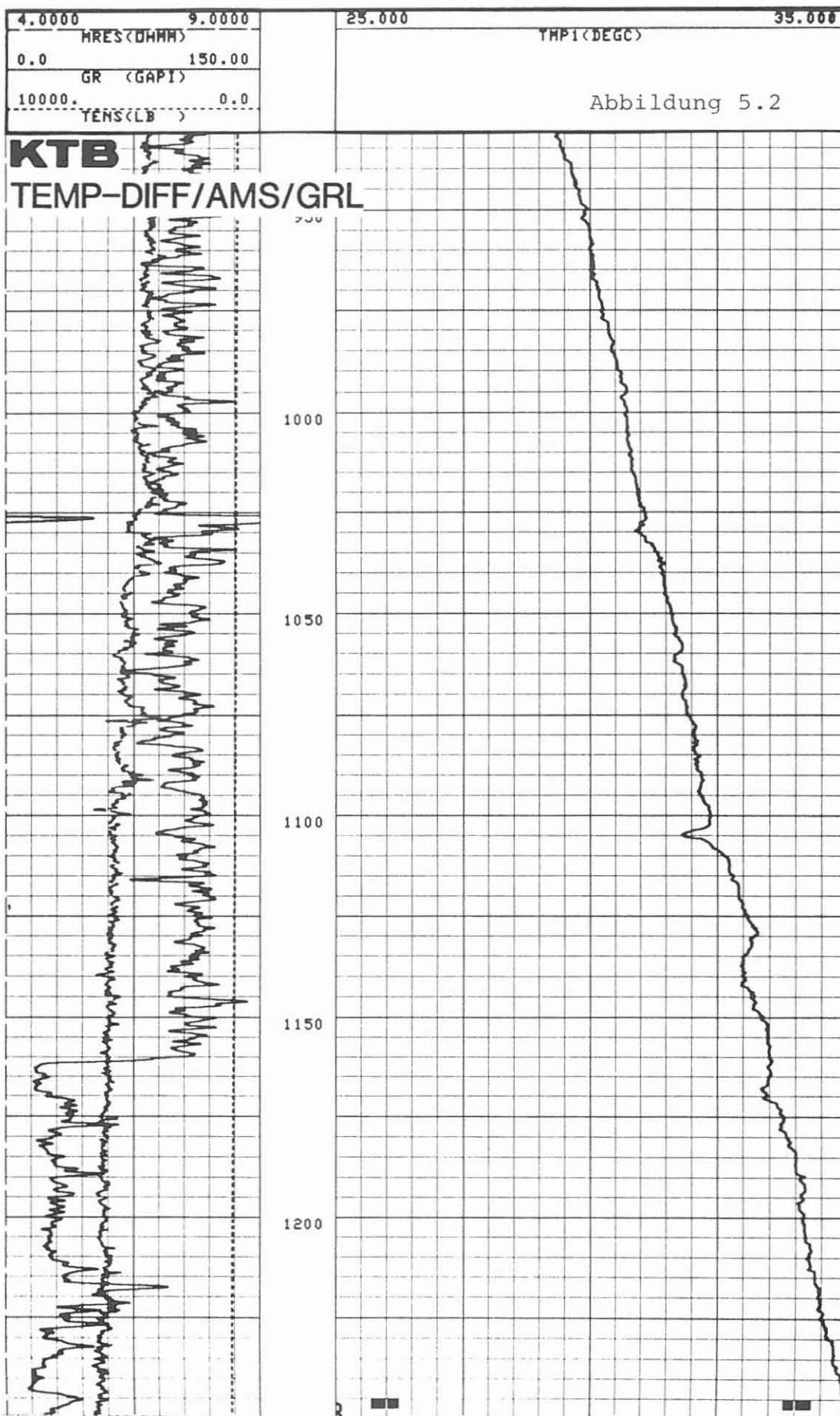
Das Meßgerät besteht aus zwei Sensoren TMP1 und TMP2, die im Abstand von 1,20 m voneinander entfernt angeordnet sind. Es sind Temperaturfühler mit einer Meßgenauigkeit von  $\pm 0,05$  °C. Als weiterer Temperatursensor steht der des AMS in einem Abstand von 9,65 m (MTEM) zur Verfügung. Bei der Messung im Hängen wird nur die Temperatur der Sensoren TMP1 und MTEM aufgezeichnet (Abb. 5.2). Bei der stationären Messung werden die Temperaturen aller Fühler registriert; also die Temperaturen in 0,10 m, 1,30 m und 9,75 m über der Bohrlochsohle. Ein unterschiedliches Verhalten bei gleicher Empfindlichkeit ist deutlich zu erkennen.

Die Zusammenspielung der Messungen zeigt die Temperaturrückbildung (Abb. 5.3). Zonen, die möglicherweise Spülung aufgenommen haben (Verlustzonen), sind stärker abgekühlt worden und erwärmen sich deshalb langsamer. Diese Zonen müssen daher auch eine gewisse Permeabilität aufweisen.

Datenrate: 15 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit	
GR	Gamma Ray (GAPI)	Gammastrahlung	API-Einheiten
MRES	Resistivity (OHMM)	Widerstand	Ohm m
TEMP1	Temperature (DEGC)	Temperatur	°C
TENS	Tension (LB)	Gewicht am Kabel	Pfund



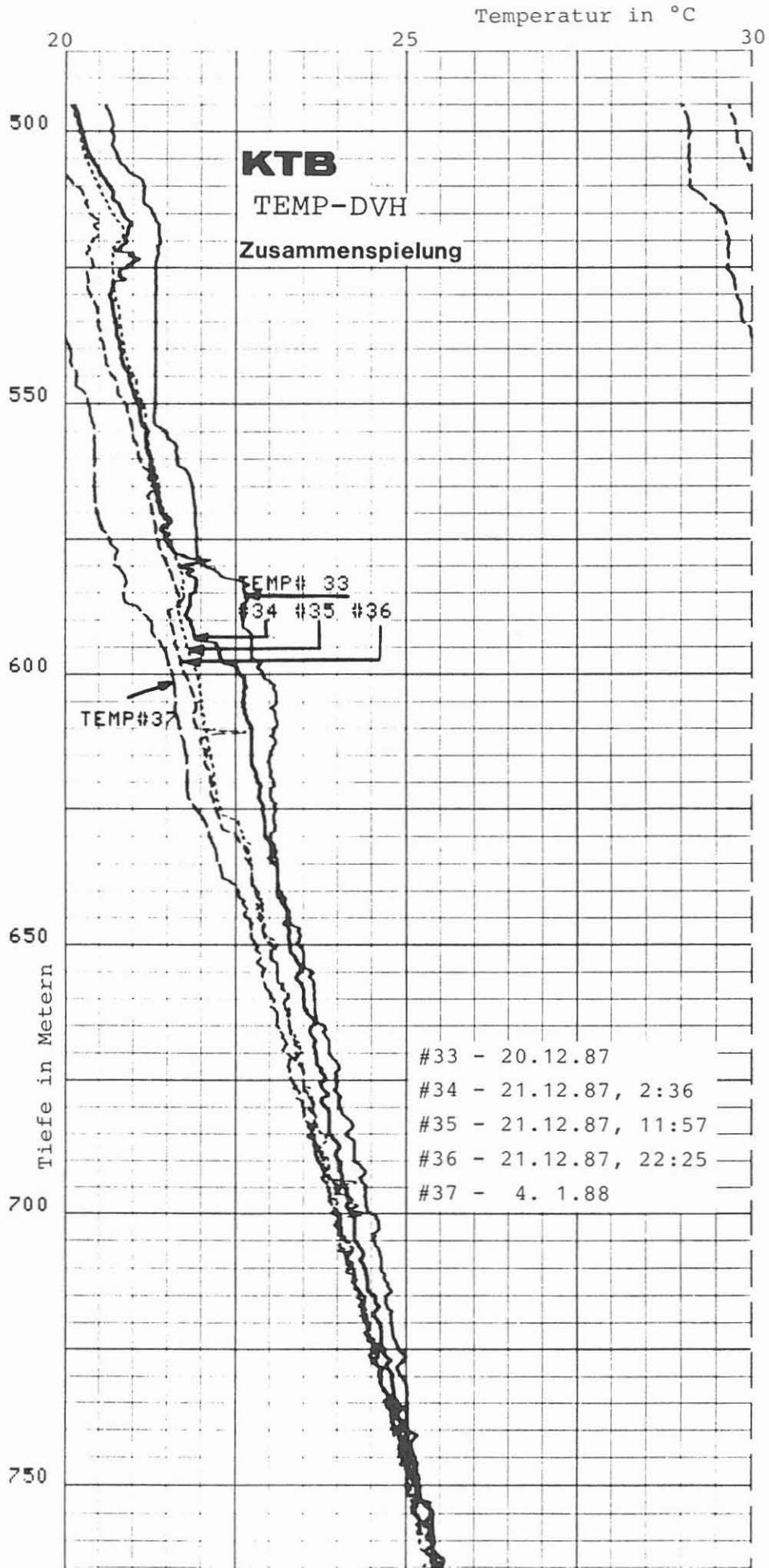


Abbildung 5.3

**BGL/AMS/GRL** (Borehole Geometry Log (Vierarm-Kaliber)/Auxiliary Measurement System/Gammastrahlenmessung)

**Ausführender:** KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 32	26.10.87	14	27,4 - 478,0 m
VB - 69	05.11.87	15	24,2 - 478,0 m
VB - 94	20.12.87	33	460,5 - 994,7 m
VB -103	04.01.88	37	460,6 - 992,0 m
VB -109	08.01.88	38	474,0 - 840,0 m
VB -130	27.02.88	49	465,0 - 1525,1 m

**Beispiel:**

Run Nr. 49, Abb. 5.4.

**Meßziel:**

Kontrolle des Zustandes der Bohrung, der Bohrlochrandausbrüche, Auskesselungen, Neigung und Richtung. Angaben zum Spannungsfeld. Berechnung des Bohrloch- und Zementvolumens für die Zementation der Verrohrung.

**Durchführung:**

Vor dem Einsatz der anderen Meßgeräte wurde aus Sicherheitsgründen jeweils eine Kalibermessung gefahren, um Zonen zu ermitteln, die ausgebrochen sind. Die Messungen wurden im Aufwärtsfahren registriert. Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit 15 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

Das Meßsystem wird zentriert eingefahren. Je zwei gegenüberliegende Kaliberarme sind zu einem Meßpaar zusammengefaßt. Außerdem besitzt dieses Meßgerät ein Neigungs- und magnetisches Orientierungssystem. Über ein potentiometer-kontrolliertes Pendel wird die Neigung der Bohrung gemessen. Ein Kompaß ermittelt die Richtung. Die Lage des Gerätes wird durch den Referenz-Kaliberarm 1 und das "Relative Bearing" (Referenzpendel), das in 180° zum Arm 1 steht, bestimmt. Die Berechnung des Bohrlochvolumens bei Ovalisierung geht von einer Idealellipse aus. Die Markierungen an der linken Seite der Teufenspur geben das integrierte Bohrlochvolumen in Kubikmeter (langer Markierungsstrich) an.

Datenrate: 15 cm (6").

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit	
BS	Bit Size	(MM) Meißelgröße	mm
C1	Caliper 1	(MM) Kaliber 1	mm
C2	Caliper 2	(MM) Kaliber 2	mm
DEVI	Deviation	(DEG) Neigung	Grad
HAZI	Hole Azimuth	(DEG) Bohrlochazimut	Grad
GR	Gamma Ray	(GAPI) Gammastrahlung	API-Einheiten
RB	Relative Bearing	(DEG) Referenz	Grad
TENS	Tension	(LB) Gewicht am Kabel	Pfund

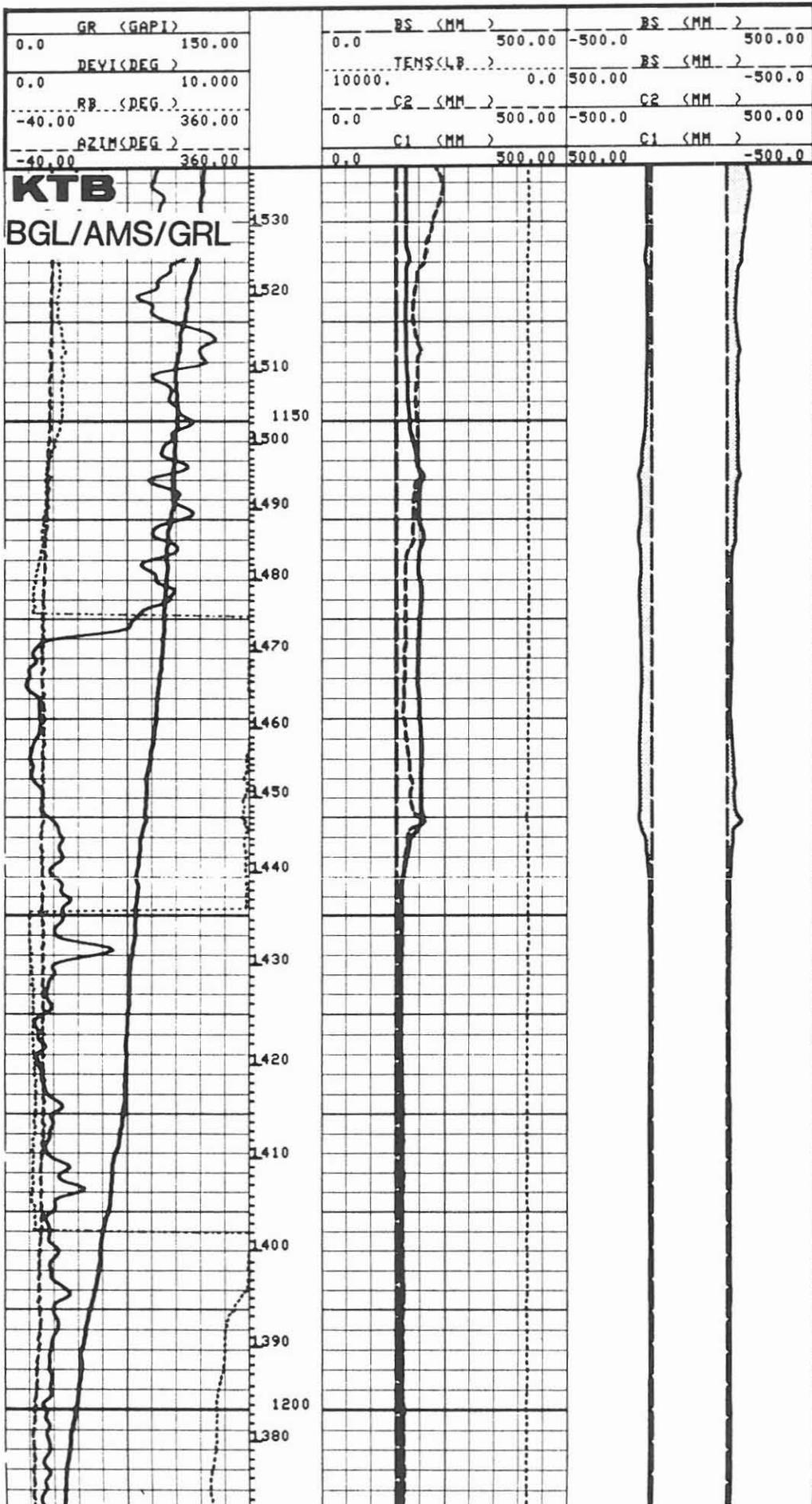


Abbildung 5.4

**DLL/MSFL/GRL/CAL** (Dual Laterolog/Microspherical Focused Log/Gammastrahlen-/Kalibermessung)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 33	26.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB - 99	21.12.87	2	473,0 - 987,5 m
VB -131	28.02.88	3	946,0 - 1521,2 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1135 - 1205 m, Abb. 5.5.

**Meßziel:**

Dieses Log wurde hauptsächlich als Widerstandsmessung gefahren, um Zonen hohen Widerstandes, also dichte Zonen, von Intervallen niedrigen Widerstandes zu unterscheiden. Letztere können Fluide enthalten. Sehr niedrige Widerstände können auf graphit- oder erzhaltige Lagen hinweisen.

**Durchführung:**

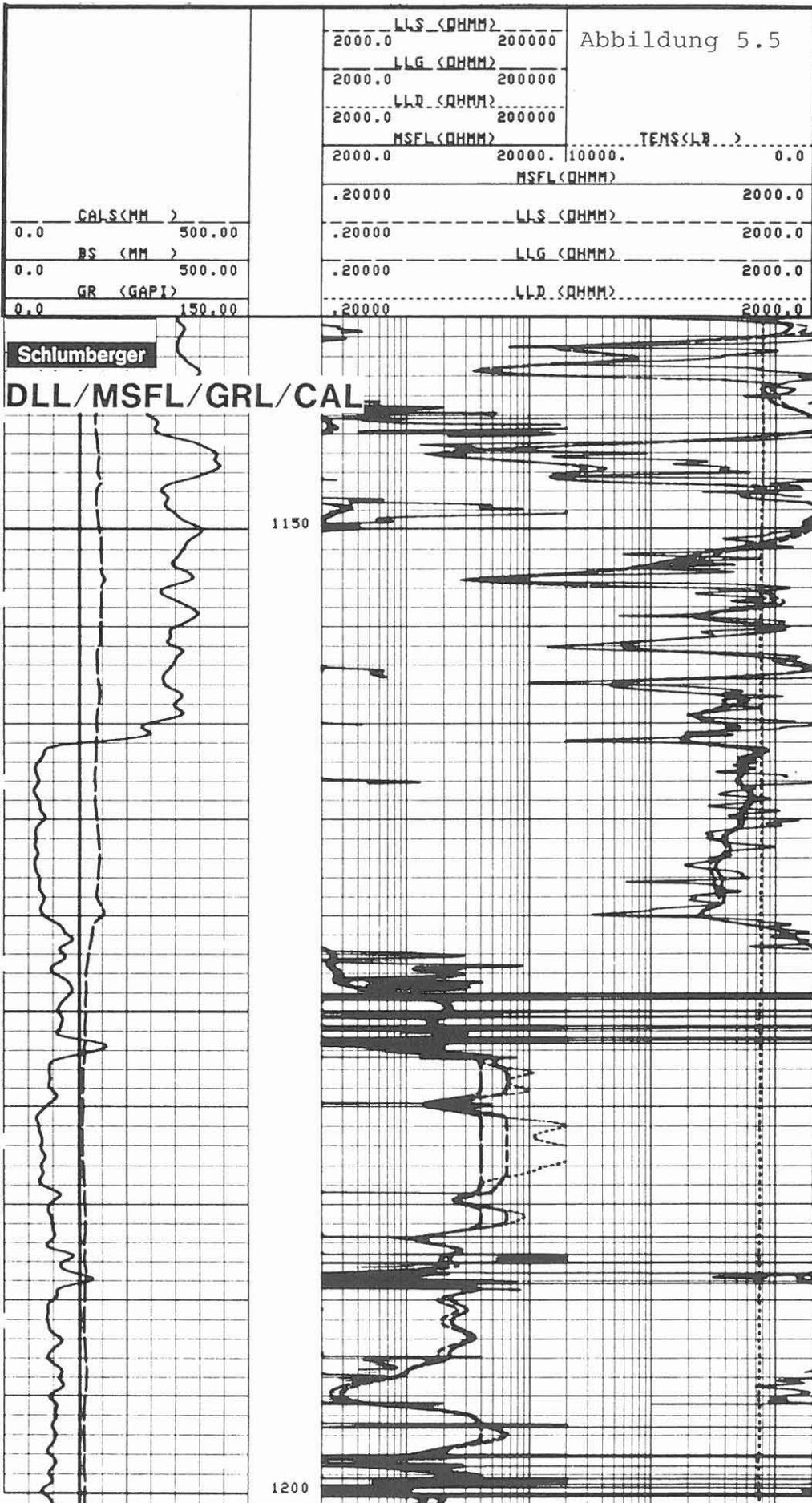
Die Messung wird als Kombination mit MSFL, CAL und AMS gefahren. Die Widerstandsskala wurde logarithmisch von 0,2 - 2000 Ohm m mit einem "back-up" von 2000 bis 200 000 Ohm m aufgezeichnet. Die gemessenen Widerstandswerte müssen wegen des Bohrlocheinflusses (besonders im Bereich der großen Auskesselungen) und der Schulterzonenbeeinflussung korrigiert werden. Dies ist nur im Rechenzentrum der Service-Firma möglich. Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000 in Echtzeit; die Meßgeschwindigkeit richtet sich nach dem GR und betrug 9 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

Es wurde das Dual Laterolog DLT-E eingesetzt. Dieses Gerät registriert 3 Laterologkurven, das Laterolog-Shallow (LLS), Laterolog-Deep (LLD) und Laterolog-Groningen (LLG). Das LLS arbeitet mit einer Frequenz von 270 Hz, das LLD und LLG mit 32 Hz. Die Referenzelektrode "N" ist für LLD am Kabel und für LLG an Elektrode VI am Bridle befestigt. Datenrate Dual Laterolog: 15 cm und Microspherical Focused Log: 5 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit		deutsch, Einheit	
BS	Bit Size	(MM)	Meißelgröße	mm
CALS	Caliper	(MM)	Kaliber	mm
GR	Gamma Ray	(GAPI)	Gammastrahlung	API-Einheit
LLD	Laterolog "deep"		tiefes Laterolog	Ohm m
LLG	Laterolog "Groningen"		Groningen-Effekt kompensiertes Laterolog	Ohm m
LLS	Laterolog "shallow"		seichtes Laterolog	Ohm m
MSFL	Microspherical Focused Log		mikrosphärisch fokussierte Messung	Ohm m



**FMST/GRL/CAL** (4-Pad Formation MicroScanner/Gammastrahlen-/Kalibermessung)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 37	27.10.87	1	27,4 - 478,0 m, 2-Pad-System
VB - 95	20.12.88	1	467,0 - 992,5 m
VB - 97	21.12.87	2	467,0 - 925,0 m, 2-Pad-System
VB -132	28.02.88	2	961,0 - 1528,2 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt 1140 - 1205 m, Abb. 5.6.

**Meßziel:**

Nachweis von Klüften und Kluftsystemen, Störungen und Scherflächen. Außerdem soll über die Schichtung, Textur und Struktur des Gesteins, das Einfallen und Streichen des Gebirges bzw. der Klüfte eine Aussage erreicht werden. Ferner ist damit eine Nachorientierung der Bohrkerns vorgesehen.

**Durchführung:**

Allgemeine Angaben zu 2-Pad-Aufzeichnung finden sich im KTB-Report 87-4, Seite 56; Angaben zur 4-Pad-Aufzeichnung im Abschn. 8.1 dieses Reports. Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit 6 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

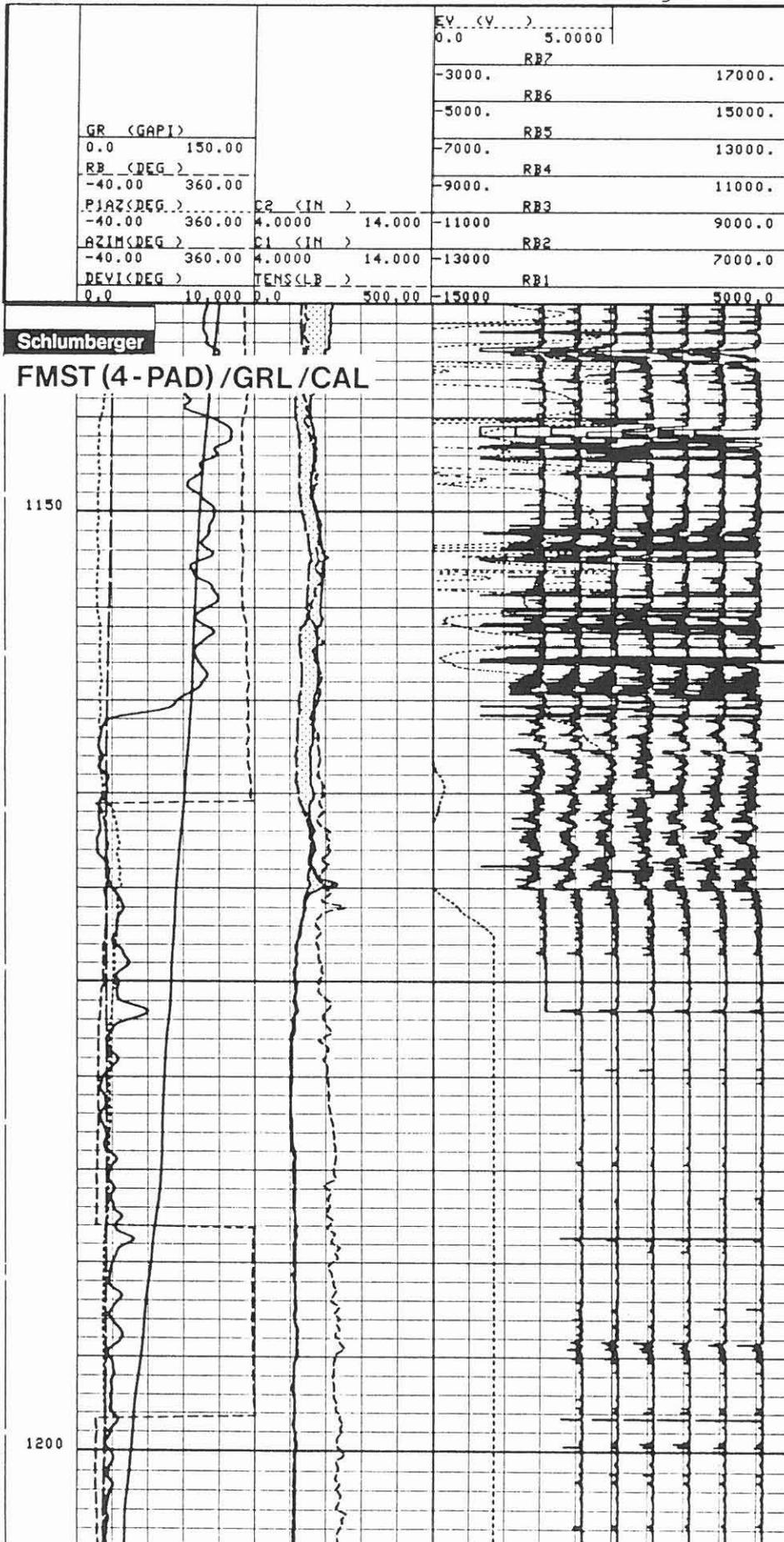
Es wurde das neue 4-Pad-FMST-Gerät eingesetzt. Das Vierarm-Kaliber öffnet bis maximal 549 mm (21,6"). Das Speichervolumen der EDV-Anlage in der Logging Unit erlaubt keine Wiedergabe aller Widerstandskurven. Dies kann nur im Rechenzentrum der Firma erfolgen. Die Meßergebnisse werden als Profilaufzeichnungen und als Images dargestellt.

Die Datenrate für die Widerstände (fast channels) beträgt 2,5 mm und für GR, CAL, Neigung und Orientierung (slow channels) 15 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit		deutsch, Einheit	
AZIM	Azimuth	DEG	Azimut	Grad
C 1	Caliper 1-3	(IN)	Kaliber 1-3	Zoll
C 2	Caliper 2-4	(IN)	Kaliber 2-4	Zoll
DEVI	Deviation	DEG	Neigung	Grad
EV	Emex Voltage	V	Meßspannung	Volt
GR	Gamma Ray	(GAPI)	Gammastrahlung	API-Einheit
PLAZ	Pad 1 Azimuth	DEG	Elektrodenträger 1	
			Azimut	Grad
RB	Relative Bearing	DEG	Referenz	Grad
RB 1-7	Resistivity Button 1-7		Widerstandselektroden 1-7	

Abbildung 5.6



**SDT/GRL** (Sonic Digital Tool/Gammastrahlenmessung)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 39	27.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB -140	02.03.88	2	467,0 - 1523,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1132 - 1206 m, Abb. 5.7

**Meßziel:**

Aussagen über Lithologie, Porosität, Gesteinsverfestigung, Klüfte und Kluftsysteme, zur Kalibrierung der seismischen Aufnahmen und zur Berechnung der Kompressions-, Scher- und Stoneleywellen-Laufzeiten.

**Durchführung:**

Die Messung erfolgte im sog. DDBHC-Mode. Bei der DT-Messung werden insgesamt 8 Laufzeiten aufgezeichnet. Dies sind:

TT1 = UT R 9 = 9'	LTT1 = UT R 4 = 10'
TT2 = UT R 10 = 3'	LTT2 = UT R 8 = 8'
TT3 = LT R 9 = 7'	LTT3 = LT R 4 = 12'
TT4 = LT R 10 = 5'	LTT4 = LT R 8 = 10'

Aus den verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten für ein 2"-Intervall werden nun 8 DT abgeleitet:

DTL1 = (LTT1 - LTT2)/2	DTS1 = (TT1 - TT2)/2
DTL2 = (LTT4 - LTT2)/2	DTS2 = (TT4 - TT2)/2
DTL3 = (LTT3 - LTT4)/2	DTS3 = (TT3 - TT4)/2
DTL4 = (LTT3 - LTT1)/2	DTS4 = (TT3 - TT1)/2

Schließlich werden aus diesen Größen die DTs berechnet, die auf den Logs dargestellt werden:

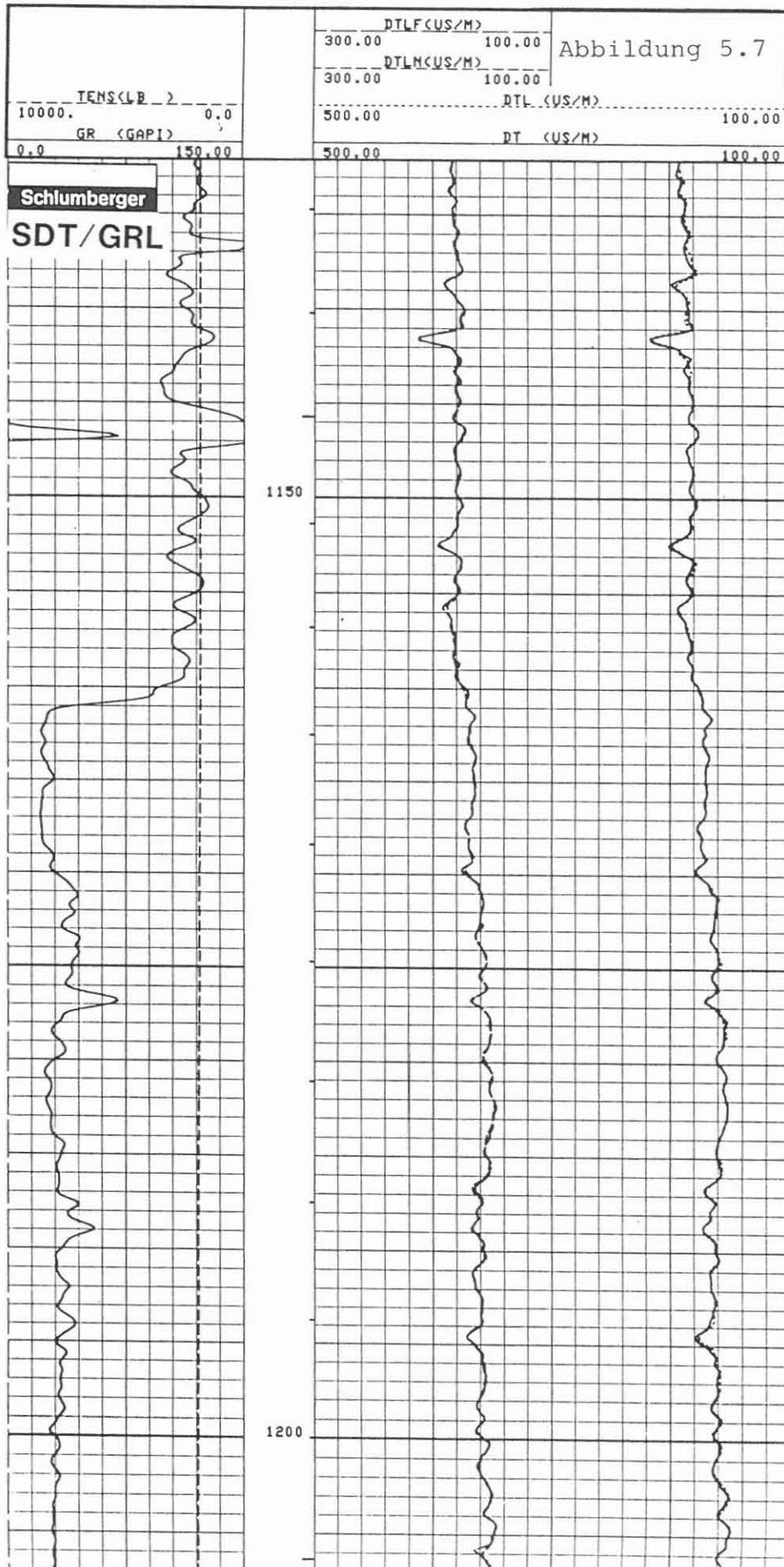
DT = (DTS1 + DTS2)/2	= DT
DTL = (DTS3 + DTS4)/2	= DT Long spacing
DTLN = (DTL1 + DTL2)/2	= DT Long spacing near
DTLF = (DTL3 + DTL4)/2	= DT Long spacing far.

In Spur 2 ist am rechten Rand die integrierte Laufzeit von TT2 dargestellt. Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit 9 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

Die große Datenfülle erlaubt keine Wiedergabe aller registrierten Daten auf Film. Sie sind jedoch auf Band aufgezeichnet und können jederzeit über Playback optisch dargestellt werden. Es wurde mit einer zeitlichen Datendichte (Sampling Interval) von 10 µs gemessen, um unter den vorgegebenen Verhältnissen gute Laufzeiten zu erhalten. 5 Zentrierfedern führten das Gerät zentrisch. Datenrate: 15 cm

**Abkürzungen:** siehe oben.



**SDT/GRL/WF** (Sonic Digital Tool/Gammastrahlenmessung/Wave Form Log)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 39	27.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB -140	02.03.88	2	467,0 - 1523,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1130 - 1205 m, Abb. 5.8.

**Meßziel:**

Aufnahme des kompletten Wellenzuges über eine möglichst lange Zeit, um Kompressions-, Scher- und Stoneleywellen-Laufzeiten zu ermitteln. Sie dienen der Kalibrierung der seismisch ermittelten Zeiten, der Berechnung von Gesteinsparametern wie der Poissonzahl, sowie mit Hilfe der Dichtemessung des Schermoduls, des Young-Moduls und der Gesteinskompressibilität.

**Durchführung:**

Dargestellt ist die Aufnahme des Wellenzuges über eine Gesamtzeit von 3000  $\mu$ s. Außerdem ist wiedergegeben die Laufzeit über die Distanz DT und DTL; siehe SDT/GRL-Beschreibung.

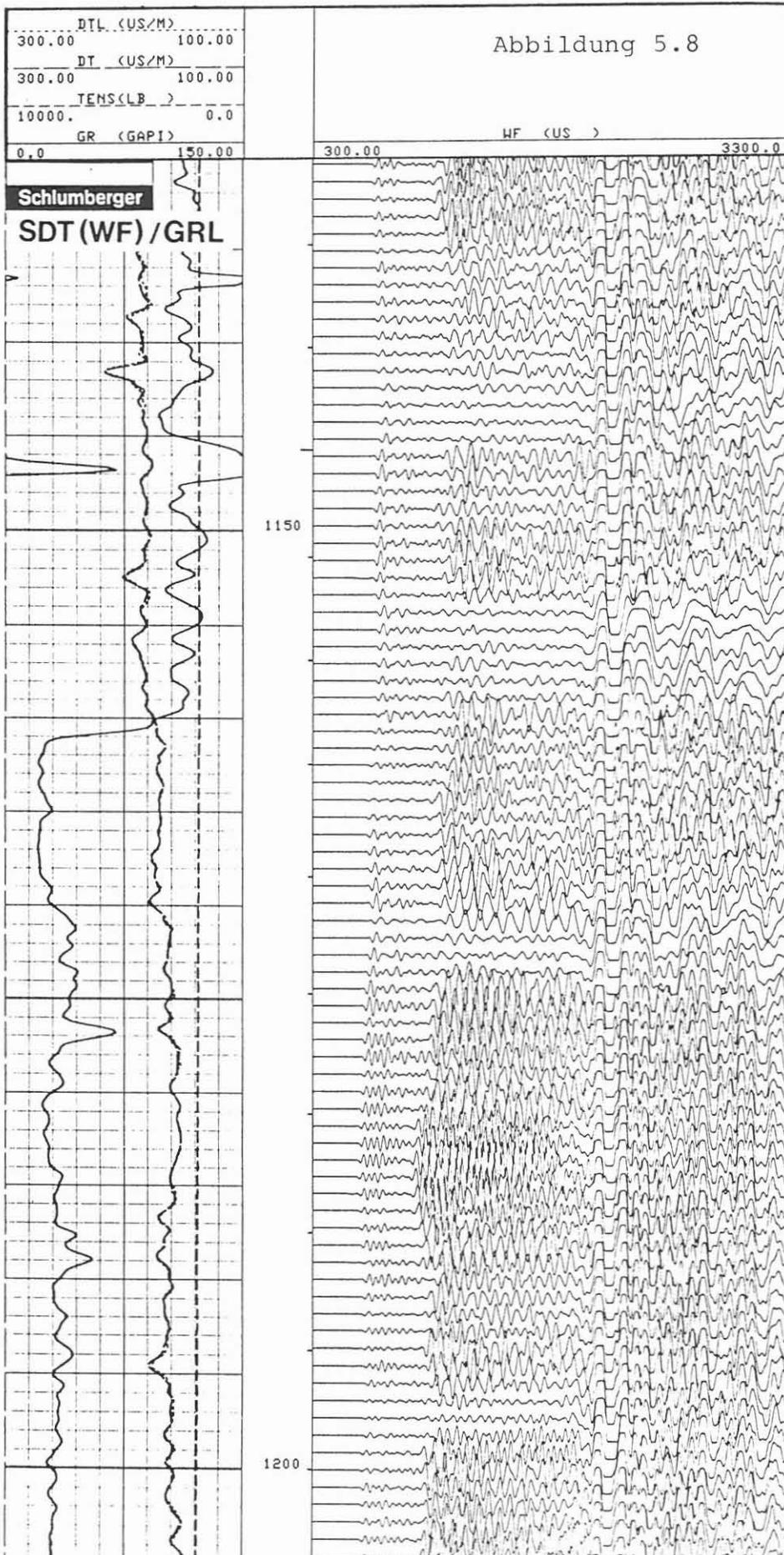
Teufenmaßstab 1 : 200; Meßgeschwindigkeit bei 20,48 ms: 1,2 m/min;  
bei 4,34 ms: 2,0 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

Für die Registrierung des gesamten Wellenzuges war es notwendig, die Messung den technischen Möglichkeiten anzupassen. Ausgegangen wurde von der Forderung, einen möglichst langen Zeitabschnitt zu registrieren, damit auch die Stoneley-Welle noch voll aufgezeichnet werden kann. Dies kann zur Zeit nur durch eine gewisse Datenreduktion erreicht werden. Sie drückt sich durch eine zeitlich verlängerte Datendichte (Sampling Interval) von 20  $\mu$ s aus. Die Aufzeichnung erfolgte in:  $(2 \times 512 \text{ words}) \times 20 \mu\text{s} = 20,48 \text{ ms}$  Länge. Die zweite Aufnahme erfolgte in  $434 \text{ words} \times 10 \mu\text{s} = 4,34 \text{ ms}$  Länge. Damit wurde das Hauptgewicht auf die Gewinnung der Kompressions- und Scherwelle gelegt. Eine Registrierung mit der erhöhten Datendichte von  $512 \text{ words} \times 5 \mu\text{s} = 2,56 \text{ ms}$  wurde unter den gegebenen Bohrlochbedingungen nicht durchgeführt. Das Gerät wurde durch 5 Zentrierfedern zentrisch geführt. Datenrate: 3 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit		deutsch, Einheit
DT	Delta T (US/M)	.	Laufzeit kurzer Meßabstand $\mu$ s/m
DTL	Delta T, long (US/M)		Laufzeit lang-kurzer Meßabstand $\mu$ s/m
WF	Wave Form (US/M)		Wellenzug-Aufzeichnung $\mu$ s



**LDT/CNT/NGT** (Litho Density-/Compensated Neutron/Natural Gamma Spectrometer-Messung)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 41	28.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB -134	28.02.88	2	470,0 - 552,0 m (aufgestanden)
VB -135	29.02.88	3	457,6 - 1529,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1140 - 1200 m, Abb. 5.9.

**Meßziel:**

Bestimmung der spezifischen Massendichte des Gesteins. Diese liefert Hinweise auf Lithologie und Porosität. Hinweise auf Vererzungen und Mineralisierung durch Schwerminerale (wie z. B. Baryt) werden durch den photoelektrischen Effekt gewonnen. Lithologie und Porosität werden auch von der Neutron-Messung erfaßt. Bestimmung des Uranium-, Thorium- und Kaliumanteils sowie der Wärmeproduktion der Gesteine mittels NGT.

**Durchführung:**

Sowohl die Dichte- wie auch die Neutronmessung müssen exzentrisch gefahren werden. Als Anpreßarm wird ein Einarm-Kaliber für die Dichtemessung und Exzentrierfedern für die Neutronmessung verwendet. Das Diagramm zeigt das Summen-GR, das berechnete GR, Kaliber und Meißeldurchmesser. Außerdem wird die Dichte, Neutronporosität (in Kalksteineinheiten), der photoelektrische Effekt, die Dichtekorrektur und das Gewicht am Kabel aufgezeichnet. In Spur 2 an der linken Seite ist das integrierte Bohrlochvolumen in m<sup>3</sup> (große Markierungsstriche) gegeben. Starke Dichteschwankungen sind meist mit abrupten Kaliberveränderungen zu korrelieren; hier ist bei einer Interpretation Vorsicht geboten.

Maximale Öffnung des einarmigen Kalibers: 576 mm (22,6").

Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit: 6 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

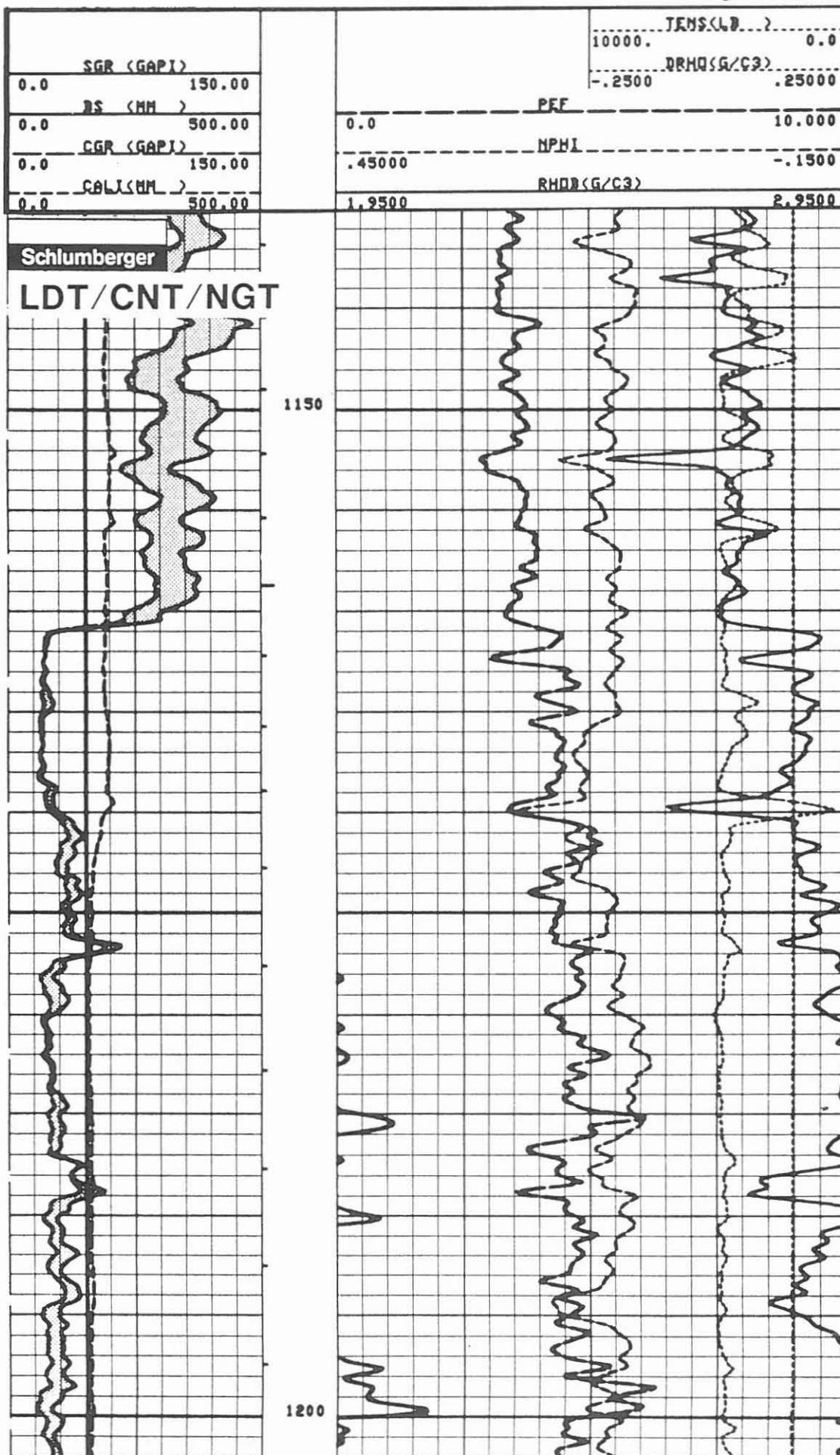
Für die Dichtemessung wird das Gebirge durch eine Cäsium-Quelle und für die Neutronmessung durch eine Americium-Beryllium-Quelle angeregt. Für das Kristallin wurde noch kein neues Kalibrierungssystem für die Kalksteinporositätseinheiten gefunden. Damit sind im Sediment beide Meßsysteme auf ein vergleichbares Porositätsformat gebracht. Es soll jedoch bereits darauf hingewiesen werden, daß die durchschnittliche Anzeige von 12 bis 15 % Neutronporosität keine effektive Porosität repräsentiert, sondern einen Hinweis auf neutronenabsorbierenden Mineralbestand darstellt.

Datenrate: 15 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit		deutsch, Einheit
DRHO	Delta-RHO (G/C3)	Dichtekorrektur	g/cm <sup>3</sup>
NPFI	Neutronporosity (% L.P.U.)	Neutronenporosität % Kalksteineinh.	%
RHOB	Bulk Density (G/C3)	Massendichte	g/cm <sup>3</sup>
PEF	Photoelectric Adsorption(B/E)	Photoelektr. Adsorption Barn/Elektron	

Abbildung 5.9



**CNT-G/GRL/CAL** (Compensated Neutron-Type "G"/Gammastrahlen-/Kalibermessung)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

<u>Lfd. Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Run Nr.</u>	<u>Intervall</u>
VB- 41	28.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB-135	29.02.88	2	457,6 - 1523,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1135 - 1205 m, Abb. 5.10.

**Meßziel:**

Bestimmung der Porosität, der Lithologie, des Tongehaltes (Vergrünungsgrad), Gehalt an neutronabsorbierenden Mineralien und Kalzitlagen (Kluftverheilungen).

**Durchführung:**

Dieses Gerät wurde mit der Kombination LDT/CNT/NGT gefahren. Die Aufzeichnung der Messung wird in Echtzeit nur auf Magnetband vorgenommen. Die optische Darstellung wird über Playback ausgeführt. Das Diagramm zeigt in Spur 1 das Summen-GR, die um den Uranium-Anteil korrigierte Strahlung CGR), Kaliber (der Dichtemessung) und die Meißelgröße. In Spur 3 und 4 wird die im thermalen und epithermalen Energiebereich gemessene Neutronporosität in Kalksteinporositätseinheiten wiedergegeben.

Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit wie Kombinationsmessung: 6 m/min.

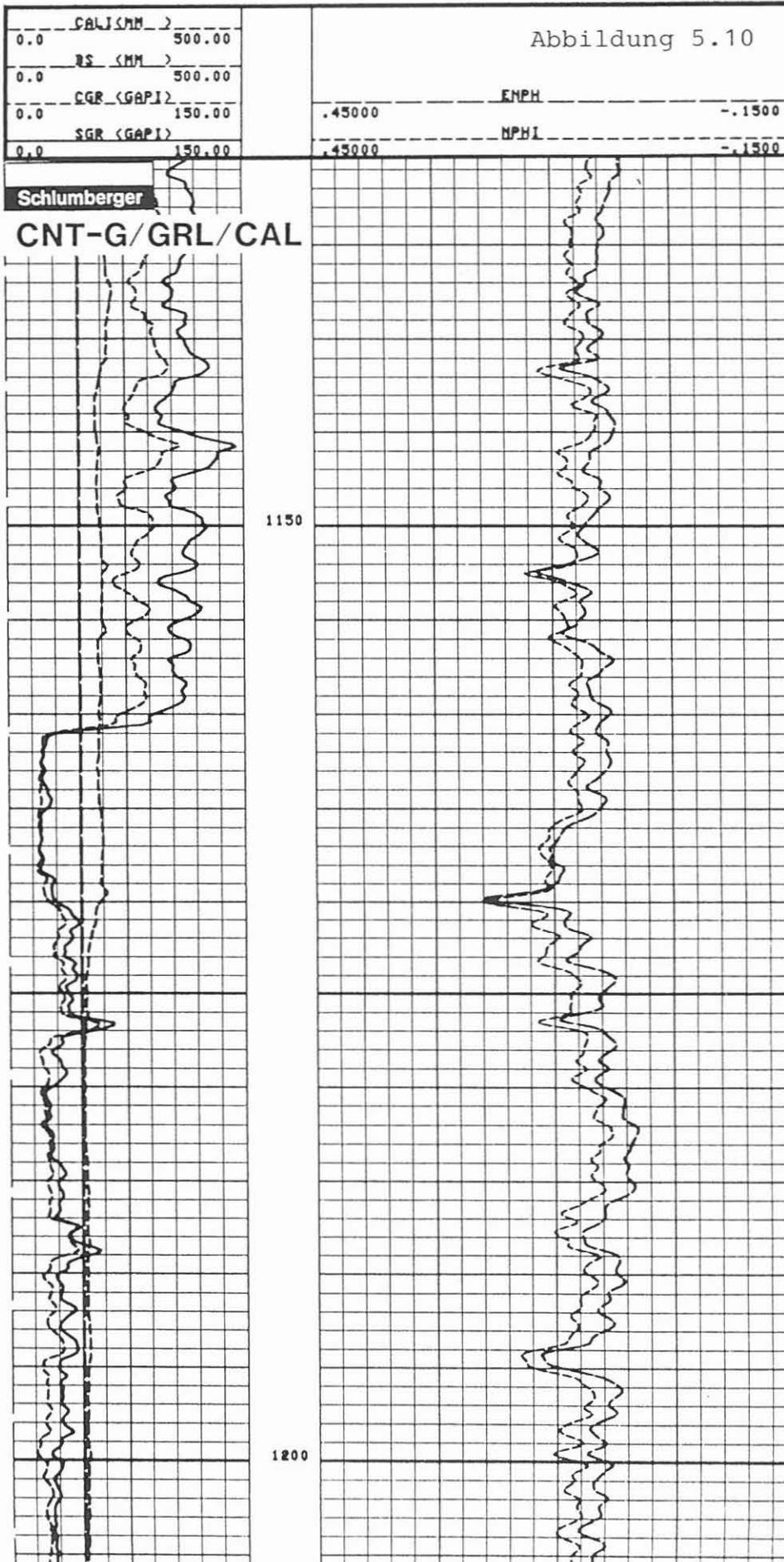
**Technische Anmerkungen:**

Mit diesem Gerät wird die Neutronanregung in zwei Energiebereichen erfaßt: thermal und epithermal. Im epithermalen Bereich wird die durch die abgebremsten Neutronen erzeugte Strahlung gemessen, wohingegen im thermalen Bereich die auf dieses Niveau gebremste Neutronstrahlung erfaßt wird.

Datenrate: 15 cm.

**Abkürzungen:**

	<u>englisch, Einheit</u>	<u>deutsch, Einheit</u>
ENPH	Epithermal Neutron Porosity (% LPU)	epithermale Neutronporosität % Kalksteineinheiten
NPHI	Neutronporosity (% LPU)	Neutronenporosität % Kalksteinsteineinh.



**NGS-RATIO** (Natural Gamma Spectrometer - Ratio Präsentation)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB- 41	28.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB-135	29.02.88	2	457,6 - 1523,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1135 - 1205 m, Abb. 5.11.

**Meßziel:**

Auflösung des natürlichen Gammastrahlenspektrums in Uranium-, Thorium- und Kaliumanteile. Bestimmung von radioaktiven Bestandteilen und deren Verhältnis zueinander, der Wärmeproduktion sowie mögliche Hinweise auf Klüftigkeit.

**Durchführung:**

Die Messung wurde in Kombination mit der Dichte-Neutronmessung (LDT/CNT) und dem Geochemical Logging Tool (GLT) gefahren. Die Berechnung der anteiligen Strahlungen und der Verhältnisse sind als Playback aufgezeichnet. Die Aufzeichnung bringt in Spur 1 die Gesamtgammastrahlung (SGR), die um den Uraniumanteil korrigierte Strahlung (CGR) - deren Differenz punktiert dargestellt ist -, ein Einarm-Kaliber, in Spur 3 die Verhältnisse Thorium/Uranium, Uranium/Kalium und Thorium/Kalium in logarithmischer und in Spur 4 die Einzelanteile in linearer Präsentation. Die Kalium- und Thoriumkurven sind gegenläufig dargestellt und die Fläche zwischen den Meßwerten ist durch Punktierung hervorgehoben.

Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit 6 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

Die Berechnung der Verhältnisse erfolgt, um die Hauptstrahlungskomponente hervorzuheben. Die Zählraten der Einzelstrahlungen werden durch einen Kalmann-Filter von starken statistischen Schwankungen befreit.

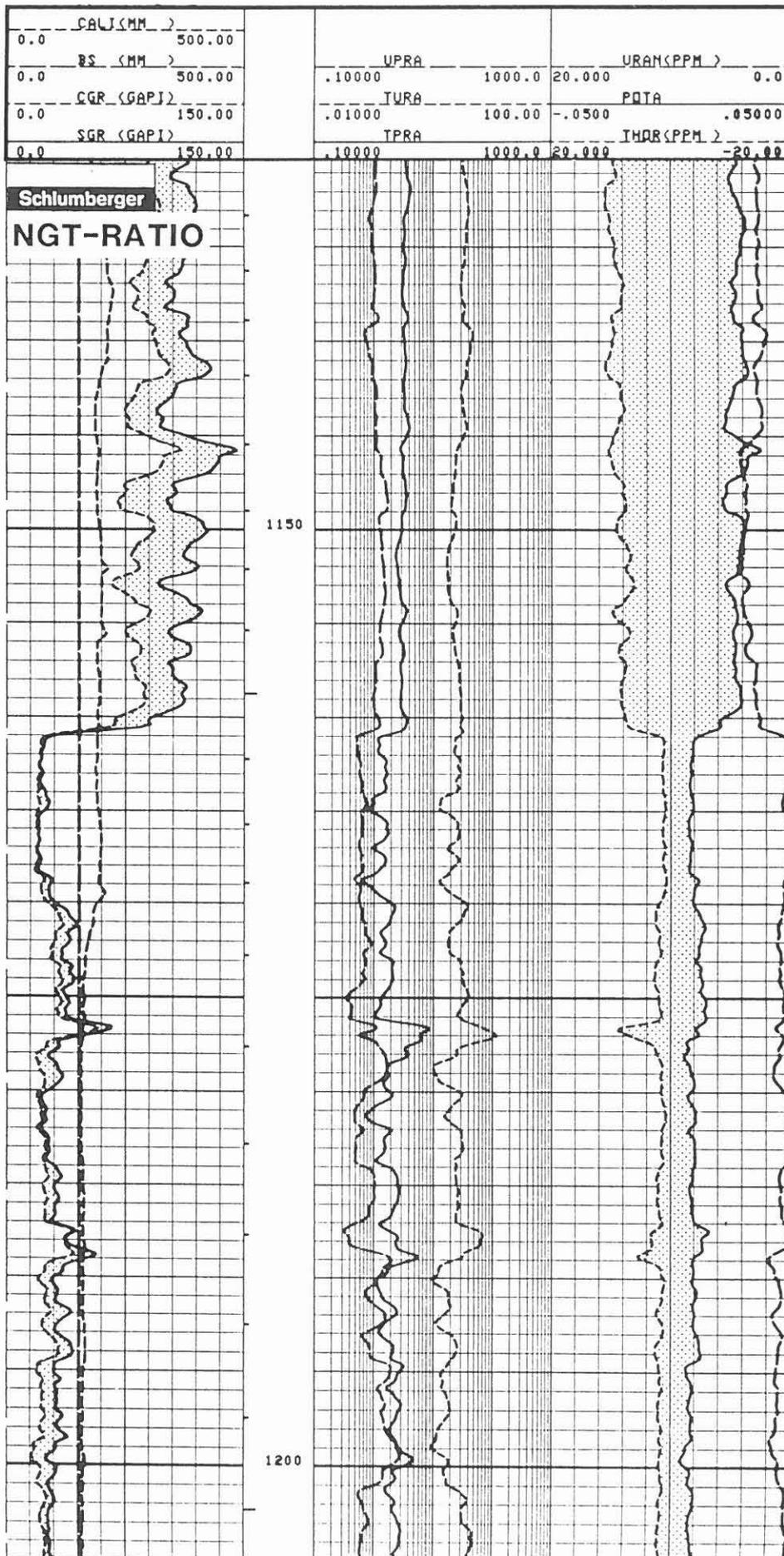
Die Darstellung der gegenläufigen Thorium- und Kaliumstrahlung, beide für Vertonung verantwortlich, gibt in dem gemessenen Bereich sicher einen guten Hinweis auf "vergrünte" Zonen und bei starker Kaliumstrahlung auf Kalifeldspäte. Die Messung wurde exzentrisch gefahren.

Datenrate: 15 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit	
BS	Bit Size (MM)	Meißelgröße	mm
CALI	Caliper (MM)	Kaliber	mm
CGR	Computed GR (GAPI)	Berechnetes GR (Uraniumkorrigiertes GR)	API-Einheiten
POTA	Potassium	Kalium	%
SGR	Sum GR (GAPI)	Summen-Gesamt GR	API-Einheiten
UPRA	Uranium/Potassium Ratio	Uranium/Kalium-Verhältnis	
URAN	Uranium (PPM)	Uranium	g/t
THOR	Thorium (PPM)	Thorium	g/t
TPRA	Thorium/Potassium Ratio	Thorium/Kalium-Verhältnis	
TURA	Thorium/Uranium Ratio	Thorium/Uranium-Verhältnis	

Abbildung 5.11



NGS-SPEC (Natural Gamma Spectrometer - Spezialaufzeichnung)

Ausführender: Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB- 41	28.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB-135	29.02.88	2	457,6 - 1523,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1135 - 1205 m, Abb. 5.12.

**Meßziel:**

Aufzeichnung des natürlichen Gammastrahlenspektrums, zerlegt in Uranium-, Thorium- und Kaliumstrahlung. Bestimmung von radioaktiven Bestandteilen, der Wärmeproduktion sowie mögliche Klufthanzeige durch Uraniumspitzen.

**Durchführung:**

Die Messung wurde in Kombination sowohl mit der Dichte-Neutronmessung (LDT/CNT) als auch mit dem Geochemical Logging Tool (GLT) gefahren. Da das NGT vor der optischen Darstellung bearbeitet werden muß, wurde es nicht in Echtzeit registriert. Die Darstellung gibt die Gesamtgammastrahlung (SGR), die um den Uraniumanteil korrigierte Strahlung (CGR) und die von der Uranium- und Thoriumreihe und dem Kalium ausgehende Strahlung wieder. Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit 6 m/min.

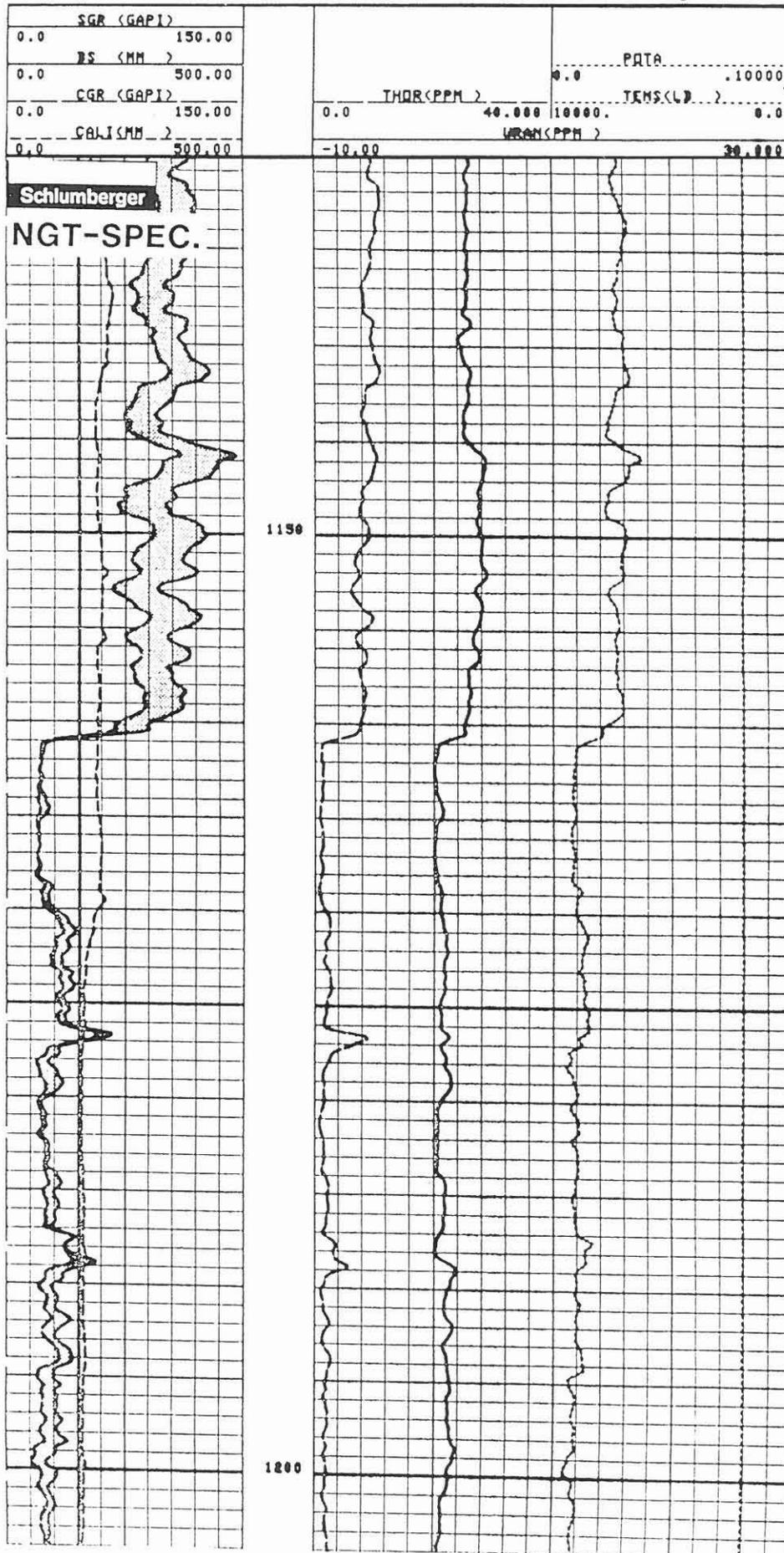
**Technische Anmerkungen:**

Es werden Strahlungsaktivitäten in Zählraten gemessen. Diese werden über einen Kalmann-Filter bearbeitet, bevor sie optisch auf Film aufgezeichnet werden. Die Rohdaten der 3 Energiefenster des Sepktrums werden auf Magnetband registriert. Eine Gammastrahlenmessung ist eine "statistische" Messung. Sie soll deshalb langsam (unter 9 m/min.) gefahren werden. Die Messung wurde exzentrisch gefahren. Datenrate: 15 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit		deutsch, Einheit	
BS	Bit Size	(MW)	Meißeldurchmesser	mm
CALI	Caliper	(MM)	Kaliber	mm
CGR	Computed GR	(GAPI)	Berechnetes GR	API-Einheiten (Uraniumkorrigiertes GR)
POTA	Potassium	(%)	Kalium	%
SGR	Sum GR	(GAPI)	Summen-Gesamt GR	API-Einheiten
URAN	Uranium	(DPM)	Uranium	g/t
TENS	Tension	(LB)	Gewicht am Kabel	Pfund
THOR	Thorium	(DPM)	Thorium	g/t

Abbildung 5.12



**BHTV/GR** (Borehole Televiwer/Gammastrahlenmessung)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

<u>Lfd. Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Run Nr.</u>	<u>Intervall</u>
VB - 43	28.10.87	1	60,0 - 478,0 m
VB -101	23.12.87	2	477,0 - 986,0 m
VB -138	01.03.88	3	1104,0 - 1528,3 m
VB -141	02.03.88	-	1205,0 - 1240,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 518 - 532 m, Abb. 5.13.

**Meßziel:**

Erkennen von Klüften, Kluftsystemen und Störungszonen sowie möglicherweise Textur und Gefüge des Gesteins sind die Hauptziele dieser Messung. Akustisches Kaliber.

**Durchführung:**

Die Meßgeschwindigkeit wird vom akustischen Scannersystem vorgegeben. Dadurch wird die Gammastrahlenmessung sehr stark durch statistische Schwankungen beeinflusst. In Spur 1 wird ein Minimal-, Maximal- und ein mittleres akustisches Kaliber, die Signalempfangskontrolle, die Gammastrahlung und das Gewicht am Kabel registriert. In Spur 2 ist die Laufzeit der Spülung in  $\mu\text{s}/\text{m}$  gegeben. In Spur 3 wird die auf Nord normalisierte Laufzeit und in Spur 4 die ebenfalls auf Nord normalisierte Amplitude aufgezeichnet. Die Graustufung entspricht der Reflexionseigenschaft des akustischen Signals. Dunkel (schwarz) bedeutet starke Absorption und hell (weiß) gute Reflexion. Die Datenfülle zwingt zum Wechsel von Magnetbändern. Bei jedem Wechsel werden kurze Intervalle wiederholt und überlappt (5 - 8 m).

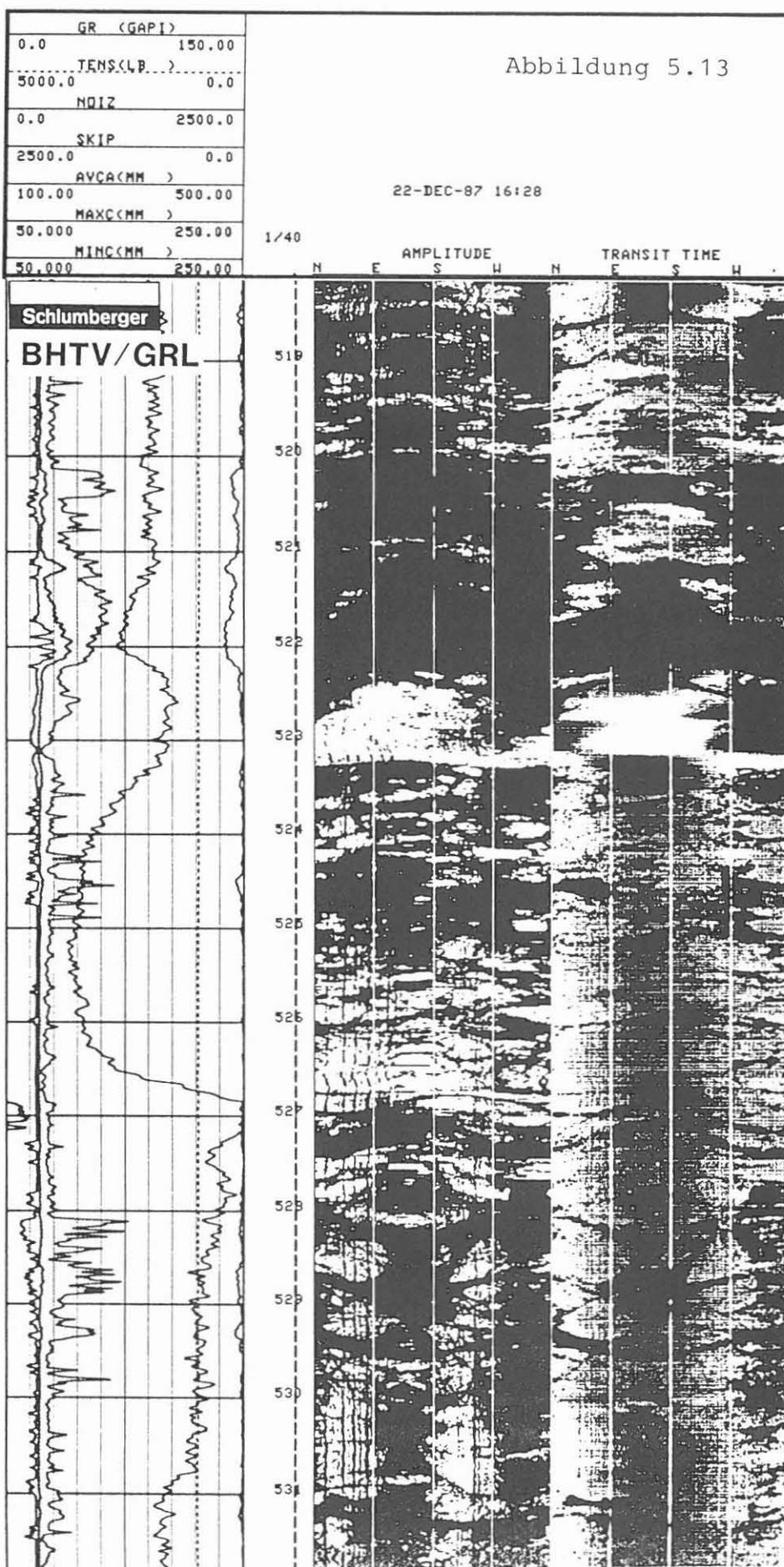
Teufenmaßstab 1 : 40; Meßgeschwindigkeit: maximal 1 m/min, meist geringer.

**Technische Anmerkungen:**

Die im Feld aufgezeichneten Rohdaten werden im Rechenzentrum überarbeitet. Besonders in ausgekesselten Bereichen wird versucht, durch Signalverstärkung und Filterung die Meßergebnisse zu verbessern. Die Nordorientierung der Messung wird magnetisch vollzogen. Der akustische Scanner arbeitet mit 3 Umdrehungen/Sekunde und einer Abtastrate von 250 Lesungen pro Umdrehung. Die akustische Sendefrequenz beträgt 450 kHz. Das Gerät wird mit 4 starken Zentrierfedern gefahren. Vertikales Auflösungsvermögen wird mit 5 mm angegeben. Datenrate: 5 mm.

**Abkürzungen:**

	<u>englisch, Einheit</u>		<u>deutsch, Einheit</u>	
AVCA	Average Caliper	(MM)	Mittleres Kaliber	mm
E	East		Osten	
MAXC	Maximum Caliper	(MM)	Maximales Kaliber	mm
MINC	Minimum Caliper	(MM)	Minimales Kaliber	mm
N	North		Norden	
S	South		Süden	
SKIP	Skip of Signal		Signalkontrollanzeige	
W	West		Westen	



GLT (Geochemical Logging Tool)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Diepholz/KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 45	29.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB -137	29.02.88	2	470,0 - 1529,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1130 - 1205 m, Abb. 5.14.

**Meßziel:**

Mit dieser Messung soll eine in situ Elementanalyse mit Hilfe der Spektrometrie erreicht werden. Sie gibt Aufschluß über die Mineralzusammensetzung des Gesteins. Mit den an Kernen gemessenen Werten punktförmig abgeglichen, kann ein kontinuierliches "Mineralprofil" erstellt werden. Außerdem erlaubt diese Messung eine Aussage über mögliche Porosität.

**Durchführung:**

Alle relevanten Daten werden digital auf Magnetband aufgezeichnet, und nur ein Kontrollfilm mit einigen berechneten Verhältnissen wird im Feld registriert. Die Magnetbänder werden im Forschungszentrum der Firma Schlumberger in Ridgefield/USA und neuerdings auch im Rechenzentrum Hannover ausgewertet.

Aus dem vorliegenden Diagramm kann nur die Funktionstüchtigkeit der Gerätekombination abgelesen werden. Eine Auswertung über Elementanalyse, Mineralzusammensetzung und Lithologie ist hieraus nicht durchführbar.

Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit: 2 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

Diese neue Gerätekombination besteht aus Gamma Ray Spectrometer (GST), Aluminium Activation Clay Tool (AACT) und Natural Gamma Spectrometer (NGT). Eine Detailbeschreibung ist im KTB-Report 87-3 gegeben.

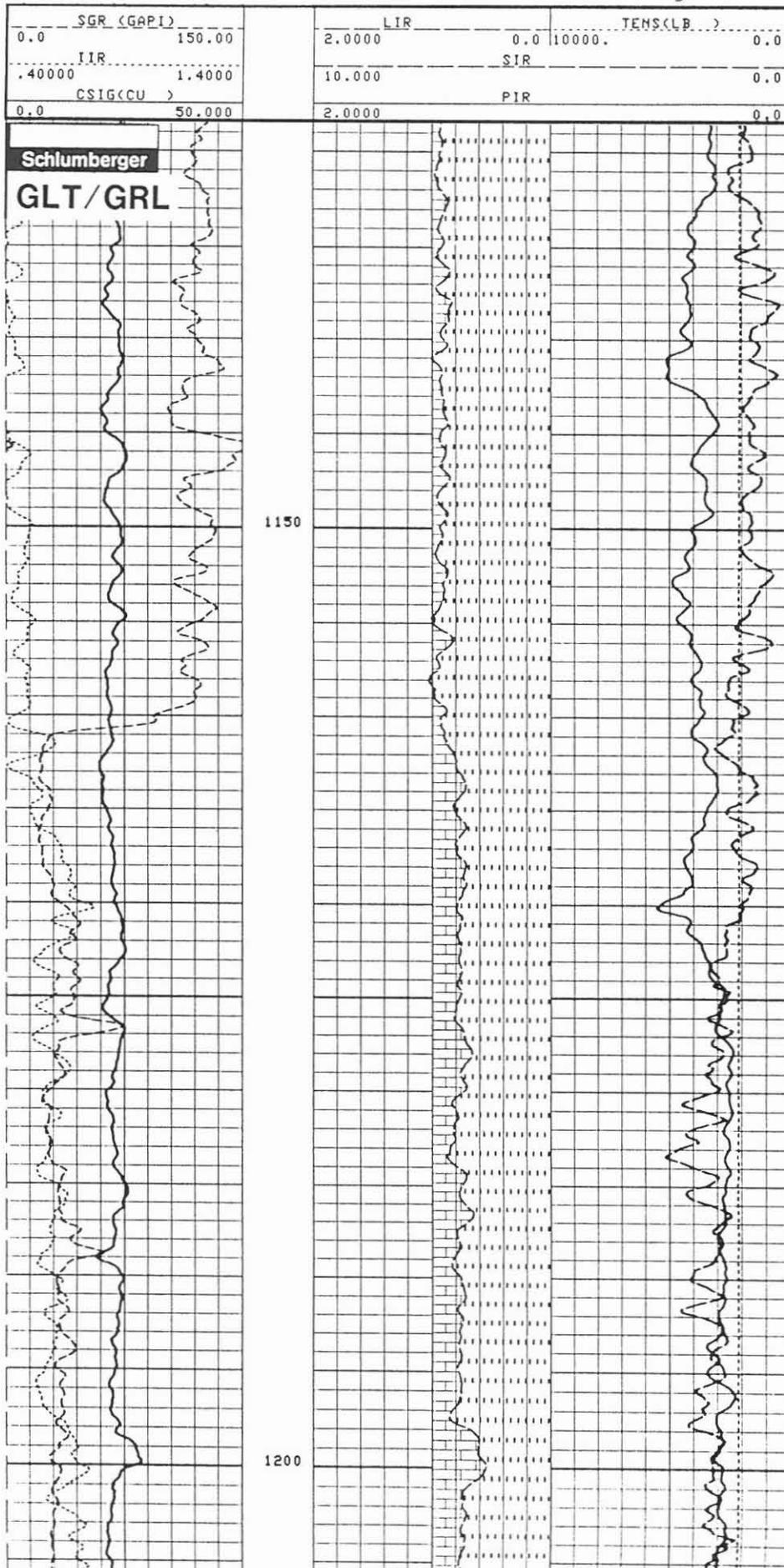
Die kontinuierliche Messung wurde im "Capture Mode" und stationäre Messungen im "Inelastic Mode" registriert. Da die Neutronaktivierung des Gebirges sehr stark ist, kann die Messung des natürlichen Gammastrahlenspektrums der Wiederholungsmessungen davon beeinflusst sein. Eine mehrstündige Abklingzeit ist notwendig. Als Quelle dienen ein Neutronbeschleuniger und eine Californium-Quelle.

Datenrate: 15 cm

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit
IIR	Iron Indicator Ratio	Eisenanzeigeverhältnis
LIR	Lithology Indicator Ratio	Lithologieanzeigeverhältnis
PIR	Porosity Indicator Ratio	Porositätsanzeigeverhältnis
SIR	Salinity Indicator Ratio	Salinitätsanzeigeverhältnis

Abbildung 5.14



SP (Eigenpotential)

Ausführender: KTB

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 46	29.10.87	1	27,4 - 478,5 m
VB -106	04.01.88	2	421,0 - 993,0 m
VB -139	02.03.88	3	473,0 - 1525,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 1140 - 1205 m, Abb. 5.15.

**Meßziel:**

Hinweise auf permeable Zonen, Tonlagen, dichte Gesteinsbereiche sowie zur Salinität des Formationswassers.

**Durchführung:**

Eine für KTB besonders zusammengesetzte Sonde kam zum Einsatz. Sie wurde allein und stromlos gefahren, um störende Einflüsse zu vermeiden. Nur ein isoliertes Gewicht unterstützte das Einfahren.

Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit 22 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

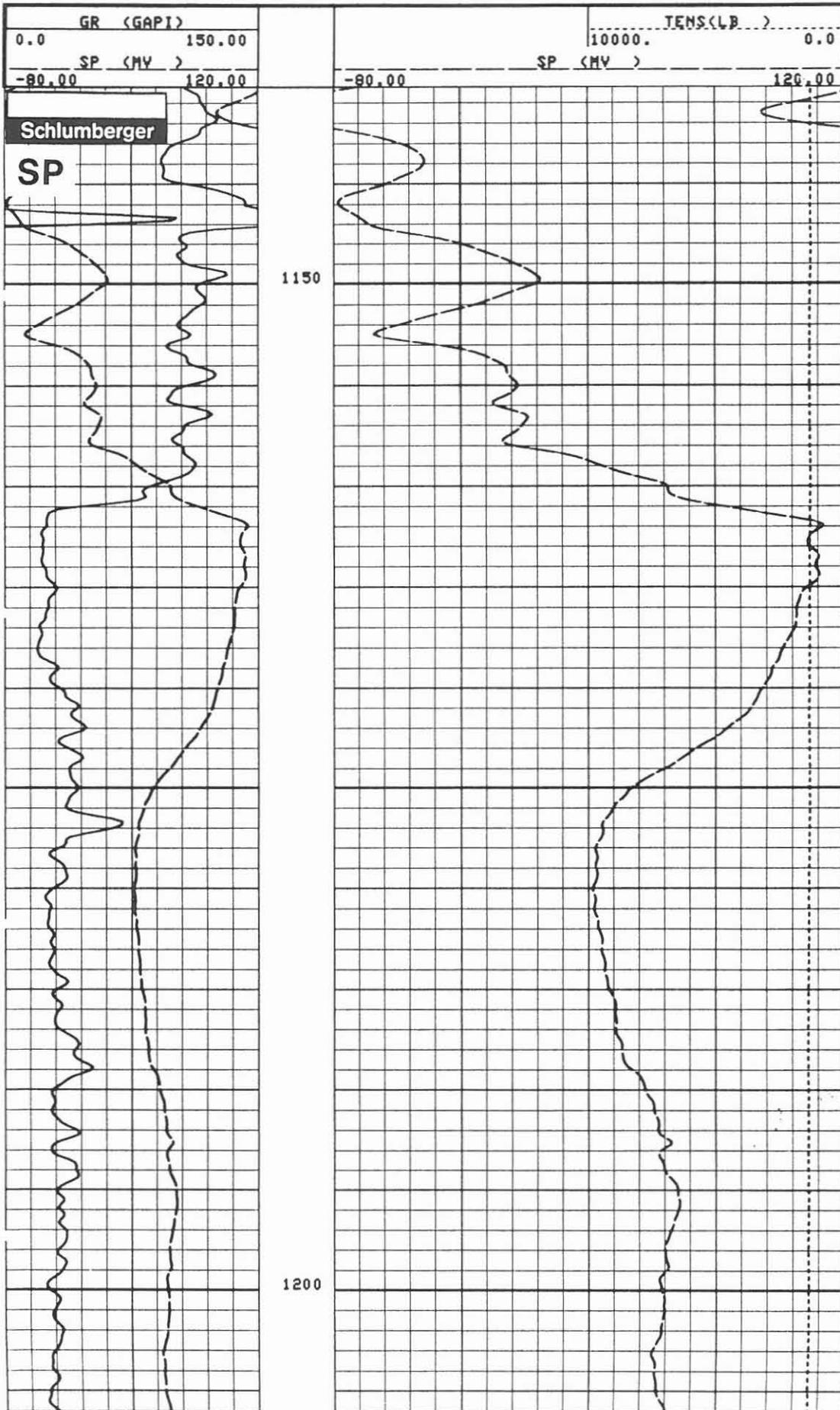
Oberflächenelektrode in die Bohrkleingrube ausgelegt. Von dieser Position war die beste Ansprache des Meßsystems zu beobachten. Die Distanz zur Bohrung beträgt ca. 12 m.

Datenrate: 15 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit	
SP	Self Potential (MV)	Eigenpotential	Millivolt

Abbildung 5.15



IP-(cont.) (Induzierte Polarisation, kontinuierlich gemessen)

**Ausführender:** Eötvös Loránd Geophysikalisches Institut,  
Budapest/Ungarn (ELGI)

Lfd. Nr.	Datum	Run Nr.	Intervall
VB - 51	31.10.87	1	27,4 - 478,0 m
VB -107	05.01.88	2	480,0 - 992,0 m

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 500 - 800 m, Abb. 5.16.

**Meßziel:**

Nachweis von "glänzenden" Mineralien wie pyritische Vererzung sowie Graphit. Außerdem Hinweise auf Kontaktflächen von Gesteinsmatrix/Formationsflüssigkeit.

**Durchführung:**

ELGI führte die Messungen mit eigenem Meßwagen aus, der mit einem 4adrigen Kabel ausgerüstet ist. Die Registrierung der Meßwerte erfolgte auf Papier und Floppy (Format nicht bekannt).  
Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000; Meßgeschwindigkeit 10 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

Nach Abschalten der angelegten Spannung klingt auch die induzierte Spannung ab (siehe Abb. 6.6. Die abklingende Spannung wird nach 50 ms (=V1) und nach 90 ms (=V2) gemessen, auf die maximale Spannung bezogen und in Prozent ausgedrückt. Ferner gilt:  $ETA (\%) = V1 + V2$ ,  $KAP (\%) = 100 \cdot V1^2 / [(100 + V1) V_2]$ ,  $TAU (ms) = -90 / \ln (V2/KAP)$ . Die Größe W 40 (Ohm m) wurde mit der kleinen Normale (16") gemessen.  
Datenrate: 10 cm.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit	
ETA	-	aufsummierte IP-Meßwerte	%
KAP	-	IP-Meßwert für t	%
TAU	-	Abklingkonstante <sup>o</sup>	ms
W 40	-	Gebirgs-widerstand	Ohm m

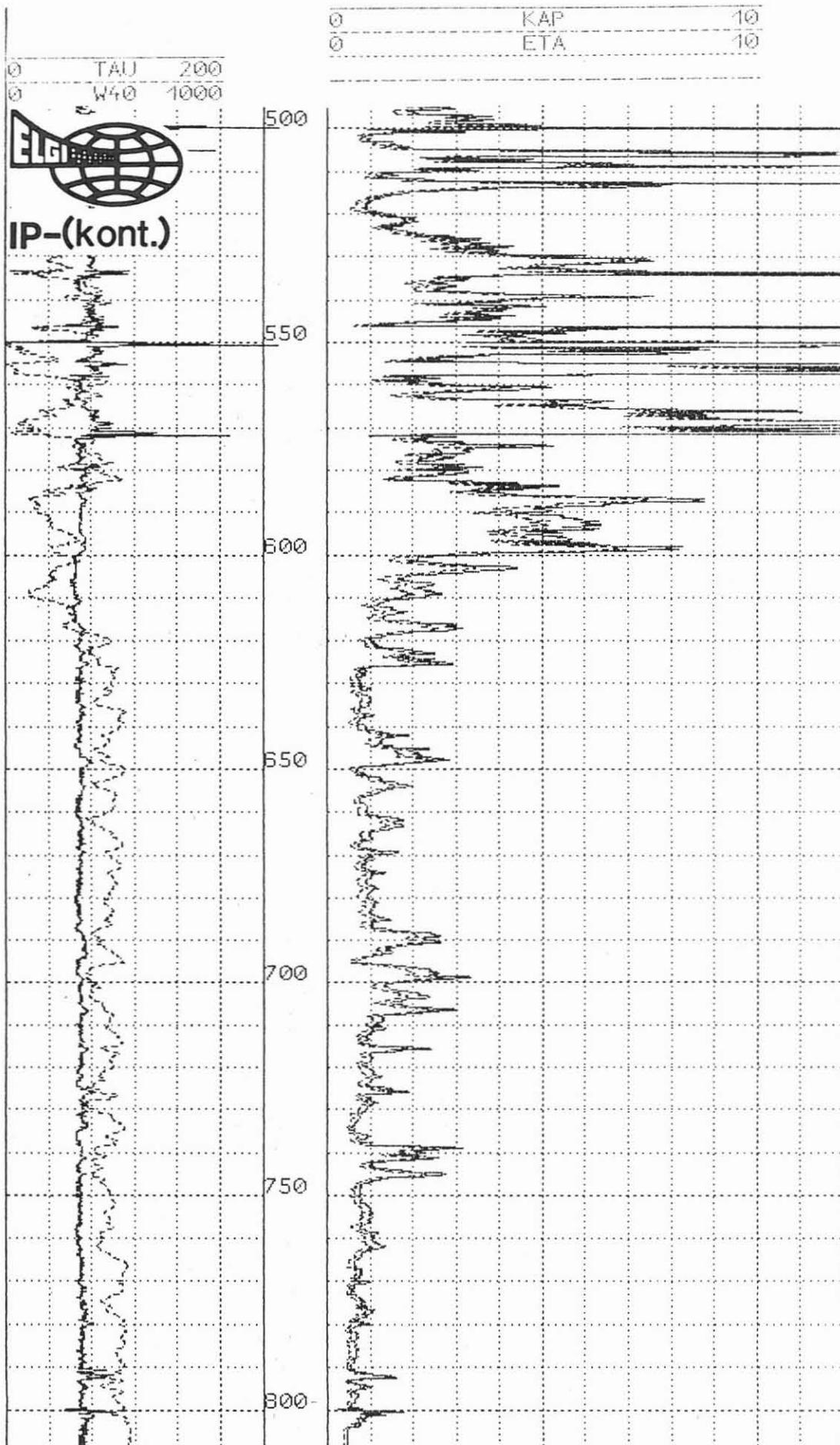


Abbildung 5.16

**IP-(kontinuierlich) (Induzierte Polarisation)**

**Ausführender:** Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung  
(NlfB), Hannover

<u>Lfd. Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Run Nr.</u>	<u>Intervall</u>
VB - 62	04.11.87	1	194,0 - 474,0 m, stationär
VB -143	03.03.88	2	480,0 - 1520,0 m, kontinuierl.

**Beispiel:**

Meßausschnitt von 480 - 1520 m, Abb. 5.17.

**Meßziel:**

Nachweis von Zonen erhöhter Aufladefähigkeit M, insbesondere von Erzgängen, Graphitlagen sowie Bereichen mit Fluiden in der Vorbohrung der KTB.

**Durchführung:**

Das IP-Log wurde mit dem Bohrlochmeßwagen des Referates Geoelektrik (Hersteller Mount Sopris Ltd., USA) am 03.03.1988 in der Zeit von 03.45 bis 09.00 Uhr aufgenommen. Die Messung erfolgte ohne GR. Der Schlupf war nicht genau zu ermitteln, da das Kabel sich beim Ziehen etwa 16 cm oberhalb der Sonde am Bohrturm verklemmte. Er wurde nachträglich zu etwa 3,30 m abgeschätzt.

Weite Bereiche des Teufenintervalls 480 - 1520 m zeigen Aufladefähigkeiten von unter 1 mV/V mit lokalen Anomalien bis 10 mV/V. Oberhalb von 620 m schwanken die Aufladefähigkeiten stark. Sie liegen z. T. deutlich über der "Sulfidschwelle" von 20 mV/V. Zwischen 990 m und 1170 m treten mehrere starke IP-Anomalien auf. Bei 560 m sowie um 1022 m erreicht die Aufladefähigkeit Einzelmaxima von über 100 mV/V.

Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 5000; Meßgeschwindigkeit 5 m/min.

**Technische Anmerkungen:**

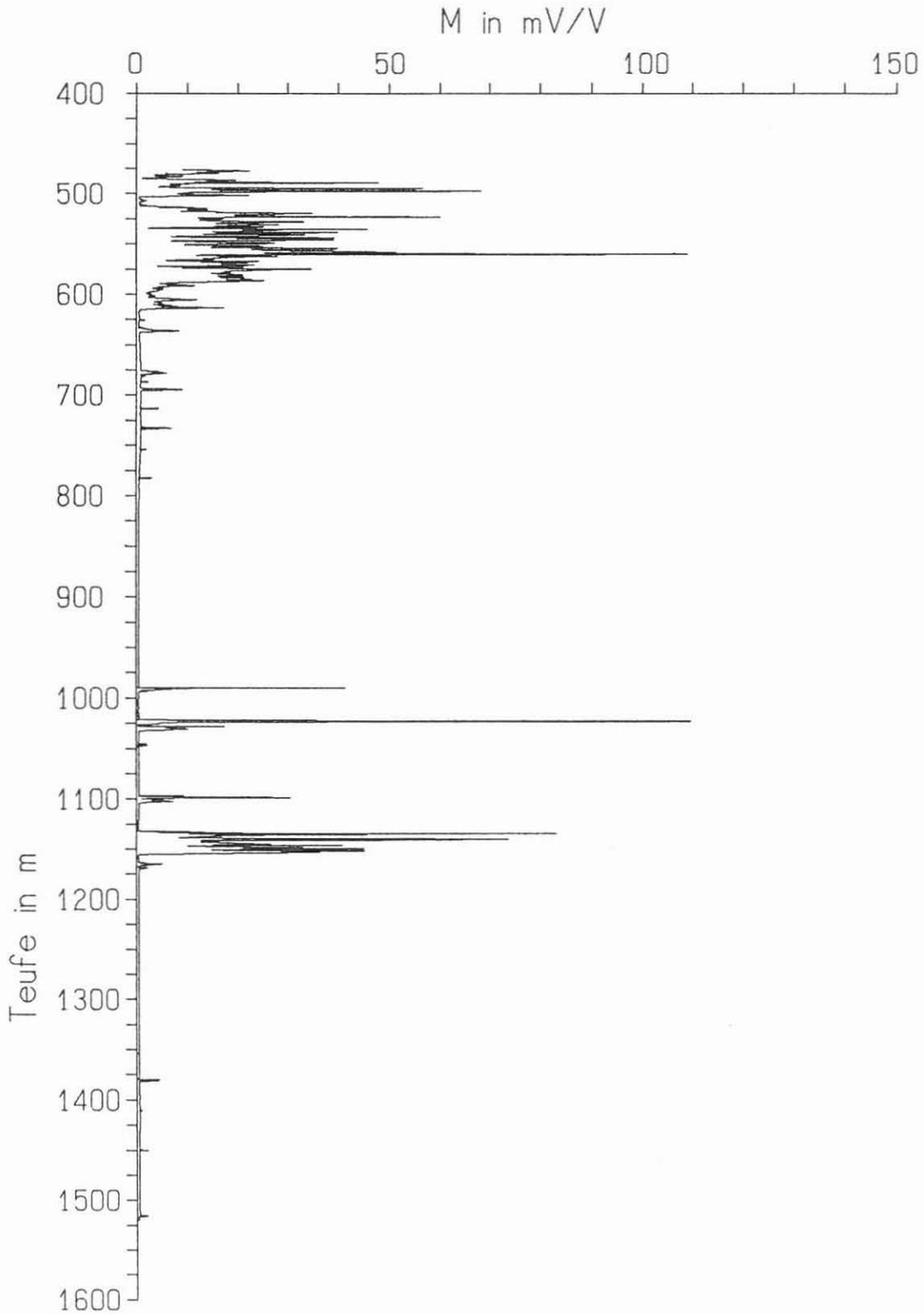
Als Meßanordnung wurde die Daknov-Mikronormale gewählt. Neben dem IP-Log wurde mit dieser Anordnung der spezifische elektrische Widerstand ermittelt. Zusätzlich wurde der Eigenpotential-Gradient über eine konstante Meßstrecke von etwa 16 m registriert. Beide Logs liegen im Maßstab 1 : 200 vor.

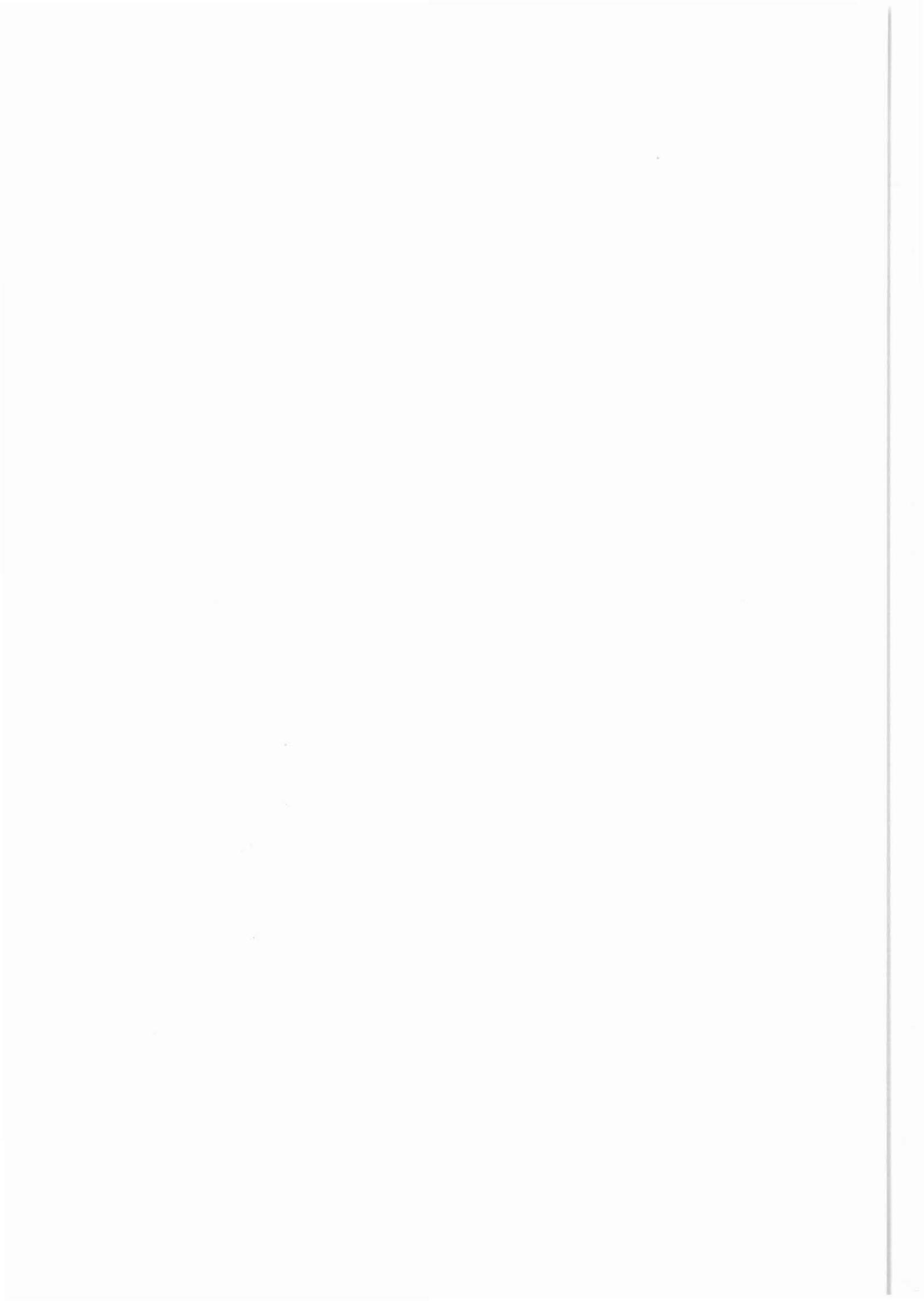
**Abkürzungen:** -

Abbildung 5.17

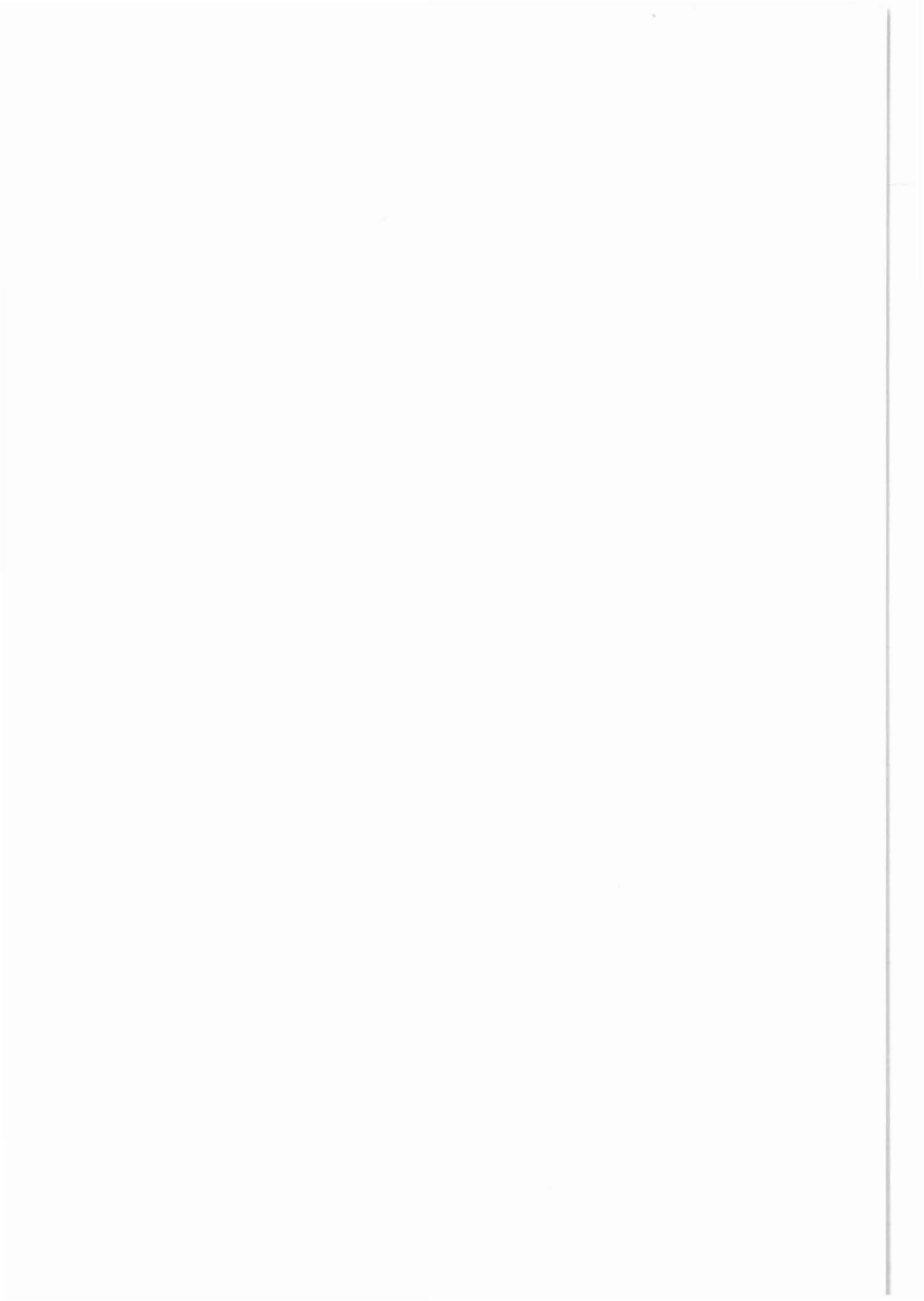
**NlfB**  
Hannover

IP (kont.)





## 6 Auswertungen, Zwischenberichte



## 6 AUSWERTUNGEN, ZWISCHENBERICHTE

### - Sofortauswertungen an der Bohrlokation

Unter Sofortauswertungen sind Bearbeitungen der registrierten Daten zu verstehen, die in der Dauermeßstation (DMSt) an der Bohrstelle durchgeführt werden können.

Es sind Programme, mit denen aufgrund der geringen Speicherkapazität der EDV-Anlage (CSU) der DMSt nur unter gleichzeitiger Datenreduktion oder vereinfacht Berechnungen durchgeführt und optisch auf Film aufgezeichnet werden können. Sie sind unter dem Sammelbegriff "CYBER-Programme" bekannt. Für die DMSt wurde eine beschränkte Anzahl dieser Programme beschafft; weitere werden für bestimmte Messungen von der Service Firma als transportable Software mitgebracht.

Die Software der DMSt umfaßt:

Operative Software: für KTB-eigene Geräte: Temperatur, Vierarm-Kaliber; Gammastrahlen; Auxiliary Measurement Sonde; Telemetrie; Probennehmer;

Manipulationssoftware: Teufenkorrektur; Playback, Merge; Splice; Rename; Scale; etc.

Auswertesoftware: Histogram; X-Plot, List; True Vertical Plot (Horizontal - Vertical Projection); Hole Volume Integration;

Software der Service Firma, die bei Bedarf auf der DMSt gefahren werden kann, wird wie bei den Messungen unter "Ausführender" gekennzeichnet.

Auswertesoftware:

CYPBERDIP	- Dipmeterauswertung
CYBERFIL	- Fracture Identification Log
CYBERVSP	- Vertical Seismic Profile
Environmental	- Correction (CSU-Version)
CYBERBOND	- Cement Bond Auswertung
CEL	- Cement Evaluation Log
CYRFT	- Repeat Formation Tester Interpretation
CYDR	- Deviation Reading - horizontale und vertikale Projektion der Bohrung
CYLDT	- LDT Quick Look
CYGeo	- Synthetic Seismogram (Geogram)

### **- Im Rechenzentrum erstellte Auswertungen**

Von den Service Firmen wird eine große Anzahl von Programmen zur Auswertung von Messungen angeboten. Es sind Programme, die auf technischen Rechnern wie z. B. auf Digital Computern der VAX Generation laufen, bei denen ausreichend Speicherkapazitäten zur Verfügung stehen.

Diese Programme lassen sich in folgende Gruppen unterteilen:

#### **- Stratigraphie:**

Dipmeter: CLUSTER, GEODIP, MSD, CSB, LOC, SYND,  
DUALDIP, STRATADIP, DIPLOG etc.

Formation MicroScanner: IMAGE, MSD, CSB

Borehole Televiwer: AMPLITUDE/TRANSIT TIME

#### **- Lithologie:**

Standardmessungen: GLOBAL, ELAN, FACIOLOG, LITHO,  
OPTIMA, EPILOG, PROLOG etc.

#### **- Seismik:**

Bohrlochseismik: GEOPH, VSP, MO-VSP, DTS,

#### **- Gebirgsmechanik:**

Standardmessungen: MECHPRO, BOL, DFRA etc.

Für die Berechnungen der Stratigraphieprogramme ist es nicht notwendig, die Messungen für den Bohrlocheinfluß zu korrigieren. Für alle anderen Auswertungen muß eine Korrekturstufe vorgeschaltet werden. Außerdem ist es wünschenswert, wenn geologische Vorinformationen in Form von Kern- oder Bohrkleinuntersuchungen vorliegen würden. Für die Auswertung nach lithologischer Gliederung, Porosität und Wassersättigung ist die Vorgabe eines Auswertemodells notwendig. Hierfür müssen Parameter bestimmt werden, die aus X-Plot-Analysen und den geologischen Vorinformationen abgeleitet werden.

### **- Berichte, Vorträge**

In einigen Fällen ist es notwendig, die Auswerteergebnisse durch einen entsprechenden Begleittext (Auswertebericht) zu erläutern, der ebenfalls angefordert werden kann. Für Vorträge, die meist weitergehende Auswertungen beinhalten oder die für die Auswertung von Interesse sind, gilt dies gleichermaßen. Sie werden daher auch erfaßt.

Im Bereich der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik ist es unter anderem notwendig, Studien zu vergeben, um von Experten eine Kompilation zu einem bestimmten Thema zu erlangen. Die Ergebnisse dieser Studien (Endbericht) sind ebenfalls zugänglich.

Die Beschreibung der Auswertungen und Berichte erfolgt analog den Bohrlochmessungen:

Bezeichnung, Ausführer, KTB-Registrier-Nr., Datum der Auswertung, Projekt/Messung, Status/Intervall, Beispiel, Ziel der Auswertung, Durchführung, Programmhinweise/Zusammenfassung, Abkürzungen.

## Porosität und Permeabilität

**Ausführender:** Technische Universität, Institut für Angewandte Geophysik,  
Petrologie und Lagerstättenforschung, Fachgebiet Angewandte  
Geophysik, Berlin, Prof. Dr. H. Burkhardt

Lfd.-Nr.	Datum	Projekt/Messung	Status
VB-A12	01.07.87	DFG-Bu 298/11-1/2	Endbericht; siehe KTB 87-3, DFG 8 (S. 29)

### Thema:

Untersuchungen zur Übertragbarkeit der Bohrloch-Meß- und Auswerteverfahren in Sedimentgesteinen zur Bestimmung der Porosität und Permeabilität im Kristallin (nicht-elektrische Verfahren).

### Ziel:

Klärung, mit welchen Bohrlochmeßverfahren Aussagen zur Porosität und Permeabilität im Rahmen des KTB erzielt werden können.

### Zusammenfassung:

Der Querschnitt der Fluidtransportwege variiert im Kristallin über einen großen Bereich. Es dominieren die feinen Risse. Daher müssen neben dem viskosen Fließen auch andere Fließmechanismen (Gleiten und Knudsen-Fluß) berücksichtigt werden. Die Frage des Meßvolumens ist von großer Bedeutung. Einerseits sind bei einem Teil der Meßverfahren die Eindringtiefen geringer und andererseits müssen häufig sehr große Kristallin-Bereiche in Betracht gezogen werden, wenn man das Material als homogen ansehen möchte.

Die Porosität und in noch stärkerem Maße die Permeabilität werden mit Hilfe indirekter Verfahren, die bisher im wesentlichen auf empirischen Formeln beruhen, aus den Daten der Logs bestimmt. Eine lithologische Charakterisierung des Kristallins ist mit den meisten der klassischen "Sedimentlogs" möglich. Die Logs müssen jedoch noch für den Einsatz im Kristallin kalibriert werden. Durch eine kombinierte Auswertung möglichst vieler Logs läßt sich die Zahl von Interpretationsfehlern reduzieren.

Bei dem heutigen Wissensstand kann keines der bekannten Bohrlochmeß- und Auswerteverfahren für die Bestimmung von Porosität und Permeabilität ausgeschlossen werden. Auf der anderen Seite kann keinem Verfahren eine so hohe Priorität zugewiesen werden, daß ohne diese Daten eine Bestimmung der Porosität und Permeabilität nicht möglich ist.

Eine multivariate Datenanalyse als Erweiterung der klassischen X-Plots scheint die besten Voraussetzungen für eine befriedigende Auswertung und Interpretation zu liefern. Als Eingabedaten sollten alle verfügbaren Meßwerte, also Bohrlochgeophysik, Labordaten und hydraulische Tests verwendet werden.

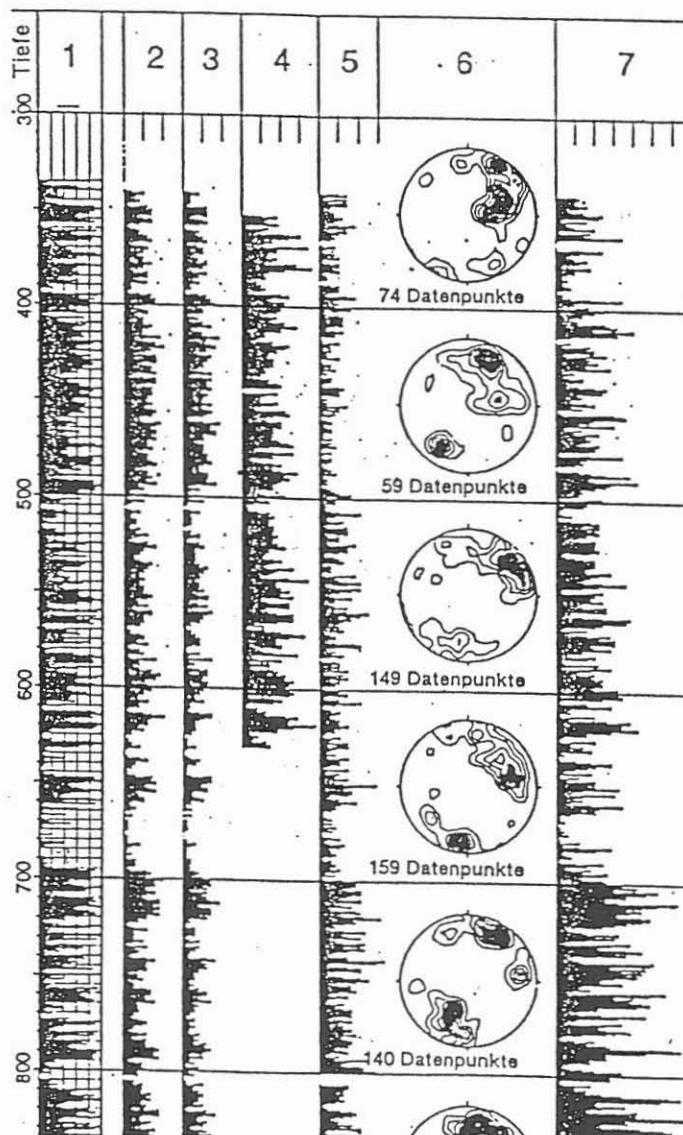
### Abbildungsbeispiel:

Vergleich Kluftdichte und Kluftorientierung, Abb. 6.1.

Abbildung 6.1

BOHRUNG BÜTTSTEIN (NAGRA) BESTIMMUNG DER  
KLUFTDICHTHE UND KLUFTORIENTIERUNG

- 1: Mikroleitfähigkeitslog (ein HDT-Pad)
- 2: Anzahl der Leitfähigkeitsspitzen pro Meter eines HDT-Pads
- 3: Anzahl der Leitfähigkeitsspitzen pro Meter Korrelation bei mindestens zwei HDT-Pads
- 4: Kluftdichte aus MST-Messungen
- 5: Kluftdichte aus SABIS-Messungen
- 6: Kluftlage aus SABIS-Messungen
- 7: Kluftdichte aus Bohrkernen



## PE-Studie (Peltier-Elemente)

**Ausführender:** Firma Dr. D. Neumann, München

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A13	01.12.87	RG 8604/01	Endbericht; siehe KTB 87-3, PL 5 (S. 41)

### **Thema:**

Peltierelemente und Hochtemperaturkühlung

### **Ziel:**

Die Studie umfaßt die Prüfung und Bewertung der Möglichkeiten, elektronische Bauteile direkt oder indirekt mittels des thermo-elektrischen (Peltier)-Effekts so zu kühlen, daß bestimmte Bauteile eine Temperatur von ca. +180 °C nicht überschreiten.

### **Zusammenfassung:**

Es gelang nicht, Informationen über das Verhalten von Peltierelementen unter hohen Drücken zu erhalten. Da bei allen Betrachtungen unterstellt wurde, daß die einzubauenden Peltierblöcke niemals außerhalb des Sondenbehältnisses eingesetzt werden, war eine weitere Klärung nicht erforderlich.

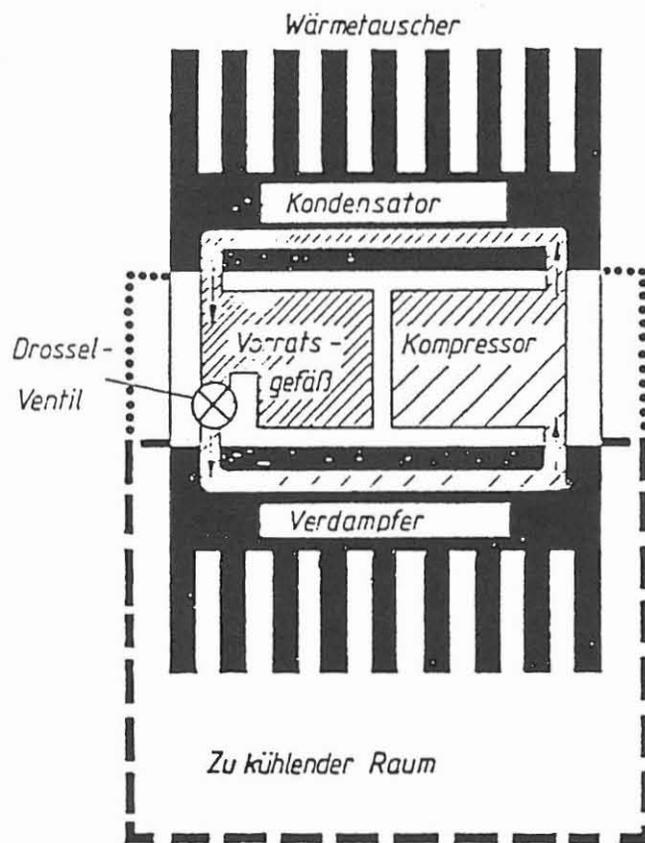
Die Frage nach der Möglichkeit, Peltierkühlung auch bei Umgebungstemperaturen von +350 °C einsetzen zu können, kann bejaht werden. Allerdings wird es sich dann um ein vielstufiges Kaskadensystem handeln, um die beachtliche Temperaturdifferenz von 175 K zu erzeugen, um die Temperatur von +175 °C zu halten. Die dazu benötigten Peltierelemente müßten jedoch erst gebaut und getestet werden, da sie nicht auf dem Markt erhältlich sind. Infrage kämen hierfür die Halbleitermaterialien Bleitellurid, Cadmiumzinkantimonid und Germaniumwismuttellurid.

Setzt man die Forderungen niedriger an (z. B. als Vorläuferstufe), so empfiehlt es sich, die Materialien Wismuttellurid, Bleitellurid und Cadmiumzinkantimonid einzusetzen. Temperaturdifferenzen von ca. 90 K sind bei Anwendung eines Kaskadensystems möglich und bei Umgebungstemperaturen bis ca. +260 °C durchaus beherrschbar.

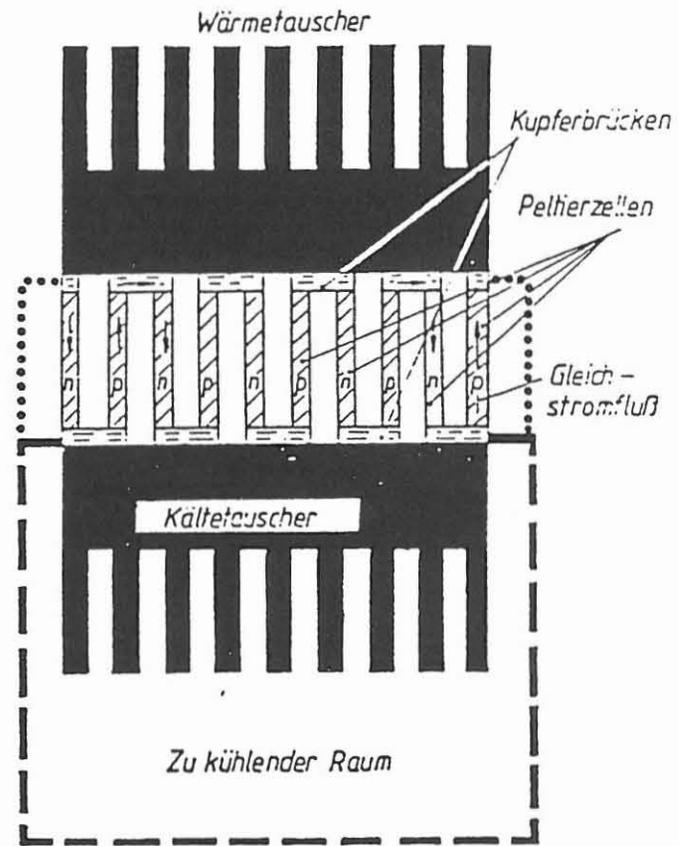
Es ist anzumerken, daß es keine Transparenz auf diesem Gebiet gibt. Patente und Verfahren werden praktisch nicht mehr beantragt und veröffentlicht, wenn es um bedeutende Neuerungen geht. Selbst einzelne Peltierblöcke einfachster Konfiguration dürfen nur dann aus den USA importiert werden, wenn der Empfänger (wie z. B. der Verfasser) eine eigene US-Regierungslizenz besitzt.

### **Abbildungsbeispiel:**

Schematischer Vergleich einer konventionellen Wärmepumpanlage mit einem Peltier-Kühlsystem, Abb. 6.2



Kompressor-Kältemaschine  
(Mechanische Kälte-Erzeugung)



Peltier-Kälteaggregat  
(Elektronische Kälte-Erzeugung)

### **TFM-Messungen (Triaxial Fluxgate Magnetometer)**

**Ausführender:** Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover,  
Prof. Dr. W. Bosum

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A14	01.12.87	NLFB-102 090	Zwischenbericht 1

**Thema:**

Magnetische Messungen in der Bohrung KTB-VB Windischeschenbach mit Hilfe eines 3-Komponenten-Bohrlochmagnetometers, Teufenbereich 30 m - 470 m.

**Ziel:**

siehe KTB-Report 87-4, S. 96, VB-57 und VB 67

**Zusammenfassung:**

Zunächst werden Sonde, Meßmethodik und Anwendungs- sowie Aussagemöglichkeiten beschrieben. Zur Vorbereitung der Bohrlochmagnetometermessungen dienen Messungen und Berechnungen des erdmagnetischen Feldes, die Übertragung der N-Richtung in den Bohrturm und die Abschätzung der Einfahrgeschwindigkeit der Sonde. Ein erster Überblick wird über die Meßergebnisse gegeben. Die Magnetik-Logs zeigen im oberen Bereich der Bohrung einen überwiegend glatten Verlauf mit einigen langwelligen Anomalien, der teilweise betonte Anomalien in einigen Lagen von Meter- bis Zehn-Meter-Mächtigkeit aufweist. Unterhalb 335 m wird ein stark magnetischer Bereich durchteuft, der zwischen 370 und 378 m durch ruhige magnetische Feldwerte unterbrochen wird. Die Anomaliencharakteristik weist in den magnetischen Lagen des oberen Bereichs auf bevorzugt induzierte, im unteren Bereich auf remanente Magnetisierung hin. Dieses erlaubt in kristallinem Gestein einen Schluß auf Magnetit als Träger der Magnetisierung in den oberen Teufen, auf Magnetkies unterhalb 335 m, was mineralogisch bestätigt werden konnte. Von den 3-D-Messungen liegen die Berechnungen der magnetischen Feldkomponenten und ihrer Anomalien vor. Im oberen Bereich zeichnet sich ein Hinweis auf den Störkörper der magnetischen Anomalie von Erbdorf ab, unterhalb 335 m kann man interessante Ergebnisse im Hinblick auf die Richtung der Magnetisierung erwarten. Aus den Werten des Kreiselazimuts und der Neigungsmesser wurde die Geometrie der Bohrung berechnet. Abgesehen von einer Unsicherheit im oberen Bereich aufgrund der nahezu lotrechten Bohrung, des relativ großen Bohrlochdurchmessers und der Auskesselungen zeichnet sich im Mittel ein Azimut der Bohrung von N15°W ab, wobei die Abweichung ca. 9 m nach N beträgt und bis zu 4 m nach W aufweisen kann. Die Neigung in 470 m Teufe beträgt ca. 2°. Im abschließenden Kapitel werden die geplanten Auswertungs- und Interpretationsarbeiten aufgezählt.

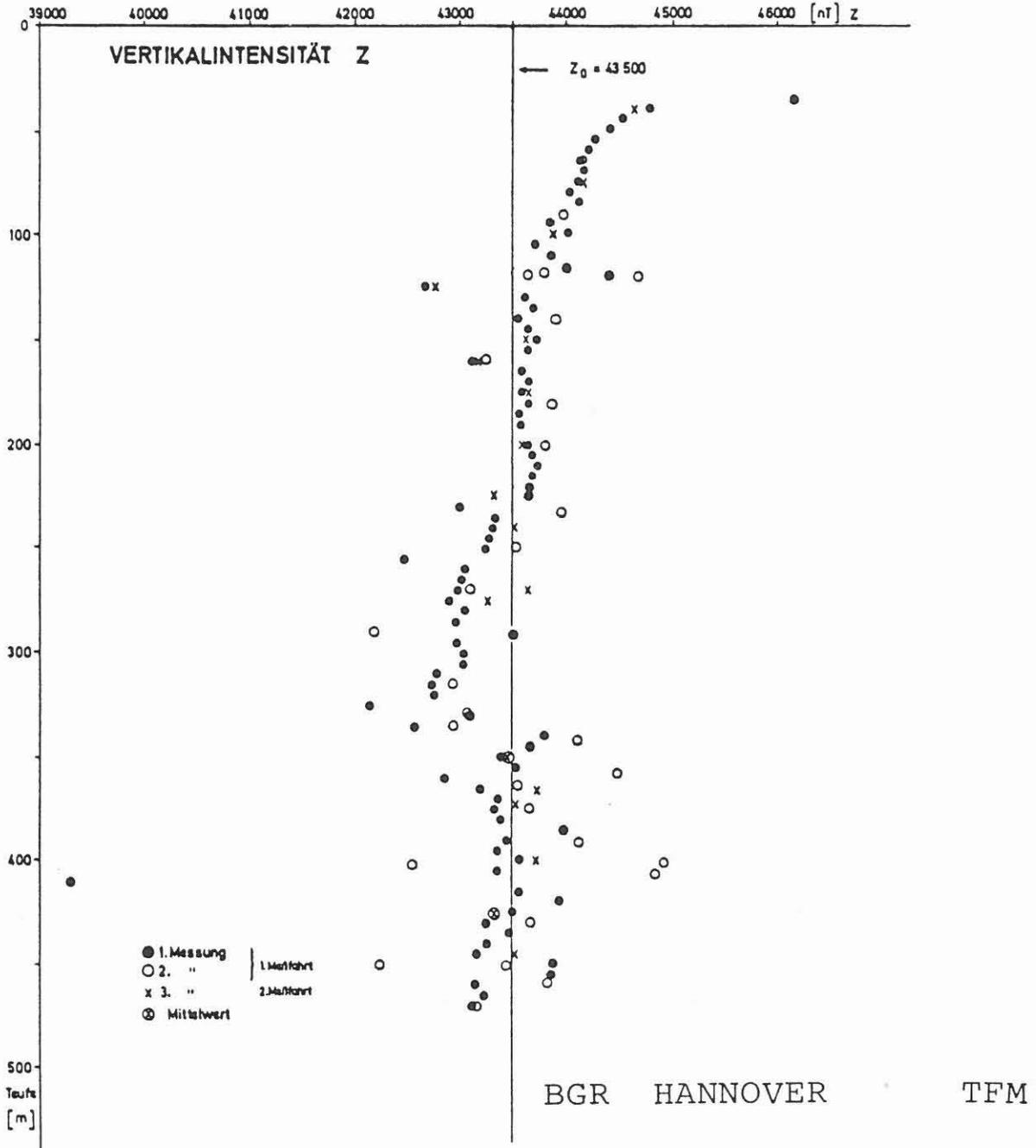
**Abbildungsbeispiel:**

Die Totalintensität T, Abb. 6.3

K T B - V B WINDISCHESCHENBACH  
3-D- BOHRLOCHMAGNETIK

STATIONÄRE MESSUNGEN

Abbildung 6.3



**TEM-Messungen (Transient-Elektromagnetische Messungen)**

**Ausführender:** Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover,  
Dr. S. Greinwald

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A15	01.12.87	RG 8604/07	Endbericht; siehe KTB 87-3, PL 2 (S. 37)

**Thema:**

Testmessungen TEM in Vorbohrungen an KTB-Lokationen Schwarzwald und Oberpfalz.

**Ziel:**

Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten von TEM als Bohrlochmeßmethode.

**Zusammenfassung:**

Gegenstand dieses Berichtes sind TEM-Messungen in den Geothermievorbohrungen und den Bohrungen Falkenberg, sowie Tiefensondierungen im Umfeld der Vorbohrung, die von der BGR im Rahmen des vom BMFT geförderten Forschungsvorhabens durchgeführt wurden.

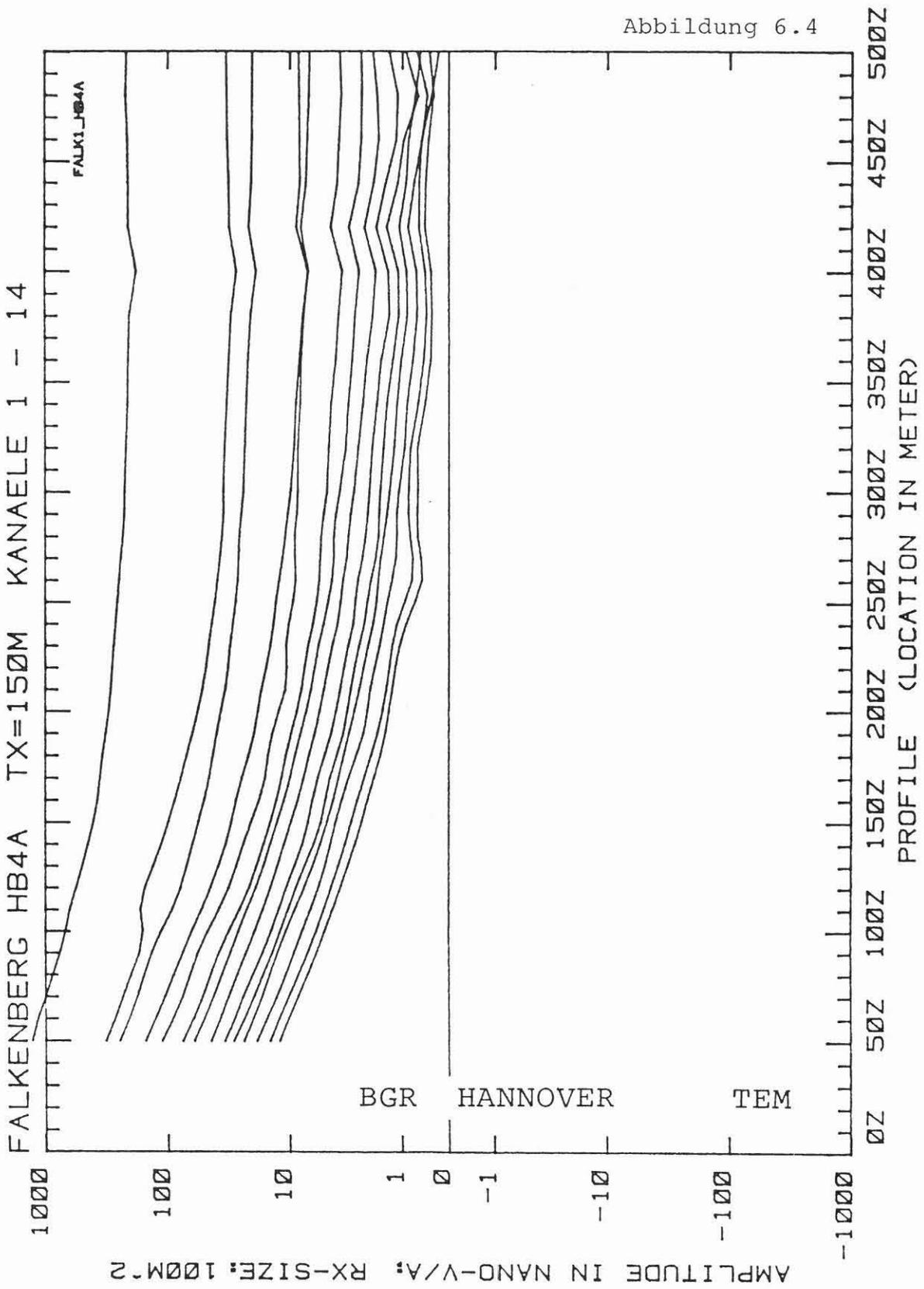
Die in den nur relativ kurzen Bohrlöchern vorgenommenen Messungen ergaben keine deutlichen durch lokale Leitfähigkeitserhöhungen hervorgerufene Anomalien. Die Messungen in der Bohrung Wastlmühle, die zwei Graphitlagen durchörterte, zeigt hingegen die Möglichkeiten des TEM-Verfahrens, Zonen hoher Leitfähigkeit zu erkennen.

Die Tiefensondierungen im Umfeld der Vorbohrung liefern klare Hinweise auf die Inhomogenität des Bohrplatzes. Während unter den westlichen Stationen gutleitende Schichten in relativ geringer Tiefe gefunden wurden, fehlen diese unter den östlichen Meßpunkten.

**Abbildungsbeispiel:**

TEM-Messungen in der Bohrung Falkenberg HB 4 A; Abb. 6.4.

Abbildung 6.4



**Drill Stem Test**

**Ausführender:** Baker Production Technology GmbH, Lynes, Celle,  
Dipl.-Ing. P. Yerby

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A17	03.12.87	VB-T1, VB-T2	Endbericht

**Thema:**

KTB-Vorbohrung, Test-Bericht DST 1 - 2.

**Ziel:**

Erfassung von Gebirgswässern sowie der hydraulischen Parameter.

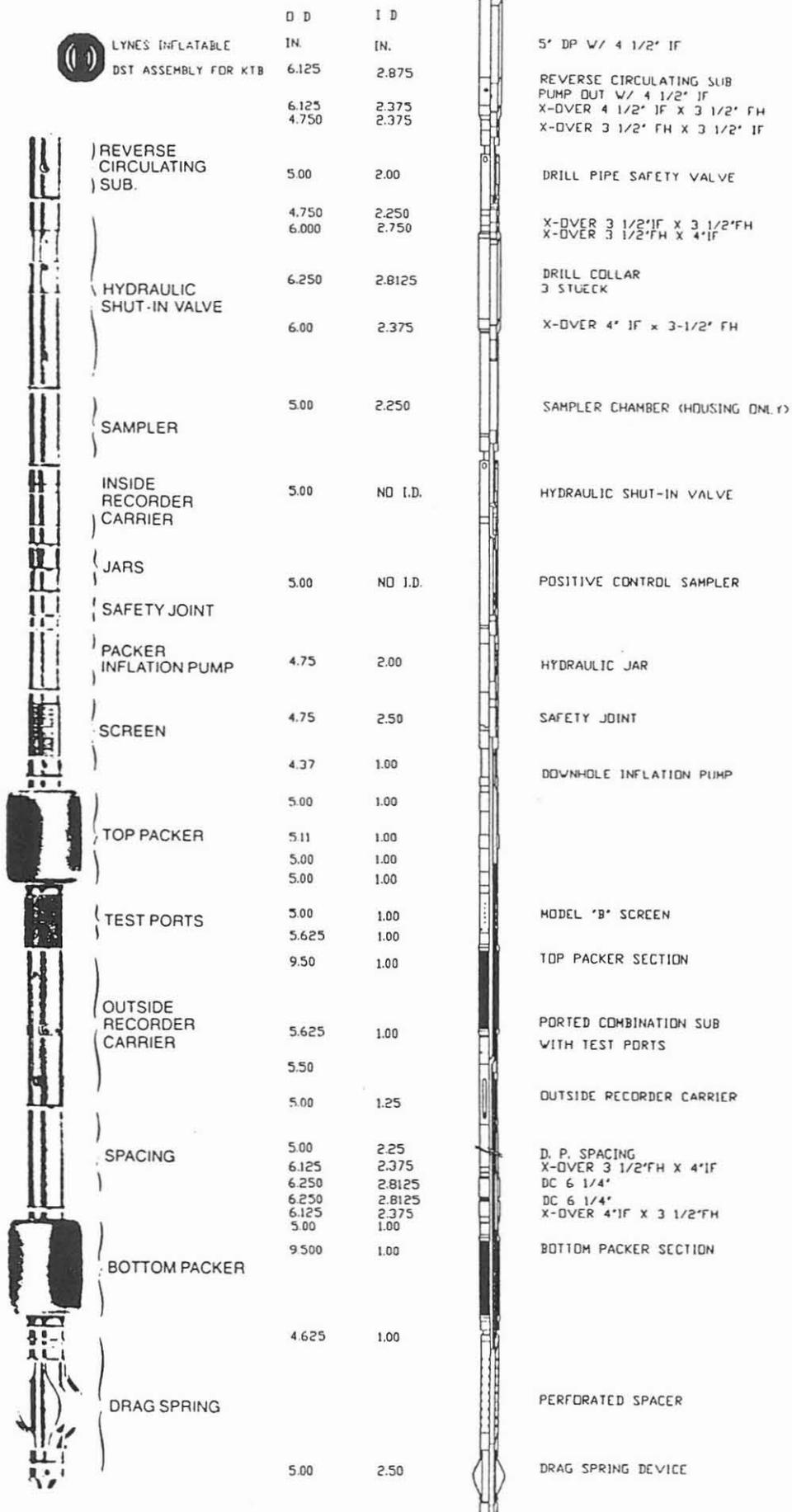
**Zusammenfassung:**

Der Bericht enthält den chronologischen Testablauf, einen Werkstatt-Test-Bericht zur nachträglichen Funktionsüberprüfung der Testgarnitur, die Auswertung des Drill Stem Testes DST 1 incl. Einbauliste und Einbauzeichnung sowie die Auswertung des Drill Stem Testes DST 2 ebenfalls incl. Einbauliste und Einbauzeichnung. Dem Bericht ist außerdem ein Ergebnis-Protokoll einer Sitzung beigefügt, die zur Klärung der Ursachen des Fehlverhaltens der Testgarnitur einberufen wurde und eine Kontrollaufzeichnung des DST-begleitenden, unabhängigen Experten.

**Abbildungsbeispiel:**

Zusammensetzung der Testgarnitur; Abb. 6.5.

Abbildung 6.5



## Induzierte Polarisation, Suszeptibilität

**Ausführender:** Eötvös Loránd Geophysikalisches Institut,  
Budapest/Ungarn (ELGI), Dr. I. Baráth

Lfd.-Nr.	Datum	Projekt/Messung	Status
VB-A18	05.01.88	VB-52	Endbericht

### Thema:

Interpretation der ELGI-Messungen in der KTB-Vorbohrung "Oberpfalz-VB".

### Ziel:

Überprüfung der Anwendbarkeit dieser Methoden im kristallinen Gebirge.

### Zusammenfassung:

Die Meßstrecke von 27 - 478 m wurde in vier Horizonte aufgegliedert:

I	27 - 59 m	Gneis
II	59 - 190 m	Metamorphit Typ A (Gneis)
III	190 - 385 m	Metamorphit Typ B (Gneis)
IV	385 - 478 m	Metamorphit Typ C (Amphibolit).

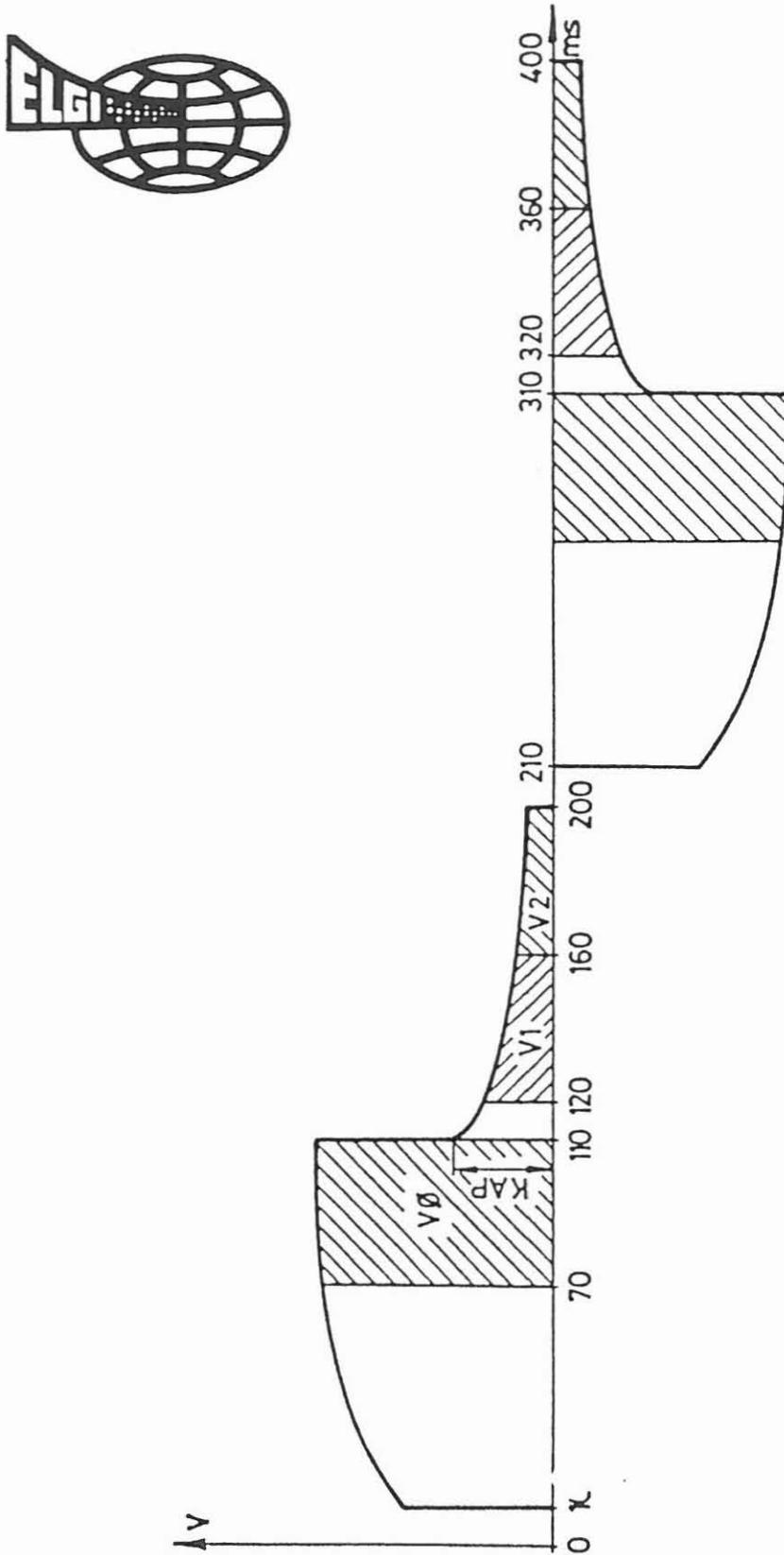
Die Meßergebnisse wurden im Rahmen einer Arbeitssitzung am 14.01.1988 diskutiert; das Ergebnisprotokoll ist dem Endbericht beigelegt. Daraus geht u. a. hervor, daß in Bereichen, in denen sowohl die an freie Oberflächen gebundene IP als auch die Suszeptibilität zunehmen, mit offenen Klüften und eisenhaltigen Mineralisationen gerechnet werden kann. Bei niedriger IP (freie Oberfläche klein) und hoher Suszeptibilität sind die Klüfte als vollständig ausgeheilt anzusehen und führen eisenhaltige Mineralisationen. Bei großem IP-Effekt und kleiner Suszeptibilität ist die Kluft teilweise verheilt, enthält jedoch keine eisenhaltigen Mineralisationen.

### Abbildungsbeispiel:

Graphische Darstellung des Meßsignals; Abb. 6.6. Dabei bedeuten:

V1	Aufladbarkeit oder Polarisierbarkeit im ersten Zeitintervall in Prozent der Spannung $V_0$ , wo $V_0$ die Spannung kurz vor Abschaltung des Speisestromes ist (%)
V 2	Aufladbarkeit im zweiten Zeitintervall (%)
ETA	$V_1 + V_2$ (%)
KAP	rechnerisch ermittelte Spannung bei Abschaltung des Speisestromes in Prozent der Spannung $V_0$ (%)
TAU	Zeitkonstante der Abklingkurve (ms)

Abbildung 6.6



**BHTV/GRL** (Borehole Televiwer/Gammastrahlenmessung)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Rechenzentrum Hannover

<u>Lfd. Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Intervall</u>
VB-A10	09.12.87	VB - 43	60,0 - 478,0 m
VB-A19	18.01.88	VB 101	480,0 - 987,0 m

**Beispiel:**

Auswerteausschnitt von 846 - 858 m, Abb. 6.7.

**Ziel der Auswertung:**

Überarbeitung der im Feld gewonnenen Daten, um durch Signalverstärkung und Filterung Resultatverbesserungen zu erreichen.

**Durchführung:**

Im Rechenzentrum wurden die nicht teufenrichtig aufgezeichneten Daten korrigiert, das GR durch Mittelwertbildung von statistischen Schwankungen befreit und die Amplitude sowie die Laufzeit des Borehole Televiwer Signales verstärkt und gefiltert. Dadurch konnte eine wesentliche Resultatverbesserung erreicht werden.

Die optische Darstellung zeigt ein GR, eine doppelte Abspielung der Amplitude und eine einfache der Laufzeit mit Angabe der Skalierung für Amplitude und Laufzeit.

Maßstab 1 : 40.

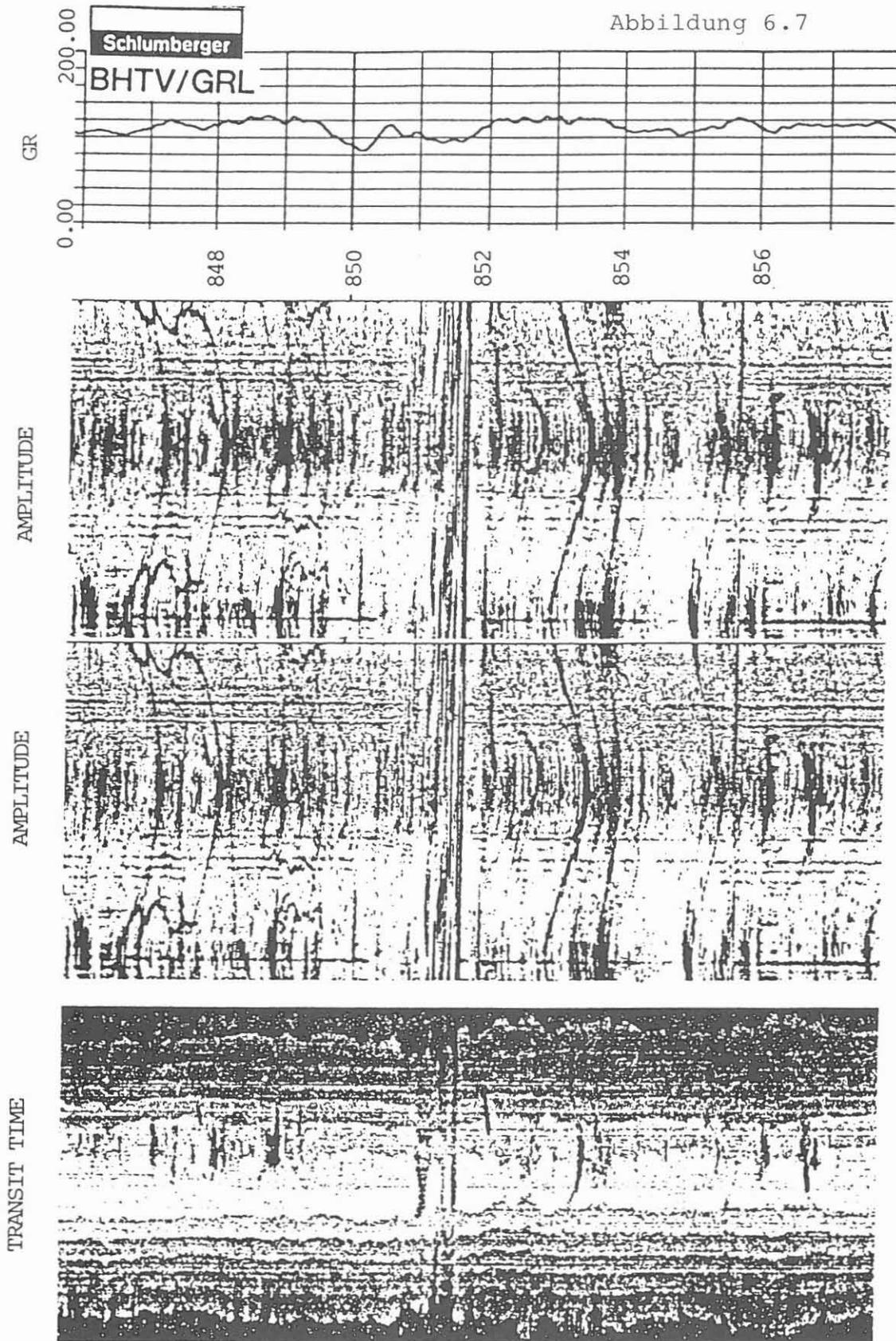
**Programminweise:**

Das Programm ist flexibel, um entsprechend den Änderungen im Bohrlochkaliber Signalverstärkungen und Filterungen durchzuführen. Zonen unterschiedlicher Intensität sind markiert. Das Intervall von 60,0 - 478,0 m wurde auf 6 Plots von ca. 70 m Länge aufgeteilt und im 22" (560,6 cm)-Format ausgeliefert.

Auf eine Wiedergabe des akustischen Kalibers wurde für diese Darstellung verzichtet, könnte jedoch als zusätzliches Diagramm ausgedruckt werden. Außerdem könnten in bestimmten Teufen Horizontalschnitte geplottet werden, um z. B. die Ovalisierung der Bohrung aufzuzeigen.

**Abkürzungen:** -

Abbildung 6.7



## Composite Log

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Rechenzentrum Hannover

Lfd. Nr.	Datum	Projekt/Messung	Intervall
VB-A20	20.01.88	VB -30, 33, 34, 41, 56	27,4 - 478,0 m
VB-A30		VB- 30, 33, 44, 41, 56	27,4 - 478,0 m (überarbeitet)

### Beispiel:

Darstellung von VB-A30, Abb. 6.8.

### Ziel der Auswertung:

Vergleichende Übersichtsdarstellung ausgewählter Logkombinationen.

### Durchführung:

Die in einem Composite Log verwendeten Meßdaten enthalten alle Standard-Korrekturen, wie Kaliber-Korrektur und Teufen-Korrektur.

Im einzelnen wurden dargestellt:

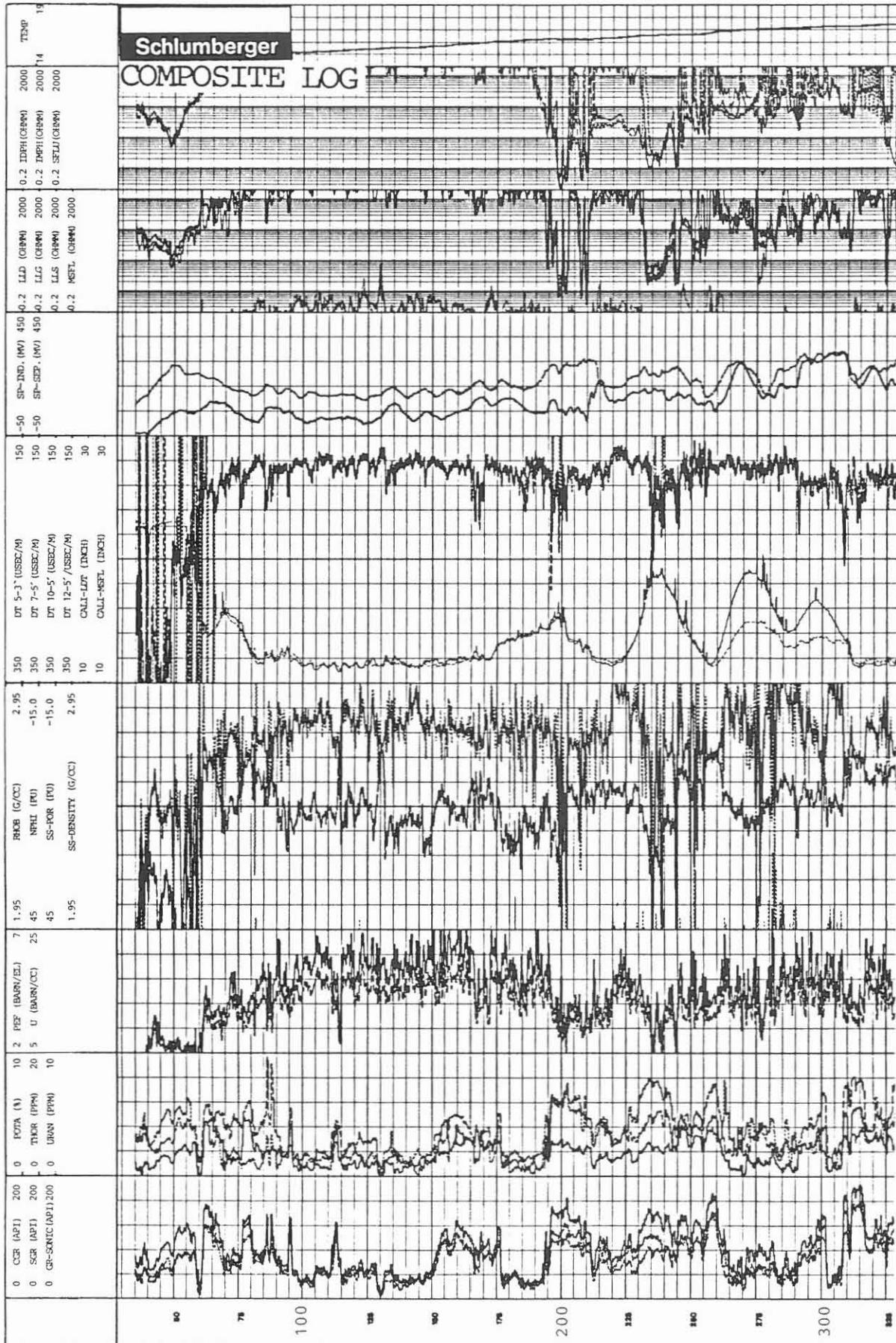
Die um den Uranium-Anteil korrigierte Gamma-Strahlung (CGR), Summen Gamma Ray (SGR), mit dem SDT gefahrene Gamma Ray (GR-Sonic), Kaliumgehalt (POTA), Thoriumgehalt (THOR), Uraniumgehalt (URAN), photoelektrischer Absorptionsindex (PEF), volumetrischer photoelektrischer Absorptionsindex (U), Dichte, kalksteinkalibriert (RHOB), Neutron-Porositätsindex, gemessen über short spacing (NPFI), Porositätsindex gemessen über short spacing (SS-PORIP), Dichte, Sandstein-kalibriert (SS-Density), inverse Geschwindigkeiten über unterschiedliche Distanzen (DT), Kaliber mittels LDT (CAL-LDT), Kaliber mittels MSFL (CAL-MSFL), SP mit Induction Log gefahren (SP-IN), SP allein gefahren (SP-SEP), Laterolog-deep (LLD), Laterolog Groningen (LLG), Laterolog-shallow (LLS), deep Phasor Induction (IDPH), mitteltiefe Phasor Induction (IMPH), Spherical Focussed Log (SFLU), Temperatur (TEMP).

Bei der Version VB-A26 handelt es sich gegenüber VB-A19 um eine bezüglich der ausgeführten Korrekturen verbesserte Version.

Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000.

**Abkürzungen:** siehe Durchführung

Abbildung 6.8



**GLT-A** (Geochemical Logging Tool Analysis)

**Ausführender:** Schlumberger, Forschungszentrum Ridgefield (USA)

<u>Lfd. Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Intervall</u>
VB-A21	29.01.88	VB -45	27,4 - 478,0 m

**Beispiel:**

Auswerteausschnitt von 28 - 325 m, Abb. 6.9.

**Ziel der Auswertung:**

Kontinuierliche Darstellung von Elementen in Abhängigkeit der Tiefe.

**Durchführung:**

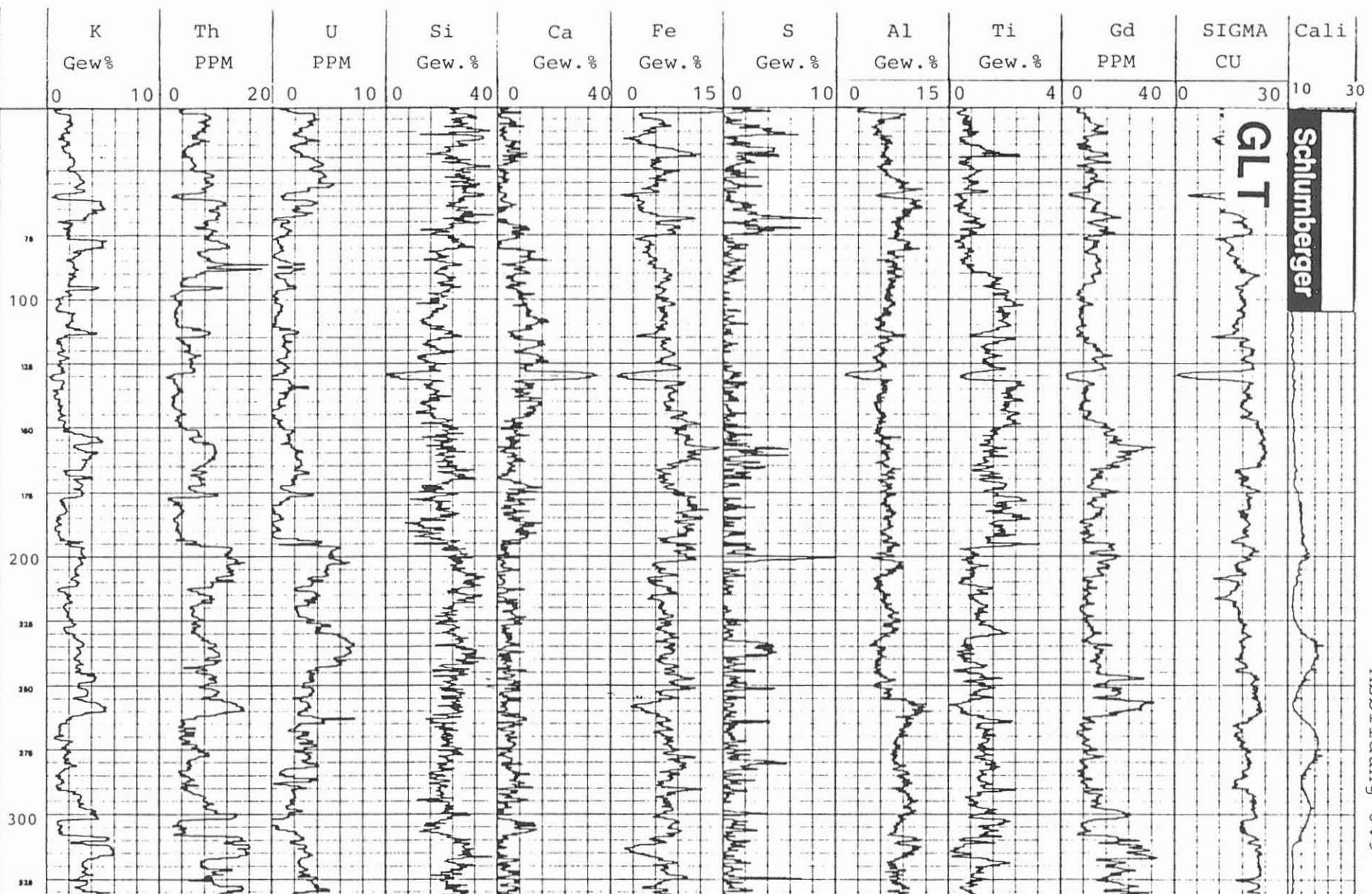
Das GLT steht nur als Prototyp zur Verfügung; ein abgeschlossenes Computer-Programm für die Auswertung existiert daher noch nicht. Die Meßdaten werden im wesentlichen den Korrekturen unterzogen, die auch für die einzelnen Sondenkomponenten (NGS, CNL, AACT und GST; siehe KTB-Report 87-3, S. 102) erforderlich sind. Besondere Sorgfalt wird dabei auf die "Environmental"- und "Saturation"-Korrekturen der Aluminium-Zählrate gelegt.

Teufenmaßstab 1 : 200, 1 : 1000.

**Abkürzungen:**

	<u>englisch, Einheit</u>	<u>deutsch, Einheit</u>
SIGMA	in Capture Units	Einfangquerschnitt, Zählrateneinheiten
CALI	Caliper (inches)	Kaliber Zoll

Abbildung 6.9



**FMST (orient.)** (4-Pad-Formation MicroScanner Tool - orientiert aufgezeichnet)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Rechenzentrum Hannover

<u>Lfd. Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Intervall</u>
VB-A 9	27.10.87	VB-37	27,4 - 478,0 m (2-Pad)
VB-A22	21.01.88	VB-97	480,0 - 925,0 m (2-Pad + 4-Pad)

**Beispiel:**

Auswerteausschnitt von 594 - 596 m, Abb. 6.10.

**Ziel der Auswertung:**

Ermittlung von Klüften, Kluftsystemen, Störungsbereichen, Gefügeveränderungen, Texturwechsel, Streichen und Einfallen der durchbohrten Formationen.

**Durchführung:**

Die bei der Formation MicroScanner-Auswertung erzeugten "Images" werden entsprechend der gemessenen magnetischen Orientierung wiedergegeben. Damit wird ein Vergleich dieser Daten mit den Informationen, die mit dem BHTV gewonnen wurden, erleichtert. Die Darstellung erfolgt in der Form, daß alle vier um 90 Grad versetzten "Images" entsprechend ihrer Orientierung im Bohrloch gegen die Teufe aufgezeichnet werden. Weitere Details können dem Abschnitt 8.1 entnommen werden.

Teufenmaßstab 1 : 40.

**Programminweise:**

Die Widerstandskontrastverstärkung arbeitet nach einer sogenannten Fenster-technik. Hier wurde ein Fenster von 2,0 m gewählt. Innerhalb dieser Länge werden Maximum und Minimum der gemessenen Widerstände gleich 100 bzw. 0 Prozent gesetzt, um die "Images" und die Profildarstellung zu erzeugen.

**Abkürzungen:** -

Abbildung 6.10

# PAD AZIMUTH

Schlumberger

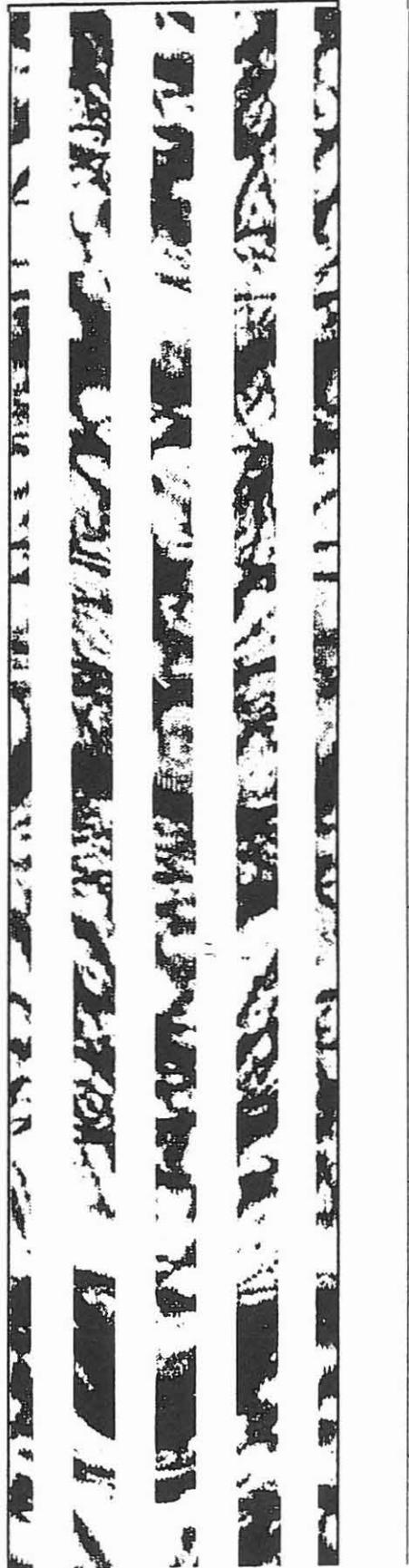
4-PAD FMST  
(orient.)

0 180 360



594

596



**DIGITAL SONIC** (Normalized Differential Energies)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Rechenzentrum Hannover

Lfd. Nr.	Datum	Projekt/Messung	Intervall
VB-All	29.01.88	VB -39	27,4 - 478,5 m

**Beispiel:**

Auswerteausschnitt von 27,4 m - 148 m, Abb. 6.11.

**Ziel der Auswertung:**

Erfassung von permeablen Zonen mit Hilfe der Stoneley-Wellen.

**Durchführung:**

Die Laufzeit der Stoneley-Welle ist größer als die der P- und S-Wellen. Durch eine geeignete "Fenster-technik" wird für jeden Empfänger des Sonic Digital Tools die Stoneley-Welle abgegriffen und ihre Energie zunächst als Log dargestellt. Die Aufzeichnung wird sowohl dem gesamten Wellenzug im Variablen Density Mode (dunkle Aufzeichnung entspricht großer Energie und helle Aufzeichnung geringer Energie) als auch der Slowness zum Vergleich gegenübergestellt. Anschließend wird die "Differential Energy" der Stoneley-Welle ermittelt: normalisierte Energiedifferenz zwischen zwei benachbarten Empfängern, dividiert mit der Distanz beider Empfänger (in dB/Meter) und über den Wellenzug verschoben. Da die Stoneley-Wellen besonders an permeablen Zonen ausgebildet werden, wird die "Normalisierte Differential Energy (NDS)" diese Zonen besonders gut wiedergeben. Die Aufsummierung der NDS ist alsdann am rechten Rand des Logs aufgetragen und stellt zugleich einen Indikator für permeable Zonen dar.

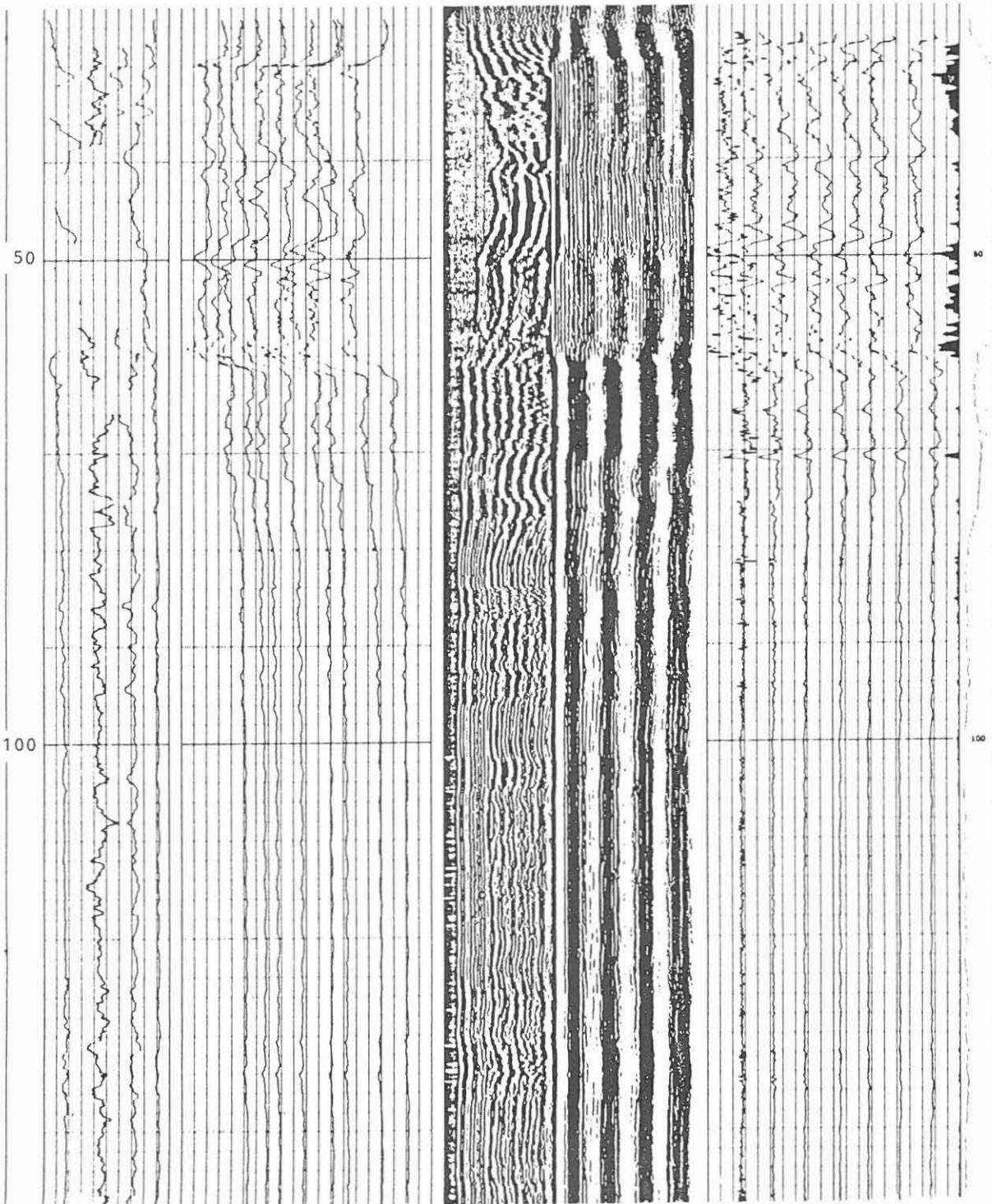
Teufenmaßstab 1 : 200.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit
DTCO	Delta T, Compression wave ( $\mu\text{s}/\text{M}$ )	Laufzeit, $\mu\text{s}/\text{m}$ (Kompressionswelle)
DTSH	Delta T, Sheare wave ( $\mu\text{s}/\text{M}$ )	Laufzeit, $\mu\text{s}/\text{m}$ (Scherwelle)
DTST	Delta T, Stoneley wave ( $\mu\text{s}/\text{M}$ )	Laufzeit, $\mu\text{s}/\text{m}$ (Stoneley-Welle)
RSBC	Ratio Sheare/Compressional Transient Time	Verhältnis Scher-/Kompressions- wellenlaufzeit

Abbildung 6.11

ARRAY SONIC FRACTURE				DETECTION FROM STONELEY		
DEPTH	SLOWNESS (US/M)		STONELEY ENERGYS (DB)	VARIABLE DENSITY LOG	STONELEY NORMALIZED DIFFERENTIAL ENERGY (DB/M)	DEPTH
800	DTCO	100	<b>Schlumberger</b> SDT (NDE)			CALL
810	DTSH	100				NO JO
800	DTST	100				
10	RSHC	10				



## Geomechanik-Sonde

**Ausführender:** PREUSSAG Erdöl und Erdgas, Labor Berkhöpen, Dr. R. Sobott

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A26	01.02.88	RG 8604/03	Endbericht; siehe KTB 87-3, PL 7 (S. 42)

### **Thema:**

Entwicklung und Erprobung einer geoelektrischen Sonde zur Registrierung von Gleichstromwiderstandsänderungen in Gesteinen als Funktion des Porendruckes.

### **Ziel:**

- Überprüfung, ob es mit Annäherung des Porendruckes im Gestein an dessen Matrixdruck zu einer verstärkten Mikrorißbildung kommt, die eine Änderung des spezifischen elektrischen Widerstandes des Gesteins zur Folge hat und ob
- mischbare Flüssigkeiten unterschiedlicher Salinität im Bohrloch und im Porenraum beim Einpressen der Spülung in den Porenraum eine Widerstandsänderung erzeugen, die Rückschlüsse auf die Permeabilität des Gesteins erlaubt.

### **Zusammenfassung:**

Die Entwicklung der geoelektrischen Sonde konnte erfolgreich durchgeführt werden. Registriert wurden an den Granitproben Gleichstromwiderstandsänderungen als Funktion

- des Manschettendrucks  $P_m$ ,
- des Bohrlochdrucks  $P_b$  und
- der Änderung der Elektrolytkonzentration (Dispersionsversuche).

Folgende Schlußfolgerungen lassen sich aus den Versuchsergebnissen ziehen:

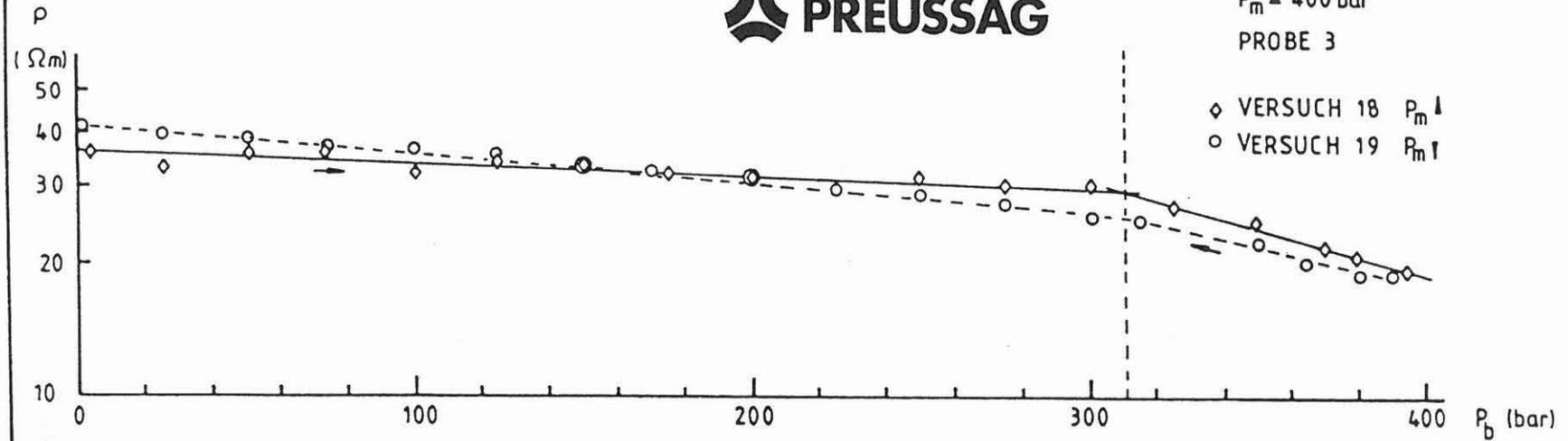
1. Bei Erhöhung des Bohrlochdrucks bei konstantem Manschettendruck kommt es zu einer reproduzierbaren kontinuierlichen Abnahme des spezifischen elektrischen Widerstandes. Schwache Abweichungen vom kontinuierlichen Kurvenverlauf mit Annäherung von  $P_b$  an  $P_m$  wurden festgestellt.
2. Beim Einpumpen einer Lösung mit zur Porenflüssigkeit unterschiedlichen Leitfähigkeit wurden deutliche Widerstandskontraste bestimmt. Eine Bestimmung der hydraulischen und dispersiven Konstanten aus diesen Messungen erscheint erfolgversprechend.

### **Abbildungsbeispiel:**

Abhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes von Okergranitproben vom Bohrlochdruck bei konstantem Manschettendruck, Abb. 6.12.

$P_m = 400 \text{ bar}$   
**PROBE 3**

◇ VERSUCH 18  $P_m \downarrow$   
 ○ VERSUCH 19  $P_m \uparrow$



◇ VERSUCH 20  $P_m \downarrow$   
 ○ VERSUCH 21  $P_m \uparrow$

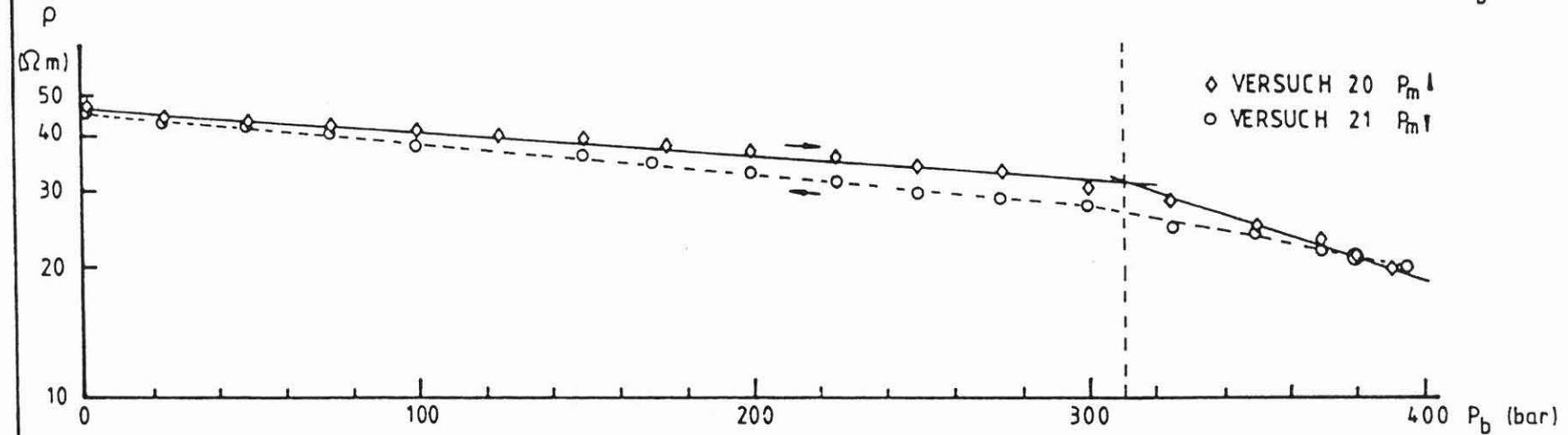


Abbildung 6.12

### Drill Stem Test

**Ausführender:** Baker Production Technology GmbH, Lynes, Celle,  
Dipl.-Ing. P. Yerby

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A28	10.02.88	VB-T3	Endbericht

#### **Thema:**

KTB-Vorbohrung, Test-Bericht DST 3.

#### **Ziel:**

Erfassung von Gebirgswässern sowie der hydraulischen Parameter.

#### **Zusammenfassung:**

Tabellarisch dargestellt sind der chronologische Testablauf, die Druckdaten, die Einbauliste der Testgarnitur sowie die Auswertergebnisse incl. der Auswerteplots. Details hierzu können dem Kapitel 7 entnommen werden. Durch Nachfall von Gesteinsmaterial aus der Bohrlochwand verklemmte die Testgarnitur; sie konnte nur mit Mühe gezogen werden.

#### **Abbildungsbeispiel:**

Ausschnitt aus dem chronologischen Testablauf; Abb. 6.13.

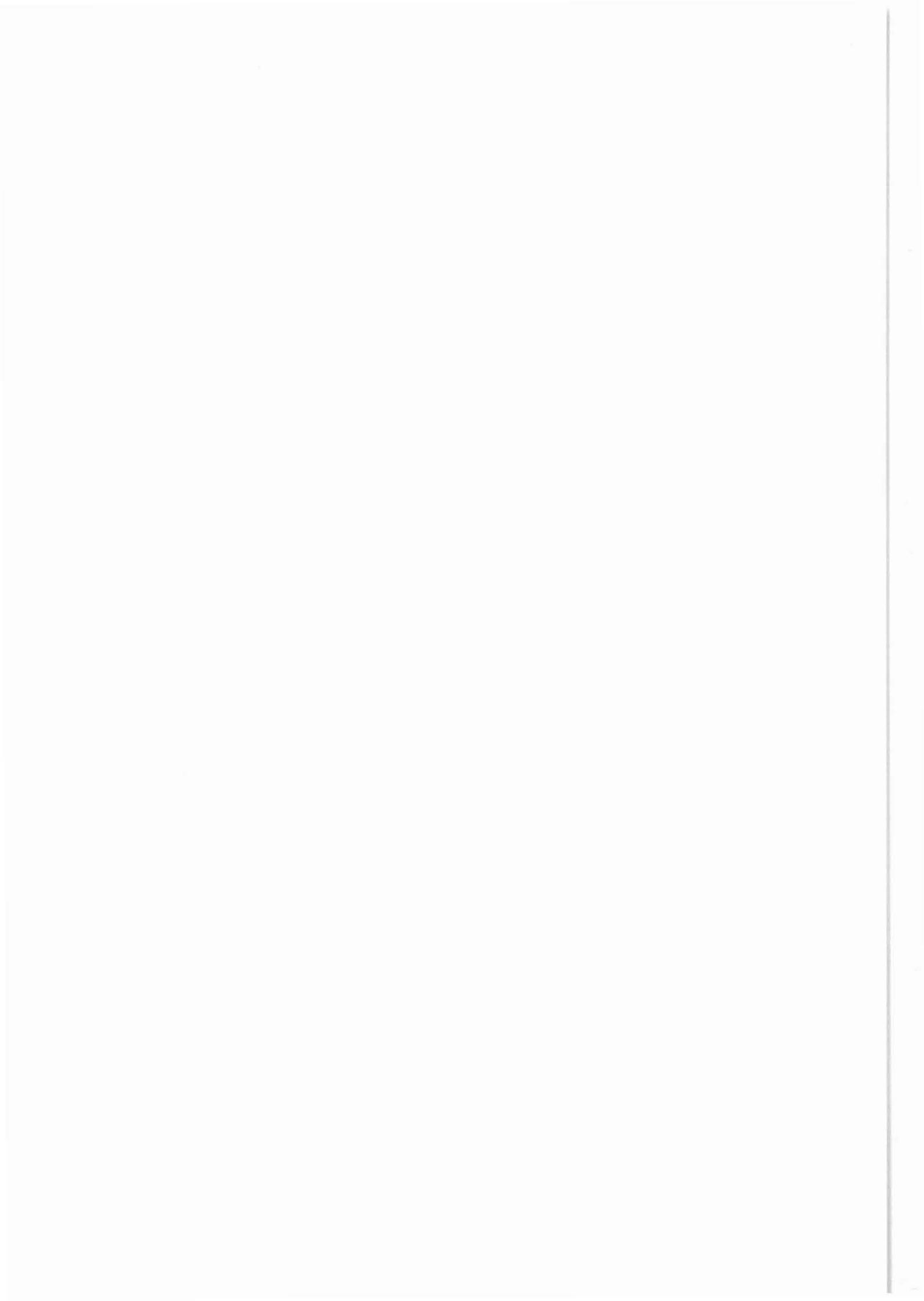
#### **Abbildung 6.13:**

07.01.1988

00.50 h Beginn N<sub>2</sub> einzublasen (siehe beigefügtem Surface Read-out)  
01.23 h Manifold<sup>2</sup> an N<sub>2</sub> Flaschen eingefroren  
01.28 h weiter N<sub>2</sub> eingeblasen  
01.39 h Ende N<sub>2</sub> einzublasen bei 50 bar Kopfdruck  
01.44 h Beginn<sup>2</sup> Testventil zu öffnen  
01.50 h Testventil offen  
02.50 h Beginn 20 bar N<sub>2</sub> abzublasen  
03.07 h Stop N<sub>2</sub> abzublasen bei 29,5 bar Kopfdruck  
03.15 h Kabelstopfbuches undicht - leichter Druckabfall  
03.37 h Beginn N<sub>2</sub> abzublasen  
03.48 h Stop N<sub>2</sub> abzublasen bei 11,6 bar Kopfdruck

**Abbildung 6.13: Fortsetzung**

04.19 h Beginn N<sub>2</sub> abzublasen  
04.35 h N<sub>2</sub> abgeblasen - 0,80 bar Kopfdruck  
07.31 h Testventil geschlossen  
07.37 h CWL ausgebaut  
10.31 h Anfang Packer zu lösen - 12 Versuche ohne Erfolg -  
6 t Überlast gezogen (30 t auf Gewichtsmesser)  
11.15 h 2 t Gewichtsabnahme  
11.40 h 10 t Überlast gezogen (34 t auf Gewichtsmesser)  
11.48 h Schlagschere betätigt mit 10 t Überlast  
11.49 h 14 t Überlast gezogen  
11.53 h auf Neutrallast gefahren  
11.56 h mit dem Strang auf- und abgefahren - 10 t Überlast und  
10 t Belastung - kein Erfolg  
12.10 h auf Neutrallast gefahren  
12.30 h Testkopf aufgebaut  
12.34 h Beginn Testventil zu öffnen  
12.38 h Testventil offen - Ringraum füllt langsam ab  
12.42 h Strangbewegung nach unten  
12.43 h 1 Stange nachgesetzt  
12.50 h Angefangen zu fahren - 18 bis 40 t auf Gewichtsmesser  
13.00 h Testventil geöffnet - Ringraum füllt nicht ab  
13.03 h Testventil geschlossen  
13.04 h 20 t Überlast gezogen  
13.05 h 26 t Überlast gezogen  
13.06 h Schlagschere betätigt  
13.07 h 36 t Überlast gezogen - Packer rutscht  
13.10 h 46 t Überlast gezogen  
13.11 h nach unten gefahren  
13.12 h 26 t Überlast gezogen  
13.13 h Schlagschere betätigt  
13.14 h 46 t Überlast gezogen  
13.16 h Schlagschere betätigt  
13.17 h 46 t Überlast gezogen  
13.18 h Beginn Testventil zu öffnen  
13.20 h Testventil offen - Ringraum füllt nicht ab  
13.22 h 26 t Überlast gezogen  
13.25 h Schlagschere betätigt  
13.26 h 56 t Überlast gezogen und Gewicht stehegelassen -  
Packer rutscht nicht  
13.45 h Angefangen zu schlagen - 10mal mit 36 t Überlast  
13.53 h 56 t Überlast gezogen - kein Erfolg  
13.55 h Anfang Schlagen 10mal mit 36 t Überlast bei 8mal Schlagen  
Strang frei nach unten  
14.02 h Versuch, Gestänge zu ziehen  
14.04 h 1 Stange mit 20 t gezogen  
14.05 h 1 Stange eingefahren - bei 18 t aufgesetzt  
14.07 h 2 Stangen ausgefahren  
14.10 h 2 Stangen abgeschraubt



**Abbildung 6.13: Fortsetzung**

14.21 h	Anfang Ausbau
14.57 h	56 t Überlast gezogen beim 22. Zug
15.00 h	Anfang mit Schlagen - kein Erfolg
15.30 h	Testkopf aufgebaut
15.47 h	Aufwerfstange gelöst
15.57 h	kein Abfall im Ringraum, obwohl Zirkulationsventil offen
16.05 h	auf Bohrstrang gepumpt
16.12 h	Zirkulation mit 12 bar - 225 l/min
16.15 h	Anfang Schlagen
16.49 h	Strang ist frei
16.51 h	Chicksanleitung und Kopf abgebaut
16.55 h	weiterer Ausbau
19.10 h	Gestänge aus dem Loch
21.30 h	Testgeräte aus dem Turm

**VAL** (Variable Acoustic Log)

**Ausführender:** Peterodata AG, Dubendorf/Zürich, Schweiz

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A25	15.02.88	VB-58	Endbericht

**Beispiel:**

P-, S- und T-Wellenanalyse (T = Tube wave), Abb. 6.14.

**Ziel der Auswertung:**

Bestimmung von Klüften, Kluftsystemen und Störungen mit Hilfe der Tube Waves (Stoneley-Wellen). Aufzeichnung der Kompressions-, Scher- und Stoneley-Wellenlaufzeit.

**Zusammenfassung:**

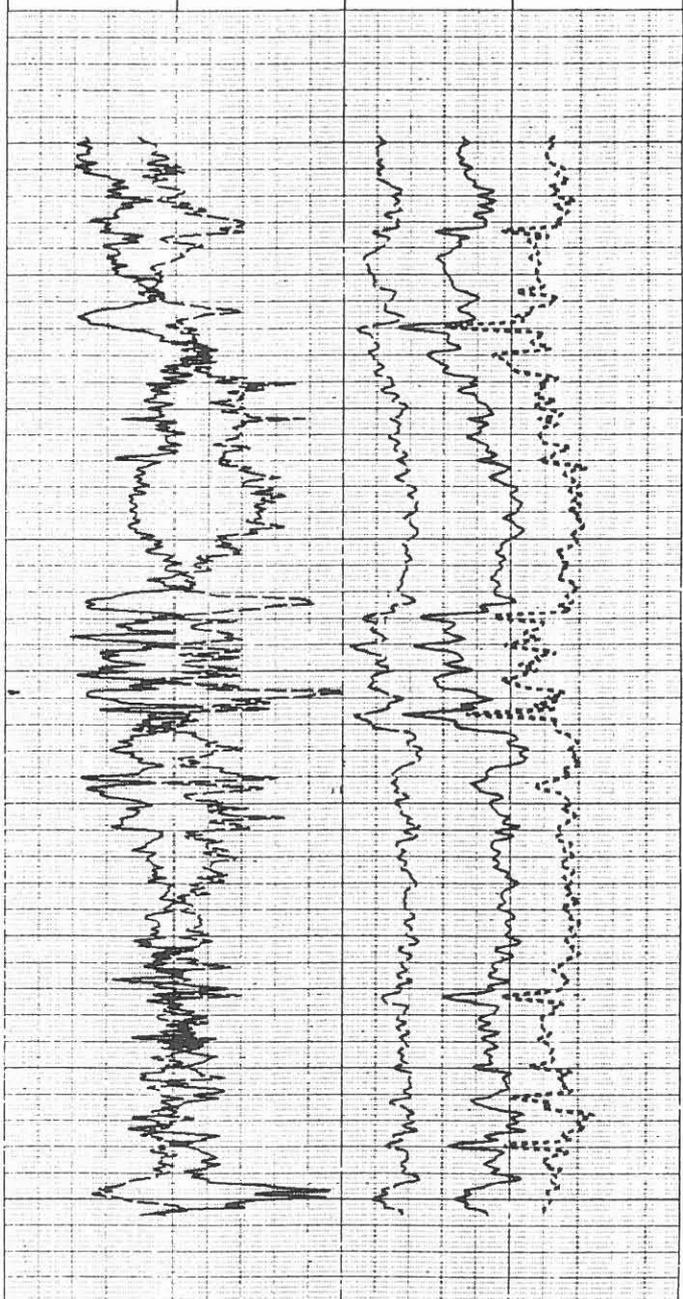
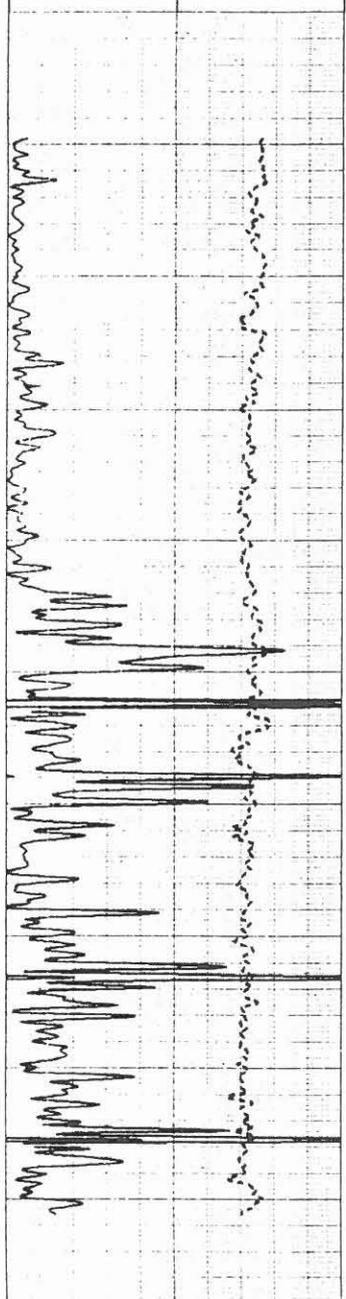
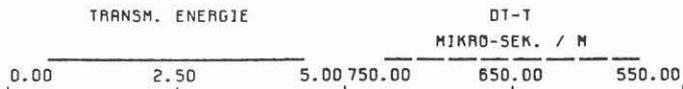
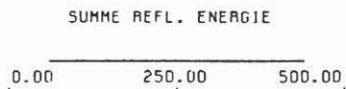
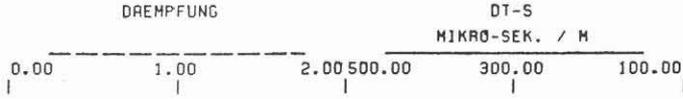
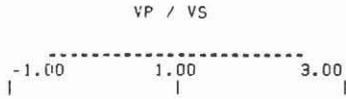
Technische Details können dem KTB-Report 87-3 (Seite 123) sowie dem KTB-Report 87-4 (Seite 110) entnommen werden. Der Endbericht liegt in Form von 8 Anlagen für den Teufenbereich von 27,4 - 478,5 m vor. Im einzelnen handelt es sich hierbei um eine P-, S- und T-Wellen-Analyse hinsichtlich Laufzeiten, Dämpfung, übertragene und Summe der reflektierten Energie der T-Welle sowie  $V_p/V_s$ -Verhältnis jeweils im Maßstab 1 : 200 und 1 : 1000. Außerdem sind die Wellenzüge von 0 - 8 ms bzw. 0 - 64 ms im Maßstab 1 : 200 dargestellt und lassen somit das Chevron-Pattern erkennen.

Am 10.03.1988 erfolgte die Übernahme der Daten im Rahmen einer Diskussion. Die Ergebnisse sind in einem Protokoll festgehalten.

Abbildung 6.14



PETRODATA  
SWITZERLAND



## HT-Studie (Hydraulische Teste)

**Ausführender:** PREUSSAG AG, Hannover, Dr. E.-J. Krömer

Lfd.-Nr.	Datum	Projekt/Messung	Status
VB-A31	01.03.88	RG 8604/29	Endbericht

### **Thema:**

Untersuchung der besonderen Anforderungen bei Vorbereitung, Planung, Durchführung und Auswertung von hydraulischen Testen der Vorbohrung mit Ausblick auf die Hauptbohrung.

### **Ziel:**

Überprüfung der Möglichkeiten von hydraulischen Testen unter extremen Bedingungen.

### **Zusammenfassung:**

Die Untersuchung der Zusammensetzung und Dynamik von Fluiden in der kontinentalen Erdkruste ist eines der wesentlichen Ziele des KTB.

Die geohydraulischen Teste umfassen:

- Teste während des Abteufens der Bohrung
- Teste nach Abteufen der Bohrung.

Die während der Bohrphase geplanten Drill Stem-Teste mit einer auf 24 h begrenzten Testdauer dienen in erster Linie der Fluidprobengewinnung. Die Bestimmung der Porenraumparameter wird in einer Langzeit-Testphase im Anschluß an die Bohrphase durchgeführt.

Ausgehend von der in der Erdöl- und Erdgasindustrie üblichen Technologie bei der Durchführung von hydraulischen Testen wird der Stand der Technik der Testausrüstung in Bezug auf extreme Einsatzbedingungen und die Genauigkeit bei der Meßwerterfassung dargestellt.

Unter Einbeziehung der Erfahrungen beim Testen im Kristallin werden die Anforderungen an die Testausrüstung spezifiziert und mögliche Testgarnituren vorgestellt.

### **Abbildungsbeispiel:**

Intervalllänge als Funktion der Permeabilität, Abb.6.15.

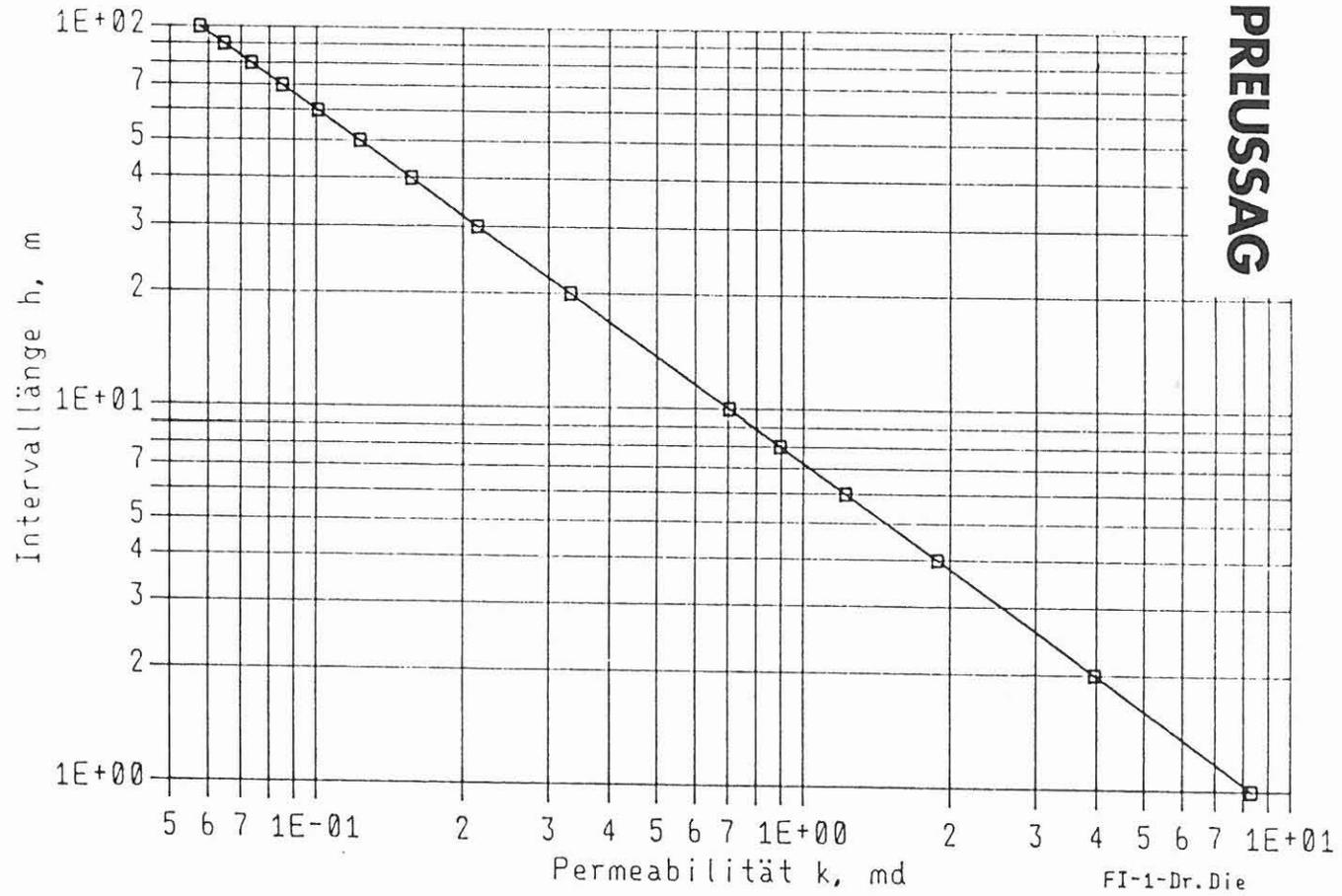


Abbildung 6.15

#### 4-Arm-Kalibermessungen

**Ausführender:** Universität Karlsruhe, Geophysikalisches Institut, Dipl.-  
Geophys. B. Clauß, Prof. Dr. K. Fuchs

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A32	15.04.88	-	Zwischenbericht 1

**Thema:**

Auswertung der 4-Arm-Kaliberdaten zur Bestimmung der Bohrlochgeometrie in der KTB-Vorbohrung Oberpfalz

**Ziel:**

Bestimmung der beiden horizontalen Hauptspannungsrichtungen sowie Angaben zur Bohrlochstabilität.

**Zusammenfassung:**

Die Auswertung der Bohrlochkaliberdaten zeigt, daß das Verhalten der Bohrlochgeometrie (breakout, washout, kein Ausbruch) der KTB-Vorbohrung von Teufe und Logging-Datum abhängt. Dabei treten Teufenintervalle auf, die eine stark zeitabhängige Bohrlochgeometrie besitzen (z. B. bei ca. 500 m Teufe), andere dagegen stabilisieren sich oder zeigen überhaupt keine Veränderung der Bohrlochgeometrie.

Es konnte festgestellt werden, daß die tiefen Bohrlocherweiterungen in NW-SE- oder NE-SW-Richtung auftreten. Diesen gerichteten Elongationen sind in vielen Teufenbereichen allseitige Erweiterungen (washouts) überlagert. Letztere zeigen dabei ein wesentlich geringeres Wachstum als die gerichteten Erweiterungen, so daß nach unserer Ansicht der Hauptanteil des Nachfalls im Bohrloch aus den tiefsten Zonen der Bohrlochrandausbrüche stammt.

Anhand der bisher vorliegenden oberflächennahen Daten kann noch nicht entschieden werden, welche der beiden angegebenen Ausbruchsrichtungen dominiert. Damit kann auch z. Zt. noch keine Angabe über die Orientierung des Spannungsfeldes gegeben werden.

Es gibt keine Anzeichen dafür, daß eine NS-Orientierung der Bohrlocherweiterungen vorherrschend ist. Die Abbildung 5.45 des KTB-Reports 87-4 zeigt eine Zusammenfassung der Elongations-Orientierung in Form eines Statistik-Plots mit Bohrlocherweiterungen in N-S-Richtung. Diese Orientierung kann nach dem bisherigen Kenntnisstand nicht bestätigt werden.

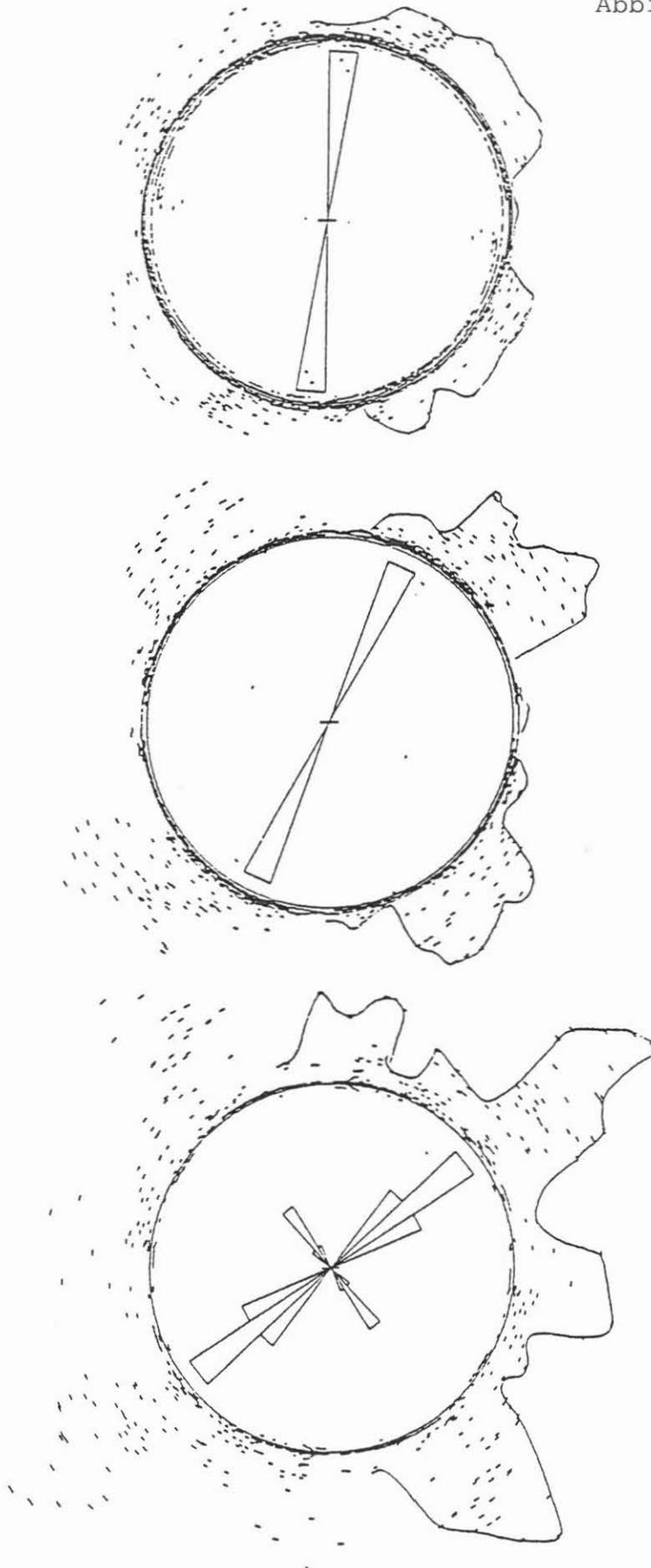
Diese Diskrepanz in den Bestimmungen der Ausbruchsazimute ist mit großer Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, daß bei der im KTB-Report gezeigten Häufigkeitsverteilung der Elongationen die Ausbruchsteufe nicht genügend berücksichtigt wurde.

**Abbildungsbeispiel:**

Zeitliches Verhalten der Bohrlochgeometrie im Teufenbereich 475 - 570 m;  
Abb. 6.16.

GEOPHYSIKALISCHES INSTITUT  
der Universität Karlsruhe

Abbildung 6.16



### **Geophonversenkmessung**

**Ausführender:** PRAKLA-SEISMOS AG, Hannover, Dr. M. Keonig, Dr. I. Schulte,  
Dipl.-Geophys. J. Mylius

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A34	20.04.88	VB-54, VB-55	Endbericht

**Thema:**

KTB-Oberpfalz-VB, vertikales seismisches Profil und refraktionsseismisches Profil.

**Ziel:**

Ermittlung der seismischen Geschwindigkeitsverteilung im Nahfeld der Vorbohrung.

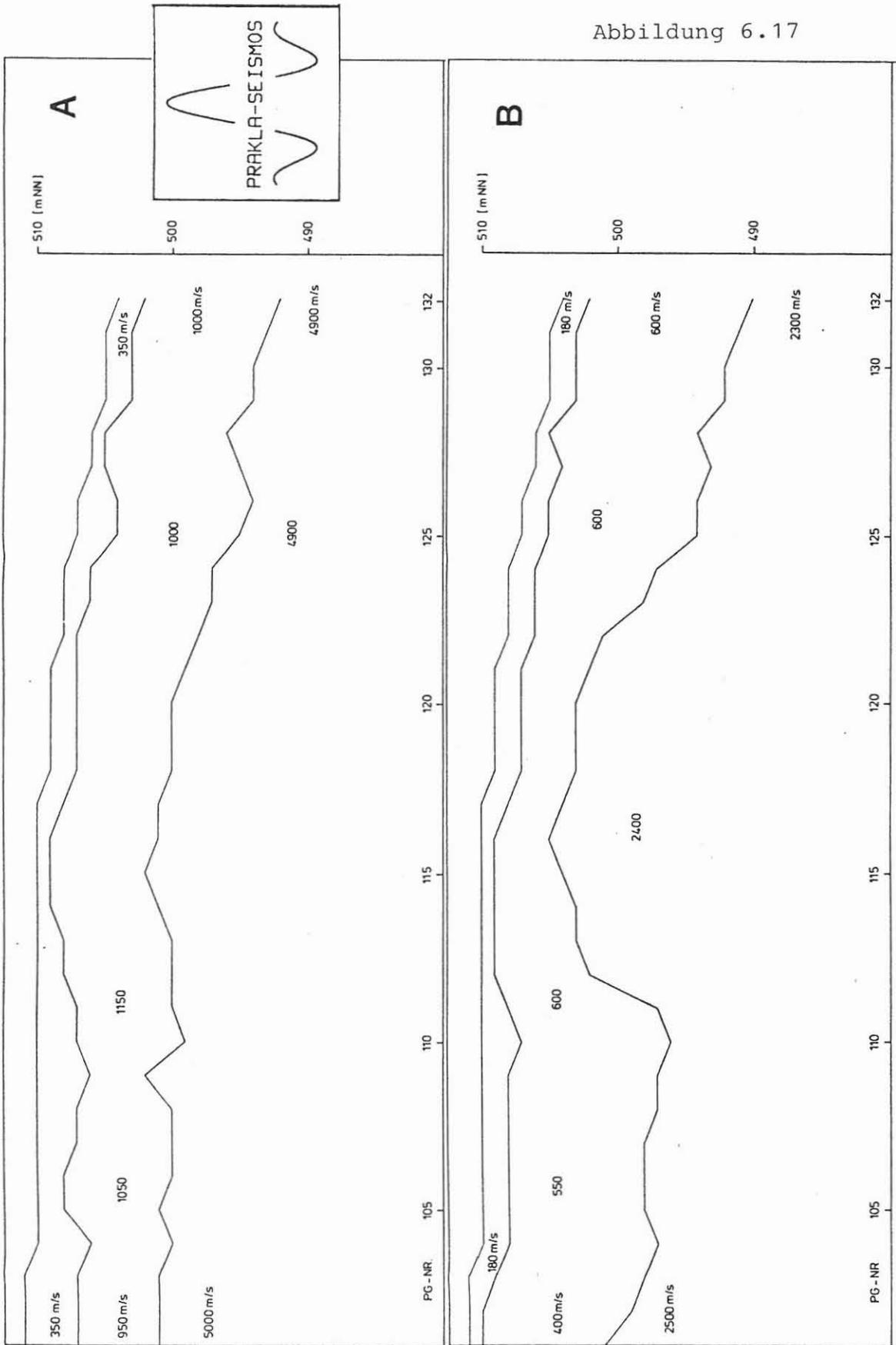
**Zusammenfassung:**

Technische Details können dem KTB-Report 87-4, Seite 92/93 entnommen werden. Der Endbericht liegt in Form von 44 Anlagen mit Erläuterungen vor. Im einzelnen handelt es sich um Ergebnisse der Netzlinien-Auswertung, der VSP-Auswertung incl. Hodogramme sowie der Anisotropie-Untersuchungen über einen Empfängerradius von 60 m und 150 m.

**Abbildungsbeispiel:**

Netzlinienauswertung für das Profil gemäß KTB-Report 87-4, Seite 93, für P-Welleneinsätze (A) und S-Welleneinsätze, Abb. 6.17.

Abbildung 6.17



**STC PROCESSING** (Slowness Time Coherence Berechnung)

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren, Rechenzentrum Hannover

Lfd. Nr.	Datum	Projekt/Messung	Intervall
VB-A11	09.12.87	VB- 39	27,4 - 478,0 m
VB-A36	29.04.88	VB-140	470,0 - 1520,0 m

**Beispiel:**

Auswerteausschnitt von 1145 - 1190 m, Abb. 6.18.

**Ziel der Auswertung:**

Durch Analyse des registrierten akustischen Wellenzuges Bestimmung der Kompressions-, Scher- und Stoneleywellen-Laufzeit.

**Durchführung:**

Die mit dem Sonic Digital Tool (SDT) aufgezeichneten akustischen Wellenzüge wurden im Rechenzentrum analysiert und über eine "Coherence Function" verglichen. Das Resultat dieses Vergleiches ist die Zuordnung bestimmter Abschnitte eines Wellenzuges zu Zeiten, die den Laufzeiten von Kompressions-, Scher- und Stoneleywellen entsprechen.

Im Bereich starker Bohrlochrandausbrüche liegen nur interpolierte Werte (oder unvollständige Datenreihen) vor. Dies wird durch eine beigefügte BHTV-Aufnahme im gleichen Maßstab belegt. Geplottet wurde die "Slowness" in  $\mu\text{s/m}$ , die gleichbedeutend ist mit der früher gemessenen Laufzeit. Die weißen Marken stellen die integrierte Laufzeit der Kompressionswellen und die schwarzen Marken die der Scherwellen dar.

Teufenmaßstab 1 : 200.

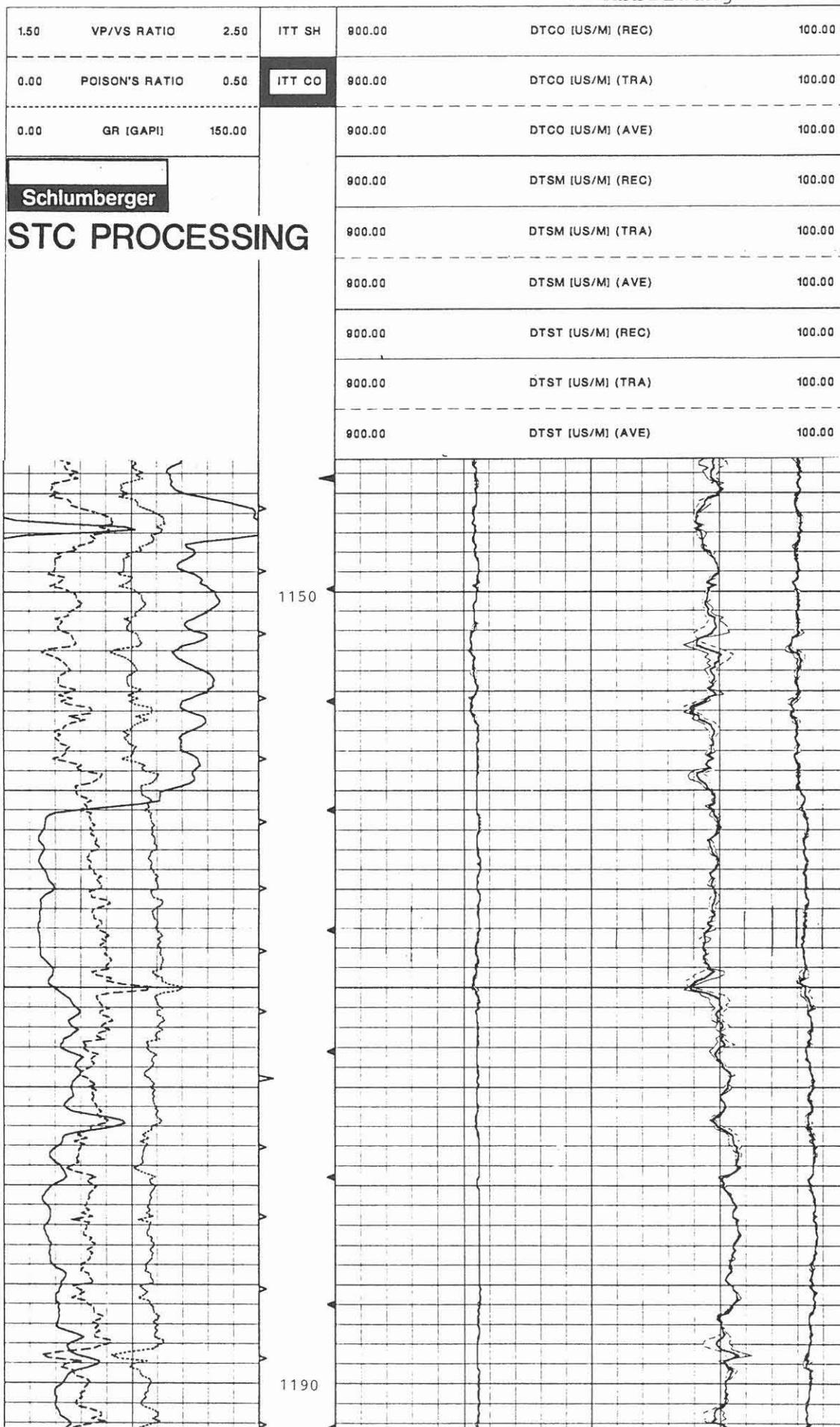
**Programminweise:**

Das Programm verwendet einen digitalen Ähnlichkeitsvergleichsalgorithmus, um die empfangenen Signale aller 8 Empfänger zu identifizieren, auszurichten und die Geschwindigkeiten der kohärenten Eigenschaften der Wellenzüge zu ermitteln. Dies geschieht durch die überlappende, schrittweise Bewegung eines Zeitfensters entlang der Wellenzugregistrierungen. Über eine "Coherence Function", die für jeden Schritt ermittelt wird, wird die Ähnlichkeit innerhalb des Fensters überprüft. Ein guter Kohärenzwert wird erreicht, wenn die Zeit des bewegten Fensters der gemessenen Zeit des empfangenen Signals entspricht und die Ähnlichkeit des Wellenzugabschnittes innerhalb des Fensters groß ist. Damit kann eine sorgfältige Analyse des gesamten Wellenzuges nach bestimmten, charakteristischen "Komponenten" erfolgen. Entsprechend den Maxima des Konturdiagramms wird die "Slowness" der einzelnen Komponenten bestimmt.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit
DTCO	Delta T, Compression wave ( $\mu\text{s/M}$ )	Laufzeit, $\mu\text{s/m}$ (Kompressionswelle)
DTSH	Delta T, Sheare wave ( $\mu\text{s/M}$ )	Laufzeit, $\mu\text{s/m}$ (Scherwelle)
DTST	Delta T, Stoneley wave ( $\mu\text{s/M}$ )	Laufzeit, $\mu\text{s/m}$ (Stoneley-Welle)
REC	Receiver Mode	Empfänger Mode
TRA	Transmitter Mode	Sender Mode
AVE	Average	Mittelwert

Abbildung 6.18



## Temperaturmessungen

**Ausführender:** Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover,  
KTB-Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik, . Dipl.-Ing. G. Zoth

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A37	02.05.88	NLFB-103 347	Kurzinformation

### **Thema:**

Temperaturen in der KTB-Oberpfalz VB.

### **Ziel:**

Kurzmitteilung über den ungefähren Temperaturverlauf.

### **Zusammenfassung:**

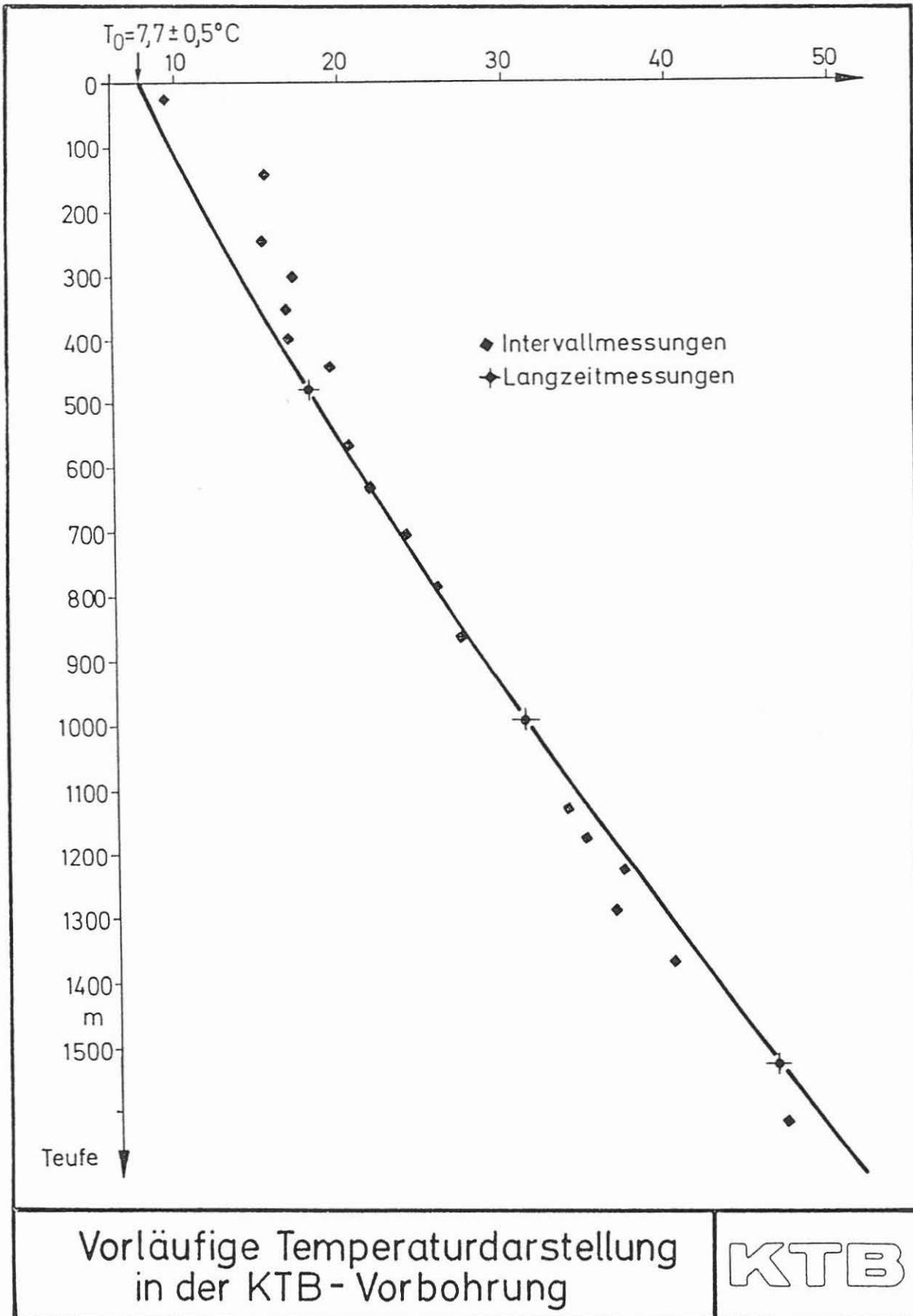
Temperaturmessungen werden entsprechend den Angaben der Arbeitsgruppe Geothermik der ARGE 4 etwa alle 50 bzw. 100 m ausgeführt (Intervallmessungen) und während einer Meßserie mehrmals wiederholt. Dabei verweilt die Temperatursonde etwa 30 - 60 min im Bohrlochtiefsten. In einem Temperaturlog wurde der jeweils letzte Temperaturwert einer Intervallmessung des letzten Runs einer Meßserie aufgetragen. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Temperaturwerte wegen der Spülungstemperatur im oberen Teil der Bohrung zu hoch und im unteren Teil zu niedrig liegen, wurde eine Kurve visuell hindurchgelegt. Der Wert  $T_0 = 7,7 \pm 0,5$  °C an der Erdoberfläche stellt die mittlere Jahrestemperatur für die Lokation der Bohrung dar.

Der Temperaturverlauf stellt eine grobe Annäherung an den tatsächlichen Temperaturverlauf dar. Die rechnerische Extrapolation der Meßdaten auf ungestörte Temperaturen ist dem geophysikalischen Institut der Universität Karlsruhe vorbehalten.

### **Abbildungsbeispiel:**

Temperaturlog; Abb. 6.19.

Abbildung 6.19



**CYBERDR (Horizontal-Vertical Projection)**

**Ausführender:** Schlumberger Verfahren/DMSt

<u>Lfd. Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Intervall</u>
VB-A 2	27.10.87	VB- 37	27,4 - 478,0 m
VB-A16	11.12.87	VB- 90	27,4 - 864,6 m
VB-A23	21.01.88	VB- 94	30,0 - 990,0 m
VB-A24	21.01.88	VB-114	478,0 - 1131,0 m
VB-A27	02.02.88	VB-118	475,0 - 1228,8 m
VB A38	04.05.88	VB-130	27,4 - 1529,4 m

**Beispiel:**

Siehe Abb. 6.20.

**Ziel der Auswertung:**

Bestimmung der Neigung und Richtung des Bohrlochverlaufs. Berechnung der horizontalen Abweichung, der vertikalen Abweichung und der Seigerteufe.

**Durchführung:**

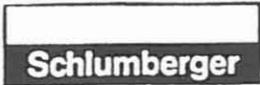
Die mit dem Borehole Geometry Tool (BGL) gewonnenen Neigungs- und Orientierungsdaten wurden für die Berechnung des Bohrlochverlaufes und der Seigerteufe verwendet. In der DMSt wurde diese Arbeit ausgeführt und die berechneten Daten graphisch aufgelistet und dargestellt. Die Standarddarstellung gibt eine horizontale Projektion und Vertikalprojektionen für vier verschiedene Projektionsebenen wieder; hier wurde nur eine wiedergegeben. Die Berechnung, die graphische Darstellung und die Auflistung der Werte kann sofort nach der Messung an der Bohrstelle erfolgen.

Maßstab horizontal 1 : 100, vertikal 1 : 5000.

**Programminweise:**

Für die Berechnung ist es notwendig, einen Ausgangspunkt für die Teufe und Orientierung festzulegen (tie-in location). Für diese Berechnung wurde der Rohrschuh bei 480,0 m Teufe und die Richtung mit 348,8° Azimut und Abweichdistanz von 11,5 m angegeben. Die Berechnung erfolgt nach der "Continuous Curvature Method". Bei erfolgter Vertiefung der Bohrung und einer Neuvermessung können für die Auswertung entweder nur die neuen Werte graphisch dargestellt werden und als "tie-in location" der Endpunkt der vorangegangenen Auswertung verwendet werden, oder die neuen Daten können mit den vorhandenen verbunden (merged) werden und als Gesamtheit neu berechnet und dargestellt werden. Damit kann der Bohrlochverlauf immer auf dem neuesten Stand gehalten werden.

**Abkürzungen:** -



# HORIZONTAL-VERTICAL PROJECTION

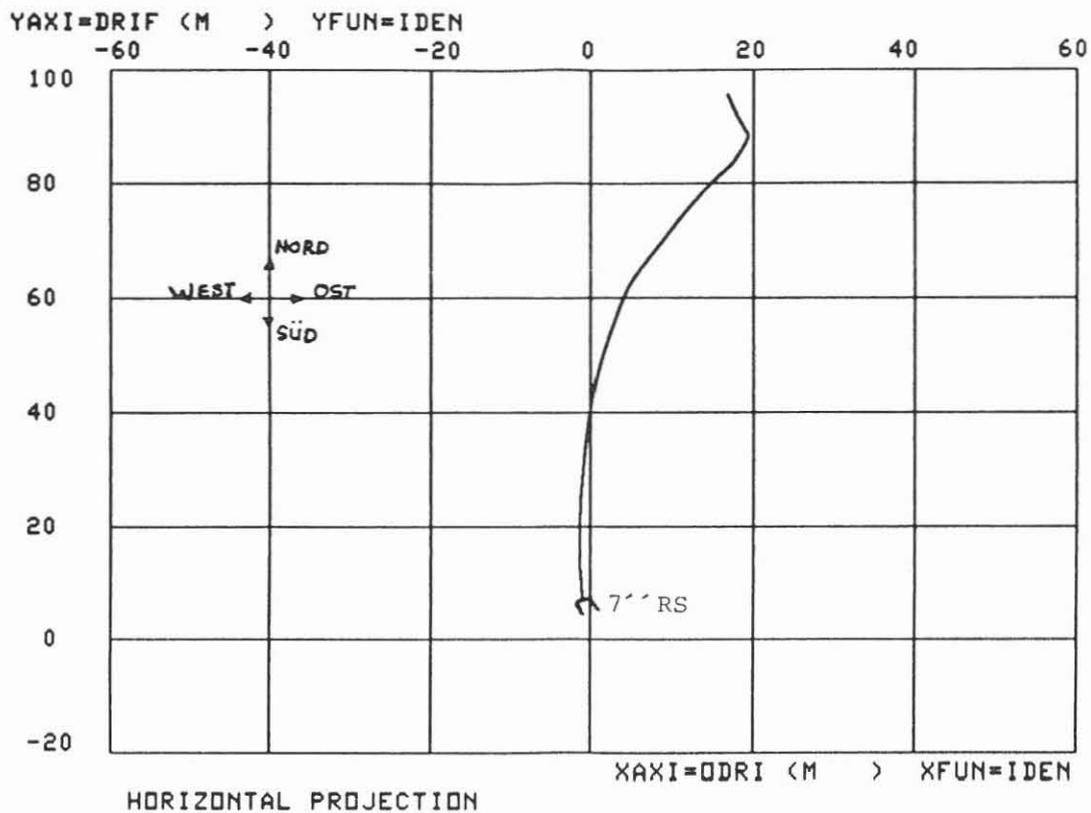
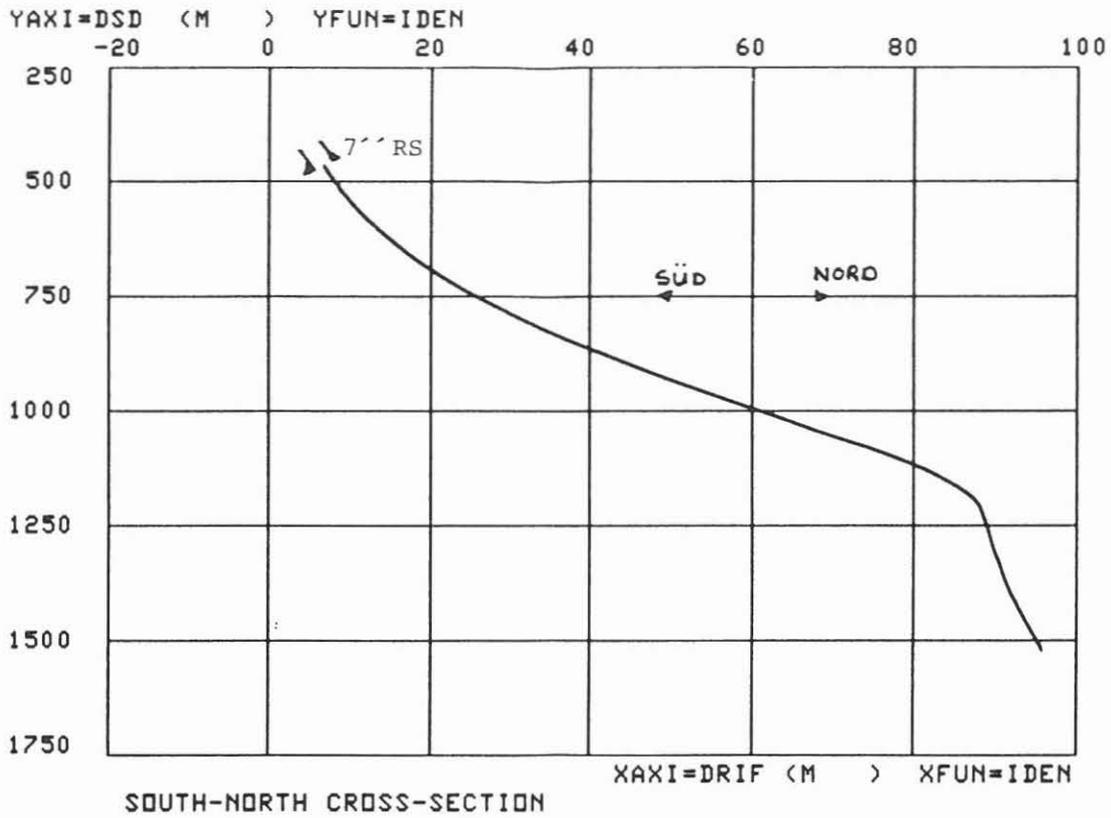


Abbildung 6.20

**IP-Messungen** (Induzierte Polarisation, stationär gemessen)

**Ausführender:** Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover,  
Dr. D. Vogelsang

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Intervall</u>
VB-A39	11.05.88	VB-62	194,0 - 474,0 m

**Thema:**

Stationäre Messungen der Induzierten Polarisation in der Vorbohrung des KTB.

**Ziel:**

Aufnahme und Deutung der IP-Abklingkurven in Zonen unterschiedlicher Aufladefähigkeit.

**Zusammenfassung:**

Im Rahmen der 1. Meßserie in der Vorbohrung des KTB (Teufenbereich 0 - 478,5 m) wurden 62 Abklingkurven der Induzierten Polarisation stationär aufgenommen. Die Messung erfolgte in 6 Zeitsegmenten von jeweils 130 ms Länge zwischen 65 ms und 845 ms nach Abschalten der Primärspannung.

Die Aufladefähigkeiten der beiden mittleren Zeitsegmente sind mit Werten von 40 - 60 mV/V durchweg sehr hoch. Die Abklingkoeffizienten - das Verhältnis der Aufladefähigkeiten der letzten beiden zu denen der ersten beiden Zeitsegmente - zeigen nur geringe Variationen.

Dies deutet auf eine relativ einheitliche Aufladefähigkeit im untersuchten Teufenbereich hin. Die zahlreichen, z. T. sehr hohen Anomalien des von ELGI aufgenommenen IP-Logs sind offensichtlich auf kleinräumige IP-Quellen zurückzuführen, die gleichmäßig im Gestein verteilt sein müssen.

Nahezu alle Abklingkurven lassen sich mit einer Summe von zwei Exponentialfunktionen beschreiben. Die Exponenten sind ein Maß für die Relaxationszeiten der im gemessenen Zeitintervall auftretenden Abklingvorgänge.

Im weiteren Verlauf dieses Forschungsvorhabens wird versucht, aus dem frakturalen Strukturmodell des Porenraumes synthetische Abklingkurven zu berechnen, die als Summe vieler Exponentialfunktionen aufgefaßt werden können. Aus den Vorfaktoren und den Exponenten sollen Aussagen über das durchteufte Gestein abgeleitet werden.

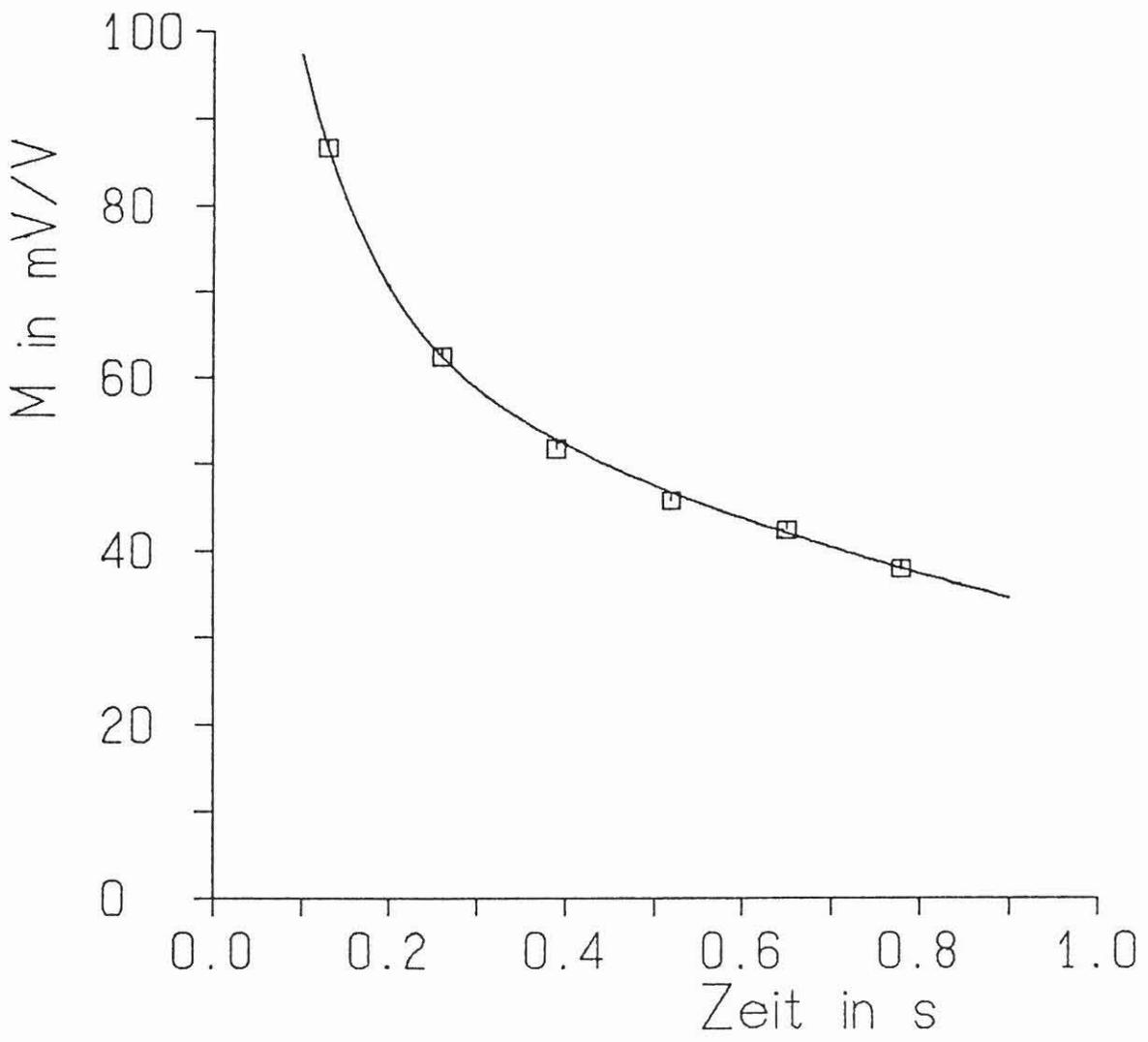
**Abbildungsbeispiel:**

Gemittelte Abklingkurve der Induzierten Polarisation mit Anpassung einer Summe von Exponentialfunktionen:

$$M(t) = 99,26 \exp(-t/0,09) + 69,40 \exp(-t/1,28); \text{ Abb. 6.21.}$$

Abbildung 6.21

<b>NLFb</b> Hannover	<b>IP</b> (stationär)
-------------------------	-----------------------



**SDT-DTL Digital Sonic-Long Spacing**

**Ausführender:** Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover,  
KTB-Projektleitung, Dr. K. Bram

Lfd.-Nr.	Datum	Projekt/Messung	Status
VB-A40	15.05.88	$V_p/V_s$ (VB-140)	Manuelle Auswertung

**Beispiel:**

Auswerteausschnitt von 1070 - 1300 m; Abb. 6.22.

**Ziel der Auswertung:**

Umsetzung der gemessenen Laufzeiten in Geschwindigkeiten. Damit Vergleich mit ermittelten Geschwindigkeiten aus Seismik gegeben. Die Umrechnung erfolgte manuell. Es sind unkorrigierte Mittelwerte.

**Zusammenfassung:**

Eine erste Auswertung der integrierten Laufzeit des langen Meßabstandes (Tt1 = 318,5 cm) ist in Abb. 6.22 gezeigt. Dargestellt sind sowohl Kompressions- als auch Scherwellengeschwindigkeit aus dem Meßbereich 1070 bis 1300 m. Der über ein bestimmtes Teufenintervall integrierte Geschwindigkeitswert wurde in der Darstellung der Intervallmitte zugeordnet. Der markante Geschwindigkeitssprung bei 1160 m ist lithologisch durch den Übergang von Sillimanit-Biotit-Gneisen im Hangenden zu Amphibolit im Liegenden bedingt.

Der dargestellte Bereich liegt innerhalb der Richtbohrstrecke. Entsprechende Labormessungen liegen deshalb wegen fehlender Kerne nicht vor.

**Abkürzungen:**

	englisch, Einheit	deutsch, Einheit
$V_p$	Compressional Velocity (m/s)	Kompressionswellengeschwindigkeit (m/s)
$V_s$	Shear Velocity (m/s)	Scherwellengeschwindigkeit (m/s)

**KTB**

GESCHWINDIGKEIT  
aus SDT-DTL

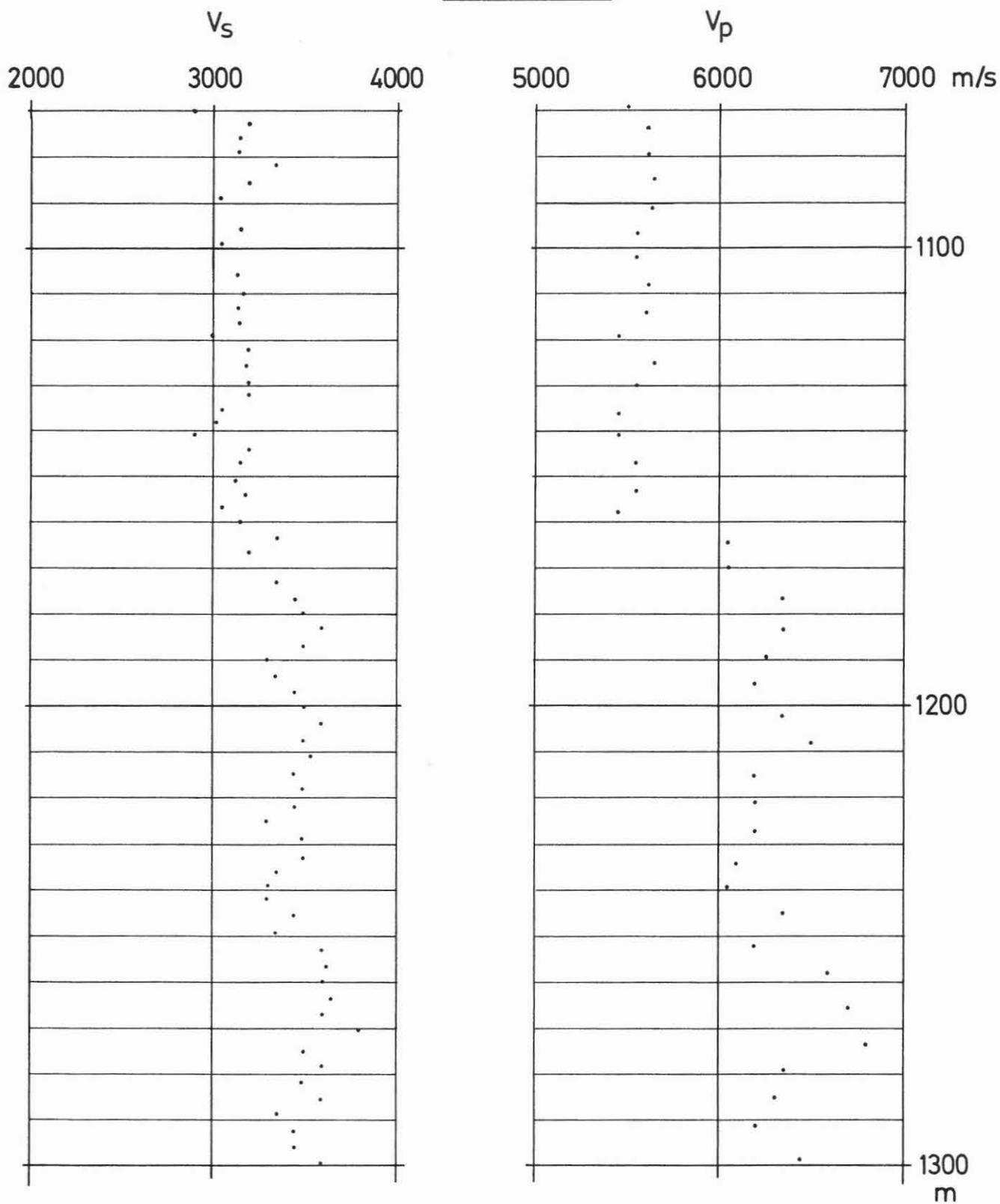
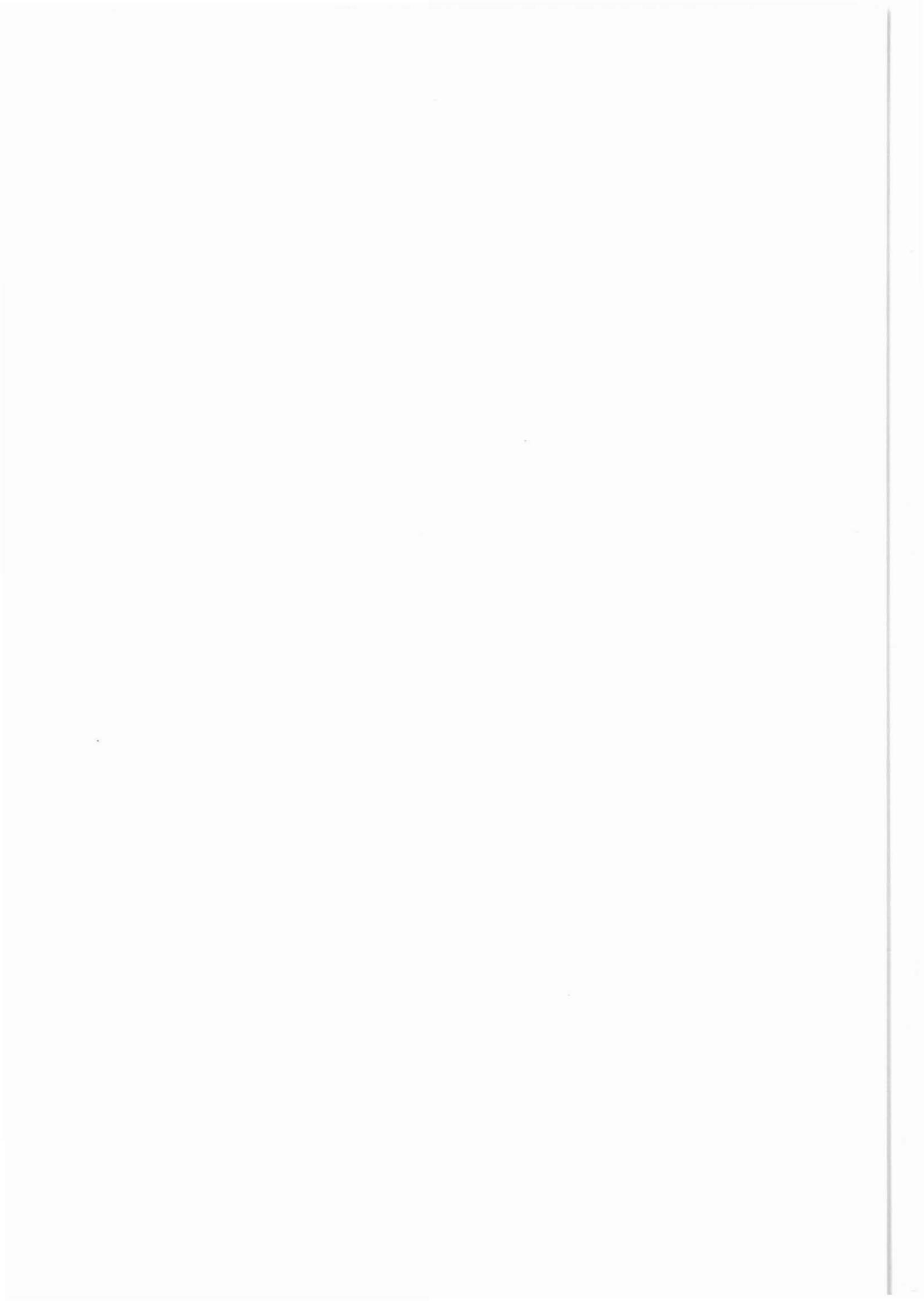
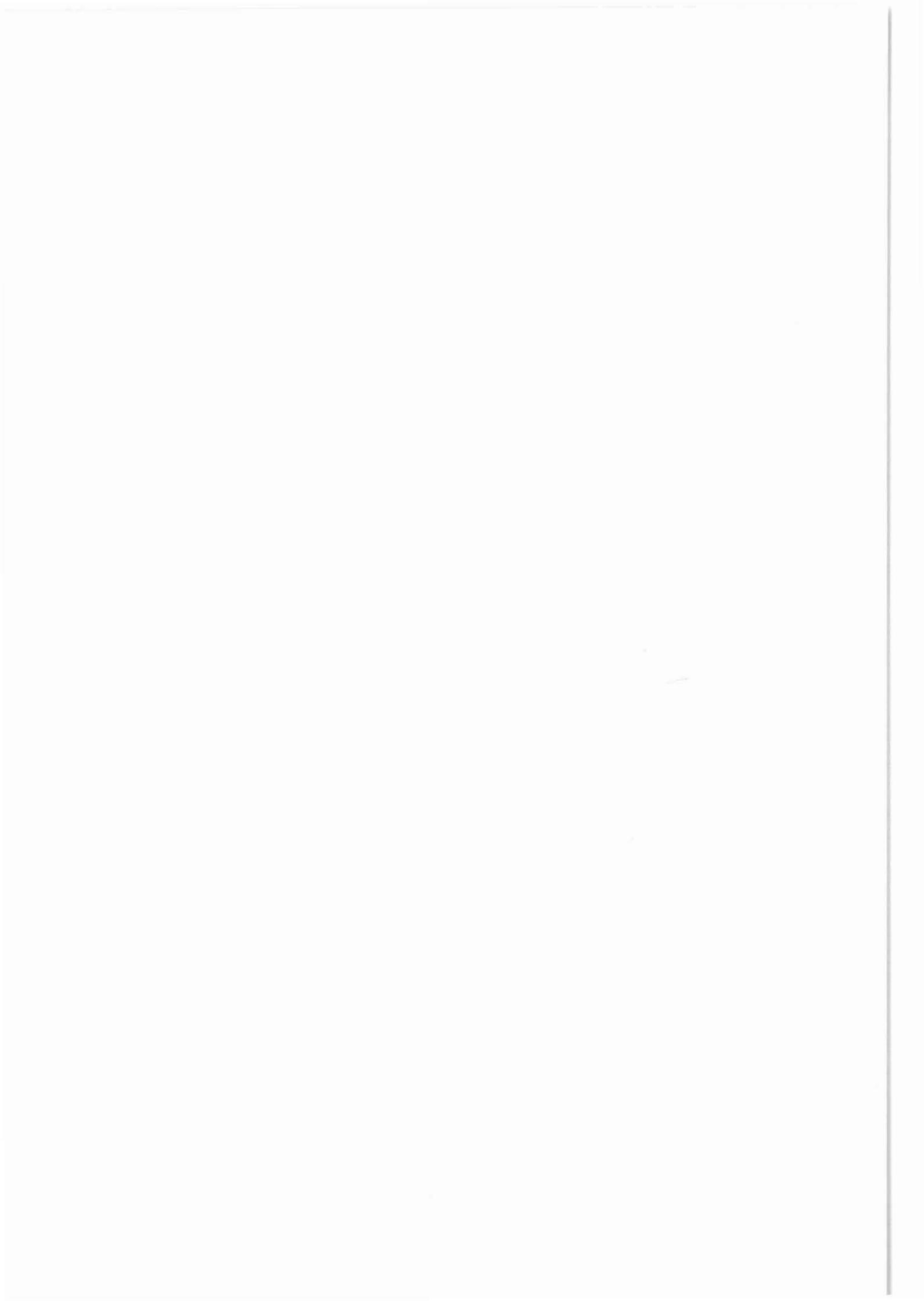


Abbildung 6.22



## 7 Hydraulische Teste



## 7 HYDRAULISCHE TESTE

Die Begründung zur Bedeutung und Notwendigkeit der geohydraulischen Teste ist im KTB-Report 87-3 ausführlich beschrieben. Das hieraus resultierende Testprogramm für die Bohrung KTB-Oberpfalz VB kann der Tab. 7.1 entnommen werden.

Der DST ist nach Möglichkeit in einem Teufenbereich anzusetzen, der mit einiger Sicherheit Porenfluide erwarten läßt. Für die Auswahl von Zuflußzonen standen zum Zeitpunkt der Festlegung dieser Zonen am 05.01.1988 die ersten Bohrlochmeßergebnisse der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik sowie die ersten Untersuchungsergebnisse von Bohrkernen des Feldlabors zur Verfügung.

Aus Zeitgründen konnte nur eine qualitative ad hoc-Auswertung der Bohrlochmeßergebnisse vorgenommen werden, wobei folgende Log-Aufzeichnungen herangezogen wurden (Begründung siehe hierzu KTB-Report 87-4):

Temperaturlog, Induzierte Polarisation,  
Spontaneous Potential, Dual Laterolog und  
Akustischer TelevIEWer.

Die ermittelten testwürdigen Zonen wurden gemeinsam mit Vertretern des Feldlabors diskutiert. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse lieferte folgende Zonen, wobei die Priorität in Klammern angegeben ist:

Bohrlochgeophysik	Feldlabor
m	m
ca. 517 (1)	506 - 518 (1)
ca. 580 (1)	556 - 610 (2)
	668 - 672 (5)
ca. 722 (4)	722 - 724 (3)
	764 - 768 (6)
ca. 824 (3)	825 - 827 (4)
	ca. 900

Folgende Zonen wurden dann in der angegebenen Reihenfolge als testwürdig befunden:

505 - 531, 556 - 592, 813 - 839, 707 - 733 und 908 - 932 m.

Dabei haben die ersten beiden Zonen die höchste Priorität und die beiden letzten dienen als "Ersatz-Testhorizonte".

Aus sicherheitstechnischen Gründen wurde von der Bohrtechnik und dem Test-Berater der Fa. Preussag folgende Reihenfolge vorgeschlagen und akzeptiert:

813 - 839, 556 - 592 und 505 - 531 m.

Die technischen Vorbereitungen für die Teste erfolgten in enger Zusammenarbeit zwischen den Arbeitsgruppen Bohrlochgeophysik und Bohrtechnik der Projektleitung sowie der Beraterfirma PREUSSAG AG und der Firma Baker Production Technology/Lynes. Die Baker Production Technology erhielt den Auftrag zur Durchführung des DST. Der Test erfolgte in der Zeit vom 06. - 07.01.1988 mit der in Abb. 7.1 dargestellten Test-Garnitur.

Mit den Testarbeiten wurde in der Zone 813 - 839 m begonnen.

Das Hauptziel, Porenflüssigkeit zu gewinnen, konnte innerhalb der vorgegebenen Zeit aufgrund der geringen Permeabilität nicht erreicht werden. Die Gewinnung von Flüssigkeiten hätte aufgrund von Abschätzungen mindestens 5 Stunden und bei relativ gering kontaminierter Flüssigkeit ein Vielfaches davon gedauert. Es wurde deshalb lediglich so lange gemessen, um Hinweise auf die geohydraulischen Parameter zu erhalten, vergl. hierzu Abb. 7.2 und Tab. 7.2.

Die nächste Testzone konnte nicht angefahren werden. Das Ziehen des DST-Tools (Straddle Packer) war wegen Packer-Verklebung aufgrund von Gesteinsnachfall aus dem oberen Bohrlochbereich mit beträchtlichen Schwierigkeiten verbunden und zog sich über ca. 10 Stunden hin. Die untere Packermanschette war erheblich beschädigt und die obere verblieb in der Bohrung. Anschließend wurde die Bohrung freigespült bzw. freigebohrt. In der sich anschließenden Besprechung (Protokoll vom 08.01.1988) wurde entschieden, das Testprogramm abzubrechen.

Zur Fortsetzung der Teste wurde am 02./3.03.1988 eine außerordentliche Sitzung der ARGE 7 "Fluide" einberufen. Da die Auswahlkriterien mittels Bohrkernen und den oben aufgeführten Bohrlochmeßergebnissen keinen Hinweis darauf geben, ob die testwürdigen Zonen eine hinreichende Fluidextraktion erlauben, und da nunmehr das Mud-Logging-System voll einsatzfähig ist, kann - wie dies auch für die Auswahl der Testzonen üblich ist - auf dieses zurückgegriffen werden. Die Auswahl der Testzonen erfolgt daher ab sofort entsprechend den Empfehlungen der ARGE 7 gemäß Tab. 7.3.

Das Testprogramm beinhaltet auch die Überprüfung des Repeat Formation Testers (KTB-Report 87-3, S. 125) hinsichtlich seiner prinzipiellen Einsatzfähigkeit zur Fluidentnahme aus dem Gebirge. Testversuche am 03.03.1988 erreichten zwar eine Abdichtung gegenüber der Bohrspülung, die Fluidentnahme und Bestimmung der geohydraulischen Parameter verliefen jedoch negativ. Die Testfläche ist so klein, daß es sehr vom Zufall abhängt, eine offene Kluft zu erreichen.

Tabelle 7.1: Geohydraulisches Test-Programm

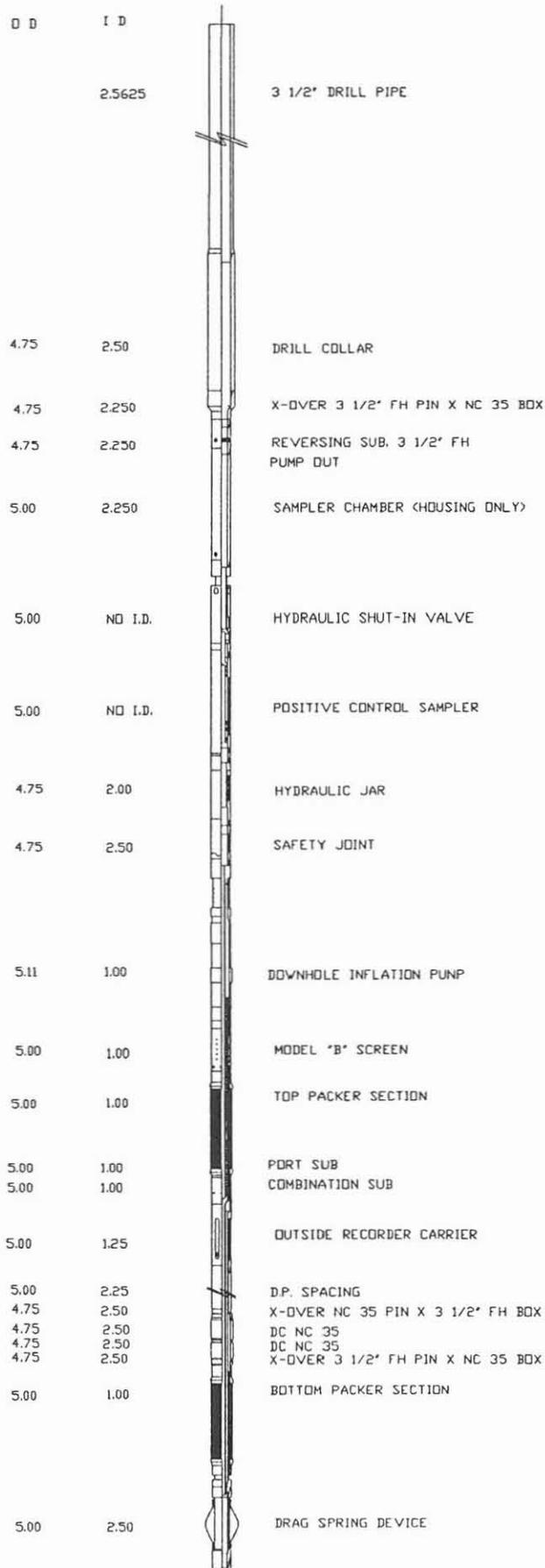
Anzahl Messungen	Detail-Ziel	Testdauer Testinterv.	Parameter	Ausführung	Auswertung	
<b>Phase 1: Während des Abtaufens der Bohrung</b>						
9	Drill Stem Tests, DST	repräs. Fluidgewinnung,	je < 24 h	Chemismus, Isotopen	Firma, KTB	x)
		erste Inform. zur Geohydraulik Druckspiegelhöhen	5 - 10 m	p, k, s	Firma	Firma, ITE (Pusch)
5	Repeat Format. Tests, RFT	Erprobung einer repräs. Anwend., Fluidentnahme, erste Inform. zur Geohydraulik	je < 1 h	Chemismus, Isotopen (k)	Firma	x) Firma, ITE (Pusch)
	Fluidsampling nach Bedarf	Fluidgewinnung		Chemismus, Isotopen	KTB	x)
<b>Phase 2: Nach Fertigstellung der Bohrung</b>						
<b>A - Thermische Flowmetermessungen, TF</b>						
4 - 6	Intervall-Teste über größere Bohrloch-Abschnitte mittels TF (Auffüllteste) :	Aufsuchen von permeablen Zonen, Klassif. nach Fluidaufnahme-fähigkeit Orient.-Hilfe für Einzelmessungen	3 - 4 d (?) 50 - 500 m	T, $\Delta T$	Firma	MFB (Schulz)
<b>B - Druck-Teste</b>						
20	Kurzzeit-Gestängesteste in Kluffzonen	Klufftransporteigenschaften, Kluffspeichereigenschaften, sofern möglich, Fluidgewinnung	je < 8 h > 3 m	k, p, s P, S Chem., Isotopen	Firma	Firma ITE (Pusch) )
3 - 5	Langzeit-Gestängesteste in Kluffzonen (Injektionsteste) sofern möglich druckabhängig	Erfassung von Kluffsystemen, Transp. + Speicher-Eigensch., Kluffgeometrie	je 4 d 3 - 30 (100) m	k, $T_D$ , p, s P, S k = f(p), w, l	BGR (Jung) (Firma)	BGR (Jung)
10	Matrix-Teste in mögl. klufffreiem Gebirge (Injektionsteste)	Matrixpermeabilität Transp. + Speicher-Eigensch.	je ca. 24 h > 1 m	k, p, s P, S	Firma	Firma ITE (Pusch) TM (Zimmermann)
	Fluidsampling nach Bedarf	Änderungen im Chemismus Hinweise auf Fluidbewegungen		Chemismus	KTB	x)

x) = Fluidabnehmer



LYNES INFLATABLE  
DST ASSEMBLY FOR KTB

Abbildung 7.1



# KTB VORBOHRUNG DRILLSTEM TEST NR. 3

PERFORMED BY: LYNES CELLE

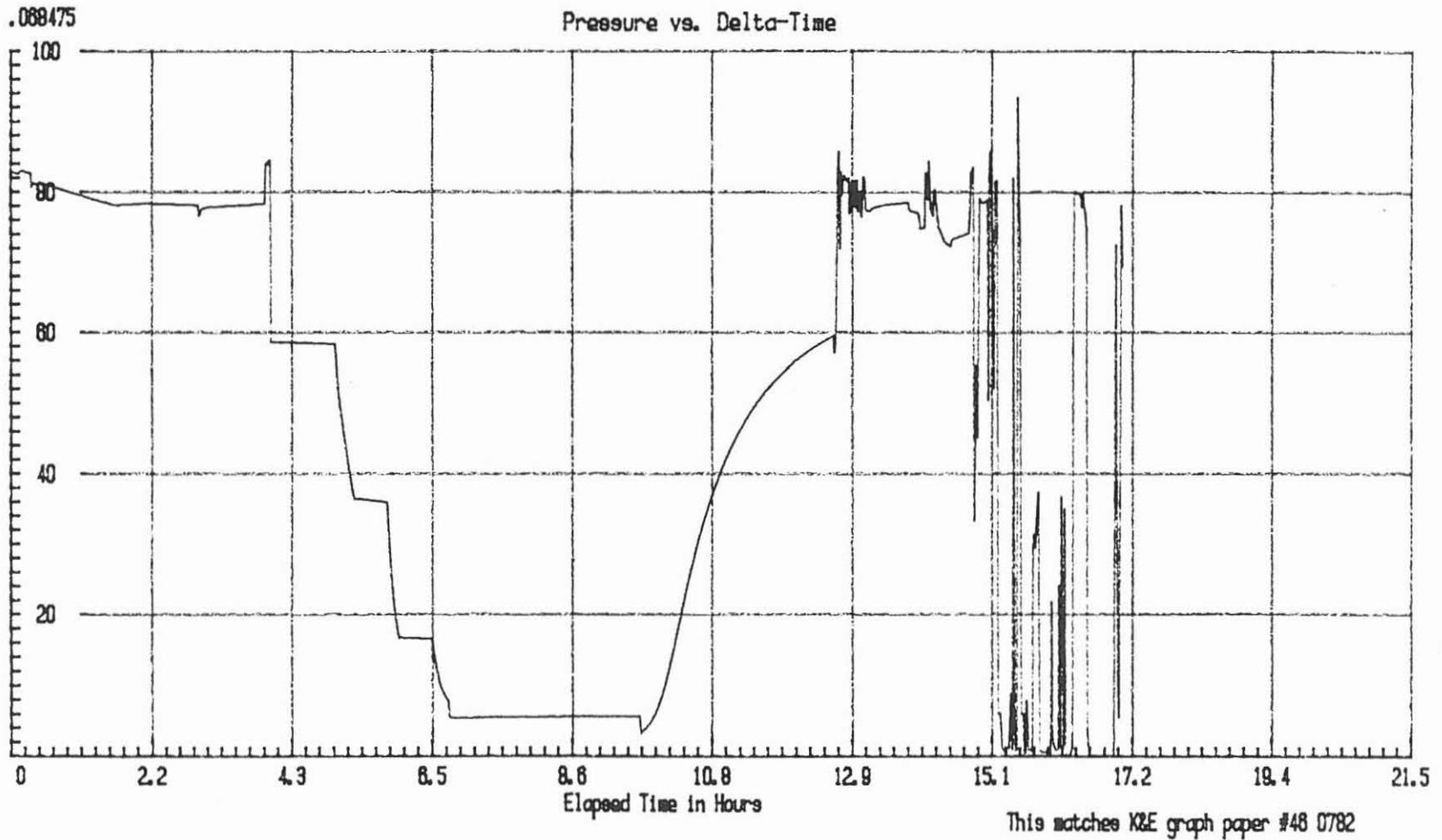


Abbildung 7.2

Tabelle 7.2: Auswerteergebnisse des Drill Stem Testes DST 3

Permeabilität $k$	$4,2 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$
Abgepackerte Mächtigkeit $h$	26,0 m
Transmissibilität $T_b = kh$	$1,1 \cdot 10^{-15} \text{ m}^3$
Hydraulische Leitfähigkeit, $k_f$ -Faktor $k_f = k g / \mu$	$4 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$
Transmissivität $T_v = k_f \cdot h$	$1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$
Skin Faktor $s$	$4,5 \cdot 10^{-1}$
Dimensionslose Wellbore Storage $C_D$	6,0 - 8,5
Speicherkapazität $S_t$	$6,8 \cdot 10^{-6}$ bis $9,6 \cdot 10^{-6}$
Statischer Formationsdruck $p_i$	nicht bestimmbar

Tabelle 7.3: Festlegung der weiteren Verfahrensweise zur Auswahl von testwürdigen Zonen (Protokoll-Auszug der ARGE 7 vom 2./3. März 1988)

- a) Von Doppelpackertests wird bis auf weiteres abgesehen, zumindest so lange, bis eine relative Bohrlochstabilität nachgewiesen ist. Zur Zeit beträgt der Nachfall pro Tag etwa 20 l.
- b) Fluidsampler für Gasbeprobungen sollen, wie im Protokoll vom 23./24.02.1988 festgelegt wurde, bei Werkzeugwechsel nach den vorgegebenen Kriterien eingesetzt werden.
- c) Über die Durchführbarkeit von Absenkttests und Doppelpackerfluidtests kann nach Abschluß der Bohrung nochmals befunden werden.
- d) Da bisher keine Spülungsverluste und Zuflüsse nachweisbar sind, muß davon ausgegangen werden, daß bis jetzt ein relativ trockenes Gebirge vorliegt. Es sollte daher vordringlich eine genaueste Beobachtung möglicher Wasserzutritte über das Mud-Logging-System und eine geochemische Kontrolle der Spülung vorgenommen werden. Bei einem Auftreten von Anzeichen spürbarer Zutritte sollte sofort der Bohrprozeß unterbrochen werden, und Stützeankertests sollten durchgeführt werden. Dafür sind eine Reihe von Maßnahmen zu beachten:

Über das Mud-Logging ist ein Warnsystem einzurichten. Wenn ein direkter Wasserzutritt über die Spülungskontrolle nachweisbar ist, sollte die Bohrung sofort unterbrochen und eine umgehende Benachrichtigung des Feldlaborleiters sowie der Projektleitung stattfinden.

Wenn bei den on-line-Messungen von Redox, pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur und der Gaskomponenten ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , Helium,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) bei mehreren korrespondierenden Faktoren eine Verdoppelung der Meßbandbreite auftritt, soll eine sofortige Benachrichtigung des ICP-AES-Labors zur umgehenden Kontrolle der Spülung auf Cl, Na und Ca stattfinden. Verläuft diese Messung positiv, ist eine sofortige Entscheidungsfindung von der Leitung des Feldlabors nach Kontaktaufnahme mit der Projektleitung vorzunehmen. Da der Spülungsaufstieg zur Zeit bereits 45 Minuten beträgt, muß diese Entscheidungsfindung rasch erfolgen, wenn ein Stützeankertest noch durchführbar sein soll.

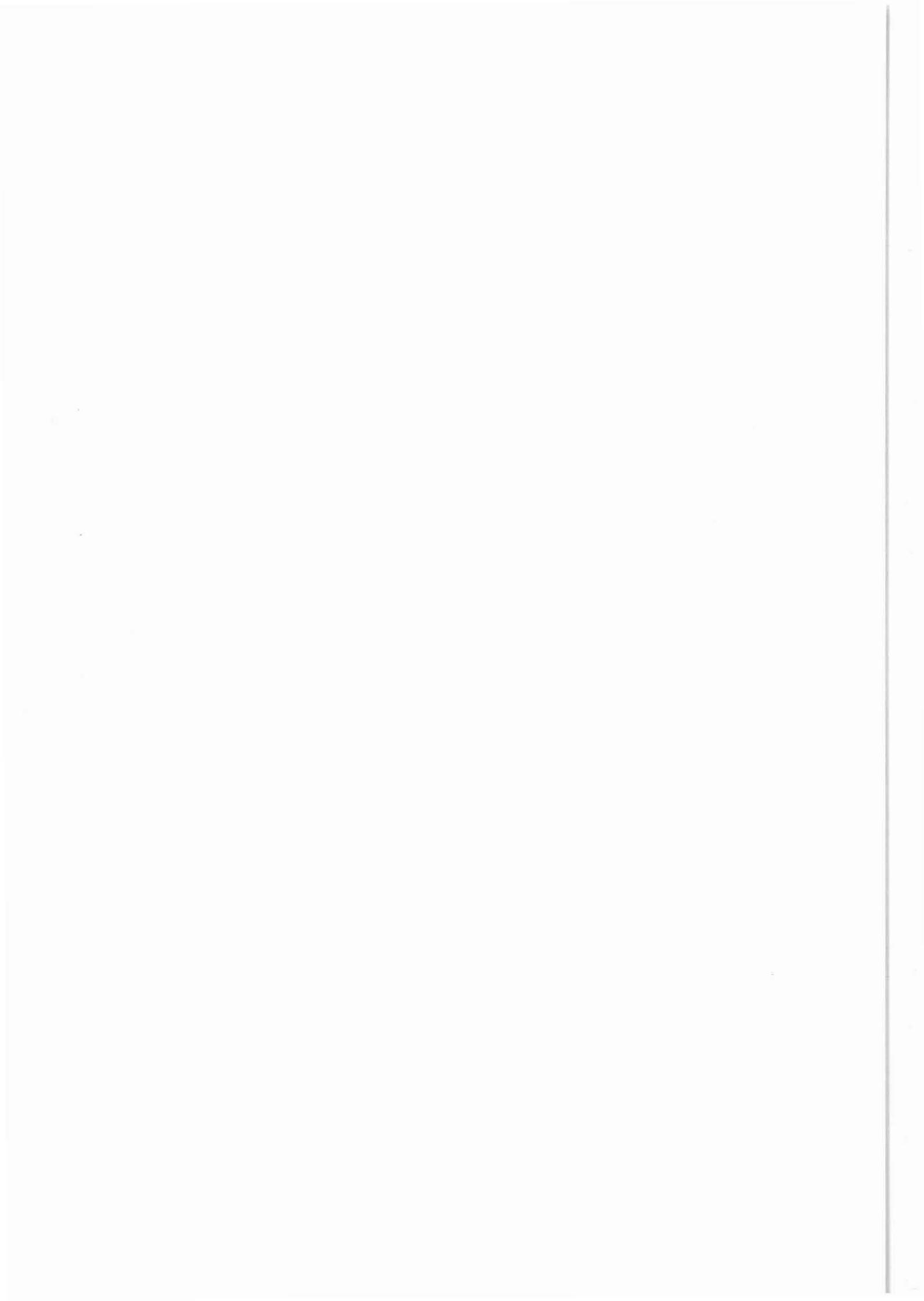
Abkürzungen:

ICP = Inductive Coupled Plasma

AES = Atomic Emission Spectrometer



8 Zwischenberichte der KTB-PL,  
Bohrlochgeophysik



## 8 ZWISCHENBERICHTE DER KTB-PL, BOHRLOCHGEOPHYSIK

### 8.1 Meßgeräte

Im folgenden werden drei Meßgeräte vorgestellt, die im KTB-Report 87-3 nicht beschrieben wurden.

#### (1) Kernbohrmeßsystem (MEM)

Das Kernbohrmeßsystem (Memory = MEM) dient zur Aufnahme und Speicherung von Temperatur (MEMT)- und Neigungsdaten (MEMN) während des Bohrens im Bohrloch. Das Gerät hat einen Durchmesser von 85 mm und eine Länge von 1000 mm. Es wird im modifizierten Innenkernrohr des KTB-Seilkernrohres untergebracht. Die Sensoren für Temperatur und Neigung sind innerhalb dieser Kartusche angeordnet und somit auf die Höhe der Einbaulage von 6,50 m über der Sohle fixiert. Die unter Tage gespeicherten Daten werden an der Oberfläche unter Verwendung eines Personal Computers ausgelesen und weiterverarbeitet. Die Abb. 8.1 zeigt die Anordnung des Meßgerätes im Ventilkörper des Seilkernrohres.

Die technischen Daten sind:

Meßbereich Temperatur	0 - 125 °C
Speichergenauigkeit Temperatur	±0,05 °C
Meßbereich Neigung	0 - 12,8°
Speichergenauigkeit Neigung	±0,04°
Speicherkapazität	10.000 Wertepaare
Meßrate	wählbar 4 s bis 8 min.

Ein Beispiel für eine Auswertung der Meßergebnisse ist in der Abb. 4.2 dargestellt.

#### (2) 4-Pad Formation MicroScanner Tool (FMST)

In einer Weiterentwicklung des bereits kommerziell angebotenen Formation MicroScanner Tools mit 2 Scanner-Elektrodenträgern (Abb. 8.2) hat Schlumberger, Paris, ein Prototyp-Gerät mit 4 Scanner-Elektrodenträgern (Abb. 8.3) ausgerüstet. Die Elektrodenträger (pads) wurden neu konstruiert und weisen wesentliche Unterschiede zu den Standard-Elektrodenträgern auf.

Die Scanner-Elektroden sind:

- größer (0,26" (6,6 mm) gegenüber 0,2" (5,08 mm)

# Kernbohrmeßsystem

Abbildung 8.1

## Einbaulage im Seilkernrohr

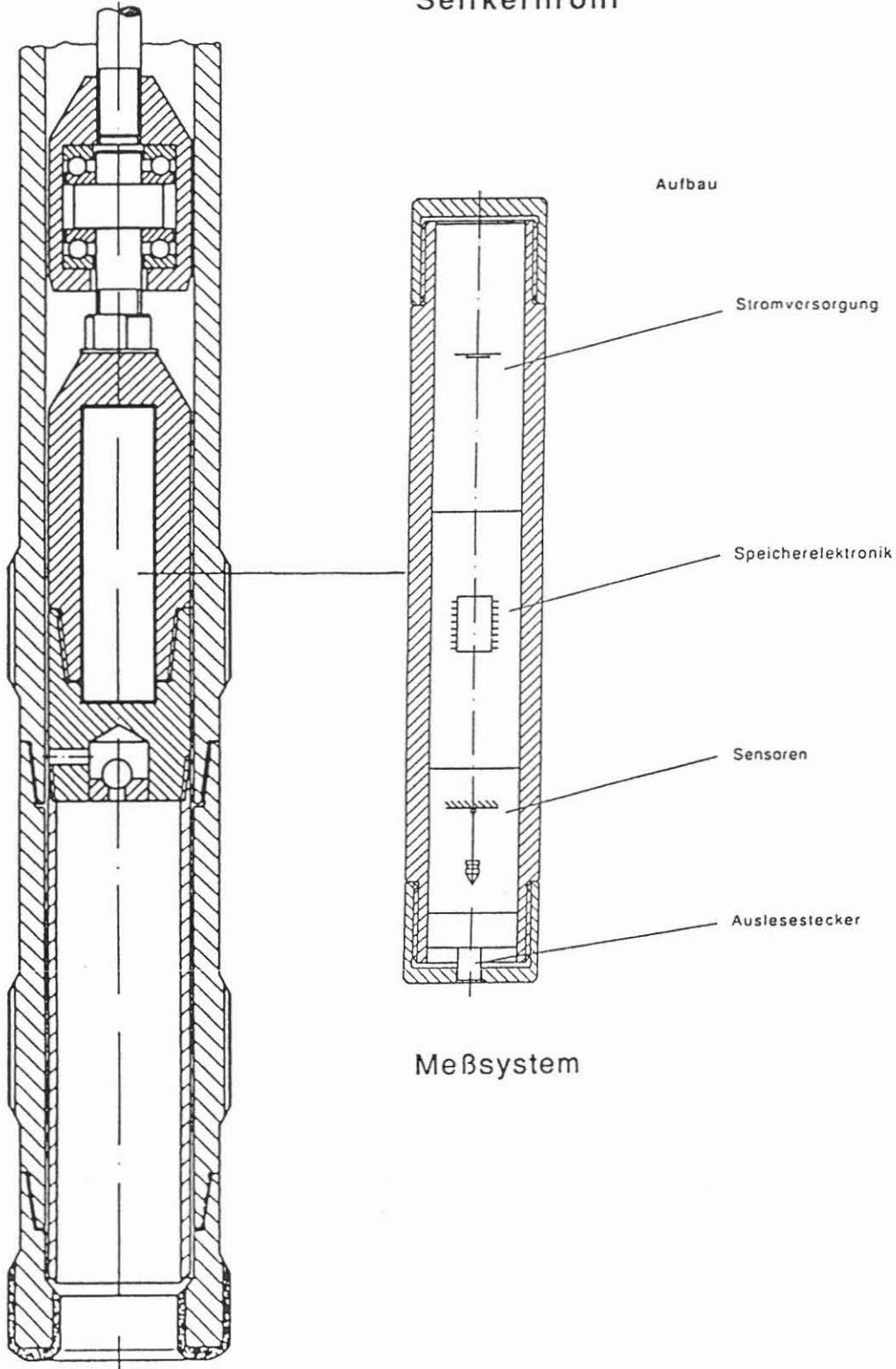


Abbildung 8.2

Formation MicroScanner 2-Pad Tool  
Fa. Schlumberger

Pad Configuration

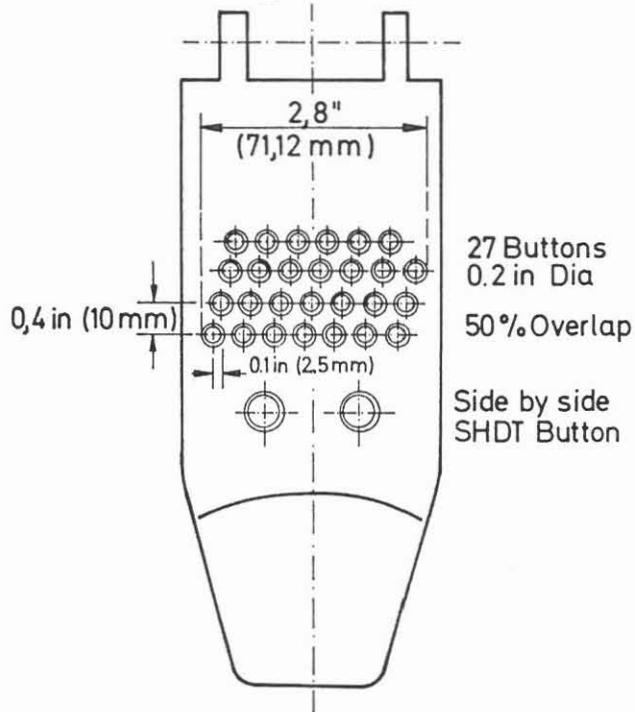
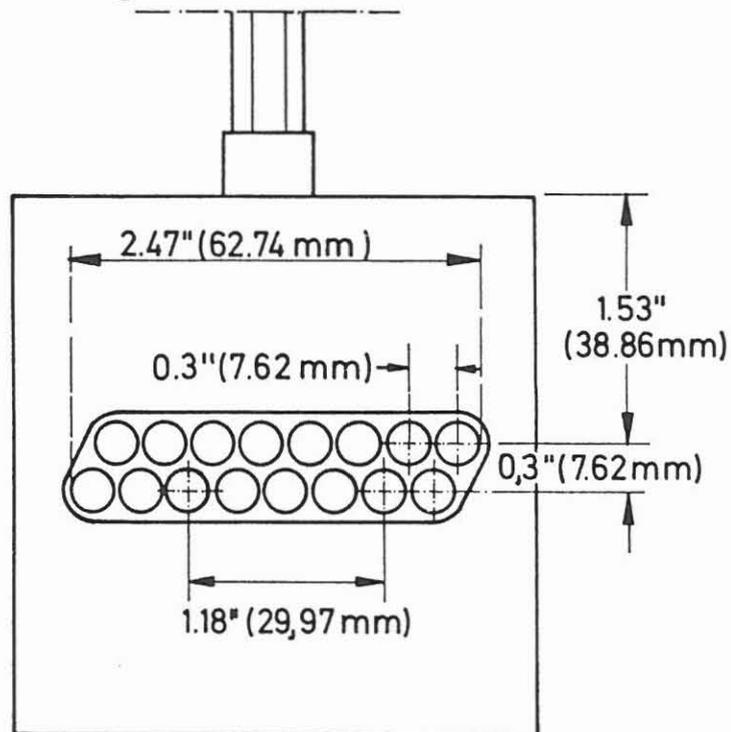


Image coverage 20%  
with 2 pads in 8 1/2"  
(215,9 mm) hole.

# Formation MicroScanner 4-Pad Tool Prototype Fa. Schlumberger

## Pad Configuration



10% Coverage in 8" hole (203.2 mm)  
(for each pad)

16 Buttons

.26" Dia electrode (6,6mm)

43% Overlap

- in zwei Reihen gegenüber 4 Reihen angeordnet
- der vertikale Abstand der Reihen ist von 0,4" (10,16 mm) auf 0,3" (7,62 mm) reduziert
- die Überlappung der Elektroden untereinander ist 43 % gegenüber 50 %
- sie sind in einem gemeinsamen Bett aus Isoliermasse und nicht einzeln eingebettet
- die Anzahl pro Träger ist von 27 Elektroden auf 16 reduziert
- die Breite der gesamten Scannerspur pro Träger ist 2,47" (62,74 mm) anstatt 2,8" (71,12 mm).

Mit dem Prototyp-Gerät kann ca. 40 % des Umfanges eines 8" (203,2 mm)-Bohrloches erfaßt werden, hingegen mit dem 2 Pad-Gerät nur 21 %.

Für die KTB-Oberpfalz VB bedeutet dies, daß im 6" (152,4 mm)-Bohrloch 52,44 % des Umfanges gemessen werden können. Ein Vergleich mit der Borehole Televiewer-Aufnahme und die Kernzuordnung ist dadurch wesentlich verbessert.

### (3) Correlated Electromagnetic Retrieval Tool (CERT)

Dies ist ein von der Oberfläche aus aktivierter Elektromagnet. Er wird eingesetzt, wenn in der Bohrung metallische Teile (Meißelkone, Keil- oder Zangeneinsätze etc.) verblieben sind, die gefangen werden müssen. Der Magnet (Abb. 8.4) kann entweder mit einem Gammastrahlenmeßgerät oder einem Casing Collar Locator in Kombination gefahren werden, um eine positive Teufenkontrolle zu gewährleisten. Auf Fangteufe wird er aktiviert. Übertage kann durch eine Anzeige die momentane Unterbrechung des Magnetfeldes beim Kontakt Magnet - Fisch registriert werden. Eine Anzeige würde auch erfolgen, wenn während der Ausfahrt der Fisch abgestreift werden würde.

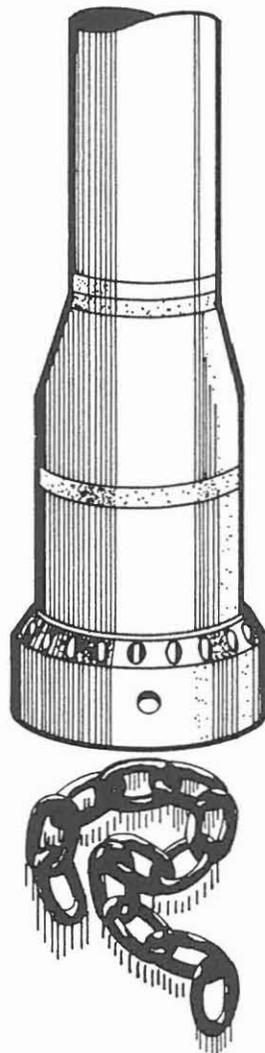
Der Magnet hat ungefähr eine fünfmal stärkere Hebekraft als ein Permanentmagnet gleicher Größe.

Die Geräteabmessungen sind:

Außendurchmesser:	5"	12,7 cm
Länge:	27"	68,58 cm
Gewicht:	97 lbs	44 kg
Druckgrenze:	20000 psi	1380 bar
Temperaturgrenze:	350 °F	177 °C
Hebekraft in Luft bei flacher, aufliegender Fläche:	1.000 lbs	450 kg.

Dieses Gerät wurde eingesetzt, um die aus Edelstahl bestehende Verstärkung einer zerbohrten Packermanschette zu fangen.

CERT: Correlated Electromagnetic  
Retrieval Tool (Electromagnet)  
Fa. Schlumberger



Bei dem am 06.01.1988 durchgeführten Drill Stem Test (DST) wurde ein Doppelpackergerät eingesetzt. Das Gerät konnte nach dem Test wegen Nachfalls nur unter Schwierigkeiten gezogen werden. Dabei verließ eine Packermanschette im Bohrloch und wurde zerbohrt. Die metallischen Teile konnten nicht auszirkuliert werden. In 10 Magnetfahrten sind über 6 kg "Schrott" zutage gebracht worden.



## 8.2 Permeabilitätsbestimmungen

**Ausführender:** Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover,  
KTB-Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik, Dipl.-Ing. J. K. Draxler

Lfd.-Nr.	Datum	Projekt/Messung	Status
-	10.11.86	NLFB-100 095	Vortrag SPWLA-Tagung in London
	28.04.88		Vortrag SPWLA-Tagung in London (Wiederholung)

**Thema:**

Permeabilitätsbestimmung aus Bohrlochmessungen.

**Ziel:**

Die Bestimmung der Permeabilität von Gesteinen mit Hilfe von Bohrlochmessungen ist ein Weg, um in situ Permeabilitätswerte zu erhalten. Alle bestehenden Meßmöglichkeiten und -Systeme werden besprochen.

**Zusammenfassung:**

Die ersten Versuche, aus Bohrlochmessungen Permeabilitätsbestimmungen durchzuführen, wurden von TIXIER 1949, WYLLIE und ROSE 1950, unternommen. Sie verwendeten Widerstandsmessungen und Informationen über Porosität.

Die Neuentwicklungen von Bohrlochmeßsystemen erlauben heute Permeabilitätsbestimmungen aus Leitfähigkeits-, Gammastrahlenspektrometer-, Akustik- und nuklearmagnetische Resonanzmessungen. Besonders die akustischen Messungen - Kompressionswellen- und Stoneley-Wellenanalysen sind vielversprechend.

Die Messungen können jedoch Permeabilität nicht direkt messen, sondern nur einen "Index" bringen. Nur durch den Einsatz des Repeat Formation Tester kann Permeabilität direkt bestimmt werden.

**Hinweis:**

Die im englischen Text verwendeten Abbildungshinweise beziehen sich nur auf diesen Report 88-4.

## Estimation of Permeability from Wireline Logs

### Introduction

Since the introduction of geophysical measurements in a borehole in 1927 the challenge for the logging industry has been to measure permeability as a continuous log downhole. We are able to evaluate porosity, watersaturation and lithology from different logs. Though, - to log permeability - industry has so far not succeeded.

The first indication came with the discovery of the Self Potential (SP)-phenomena. Mistakingly considered as a porosity measurement, it became later - under certain conditions - an indicator for permeability.

A great number of other measurements, electric, radioactive, acoustic, magnetic and dynamic have been developed. About the same numbers of evaluating methods have been designed - but the result is the same, we are able to estimate a "permeability index" - not more.

The reason for this is rather simple. For direct permeability measurements moving fluids through rock are required. Downhole, with mud cake sealing the only accessible surface of the borehole wall and the hydrostatic head of the mud column keeping the pressure balance, measurable fluid motion is prevented.

The only wireline tool available is the Repeat Formation Tester, which could be used to make stationary measurements of permeability, by opening the formation to atmospheric pressure and forcing fluid movement over short periods of time from the formation into the tool.

Efefore describing individual logging systems it will be necessary to define permeability and its affecting factors. The French engineer Henry Darcy published 1856 his studies for quantitative fluid flow calculations.

Establishing flow characteristic for different sandstones he found that he needed a proportionality constant in his calculations which he determined to be permeability.

Today industry has adapted his law - Darcy's law - and uses the "darcy" as standard unit of measure for permeability. It is defined as 1 cm<sup>3</sup> of fluid with viscosity of 1 centipoise (water) flowing through 1 cm<sup>2</sup> of rock surface in 1 second under a pressure gradient of 1 atmosphere per centimeter of length in the direction of flow.

Factors influencing permeability are manifold and vary strongly with rock type, type and amount of porosity, grain size and packing, tortuosity of pore space, clay content and authigenesis, cementation, sorting, irreducible (bound) water saturation, anisotropy. Fluid type and flow regime must be considered (Abb. 8.5).

Therefore, to fully understand the permeability of any rock the knowledge of these factors is essential.

Therefore, it should not be too surprising that we can only state: we are unable to measure in-situ permeability directly - but we are working towards defining a "best possible approximation".

Wireline Tools used for Permeability Estimation are:

Resistivity/Conductivity: Induction Log, Dual Laterolog

Porosity/Saturation: Sonic, Density, Neutron, Induction, Dual Laterolog

Acoustic: Sonic Log - Compressional and Stoneley (Tube) Waves

Nuclear Magnetic Resonance: Nuclear Magnetic Resonance Log/Natural Gamma Ray Spectrometer

Dynamic Flow Measurement: Repeat Formation Tester, Production Logs (Abb. 8.6).

#### Resistivity/Conductivity Measurements

- Resistivity Gradient and Porosity versus Saturation

In 1949 Tixier M.P. proposed to use the difference in densities of hydrocarbons and water and plot it against a resistivity gradient - or resistivity change - observed on the logs opposite the transition zone.

The resistivity gradient "a" is formed by dividing the change in resistivity over the transition zone " $\Delta R$ " by the length over which this change is observed " $\Delta D$ " and by the resistivity in the waterbearing interval " $R_0$ ".

The gradient is:

$$a = \left( \frac{\Delta R}{\Delta D} \cdot \frac{1}{R_0} \right)$$

## INTRODUCTION

### Challenge

Measure in-situ absolute permeability

### Requirement

Moving fluids through rock

### Environment Downhole

Mud cake sealing surface of borehole wall  
Hydrostatic head keeping pressure balance  
Measurable fluid motion prevented

### Factors Influencing Permeability

- rock type
- type and amount of porosity
- grain size, sorting, packing and cementation
- tortuosity of pore space
- clay content and authigenesis
- irreducible water saturation
- fluid type, flow regime  
etc. etc.

Permeability from Wireline Logs

**KTB**

Abb. 8.5

## INTRODUCTION

### Systems Available Today

- Resistivity/Conductivity/Porosity/Water Saturation  
Resistivity Gradient versus Density Difference  
Porosity versus irreducible Water Saturation  
Specific Surface Area Measurements
- Acoustic Measurements  
Compressional wave  
Stoneley (Tube) wave
- Nuclear Measurements  
Nuclear Magnetic Resonance (NMR)  
Natural Gamma Ray Spectrometer (NGT)
- Dynamic Measurements  
Repeat Formation Tester  
Production Logs

### Result

"PERMEABILITY INDEX" from logs

POINT INFORMATION FROM RFT

Permeability from Wireline Logs

**KTB**

Abb. 8.6

Plotting this gradient against the density difference on double logarithmic scale, permeabilities follow straight lines (Abb. 8.7).

Knowing all the deficiencies of this method it still could be applied if conditions are favourable.

#### - Porosity versus irreducible Water Saturation

Wyllie and Rose established 1950 the empirical relationship for permeability

$$K = C \cdot \phi^3 / (S_{w_{irr}})^2$$

where C is a constant,  $\phi$  is porosity and  $S_{w_{irr}}$  is the irreducible water saturation (C = 250 for medium density oil; C = 79 for dry gas).

For this formula charts have been prepared giving  $\phi$  in the X- and  $S_{w_{irr}}$  in the Y-axis on linear scale. It should be used for intervals above the transition zone (Abb. 8.8).

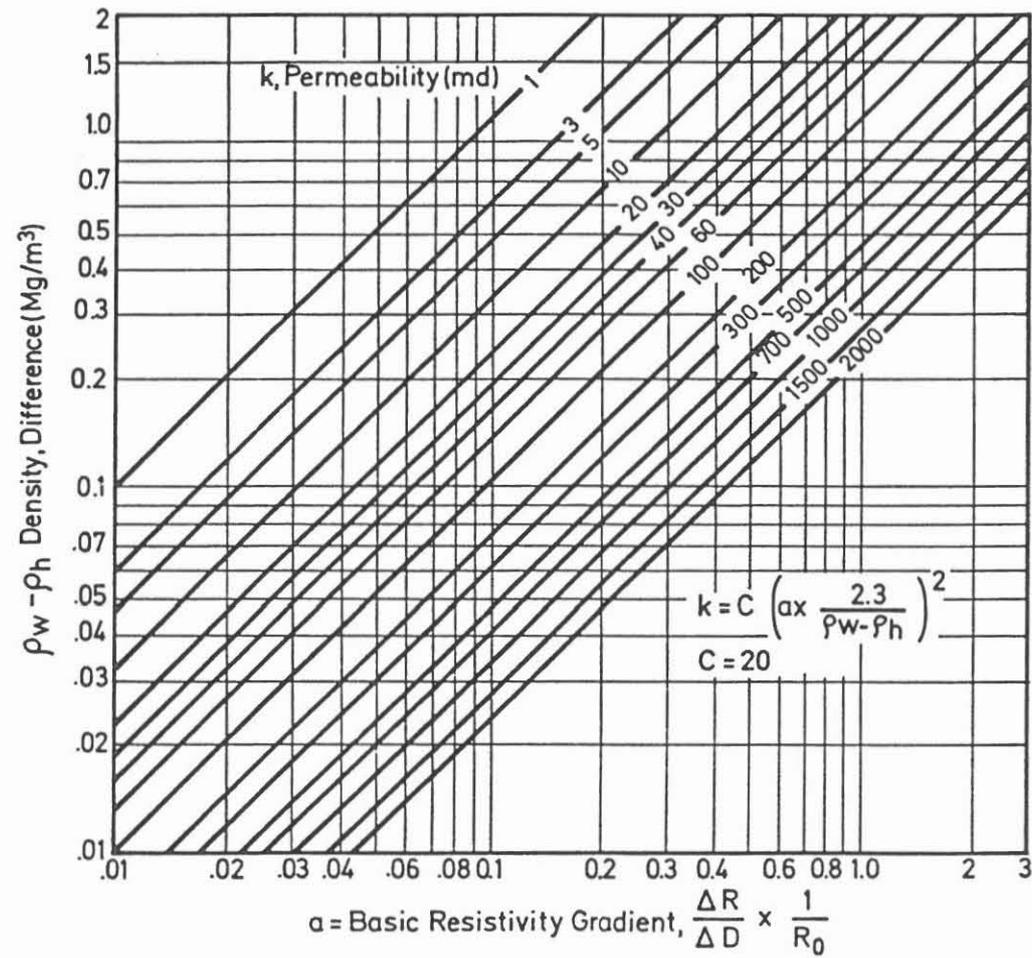
Porosity is estimated using either Sonic, Density and/or Neutron logs directly or the value is taken from either Quick-look or computer evaluation. With the help of resistivity/conductivity logs the irreducible water saturation is calculated.

Plotting these two parameters the intersection defines the intrinsic (absolute) permeability of the rock. If different types of hydrocarbons are present a correction factor has to be applied. It takes into account the difference in densities of the fluids ( $\rho_w - \rho_h$ ) and the distance (h) above the water table.

Here again, - under favourable conditions this empirical relationship is still valid.

#### - Specific Surface Measurements

A more sophisticated approach has been taken by Pape et al. 1981 and 1984. Permeability has been calculated from specific surface measurements and the formation factor.



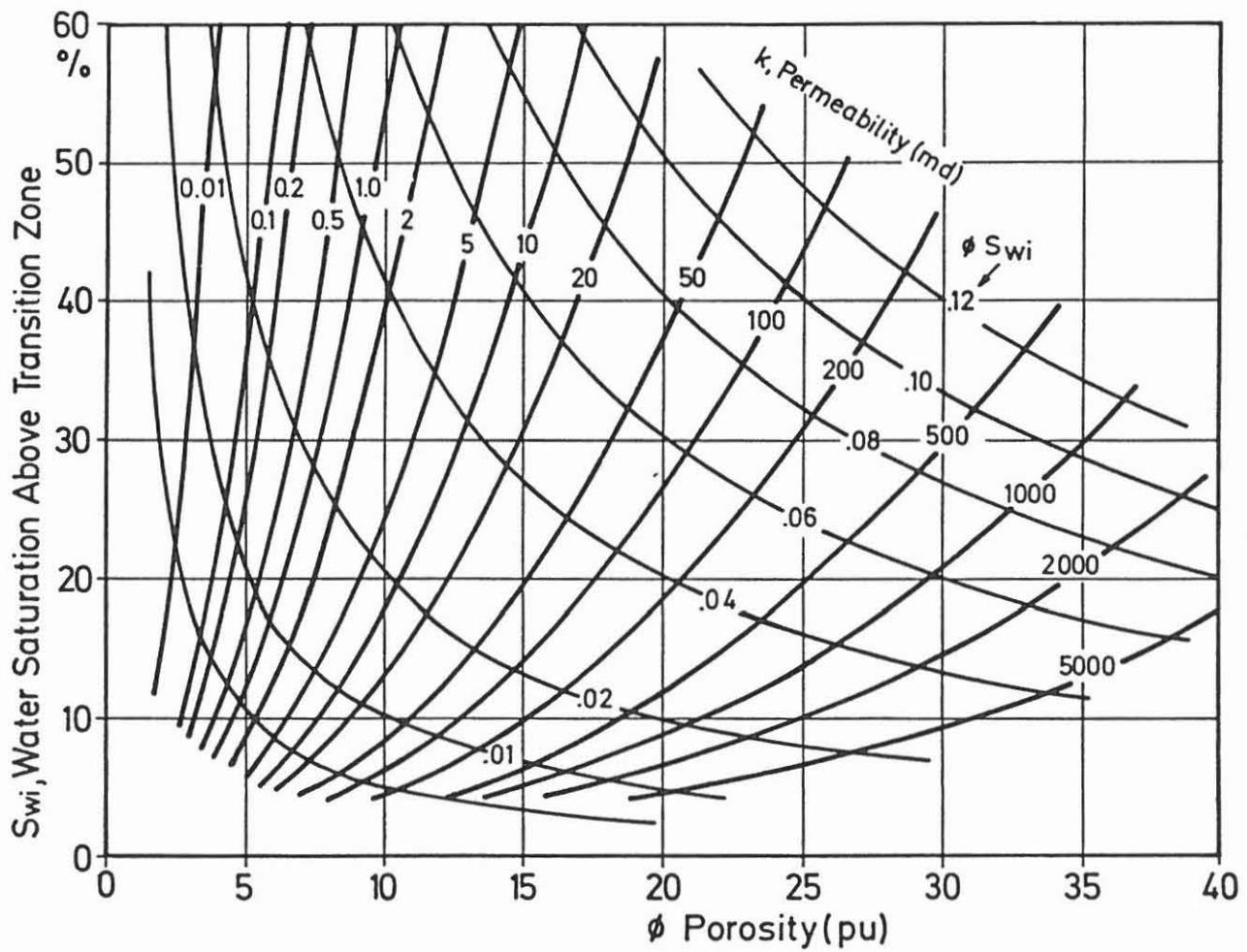
# Permeability from Resistivity Gradient

[SCHLUMBERGER]

**KTB**

Abb. 8.7

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung



# Permeability from Porosity and Water Saturation

[SCHLUMBERGER]

**KTB**

Abb. 8.8

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

The theoretical studies and measurements made in the lab for evaluating the specific surface area led to an improved KOZENY-CARMAN permeability relationship:

$$K = \frac{\phi}{T} \cdot \frac{Q^2}{2 S_{por}^2}$$

T = tortuosity

Q = conversion factor

S<sub>por</sub> = specific surface area given by nitrogen adsorption measurements.

Setting hydraulic tortuosity (T) equal to electrical tortuosity (X) will bring the formation factor into the equation. Solving for permeability K and introducing numerical values for Q the following formula is reached:

$$\log K = -\log F - 3.1085 \log S_{por} + 2.6770$$

This is the so-called "first Paris-Equation".

F = Formation Factor

Replacing the term for specific surface area in this equation by interface conductivity, calculated from rock conductivities measured at different salinities, the "Second Paris Equation" is obtained:

$$K = 0.5767 \cdot 10^{-4} \cdot q_0^{(\pm)} \cdot C_{q_0}^{-3} \cdot F^{-4}$$

q<sub>0</sub><sup>(±)</sup> = lamellar-smoothing factor

C<sub>q<sub>0</sub></sub> = interlayer conductivity

S<sub>por</sub> and q<sub>0</sub><sup>(±)</sup> are obtained from lab measurements  
C<sub>q<sub>0</sub></sub> and F can be evaluated from logs.

Rock conductivity and formation factor are both depending on resistivity/conductivity measurements.

### Acoustic Measurements

The introduction of continuous acoustic measurements in a borehole in the late fifties opened the way to differentiate lithologies and estimate porosity.

In more recent times, after computer technology has made it possible to record not only transit time but also the complete wave train of the reflected acoustic signal, the study of the information contained in the wave form has taken momentum.

The first step has been to separate compressional and shear waves and compute compressional and shear transit times (DTC and DTS) for the estimation of rock mechanical properties.

Then attempts have been made to relate acoustic signals to permeability. In fact several possible ways have been found to compute a permeability index from Sonic Logs.

Lebreton et al. suggest to work with the compressional (P) portion of the wave train, while Staal et al., Hsui et al., Mobil Oil and Schlumberger prefer the portion of the Stoneley (Tube) wave.

All acoustic measurement attempts follow the same model concept, i. e. Biot's Theory of wave propagation. The model is based on a medium consisting of an elastic solid matrix and a viscous pore fluid. The relative motion between the pore fluid and the matrix created by acoustic energy results in energy dissipation.

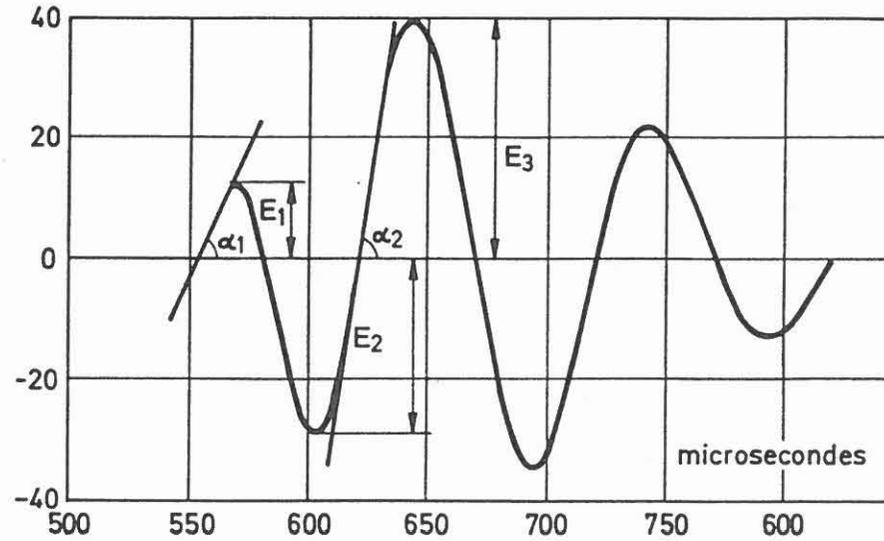
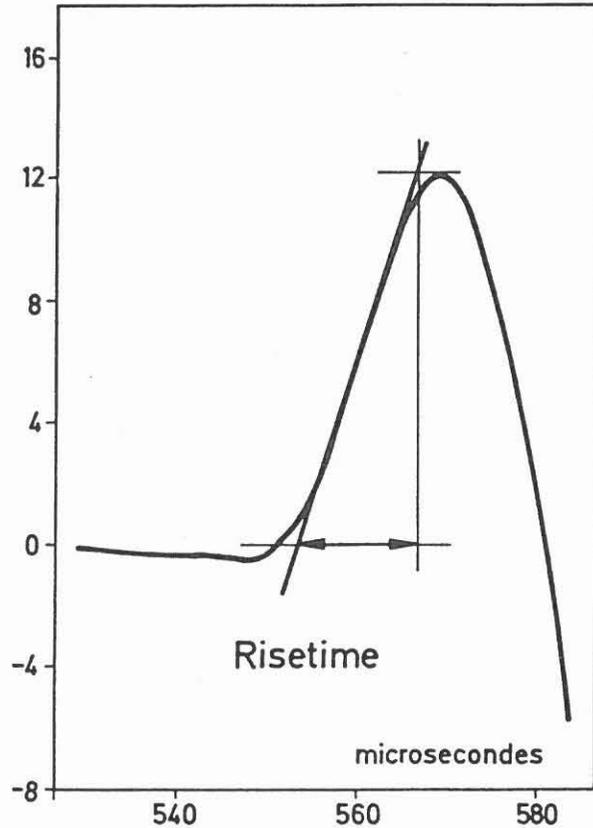
#### - The Lebreton approach

The recorded sonic wave form is analysed over the first three cycles. Either the absolute peaks of the first three half-cycles  $E_1$ ,  $E_2$ , and  $E_3$  are taken or the slopes at the point of inflection of the rising part of the first two maxima  $G_1$  and  $G_2$  (Abb. 8.9).

The index being the ratio of

$$I = \frac{E_2 + E_3}{E_1} \text{ or } \frac{G_2}{G_1}$$

# LEBRETON APPROACH: Compressional portion of acoustic wave train



$$I = \frac{E_2 + E_3}{E_1} \text{ or } \frac{G_2}{G_1} ; \quad I = \alpha \log \frac{K_v}{\mu} \cdot \beta$$

## Permeability from Acoustic Measurements

**KTB**

Abb. 8.9

These parameters are depending on the attenuation of the acoustic signal. The alteration of the attenuation is related to, - one way or another - permeability of the medium.

The relationship established is:

$$I = \alpha \log \frac{K_v}{\mu} \cdot \beta$$

$K_v$  = permeability evaluated along well axis direction  
 $\mu$  = viscosity of rock wetting fluid  
 $\alpha, \beta$  = constants attached to tool and well environment

It is recommended to run the Sonic Tool either with 4 or 5 ft spacing eccentered for good signal acquisition.

Examples demonstrating application in geothermal wells in France are striking.

- Stoneley (Tube) wave concept (Abb. 8.10)

Rosenbaum (1974) demonstrated in his studies that a relationship exists between tube wave attenuation and permeability.

The tube wave is a guided wave and is present only when there is a borehole to serve as a waveguide.

This wave is of much lower frequency, higher amplitude and has slower velocity than P- and S-waves. As stated, the attenuation is due to fluid flow from the borehole into the formation initiated by the passing wave.

Tube wave energy dissipation increases with increase in fluid motion - therefore increasing permeability. If the amplitudes of tube waves measured at two receivers a certain distance apart are compared, the attenuation should be an indicator of permeability of the formation between (Abb. 8.11).

Rosenbaum separates two models - the "sealed interface" (complex impedance contrast between borehole fluid and surrounding formation) and "open interface" (communication between borehole fluid and Biot's porous medium).

Using a gated system he found that for the sealed interface maximum sensitivity to permeability was given between shear-wave and direct-wave arrival. For the "open interface" all information after the shear-arrival could be used.

The compressional wave arrival was found the least sensitive.

Stoneley (Tube) Wave

ACOUSTIC FLOW

Across Borehole Interface

FLUID COMMUNICATION

Between Borehole and Formation

ENERGY DISSIPATION

Acoustic Amplitude: Attenuation

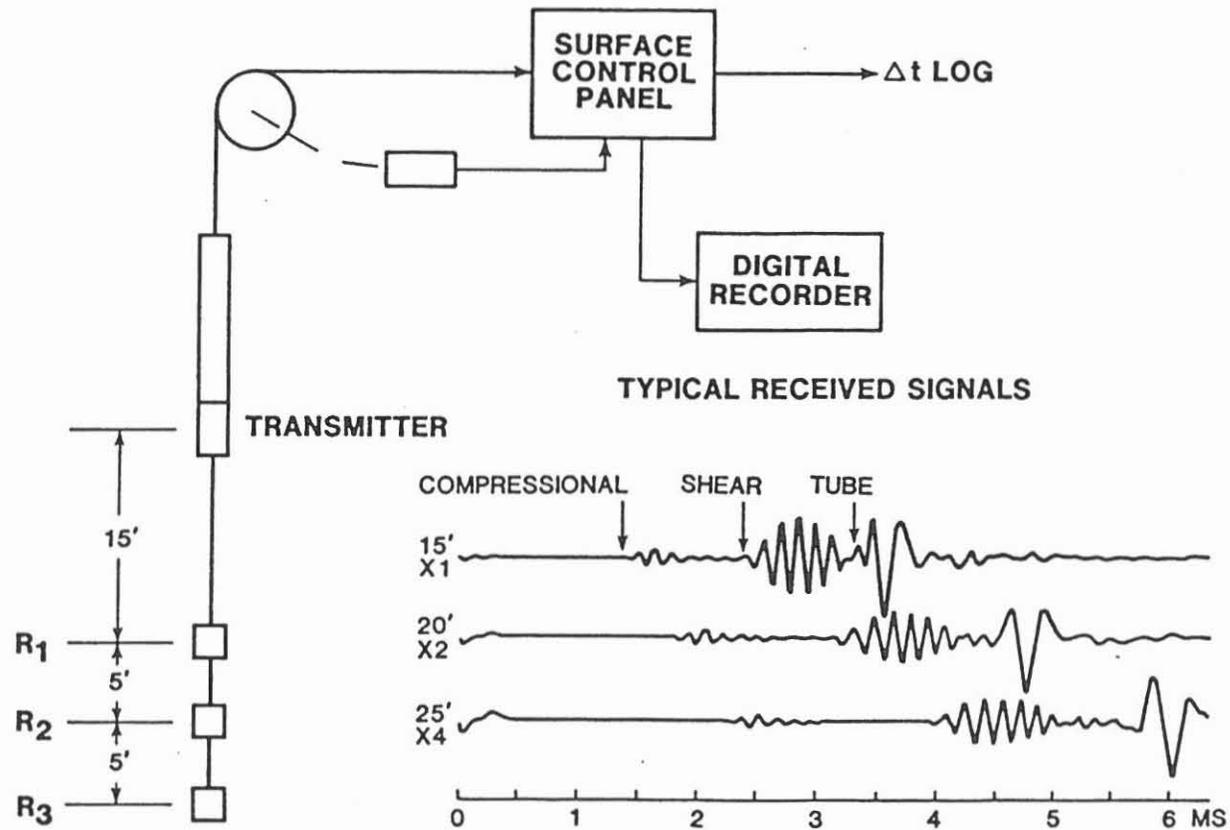
MOBILITY RATIO

Permeability  
Viscosity

Permeability-  
Acoustic Measurement

**KTB**  
Abb. 8.10

# Mobil Oil Long Spacing Acoustic Log (LSAL)



Permeability from Acoustic Measurements

**KTB**

Abb. 8.11

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Results obtained using this method of comparing energies (the square of the amplitude is proportional to the acoustic energy) measured in a time window (e. g. from 1 400 - 2 800  $\mu$ sec) after normalisation, are very encouraging and further studies are in progress. (Abb. 8.12).

### Nuclear Measurements

#### - Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

A not so widely used method to estimate in-situ permeabilities is to log with the Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Tool (NMR). First, there are not to many tools around and second, the borehole mud needs special preparation. However, the method itself is a very interesting one.

Korringa, Seevers and Torrey ("KST"-1963) have developed a model for studying the properties of fluids in porous media by use of the NMR technique. They discovered that the specific surface area of rock (S), was directly relatable to nuclear magnetic relaxation time.

By establishing a technique for measuring the surface-to-volume ratio distribution in a porous medium through the relaxation of spin polarisation of protons in a hydrogenous fluid, the proposal for determining permeability for sandstones was made.

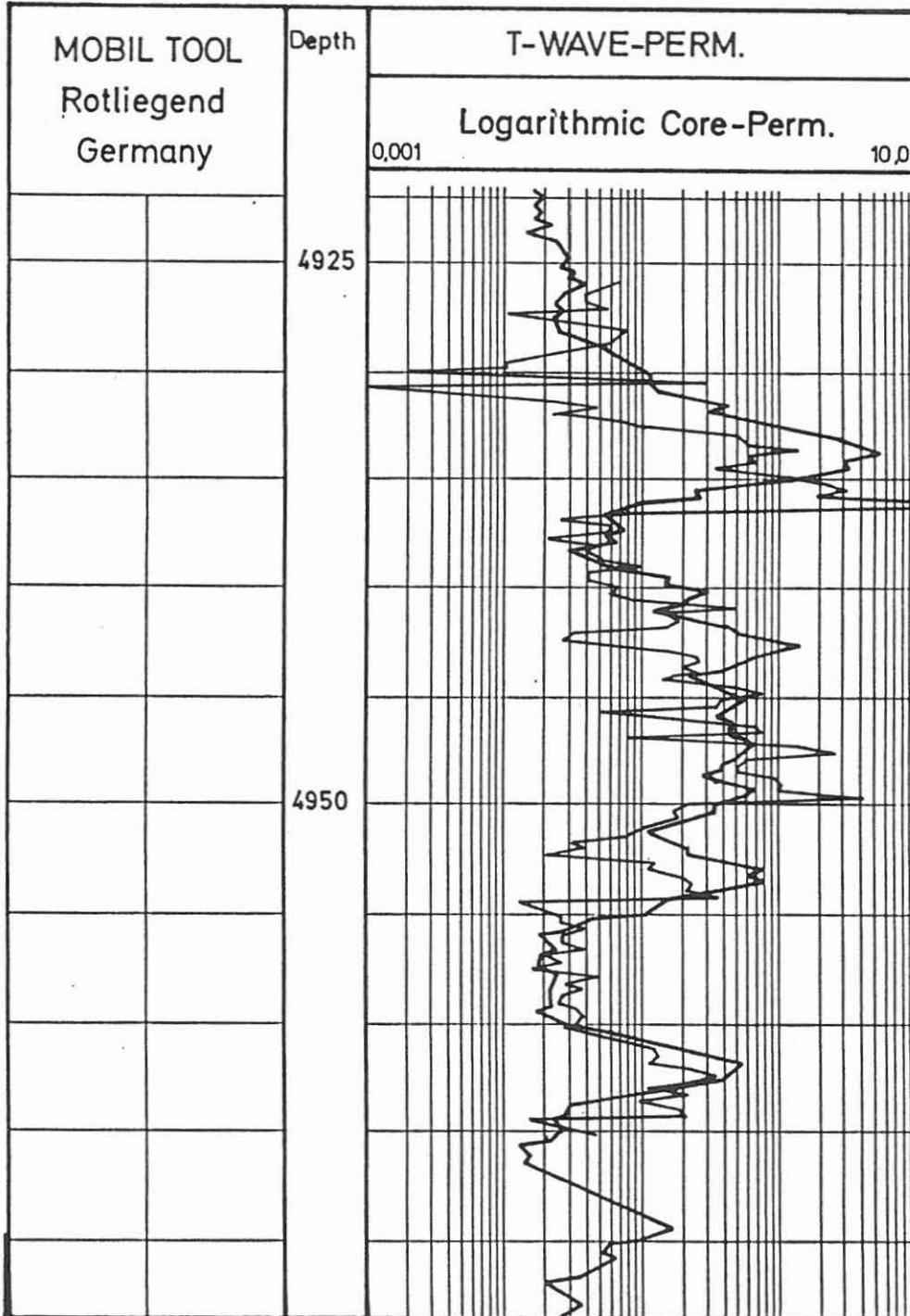
The KST-model makes 3 basic assumptions:

- there is a thin layer of fluid at the liquid-solid interface which has a relaxation time ( $T_{1s}$ ) less than the relaxation time of the bulk fluid ( $T_b$ ).
- between this layer and the bulk fluid is an interactive proton diffusion process which is characterized by a certain time constant ( $\tau_m$ )
- the pore diameter is less than the diffusion length of the molecules in the fluid.

Applying this theoretical model to real rock is more complex as more than two relaxation components are present, giving therefore

$$K_i = A \cdot \phi_i \cdot \left( \frac{1}{T_{1i}} - \frac{1}{T_b} \right)^{-2}$$

# Stoneley (Tube) Wave Example



Permeability-  
Acoustic Measurement

**KTB**

Abb. 8.12

The factor A includes tortuosity ( $\tau$ ) and the liquid-solid interface parameter ( $\frac{h}{\tau S}$ ) must be evaluated experimentally.

The estimation of tortuosity is difficult. Schopper (1966) and Riepe et al. (1986) suggested to use the formation factor relationship by equating hydraulic tortuosity ( $\tau$ ) to electrical tortuosity (X).

Permeability estimates from NMR measurements are strongly depending on the variability of factor A due to changes in rock type, grain size, cementation etc. etc. Therefore, this method is inadequate for determining absolute permeabilities.

Looking at the example comparing core derived permeabilities (plugs at one foot intervals) with NMR permeabilities good agreement is obtained only by proper choice of the value for A (Abb. 8.13).

It must be recognized that "A" is the "calibration" for permeability estimates using NMR-measurement.

#### - Natural Gamma Spectrometer (NGT)

It has been observed that in rocks the insoluble Thorium complexes are tightly adsorbed to mineral surfaces. This means, - specific surface area could be estimated by the use of Natural Gamma Spectrometer measurements sensitive to the Thorium spectrum.

An empirical relationship between Thorium content  $C_{TH}$  and specific surface area has been proposed by Riepe et al. (1986):

$$C_{TH} = a_{TH} \cdot Sg^b$$

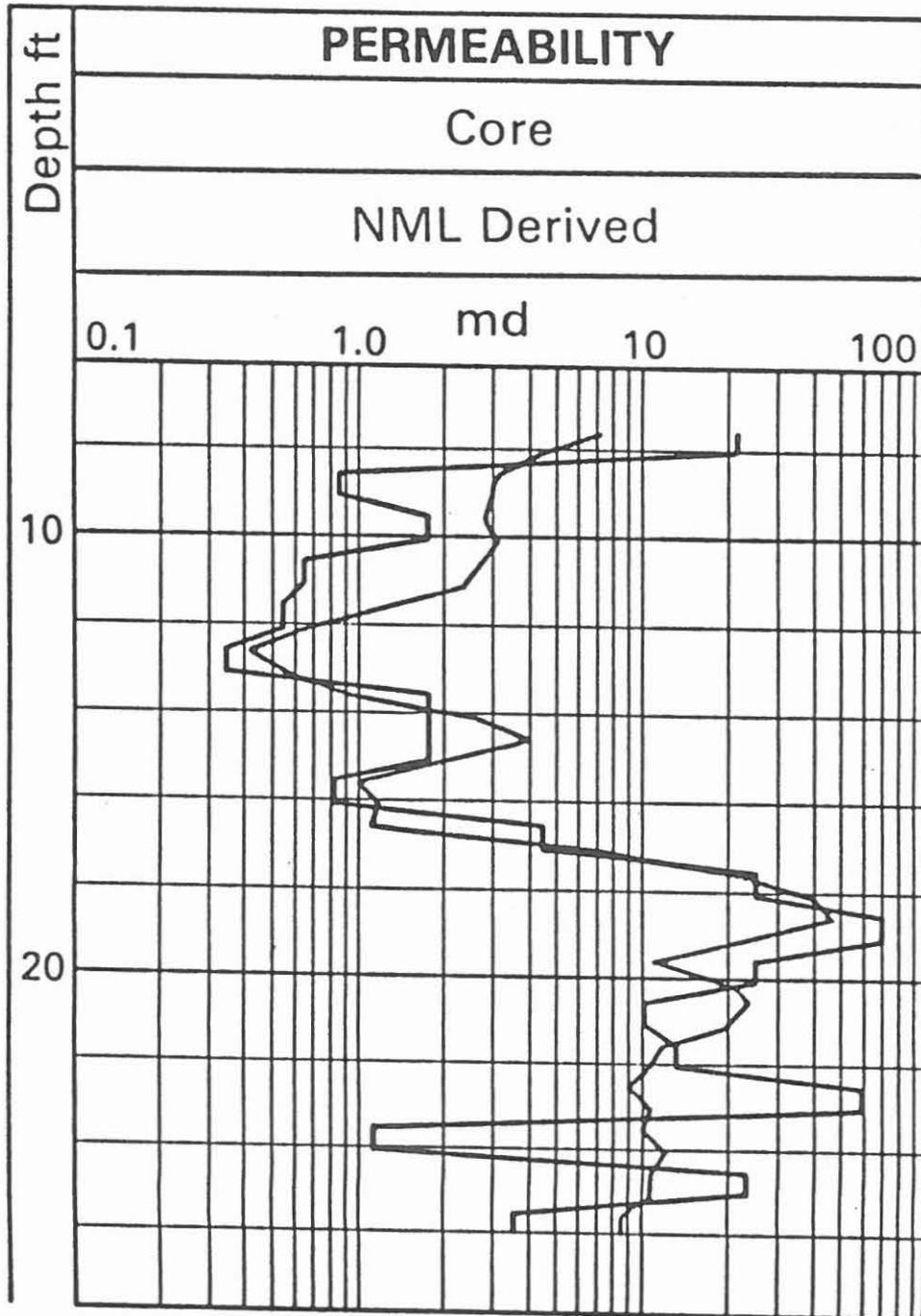
$a_{TH}$  = means Thorium adsorption density

Plotting the Thorium levels of different rock types on double logarithmic paper a minimum of 1ppm TH/(m<sup>2</sup>/g)<sup>1/2</sup> and a maximum of 5ppm TH/(m<sup>2</sup>/g)<sup>1/2</sup> has been found. The slope of the border lines represents the empirical exponent  $b = 0.5$  for  $Sg$  the specific surface area from NGT.

If heavy minerals are present in the rock resulting in higher Thorium readings, corrective actions are required. These minerals are detected either by increased density values, high photoelectric effect (Pe) or identified by the Spectrometer measurements themselves as most heavy minerals exhibit an increase in Uranium and a decrease of the Potassium reading.

# NMR-EXAMPLE

Comparison NMR: Core Permeabilities



Permeability-Nuclear Magnetic Resonance

**KTB**  
Abb. 8.13

Using the specific surface area term

$$S_{por} = \frac{1-\phi}{\phi} \cdot \rho_{ma} \cdot Sg$$

converting it by applying the Thorium concentration when substituting the term in the so-called "first Paris equation" Riepe et al. arrive at their "Aberdeen equation":

$$K = \frac{475 \cdot 3}{F} \cdot \left[ \frac{1-\phi}{\phi} \cdot \rho_{ma} \cdot \frac{1}{q_0} \left( C_{TH}/a_{TH} \right)^2 \right]^{-3.1085}$$

All parameters in this equation are obtainable through logs.

$q_0$  = lithology factor, which needs geological and mineralogical information. However, as a first approximation  $q_0 = 1$  can be used.

Using this form of estimation good correlation of core- and log derived permeabilities have been found in Valanginean sandstones and carbonates of Jurassic age (Kimmeridgian and Cornbresh) in Germany.

#### Dynamic Flow Measurements

- Repeat Formation Tester

There are two different methods used to derive permeabilities with this tool:

1. Analysis of the pressure drawdown recorded with the pretest systems, and
2. Analysis of the pressure build-up curve.

By conception, these values of permeability will always be point information and will in inhomogeneous formation not be representative for a total reservoir. Further, it must be remembered that these estimates are derived from the zone which has been strongly altered by the drilling process and subsequent mud invasion.

### Permeability from pressure drawdown

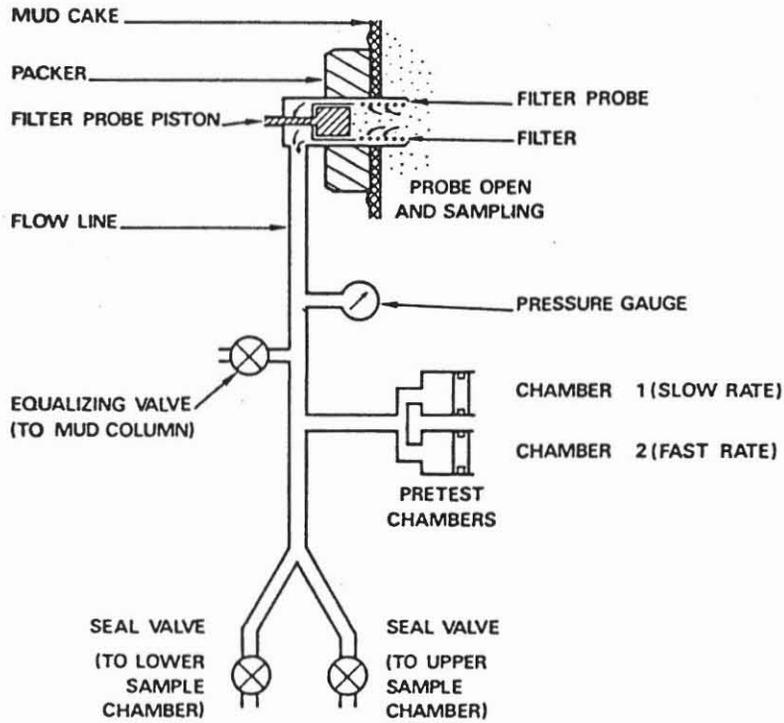
After setting the tool at test depth the pretests are automatically and sequentially activated. Twice  $10 \text{ cm}^3$  of fluid are drawn from the formation by retraction of a piston in the filter probe and the pressures in the flow-line are recorded. The system allows for chamber 1 a "low-flow-test" due to slower piston movement than for chamber 2 - the "high-flow-test". The rates of fluid withdrawal are about  $50 \text{ cm}^3/\text{min}$  and  $125 \text{ cm}^3/\text{min}$ . Depending on tool and local conditions the ratio of the flow rates in the two periods is approximately 2.5 (Abb. 8.14).

From the recorded pressures, the well defined volumes of fluid produced over a clearly recorded short length of time an estimate of permeability for both flows can be computed. By averaging the two values a "minimum" effective permeability can be obtained.

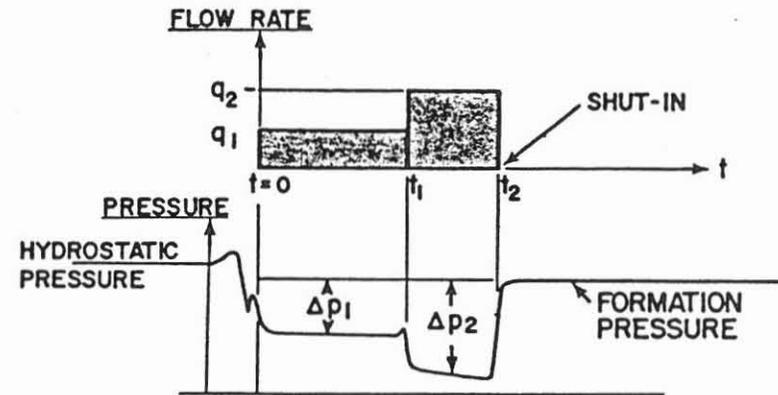
This permeability will be representative for the flow of mud filtrate through the formation, as this pretest feature is only able to test the area next to the borehole. The example given shows the typical pressure response record of the pretests. The initial hydrostatic pressure at testing depth increases slightly when the packer is set, this is followed by a drop in pressure due to piston retraction. When the piston stops the pressure increases again until it falls sharply when the pretest begins. When the piston of chamber 1 is completely withdrawn and the first pretest is completed it is automatically followed by the second, - the "fast" pretest. After piston 2 reaches final position the pressure builds up to formation pressure. Assuming a quasi-hemispherical flow the formula for computing permeability from pressure drawdown is (Abb. 8.15; Abb. 8.16):

$$K_d = C \cdot \frac{q \cdot \mu}{2\pi \cdot \Delta p \cdot r_p}$$

- q = flow rate ( $\text{cm}^3/\text{sec}$ )
- $\mu$  = fluid viscosity (cp)
- $\Delta p$  = drawdown from formation pressure
- C = flow shape factor
- $r_p$  = effective probe radius



RFT pretest and sampling principle

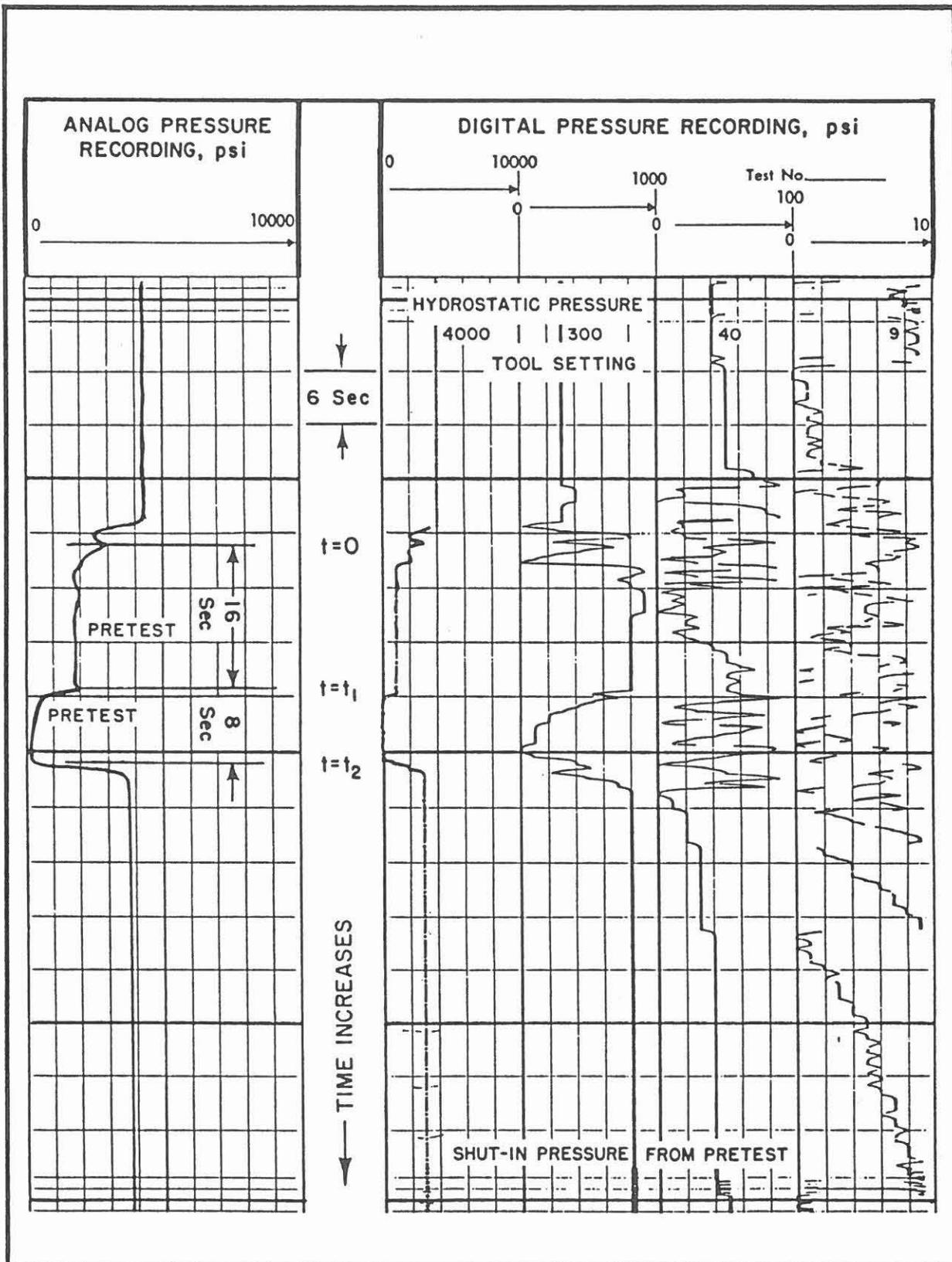


Schematic of RFT analog-pressure recording

## RFT Pressure Recording

**KTB**

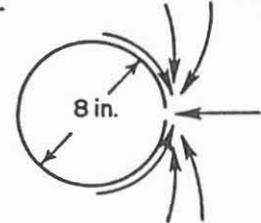
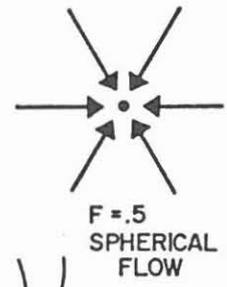
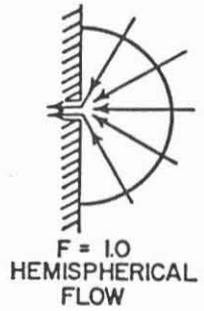
Abb. 8.14



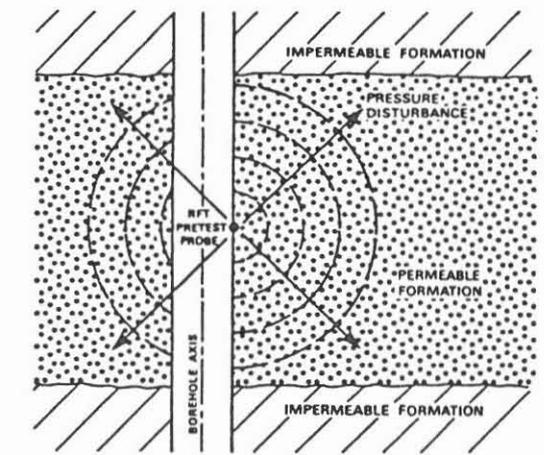
RFT Pressure record Example

**KTB**

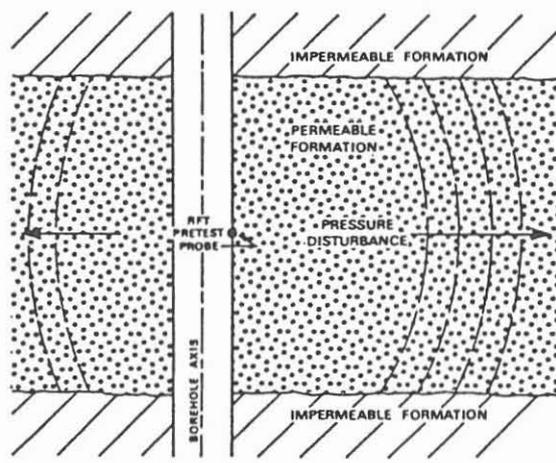
Abb. 8.15



Flow shape factor for various flow pattern.



Spherical propagation of pressure disturbance.



Cylindrical propagation of pressure disturbance.

# RFT Flow Pattern and Pressure Propagation

**KTB**

Abb. 8.16

For the Schlumberger tool with standard probe size set in a 8-inch borehole the permeability is:

$$K_d = 5660 \cdot \frac{q \cdot \mu}{\Delta p}$$

For the Schlumberger Tools with "Large Diameter Probe" the proportionality constant is 2 395 and for the "Large Area Packer" 1 107.

The estimation of permeability from drawdown is mainly effected by the condition of the formation very close to the probe. This could be significantly different from conditions deeper in the formation, because mud invasion has not reached this part.

Limitations are: in very high permeable formation the drawdown pressure might not be high enough to be measured accurately or at very low permeabilities the pressure could drop below bubble point and only "vapor" will be produced giving an erroneous volume.

#### Permeability from build-up pressure curves

When the two pretest chambers are full, the flow of fluid will be stopped but the pressure will increase and begin to build up to the reservoir pressure. The pressure increase will propagate spherically into the formation until a barrier is reached. If barriers are reached on both sides of the probe, the propagation will become cylindrical. This will change the build-up response. The build-up equation of spherical flow for isotropic permeability is:

$$K_s = 1856 \mu \left( \frac{q_1}{m} \right)^{2/3} \cdot (\phi \cdot c_t)^{1/3}$$

- $q_1$  = flowrate during first sampling period (cm<sup>3</sup>/sec)
- $m$  = slope of "straight line" in linear-linear pressure plot
- $c_t$  = total compressibility of fluid in uncontaminated formation

In a similar way the equation for build-up with cylindrical flow for horizontal permeability is given:

$$K_c = 88,4\mu \left( \frac{q_1}{m \cdot h} \right)$$

h = effective formation thickness

Drawdown and build-up permeabilities could be quite different as with these two techniques we measure different properties of the formation.

#### - Production Logging

Using downhole measurements for pressures, pressure build-ups, volumes produced within certain times, temperature and recognizing the types of fluid the basis for permeability estimation is given.

Using the appropriate formula for gas or liquid production will result in reliable values.

#### Conclusion

Remarkable progress has been made over the last few years. New logging systems and evaluation methods have been designed.

However, we have to accept the fact that with wireline logging tools we are only able to measure a "Permeability Index" which still needs to be calibrated against measurements on cores. The only wireline tool providing open hole absolute permeability values is the Repeat Formation Tester. These values are point information and only several tests within the same reservoir could produce an interpolated permeability profile.

The challenge to industry to develop a continuous in-situ measurement system still exists.

References:

- CONCHE B., LEBRETON F., ROJAS J.  
Evaluation of Porous Medium Permeability by Acoustic Logging finds  
Geothermal Applications  
(Stanford University - January 1986)
- COOKE-YARBOROUGH P.  
Reservoir Analysis by Wireline Formation Tester: Pressures, Permeabilities,  
Gradients and Net Pay.  
(Indonesian Petroleum Association Convention - May 1984)
- HSUI A.T., JINZHONG Z., CHENG C.H., TOKSÖZ M.N.  
Tube Wave Attenuation and In-situ Permeability  
(SPWLA - June 1985)
- PAPE H., RIEPE L., SCHOPPER J.R.  
Calculating Permeability from Electrical Logging Data  
(SAID, Paris - October 1984)
- PAPE H., RIEPE L., SCHOPPER J.R.  
Calculating Permeability from Surface Area Measurements  
(SAID - October 1981)
- RAIGA-CLEMENCEAU J.  
The Cementation Exponent in the Formation Factor-Porosity Relation: The  
Effect of Permeability  
(SPWLA - June 1977)
- RIEPE L., SCHOPPER J.R., WEHR R.  
Permeability Estimations from Nuclear Measurements  
(SPWLA, Aberdeen - April 1986)
- STAAL J.J. and ROBINSON J.D.  
Permeability Profiles from Acoustic Logging  
(SPE-AIME - September 1977 - SPE 6821)
- SCHLUMBERGER  
Log Interpretation Charts (Schlumberger - 1986)  
RFT Essential of Pressure Test Interpretation (Schlumberger - 1981)
- SMOLEN J.J., LITSEY L.R.  
Formation Evaluation using Wireline Formation Tester Pressure Data  
(SPE - AIME - October 1977 - SPE 6822)
- TIMUR A.  
Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Studies of Porosity, Movable Fluid,  
and Permeability of Sandstones  
(SPE-AIME - June 1969)
- TIXIER M.P.  
Evaluation of Permeability from Electric Log Resistivity Gradients  
(Oil and Gas Journal - June 1949)

### 8.3 Temperaturstörungen

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

<u>Lfd.-Nr.</u>	<u>Datum</u>	<u>Projekt/Messung</u>	<u>Status</u>
VB-A33	18.04.88	NLFB-103 167	Vortrag DGG-Tagung in Köln

**Thema:**

Abschätzung der zu erwartenden Temperaturstörungen im Gebirge durch das Erstellen der Kontinentalen Tiefbohrung der Bundesrepublik Deutschland (KTB).

**Ziel:**

Rechtzeitiges Erkennen der zu erwartenden Temperaturstörungen für Abschätzungen dieses Einflusses auf bestimmte Größen und Vorgänge, wie z. B. auf das Spannungsfeld in der Umgebung der Bohrung, auf die Bohrlochmeßtechnik im ausgekühlten Bohrloch etc.

**Zusammenfassung:**

Die Beherrschung der hohen Temperaturen, die beim Erstellen der kontinentalen Tiefbohrung zu erwarten sind, ist ein wesentliches für die Projektplanung zu lösendes Problem. Für die Abschätzung der Temperatur in der Bohrung auch während der Bohrphasen wurde das FD-Programm BOA entwickelt. Nach einer einführenden Erläuterung des Problems Wärmetauscher Bohrung wurde das Programm anhand von in der KTB-Vorbohrung gewonnenen Meßdaten verifiziert. Mit den bei der technischen Durchführung gewonnenen Daten als Eingangs- und Randparameter für eine numerische Simulationsrechnung wurde eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Temperaturen erzielt.

Abschließend wurden dann einige Rechnungen durchgeführt, die der Abschätzung dienen sollen, welche Temperaturen in einer 10000 m tiefen Bohrung während der Betriebsphase zu erwarten sind.

## Einleitung

Bei der Planung der supertiefen Bohrung des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland (KTB) spielen Temperaturprobleme in der Planung und Durchführung eine besondere Rolle.

In der nachfolgenden Tabelle ist dies skizziert.

**Tabelle 1: Die Bedeutung der durch den Bohrvorgang hervorgerufenen Temperaturstörung im Gebirge für die Projektierung der Kontinentalen Tiefbohrung**

**\*\*aus geowissenschaftlicher Sicht:**

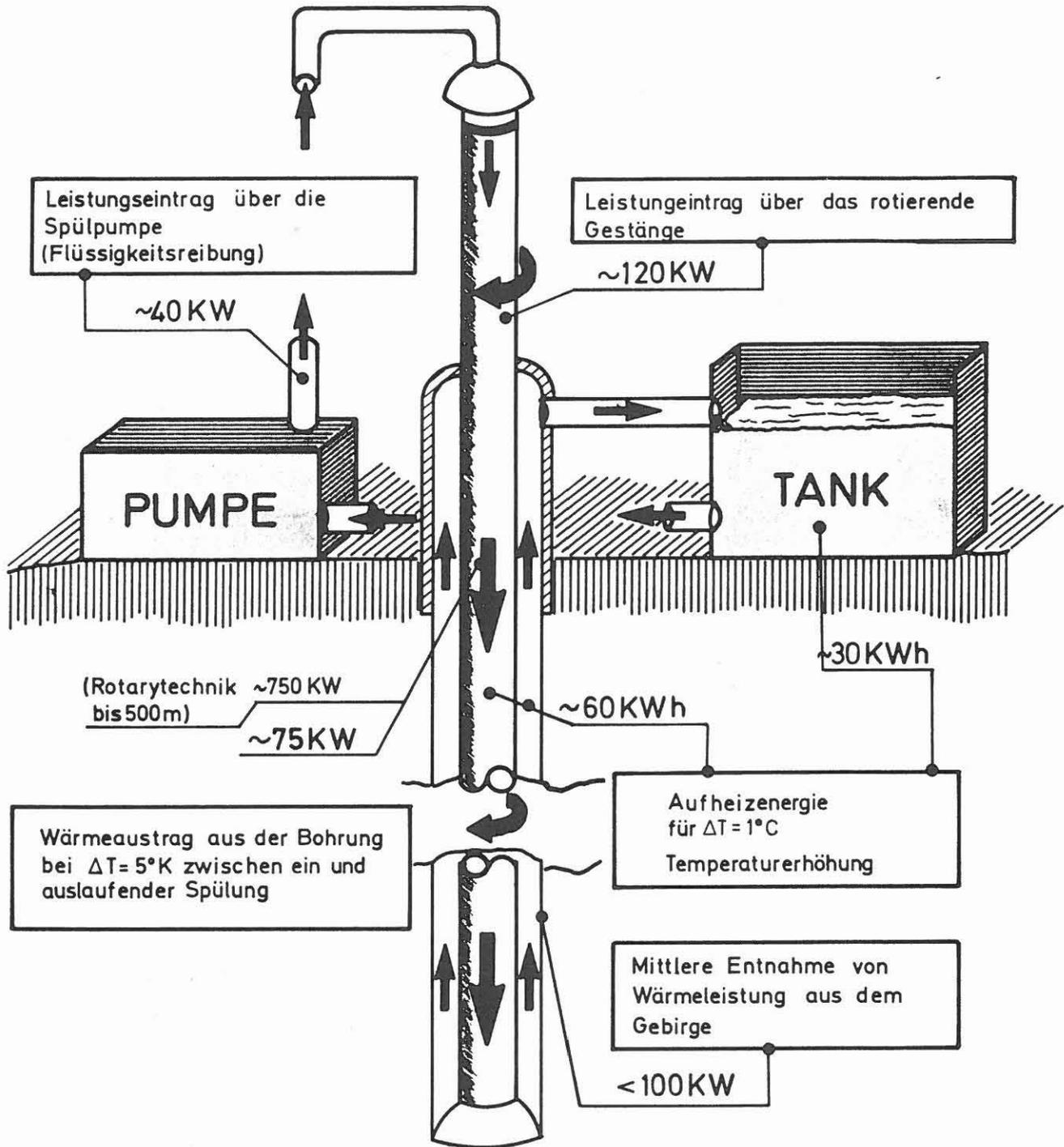
- Ermittlung der ungestörten Gebirgstemperatur
- Beeinflussung des mechanischen Spannungsfeldes in der Umgebung der Bohrung
- Bestimmung der Bereiche von Spülungszu- und -abflüssen
- Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit aus dem Temperaturangleichsvorgang

**\*\*aus Sicht der technischen Durchführung:**

- Meißelaufheizung
- Spülungsstabilität und Austragsfähigkeit
- Bohrlochmeßtechnik im ausgekühlten Bohrloch
- Bohrlochstabilität

In Abb.8.17 wird zunächst der Energieumsatz und die Energiespeicherung in einer Bohrung betrachtet. Die hier aufgeführten Werte ergaben sich aus den bisherigen Daten der KTB Vorbohrung (Engeser, Heinisch - Unveröffentlichte Ergebnisse der Mud Logging Unit der KTB Vorbohrung, 1988), extrapoliert auf 3000 m Tiefe.

Als Wärmespeicher sind hier insbesondere die Spülung im Bohrloch selbst und im Spültank zu nennen. Nicht zu vernachlässigen sind der mechanische Wärmeleistungseintrag über das rotierende Gestänge und über die Spülungszirkulation, denn letztendlich wird der wesentliche Teil der aufgebrachten Leistung in Wärme umgesetzt. In der Vorbohrung wurde deutlich, wie unterschiedlich Bergbaubohrtechnik (Mining Drilling) und Ölfeldbohrtechnik (Rotary Drilling) den Wärmehaushalt einer Bohrung beeinflussen. Beim Rotary-Drilling beträgt die Spüldurchflußmenge ein Mehrfaches dessen, was beim Mining Drilling üblich ist. Beim Rotary-Verfahren ist schon bei kleinen Temperaturdifferenzen zwischen ein- und auslaufender Spülung die aus dem Bohrloch abtransportierte Wärmemenge so groß, daß sie bei einer 3000 m tiefen Bohrung gegenüber den anderen Wärmemengen dominiert.



Größenordnung der Energiespeicherung und des Energietransportes in der KTB Vorbohrung in 3000 m Tiefe (Seilkerntechnik)

[KESSELS]

Abb. 8.17  
KTB

Will man ein so kompliziertes Wärmetauschersystem wie eine Bohrung in seinen Abhängigkeiten erfassen, benötigt man zeitabhängige Temperaturmessungen an möglichst verschiedenen Punkten des Wärmetauschersystems. Dabei ist davon auszugehen, daß eine Berechnung der Spülungstemperaturen während der Bohrphase nur mit einem instationären Berechnungsverfahren möglich ist (Bentsen R. und Marshall D., 1982, Raymond L., 1969).

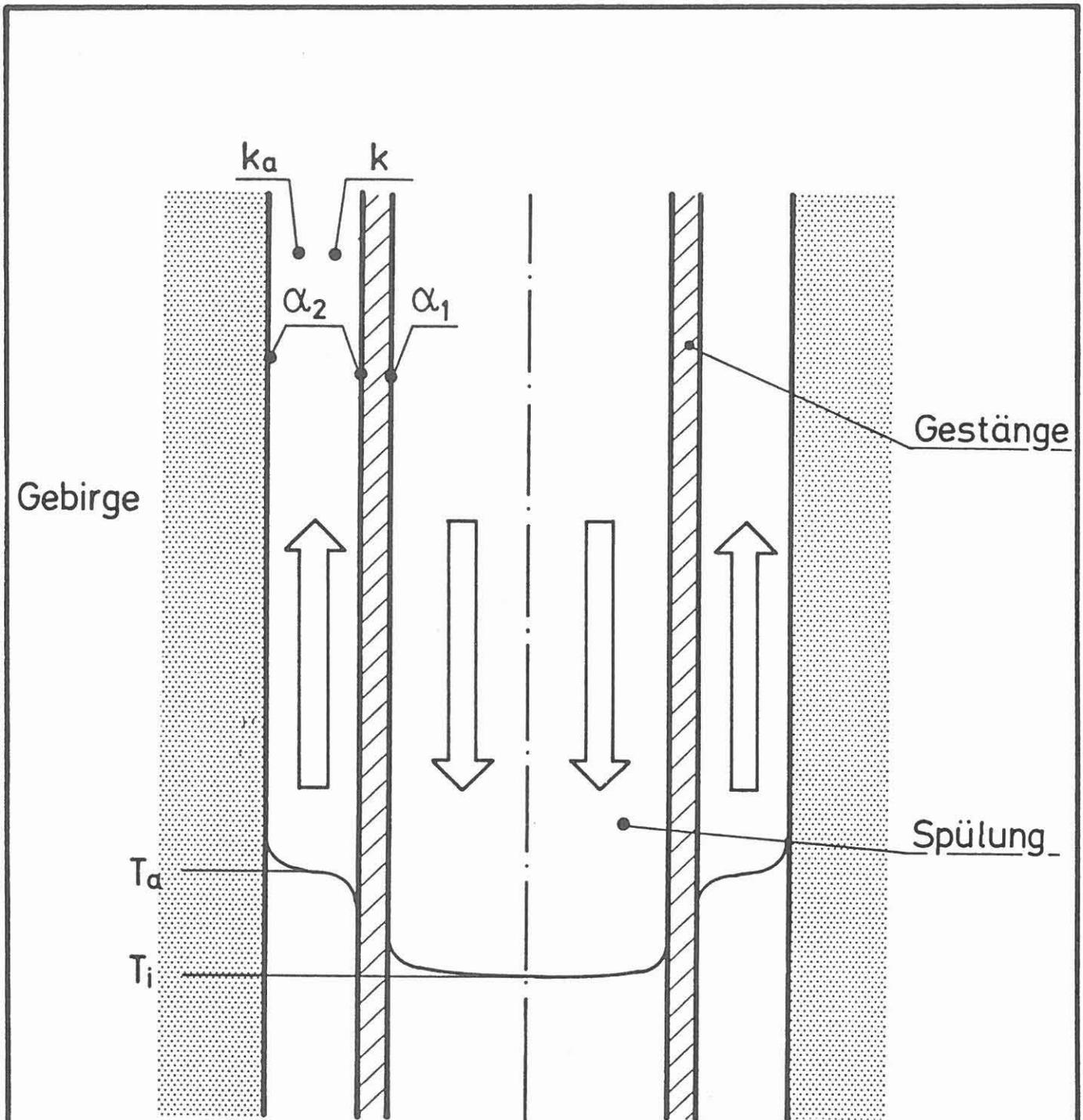
In der KTB-Vorbohrung werden während der Spülungszirkulation kontinuierlich Temperaturmessungen am Ein- und Auslauf des Spültanks durchgeführt. Im Gestänge wird in ca. 8 m über dem Meißel die Temperatur der absteigenden Spülung mit einem Memorygerät der Fa. Christensen aufgezeichnet und kann nach jedem Kernmarsch in einstellbarer Samplingrate abgelesen werden. Gerade diese Zirkulationstemperatur im Bohrlochtiefsten ist für die Erfassung des Wärmetauschersystems Bohrung besonders wichtig. Nach Beendigung der Bohrarbeiten kann die Temperatur in der Bohrung durch zu verschiedenen Zeiten gefahrene Temperaturlogs beobachtet werden (Dornstätter, 1987). Letztere Messungen können u. U. dazu dienen, die Temperaturleitfähigkeit des Gebirges zu bestimmen (Dornstätter, 1987). Notwendig sind sie auch, um auf die ungestörte Gebirgstemperatur extrapolieren zu können (Hänel, 1980).

Diese an der KTB Vorbohrung gewonnenen Meßdaten werden nun dazu verwandt, das von der KTB-Projektleitung entwickelte Programm BOA zu verifizieren.

BOA steht hier für Bohrlochauskühlung. Bei diesem Programm handelt es sich um ein numerisches instationäres Finite-Differenzen-Programm unter Einbeziehung der Spülrheologie in die Berechnung der Wärmeübergangskoeffizienten sowie Einbeziehung des Bohrfortschritts.

Eine besondere Bedeutung kommt in der Berechnung des Wärmetauschers Bohrung der Bestimmung der Wärmeübergangs-Koeffizienten und dem Wärmedurchgangskoeffizienten zu (Kessels, 1987). Die Abb. 8.18 soll dies veranschaulichen.

Der Kehrwert von  $1/\alpha$  gibt dabei an, welcher Wärmewiderstand zu überwinden ist, um eine Wärmemenge aus dem Inneren der Spülung zum Gestänge zu transportieren. Diese Wärmeübertragung erfolgt durch Wärmeleitung und Konvektion (Turbulenzen) in der Spülung. Bei einer sehr hochviskosen Spülung wird der konvektive Transportanteil unterdrückt und so der Wärmeaustausch zwischen auf- und absteigender Spülung und dem Gebirge verringert.



Der Wärmedurchgangs-Koeffizient  $k$  gibt den Wärmedurchgang durch das Gestänge bei gegebenen mittleren Temperaturen  $T_i$  und  $T_a$  in der ab- bzw. aufsteigenden Spülung an.  $\alpha$  sind die Wärmeübergangskoeffizienten.

Schematische Abbildung des Wärmeaus-tausches zwischen absteigender und aufsteigender Spülung [Kessels]

Abb. 8.18

KTBB

Die Berechnung der Wärmeübergangskoeffizienten bei gegebenen Spülungstemperaturen erfolgt im Programm BOA durch die Berechnung

1. der Prandtl-Zahl  $Pr = \frac{c_p \eta}{\lambda}$

2. der Reynolds-Zahl  $Re = \frac{v L \rho}{\eta}$

3. der Nusselt-Zahl  $Nu = Nu(Re, Pr)$

4. Berechnung der Wärmeübergangszahl  $\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{L}$

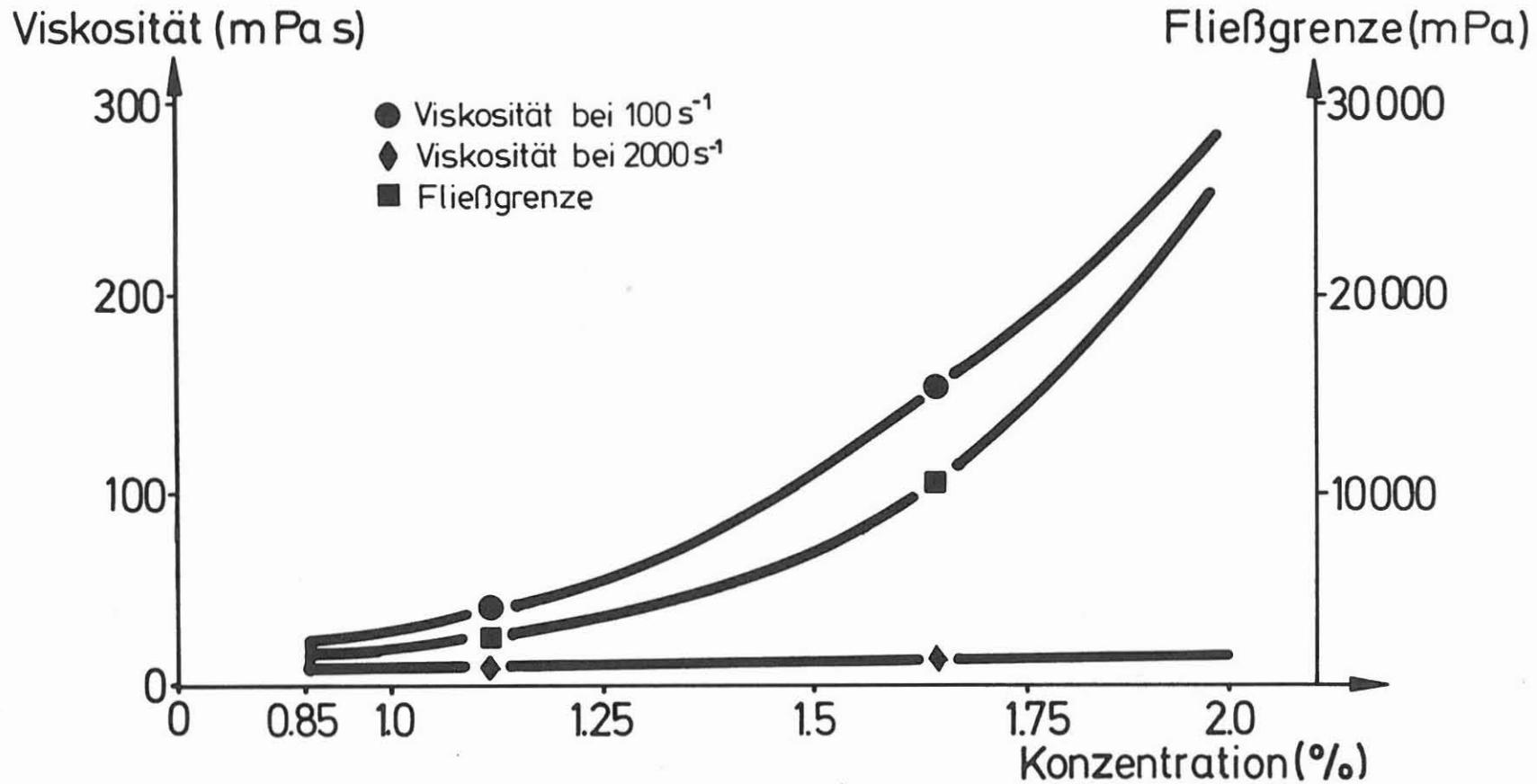
mit  $v$  = mittlere Strömungsgeschwindigkeit  
 $\rho$  = Dichte der Flüssigkeit  
 $\eta$  = Viskosität  
 $\alpha$  = der gesuchten Wärmeübergangszahl  
 $\lambda$  = der Wärmeleitfähigkeit der Flüssigkeit  
 $L$  = charakteristische Längenabmessung für den Wärmeaustauschprozeß (z. B. Rohrdurchmesser)  
 $c_p$  = spezifische Wärme

Dieses Berechnungsverfahren ist als ein in der Verfahrenstechnik erprobtes Berechnungsverfahren für Wärmetauscher zu bezeichnen (VDI Wärmeatlas, 1977).

In der Anwendung auf den Wärmetauscher Bohrung findet sich eine Erläuterung des Verfahrens bei Kessels (1987).

Kompliziert wird jedoch die Berechnung für den Wärmetauscher Bohrung, da sich die Bohrspülung im allgemeinen Fall mehr oder weniger stark thixotrop verhält. Diese Thixotropie ist aus bohrtechnischer Sicht sehr erwünscht, denn sie verbessert den Bohrkleinaustrag. Der Spülung in der KTB-Vorbohrung wird der Zusatz "Dehydril HT" zugegeben, um die Austrageigenschaften der Spülung zu verbessern.

In Abb. 8.19 ist die Viskosität der Spülung in Abhängigkeit von der Dehydril-Konzentration aufgezeichnet (Engeser, 1988). Beim Seilkernverfahren schwankt die Konzentration zwischen 0,5 % und 1,5 %, während sie nach jetziger Planung beim Rotary-Verfahren auf 1,5 % - 1,75 % eingestellt werden soll.



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

Abb. 8.19  
**KTB**

Zum Vergleich besitzt Wasser eine Viskosität von ca. 1 mPas bei einer zu vernachlässigenden Fließgrenze.

Außerdem besitzt die Spülung mit Dehydril-Zusatz noch eine Fließgrenze, die auf der rechten Skala dargestellt ist. Diese gibt an, welche Scherspannung in der Flüssigkeit vorhanden sein muß, damit diese zu fließen beginnt.

Da die Viskosität als der dominierende Parameter für das Wärmetauschsystem Bohrung anzusehen ist, wurde eine analytische Formel für Viskosität an Hand von Labormessungen der Fa. Henkel wie folgt ermittelt:

Zugrunde gelegt ist ein Casson-Modell

$$\eta = 1,26 \left( \sqrt{\frac{794 \cdot C^{4,05}}{D}} + \sqrt{1,22 e^{1,105 C}} \right)^2 e^{-9,17 \cdot 10^{-3} \cdot T} \text{ [mPas]}$$

für die Abhängigkeit der Viskosität vom Schergefälle und eine exponentielle Temperaturabhängigkeit.

In dieser Gleichung sind das Schergefälle in %, D in  $s^{-1}$  und die Temperaturen in °C anzusetzen. Die Abweichung von den Mußwerten liegt mit dieser Formel in der Größenordnung von 10 %.

Die in der Mud Logging Unit ermittelten Viskositätswerte bei den Schergefällen  $D = 300$  und  $600 s^{-1}$  weichen allerdings durch pH-Wertschwankungen der Spülung und Verunreinigungen von obiger Formel ab. Für die folgenden Temperaturrechnungen, durchgeführt zum Vergleich mit gemessenen Temperaturdaten, wurde daher die bei einem Schergefälle von  $300 s^{-1}$  gemessene Viskosität zugrundegelegt. Die in die numerischen Rechnungen eingegebenen Dehydril-Konzentrationen sind also auf Viskositätsmessungen bezogen. Neben einer Iteration, die die nichtlinearen Viskositätseigenschaften der Spülung bei der Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten mitberücksichtigt, wird bei dem Programm BOA der zeitabhängige Bohrfortschritt und der Eintrag an Reibungswärme über das Gestänge und den Meißel mit eingerechnet.

### **Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Temperaturen der KTB-Vorbohrung**

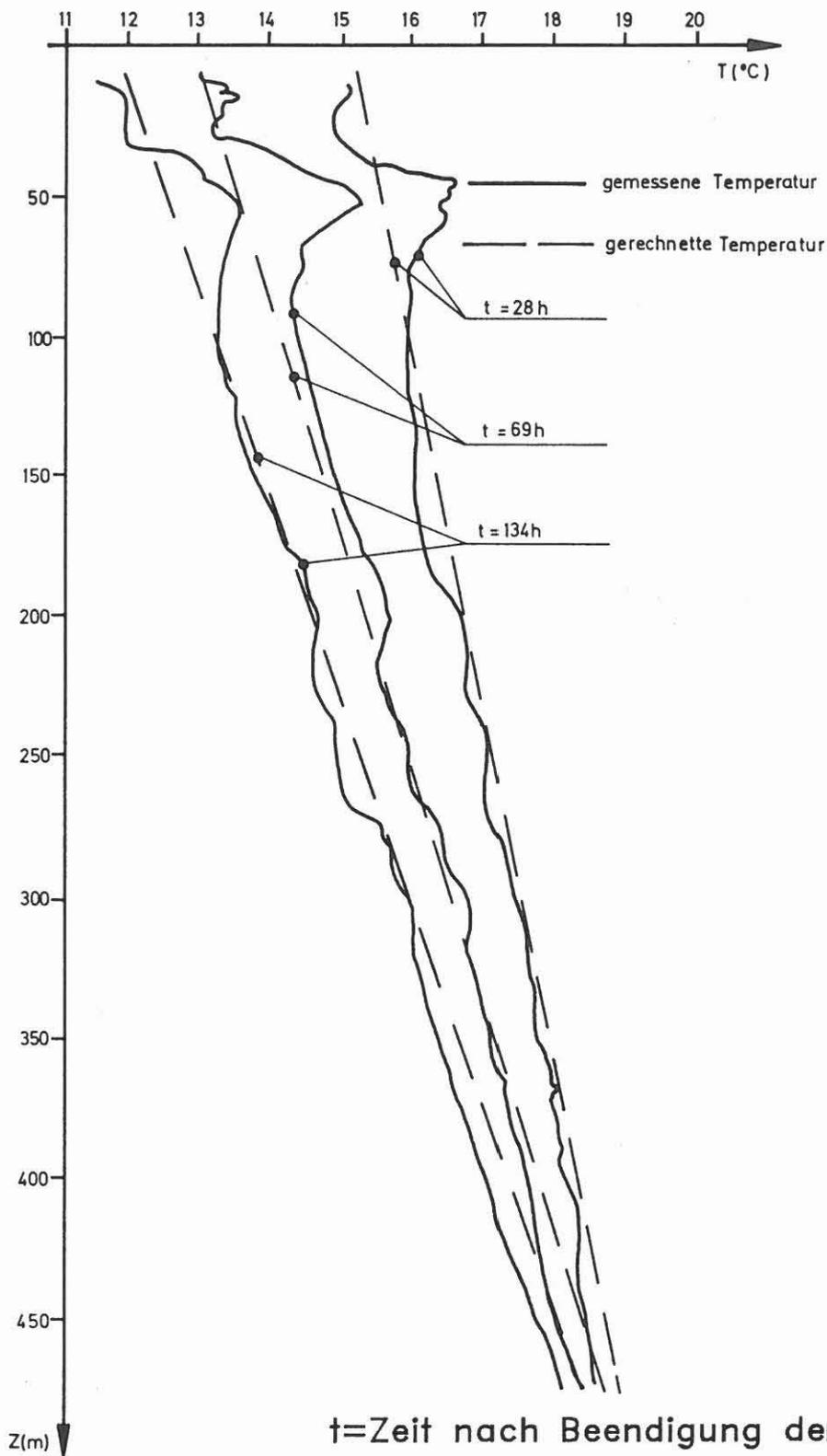
An zwei Meßbeispielen aus der KTB Vorbohrung sollen nun Genauigkeit und Grenze des Berechnungsprogramms überprüft werden.

Die erste Rechnung betrifft den Teufenabschnitt der KTB-Vorbohrung bis 480 m. Hier wurde mit dem Rotary-Verfahren gebohrt, und nach Beendigung der Bohrarbeiten der Temperaturangleichprozeß durch mehrfach ausgeführte Temperaturmessungen in der Bohrung beobachtet. Für eine Simulationsrechnung sind die Eingabeparameter, wie durch die bohrtechnischen Messungen vorgegeben, eingesetzt. Diese Parameter werden von bohrtechnischer Seite so vollständig ermittelt, daß in die Rechnung nur die thermischen Parameter des Gebirges eingehen; für die Wärmeleitfähigkeit des Gebirges wurde immer ein Wert von 3,5 W/mK (Burkhardt, 1987) eingesetzt. Aufgrund der großen Bohrlochrandausbrüche mußte für den Bohrlochdurchmesser nicht das Soll-Maß des Meißels sondern das Ist-Maß aus den Kalibermessungen als gemittelter Wert eingesetzt werden.

Gemessene und gerechnete Temperaturen gehen für drei Zeitpunkten nach Beendigung der Bohrarbeiten aus Abb. 8.20 hervor. Man erkennt, daß Rechnungen und Messung im Mittel und in der Zeitabhängigkeit relativ gut übereinstimmen. Die Berechnung wurde nicht hinsichtlich einer bestmöglichen Anpassung der Wärmeleitfähigkeit des Gebirges und des Temperaturgradienten optimiert. Hier sollte nur die prinzipielle Richtigkeit der berechneten Werte verifiziert werden.

Einige Vergleichsrechnungen mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten des Gebirges zeigten allerdings, daß die Temperaturstörung einer Bohrung relativ unempfindlich auf Änderungen der Wärmeleitfähigkeit des Gebirges reagiert. Eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit führt zwar zu einem schnelleren Temperaturausgleich, aber während der Bohrarbeiten wird auch eine größere Wärmemenge in das Gebirge abgegeben, so daß durch die beiden gegenläufigen Prozesse nur eine relativ schwache Beeinflussung in der Temperatur der Bohrung selbst auftritt. Einen wesentlich stärkeren Einfluß auf die Auskühlung besitzt die Variation der Viskosität der Bohrspülung auf die Temperaturstörung, wie aus dem nächsten Beispiel hervorgeht.

Bei einer Bohrtiefe von ca. 1.500 m wurde ein größeres Bohrloch-Meßprogramm durchgeführt, so daß im tieferen Teil der Bohrung bei Beginn der Bohrarbeiten von einem wieder relativ ausgeglichenen Temperaturprofil ausgegangen werden konnte. Bei Beginn der Bohrarbeiten zeichnete der Temperatur- und Neigungsrekorder, der in Meißelnähe in der absteigenden Spülung installiert ist, die Meßwerte wie in Abb. 8.21 dargestellt auf. Deutlich sieht man hier die verschiedenen Abschnitte des Bohrprozesses vom Ausbau des Kernrohres bis zur reinen Bohrtätigkeit.



t=Zeit nach Beendigung der Bohrarbeit  
Wärmeleitfähigkeit des Gebirges in der  
Berechnung: 3,5W/mK  
Ungestörter Temperaturgradient in der  
Rechnung: 22K/km

Gemessene und mit dem Programm BOA  
berechnete Temperaturen im ersten  
Abschnitt der KTB Vorbohrung [Kessels]

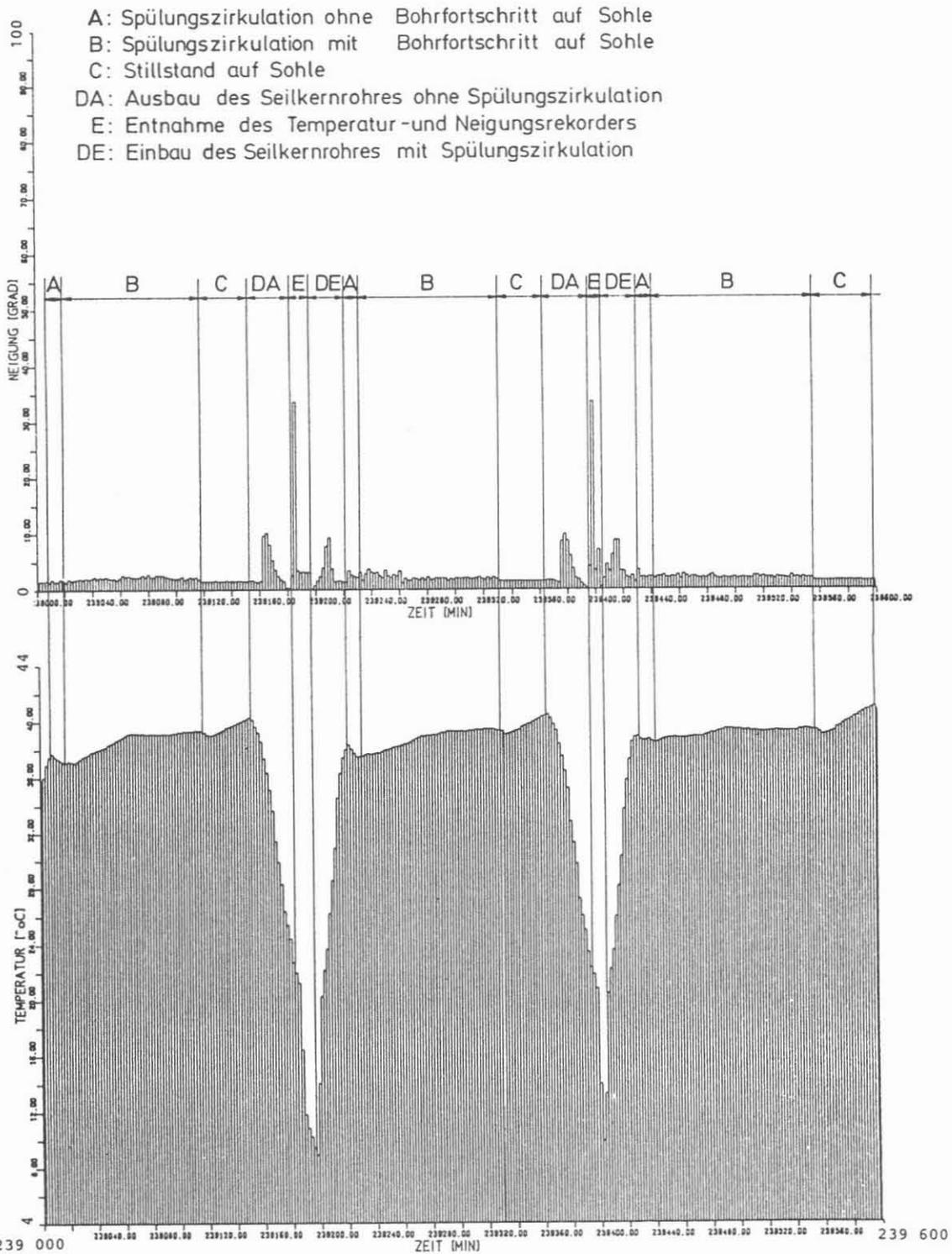
Abb. 8.20  
**KTB**

Das erste kleine Temperaturmaximum nach dem Einbau kennzeichnet hier die Spülungszirkulation ohne Bohrtätigkeit. Der anschließende Anstieg der Temperatur ist durch die Meißelwärme zu erklären, die über den Ringraum abtransportiert wird und im Wärmeaustausch auch den Gestängeinnenraum erwärmt. Insbesondere wenn die Spülungszirkulation unterbrochen wird, erzeugt die Wärmeübertragung vom wärmeren Ringraum in den kühleren Gestängeinnenraum einen Temperaturanstieg (Abschnitt C).

Der Ausbau des Kernrohres mit dem Temperatur- und Neigungsrekorder wird sowohl bei den Temperaturwerten, als auch bei den Neigungswerten deutlich. In dieser Aufzeichnung ergab sich eine Spülungstemperatur von ca. 38 bis 40 °C während der Zirkulation (nach 6 h Bohrzeit). Eine numerische Simulationsrechnung wurde mit den zur Anwendung gekommenen technischen Parametern durchgeführt. Die Spülung besaß einen aus der gemessenen Viskosität berechneten Dehydril-Zusatz von 0,75 %. Um den Einfluß der Viskosität auf die Temperatur in der Bohrung zu dokumentieren, wurde die erste Rechnung mit einem Dehydril-Zusatz von 1 % durchgeführt (s. Abb. 8.22). Die gemessene Temperatur ist in dieser und den folgenden Abbildungen durch Schwärzung markiert. Man sieht, daß die Auskühlung für diese hochviskose Spülung an der Bohrlochwand wesentlich größer ist als der berechnete Wert. In Abb. 8.23 wurde eine solche Rechnung für einen Dehydril-Zusatz von 0,5 % durchgeführt, was nach den 6 h Bohrzeit eine erheblich geringere als die gemessene Auskühlung ergab.

Eine Rechnung für eine Konzentration von 0,75 % ergab einen Temperaturwert an der Bohrlochwand (Abb. 8.24), der der gemessenen Temperatur am nächsten kommt. Die Übereinstimmung von Messung und Rechnung wird nun noch besser, wenn man aus der Rechnung nicht die Bohrlochwandtemperatur sondern die Temperatur der absteigenden Spülung betrachtet (s. Abb. 8.25).

Diese Übereinstimmungen dokumentieren die Verlässlichkeit der durchgeführten Rechnungen.

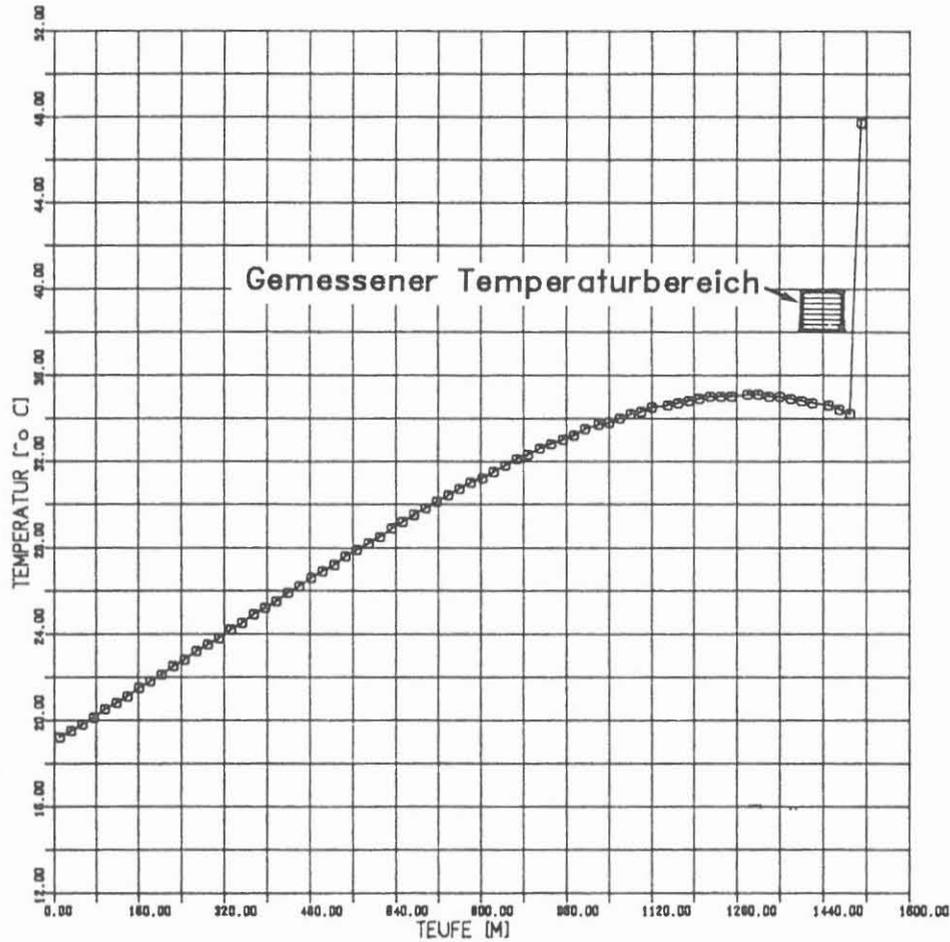


Temperatur und Neigungsaufzeichnung in der KTB  
 Vorbohrung im Bohrstrang bei einer Bohrteufe von ca.1550m  
 (Abstand vom Bohrmeißel = 6,5m)

Abb. 8.21  
**KTB**

PARAMETER

SYMBOL  $\odot$   
 ZEIT (H) 0.750E+01  
 RADIUS (M) 0.760E-01



EINGEBEDATEN

BERECHNUNGSZEITSCHRITT (S)	6.000
ENDZEITPUNKT (S)	0.27E+05
AUSDRUCKINTERVALL	500
BERECHNUNGSTIEFE IN RADIALER RICHTUNG (UNTEN) (M)	10.0000
SPUELUNG, DURCHFLUSSMENGE (L/MIN)	220.0000
EINTRITTSTEMPERATUR (C)	16.00
SPUELUNGSINTERVALL (H)	24.00
ROUNDRIPINTERVALL (H)	0.03
DICHTE (G/CM <sup>3</sup> )	1.000
→ KONZENTRATION DES ADDITIVES (o/o)	1.000
REIBUNGSWAERME GESTAENGE (W/M)	40.000
REIBUNGSWAERME MEISSEL (W)	15000.
CHAR. HYDRODYNAMISCHE LAENGE INNEN (M)	20.00
CHAR. HYDRODYNAMISCHE LAENGE AUSSEN (M)	5.00
VERROHRUNG, DURCHMESSER (AUSSEN) (CM)	12.70
WANDDICKE (CM)	1.00
WAERMELEITFAEHIGKEIT (W/M*K)	30.00
BOHRGESCHWINDIGKEIT (M/H)	0.0001
ANFANGSTEUFE (M)	1500.00
TIEFE DER BOHRLOCHABSATZE (M) 1. ABSATZ	1520.00
BOHRLOCHDURCHMESSER (CM) 1. ABSATZ	15.20
BODENoberFLAECHENTEMPERATUR (C)	8.50
TEMPERATURGRADIENT IM GEBIRGE (C/KM)	26.00
GEOLOGISCHE SCHICHTEN, GRENZE DER 1. SCHICHT (M)	1620.00
WAERMELEITFAEHIGKEIT (W/MK)	3.50
SPEZ. WAERMEKAPAZITAET (J/M <sup>3</sup> )	2000000.00

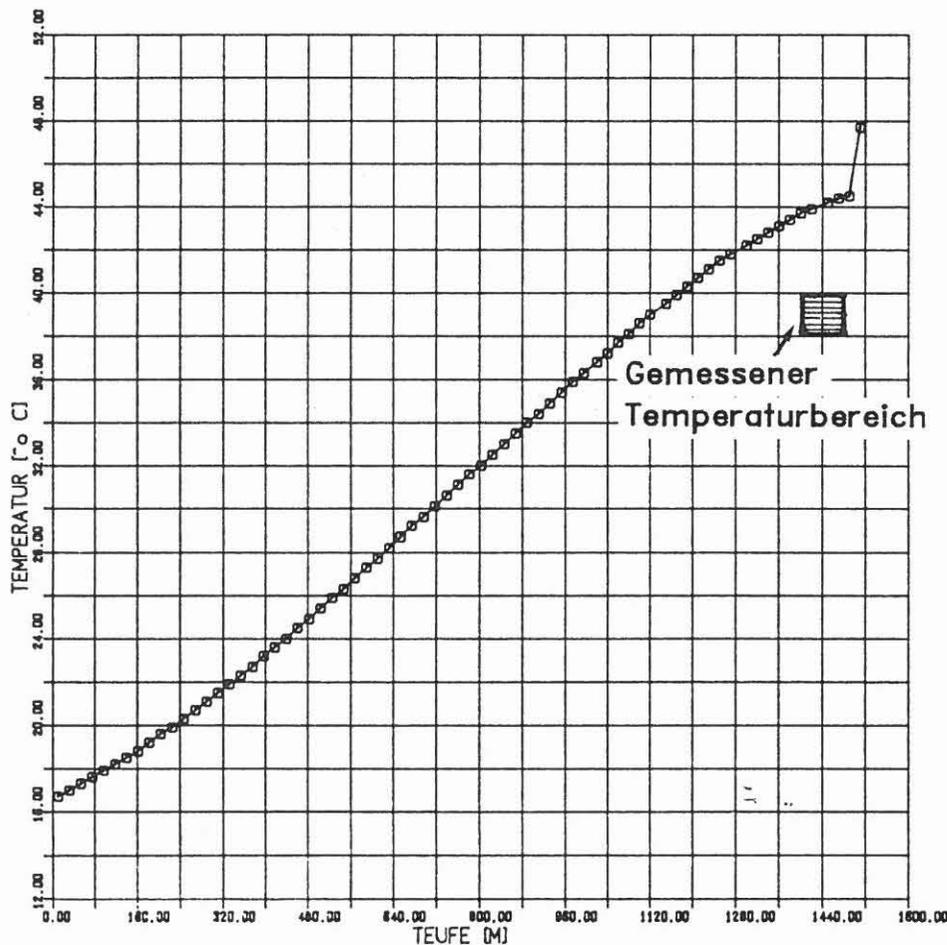
Berechnetes Temperaturprofil an der Bohrlochwand  
 in der KTB Vorbohrung

[KESSELS]

Abb. 8.22  
**KTB**

PARAMETER

SYMBOL  $\square$   
 ZEIT (H) 0.750E+01  
 RADIUS (M) 0.760E-01



EINGEBEDATEN

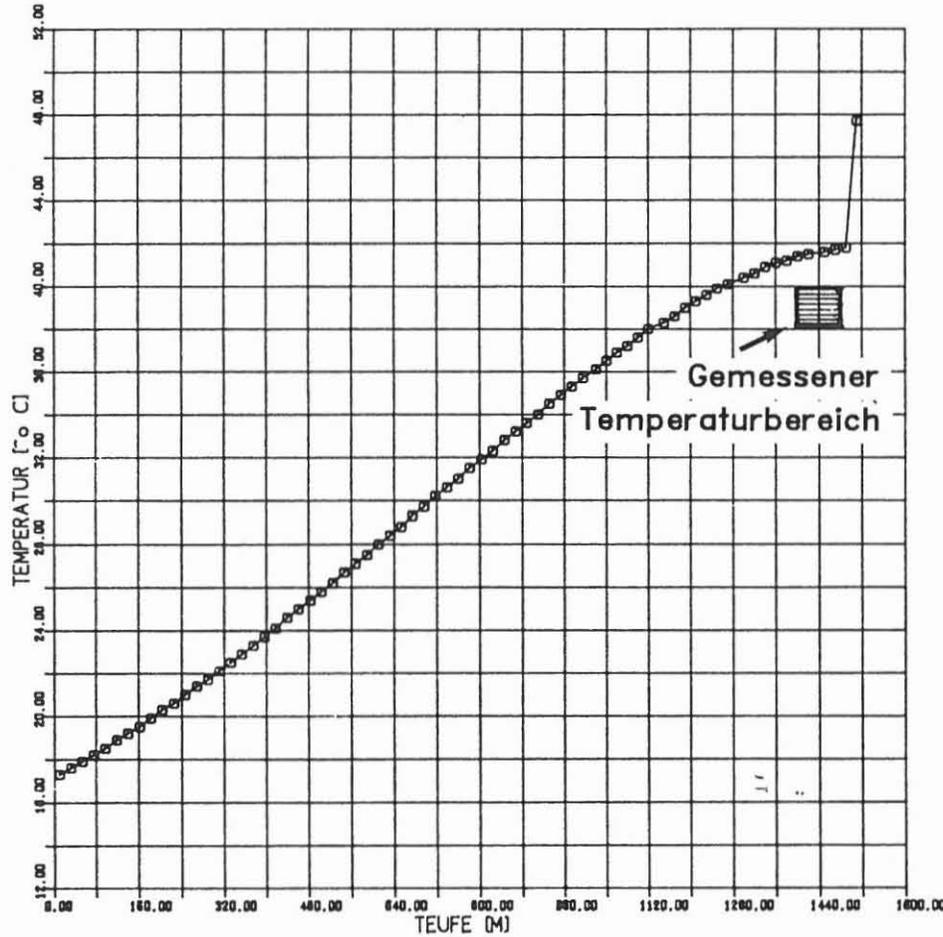
BERECHNUNGSZEITSCHRITT (S)	6.000
ENDZEITPUNKT (S)	0.27E+05
AUSDRUCKINTERVALL	500
BERECHNUNGSTIEFE IN RADIALER RICHTUNG (UNTEN) (M)	10.0000
SPUELUNG, DURCHFLUSSMENGE (L/MIN)	220.0000
EINTRITTSTEMPERATUR (C)	16.00
SPUELUNGSINTERVALL (H)	24.00
ROUNDTRIPINTERVALL (H)	0.03
DICHTE (G/CM <sup>3</sup> )	1.000
KONZENTRATION DES ADDITIVES (o/o)	0.500
REIBUNGSWAERME GESTAENGE (W/M)	40.000
REIBUNGSWAERME MEISSEL (W)	15000.
CHAR. HYDRODYNAMISCHE LAENGE INNEN (M)	20.00
CHAR. HYDRODYNAMISCHE LAENGE AUSSEN (M)	5.00
VERROHRUNG, DURCHMESSER (AUSSEN) (CM)	12.70
WANDDICKE (CM)	1.00
WAERMELEITFAEHIGKEIT (W/M*K)	30.00
BOHRGESCHWINDIGKEIT (M/H)	0.0001
ANFANGSTEUFE (M)	1500.00
TIEFE DER BOHRLOCHABSATZE (M) 1. ABSATZ	1520.00
BOHRLOCHDURCHMESSER (CM) 1. ABSATZ	15.20
BODENoberFLAECHENTEMPERATUR (C)	8.50
TEMPERATURGRADIENT IM GEBIRGE (C/KM)	26.00
GEOLOGISCHE SCHICHTEN, GRENZE DER 1. SCHICHT (M)	1620.00
WAERMELEITFAEHIGKEIT (W/MK)	3.50
SPEZ. WAERMEKAPAZITAET (J/M <sup>3</sup> )	2000000.00

- 168 -

Berechnetes Temperaturprofil an der Bohrlochwand  
 in der KTB Vorbohrung [KESSELS]



PARAMETER  
 SYMBOL  $\square$   
 ZEIT (H) 0.750E+01  
 RADIUS (M) 0.760E-01



EINGEBEDATEN

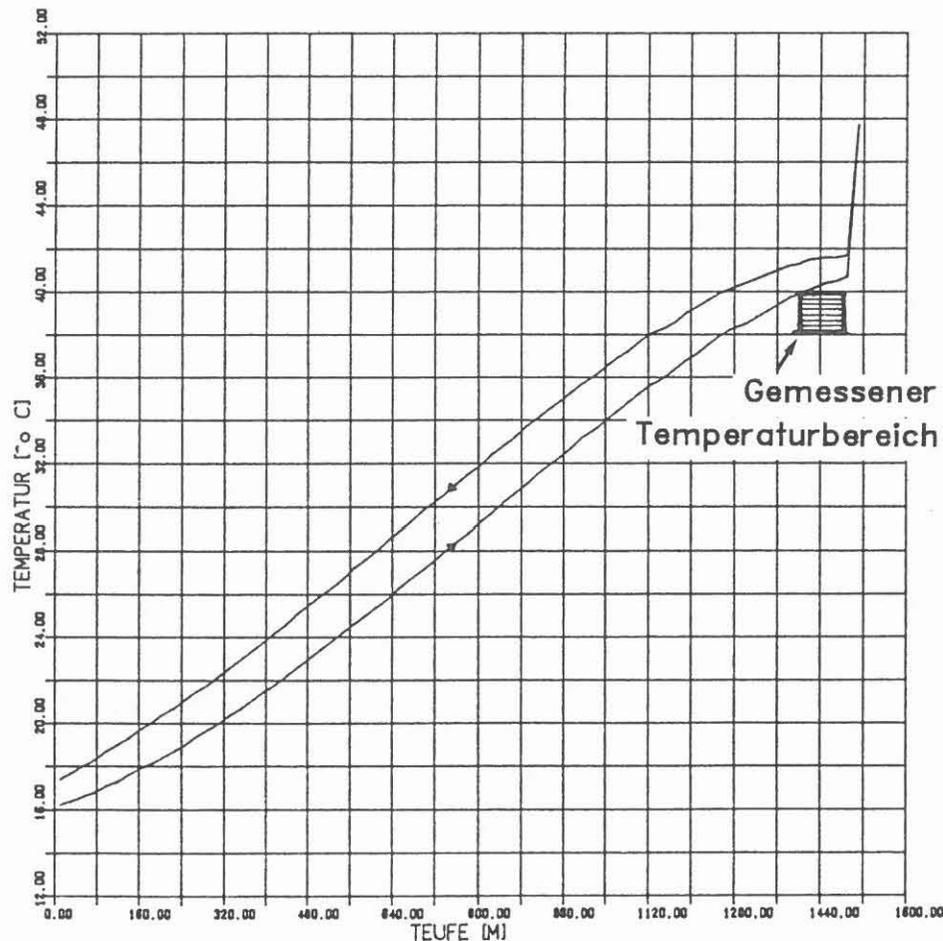
-----			
BERECHNUNGSZEITSCHRITT (S)			6.000
ENDZEITPUNKT (S)			0.27E+05
AUSDRUCKINTERVALL			500
BERECHNUNGSTIEFE IN RADIALER RICHTUNG (UNTEN) (M)			10.0000
SPUELUNG, DURCHFLUSSMENGE (L/MIN)			220.0000
EINTRITTSTEMPERATUR (C)			16.00
SPUELUNGSINTERVALL (H)			24.00
ROUNDRIPINTERVALL (H)			0.03
DICHTE (G/CM <sup>3</sup> )			1.000
→ KONZENTRATION DES ADDITIVES (o/o)			0.750
REIBUNGSWAERME GESTAENGE (W/M)			40.000
REIBUNGSWAERME MEISSEL (W)			15000.
CHAR. HYDRODYNAMISCHE LAENGE INNEN (M)			20.00
CHAR. HYDRODYNAMISCHE LAENGE AUSSEN (M)			5.00
VERROHRUNG, DURCHMESSER (AUSSEN) (CM)			12.70
WANDDICKE (CM)			1.00
WAERMELEITFAEHIGKEIT (W/M*K)			30.00
BOHRGESCHWINDIGKEIT (M/H)			0.0001
ANFANGSTEUFE (M)			1500.00
TIEFE DER BOHRLOCHABSATZE (M) 1. ABSATZ			1520.00
BOHRLOCHDURCHMESSER (CM) 1. ABSATZ			15.20
BODENOBERFLAECHENTEMPERATUR (C)			8.50
TEMPERATURGRADIENT IM GEBIRGE (C/KM)			26.00
GEOLOGISCHE SCHICHTEN, GRENZE DER 1. SCHICHT (M)			1620.00
WAERMELEITFAEHIGKEIT (W/MK)			3.50
SPEZ. WAERMEKAPAZITAET (J/M <sup>3</sup> )			2000000.00

Berechnetes Temperaturprofil an der Bohrlochwand  
 in der KTB Vorbohrung [KESSELS]

Abb. 8.24  
**KTB**

PARAMETER

SYMBOL	△	▽
ZEIT (H)	0.750E+01	0.750E+01
RADIUS (M)	SPUELUNG I	SPUELUNG A



EINGEBEDATEN

BERECHNUNGSZEITSCHRITT (S)	6.000
ENDZEITPUNKT (S)	0.27E+05
AUSDRUCKINTERVALL	500
BERECHNUNGSTIEFE IN RADIALER RICHTUNG (UNTEN) (M)	10.0000
SPUELUNG, DURCHFLUSSMENGE (L/MIN)	220.0000
EINTRITTSTEMPERATUR (C)	16.00
SPUELUNGSINTERVALL (H)	24.00
ROUNDRIPINTERVALL (H)	0.03
DICHTE (G/CM <sup>3</sup> )	1.000
KONZENTRATION DES ADDITIVES (g/o)	0.750
REIBUNGSWAERME GESTAENGE (W/M)	40.000
REIBUNGSWAERME MEISSEL (W)	15000.
CHAR. HYDRODYNAMISCHE LAENGE INNEN (M)	20.00
CHAR. HYDRODYNAMISCHE LAENGE AUSSEN (M)	5.00
VERROHRUNG, DURCHMESSER (AUSSEN) (CM)	12.70
WANDDICKE (CM)	1.00
WAERMELEITFAEHIGKEIT (W/M*K)	30.00
BOHRGESCHWINDIGKEIT (M/H)	0.0001
ANFANGSTEUFE (M)	1500.00
TIEFE DER BOHRLOCHABSATZE (M) 1. ABSATZ	1520.00
BOHRLOCHDURCHMESSER (CM) 1. ABSATZ	15.20
BODENOBERFLAECHENTEMPERATUR (C)	8.50
TEMPERATURGRADIENT IM GEBIRGE (C/KM)	26.00
GEOLOGISCHE SCHICHTEN, GRENZE DER 1. SCHICHT (M)	1620.00
WAERMELEITFAEHIGKEIT (W/MK)	3.50
SPEZ. WAERMEKAPAZITAET (J/M <sup>3</sup> )	2000000.00

Berechnetes Temperaturprofil in der Spülung in der  
KTB Vorbohrung [KESSELS]

Abb. 8.25  
**KTB**

### **Abschätzung der zu erwartenden Temperaturstörungen in einer 10000 m tiefen Bohrung**

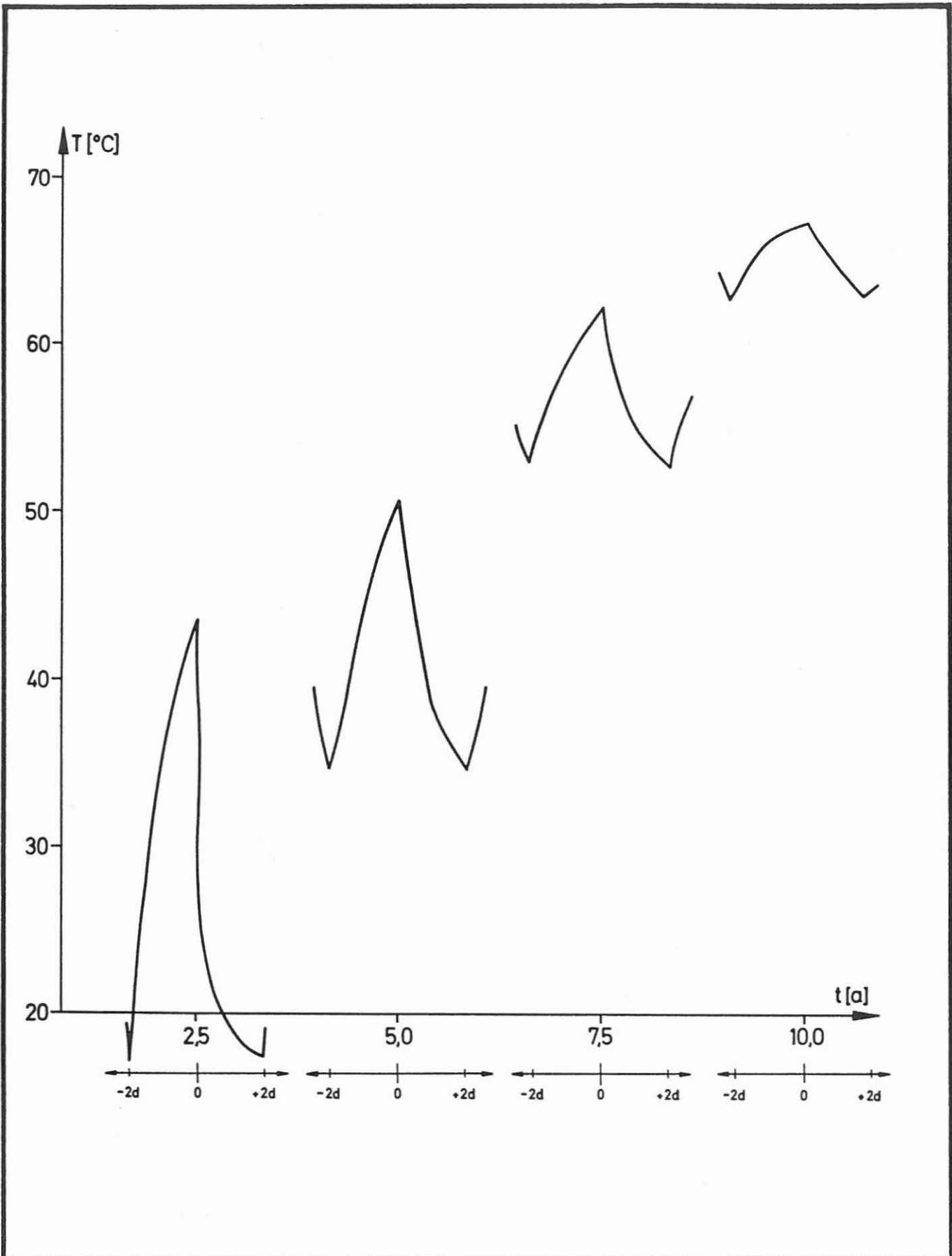
Ein nächster Schritt soll nun die Berechnung der Temperaturen für eine 10000 m tiefe Bohrung erfolgen.

Eine erste Rechnung, wie in Abb. 8.26 dargestellt, zeigt, wie in einer ungestörten 10000 m tiefen Bohrung schon ein Zirkulationsintervall von 2 Stunden zu Temperaturschwankungen von 20 bis 30 °C und einer Auskühlung von ca. 50 °C in 20 h führt. Weiter zeigt dieser instationäre Temperaturverlauf, daß jede Temperaturrechnung mit einem stationären Modell für eine Berechnung der Zirkulationstemperatur nicht geeignet ist.

Im folgenden wird die Gesamtbohrzeit auf 10 Jahre festgelegt. Zur Vereinfachung wurde der Bohrfortschritt konstant angesetzt. In dieser Rechnung ging es nicht darum, die zu erwartenden Temperaturen exakt festzulegen, sondern die zu erwartenden Auskühlungen abzuschätzen.

Abb. 8.27 zeigt das Ergebnis der Rechnung für verschiedene Bohrtiefen (bzw. Zeitpunkte). Dargestellt sind die Temperaturen an der Bohrlochwand am Ende einer Zirkulationsperiode, die mit 2 Tagen festgesetzt wurde. Die Stillstandszeit betrug ebenfalls 2 Tage. In 10000 m Tiefe ist dabei mit einer Gesamtauskühlung von ca. 120 bis 130 °C zu rechnen. Es ergibt sich, daß nach einer sehr raschen Auskühlung des Gebirgsverbandes in z. B. 5000 m Tiefe nach weiteren Bohrarbeiten eine Wiedererwärmung einsetzt, die durch die aus größeren Tiefen abtransportierte Wärme erzeugt wird.

Diesem relativ glatten Temperaturverlauf am Ende einer Bohrphase überlagert sich allerdings noch die periodische Temperaturschwankung durch die Unterbrechung der Spülungszirkulation.

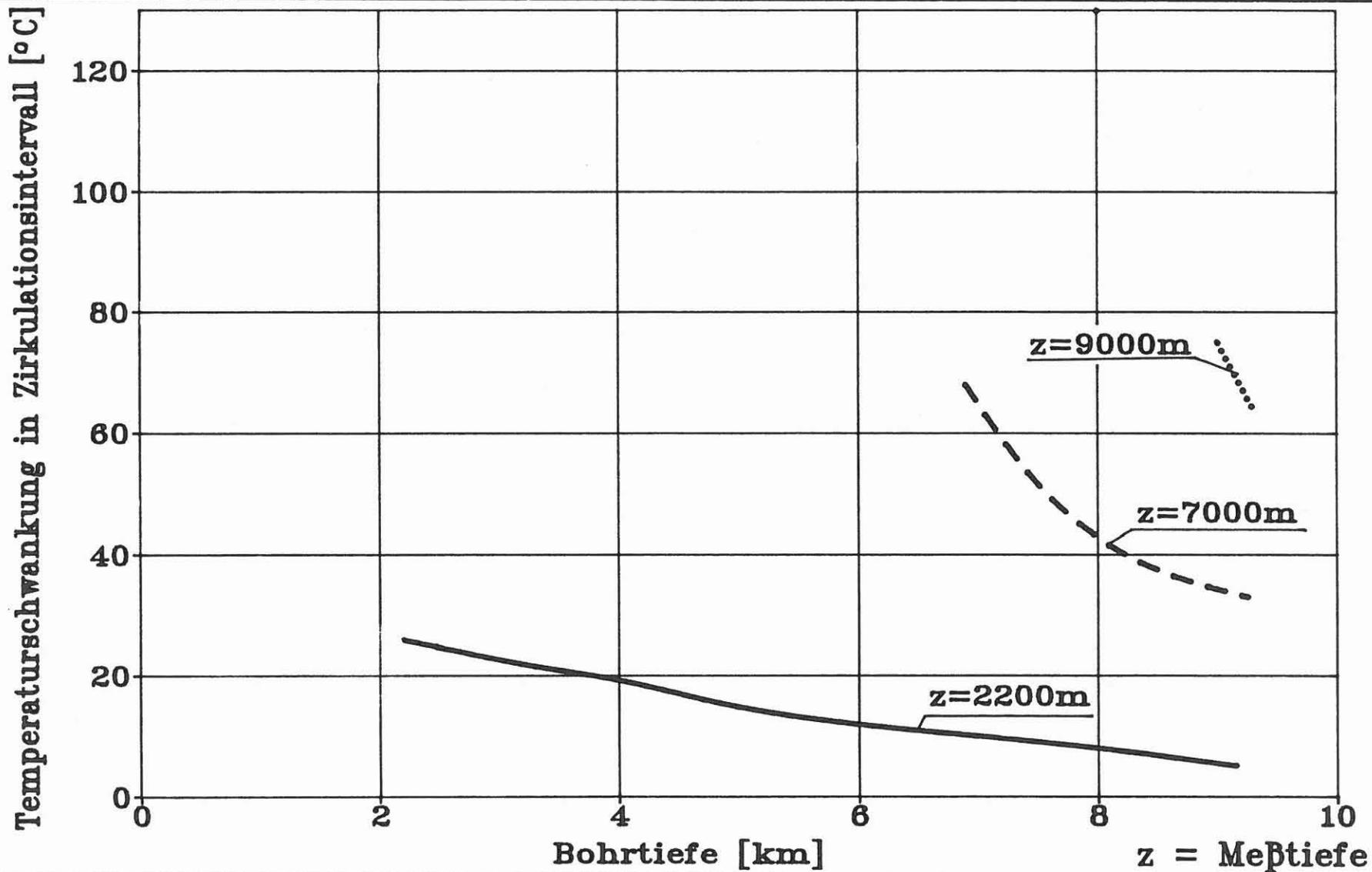


Temperaturschwankungen in 2200m Tiefe einer 10000m tiefen Bohrung in Abhängigkeit von der Bohrzeit  $t$  bei einem Zirkulationsintervall von  $2d$

[KESSELS]

Abb. 8.26

**KTB**



Die zu erwartende Temperaturschwankung an der Bohrloch-  
wand in einem Zirkulationsintervall von 48h Zirkulations-  
zeit und 48h Zirkulationsstillstand

[KESSELS]

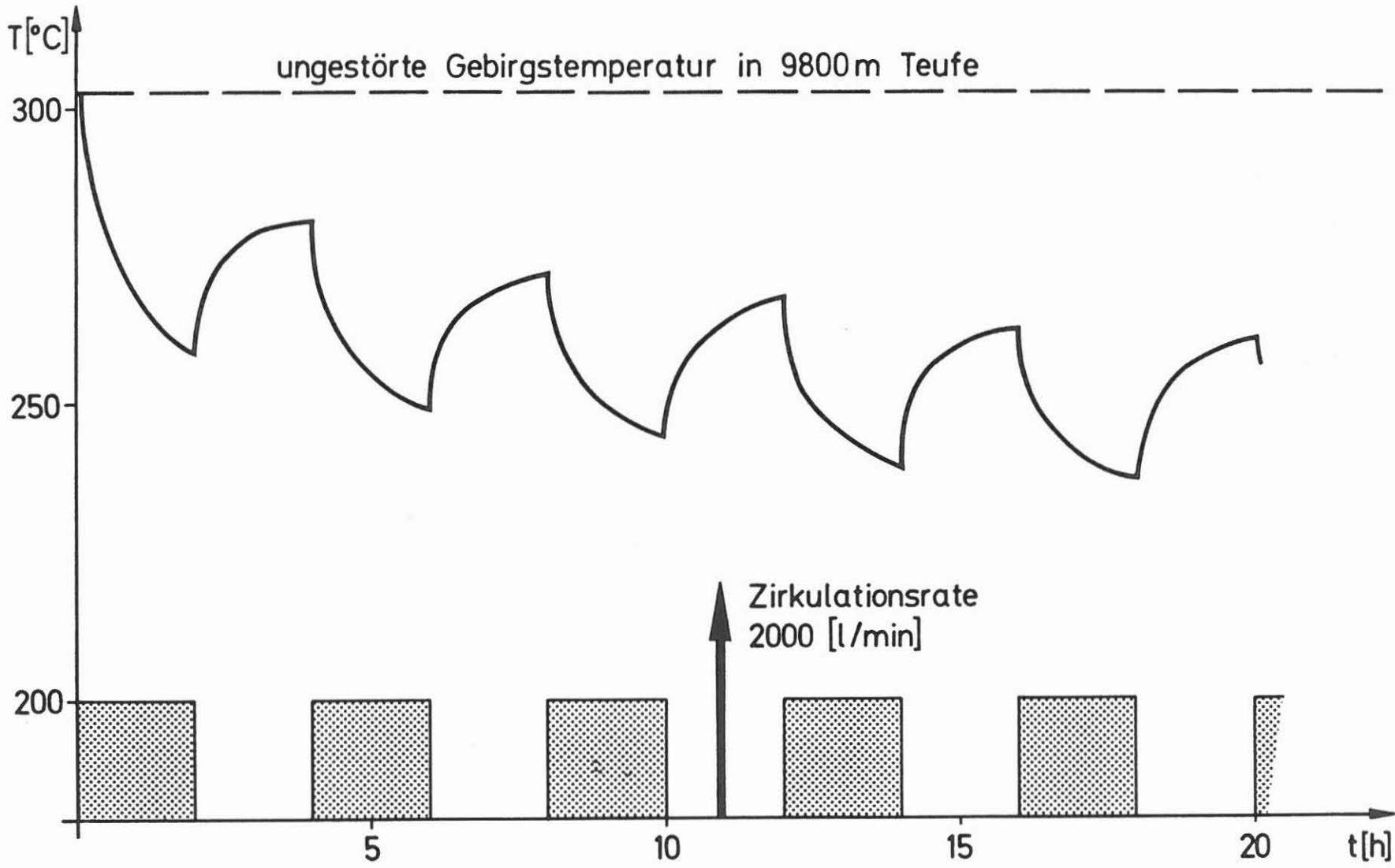
Abb. 8.27  
**KTB**

Diese ist in Abb. 8.28 für die Teufe von 2200 m dargestellt. Hier sieht man, daß sich in dem frisch erbohrten Bereich die Schwankungen, hervorgerufen durch die Spülungs-zirkulation, besonders stark auswirken. Mit wachsender Bohrteufe steigt dann die Temperatur in 2200 m Tiefe an, wobei allerdings die Temperaturschwankungen während des 2 Tage-Intervalles kleiner werden.

Die Amplituden dieser Temperaturschwankungen gehen auch aus Abb. 8.29 hervor.

In 9000 m Tiefe betragen diese Schwankungen dann schon ca. 70 °C.

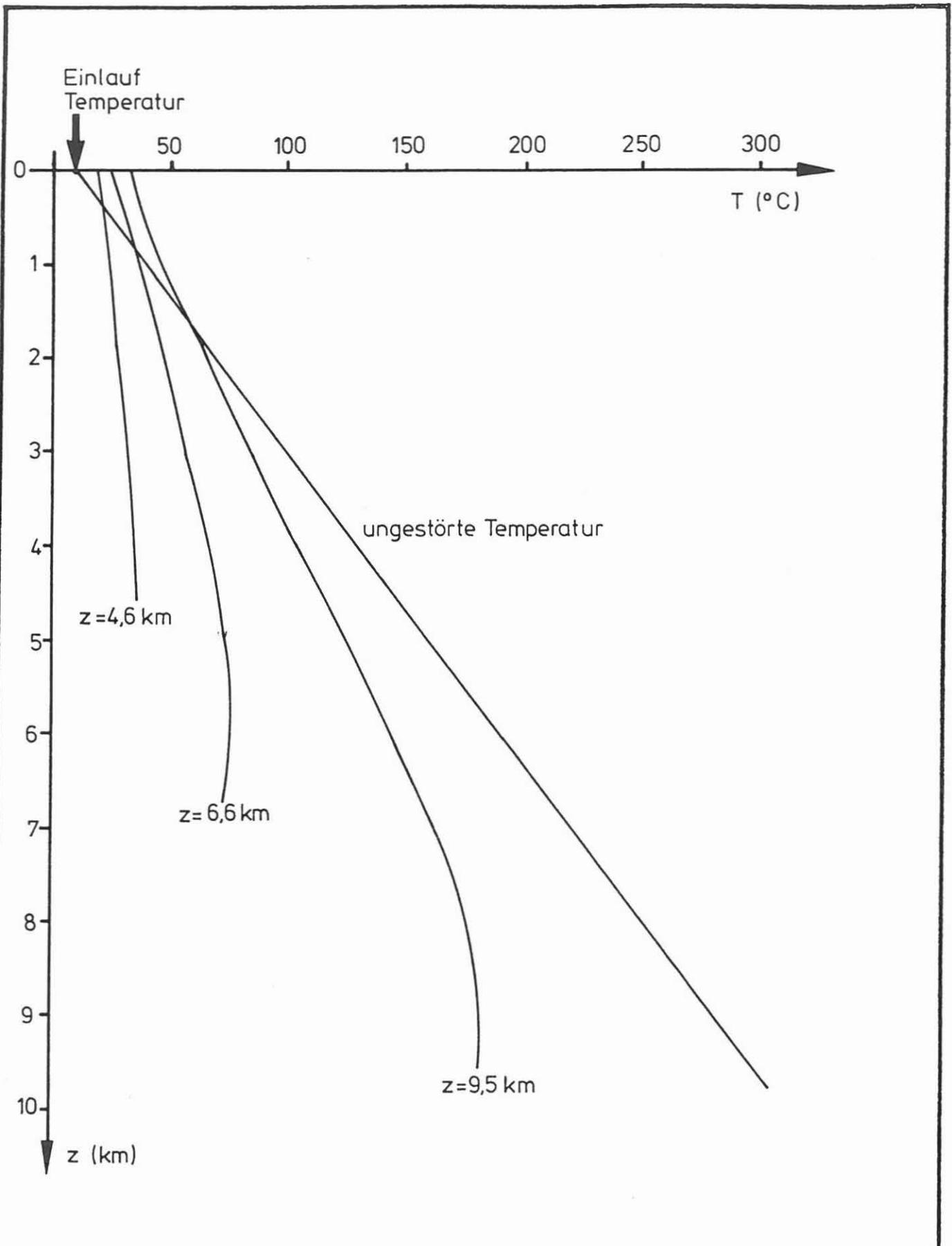
Dies ist insbesondere für Betrachtungen der Bohrlochstabilität von Bedeutung, weil hier beträchtliche thermomechanische Spannungen in der Bohrlochwand induziert werden.



Temperaturverlauf in 9800m Bohrlochtiefe während einer periodischen Spülungszirkulation in einer 10000m tiefen Bohrung ohne Bohrfortschritt

Abb. 8.28  
**KTB**

[KESSELS]



Temperaturen an der Bohrlochwand für verschiedene Bohr-  
teufen der KTB Hauptbohrung während der Spülungs-  
zirkulation berechnet mit dem Programm BOA. [KESSELS]

Abb. 8.29  
**KTB**

Literaturverzeichnis

- Bentsen, R. G., Marshall, D. W.: A Computer Model to Determine the Temperature Distributions in a Wellbore. Journal of Canadian Petroleum Technology, Jan./Feb. 1982
- Burkhardt, H.: Persönliche Mitteilung über Messungen in der Oberpfalz. Technische Universität Berlin, 1987
- Dornstätter, J.: Das Temperturvergleichsverfahren. Diplomarbeit. Institut für Geophysik TU Karlsruhe, 1987
- Engeser, B.: Persönliche Mitteilung zum Spülungssystem der Vorbohrung. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, KTB, Hannover, 1987
- Engeser, B., Heinisch M.: Unveröffentlichte Ergebnisse der Mud Logging Unit der KTB Vorbohrung. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, KTB, Hannover, 1988
- Hänel, R. (Ed.): Atlas of Subsurface Temperatures in the European Community, Hannover, 1980; Th. Schäfer.
- Kessels, W.: Das Wärmetauschersystem einer Tiefbohrung. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, KTB, Hannover, Archiv-Nr. 101 304, 1987
- Raymond, L. R.: Temperature Distribution in a Circulating Drilling Fluid. Journal of Petroleum Technology, Vol. 21, No. 3, 333-341, 1969.
- VDI-Wärmeatlas: VDI-Verlag, Düsseldorf, 1977.



#### 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 Spülsaustrages 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 Stabilitätswachst 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.

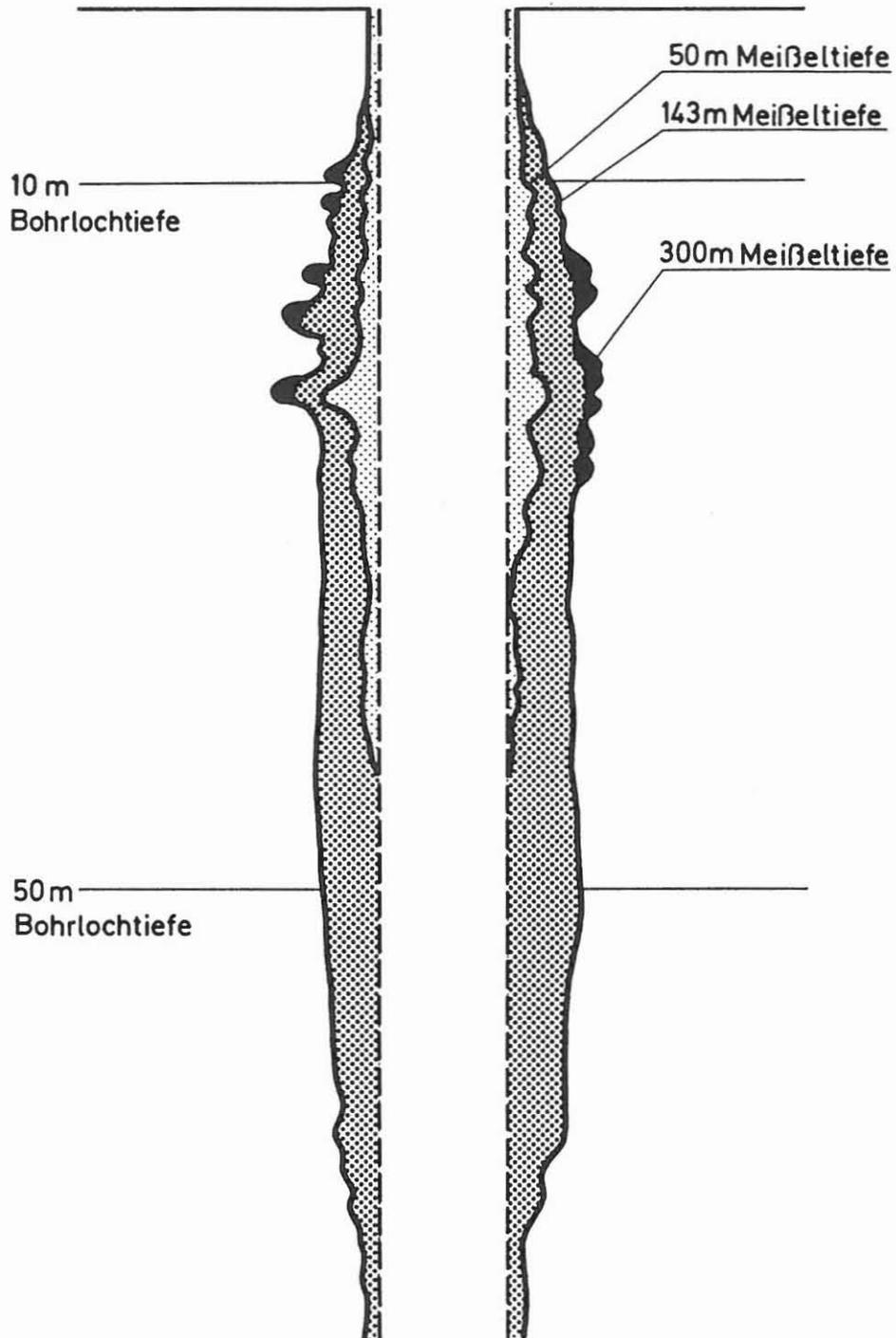
Viele Veröffentlichungen zum Thema Bohrlochstabilität (BRADLEY, 1979; CHEATHAM, 1984; GUENOT, 1987) zeigen, daß für die Stabilitätsrechnungen die im konkreten Fall als unbekannt anzusetzenden Festigkeitskennwerte und das ebenfalls unbekanntes Spannungsfeld der Kruste die entscheidenden Eingangsparameter 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 Kriecheffekte 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

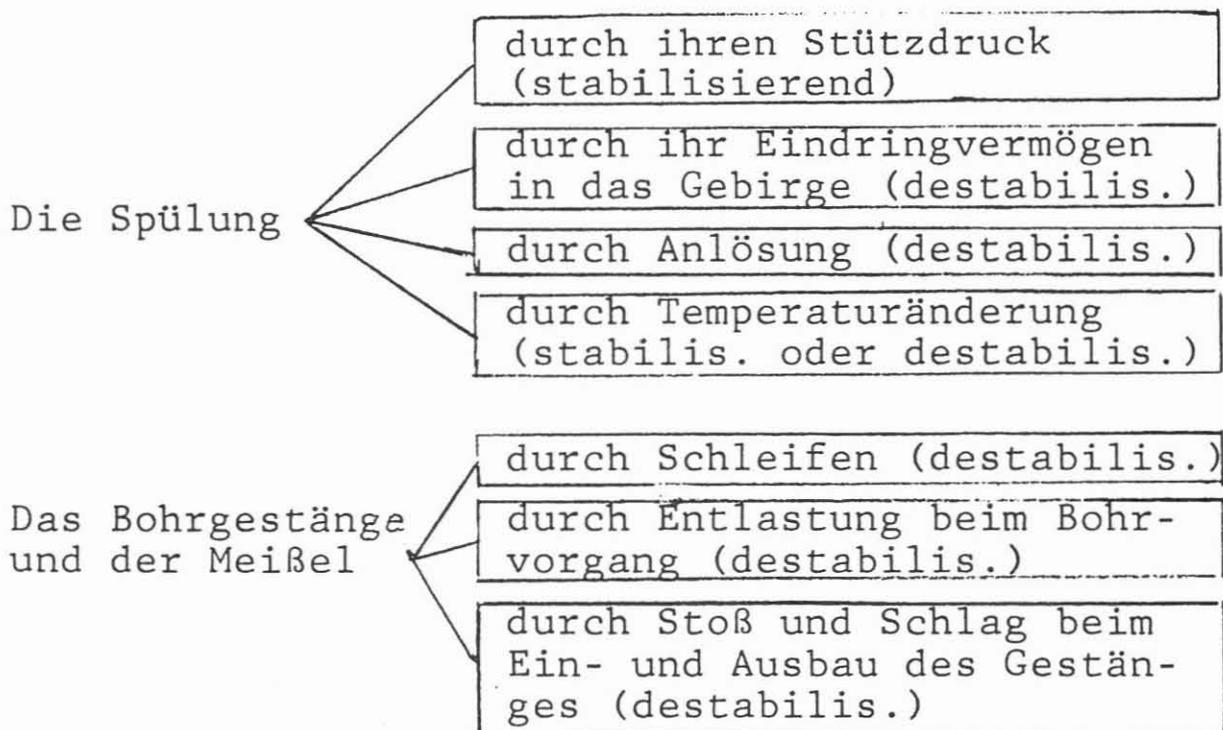
der Untersuchungen zur Bohrlochstabilität  
der KTB-PL ist

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 Spülsaustrag 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 Spülsaustrag 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 Spülsaustrages 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

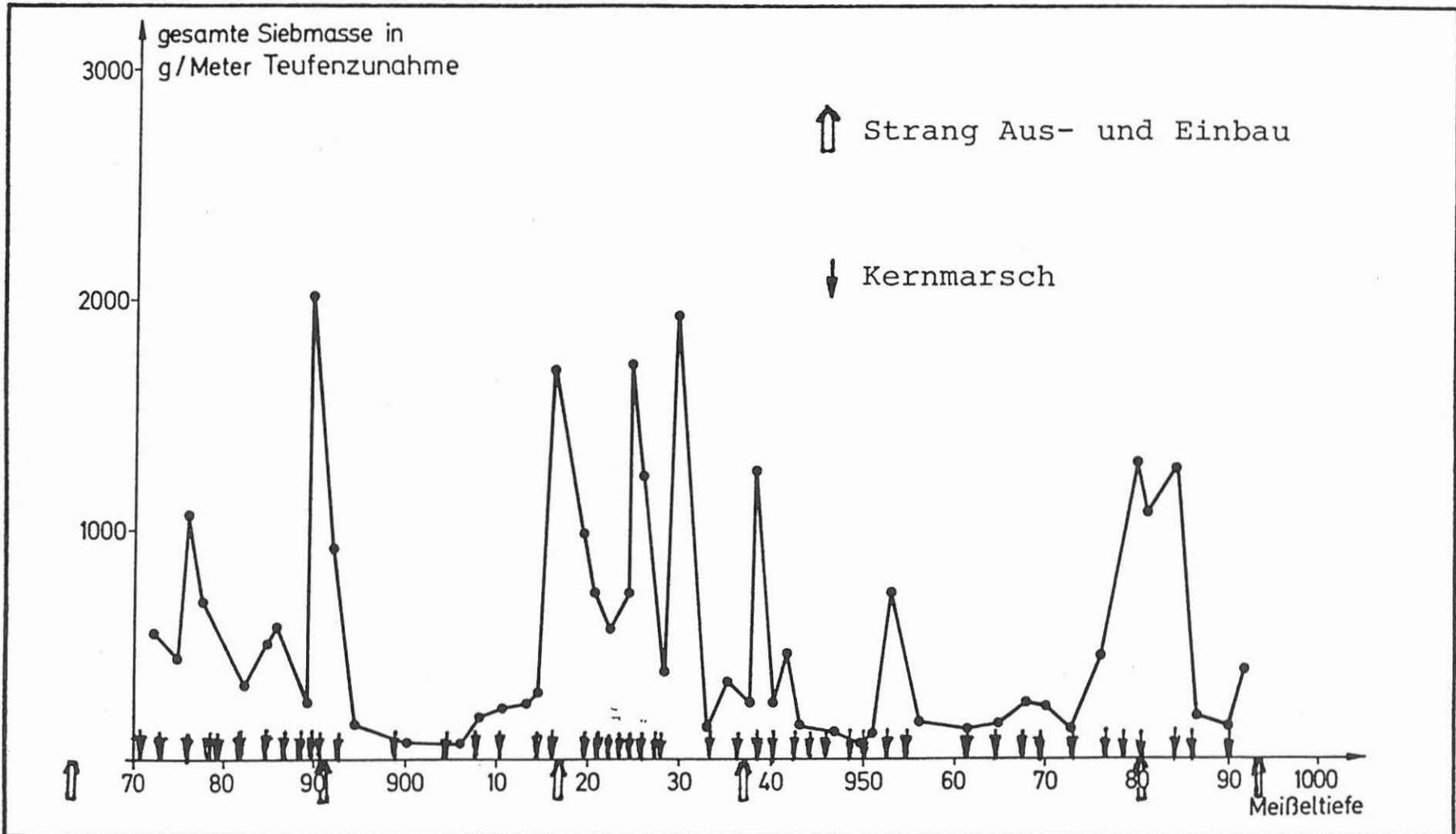
AUSSAGEN ÜBER DIE STABILISIERBARKEIT  
KANN MAN ERHALTEN DURCH:

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.

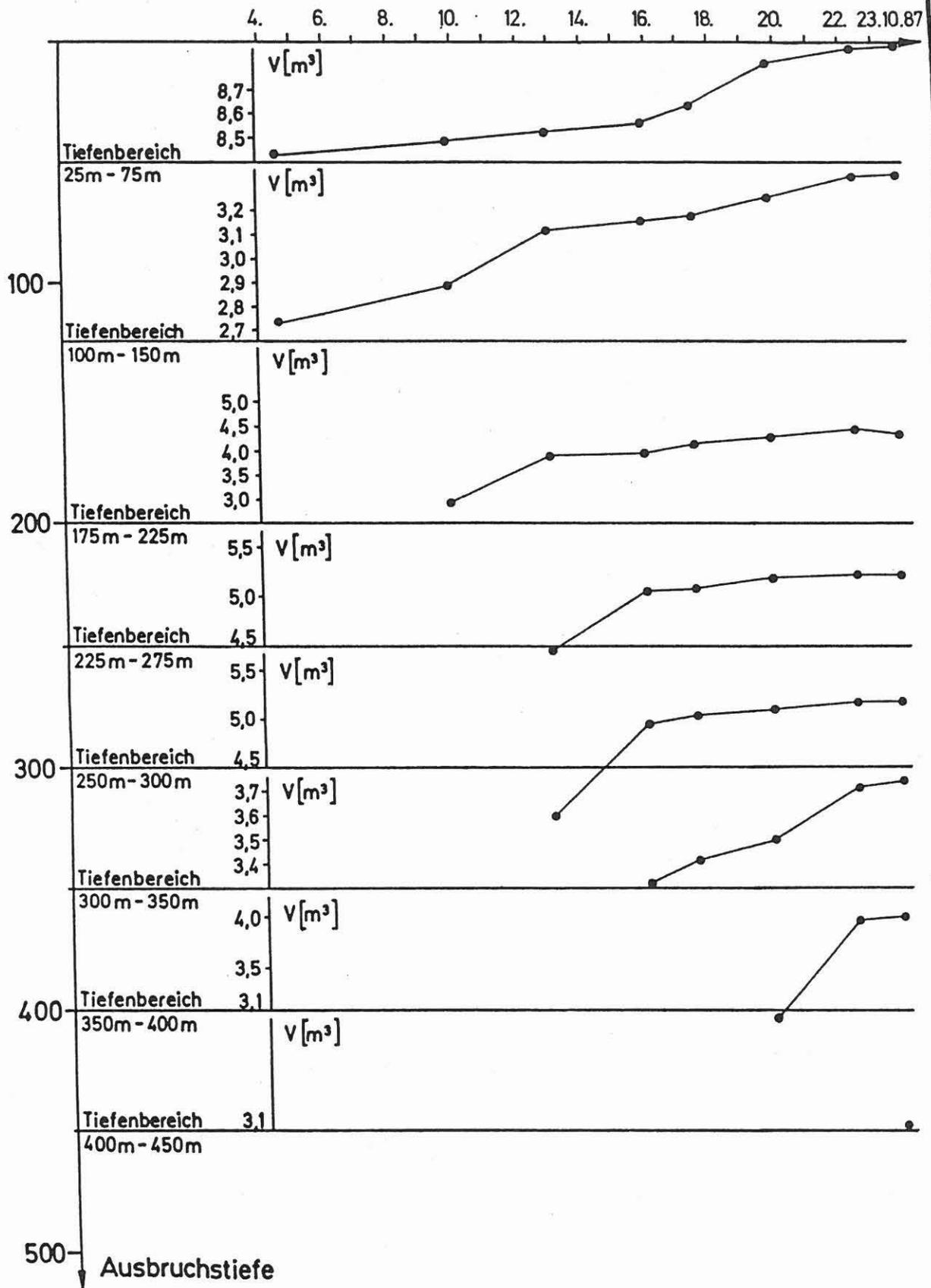
Ein Punkt bei einer Teufenausbruchszahl von 1 bedeutet hier, daß für den betrachteten Bohrlochabschnitt die Ausbruchsgeschwindigkeit der mittleren Ausbruchsgeschwindigkeit des ganzen Bohrloches entsprochen hat. Man kann in Abb. 8.36 deutlich erkennen, daß alle Bohrlochabschnitte, wenn sie einen kleinen 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)
$\Delta V$	=	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**

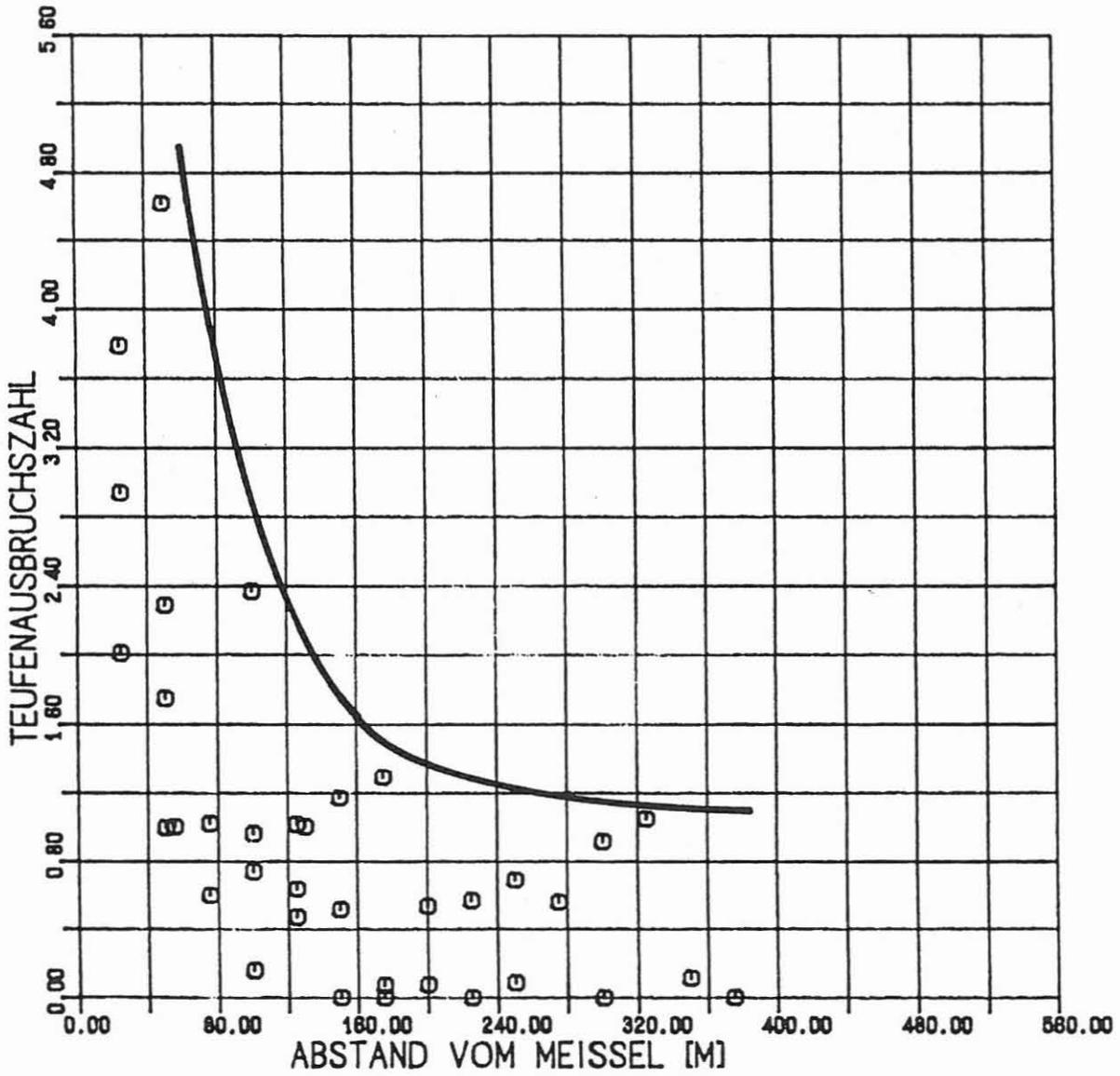
Abb. 8.34



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

**KTB**

Abb. 8.35



Die Teufenausbruchszahl in Abhängigkeit vom Meißelabstand

**KTB**

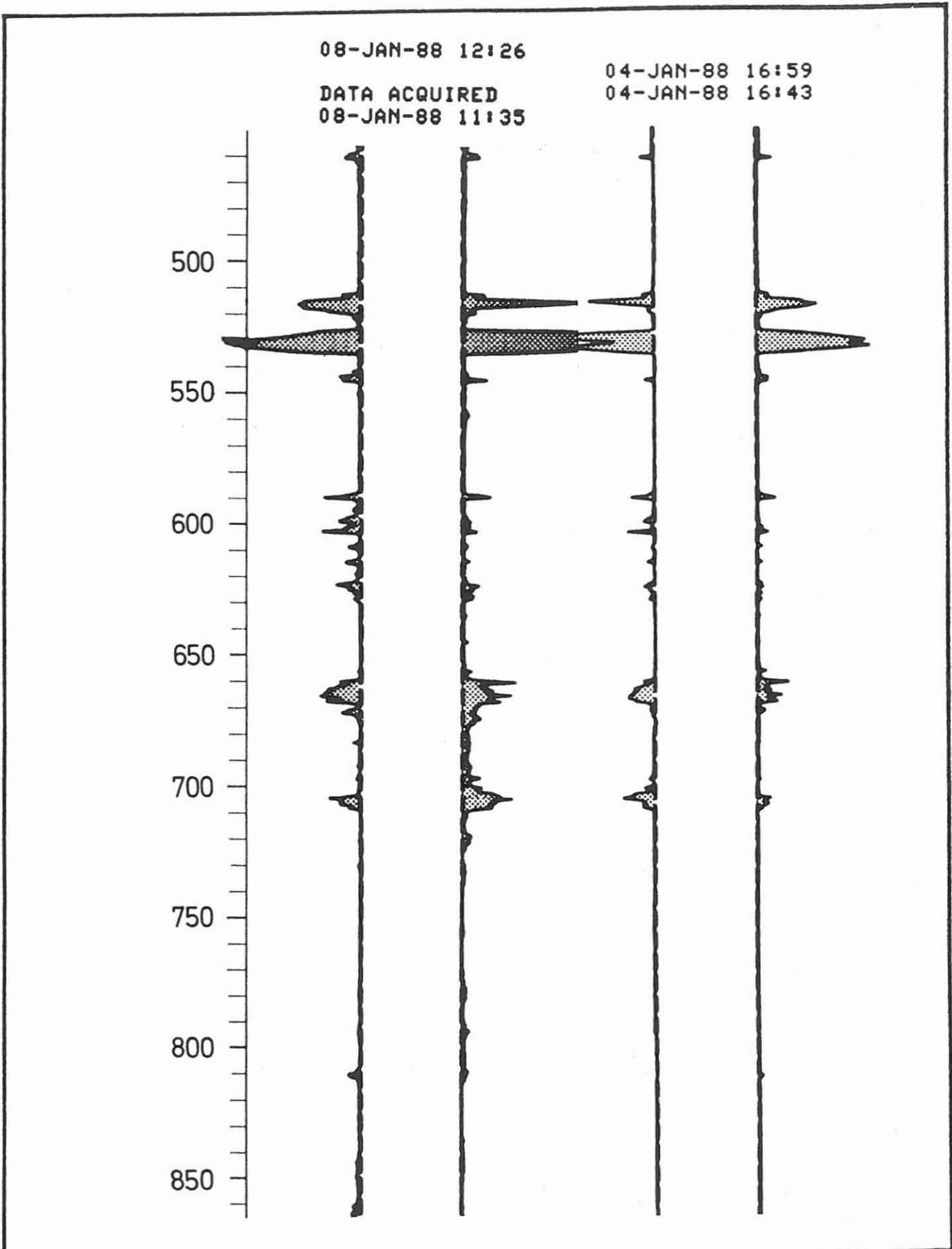
Abb. 8.36

### **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 Ausbruchsvolumens 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).

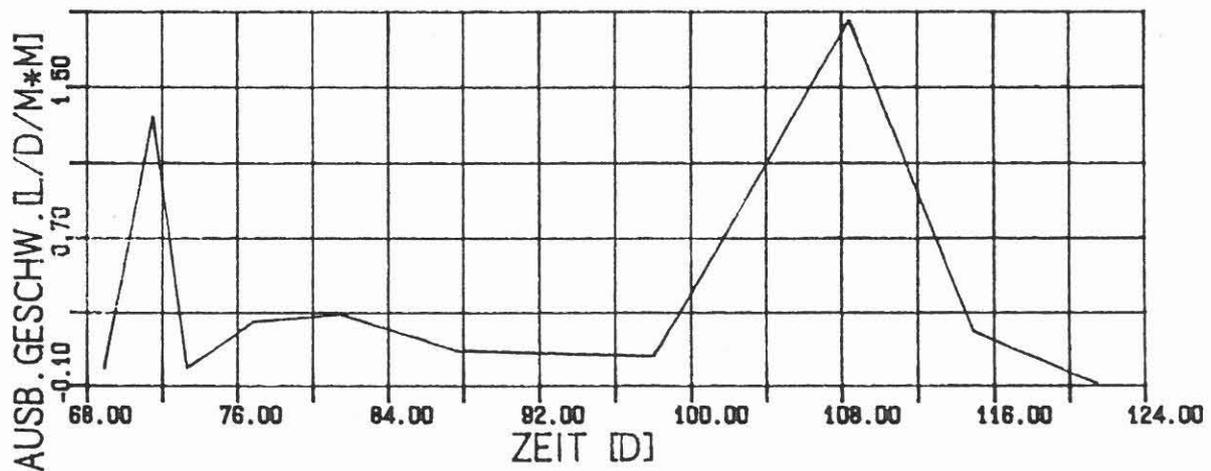
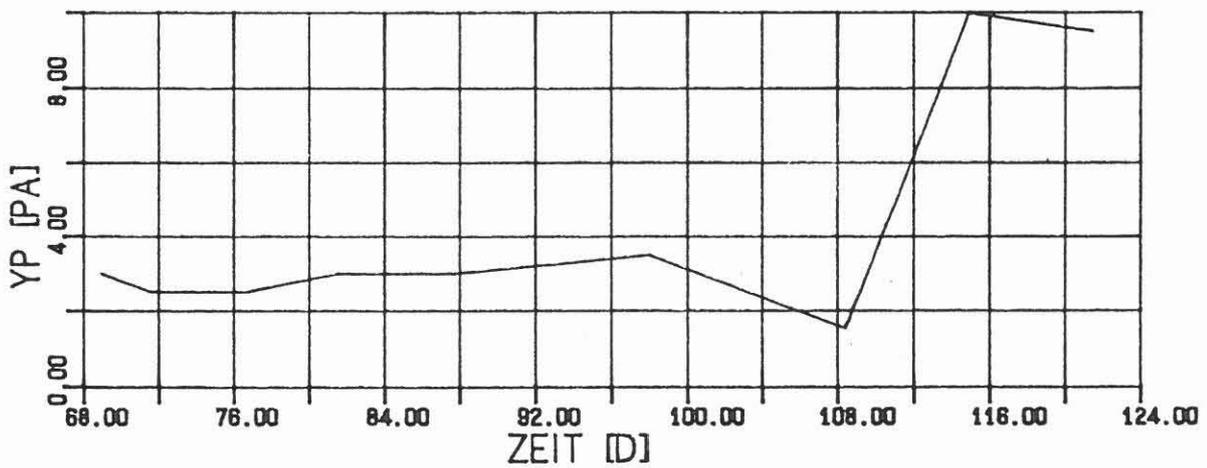
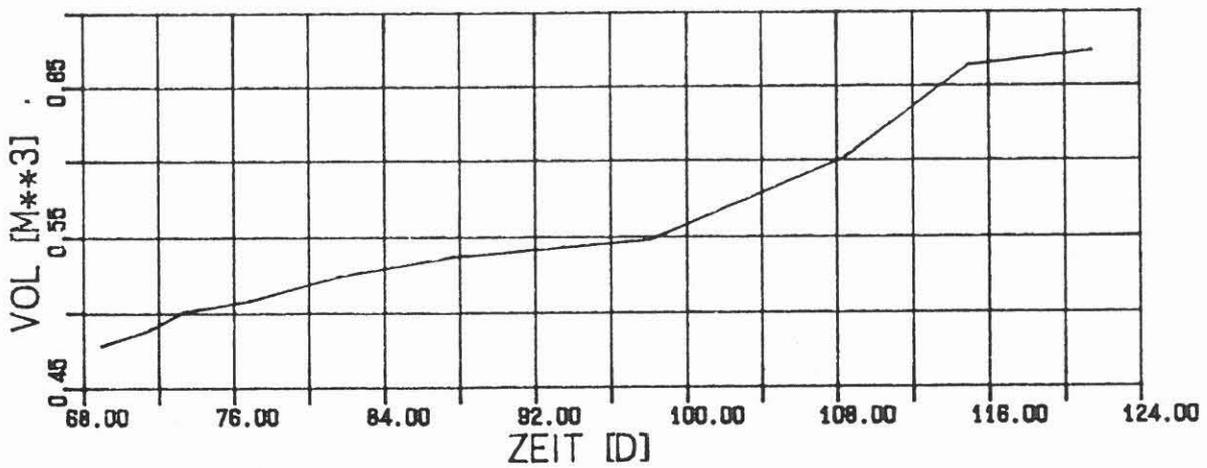
Die hier gezeigten Ergebnisse der Beobachtungen zur Bohrlochstabilität können selbstverständlich nur als ein Anfang der quantitativen Erfassung der Bohrlochstabilitätsbeobachtungen zur Erarbeitung von Regeln für die Bohrlochstabilisierbarkeit angesehen werden. Grundsätzlich bestätigt sich aber auch für 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  
Spülungsgelstärke in der KTB Vorbohrung

**KTB**

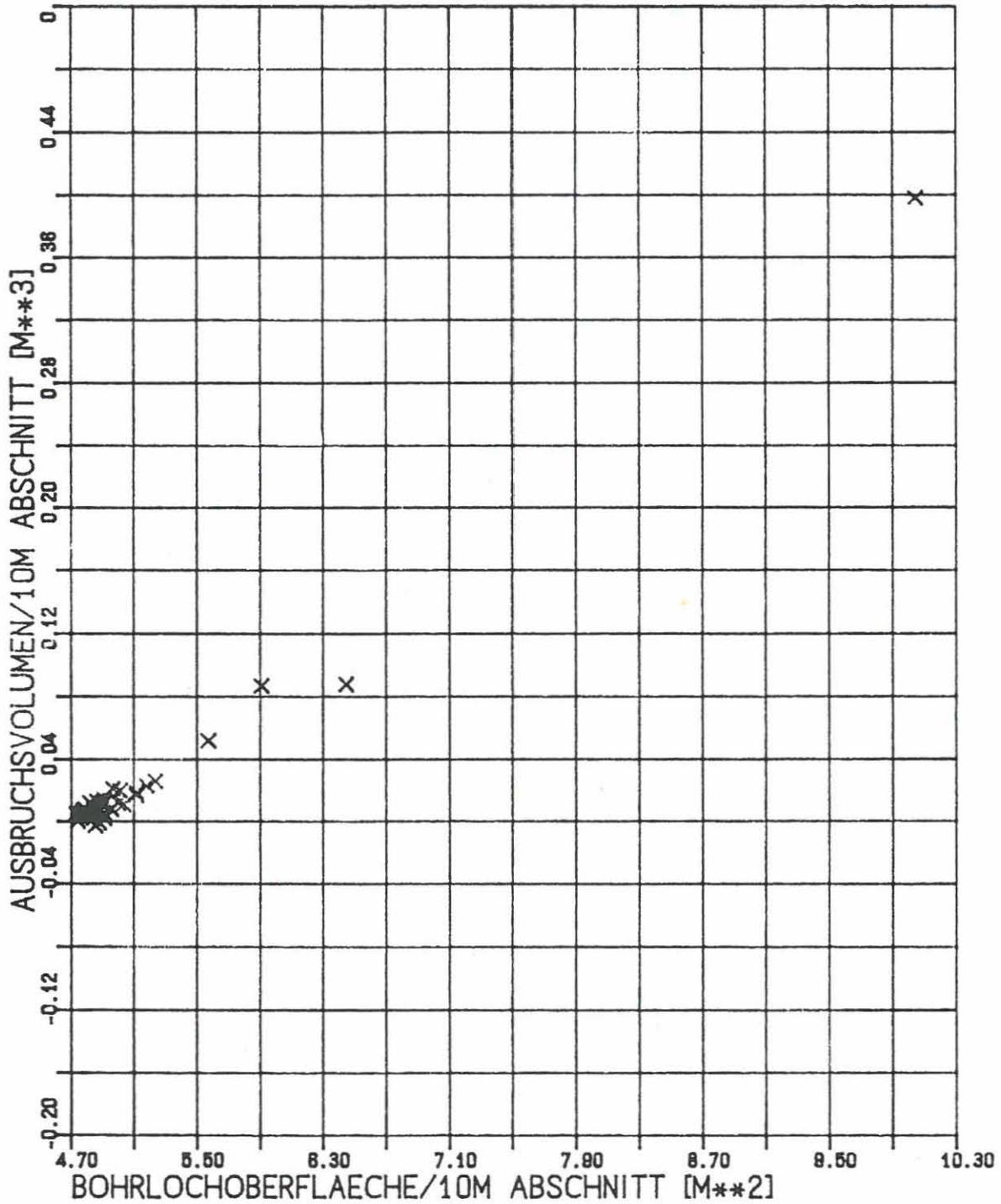
Abb. 8.37



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

**KTB**

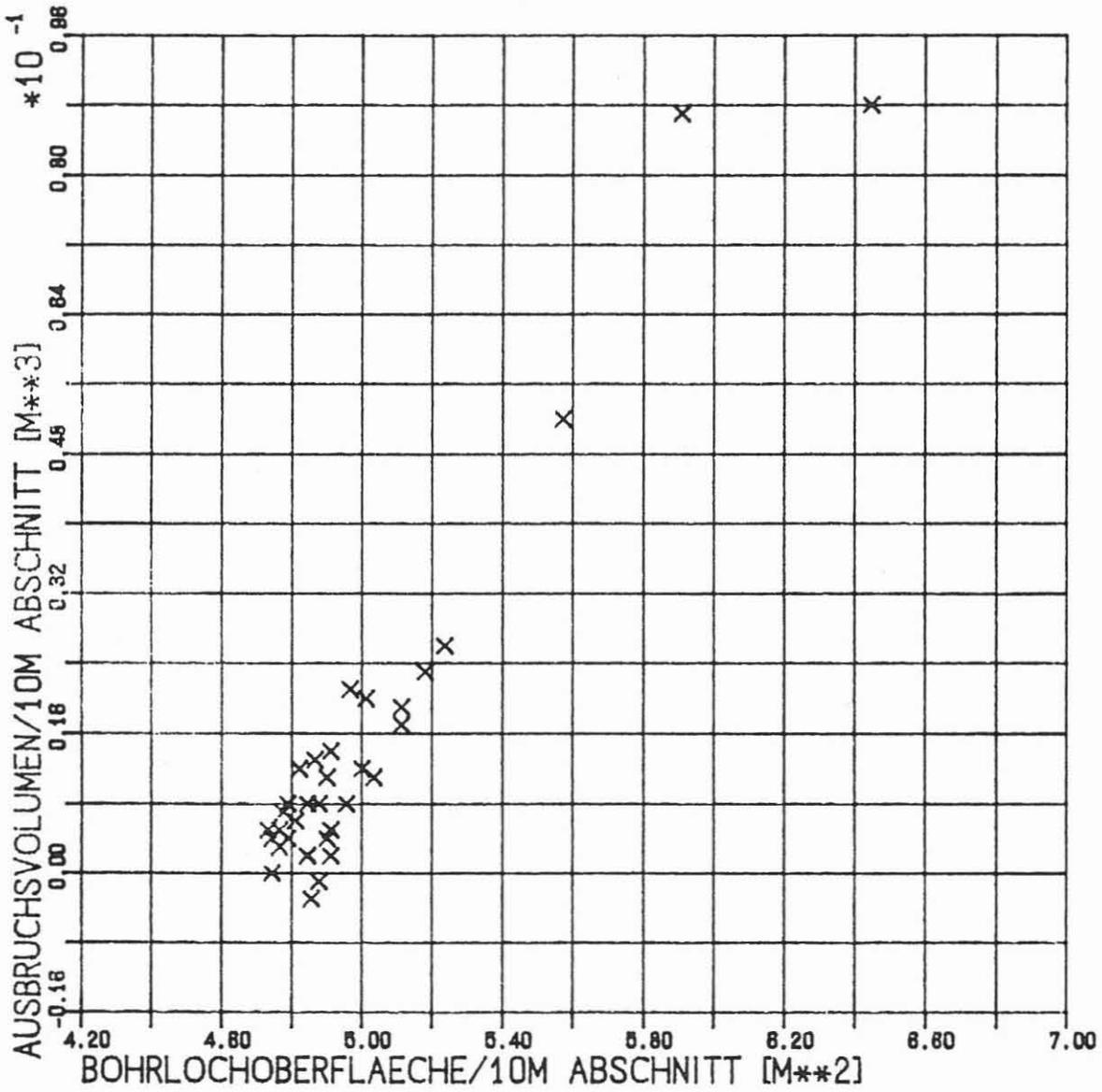
Abb. 8.38



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

**KTB**

Abb. 8.39



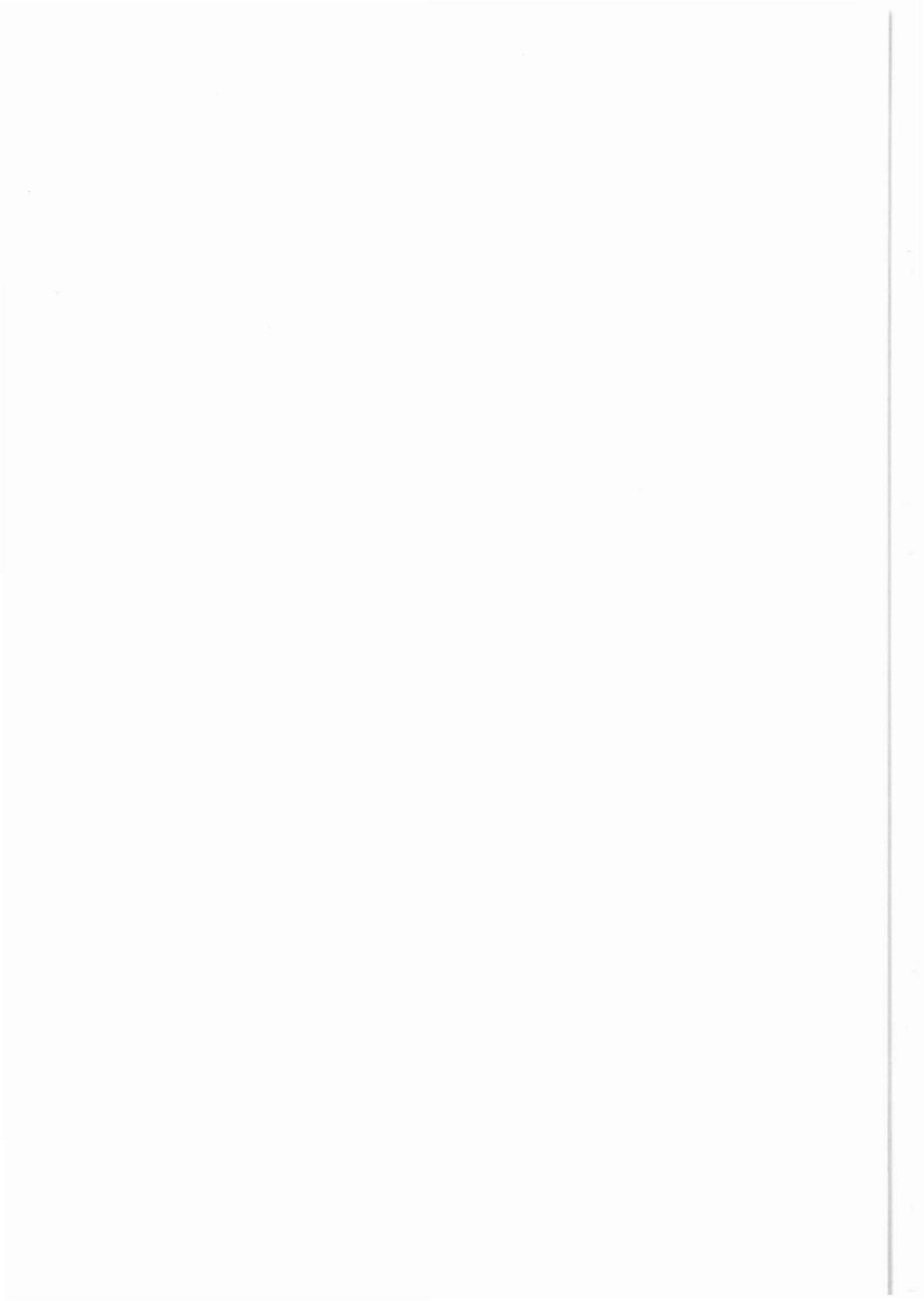
Die Volumenzunahme V in 10m Abschnitten der KTB Vorbohrung von 500m-800m nach dem Absenken der Spülungsviskosität in Abhängigkeit von der Oberfläche O des Bohrlochabschnittes

**KTB**

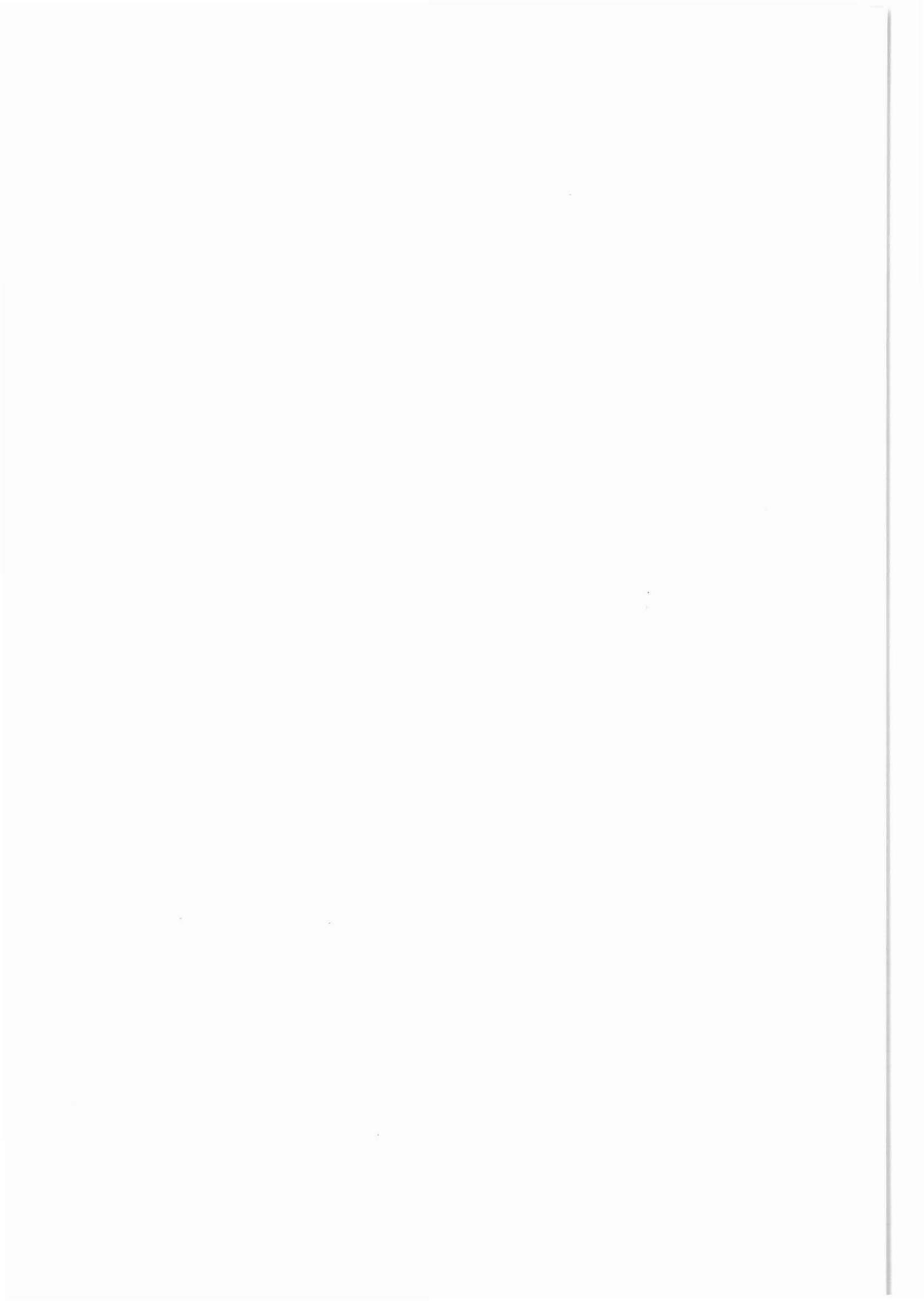
Abb. 8.40

## 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.



## 9 Anforderung von KTB-Meßdaten



An das  
 Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung  
 –KTB– Projektleitung–  
 z. Hd. Herrn J. Draxler  
 Stilleweg 2  
 3000 Hannover 51

**Betr.: Anforderung von KTB–Bohrlochmeßdaten**

Zur Bearbeitung der gewonnenen Bohrlochmeßdaten  
 bitte(n) ich/wir um Übersendung folgender Daten:

Messung Auswertung Test KTB–Ifd. Nr.	Datum	Intervall		Datenträger					Bemerkungen
		von	bis	Pause, Transp.	Pause, Papier	Band, Floppy	Daten- liste	Bericht, Veröff.	

Mit der Entgegennahme der Daten erwächst dem Empfänger die Pflicht, der KTB–Projektleitung oder/und dem KTB–Schwerpunkt im Rahmen der ARGEN über den Fortgang der Arbeiten jährlich zu berichten. Erstveröffentlichungen sind für die KTB–Report Reihe vorzusehen.

Bitte senden Sie die angeforderten Daten an:

Institut/Amt/Firma:

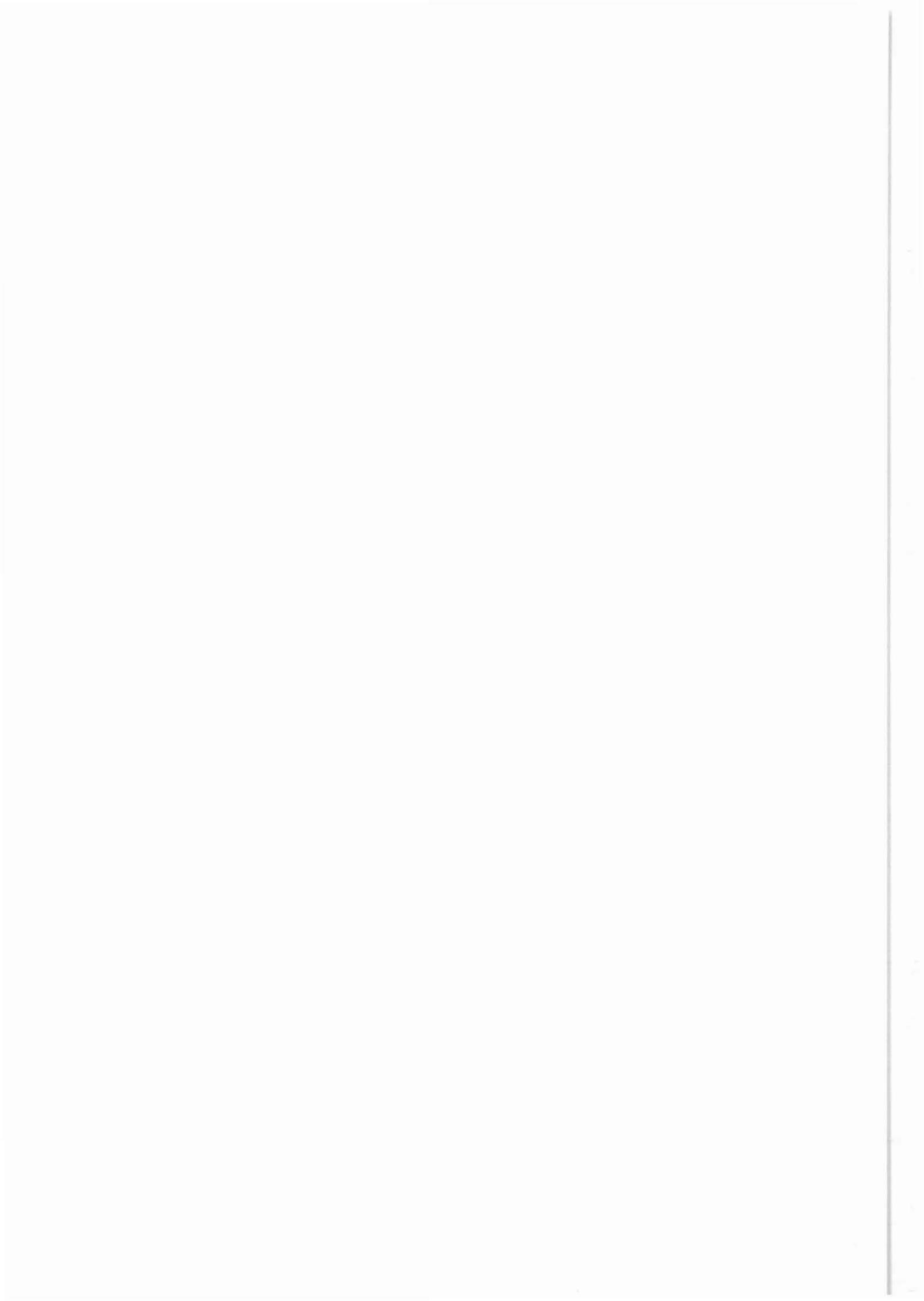
Straße, Nr. :

Plz., Ort :

Name des Empfängers:

\_\_\_\_\_  
 Ort und Datum

\_\_\_\_\_  
 Unterschrift



An das  
 Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung  
 –KTB– Projektleitung–  
 z. Hd. Herrn J. Draxler  
 Stilleweg 2  
 3000 Hannover 51

**Betr.: Anforderung von KTB–Bohrlochmeßdaten**

Zur Bearbeitung der gewonnenen Bohrlochmeßdaten  
 bitte(n) ich/wir um Übersendung folgender Daten:

Messung Auswertung Test KTB–Ifd. Nr.	Datum	Intervall		Datenträger					Bemerkungen
		von	bis	Pause, Transp.	Pause, Papier	Band, Floppy	Daten- liste	Bericht, Veröff.	

Mit der Entgegennahme der Daten erwächst dem Empfänger die Pflicht, der KTB–Projektleitung oder/und dem KTB–Schwerpunkt im Rahmen der ARGEN über den Fortgang der Arbeiten jährlich zu berichten. Erstveröffentlichungen sind für die KTB–Report Reihe vorzusehen.

Bitte senden Sie die angeforderten Daten an:

Institut/Amt/Firma:

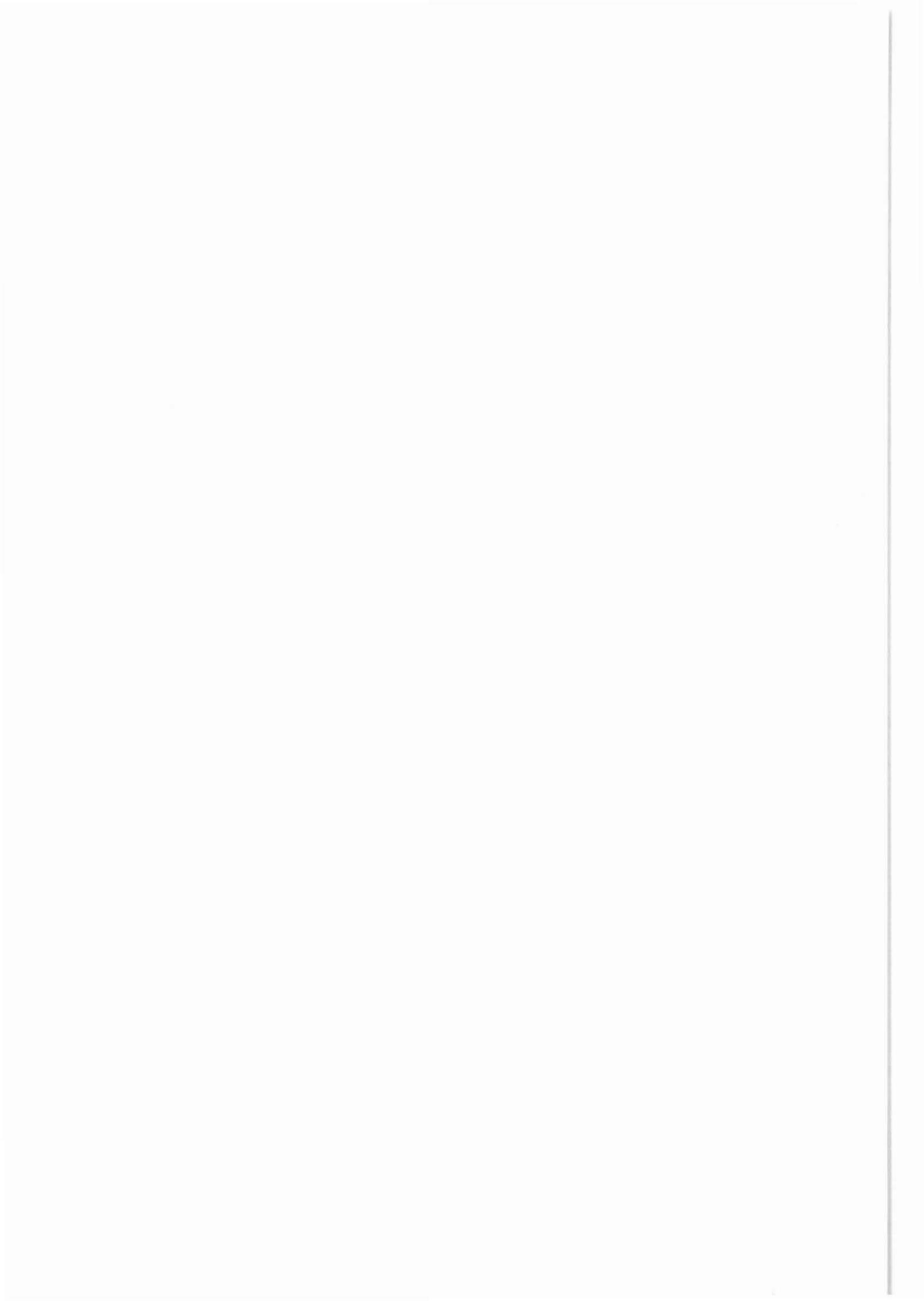
Straße, Nr. :

Plz., Ort :

Name des Empfängers:

\_\_\_\_\_  
 Ort und Datum

\_\_\_\_\_  
 Unterschrift



An das  
 Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung  
 –KTB– Projektleitung–  
 z. Hd. Herrn J. Draxler  
 Stilleweg 2  
 3000 Hannover 51

**Betr.: Anforderung von KTB–Bohrlochmeßdaten**

Zur Bearbeitung der gewonnenen Bohrlochmeßdaten  
 bitte(n) ich/wir um Übersendung folgender Daten:

Messung Auswertung Test KTB–Ifd. Nr.	Datum	Intervall		Datenträger					Bemerkungen
		von	bis	Pause, Transp.	Pause, Papier	Band, Floppy	Daten- liste	Bericht, Veröff.	

Mit der Entgegennahme der Daten erwächst dem Empfänger die Pflicht, der KTB–Projektleitung oder/und dem KTB–Schwerpunkt im Rahmen der ARGEN über den Fortgang der Arbeiten jährlich zu berichten. Erstveröffentlichungen sind für die KTB–Report Reihe vorzusehen.

Bitte senden Sie die angeforderten Daten an:

Institut/Amt/Firma:

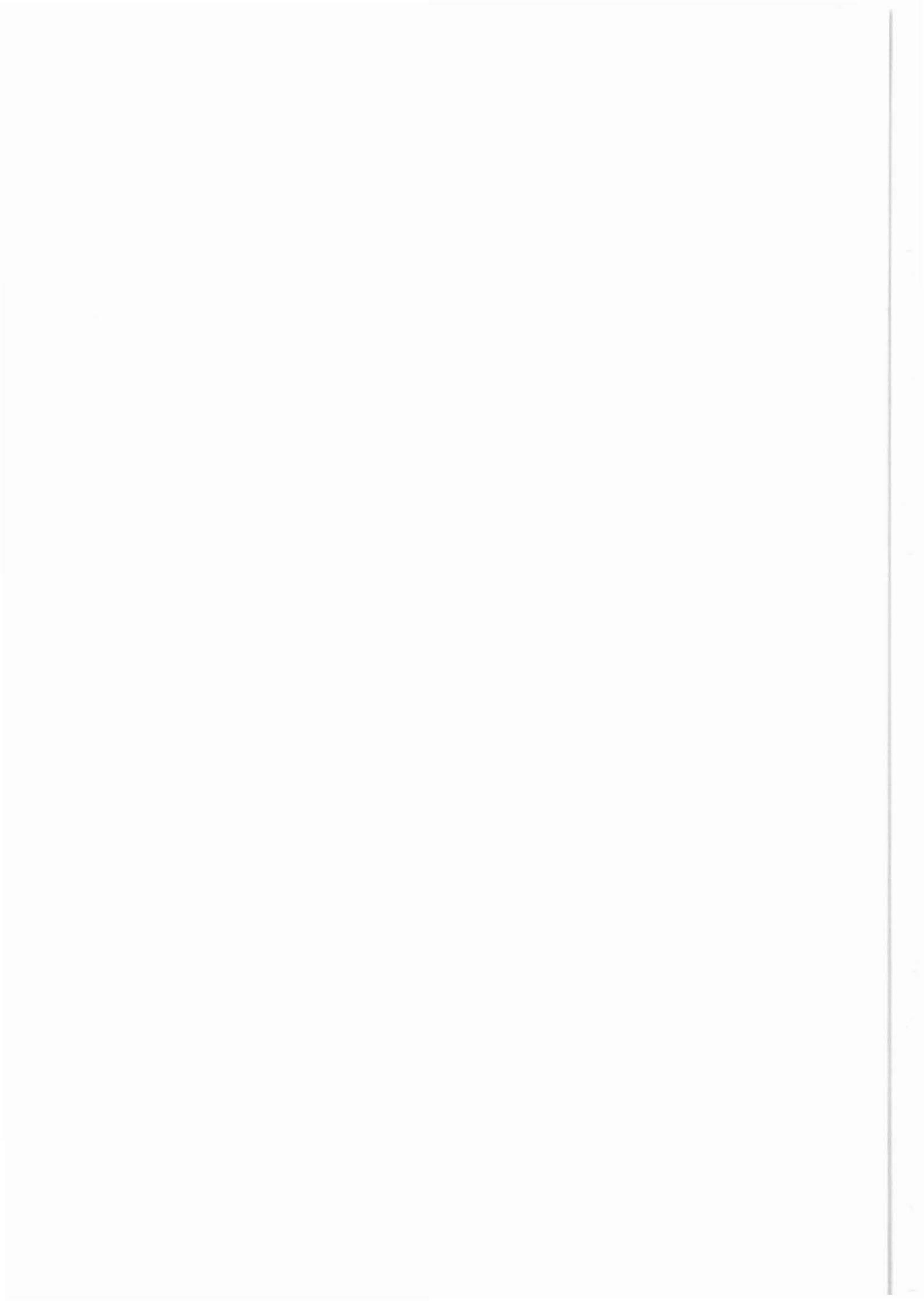
Straße, Nr. :

Plz., Ort :

Name des Empfängers:

\_\_\_\_\_  
 Ort und Datum

\_\_\_\_\_  
 Unterschrift



An das  
 Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung  
 –KTB– Projektleitung–  
 z. Hd. Herrn J. Draxler  
 Stilleweg 2  
 3000 Hannover 51

**Betr.: Anforderung von KTB–Bohrlochmeßdaten**

Zur Bearbeitung der gewonnenen Bohrlochmeßdaten  
 bitte(n) ich/wir um Übersendung folgender Daten:

Messung Auswertung Test KTB–Ifd. Nr.	Datum	Intervall		Datenträger					Bemerkungen
		von	bis	Pause, Transp.	Pause, Papier	Band, Floppy	Daten– liste	Bericht, Veröff.	

Mit der Entgegennahme der Daten erwächst dem Empfänger die Pflicht, der KTB–Projektleitung oder/und dem KTB–Schwerpunkt im Rahmen der ARGEN über den Fortgang der Arbeiten jährlich zu berichten. Erstveröffentlichungen sind für die KTB–Report Reihe vorzusehen.

Bitte senden Sie die angeforderten Daten an:

Institut/Amt/Firma:

Straße, Nr. :

Plz., Ort :

Name des Empfängers:

\_\_\_\_\_  
 Ort und Datum

\_\_\_\_\_  
 Unterschrift

