

KTB REPORT 91-3

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz HB

Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung
im KTB-Feldlabor

Bericht 1 zur KTB-Hauptbohrung Teufenbereich von 0–1720 m



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

Redaktion: R. Emmermann, H.-G. Dietrich, J. Lauterjung, Th. Wöhrl

Redaktion: Prof. Dr. R. Emmermann, Dr. H.-G. Dietrich,
Dr. J. Lauterjung und Dipl.-Geophys. Th. Wöhrle

Druck: Wittmann & Wäsch, 3007 Gehrden

Vertrieb: E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung

Bestellungen unter Angabe der Report-Nr. an:

E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung
Johannesstr. 3A
D-7000 Stuttgart 1

Titelbild: Luftbildaufnahme der Bohranlage UTB-1 für die
KTB-Hauptbohrung mit dem sog. Feldlabor im
Hintergrund (Foto Hoffmannsbeck, Oktober 1990)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln
des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (For-
schungszeichen: RG 9001-0) gefördert. Die Verantwortung für den
Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Hannover 1991

Nachdrucke, Vervielfältigungen und Übersetzungen, Verwendung
in Funk und Fernsehen, Wiedergabe auf photomechanischem oder
ähnlichem Wege und Speicherung in DV-Anlagen sind - auch aus-
zugsweise - genehmigungspflichtig.

Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Anschrift des Herausgebers: Projektleitung KTB im Nieder-
sächsischen Landesamt für Bodenforschung, Postfach 51 01 53,
D-3000 Hannover 51, Telefon: (0511) 643-2675

ISSN 0939-8732
ISBN 3-928559-02-8

VORWORT

Das Feldlabor ist eine Gemeinschaftseinrichtung aller am KTB beteiligten Wissenschaftler und Wissenschaftlergruppen. Es ist seine Hauptaufgabe, vor allem durch kontinuierliche Untersuchungen an Bohrkernmaterial, Bohrklein-, Bohrspülungs- und Gasproben sowie Gesteinsfluiden und Zuflüssen aus dem Gebirge sicherzustellen, daß umfangreiche geowissenschaftliche Basisdaten und Erkenntnisse aus den beiden KTB-Bohrungen (Vor- und Hauptbohrung) gewonnen werden.

Insbesondere sollen Größen und Eigenschaften gemessen werden, die

- für kurzfristige operative Entscheidungen über die Art des Bohrens, die Durchführung von Bohrlochmessungen und -tests sowie die Probenahme erforderlich sind,
- zeitlichen Veränderungen unterliegen und so schnell wie möglich zu ermitteln sind,
- quasi kontinuierlich oder in regelmäßigen Intervallen als Funktion der Tiefe erfaßt werden müssen,
- für Korrelationen mit Aufzeichnungen und Auswertungen von Bohrlochmessungen erforderlich sind,
- für spezielle Probenahmen benötigt werden und die Basisinformation für alle nachgeschalteten Forschungsprojekte liefern, die an Universitätsinstituten oder anderen Forschungseinrichtungen durchgeführt werden.

Um diese Aufgaben erfüllen zu können, wird ein umfangreiches geowissenschaftliches Programm durchgeführt, das folgende Untersuchungen umfaßt:

- strukturelle, petrographische und mineralogische Untersuchungen an Bohrkernen und Bohrklein (Cuttings)
- Erstellung eines lithologischen Profils und einer Erstinterpretation der geologischen Strukturen
- Bestimmung der Haupt- und Spurenelemente an Bohrkernmaterial, Cuttings- und Bohrmehlproben und der Bohrspülung
- On line-Analyse der in der Bohrspülung gelösten Gase
- Messung der physikalischen Eigenschaften von Bohrkernen und Bohrklein (Cuttings und Bohrmehl)
- Dokumentation, Speicherung und Sicherung sowie Vorverarbeitung und Präsentation aller Daten für die geowissenschaftliche und technische Auswertung und Interpretation.

Während im Rahmen der 4000 m tiefen Vorbohrung über 90 % der Bohrstrecke gekernt wurde, stehen für die Gesteinsbearbeitung der Hauptbohrung für die Feststoffuntersuchung im wesentlichen nur Bohrklein und / oder Bohrmehlproben zur Verfügung. Dies trifft auf jeden Fall für den Teufenbereich von 0 bis ca. 3000 - 4000 m zu, da in diesem Bohrlochabschnitt der Hauptbohrung während des Abteufens nicht gekernt wird. Es stehen lediglich einige, im Rahmen des Bohrlochmeßprogramms gewonnene in situ-Proben zur Verfügung, die mittels Seitenkern bzw. Kernschlitzgerät aus der Bohrlochwand gewonnen werden.

IV

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Organisationsstruktur und das Arbeitsschema im Feldlabor. Zusätzlich zu den hier aufgeführten speziellen Untersuchungen ist das Feldlabor verantwortlich für die Verteilung, Verwaltung und Archivierung aller Proben und für die regelmäßige Veröffentlichung aller im Feldlabor erzielten wissenschaftlichen Ergebnisse. Bisher sind vom Feldlabor insgesamt 9 Berichte, bisher nur Ergebnisse zur Vorbohrung KTB Oberpfalz VB betreffend, erstellt und veröffentlicht worden:

KTB-Report 88-1	Teufenbereich	0	-	480	m	VB 1
KTB-Report 88-2	Teufenbereich	480	-	992	m	VB 1
KTB-Report 88-6	Teufenbereich	992	-	1530	m	VB 1
KTB-Report 88-9	Teufenbereich	1530	-	1998	m	VB 1
KTB-Report 89-2	Teufenbereich	1709	-	2500	m	VB 1a
KTB-Report 89-4	Teufenbereich	2500	-	3009.7	m	VB 1a
KTB-Report 89-5	Teufenbereich	3009.7	-	3500	m	VB 1a
KTB-Report 90-2	Teufenbereich	3500	-	4000.1	m	VB 1b
KTB-Report 90-8	Teufenbereich	0	-	4000.1	m	VB 1a,b

Für die Verteilung von Probenmaterial an die am Projekt beteiligten Arbeitsgruppen sind bis jetzt 8 ein- bzw. zweitägige "Sampling-Parties" abgehalten worden, damit die Geowissenschaftler und Techniker, die für ihre Untersuchungen benötigten Proben auswählen konnten. Den Probewünschen folgend wurden über 20000 Proben vom Feldlabor präpariert und den Wissenschaftlern und Wissenschaftlergruppen zugesandt.

Zum Feldlabor-Personal gehören gegenwärtig zwei Mitarbeiter des Projektmanagements, 16 Wissenschaftler von 9 Universitäten und 14 Techniker, die vor allem aus dem Gebiet um Windischeschenbach bzw. der Oberpfalz stammen. Dieses Personal gehört zu vier Fachbereichen: Geologie/Petrologie, Geochemie, Geophysik und Datenverwaltung.

Es untersteht organisatorisch dem Direktorat Geowissenschaften der KTB-Projektleitung. Mit der Leitung vor Ort sind Dr. H.-G. Dietrich und sein Stellvertreter Dipl.-Geophys. Th. Wöhrle beauftragt. Das wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche Personal wird im Rahmen des DFG-Projektes "Personelle Ausstattung des KTB-Feldlabors" finanziert und ist über Privat-Arbeitsverträge bei Prof. Dr. R. Emmermann an der Universität Gießen angestellt. Antragsteller dieses DFG-Projektes sind neben Prof. Dr. R. Emmermann, Gießen, Prof. Dr. H. Berckhemer, Frankfurt, Prof. Dr. G. Friedrich, Aachen, Prof. Dr. K. von Gehlen, Frankfurt, Prof. Dr. Ing. O. Natau, Karlsruhe, Prof. Dr. H. Soffel, München, Prof. Dr. B. Stöckert, Bochum sowie Prof. Dr. K. Weber und Prof. Dr. K. H. Wedepohl, Göttingen.

Diese neun Antragsteller sind verantwortlich für das geowissenschaftliche Untersuchungsprogramm, das im Feldlabor durchgeführt wird, sowie für die Bereitstellung von qualifiziertem Personal, das an den Instituten für die spätere Mitarbeit im Feldlabor ausgebildet wird. Bei diesen Universitätsinstituten, die auch für die apparative Ausstattung des Feldlabors verantwortlich sind, handelt es sich um folgende Institute:

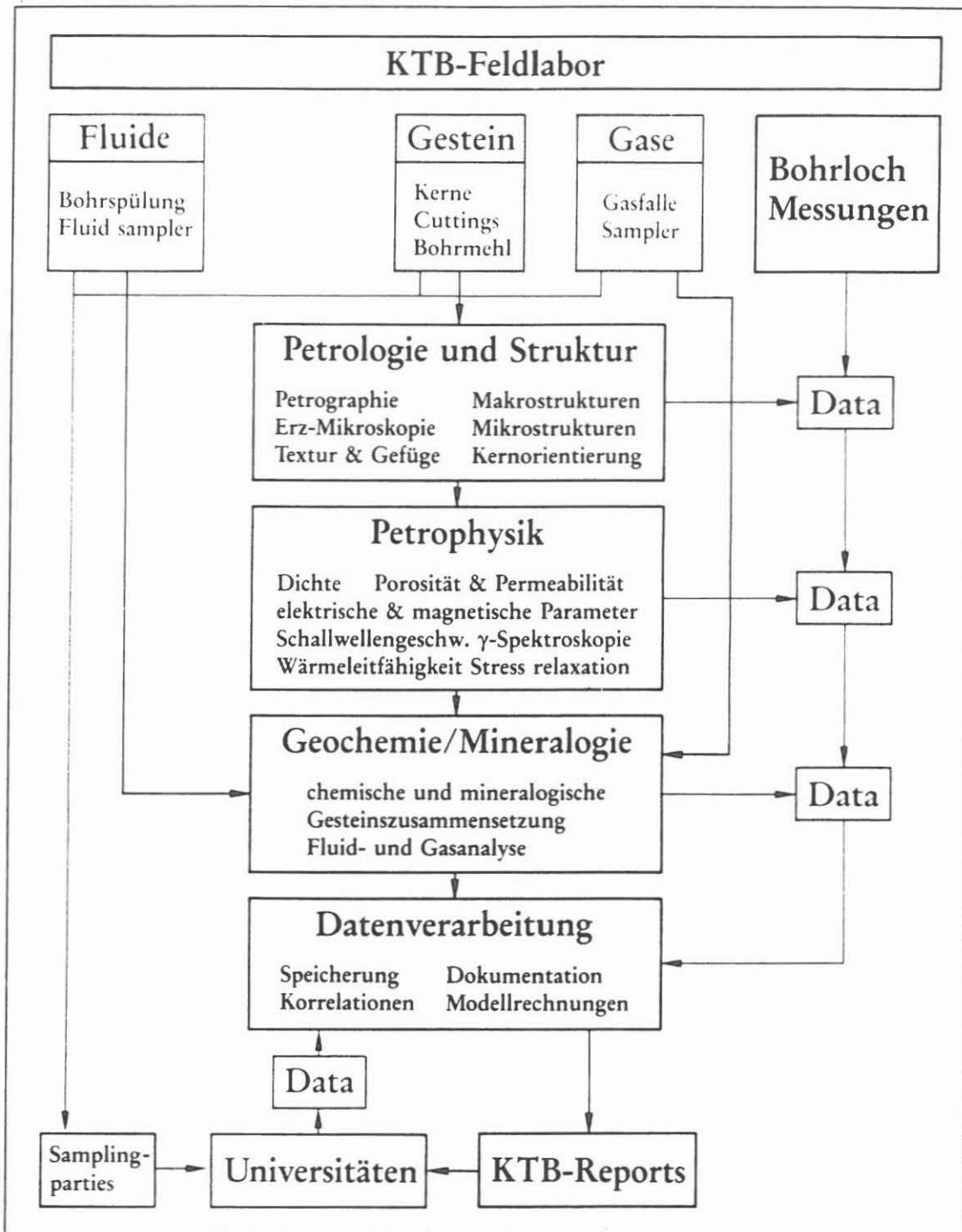


Abb. 1: Organisationsstruktur des KTB-Feldlabors

- Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung der Universität Gießen
- Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt a.M.
- Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen
- Institut für Geochemie, Petrologie und Lagerstättenkunde der Universität Frankfurt a.M.
- Institut für Boden- und Felsmechanik der Universität Karlsruhe
- Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München
- Institut für Geologie der Ruhr-Universität Bochum
- Institut für Geologie und Dynamik der Lithosphäre der Universität Göttingen und
- Geochemisches Institut der Universität Göttingen.

Literaturverzeichnis:

Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Heinisch, M. & Wöhrle, Th. (eds., 1988), Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 0 - 480 m. - KTB Report 88-1, Projektleitung Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung.

Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Heinisch, M. & Wöhrle, Th. (eds., 1988), Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 480 - 992 m. - KTB Report 88-2.

Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Heinisch, M. & Wöhrle, Th. (eds., 1988), Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 992 - 1530 m. - KTB Report 88-6.

Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Heinisch, M. & Wöhrle, Th. (eds., 1988), Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 1530 - 1998 m. - KTB Report 88-9.

Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Heinisch, M. & Wöhrle, Th. (eds., 1989), Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 1709 - 2500 m. - KTB Report 89-2.

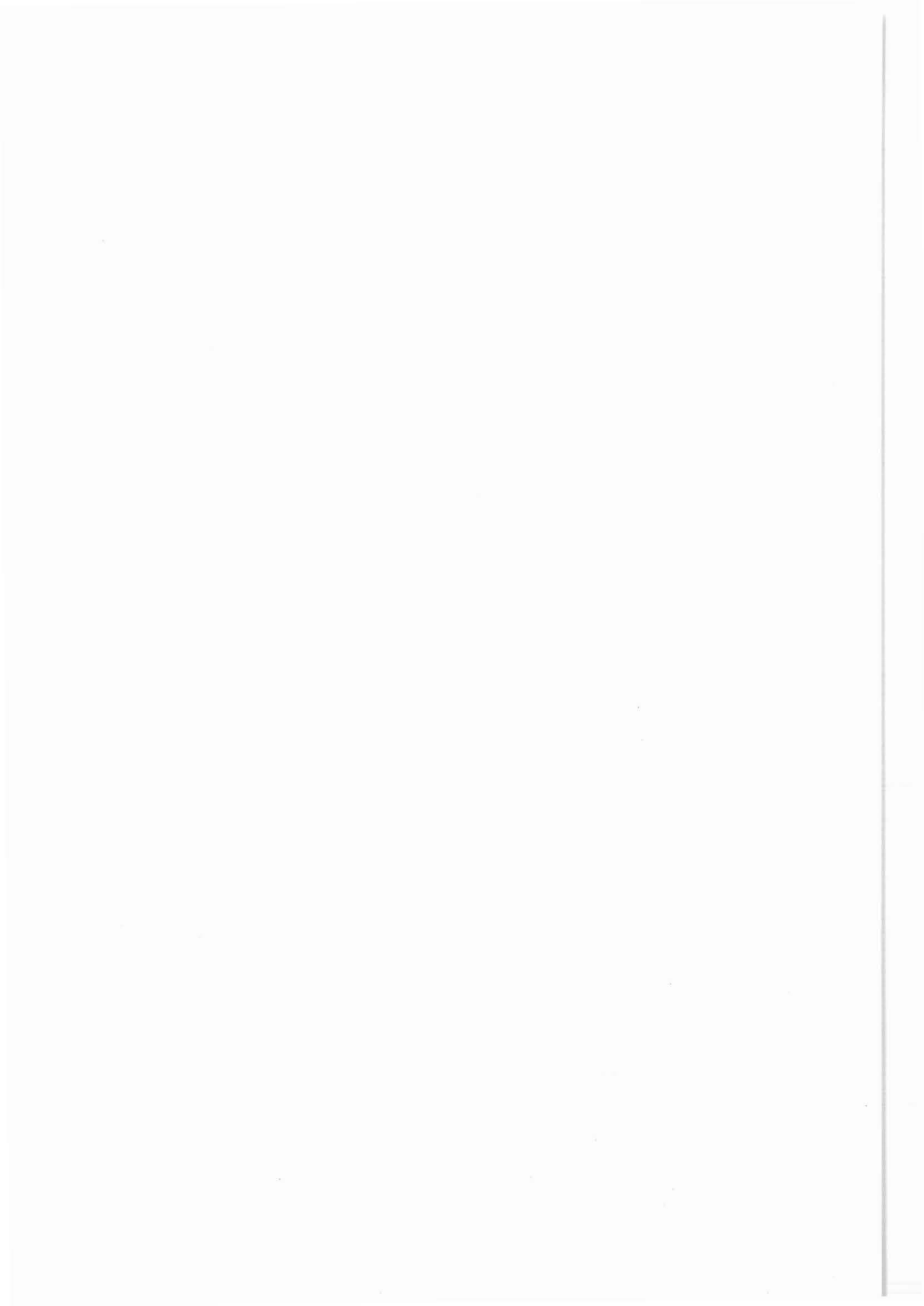
Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Heinisch, M. & Wöhrle, Th. (eds., 1989), Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 2500 - 3009.7 m. - KTB Report 89-4.

VII

Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Heinisch, M. & Wöhrl, Th. (eds., 1989), Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 3009.7 - 3500 m. - KTB Report 89-5.

Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Lauterjung, J. & Wöhrl, Th. (eds., 1990), Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 3500 - 4000.1 m (E.T.). - KTB Report 90-2.

Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Lauterjung, J. & Wöhrl, Th. (eds., 1990), KTB Pilot Hole, Results of Geoscientific Investigation in the KTB Field Laboratory, 0 - 4000.1 m. - KTB-Report 90-8.



Tiefbohrung KTB OBERPFALZ HB
Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung
im KTB-Feldlabor
Bericht 1 zur KTB-Hauptbohrung

Teufenbereich von 0 - 1720 m

INHALTSVERZEICHNIS	SEITE
VORWORT	
A.	Einleitung
A.1	Allgemeines A 3
A.2	Bohrtechnik A 3
A.3	Probenahme A 6
A.3.1	Art der Proben und Probenahmestellen A 10
A.3.2	Teufenkorrelation bei der Probenahme A 14
A.4	Sonstiges A 25
A.5	Literaturverzeichnis A 26
B.	Geologie
	Zusammenfassung B 3
	Abstract B 4
B.1	Einführung B 5
B.1.1	Geologischer Rahmen B 5
B.1.2	Ergebnisse der Vorbohrung B 7
B.1.3	Arbeitsmethodik B 9
B.2	Geologisches Profil B 14
B.3	Gneise und Kalksilikatgesteine B 16
B.3.1	Paragneise B 16
B.3.2	Plagioklas-reiche, Kalksilikat-führende Gneise B 19
B.3.3	Hornblende-Biotit-Gneise B 20
B.3.4	Kalksilikat-Gesteine und Kalksilikat-Marmore B 20
B.3.5	Mineralogische und chemische Zusammensetzung der Paragneise B 23

X

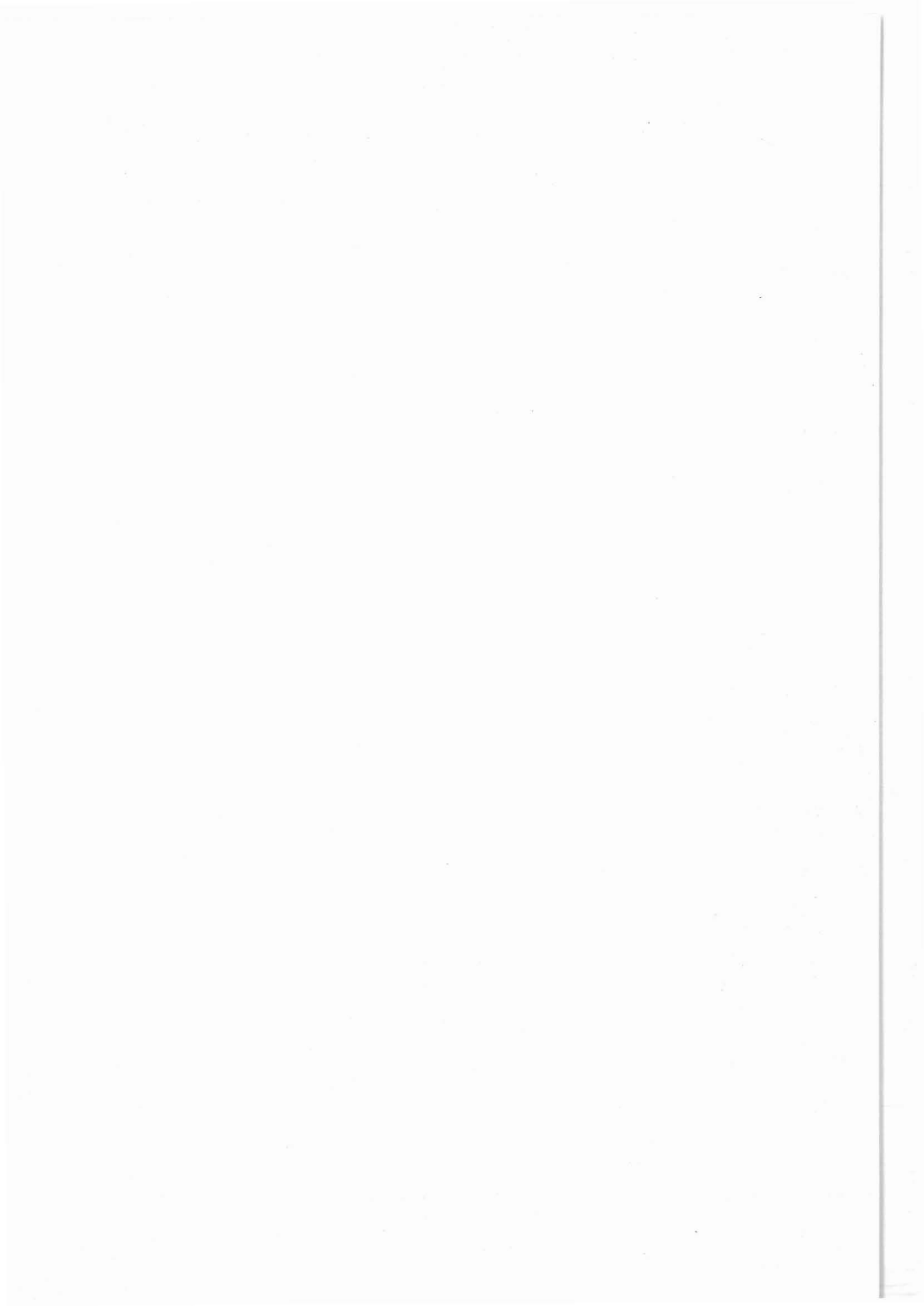
B.4	Metabasite	B 27
B.4.1	Petrographie	B 27
B.4.2	Chemische Zusammensetzung der Metabasite	B 29
B.5	Lamprophyre	B 39
B.6	Erzmineralisation	B 44
B.6.1	Sulfidische Erzminerale	B 44
B.6.2	Oxidische Erzminerale	B 46
B.6.3	Sonstige Erzminerale	B 49
B.6.4	Altersstellung	B 51
B.6.5	Erzmineralführung und Suszeptibilität	B 53
B.7	Strukturen und Gefüge	B 58
B.7.1	Faltenstrukturen	B 58
B.7.2	Kataklasite und kataklastisch deformierte Gesteine	B 58
B.7.3	Kluftmineralisation	B 63
B.7.4	Störungszonen	B 67
B.8	Korrelation Vorbohrung - Hauptbohrung	B 72
B.9	Literaturverzeichnis	B 81
	Anhang	B 84
C.	Geochemie	
	Zusammenfassung	C 2
	Abstract	C 2
C.1	Einleitung	C 3
C.2	Bohrspülungsanalytik	C 4
C.2.1	Bohrspülungszusatz - Dehydril-HT	C 4
C.2.2	Aufbereitungsverfahren und Meßmethoden	C 4
C.2.3	Spülungstechnische Parameter und Maßnahmen	C 6
C.2.4	Ergebnisse und Diskussion	C 7
C.3	Gasanalytik	C 13
C.3.1	Allgemeines	C 13
C.3.2	Analysenmethoden	C 13
C.3.3	Probennahme	C 14
C.3.4	Ergebnisse	C 18
C.3.4.1	Gasfreisetzung während des Bohrens	C 18
C.3.4.2	Tripgase	C 20
C.3.4.3	Heliumeinleitungsteste	C 22
C.3.4.4	Einfluß der Bohrspülung auf die Gasfreisetzung	C 23
C.3.5	Diskussion	C 25
C.4	Schriftenverzeichnis	C 26
C.5	Danksagung	C 27

C.6	Anhang Zusammenstellung sämtlicher Spülungs- einleitungen	C 28
D.	Geophysik	
D	Einleitung	D 2
D.1	Dichte	D 3
D.1.1	Meßmethodik	D 3
D.1.2	Darstellung der Meßergebnisse	D 4
D.1.3	Vergleich Haupt- / Ertweiterungsbohrung	D 6
D.2	Gamma-Spektroskopie	D 7
D.2.1	Methodenbeschreibung	D 7
D.2.2	Ergebnisse	D 8
D.3	Suszeptibilität	D 16
C.3.1	Methodenbeschreibung	D 16
D.3.2	Ergebnisse	D 17
D.4	Wärmeleitfähigkeit	D 20
D.4.1	Meßmethode	D 20
D.4.2	Auswertung	D 21
D.4.3	Berechnung der WLF aus Modalbestand	D 21
D.4.4	Ergebnisse	D 22
D.4.5	Zusammenfassung	D 24
D.5	Literaturverzeichnis	D 25
E.	Felsmechanik	
E.1	Allgemeines	E 3
E.2	Versuchsdurchführung	E 4
E.3	Vorversuche an Material der KTB-Vorbohrung	E 5
E.4	Erste Untersuchungen an Material der KTB-Hauptbohrung im Testintervall 0 m bis 600 m	E 6
E.5	Ausblick für weitere Arbeiten	E 9
E.6	Literaturverzeichnis	E 9
F.	Bohrkernorientierung und Teufenkorrelation der KTB Vorbohrung	
F.1	Allgemeines	F 2
F.2	Methode der Bohrkernorientierung	F 2

F.3	Ergebnisse	F	3
F.3.1	Orientierung der Bohrkerne	F	3
F.3.2	Teufenkorrelation Bohrkern/FMS-Log	F	3
F.4	Zusammenfassung und Empfehlungen	F	3
F.5	Literatur	F	4
	Anhang	F	6
G.	Gefüge und Deformation		
G.1	Einführung	G	2
G.2	Daten	G	3
G.3	Ergebnisse und Interpretation	G	4
G.3.1	Schersinnumkehr	G	6
G.3.2	Richtung und Scherbewegung	G	6
G.3.3	Polarität der Scherrichtung	G	9
G.3.4	Interpretation der einzelnen Teufen- abschnitte	G	9
G.4	Ausblick	G	11
G.5	Literatur	G	11
G.6	Anhang: Datenliste der Scherkriterien von 2004 bis 3569 m	G	13
H.	Felsmechanik (Nachtrag zur KTB-Vorbohrung)		
H.1	Einleitung	H	3
H.2	Ergebnisse der felsmechanischen Index- versuche	H	5
H.2.1	Einaxiale Druckfestigkeitsversuche	H	5
H.2.1.1	Einaxiale Druckfestigkeiten im Teufen- bereich von 3000 bis 3575 m (Biotit- Gneise)	H	6
H.2.1.2	Einaxiale Druckfestigkeiten im Teufen- bereich unterhalb von 3575 m (Meta- basite)	H	8
H.2.1.3	Einaxiale Druckfestigkeiten im Bereich von Störungs- und Kataklasezonen	H	10
H.2.2	Indirekte Zugfestigkeitsversuche	H	11
H.2.2.1	Indirekte Zugfestigkeiten im Teufenbe- reich von 3000 bis 3575 m (Biotit- Gneise)	H	13
H.2.2.2	Indirekte Zugfestigkeiten im Teufenbe- reich unterhalb von 3575 m (Metabasite)	H	13
H.3	Literaturverzeichnis	H	14
I.	Das automatische Probenahmesystem für die Hauptbohrung des KTB		
	Anlagen	I	1

A. Einleitung

H.-G. Dietrich
N. Gleiß
J. Hansmann
J. Lauterjung
Th. Wöhr



KTB-Report	91-3	A1-A26	32 Abb.	Hannover 1991
------------	------	--------	---------	---------------

A. Einleitung

¹Dietrich, H.-G., ¹Gleiß, N., ¹Hansmann, J., ²Lauterjung, J.
& ¹Wöhrl, Th.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

A.1	Allgemeines	A 3
A.2	Bohrtechnik	A 3
A.3	Probenahme	A 6
A.3.1	Art der Proben und Probenahmestellen	A 10
A.3.2	Teufenkorrelation bei der Probenahme	A 14
A.4	Sonstiges	A 25
A.5	Literaturverzeichnis	A 26

Anschriften der Verfasser:

- 1) KTB-Feldlabor, Postfach 67, 8486 Windischeschenbach
- 2) Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung
der Justus-Liebig-Universität, Senckenbergstr. 3,
6300 Gießen

A. Einleitung

A.1 Allgemeines

In diesem Report werden die geowissenschaftlichen Ergebnisse der bohrungsbegleitenden Untersuchungen im KTB-Feldlabor für den Teufenbereich von 0 - 1720 m der Hauptbohrung KTB OBERPFALZ HB dargestellt. Die Bohrung begann am 6. Oktober 1990 und erreichte die Berichtsteufe am 2. März 1991. Unter Berücksichtigung der bereits erschienenen Berichte zur KTB-Vorbohrung (z. B. Emmermann et al. 1990) ist dies der insgesamt 10. Bericht des Feldlabors.

Das zu diesem Bericht gehörende Übersichtsprofil mit den geologisch relevanten Daten findet sich im Maßstab 1 : 400 am Ende des Reports (Blatt 1 - 7).

Ergänzt wird die aktuelle Darstellung der Untersuchungsergebnisse des Feldlabors zur KTB-Hauptbohrung durch folgende zusätzliche Berichte zur Vorbohrung KTB Oberpfalz VB:

- Bohrkernorientierung und Teufenkorrelation der KTB-Vorbohrung. Abschlußbericht mit Ergebnissen von J. Kohl, J. Kück, J. Sigmund und Th. Wöhrle (vgl. Kapitel F.).
- Kontinuierliche makroskopische Aufnahme kinematischer Markierungen an Kernen der KTB-Vorbohrung zur qualitativen Abschätzung der duktilen Verformung im Teufenbereich von W. Springer, H. Heinisch und A. Zadow.
- Nachtrag zur KTB-Vorbohrung. Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB - Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im Feldlabor, Teufenbereich von 3000 - 4000 m, Felsmechanik von Th. Röckel und O. Natau (vgl. Kapitel H).
- Das automatische Probenahmesystem für die Hauptbohrung des KTB von M. Heinisch (vgl. Kapitel I.)

Wie die beiden Luftaufnahmen (Abb. A.1.1 und A.1.2) zeigen, befindet sich die Hauptbohrung im östlichen, die Plattform der Vorbohrung im westlichen und das Zentralgebäude im nördlichen Bereich der Bohrlokation. Die Entfernung zwischen den beiden Bohransatzpunkten beträgt etwa 200 m und von der Vor- und Hauptbohrung etwa 100 bzw. 150 m.

A.2 Bohrtechnik

Nach dem offiziellen Start der KTB-Hauptphase mit der Einweihung der Bohranlage UTB-1 GH 3000EG, der größten Landbohranlage der Welt, am 8. September 1990 durch den Bundesminister für Forschung und Technologie begann der Bohrbetrieb am 6. Oktober 1990. Die Berichtsteufe von 1720 m wurde am 2. März 1991 erreicht (Abb. A.2.1 und Tab. A.2.1).

Entsprechend der Vorplanung wurde zunächst mit 17 1/2" Rollenmeißeln bis 305 m vorgebohrt. Dabei wurden die beiden Vertikalbohrsysteme ZBE 5000 und VDS-3 sowie eine voll stabilisierte 17 1/2" Bohrgarnitur (PHA) erfolgreich eingesetzt (z. B. Chur et al. 1990a, 1990b, Emmermann 1990, Emmermann und Rischmüller 1990, Rischmüller 1990, 1991). Da sich nach Bohrlochmessungen in diesem 17 1/2" Bohrloch im

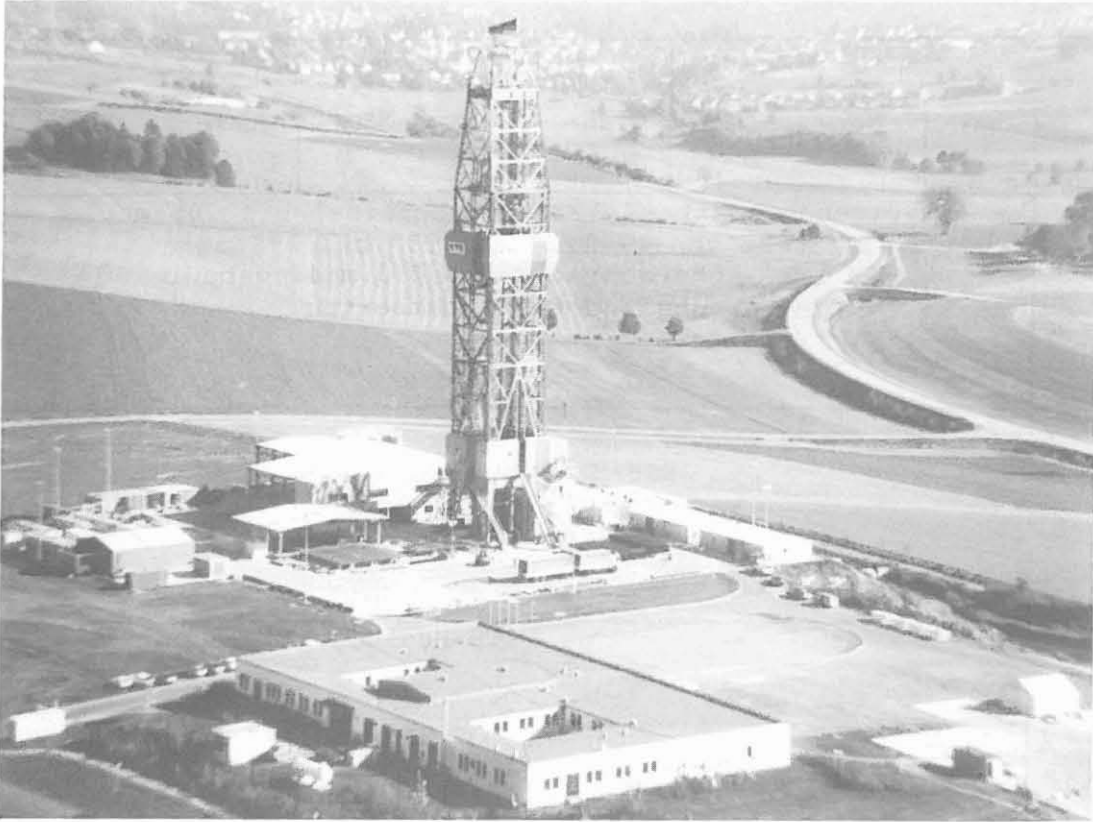


Abb. A.1.1: Luftbildaufnahme der Bohranlage UTB-1 für die KTB-Hauptbohrung mit dem sog. Feldlabor im Vordergrund und Windischeschenbach im Hintergrund (Foto Hoffmannsbeck, Oktober 1990).

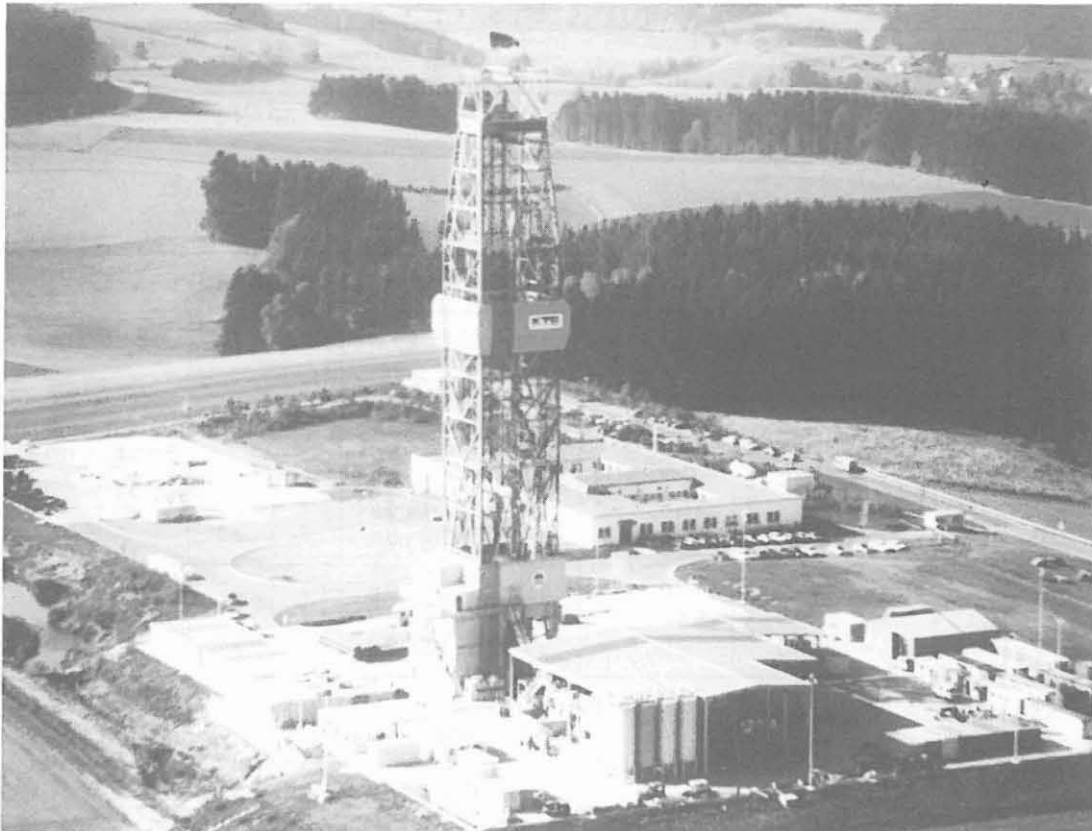


Abb. A.1.2: Luftbildaufnahme der KTB-Bohrlokation mit dem Bohrplatz der Vorbohrung in der linken Bildhälfte (Foto Hoffmannsbeck, Oktober 1990).

Teufenbereich zwischen ca. 270 m und 305 m ein Neigungsaufbau bis 2° ergab, wurde dieser Bohrlochabschnitt von 305 m - 250 m rückzementiert. Für den anschließend geplanten Einbau der 24 1/2" Ankerrohrtour wurde das Bohrloch von 17 1/2" auf 28" Bohrlochdurchmesser erweitert. Während bis 269.4 m 28" Erweiterungsmeißel (Hole Opener) zum Einsatz kamen (Abb. A.2.2), wurde bis zur Verrohrungsteufe bei 292.0 m eine voll stabilisierte Bohrgarnitur mit 28" Zahnmeißel zum Aufbohren und zur Begradigung des rückzementierten Bohrlochabschnittes eingesetzt (A.2.3.).

Nach dem Einbau der 24 1/2"-Verrohrung, dem Zementieren des Ringraums zwischen Verrohrung und Gebirge vom Rohrschuh (290 m) bis nach übertage, dem Aufbohren des Rohrschuhs und dem Bohren eines 17 1/2"-Führungsbohrloches bis 306 m wurde die von der Zementation kontaminierte Bohrspülung vor dem weiteren Abteufen der KTB-Hauptbohrung ausgeschert und durch frisch angesetzte Dehydril HT-Bohrspülung ersetzt.

Von 305 m bis 1720.0 m wurde die Bohrung mit 17 1/2"-Warzenmeißeln in Kombination mit verschiedenen Bohrgarnituren (Bottom Hole Assemblies = BHA) abgeteuft. Zum Einsatz kamen dabei wie bereits oberhalb 305 m die beiden Vertikalbohrsysteme VDS-3 und ZBE 5000 (Abb. A.2.4 und A.2.5). Außerdem wurde mit zwei Motorsteuersystemen (MSS-1 und MSS-2) und einer voll stabilisierten Bohrgarnitur (PHA) gebohrt. Während letztere sowohl ohne als auch mit einer Universalelektronik mit Datenpulser zur on line-Datenübertragung der Bohrlochabweichung von der Vertikalen eingesetzt wurden, gehörten entsprechende Datenerfassungs- und Übertragungssysteme zur Standardausrüstung der o.g. Vertikalbohrsysteme.

Bis zur Berichtsteufe wurden im Rahmen des Bohrlochmeßprogramms neben mehreren orientierten Bohrlochkaliber- und Abweichungsmessungen (BGL) drei größere Meßkampagnen durchgeführt und zwar bei 305 m vor Beginn der Erweiterung von 17 1/2" auf 28" für den Einbau der 24 1/2"-Ankerrohrtour, bei ca. 762.5 m und bei der Berichtsteufe von 1720 m. Bis zu dieser Teufe weicht die Hauptbohrung etwa 0.7° von der Vertikalen ab; die horizontale Gesamtabweichung beträgt in dieser Teufe ca. 2 m.

Abb. A.2.6 gibt einen Überblick über die verschiedenen Bohr- und Verrohrungsabschnitte der Bohrung bis zur Berichtsteufe bei 1720 m.

Über den aktuellen Stand der KTB-Hauptbohrung wird seit Dezember 1990 auch in der Rubrik "Nachrichten" der Zeitschrift Erdöl Erdgas Kohle monatlich berichtet. Die erste Nachricht im Heft 12, 1990, 106. Jahrgang der o.g. Zeitschrift umfaßt den Zeitraum vom 6. Oktober bis 4. Dezember 1990 und den Teufenabschnitt von 0 - 633.3 m.

A.3 Probenahme

Entsprechend der Vorplanung (z.B. Emmermann und Giese 1990) ist beim Abteufen der Hauptbohrung erst unterhalb von etwa 3000 - 4000 m mit der Entnahme von Bohrkernen zu rechnen, da bis zu dieser Tiefe umfangreiches Bohrkernmaterial aus der etwa 200 m entfernten und fast vollständig gekernten Vor-



Abb. A.2.2: Beim Vorbohren bis 305 m eingesetzte 17 1/2" Warzenmeißel mit einem zum Zementaufbohren verwendeten 28" Zahnmeißel

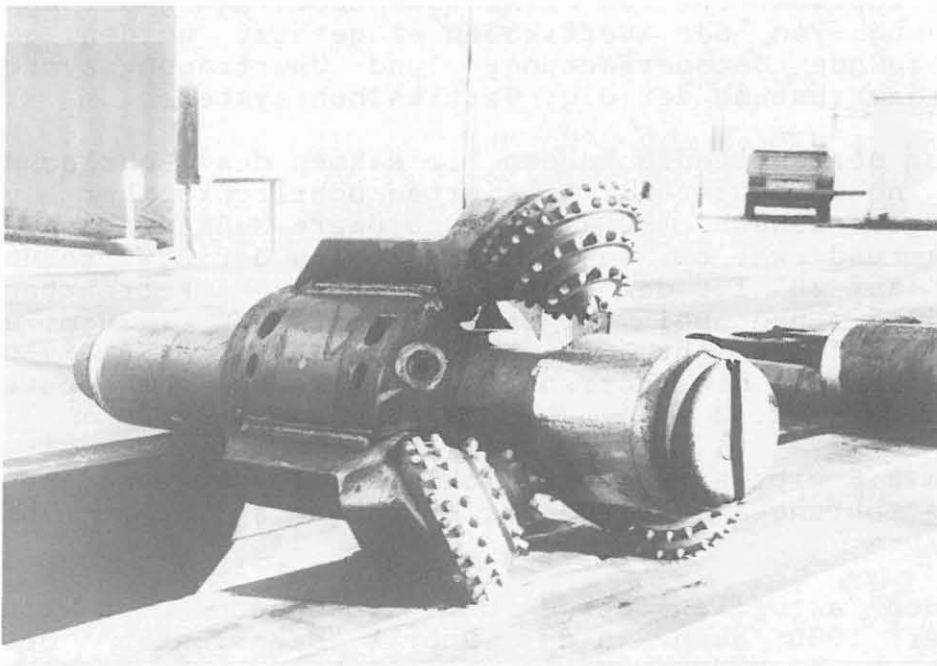


Abb. A.2.3: Im obersten Bohrlochabschnitt eingesetzte 28" Erweiterungsmeißel (Hole Opener)

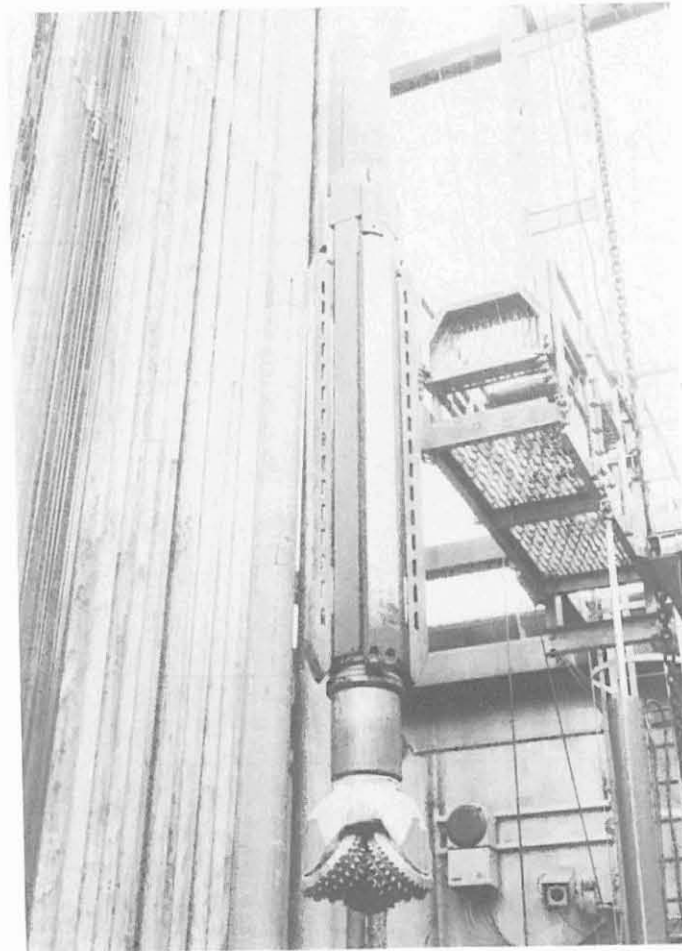


Abb. A.2.4:
Das aktive Vertikalbohrsystem ZBE 5000
mit 17 1/2" Warzenmeißel

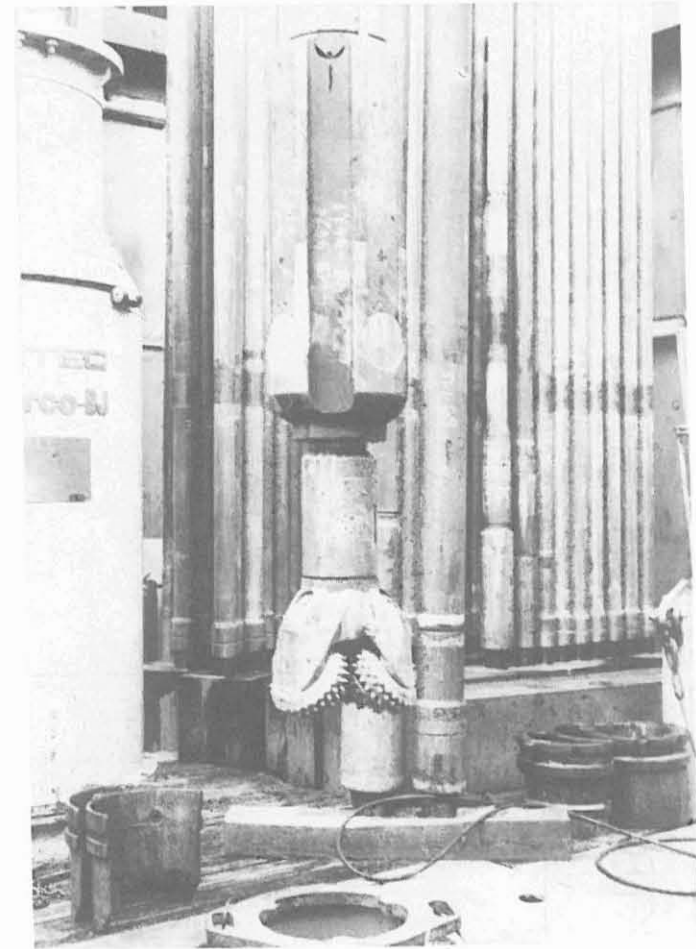
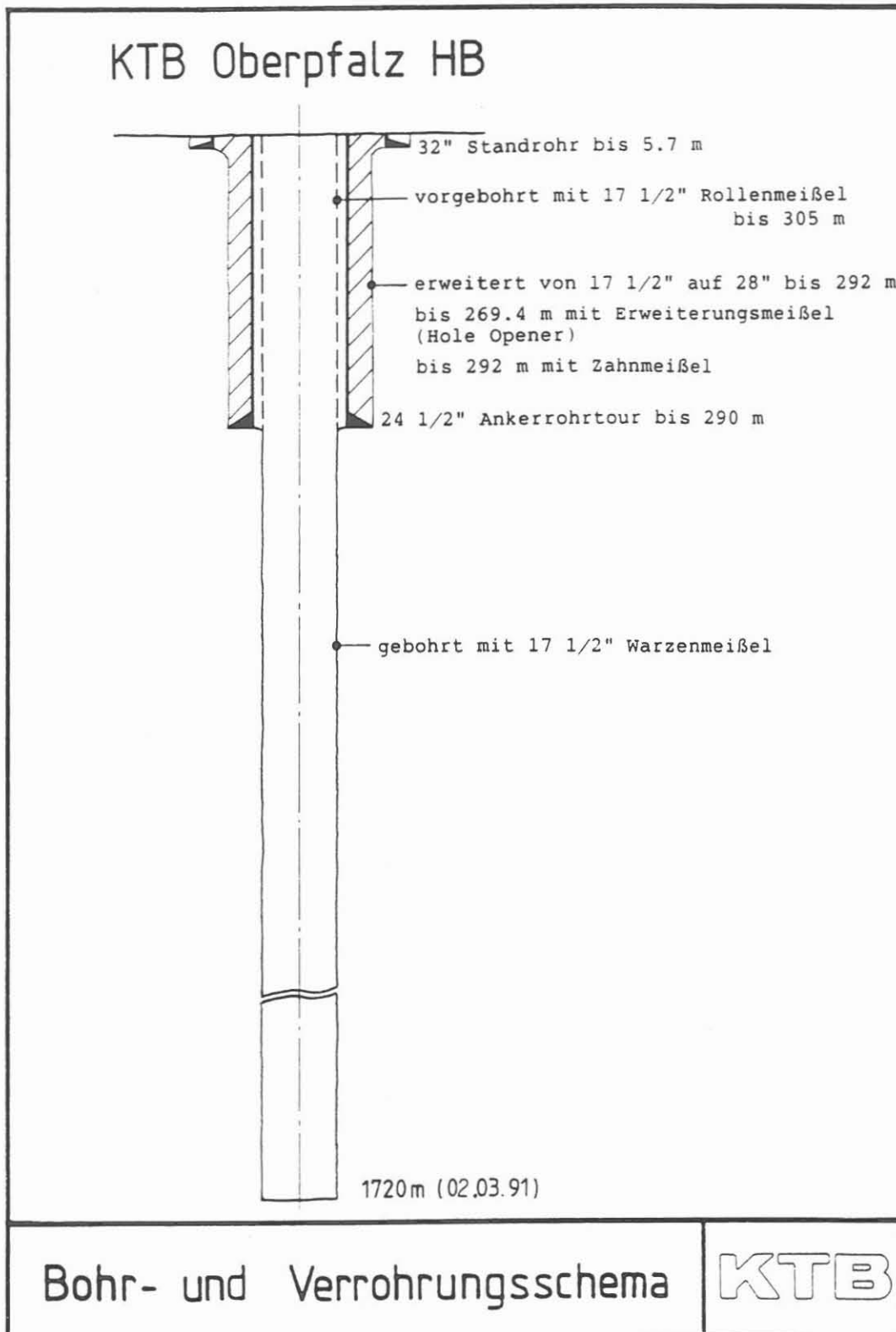


Abb. A.2.5:
Das aktive Vertikalbohrsystem VDS-3
mit 17 1/2" Warzenmeißel



KTB Feldlabor Die/Nu, 26.03.91

Abb. A.2.6: Bohr- und Verrohrungsschema der Hauptbohrung
KTB Oberpfalz HB bis 1720 m

bohrung KTB Oberpfalz VB vorliegt. Durch den Wechsel vom Seilkernbohrverfahren der Vorbohrung zum Vollmaßbohren bei der Hauptbohrung, in der nur etwa 15% gekernt werden sollen, liegen für das Berichtsintervall als Feststoffproben nur kleine Gesteinsbruchstückchen, Bohrklein/Cuttings und Bohrmehl vor. Die Abbildungen A.3.1 und A.3.2 sollen dies verdeutlichen.

A.3.1 Art der Proben und Probenahmestellen

Aus dem Teufenbereich von 0 - 1720 m liegt, wie geplant, noch kein Bohrkernmaterial vor. Somit stehen für die wissenschaftliche Untersuchung aus diesem Abschnitt der Hauptbohrung KTB Oberpfalz HB folgende Probenarten zur Verfügung:

- Feststoffe (Bohrklein, Bohrmehl, Seiten- und Schlitzkerne)
- Flüssige Proben (Bohrspülung, Fluide aus Fluidsamplern)
- Gasproben (aus der Bohrspülung und aus Fluidsamplern freigesetzte Gase)

Die Entnahmestellen der verschiedenen Proben sind im Übersichtsplan für das Spülungsfließschema dargestellt (Abb. A.3.1.1).

Bohrkleinmaterial wird bei der Hauptbohrung routinemäßig hinter dem Gasseparator aus den beiden Spülungsverteilerkästen (Schüttelsiebkästen) vor den Schüttelsieben, von den Schüttelsieben selbst und den nachgeschalteten Zentrifugen genommen (Abb. A.3.1.2 bis A.3.1.4). Für die Bezeichnung der Proben wurden hier folgende Begriffe gewählt (vgl. Abbildung A.3.1.1):

- Cuttingsfalle/Sandfalle (D)
- Cuttings (C)
- Zentrifuge (E)

In der genannten Reihenfolge nimmt die Korngröße des Bohrkleinmaterials von zum Teil mehrere Zentimeter großen Gesteinsbruchstücken über millimetergroße Partikel bis hin zum sog. Bohrmehl ab.

Die verschiedenen Bohrkleinproben wurden generell in 1.0 m-Intervallen genommen. Auch während der Bohrlocherweiterung von 17 1/2" auf 28" (s. Abschnitt A.2.) wurden die o. g. Proben an den verschiedenen Entnahmestellen für Kontroll- und ergänzende Untersuchungen genommen. Dabei variierten die Probenintervalle allerdings in Abhängigkeit von der bereits bekannten Lithologie zwischen 1.0 m und 4.0 m.

Bei der Entnahme der Bohrspülungsproben (B in Abb. A.3.1.1), die bei den Schüttelsieben erfolgt, wurden die gleichen Probenintervalle wie bei den Feststoffproben gewählt.

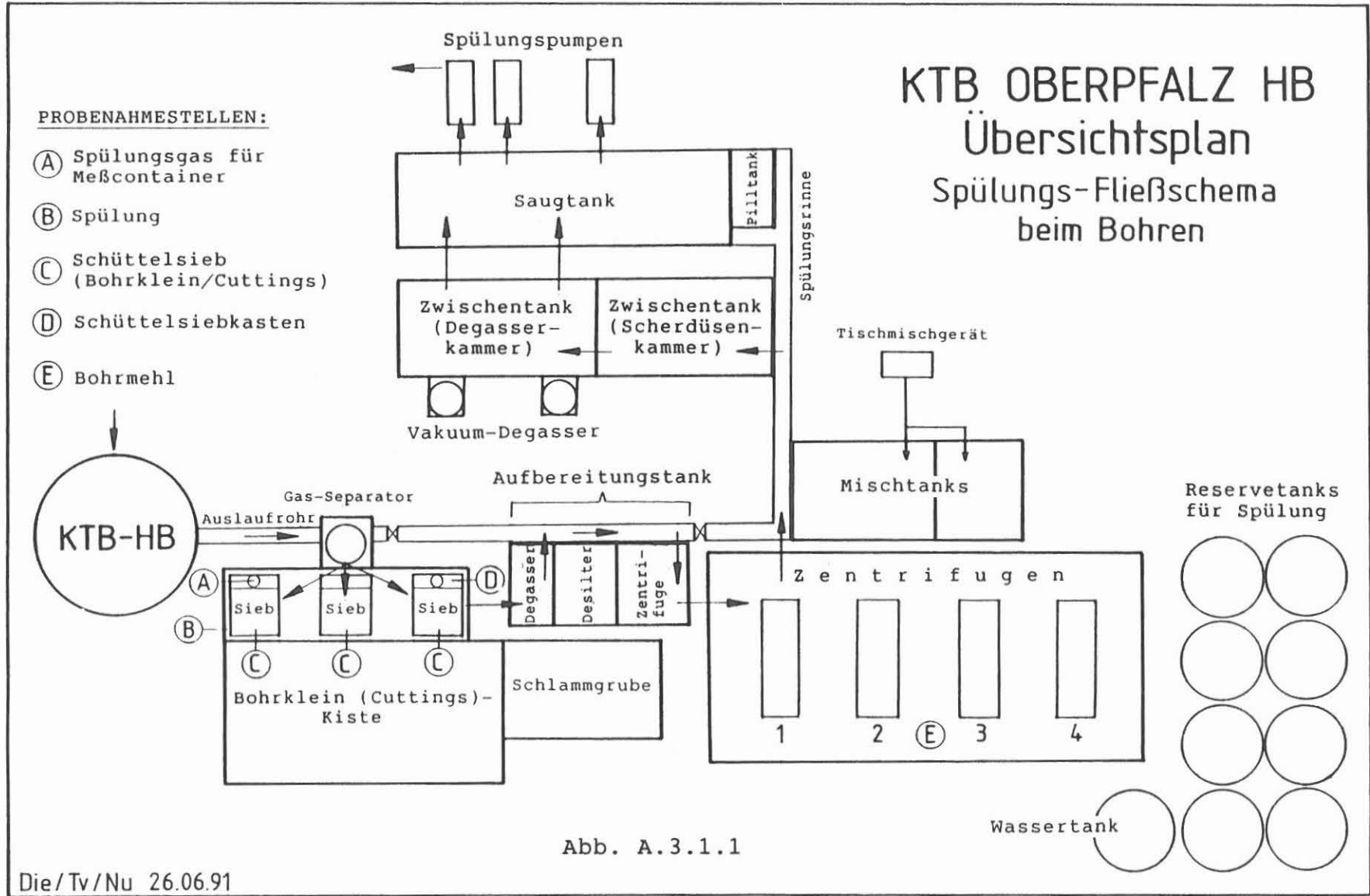
Für die Analyse und Beprobung der in der Bohrspülung gelösten Gase wurden mehrere Gasfallen in den Spülungsverteilungsrinnen vor den Schüttelsieben (A in Abb. A.3.1.1) installiert und über beheizbare Gasleitungen mit den Meßgeräten im Feldlabor-Gascontainer verbunden. Für die Gasanalyse stehen ein Gasmassenspektrometer, ein Gaschromatograph und eine



Abb. A.3.1: Übersicht über die verschiedenen Feststoffproben aus der zu 90% gekernten Vorbohrung KTB Oberpfalz VB



Abb. A.3.2: Beispiel für gewaschene, gesiebte und getrocknete Schüttelsiebproben aus der bis 1720 m nicht gekernten Hauptbohrung KTB Oberpfalz HB



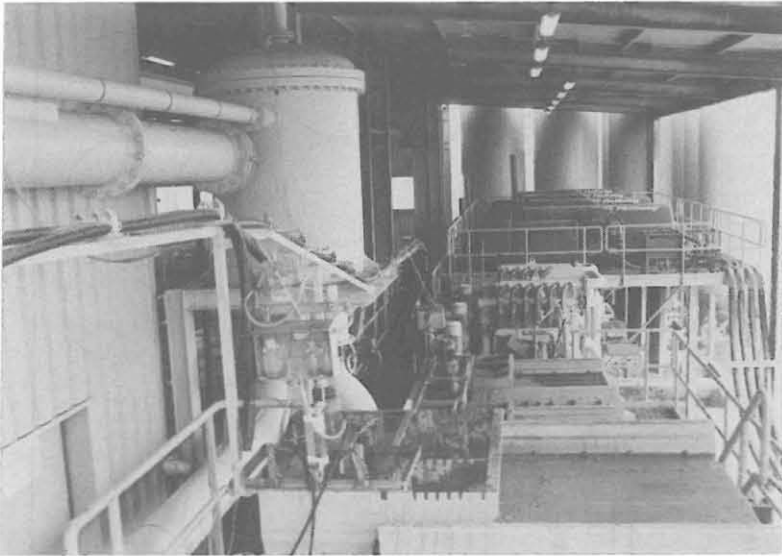


Abb: A.3.1.2:
Übersicht über die
Anordnung der Schüt-
telsiebe hinter dem
Gasseparator

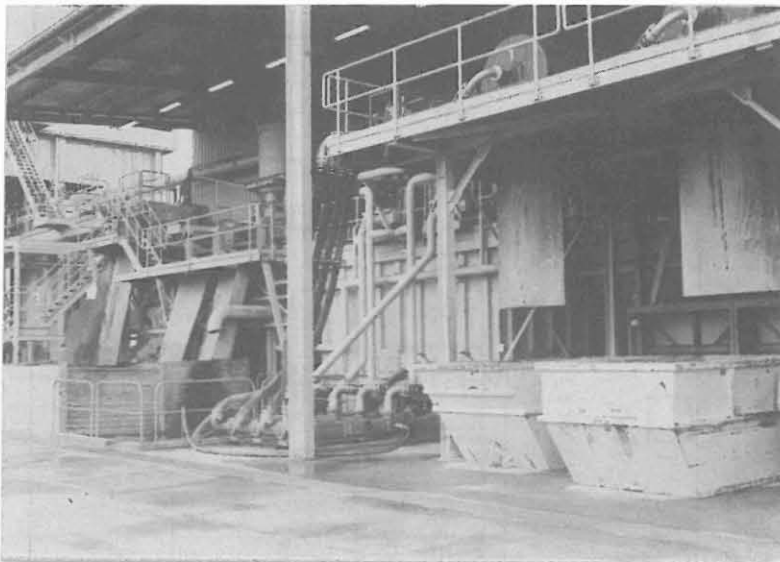


Abb. A.3.1.3:
Gesamtüberblick von
den Zentrifugen (r)
bis zum Auslaufrohr
aus der Bohrung (l)



Abb. A.3.1.4:
Gewinnung von grob-
körnigen Bohrklein-
proben aus einem
Schüttelsiebkasten,
in dem auch eine Gas-
falle installiert ist

speziell entwickelte Radon-Meßeinrichtung zur Verfügung. Auf diese Art und Weise ist es möglich, die aus der Bohrspülung freigesetzten Gase on line und kontinuierlich während des Abteufens zu analysieren (Abb. A.3.1.5). Mit Hilfe eines automatischen Gassammelsystems, daß mit dem Gaschromatographen verbunden ist, wird gewährleistet, daß entsprechend den vorgegebenen Gasschwellenwerten zu jedem Zeitpunkt automatisch Gasproben gewonnen werden können (Abb. A.3.1.6).

Neben der routinemäßigen Probenahme während des Abteufens erfolgte vor dem Einbau der 16"-Verrohrung bei 3003 m im Rahmen eines Ende Mai / Anfang Juni 1991 durchgeführten Test-Meßprogramms die Entnahme von in situ-Fluidproben aus dem Bohrloch mit einem Geocom-Fluidsampler. Anschließend wurden Gesteinsproben mit Seitenkern- und Schlitzkern/Core Slicer-Geräten der Firma Schlumberger (MSCT bzw. MCT) aus der Bohrlochwand entnommen. Der Core Slicer wurde erstmals im Kristallin getestet, nachdem Vorversuche an Kernmaterial der Vorbohrung erfolgreich verliefen (Abb. A.3.1.7 und A.3.1.8).

Um den erfolgreichen Einsatz dieser Kernentnahmegeräte nicht zu gefährden, wurde nur in solchen Teufen die Bohrlochwand beprobt, in denen der Bohrlochdurchmesser von 17 1/2" nicht wesentlich überschritten wurde. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Sonderproben wird in Tab. A.3.1.1 gegeben.

Tab. A.3.1.1: Übersicht über die Entnahme von in situ-Proben im Teufenbereich von 0 - 1720 m der Hauptbohrung KTB Oberpfalz HB

Probenart	Datum	Teufe (m)
Fluidsampler-Proben	01.06.91	701, 1530
Schlitzkerne / Core Slicer	03.06.91	306, 1193
Seitenkerne	04.06.91	510
	05.06.91	861, 968, 792, 974, 1104, 1105, 1120, 1325, 1383, 1540, 1547.5

A.3.2 Teufenkorrelation bei der Probenahme

Von besonderer Bedeutung für die Interpretation der gewonnenen Daten ist die teufenmäßige Zuordnung der übertage aus dem Spülungsstrom gewonnenen Proben. Um eine gleichmäßige Probenahme auch bei monotonen Serien zu gewährleisten, wird bereits bei der Probenahme eine Teufenkorrektur durch Berechnung der Aufstiegszeit (Lag Time) der Bohrspülung von der jeweiligen Bohrlochsohle bis zu den Beprobungsstellen übertage berechnet (vgl. Abb. A.3.2.1). Ohne diese Korrektur kann die Teufezuordnung des Materials deutlich insbesondere in Abhängigkeit von der Bohrlochtiefe, dem Ringraumvolumen zwischen Gestänge und Bohrlochwand, dem Bohrverfahren, der Zusammensetzung der Bohrspülung, der

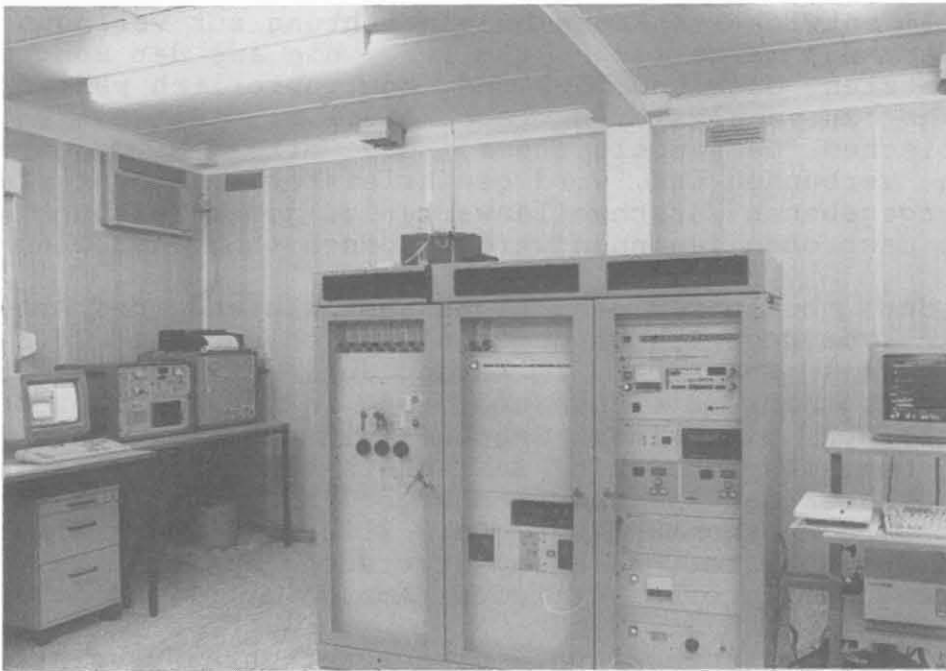


Abb. A.3.1.5: Prozeßgasmassenspektrometer und Gaschromatograph im Feldlabor-Container im Bereich der Bohranlage in einer Entfernung von ca. 30 m bis zu den Gasfallen

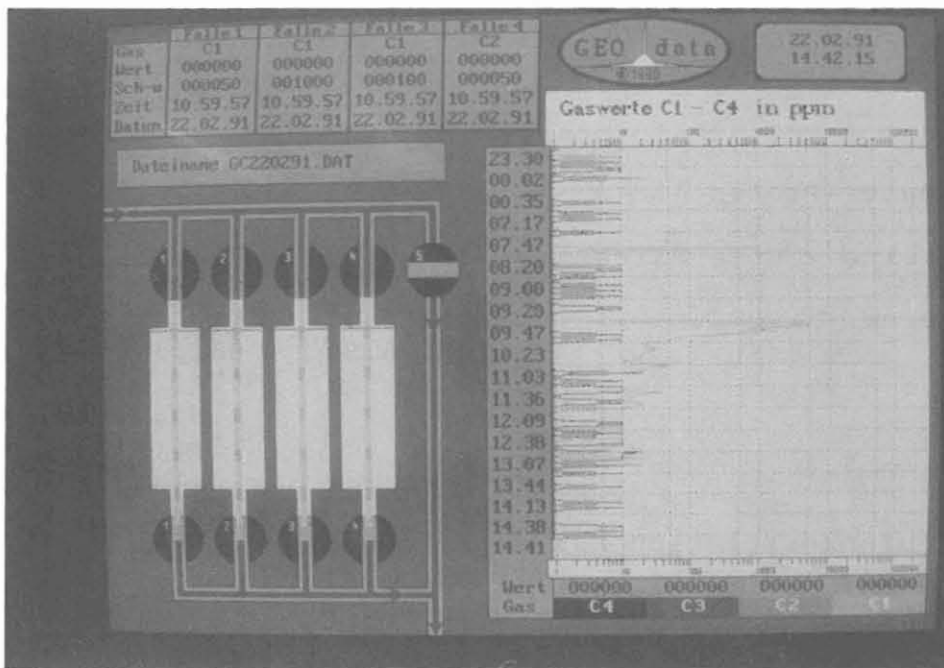


Abb. A.3.1.6: Monitoranzeige des mit einem Gaschromatographen verbundenen automatischen Gassammelsystems

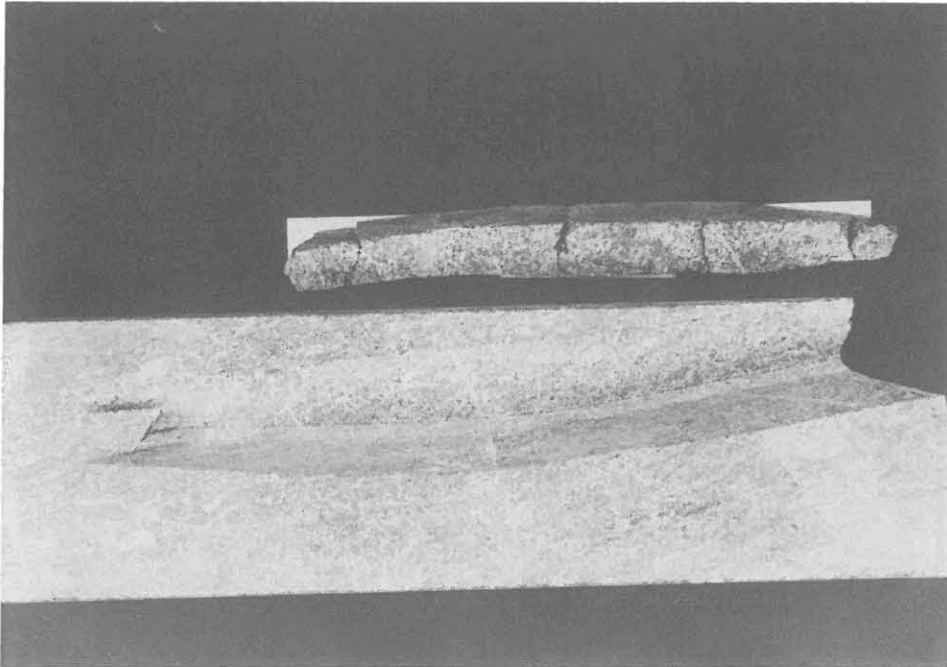


Abb. A.3.1.7: Schlitzkern-Probe aus einer Bohrkernhälfte der KTB-Vorbohrung

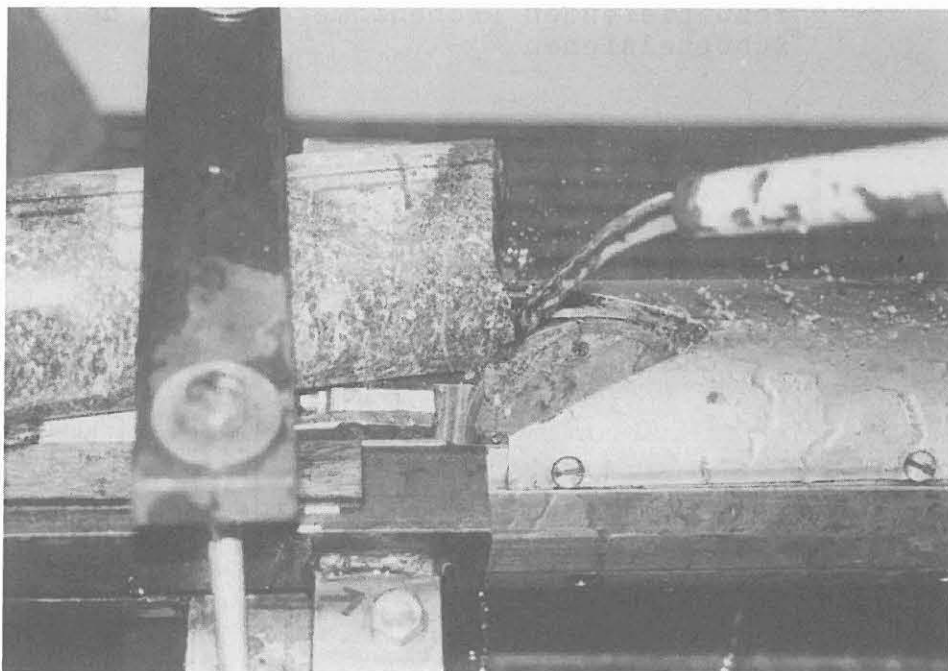


Abb. A.3.1.8: Arbeitsweise des Schlumberger Core Slicer bei der Vorerprobung

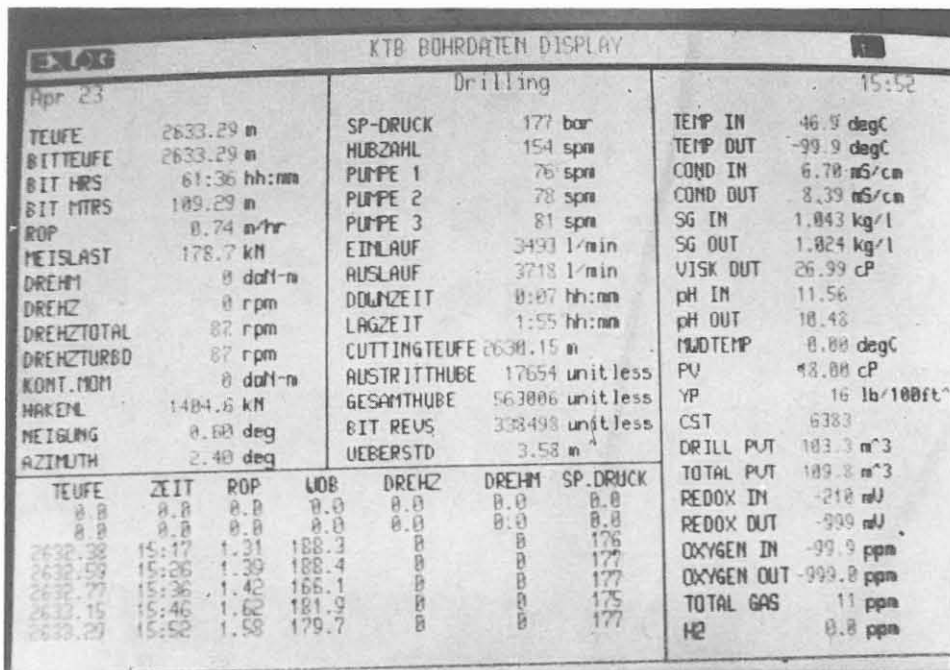


Abb. A.3.2.1: Monitoranzeige mit der aktuellen Bohrmeister-
teufe und den wichtigsten bohrtechnischen
Daten einschließlich der berechneten Aufstiegs-
zeit (Lag Time) der Proben und der daraus
resultierenden Probenahmeteufe bei den
Schüttelsieben

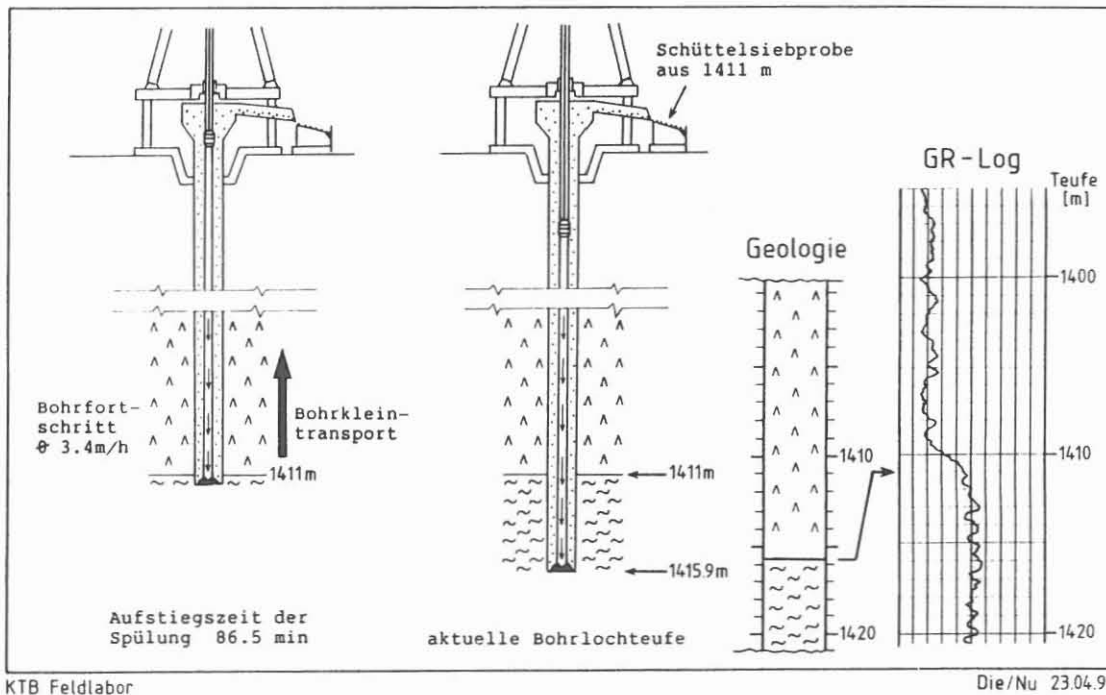


Abb. A.3.2.2: Beispiel für die Teufenkorrektur der am
Spülsaustausch genommenen Probe in Abhängig-
keit von der aktuellen Bohrteufe, dem Bohr-
fortschritt und der berechneten Aufstiegszeit
der Spülung

Pumprate und des Bohrfortschrittes von der Bohrmeisterteufe abweichen, wie Abb. A.3.2.2 verdeutlichen soll. Eine nachträgliche Teufenzuordnung einer Probe, die wie konventionell üblich nur mit der aktuellen Bohrmeisterteufe bezeichnet wird, ist auch mit Hilfe von Bohrlochmessungen vor allem bei einem lithologischen Wechsel möglich, wie in der Abbildung angedeutet wird.

Die berechneten Aufstiegszeiten werden durch Einleitungen verschiedener Gase (z.B. Helium, Abb. A.3.2.3) und / oder Feststoffe (Kyanit und Cristobalit) in die ins Bohrloch verpumpte Bohrspülung überprüft. Abb. A.3.2.4 verdeutlicht, daß es zumindest bei feinkörnigen Feststoffen mit max. Korngrößen von 175 μm (Kyanit) und 128 μ (Cristobalit) trotz verschiedener Dichten keine wesentlichen Unterschiede bezüglich Dispersion und Aufstiegsverhalten im Spülungsstrom auftreten. Das erste Auftreten beider Minerale erfolgt bei diesem Test gleichzeitig nach ca. 112 bzw. 113 min, das Maximum liegt bei beiden Feststoffen zwischen ca. 120 und 140 min, der letzte Nachweis erfolgt 160 bis 170 min nach Beginn des Aufstiegs von der Bohrlochsohle. Ein entsprechender Test zur Bestimmung der Verzögerung zwischen den Schüttelsieben und den Zentrifugen (vgl. Abb. A.3.1.1) ergab einen ersten Nachweis bei den Zentrifugen nach etwa 2 min, eine maximale Konzentration der Feststoffgehalte zwischen etwa 6 bis 14 min und einen letzten Nachweis nach 40 bis 60 min.

Weitere Tests zur Cuttingsprobenahme an den drei Schüttelsieben wurden durchgeführt, um die Verteilung des Spülungsstroms nach Passieren des Gasseparators auf die Schüttelsiebkästen und Schüttelsiebe zu bestimmen. Sowohl die Korngrößenverteilung (Abb. A.3.2.5) als auch die Verteilung der Mineralgehalte von jeweils zwei Kornfraktionen an den Schüttelsieben 1 bis 3 (Abb. A.3.2.6) zeigen, daß die drei Teilströme als repräsentativ für das Gesamtprobenahmesystem angesehen werden können.

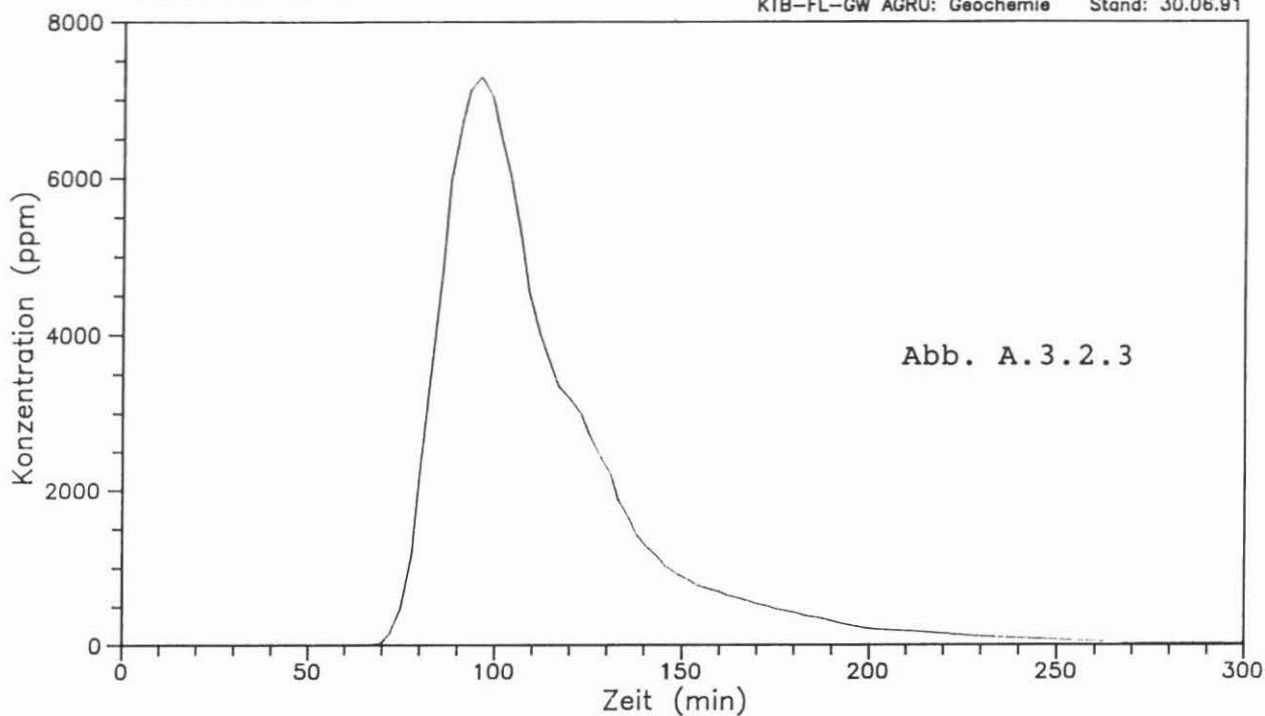
Der Vergleich röntgenographisch bestimmter Mineralkonzentrationen an den verschiedenen Bohrklein-Probenarten (Abb. A.3.2.7 und A.3.2.8) weisen darauf hin, daß prinzipiell alle Feststoffproben von dem Schüttelsiebkasten bis zu den Zentrifugen vergleichbare Ergebnisse zeigen. Eine Korrelation der Quarz- und Amphibolgehalte während eines lithologischen Wechsels mit Gamma-Ray-Logs elektrischer Bohrlochmessungen zeigen bei den Cuttingsproben die beste Übereinstimmung mit den Logs (Abb. A.3.2.9 und A.3.2.10).

Die teufenmäßige Darstellung der grobkörnigen Bohrkleinproben mit den Kornfraktionen $> 1 \text{ mm}$, $< 1 \text{ mm}$ und $> 63 \mu\text{m}$ und $< 63 \mu\text{m}$ mit dem geologischen Profil ergibt, daß in der Regel etwa 60 bis 80 % des am Schüttelsieb gewinnbaren Bohrguts Korngrößen über 1 mm besitzt. Nur in stärker durch Kataklyse und Alteration überprägten Abschnitten überwiegen feinerkörnige Fraktionen. Abb. A.3.2.11 bis A.3.2.14 verdeutlichen außerdem die Unterschiede in den Partikelgrößen zwischen Proben aus dem Schüttelsiebkasten und von den Schüttelsieben.

Helium-Einleitungs-Test 16.03.91

Einleitungsdauer 10 min
zudotiertes Helium 4,1 l/min
abgesaugte Gasmenge 0,278 l/min
Pumprate 3618 l/min
Teufe 1816,5 m

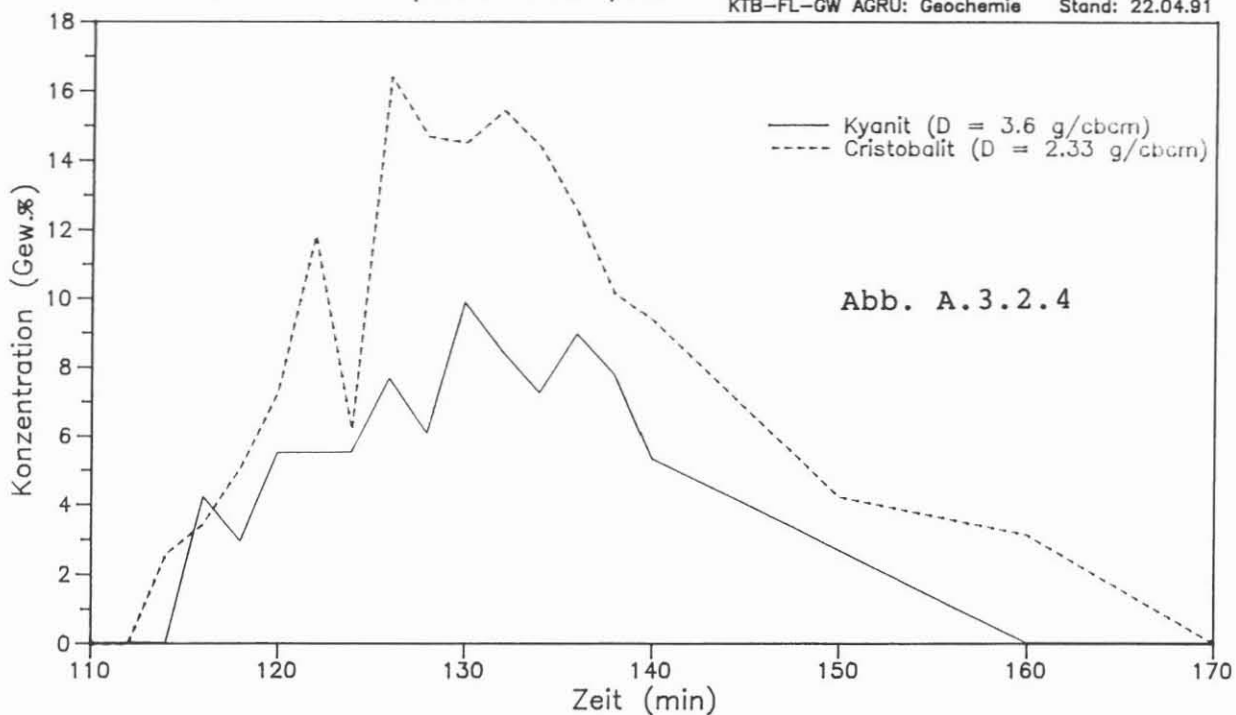
KTB-FL-GW AGRU: Geochemie Stand: 30.06.91



Cristobalit/Kyanit-Test 18.04.91

Einleitung: 9 m³ Spüelung mit 50 Kg Kyanit
und 50 Kg Cristobalit
Bohrfortschritt: 1,8 m/Std
Teufe: 2523 m Pumprate: 3500 l/Min

KTB-FL-GW AGRU: Geochemie Stand: 22.04.91



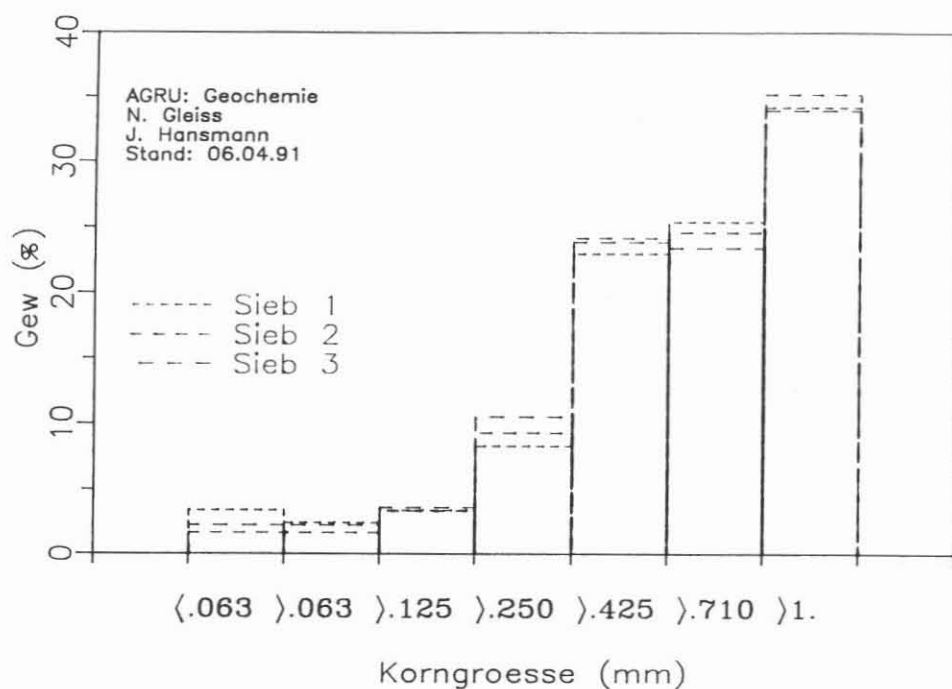


Abb. A.3.2.5: Vergleich der Korngrößenverteilung repräsentativer Bohrklein/Cuttings-Teilmen- gen von den drei Schüttelsieben nach einem Gesamtprobe- nahmeversuch bei 2082 m

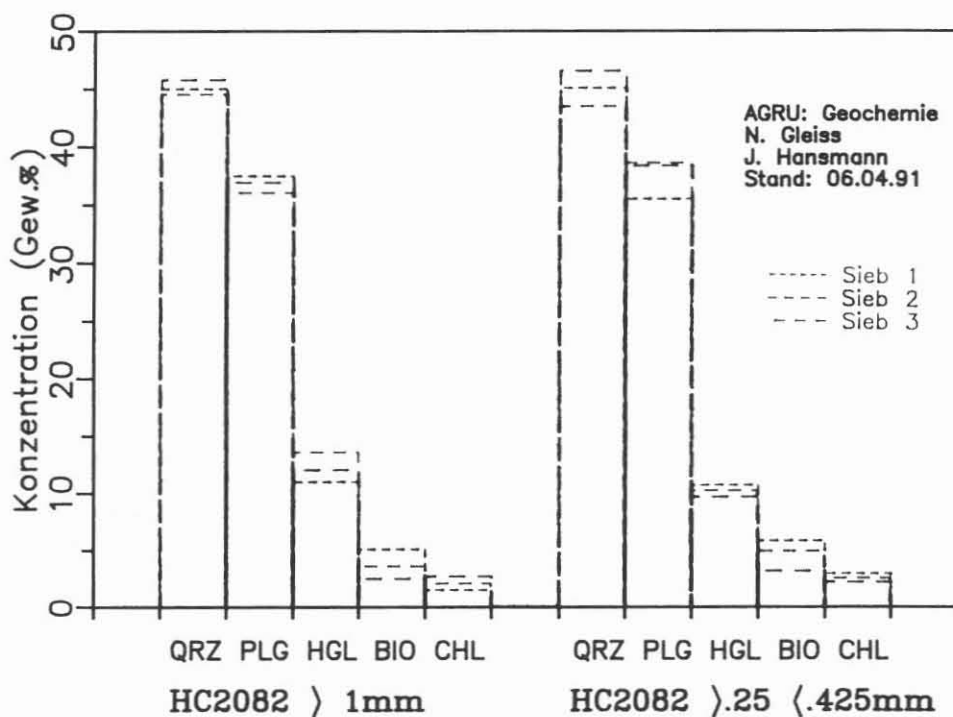
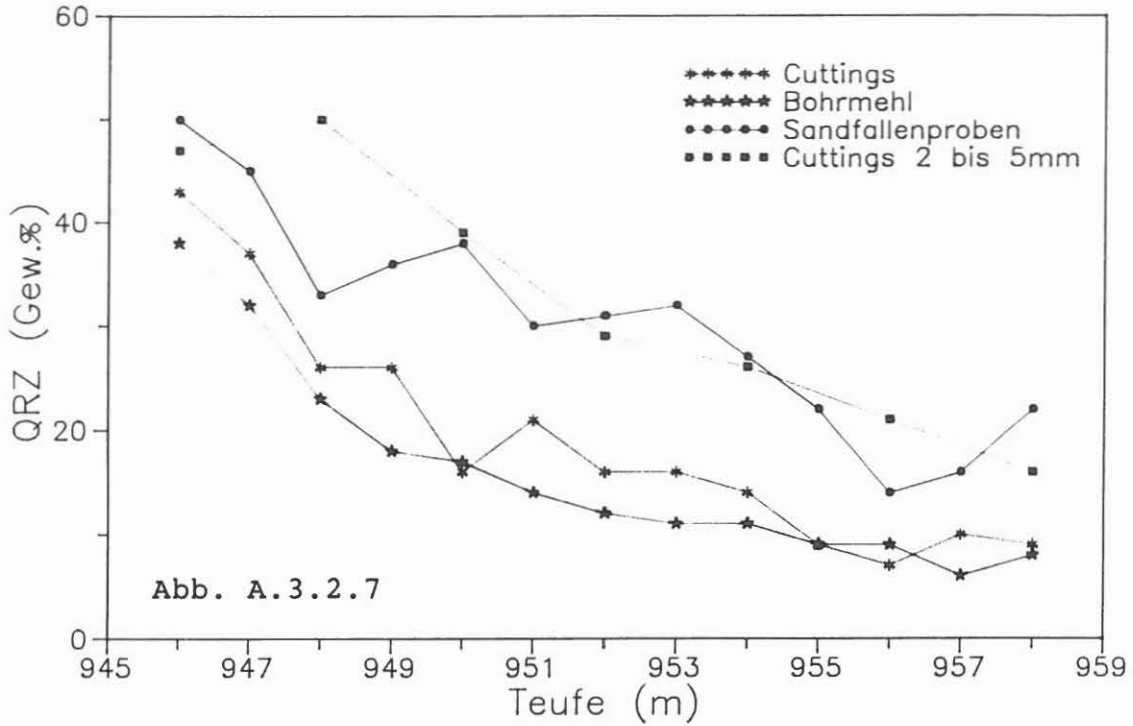
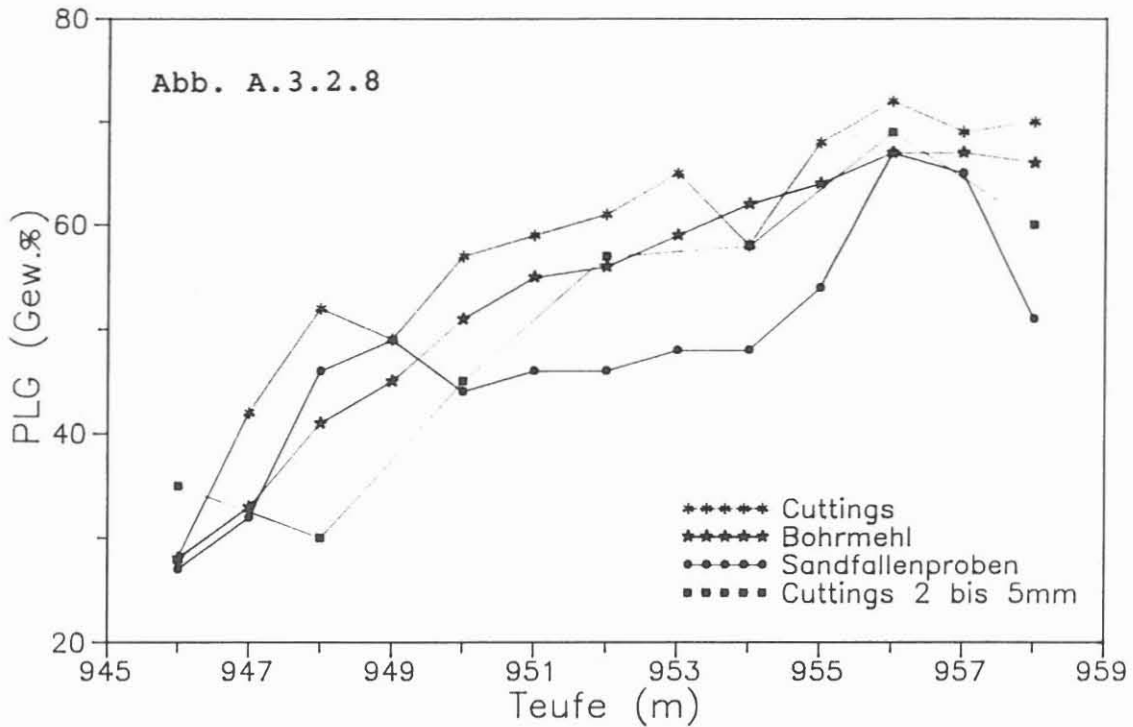


Abb. A.3.2.6: Verteilung der Mineralgehalte in den Korn- fraktionen > 1 mm und < 0.25 mm, > 0.425 mm in repräsentativen Bohrklein/Cuttings-Teilmen- gen nach einem Gesamtprobenahmeversuch bei 2082 m

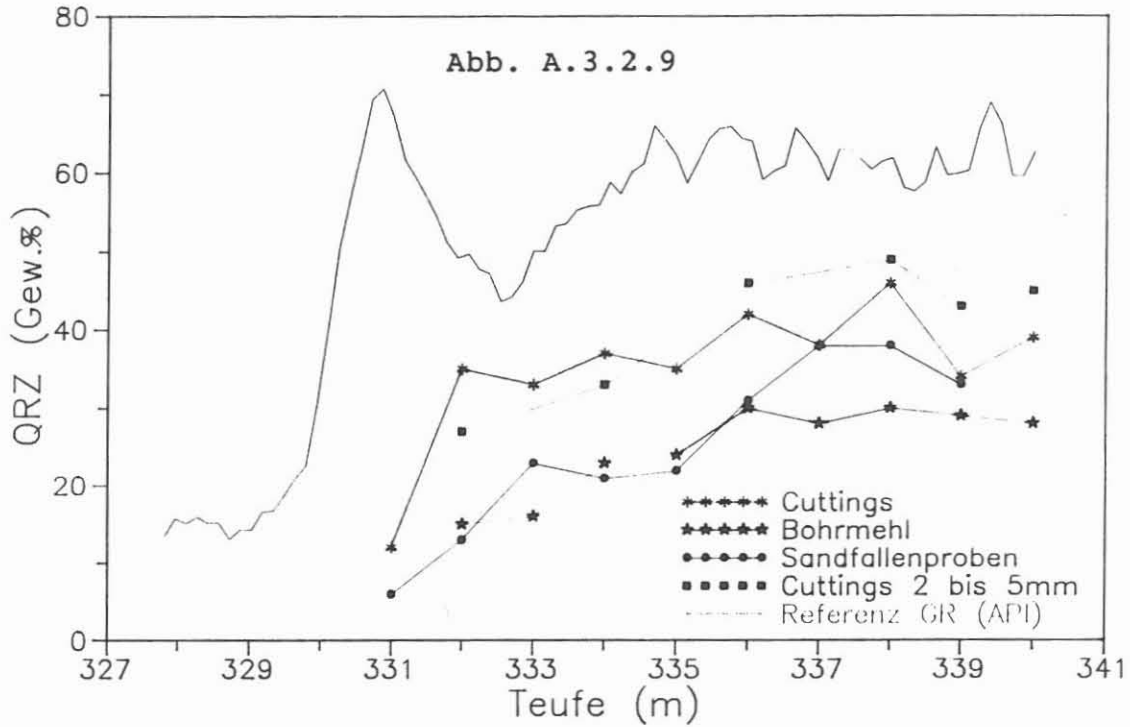
Quarz-Gehalte verschiedener Probentypen
Lithologischer Wechsel:
Gneis - Plagioklas reicher Gneis



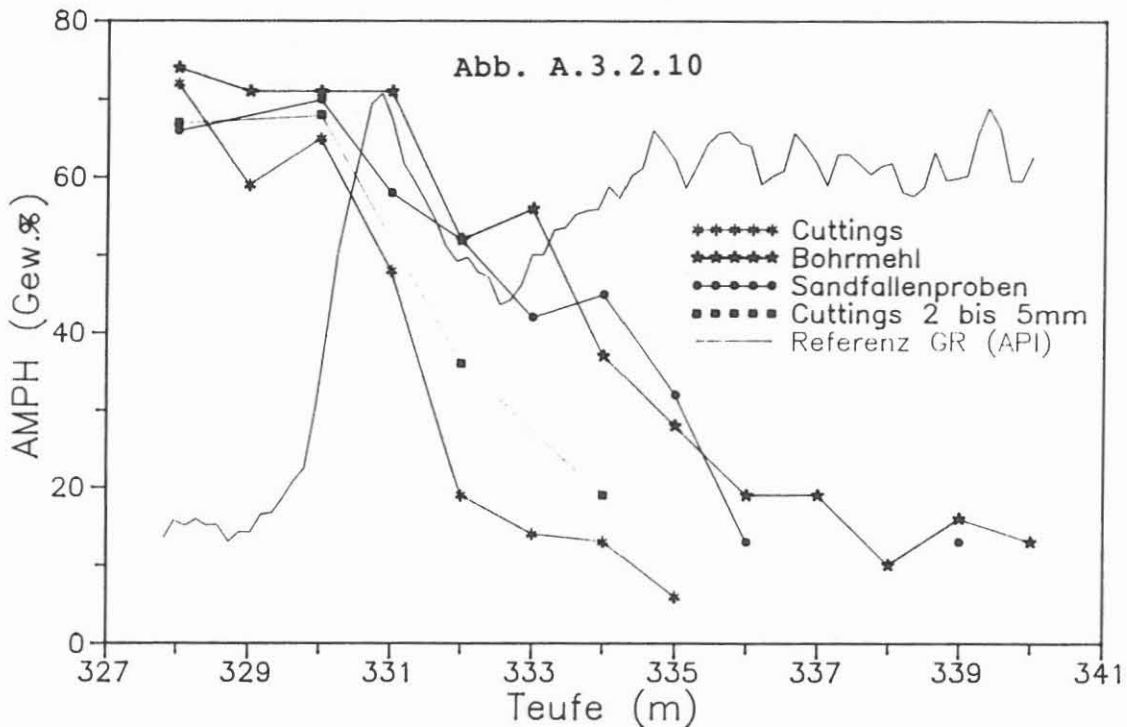
Plagioklas-Gehalte verschiedener Probentypen
Lithologischer Wechsel:
Gneis - Plagioklas reicher Gneis



Quarz-Gehalte verschiedener Probentypen
im Vergleich zu dem Referenz Gamma-Ray
Lithologischer Wechsel: Amphibolit – Gneis



Amphibol-Gehalte verschiedener Probentypen
im Vergleich zu dem Referenz Gamma-Ray
Lithologischer Wechsel: Amphibolit – Gneis



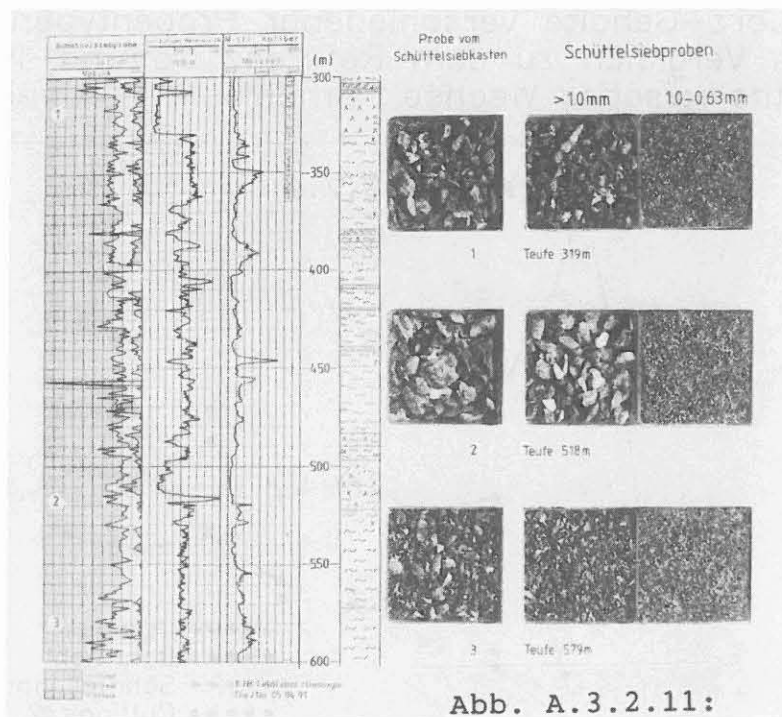


Abb. A.3.2.11:

Geologisches Übersichtsprofil der Hauptbohrung KTB Oberpfalz HB im Teufenbereich 300 bis 600 m mit einer Übersicht über die Korngrößen von Proben aus dem Schüttelsiebkasten und vom Schüttelsieb

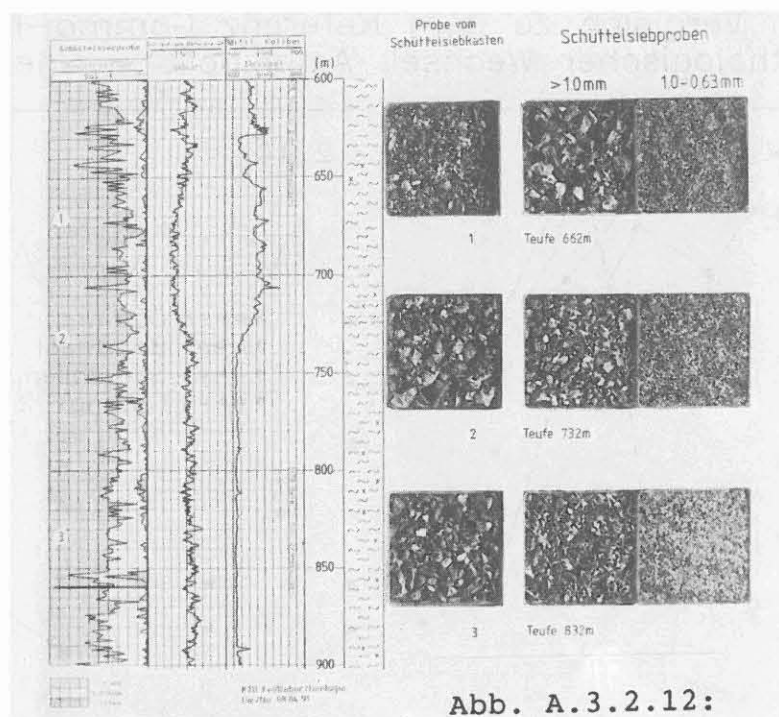


Abb. A.3.2.12:

Geologisches Übersichtsprofil der Hauptbohrung KTB Oberpfalz HB im Teufenbereich 600 bis 900 m mit einer Übersicht über die Korngrößen von Proben aus dem Schüttelsiebkasten und vom Schüttelsieb

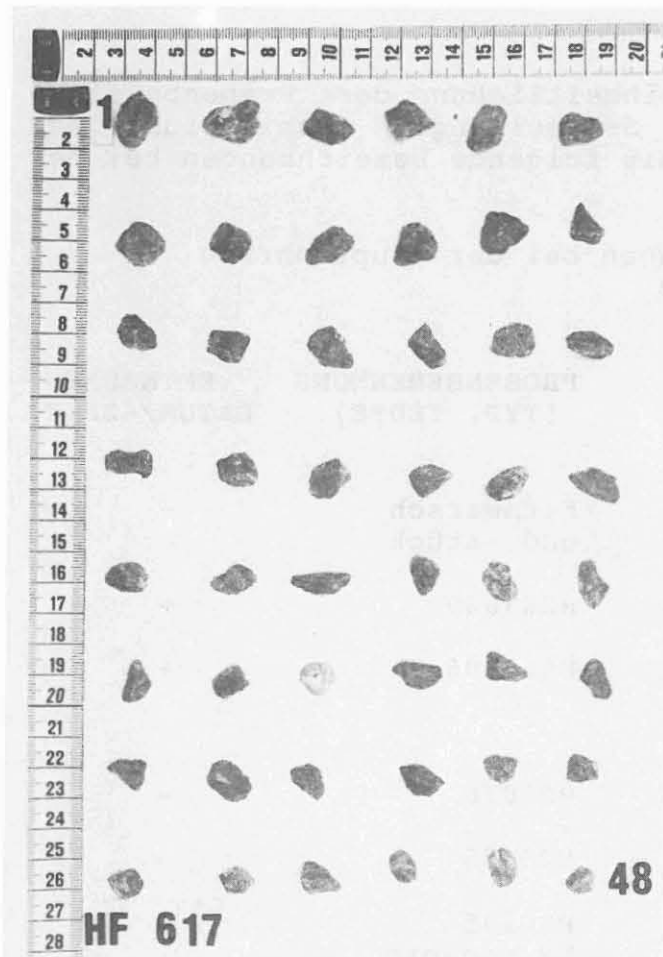


Abb. A.3.2.13:
Beispiel für eine Probe
aus dem Schüttelsiebka-
sten mit cm-großen Ge-
steinsbruchstücken aus
einer Teufe von 617 m

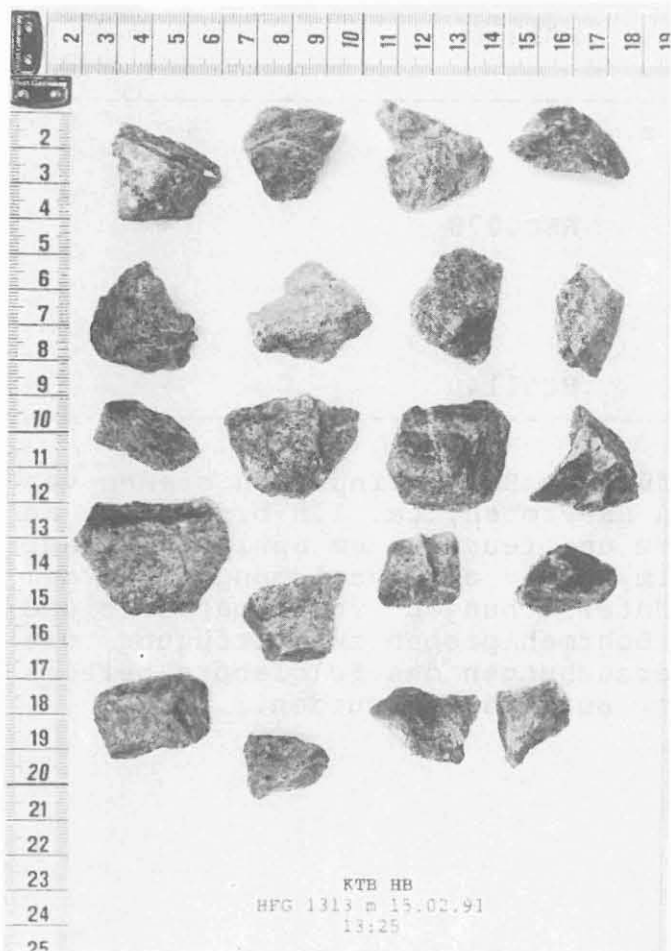


Abb. A.3.2.14:
Beispiel für besonders
grobkörniges Probenma-
terial aus dem Schüttel-
siebkasten aus 1313 m

A.4 Sonstiges

Zur Vereinfachung und Vereinheitlichung der Probenbezeichnungen werden für die Bearbeitung, Archivierung und Verteilung des Probenmaterials folgende Bezeichnungen bei der Probenahme gewählt:

Tab. A.4.1: Probenbezeichnungen bei der Hauptbohrung
KTB Oberpfalz HB

PROBENART	PROBEN- ABKÜRZUNG	PROBENBENENNUNG (TYP, TEUFE)	ENTNAHME- DATUM/-ZEIT
1. Bohrkern	HK	Kernmarsch und -stück	-
2. Seitenkern	HSK	HSK3049	+
3. Schlitzkern / Core Slicer	HSL	HSL0306	+
4. Bohrklein			
- Schüttelsieb- kasten	HF	HF0078	-
- Schüttelsieb / Cuttings	HC	HC0078	-
- Zentrifuge	HZ	HZ0145	-
- Sedimentrohr	HR	HR von-bis	-
5. Spülungsproben	HS	HS1256	+

zusätzliche Probenahmen wie z. B.:

Cuttings bei einer
Bohrlochwerweiterung HEC HEC0078 -

Cuttings und größere
Gesteinsbruchstücke im
Bohrmeißel oder Bohr-
lochsonden HCL HCL1140 +

Von den unter Pos. 4 aufgeführten Bohrkleinproben stehen von jedem Probentyp, ausgenommen HR-Proben, ca. 1.5 bis 2.0 kg an unverändertem, unbearbeitetem und feuchtem am Spülsausrück genommenen Probenmaterial im Archiv zur Verfügung. Außerdem stehen für weiterführende Untersuchungen vorpräparierte und getrocknete Bohrklein- und Bohrmehlproben zur Verfügung, die für die routinemäßigen Untersuchungen des Feldlabors bereits gewaschen, gesiebt und / oder aufgemahlen wurden.

Unterlagen für die Bestellung von KTB-Probenmaterial können angefordert werden beim:

NLFB
KTB-Feldlabor
Postfach 67
8486 Windischeschenbach
Telefon 09681 / 40014 (Sekretariat, Frau Ritter)
Telefax 09681 / 40038

A.5 Literaturverzeichnis

Chur, C., Engeser, B. & Oppelt, J. (1990a): Das Vertikalbohrkonzept für die KTB-Hauptbohrung. - Erdöl Erdgas Kohle, 106. Jahrgang, 12, 486 - 490.

Chur, C., Engeser, B. & Oppelt, J. (1990b): Vertical Drilling Concept for the Mainwell. - Oil Gas, 16, 4, 26 - 29.

Emmermann, R. (1990): Vorstoß ins Erdinnere: Das Kontinentale Tiefbohrprogramm. - Spektrum der Wissenschaft, 60 - 70, Oktober 10/1990.

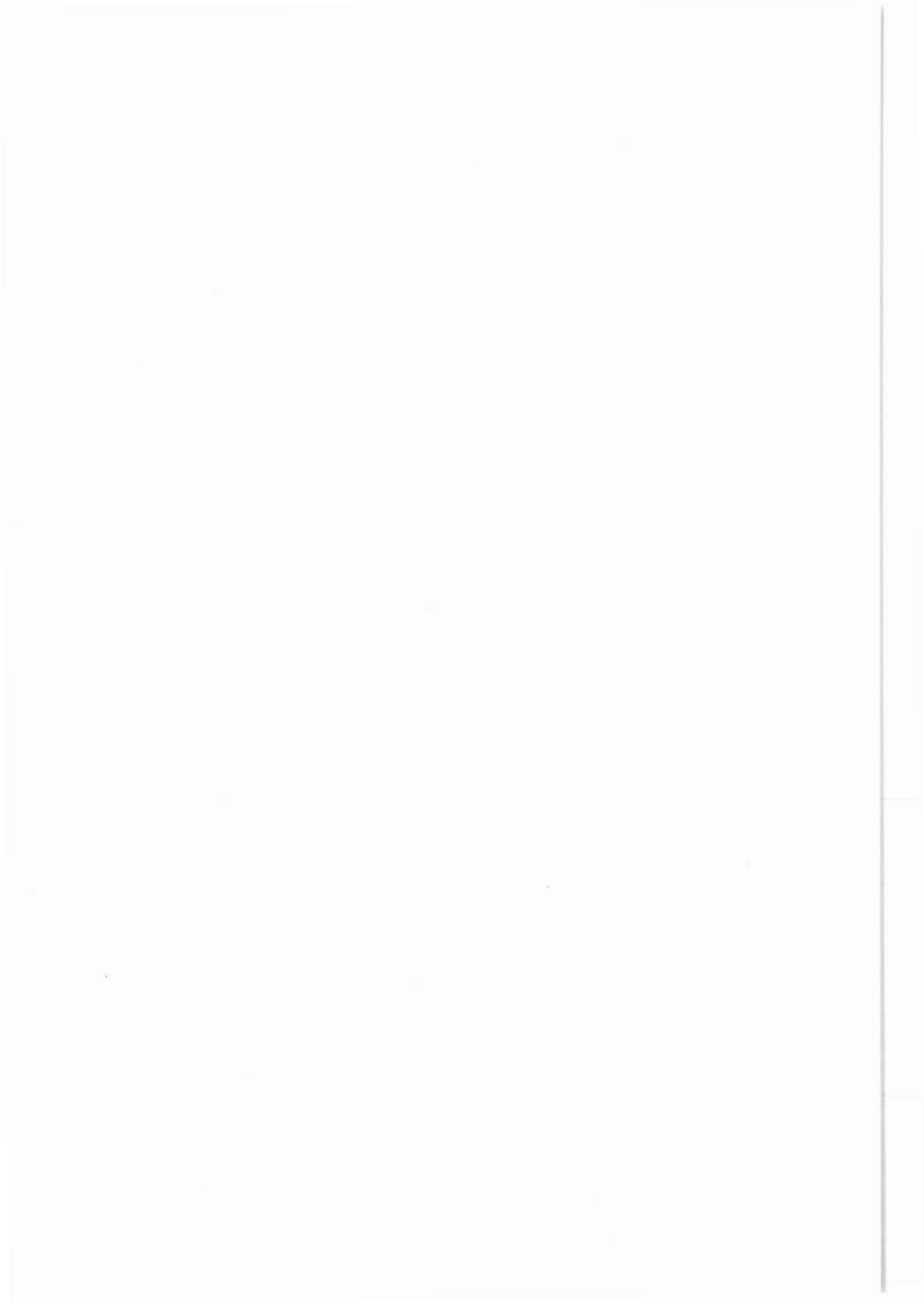
Emmermann, R., Dietrich, H.-G., Lauterjung, J. & Wöhrle, Th. (eds., 1990), KTB Pilot Hole, Results of Geoscientific Investigation in the KTB Field Laboratory, 0 - 4000.1 m. - KTB Report 90-8, Projektleitung Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung

Emmermann, R. & Giese, P. (Hrsg., 1990): Beiträge zum 3. KTB-Kolloquium. Gießen, 28.02. - 02.03.1990. - KTB-Report 90-4.

Emmermann, R. & Rischmüller, H. (1990): Das Kontinentale Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland (KTB). Aktueller Stand und Planung der Hauptbohrung - Die Geowissenschaften, 8. Jahrgang, Nr. 9, 241 - 257.

Rischmüller H. (1990): Example for Advanced Drilling Technology. - Oil Gas 16, 4, 16 - 20.

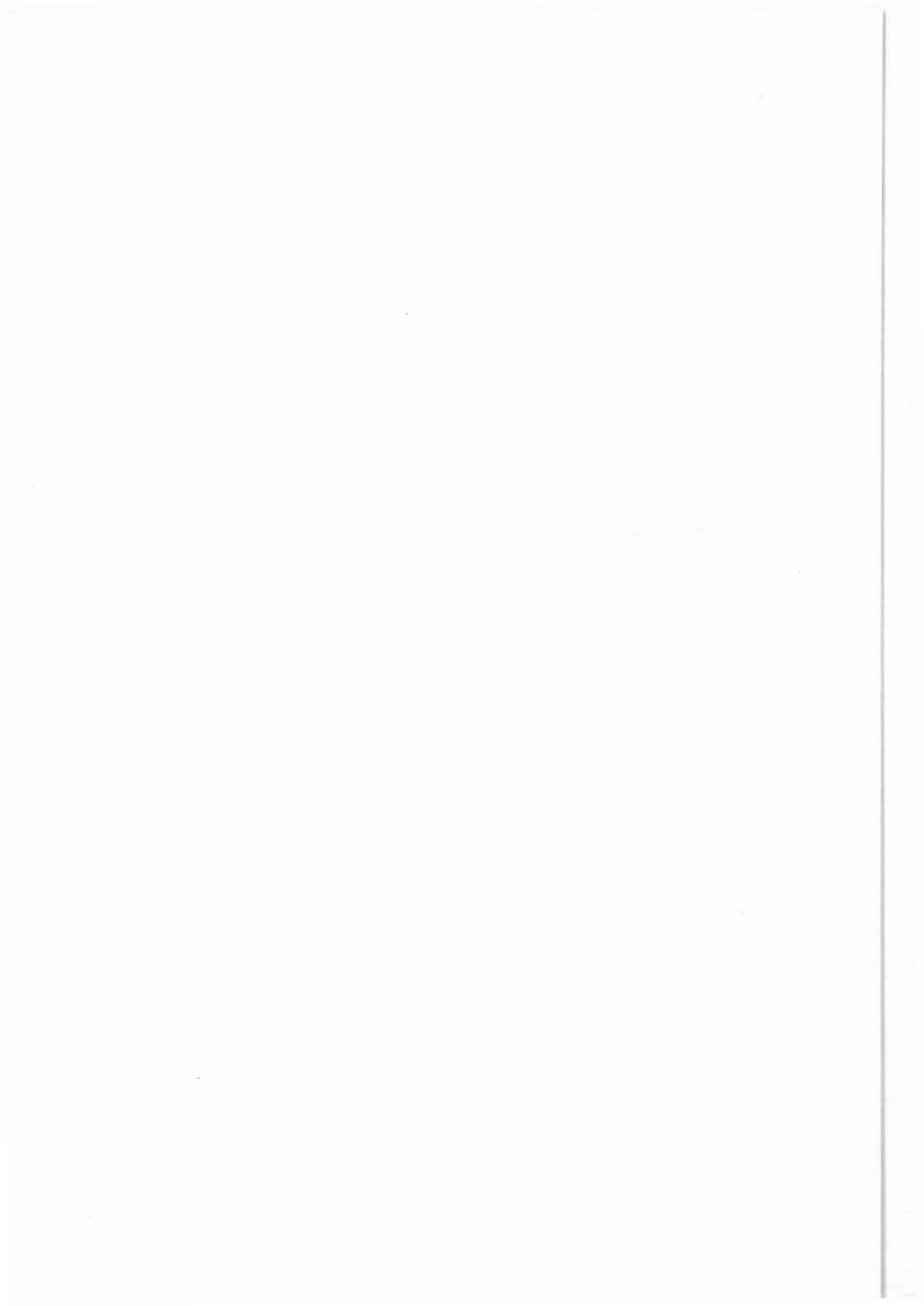
Rischmüller H. (1991): Beitrag der Bohrprojekte der Lithosphärenforschung zur Entwicklung der Bohrtechnik für große Tiefen, dargestellt am Beispiel des KTB. - Erdöl Erdgas Kohle, 107, 1, 51 - 58.



B. Geologie

G. Godizart
N. Gleiß
J. Hansmann
H. Häussinger
S. Keyssner
J. Kohl
M. Lapp

mit einem Beitrag von G. Hirschmann & J. Kohl



KTB-Report	91-3	B1 - B83	54 Abb.	Hannover 1991
------------	------	----------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz HB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 0 bis 1720 m:

B. Geologie

G. Godizart, N. Gleiß, J. Hansmann, H. Häussinger,
S. Keyssner, J. Kohl & M. Lapp¹⁾
mit einem Beitrag von G. Hirschmann²⁾ und J. Kohl

Inhalt:

Zusammenfassung		B3
Abstract		B4
B.1	Einführung	B5
B.1.1	Geologischer Rahmen	B5
B.1.2	Ergebnisse der Vorbohrung	B7
B.1.3	Arbeitsmethodik	B9
B.2	Geologisches Profil	B14
B.3	Gneise und Kalksilikatgesteine	B16
B.3.1	Paragneise	B16
B.3.2	Plagioklas-reiche, Kalksilikat-führende Gneise	B19
B.3.3	Hornblende-Biotit-Gneise	B20
B.3.4	Kalksilikat-Gesteine und Kalksilikat-Marmore	B20
B.3.5	Mineralogische und chemische Zusammensetzung der Paragneise	B23
B.4	Metabasite	B27
B.4.1	Petrographie	B27
B.4.2	Chemische Zusammensetzung der Metabasite	B29
B.5	Lamprophyre	B39
B.6	Erzmineralisation	B44
B.6.1	Sulfidische Erzminerale	B44
B.6.2	Oxidische Erzminerale	B46
B.6.3	Sonstige Erzminerale	B49
B.6.4	Altersstellung	B51
B.6.5	Erzmineralführung und Suszeptibilität	B53
B.7	Strukturen und Gefüge	B58
B.7.1	Faltenstrukturen	B58
B.7.2	Kataklasite und kataklastisch deformierte Gesteine	B58

B.7.3	Kluftmineralisation	B63
B.7.4	Störungszonen	B67
B.8	Korrelation Vorbohrung-Hauptbohrung	B72
B.9	Literaturverzeichnis	B81
	Anhang	

Anschrift der Autoren:

- 1) KTB-Feldlabor, Postfach 67, D-8486 Windischeschenbach
- 2) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung,
Stilleweg 2, D-3000 Hannover 51

Zusammenfassung

Dieser Bericht umfaßt die bisherigen Ergebnisse der petrographisch-geochemischen und strukturellen Bearbeitung des Teufenabschnittes 0 - 1720 m der KTB-Hauptbohrung "KTB OBERPFALZ HB".

Die Untersuchungsmethoden sowie die Art der Archivierung der gewonnenen Daten in der KTB-Datenbank werden detailliert beschrieben.

Bis 1720 m besteht das erbohrte Profil aus monotonen Paragneisen mit Metabasiteinschaltungen. Die Zusammensetzung der Gneise rangiert zwischen den Endgliedern Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis und Muskovit-Biotit-Gneis. Als Edukte gelten Grauwacken und Tonsteine. Die mineralogische und chemische Komposition der Gneisvarianten wird aufgrund quantitativer Röntgendiffraktometrie- und Röntgenfluoreszenz-Analysen dargestellt.

In die Gneiseinheiten sind drei größere Metabasit-Körper aus Amphiboliten und Granat-Amphiboliten eingeschaltet. Aufgrund des Mineralbestandes und des Gefüges lassen sich drei Metamorphose-Stadien differenzieren: ein frühes HP-Ereignis, eine dominierende amphibolitfazielle Metamorphose sowie eine retrograde grünschiefer- bis zeolithfazielle Überprägung. Die chemische Komposition entspricht E-Type MORB bis Intraplattentholleiten.

Zahlreiche geringmächtige Lamprophyr-Gänge durchschlagen die Gneiseinheiten. Untergeordnet finden sich Hornblende-Biotit-Gneise und Kalksilikat-Gesteine.

Nur selten ist ein primärer Erzmineralbestand reliktdisch erhalten. Es dominieren bei weitem jüngere metamorphogene Phasen. In Gneisen überwiegen sulfidische, in Metabasiten oxidische Erzminerale. Gesteinsmagnetische Anomalien werden oberhalb ca. 200 m durch Magnetit bewirkt; unterhalb 200 m ist stets Pyrrhotin der Hauptträger der Suszeptibilität (siehe auch Kap. D).

Mit einer streckenweise starken kataklastischen Überprägung der Gesteine ist eine erhöhte Graphit- und Pyritführung verbunden. Die Foliation fällt nach Bohrlochmessungen steil ein. Kluftmineralisationen werden durch Quarz, Pyrit, Epidot, Prehnit, Adular, Laumontit und Calcit gebildet.

Die geologischen Profile der Vor- und Hauptbohrung lassen sich in geologischer und struktureller Hinsicht gut korrelieren; die Übertragung von Ergebnissen aus der Vorbohrung auf die Hauptbohrung ist möglich.

Abstract

This report presents preliminary results of the petrographical, geochemical and structural investigations of the scientific well 'KTB Oberpfalz HB', carried out in the depth interval between 0 and 1720 m.

A detailed description concerning the sampled material, the methods of investigation as well as data acquisition and data handling is given.

Down to 1720 m monotonous paragneisses with few metabasic intercalations have been intersected. Gneisses vary between garnet-sillimanite-biotite gneiss and muscovite-biotite gneiss; their composition corresponds to greywacke and claystone composition. The mineralogical and chemical gneiss composition is given by quantitative XRD and XRF analyses.

Three larger metabasic sequences of amphibolites and garnet-amphibolites are intercalated within the paragneisses. Based on their mineral content and texture three metamorphic events can be delineated: an early HP event, a dominant overprint in amphibolite facies metamorphism and a retrogressive greenschist to zeolite facies metamorphism. The chemical composition shows affinities to E-type MORB to intraplate tholeiites.

The gneiss units are cut by many thin lamprophyric dikes. Hornblende gneisses and calcsilicate rocks are subordinate.

A primary ore mineral content is preserved in relics; younger metamorphogenous phases are prevailing. Sulphides are predominant in gneisses, oxidic opaque minerals in metabasic rocks. Magnetic anomalies are correlated to magnetite above 200 m and to ferrimagnetic pyrrhotite underneath.

Higher contents of graphite and pyrite can be correlated with locally strong cataclastic overprint. Borehole logging reveals a steep inclination of the foliation. Fissure mineralisation consists of quartz, pyrite, epidote, prehnite, adular, laumontite, and calcite.

The comparison of results of the pilot hole 'KTB OBERPFALZ VB' with the main hole reveals a strong correlation between the geological sections of the two wells.

B.1 Einführung

B.1.1 Geologischer Rahmen

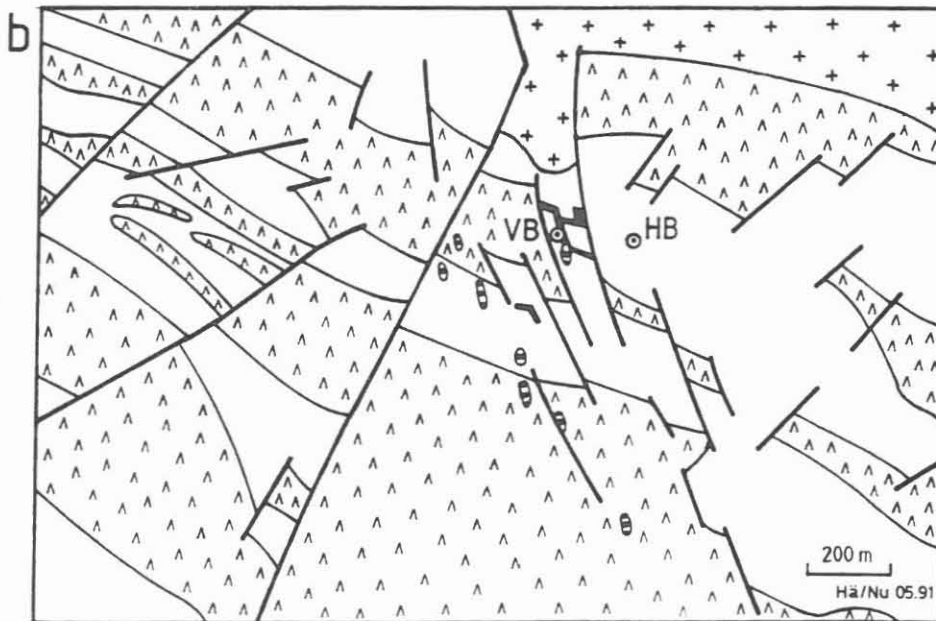
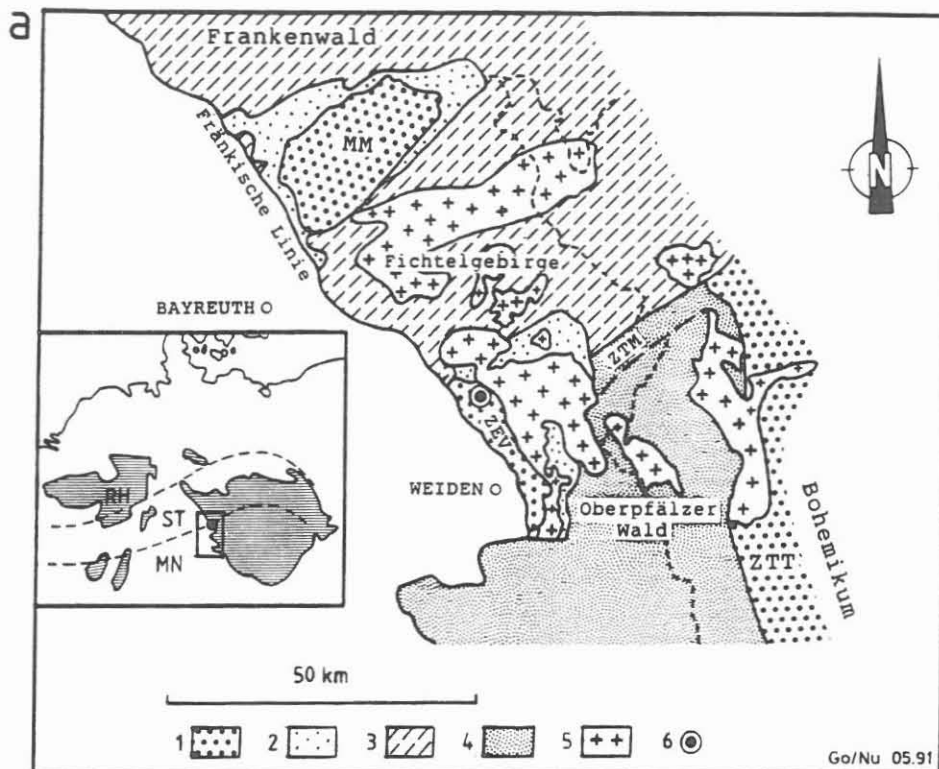
Aus Abb. B.1.1. wird ersichtlich, daß sich die Bohrlokation am Westrand der Böhmisches Masse befindet, dem größten zusammenhängenden Grundgebirgskomplex in Mitteleuropa. Drei variszische, tektono-metamorphe Baueinheiten charakterisieren das engere Umfeld: Das Saxothuringikum, das Moldanubikum und die als Decken interpretierten Komplexe der Münchberger Gneismasse (MM), der Zone von Erbdorf-Vohenstrauß (ZEV) und die Zone von Tepla Taus (ZTT). Das gesamte Gebiet ist zudem von spätvariszischen Granitintrusionen durchsetzt. Im Westen sind die Grundgebirgseinheiten durch die Fränkischen Linie, einem NW-SE-streichenden Störungssystem, gegen permo-mesozoische Sedimente abgegrenzt.

Die drei vorgestellten variszischen Haupteinheiten lassen sich sowohl lithologisch wie auch auf Grund der strukturellen und metamorphen Entwicklung unterscheiden:

Das **Saxothuringikum** (ST) besteht aus deformierten kambrischen bis unterkarbonischen Sedimenten und Vulkaniten, die vor etwa 320 Ma (TEUFEL, 1988; KREUZER et al., 1989) von einer einphasigen, schwach- bis mittelgradigen Niederdruckmetamorphose überprägt wurden. Die Temperaturen dieser Metamorphose liegen zwischen maximal 350°C im Norden und maximal 600°C im Süden.

Das **Moldanubikum** (MN) dagegen, zeichnet sich durch eine polyphase Metamorphoseentwicklung aus. Es handelt sich wahrscheinlich um jungproterozoische bis altpaläozoische Metasedimentfolgen mit gelegentlichen Einschaltungen von Metabasiten, Kalksilikatgesteinen und Orthogneisen. Eng mit Metasedimenten verknüpft treten Eklogite auf, die ein frühes Hochdruckstadium belegen (BLÜMEL, 1983; O'BRIEN, 1989). Kleine Kyanit- und Granateinschlüsse in Plagioklasen der Paragneise weisen nach BLÜMEL (1983) auf eine Gleichgewichtseinstellung bei mittleren Drücken hin, während die dominierende Paragenese Cordierit, Kalifeldspat und Sillimanit ein HT/LP-Ereignis dokumentiert. Dieses letzte Ereignis wurde von TEUFEL (1988) und KREUZER et al. (1989) auf 320 Ma datiert.

Die Bohrlokation selbst befindet sich im Norden der Zone von **Erbdorf-Vohenstrauß** (ZEV), die ebenso wie die Münchberger Gneismasse (MM) und die Zone von Tepla-Taus (ZTT) nach WEBER und VOLLBRECHT (1989) als Teil eines größeren Deckenkomplexes gesehen wird. Abb. B.1.1.b zeigt einen Ausschnitt der ZEV mit der Bohrlokation. Im Wesentlichen handelt es sich um eine Wechsellagerung von Metabasiten (Amphibolite, Metagabbros, Meta-Ultramafitite) und Paragneisen. Gelegentlich treten Kalksilikatgesteine, Meta-Aplite, Lamprophyre und verschiedene Orthogneise auf. Es dominiert eine amphibolitfazielle Überprägung, die auf 380 Ma datiert wurde (TEUFEL, 1988; KREUZER et al., 1989). Die Bearbeitung von Metabasiten der KTB-Vorbohrung erbrachte Hinweise auf eine weitere, ältere Metamorphose bei höheren Drücken



A A Amphibolit
 Paragneis
 Aplit
 Lamprophyr

Abb. B.1.1: Geologische Situation

(a) Geologische Übersichtskarte des Grenzgebietes Saxothuringikum/Moldanubikum (nach SIEGSMUND et al. 1990); RH: Rhenohercynikum, ST: Saxothuringikum, MN: Moldanubikum, 1: höhere Decken mit druckbetonter Metamorphose, 2: unterlagernde Deckeneinheiten, 3: Saxothuringikum, 4: Moldanubikum, 5: spätvariszische Granite, 6: KTB-Lokation, MM: Münchberger Gneissmasse, ZEV: Zone von Erbdorf-Vohenstrauß, ZTT: Zone von Tepla-Taus, ZTM: Zone von Tirschenreuth-Mähring.

(b) Geologische Karte des engeren KTB-Umfeldes (nach STETTNER et al. 1990); VB: Vorbohrung, HB: Hauptbohrung.

(RÖHR et al., 1990). Unterlagert wird die ZEV von einer niedrigmetamorphen Serie, der Erbdorfer Grünschieferzone. Diese besteht aus grünschieferfaziellen Metabasiten und Metasedimenten mit mafischen und ultramafischen Einlagerungen.

Nach WEBER und VOLLBRECHT (1989) stellt die Grenze von Saxothuringikum und Moldanubikum die Suture eines tief abgetragenen variszischen Kollisionsorogens dar. Diese wird im Bereich der Bohrlokation von der ZEV überdeckt und soll im Verlauf der Hauptbohrung durchteuft werden. Aufgeschlossen ist diese Suture in der mylonitisierten Zone von Tirschenreuth-Mähring (ZTM).

Eine Zusammenfassung des Kenntnisstandes geben die Arbeiten in EMMERMANN & WOHLBERG (1989). Weiterhin ist eine 10-teilige, detaillierte geologische Karte des KTB-Umfeldes im Maßstab 1:10000 erhältlich (STETTNER et al., 1990).

B.1.2 Ergebnisse der Vorbohrung

Die KTB-Vorbohrung wurde im Zeitraum September 1987 bis April 1989 bis zu einer Endteufe von 4000.1 m niedergebracht. Die Untergrenze der Zone von Erbdorf-Vohenstrauß (ZEV) wurde dabei offenbar nicht erreicht.

Das erbohrte Profil zeigt lithologisch eine gute Übereinstimmung mit der Oberflächengeologie und besteht aus einer Folge von Paragneisen, in die vier Metabasitsequenzen eingeschaltet sind.

Insgesamt können sieben Haupteinheiten unterschieden werden:

- 0 - 460 m: bunte Wechselfolge von Granat-Biotit-Gneisen (lokal mit Kalifeldspat, Muskovit oder Hornblende), Granat-Amphiboliten und Kalksilikatgesteinen, die eine starke retrograde Überprägung aufweist und als metamorphe, vulkano-sedimentäre Abfolge interpretiert wird;
- 460 - 1160 m: monotone Granat-Sillimanit/Kyanit-Biotit-Gneise
- 1160 - 1610 m: Metabasitfolge mit Granat-Amphiboliten, Metagabbros und Meta-Ultramafititen;
- 1610 - 2470 m: monotone Granat-Sillimanit/Kyanit-Biotit-Gneise;
- 2470 - 2690 m: bunte Wechselfolge von Amphiboliten, Hornblende-Gneisen, lokal sillimanitführenden Granat-Biotit-Gneisen und vereinzelt Kalksilikatlagen;
- 2690 - 3575 m: monotone Granat-Sillimanit/Kyanit-Biotit-Gneise;
- 3575 - 4000 m: Granat-Amphibolite und Metagabbros.

Die Paragneise, die etwa 70% des erbohrten Gesteins ausmachen, werden lokal von Lamprophyr-Gängen mit Mächtigkeiten von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern durchsetzt. Dabei handelt es sich um Kersantite und untergeordnet Spessartite und Vogesite. Vereinzelt treten Aplitgänge auf, die im Teufenbe-

reich von 60 - 120 m bis zu 6 m mächtig werden. Dezimeter-mächtige Aplitgänge wurden in den Metabasiten bei 2330 m und 3575 m beobachtet. Aplite und Lamprophyre werden der Ganggefölgenschaft der spätvariszischen Granite zugerechnet.

Geothermobarometrische Untersuchungen an den Granat-Sillimanit-Biotit-Gneisen ergaben Temperaturen von 660°C - 710°C (Granat-Biotit-Thermometer) bei Drücken von 6-8 kbar (REINHARDT & KLEEMANN, 1989). Im Gegensatz dazu läßt sich in den Metabasiten eine dreistufige Metamorphoseentwicklung nachweisen: Klinopyroxen-Plagioklas-Symplektite weisen auf ein frühes Hochdruckstadium bei einem Mindestdruck von 10 kbar und ca. 730°C (RÖHR et al., 1990) hin. Danach folgte eine durchgreifende Mitteldruckmetamorphose, deren maximale Bedingungen mit 675°C \pm 50°C bei 7 \pm 1 kbar aus den Paragneisen abgeleitet werden können. Schließlich wurden die Gesteine noch von einer retrograden Überprägung erfaßt, die bei grünschieferfaziellen Bedingungen stattfand.

Nicht bestätigt haben sich Vorhersagen aus dem Deckenmodell, nach dem generell flach einfallende Strukturen zu erwarten waren. Stattdessen läßt die Auswertung der Strukturdaten eine großräumige, offene Faltenstruktur mit weitgehend steil einfallender Foliation und Schichtung erkennen.

B.1.3 Arbeitsmethodik

Geologie

Im Gegensatz zur Vorbohrung standen für die wissenschaftliche Bearbeitung bisher keine Kerne sondern nur sogenannte Cuttings, also Bohrklein, zur Verfügung. Im Kapitel A.4 wurden die anfallenden Proben bereits vorgestellt. Für die geologische Bearbeitung, insbesondere für Gefügebeschreibungen, sollten die einzelnen Fragmente so groß wie möglich sein. Es stellte sich aber heraus, daß auffallend große Stücke in der Regel als "Nachfall" anzusprechen sind, und somit keiner Teufe exakt zugeordnet werden können. Dies gilt vor allem für die Proben aus dem sogenannten Schüttelsiebkasten (Probenbezeichnung "HFG") oder für größere Stücke, die eingeklemmt in Meßsonden, Steuerrippen der Vertikalbohrsysteme etc. zutage gefördert wurden. Für die Routinebearbeitung werden daher hauptsächlich zwei Fraktionen vom Schüttelsieb (Probenbezeichnung: "HC") benutzt, nämlich die Fraktion "grob" mit Korngrößen über 1 mm und die Fraktion "fein" mit Korngrößen zwischen 0.06 mm und 1 mm. Die grobe Fraktion eignet sich sowohl für die erste, sogenannte "Schnellansprache" mit dem Binokular, wie auch zur Herstellung von Streupräparaten für die mikroskopische Bearbeitung im Durch- und Auflicht. Die Feinfraktion eignet sich gut für die Karbonatbestimmung mit HCl und zum Erkennen ferromagnetischer Komponenten mit dem Handmagneten.

Die Bearbeitung des Bohrkleins durch die Arbeitsgruppe Geologie gliedert sich in die sogenannte Schnellansprache mit dem Binokular und in die mikroskopische Detailbearbeitung anhand von Dünn- und Anschliffen. Die Schnellansprache erfolgt jeden Meter, bei monotonen Abfolgen und großen Bohrfortschritten nur jeden zweiten Meter. Dünnschliffe werden in Abständen von vier bis acht Metern routinemäßig angefertigt. Entsprechend der Lithologie und in Absprache mit den anderen Arbeitsgruppen wird der Probenabstand verkleinert, bei Bedarf werden Konzentrate aus den Proben separiert.

Die Auswahl der Proben für die Auflichtmikroskopie erfolgt in der Regel in gleichmäßigen Abständen über das erbohrte Profil. Besonders berücksichtigt werden magnetische Anomalien, Anomalien der natürlichen Gammastrahlung und geochemische oder makroskopische Hinweise auf Erzmineralisationen. Für die Erzanschliffe wurden aus den Bohrkleinproben möglichst repräsentative Separate ausgelesen. Von ausgewählten Zonen wurden Erzmineralkonzentrate angefertigt. Zur Differenzierung ferromagnetischer und antiferromagnetischer Strukturtypen des Pyrrhotins erwies sich ein Kolloid mit feinsten Magnetitpartikeln ("Ferrofluid") als sehr gut geeignet. Zusätzlich kann damit die Verteilung magnetischer Minerale deutlich gemacht werden.

Alle Beobachtungen werden unmittelbar ("on-line") in die KTB-Datenbank "KTBase" eingelesen und zwar überwiegend in alphanumerischer Form. In Abb. B.1.2 sind zwei Eingabemasken dargestellt:

Die Maske a) zeigt die Beschreibung der Probe HC0901. Im Feld "Schliff" befinden sich Querverweise auf eventuell vorhandene Dünnschliffe. Das Feld "Gestein" enthält einen generalisierten und normierten Gesteinsnamen, der direkt in Signaturen und Farben für die graphische Ausgabe des Profils umgesetzt werden kann. Die erlaubten Gesteinsnamen sind in einem jederzeit aktualisierbaren Katalog abgelegt. Der Alterationsgrad wird in vier Abstufungen angegeben: "frisch" wenn weniger als 10% des Gesteins Alterationserscheinungen zeigen. Entsprechend sind die Begriffe "schwach" (10% - 50%), "stark" (50% - 90%) und "vollständig" (90% - 100%) definiert.

Im Feld "Hinweise Technik" wird unter "Schrott" lithologiefremdes Material wie Metallspäne, Farbe etc. aufgelistet. Die Einträge "Graphit" und "Kataklase" sollen Hinweise auf problematische Störungszonen geben und unter "Bit-Metamorphose" werden durch den Bohrvorgang verursachte, thermische Beeinflussungen einzelner Fragmente verstanden.

Eine genauere petrographische Beschreibung der Probe ist unter der Überschrift "Komponenten" zu finden. Dabei wird deutlich, daß die einzelnen Proben häufig aus Fragmenten verschiedener Gesteine zusammengesetzt sind (s. Kap. A.4.). Die Vergabe des generalisierten Gesteinsnamens schließt demnach eine Interpretation des Lithoprofils ein, die sich aus dem Kontext des Hangenden und Liegenden ergibt. Bei der "Schnellansprache" mit dem Binokular (s. Feld "Bearbeiter": Kürzel "S") findet eine grobe Abschätzung des Anteils der verschiedenen Komponenten in Vol.% statt. Die Felder "Zuordnung", "Granulometrie", "Gefüge" und "Bemerkung" werden optional ausgefüllt.

Wurde eine mikroskopische Bearbeitung durchgeführt, erscheint im Feld "Bearbeiter" das Kürzel "D". Die Komponentenbeschreibungen sind dann entsprechend verifiziert und wenn nötig modifiziert. Für jede Komponente kann eine Untermaske mit den verschiedenen Mineralphasen und deren Beschreibung aufgerufen werden (Abb. B.1.2b). Am Ende der Bearbeitung werden die Beobachtungen in wenigen Sätzen kurz zusammengefaßt (Feld "Abs.", Abb. B.1.2a).

Alle so gespeicherten Informationen können über Suchmasken aufgelistet und auf dem Drucker als Protokoll ausgegeben werden. Auch graphische Umsetzungen sind möglich.

Eine weitere Aufgabe der Arbeitsgruppe Geologie ist die Zusammenstellung des endgültigen Lithoprofils, wie es im Kapitel B.2 dargestellt ist. Hierfür ist eine Zusammenfassung und Interpretation der Daten und Ergebnisse aus praktisch allen Abteilungen des Feldlabors nötig. Zusätzlich stehen alle bohrtechnischen Parameter und vor allem

a

Session IO-Control Next Previous Misc Edit Zoom Add/Rem/Store Help

K T B a s e : Cuttings-Analyse

Vers. 1.0 a

Probe : C0901	Hinweise Technik
Schliff : HC0901/Mikrowelle	Schroffl: gelbe Farbe
Gestein : Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis	Graphit: wenig
Alteration: stark	Katakl.: wenig
	Bit_Me.: wenig

Bearb.: Ko/S Fein.: _____ Hinw.: mm dicke Ccc- Abs.: _____

Komponenten:		Zuordnung	Granulom.	Gefüge	Bemerkung
Typ	Bezeichnung	%			
A	Ccc-Pyr-Kkl	<1		mm dicke Pl	
G	Mus-Chl-Gns	94			
G	Gnt-Sil-Bio-Gns	5			

1 1(008, 015) Printer: None

b

Session IO-Control Next Previous Misc Edit Zoom Add/Rem/Store Help

K T B a s e : Cuttings-Analyse

Vers. 1.0 a

Probe : HC0560	Mineralphasen der Komponente:	
Schliff : HC0560	Gnt-Sil-Kya-Mus-Bio-Gns	
Gestein : Granat-Sillimanit-Bio	Mineral: Vol%: Bemerkung:	
Alteration: frisch	Biotit	teilweise stark chl
Bearb.: HB/D Fein.: _____	Chlorit	sekundär nach Bio
	Granat	subidiomorph, bis 1
	Kyanit	
	Muscovit	
	Plagioklas	häufig stark serizi
	Quarz	Korngrößenverkleine
	Sillimanit	meist völlig von Mu ko

Komponenten:		Zuor
Typ	Bezeichnung	%
G	Gnt-Sil-Kya-Mus-Bi	

1 1(012, 038) Printer: None

Abb. B.1.2 : Eingabemasken der KTB-Datenbank "KTBase" für die geologische Cuttingsbearbeitung. Erläuterungen s. Text.

die vielfältigen Bohrlochmessungen (s. Kap. D.2) zur Verfügung. In Abb. B.1.3 ist der Prozess der Profilentstehung schematisch dargestellt.

Als besonders wichtig herausgestellt hat sich die Korrelation der an Cuttingsproben gemessenen natürlichen Gamma-Strahlung mit den entsprechenden Bohrlochmessungen ("Referenz-Gamma-Log"). Mit diesem Vergleich kann eine punktuelle Teufenkorrektur der Einzelproben durchgeführt werden. Weiterhin findet eine kontinuierliche, visuelle Auswertung von Kaliber-, Eigenpotential-, Formation-Micro-Scanner-(FMS) und Formation-Micro-Imager-Logs (FMI) statt. So ergeben sich die lithologischen Grenzen, Störungen, das Einfallen der Foliation sowie die Abgrenzung des Nachfalls.

Teufenangaben in der geologischen Beschreibung, bzw. im Lithoprofil beziehen sich immer auf korrigierte Teufen. Wenn dagegen bei Beobachtungen oder Meßwerten eine Probenbezeichnung angegeben wird, bezieht sich der numerische Wert auf die unkorrigierte "Lag-Teufe", die aus Probennahmezeitpunkt und der theoretischen Aufstiegszeit berechnet wird (s. Kap. A.4). Einen Extremfall stellt die Probe HC0210 dar mit einer Lag-Teufe von 210 m und einer korrigierten Teufe von 203.5 m.

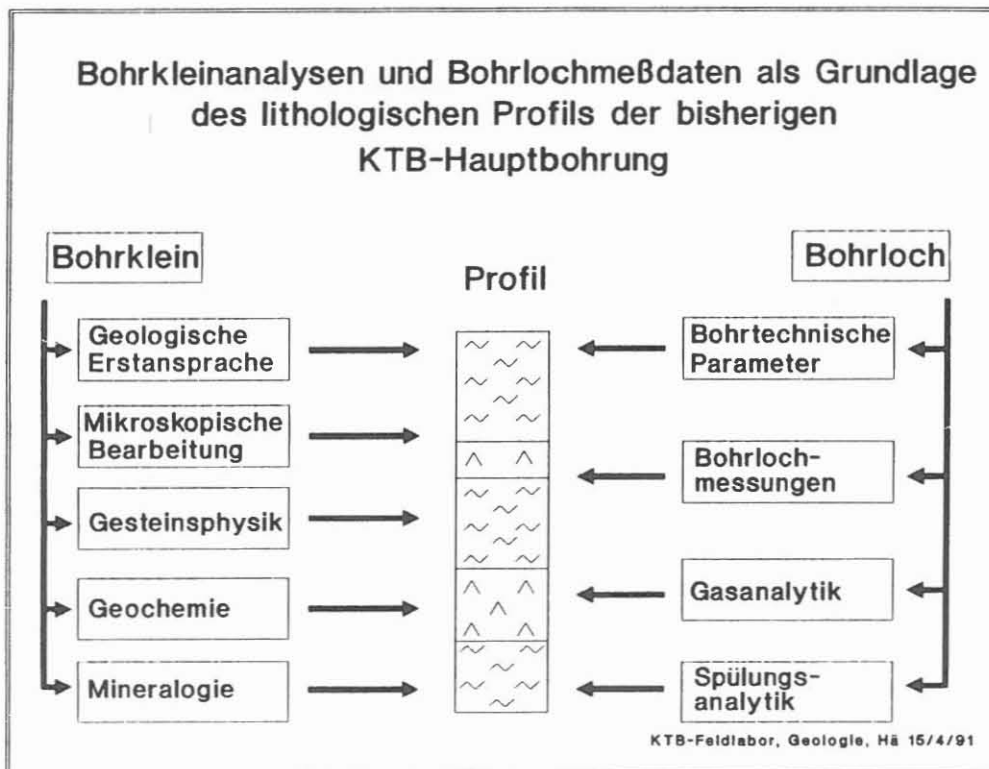


Abb. B.1.3: Erstellung des Lithoprofils der KTB-HB

Geochemie

Für die chemische und mineralogische Feststoffanalyse wurden die Cuttingproben im 2 m-Intervall genommen. Teilweise wurde die Beprobung auf 1 m-Abstände verdichtet und durch die Analyse der Zentrifugenproben ergänzt.

Die Cuttings werden in einem 63 μm -Sieb gewaschen, bei 105°C getrocknet und ca. 50-100g in einer Wolfram-Carbid Kugelmühle 30 Minuten gemahlen. Zentrifugenproben werden getrocknet und 10 Minuten gemahlen. Das Gesteinspulver wird dann in standardisierte Aluminiumringe gepreßt. Diese Pulverpresstabletten werden sowohl für die Röntgenfluoreszenzspektrometrie, als auch für die Röntgendiffraktometrie verwendet.

Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA)

Die Analyse der Hauptbestandteile und Spurenelemente wird mit einem SIEMENS SRS 303 AS Röntgenfluoreszenzspektrometer durchgeführt. Die Routinemessung umfasst derzeit 10 Hauptbestandteile (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) und 11 Spurenelemente (S, Cr, Ni, Cu, Zn, Nb, Rb, Sr, Y, Th, U). bei einer Meßzeit von 40 Minuten. Die Teufenlogs der chemischen Daten des Bereichs 0 - 1720 m befinden sich im Anhang. Die gemessenen Schwefel-Konzentrationen werden im Kapitel B.6. Erzmineralisation dargestellt.

Röntgen-Diffraktometrie (RDA)

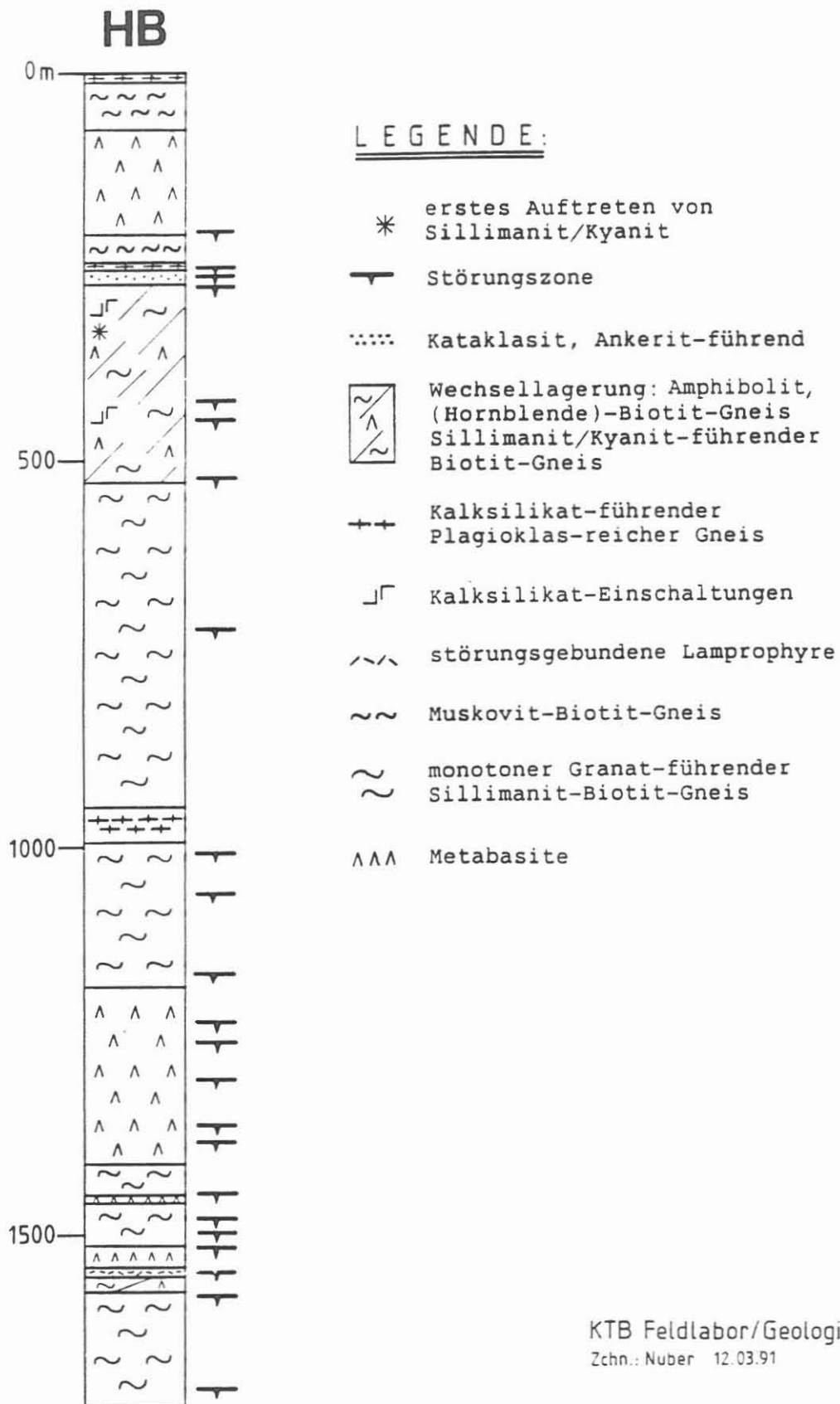
Die mineralogische Phasenanalyse wird mit einem SIEMENS D 500 Röntgen-Pulver-Diffraktometer durchgeführt. Das Routine-Meßverfahren wurde bereits im Vorfeld der KTB-Vorbohrung entwickelt und während der KTB-Vorbohrung erfolgreich eingesetzt. Die wesentlichen Bestandteile dieses Verfahrens sind eine eigene Mineraldatei und ein eigenes Computer-Programm mit vollautomatischer Spektrenauswertung inklusive qualitativer und quantitativer Phasenanalyse (EMMERMANN & LAUTERJUNG, 1990). Die mineralogische Zusammensetzung der Gesteine von 0-1720m wird in einem Teufenlog der aufsummierten Mineralphasen im Anhang dargestellt.

B.2 Geologisches Profil

Lithostratigraphisch besteht das erschlossene Profil aus einer Folge von monotonen Paragneisen, in die drei Metabasitsequenzen eingeschaltet sind. Die folgenden Haupteinheiten lassen sich unterscheiden:

- 0 - 16 m: Kalksilikat-führender, Plagioklas-reicher Gneis;
- 16 - 69 m: Muskovit-Biotit-Gneise;
- 69 - 203 m: Metabasite I;
- 203 - 290 m: monotone Granat-Sillimanit-Biotit-Gneise mit Einschaltungen von Kalksilikat-führendem, Plagioklas-reichem Gneis von 243 bis 247 m und einem Kataklasit von 247 bis 254 m;
- 290 - 522 m: bunte Wechselfolge von Muskovit-Biotit-Gneisen, Kalksilikat-führendem, Plagioklas-reichem Gneis, Granat-Kyanit/Sillimanit-Biotit-Gneisen und Metabasiten (Metabasite II, 309 - 329 m);
- 522 - 1183 m: monotone Granat-Sillimanit-Biotit-Gneise mit Kalksilikat-führendem, Plagioklas-reichem Gneis bei 947 - 994 m. Diese Einschaltung wurde in der Vorbohrung nicht durchteuft.
- 1183 - 1410 m: Metabasite III
- 1410 - 1573 m: bunte Wechselfolge aus Muskovit-Biotit-Gneisen, Granat-Sillimanit-Biotit-Gneisen, Metabasiten und Lamprophyren.
- 1573 - 1720 m: monotone Granat-Sillimanit-Biotit-Gneise mit kleineren Metabasiteinschaltungen.

Die Gneise, die den überwiegenden Teil der erbohrten Gesteine einnehmen, werden häufig von Lamprophyr-Gängen mit Mächtigkeiten von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern durchsetzt.



KTB Feldlabor/Geologie
Zchn.: Nuber 12.03.91

Abb. B.2.1 Übersichtsprofil der KTB-HB von 0 bis 1720

B.3 Gneise und Kalksilikatgesteine

B.3.1. Paragneise

Paragneise mit den Paragenesen Granat-Sillimanit-Biotit (Abb. B.3.1) und Muskovit-Biotit machen den Hauptteil der bisher in der Hauptbohrung durchteuften Gesteine aus. Dies entspricht den Verhältnissen der Vorbohrung. Als Edukte kommen, wie zuletzt bei RÖHR et al. (1990) erwähnt, Grauwacken und Tonsteine in Frage. Entsprechend der Heterogenität (Sand/Ton-Verhältnis) derartiger Edukte schwanken auch die Anteile der verschiedenen Mineralphasen in den Gneisen beträchtlich. Die Bezeichnungen Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis und Muskovit-Biotit-Gneis müssen deshalb als "Endglieder" einer "Mischreihe" gesehen werden und nicht als streng trennbare, eigenständige Gruppen. Selbst an cm-großen Cuttings sind bereits derartige Übergänge von metapelitischen Granat-Sillimanit-Biotit-Gneisen zu eher metapsammitischen Muskovit-Biotit-Gneisen zu beobachten. Es läßt sich folgende petrographische Einteilung vornehmen:

1. Muskovit-Biotit-Plagioklas-Quarz
2. Granat-Muskovit-Biotit-Plagioklas-Quarz
3. Granat-Sillimanit/Kyanit-Biotit-Plagioklas-Quarz
4. Sillimanit/Kyanit-Biotit-Plagioklas-Quarz

Zusätzlich ist der unterschiedliche Grad retrograder Umwandlung zu berücksichtigen. So bildet sich Serizit auf Kosten von Plagioklas und Sillimanit, Chlorit auf Kosten von Biotit und Granat. Die alterierten Gesteine können somit in nur drei Gruppen zusammengefaßt werden:

5. Muskovit-Chlorit-Plagioklas-Quarz
6. Biotit-Muskovit-Chlorit-Plagioklas-Quarz
7. Biotit-Granat-Muskovit-Chlorit-Plagioklas-Quarz

Quarz und Plagioklas zeigen in kataklastisch nicht beanspruchten Partien ein polygonales Pflastergefüge mit ebenen bis leicht gekrümmten Korngrenzen. Quarz ist vor allem in leukokraten Mobilisaten häufig von Bahnen sekundärer Fluideinschlüsse durchzogen. Plagioklas wird in vielen Fällen von lichtmikroskopisch nicht auflösenden Einschlüssen getrübt. In stärker alterierten Partien sind die Plagioklase zum Teil vollkommen serizitisiert. In einigen Fällen kann auch Saussuritisierung beobachtet werden.

Biotit zeichnet sich vor allem in Aluminium-Silikat- und Granat-führenden Gesteinen durch seine kräftige rotbraune Färbung aus. Bei der Chloritisierung wird Ti in auffälligen Sagenit-Gittern ausgeschieden. In den Biotit-Muskovit-Gneisen dominieren dunkelbraune Biotite.

Serizit ersetzt Plagioklas und/oder Sillimanit. In Serizit-Filzen treten häufig größere Quer-Muskovite auf. Zur Bildung neuer Hellglimmer kommt es offensichtlich auch bei der Chloritisierung der Biotite.

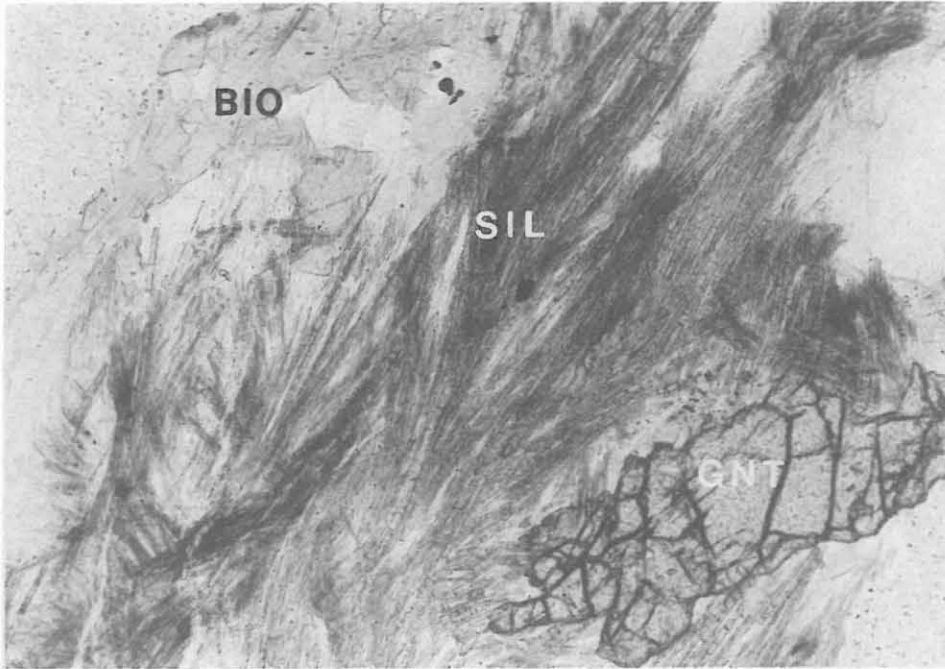


Abb. B.3.1: Die kennzeichnende Paragenese Granat-Sillimanit-Biotit in einem Paragneis aus der Probe HC0728 (die lange Bildkante entspr. 2,6 mm, // Nic.).

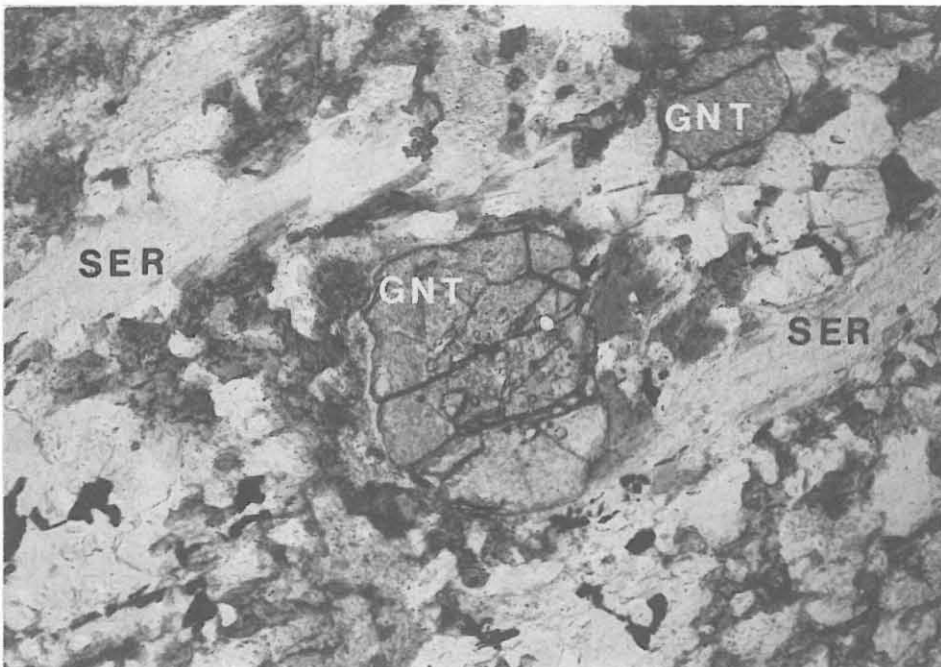


Abb. B.3.2: Zonierter und rotierter Granat mit poikiloblastischem Kern und einschlußarmen Saum in einem Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis der Probe HC0512. Die ehemaligen Sillimanit-Bahnen sind völlig zu Serizit umgebildet (die lange Bildkante entspr. 2,2 mm, // Nic.).

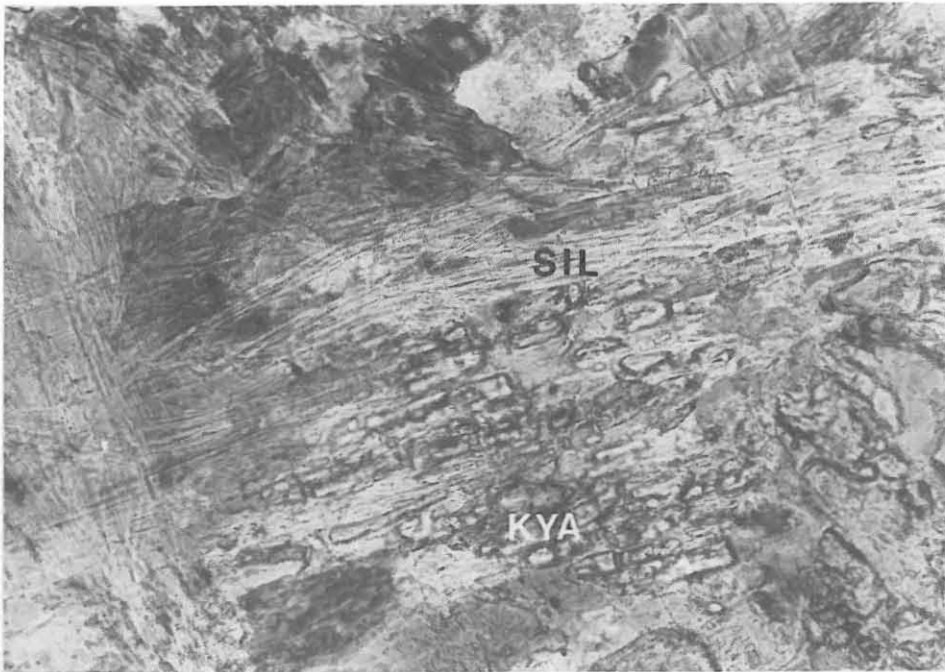


Abb. B.3.3: Sillimanit verdrängt Kyanit in der Probe HC0720. Die isolierten kleinen Kyanit-Körner im dichten Sillimanit-Filz besitzen dieselbe optische Orientierung. Dies weist darauf hin, daß es sich ursprünglich um dasselbe Kyanit-Korn gehandelt hat (lange Bildkante entspr. 0,6 mm, // Nic.).



Abb. B.3.4: Völlig alterierter Granat-Muskovit-Biotit-Gneis aus der Probe HC0720. Die Basisspaltbarkeit der ehemaligen Biotite wird von Rutil- und Ilmenit-Einschlüssen nachgezeichnet. Die einschlußfreien Chlorit-Aggregate in der Bildmitte sind Pseudomorphosen nach Granat. Die größeren, nichtorientierten Opakörner bestehen weitgehend aus Pyrrhotin (lange Bildkante entspr. 2,6 mm, // Nic.).

Sillimanit scheint Biotit zu verdrängen und kommt gewöhnlich in fibrolithischen Aggregaten vor, die zum Teil mit stengeligen Sillimanit-Blasten verwachsen sind (Abb. B.3.1). In stärker alterierten Gneisen sind Hellglimmer-Pseudomorphosen nach Sillimanit (Abb. B.3.2.) verbreitet. Vor allem in den oberen Teufenbereichen bis ca. 750 m tritt neben Sillimanit oft auch

Kyanit in kleineren rundlichen Einzelkörnern auf. In vielen Fällen kann beobachtet werden, daß kleinere Kyanit-Körner mit derselben optischen Orientierung in einem dichten Fibrolith-Filz stecken (Abb. B.3.3). Es handelt sich also um Relikte einer Verdrängung durch Sillimanit.

Es können in der Regel zwei **Granat**-Generationen beobachtet werden (vgl. RÖHR et al. 1990). Während Granat I zumeist als poikiloblastischer Kernbereich mit Quarz-, Plagioklas- und Apatit-Einschlüssen zu erkennen ist, umgibt Granat II als subidiomorpher, einschlußfreier Anwachssaum die poikiloblastischen Kerne (Abb. B.3.2.); daneben tritt er in kleineren einschlußfreien und subidiomorphen Einzelindividuen auf (Abb. B.3.1).

Chlorit hat sich generell auf Kosten von Granat oder Biotit gebildet. Pseudomorphosen nach Biotit sind an den Opak- und Rutil-Einschlüssen zu erkennen, die in ihrer Anordnung die Basisspaltbarkeit der Biotite nachzeichnen (Abb. B.3.4).

Verbreitete **Akzessorien** sind Rutil, gelegentlich Anatas, Apatit, Zirkon, Epidot/Klinozoisit und Opakminerale. Apatit kann bisweilen lagig angereichert vorkommen (s.u.). Vereinzelt wurden auch zonierter Turmalin und Monazit beobachtet.

Sillimanit/Kyanit, Granat und Biotit bilden Kontaktparagenesen, (Abb. B.3.1) wobei sich die in der Vorbohrung bereits festgestellte Tendenz betätigt, daß die Häufigkeit von Kyanit mit zunehmender Teufe zugunsten von Sillimanit abnimmt (RÖHR et al., 1990). Muskovit scheint stabil neben Quarz vorzuliegen; die Aluminiumsilikate koexistieren nicht mit K-Feldspat. Röntgenographisch gelegentlich festgestellter K-Feldspat stammt, wie sich in vielen Fällen zeigen ließ, aus Lamprophyranteilen in der Cuttingsprobe oder aus spät angelegten und mit Adular verheilten Fugen.

B.3.2. Plagioklas-reiche, Kalksilikat-führende Gneise

Diese Gesteine stehen am Bohrplatz an und wurden von ROHRMÜLLER (1988) als Epidot/Klinozoisit-führende Muskovit-Biotit-Gneise beschrieben. Sie treten in den ersten 16 Metern der Hauptbohrung auf und weiter in den Teufenbereichen von 243 m bis 247 m und von 947 m bis 994 m. Vor allem im Intervall von 947 bis 994 m sind die Hangend- und Liegendgrenze dieses Gesteinstyps in den Cuttingsproben, wie auch in den RDA- und RFA-Analysen sehr klar zu fassen. Das läßt darauf schließen, daß es keine allmählichen Übergänge zu den umgebenden Paragneisen gibt. Die Plagioklas-reichen und Quarz-armen Gneise besitzen offenbar kein

Äquivalent in der Vorbohrung. Die wesentlichen Komponenten sind stark serizitisierte Plagioklase, Chlorit (nach Biotit), oft quersprossende Muskovite und teilweise idiomorpher Epidot. Häufig findet sich Calcit in diskordanten Gängchen.

Plagioklas ist stets stark getrübt und serizitisiert. Epidot tritt zum Teil in bis zu 0.5 mm großen und idiomorphen Einzelkristallen auf. **Biotit** ist im vorliegenden Material weitgehend von Chlorit ersetzt. Darauf weisen reliktsche Sagenit-Gitter, Biotit-Einschlüsse und -Lamellen sowie eine deutliche Anreicherung von Ti-Mineralen in Chlorit hin (Abb. B.3.5). Diese **Chlorite** besitzen einen optisch positiven Charakter und blauviolette Interferenzfarben. Eine (nach ROHRMÜLLER, 1988) zweite Generation von Chlorit tritt in Aggregaten von feinfilzigen Büscheln oder kleinen geldrollenartigen Paketen auf (Abb. B.3.5) und besitzt nach der etwas schwächeren Eigenfarbe und den bräunlich-violetten Interferenzfarben eine Mg-reichere Zusammensetzung. Im Gegensatz zu den Chloriten nach Biotit treten in diesem Chlorit-Typ kaum Einschlüsse Ti-haltiger Phasen auf.

Mit Biotit und Chlorit vergesellschaftet sind große **Muskovite** (bis 0.5 x 2 mm), die offenbar ebenfalls als Biotit-Abbauprodukt verstanden werden müssen (Abb. B.3.5). Es kann auch beobachtet werden, daß bis zu 1 mm große Muskovite in völlig serizitisierten Plagioklasen gebildet wurden. **Rutil** wird, ähnlich wie in den Kalksilikat-Gesteinen (s.u.), häufig von farblosem Titanit umsäumt (Abb. B.3.6).

B.3.3 Hornblende-Biotit-Gneise

Dieser Gesteinstyp tritt in untergeordneten Anteilen in Amphibolit-Paragneis-Wechselagerungen von 290 - 312 m und von 505 - 523 m oder in den Randbereichen der Amphibolitfolge von 1183 m bis 1410 m auf. Hauptbestandteile sind Plagioklas, Quarz, grüne Hornblende und Biotit. Oft kann auch Granat beobachtet werden. Untergeordnet treten Apatit, Epidot und Titanit auf (Abb. B.3.7).

B.3.4. Kalksilikat-Gesteine und Kalksilikat-Marmore

Auch diese Gesteinsgruppe tritt nur sehr untergeordnet auf, meist in den Randbereichen der Amphibolit-Körper, vergesellschaftet mit Lamprophyren oder als massive Einschaltung im Bereich zwischen 305 und 309 m. Oft führen die Kalksilikat-Gesteine auch Karbonate. Bisweilen treten Kalksilikat-führende Marmore auf (HC0306, HC0308). Die Hauptminerale sind Plagioklas, grüne Hornblende, Epidot/Klinozoisit, Titanit, Calcit und vereinzelt Granat. In einigen Cuttings wurden besonders hohe Titanitgehalte in Form von Titanit-umsäumten Rutilen beobachtet (Abb. B.3.6). In den mit Amphiboliten und Lamprophyren auftretenden Kalksilikat-Gesteinen sind bisweilen nadelige und fast farblose Amphibole zu beobachten.

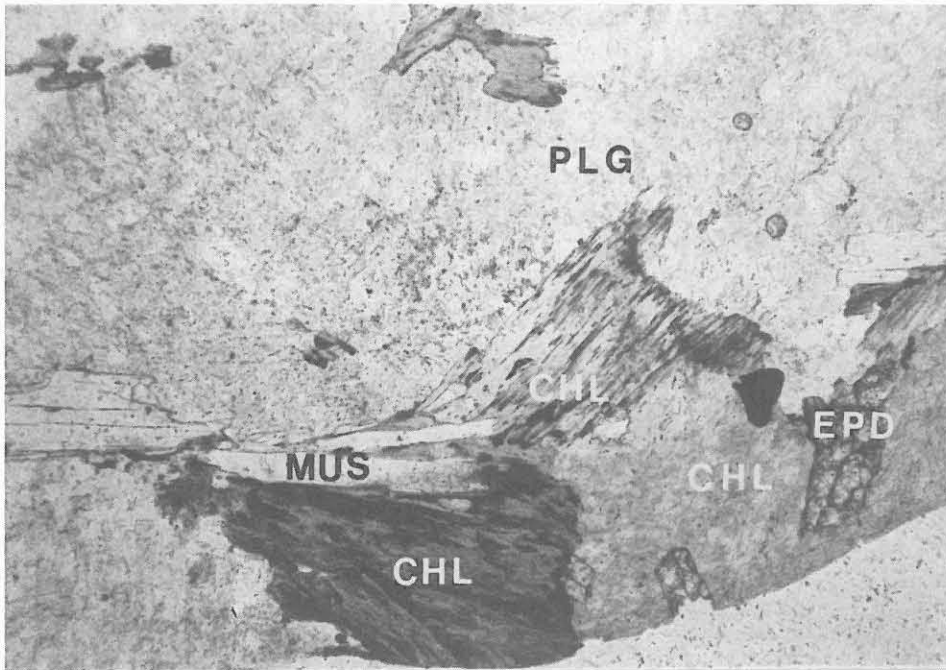


Abb. B.3.5: Plagioklas-reicher, Kalksilikat-führender Gneis der Probe HC0014. Deutlich sind die beiden Chlorit-Typen in einer Plagioklas-Matrix zu erkennen. Muskovit ist mit dem pseudomorph nach Biotit entstandenen Chlorit verwachsen (lange Bildkante entspr. 1,8 mm, // Nic.).

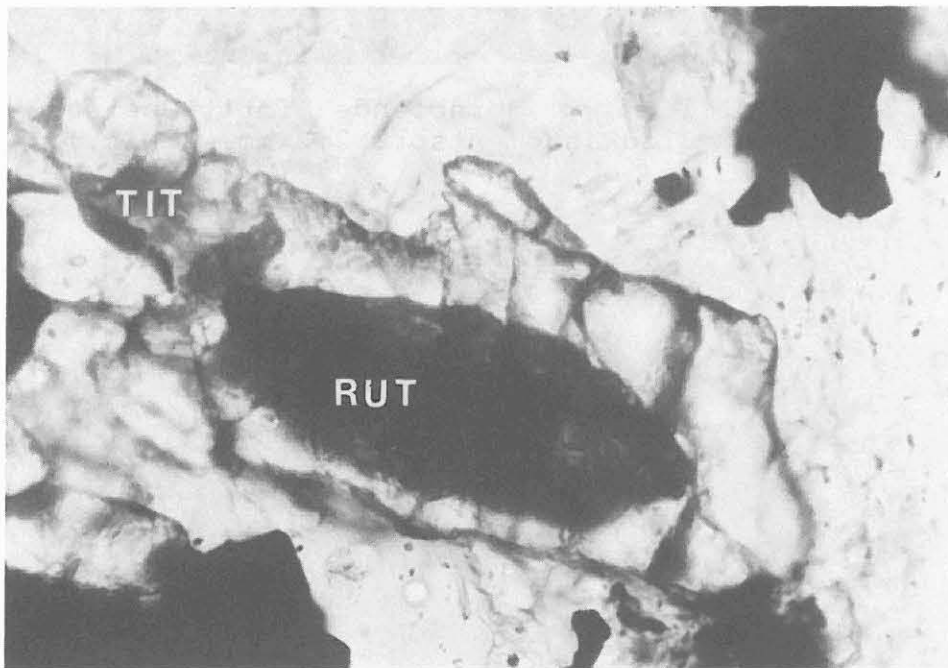


Abb. B.3.6: Fast farbloser Titanit-Saum um einen Rutil-Kern in der Probe HC0409 (lange Bildkante entspr. 0,2 mm, // Nic.).

Kleine Kalksilikat-Linsen in Paragneisen, wie sie im Teufenintervall von 2220 bis 2360 m der Vorbohrung auftreten, können wegen der unbekannteten Verbandsverhältnisse nicht als solche nachgewiesen werden. Die bei RÖHR et al. (1988) beschriebenen Apatitanreicherungen wurden aber in ähnlicher Form - z.B. in der Probe HC0302 - gefunden. In Kalksilikat-Gesteinen der Probe HC0320 wurden Klinopyroxene neben grüner Hornblende, Plagioklas und Epidot beobachtet.

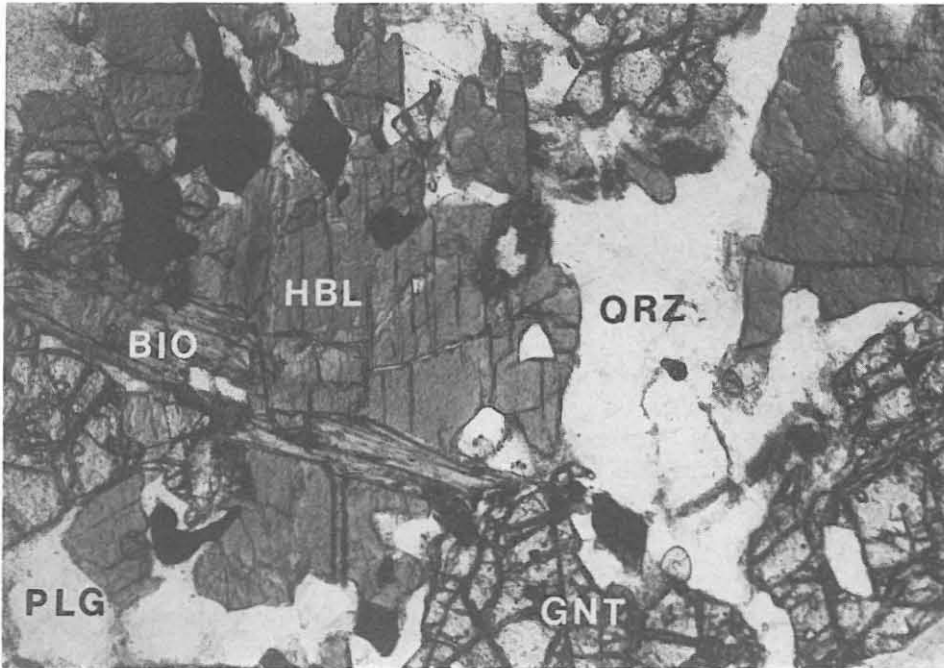


Abb. B.3.7: Beispiel eines Hornblende-Biotit-Gneises aus der Probe HC1260 (lange Bildkante entspr. 2,2 mm, X Nic.).

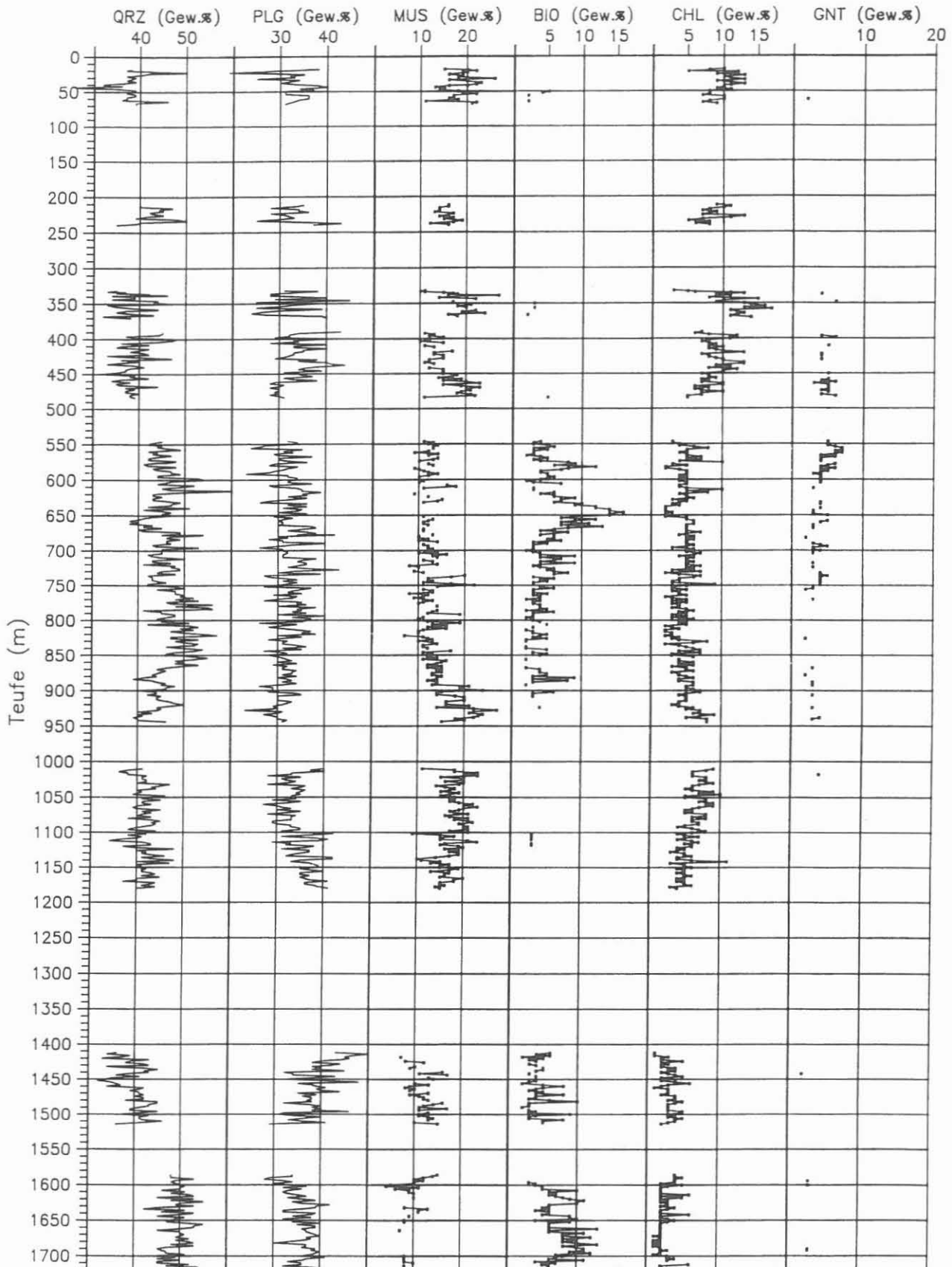
B.3.5 Mineralogische und chemische Zusammensetzung der Paragneise

Die mit dem Röntgendiffraktometer gemessene mineralogische Zusammensetzung der Paragneise weicht teilweise von den im Gesteinsnamen verwendeten Mineralparagenesen ab. Diese Abweichungen beruhen auf dem methodischen Unterschied zwischen Gesteinsansprache und Röntgendiffraktometeranalyse. Bei der Gesteinsansprache im Binokular oder im Dünnschliff werden noch erkennbare ursprüngliche Paragenesen bestimmt, während mit dem Röntgendiffraktometer die tatsächliche mineralogische Zusammensetzung gemessen wird. Umwandlungen von Biotit zu Chlorit und Plagioklas oder Sillimanit zu Serizit sind typische Beispiele einer unterschiedlichen Zuordnung der beiden Methoden. Daher liegen für das Gestein namensgebende Minerale wie Sillimanit, Kyanit, Biotit oder Granat teilweise unter der Nachweisgrenze (1 bis 3 Gew.%).

Die Darstellung der Konzentrationen von Hauptmineralen, ausgewählten chemischen Hauptbestandteilen und Spurenelementen als Teufenlog in den Abbildungen B.3.8 und B.3.9 ermöglicht die Charakterisierung der Paragneiseinheiten. Starke Alteration wird durch hohe Chlorit-Konzentrationen bei nur vereinzelt nachweisbarem Biotit z.B. in den ersten Gneiseinheiten von 0 - 500 m angezeigt. Mit dem Röntgendiffraktometer vereinzelt nachgewiesener Titanit, Kalzit, Klinnopyroxen und Skapolith in den Gneisen von 390 - 484 m zeigt zusammen mit erhöhten Fe_2O_3 -, MgO-, CaO- und Nb- Gehalten die dort vorkommenden Kalksilikat-Einschaltungen an.

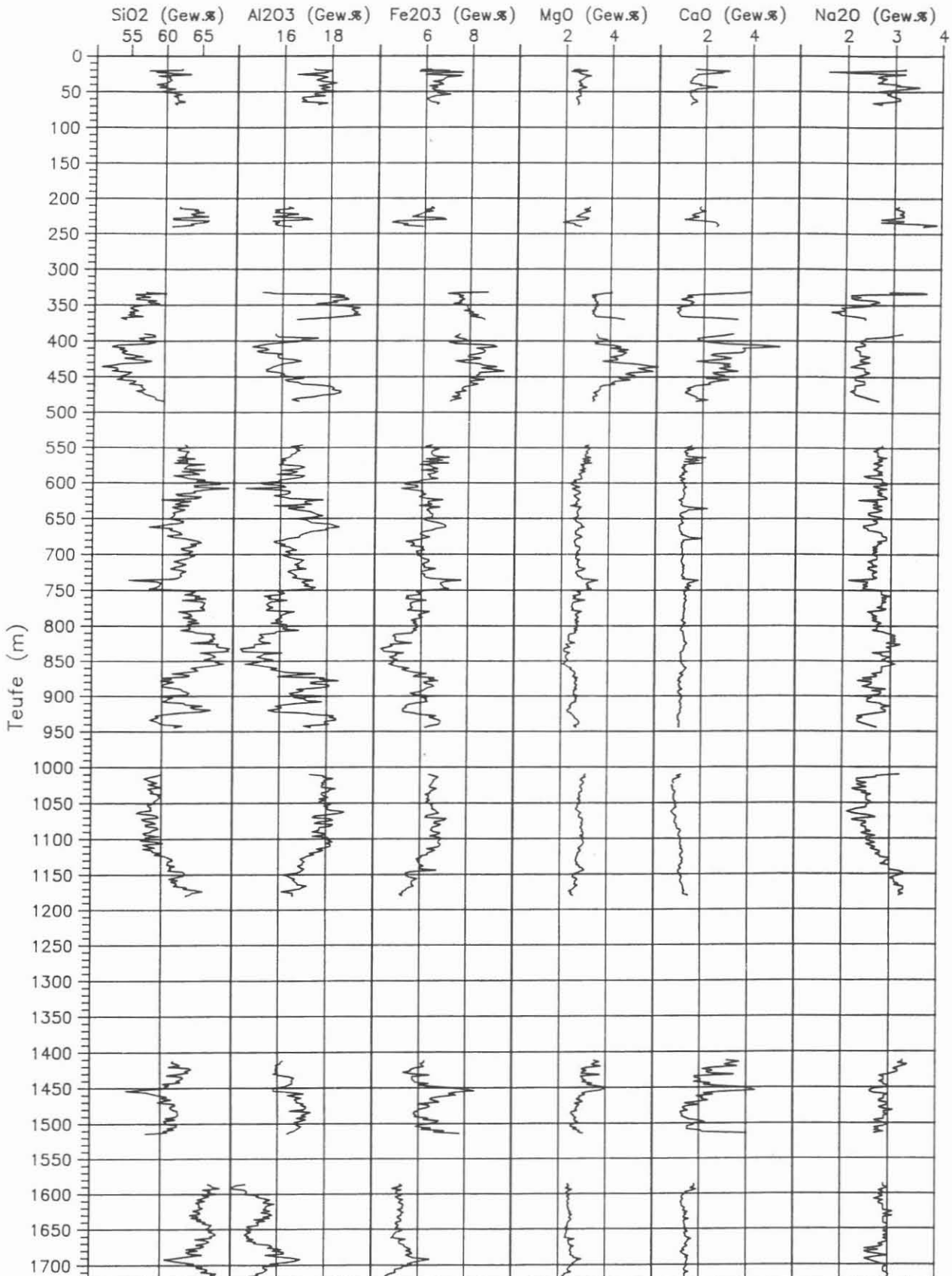
In den Granat-Sillimanit-Biotit-Gneisen von 546 - 1180 m ist ein deutlicher Trend von einem frischen, Granat- und Biotit-führenden Bereich mit Quarz-Gängen und Quarz-Mobilisatenn zu einer stärker alterierten Zone zu erkennen.

Eine Granat-Amphibolit-Einschaltung von 1450 - 1458 m hebt sich durch die Änderungen im Chemismus gegenüber dem umgebenden frischen Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis ab. Der frische Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis von 1586 m bis zur Berichtsteufe 1720 m hat niedrige Muskovit-Gehalte, die teilweise unter der Nachweisgrenze liegen.



Mineralogische Zusammensetzung der Paragneise 0 - 1720m
KTB-Feldlabor, AGRU: Geochemie, J. Hansmann, Stand: 20.05.91

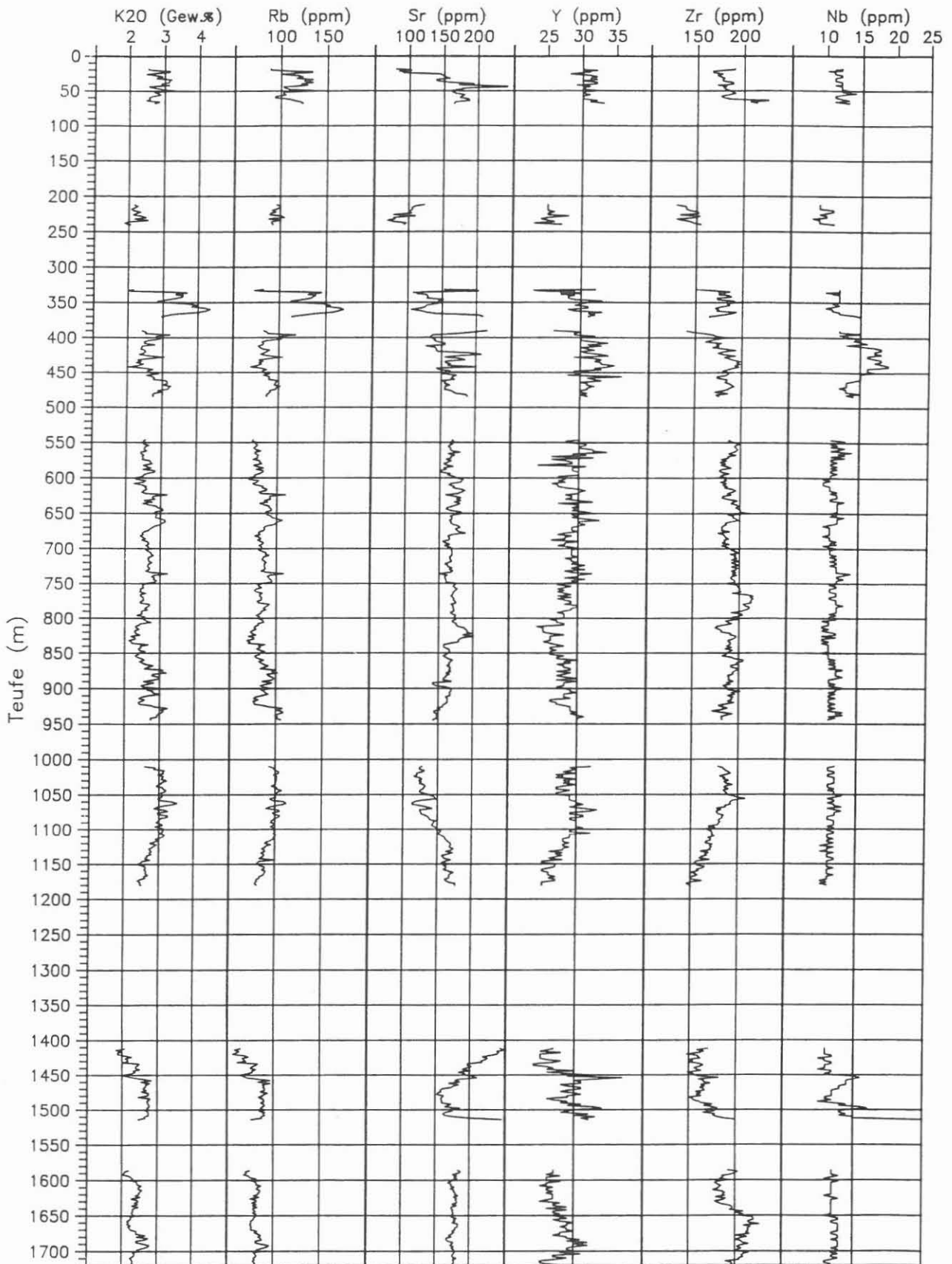
Abb. B.3.8
Mineralogische Zusammensetzung der Paragneise 0 - 1720m



Ausgewählte chemische Hauptbestandteile der Paragneise 0 - 1720m
KTB-Feldlabor, AGRU: Geochemie, J. Hansmann, Stand: 20.05.91

Abb. B.3.9

Ausgewählte chemische Hauptbestandteile der Paragneise 0 - 1720m



Ausgewählte chemische Hauptbestandteile (Fortsetzung) und Spurenelemente der Paragneise 0-1720m. KTB-Feldlabor, AGRU: Geochemie, J. Hansmann, Stand: 20.05.91

Abb. B.3.9 (Fortsetzung)
Ausgewählte chemische Hauptbestandteile (Fortsetzung) und Spurenelemente der Paragneise 0 - 1720m

B.4 Metabasite

B.4.1 Petrographie

Hauptgemengteile in den Amphiboliten sind Hornblende und Plagioklas. Nebengemengteile sind Klinopyroxen, Quarz, Granat sowie die Produkte der retrograden Metamorphose Biotit, Chlorit, Calcit und Epidot/Klinozoisit. Als Ti-Phasen treten Ilmenit, Rutil sowie Titanit, oft als Saum um Ilmenit oder Rutil, auf. In den Metabasiten III (1183 - 1410 m) ist das Wachstum von Ilm-Hbl-Symplektiten (Abb. B.4.1, z.T. auf Kosten von Titanit) zu beobachten. Akzessorien sind Apatit und Zirkon. Epidot, Prehnit, Laumontit und Adular treten als Kluftmineralisationen auf.

Soweit die Cuttings-Dünnschliffe eine Beurteilung zulassen, überwiegen nicht bis wenig foliierte Amphibolite. Eine ausgeprägte Foliation, die durch eine Formregelung der Hornblenden definiert wird, ist nur in wenigen Proben zu beobachten.

In der Vorbohrung wurde auf Grund von Gefügemerkmalen (reliktische ophitische Gefüge) zwischen Meta-Gabbros und Amphiboliten unterschieden. Da der Beobachtungsmaßstab in den Cuttings-Dünnschliffen eine sichere Unterscheidung nicht zulässt, wird auf eine derartige Einteilung verzichtet.

In den Proben HC0182, HC0184 und HC1268 treten Chlorit-Hornblendite auf, die als Meta-Ultramafitite interpretiert werden können. Der Volumenanteil an der Dünnschliffprobe liegt unter 2 %. Bestandteile sind Mg- und Mg-Fe-Chlorit, reliktische Hornblende und eine Opakphase.

Mineralbestand und Gefüge der Metabasite spiegeln drei Entwicklungsstadien wieder: (1) eine frühe Hochdruckmetamorphose, (2) eine dominierende amphibolitfazielle Prägung sowie (3) eine retrograde grünschiefer- bis zeolithfazielle Überprägung.

Zu 1: Relikte des frühen Hochdruckstadiums

Als Relikte des frühen Hochdruckstadiums werden Einschlüsse von feinkörnigen Cpx-Plg-Symplektiten in braunen (Ti-reichen) Hornblenden interpretiert (Abb. B.4.2). Diese Symplektite entstanden nach SIGMUND et. al (1990) bei der amphibolitfaziellen Überprägung aus omphazitischem Klinopyroxen. Sie werden bei weiterer Anpassung an die amphibolitfaziellen p-T-Bedingungen in Hbl-Plg-Symplektite und poikiloblastische grüne Hornblende umgewandelt.

Cpx-Plg-Symplektite wurden nur in wenigen Proben der Metabasite III beobachtet. In den Metabasiten I und II treten nur poikiloblastische grüne Hornblenden und sehr selten Hbl-Plg-Symplektite auf. In den Metabasiten III finden sich häufig Säume aus z.T. stark getrübttem Plagioklas um Granat (Abb. B.4.3). Sie entstehen nach SIGMUND et al. (1990) bei der amphibolitfaziellen Überprägung der Hochdruck-Paragenesen und können als Indiz für ein Hochdruckstadium interpretiert werden.

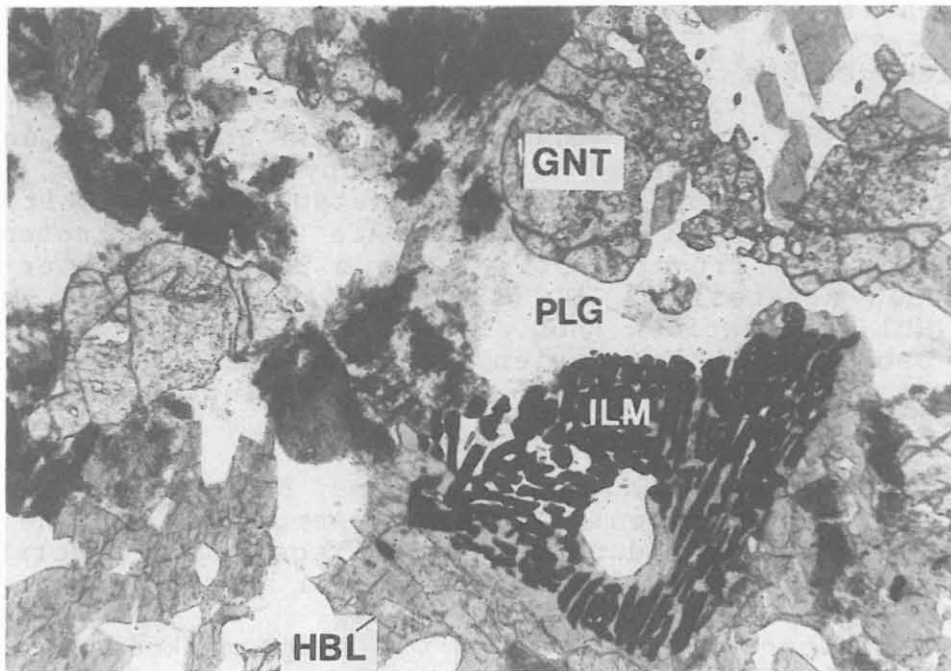


Abb. B.4.1 : Symplektitartige Verwachsungen von Hornblende und Ilmenit. (DS HC1308, lange Bildkante entspr. ca. 2.2 mm, // Nic.).

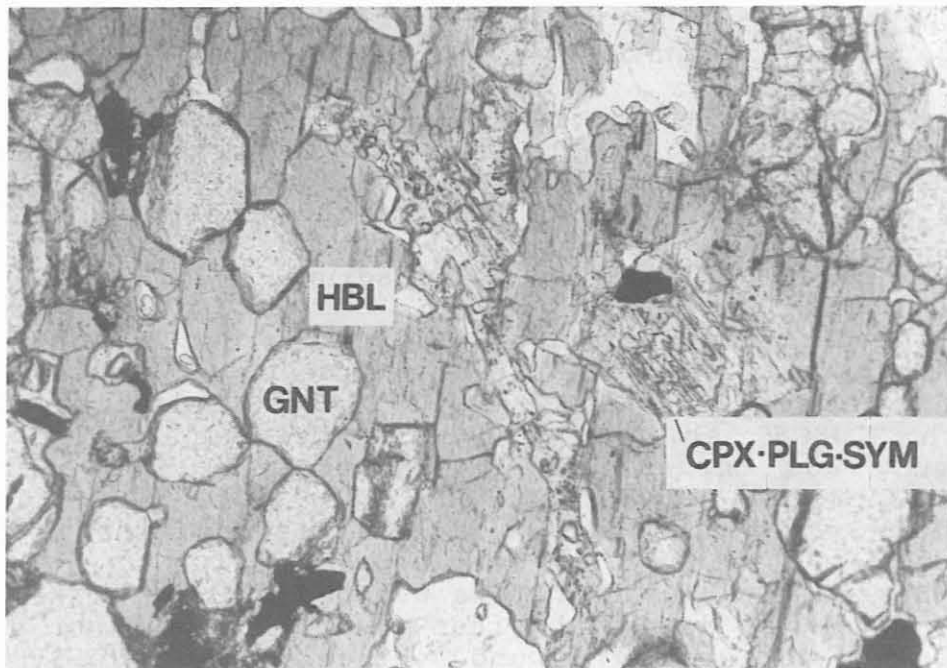


Abb. B.4.2 : Einschlüsse von Klinopyroxen-Plagioklas-Symplektiten in brauner Hornblende. (DS HC1252, lange Bildkante entspr. ca. 1.4 mm, // Nic.).

Zu 2: Dominierende amphibolitfazielle Prägung

Die dominierende Metamorphose und Gefügeprägung der Metabasite erfolgte unter amphibolitfaziellen p-T-Bedingungen. Die charakteristische Paragenese ist grüne Hornblende + Plagioklas. Das Auftreten von Klinopyroxen ist auf kalksilikatische Lagen beschränkt.

Die Hornblenden sind z.T. chemisch inhomogen mit unregelmäßig über das Korn verteilten grünen oder braunen Domänen, oder zeigen Zonarbaustrukturen mit braunem Kern und grünem Rand. In den Metabasiten III (1183 - 1610 m) sind in den braunen Hornblenden durch Anpassung an niedrigere Temperaturen induzierte Ausscheidungen von Rutil zu beobachten. In kataklastisch unbeanspruchten Bereichen zeigen Hornblende und Plagioklas häufig granoblastisch-polygonale Gefüge mit Großwinkelkorn Grenzen und geraden bis leicht gekrümmten Korn- bzw. Phasengrenzen.

Zu 3: Grünschiefer- bis zeolithfazielle Überprägung

Die grünschiefer- bis zeolithfazielle retrograde Metamorphose ist außer in Scherzonen nicht mit einer grundlegenden Neueinstellung der Gefüge verbunden. Die beobachteten Reaktionen sind weitgehend vom Typ pseudomorpher Ersatz. Der Grad der retrograden Überprägung ist beträchtlichen Schwankungen unterworfen, nimmt aber von den Metabasiten I zu den Metabasiten III ab.

Hornblende wird ausgehend von Korn- bzw. Phasengrenzen, Brüchen oder entlang den Spaltbarkeiten pseudomorph durch Aktinolith oder aktinolithische Hornblende, Chlorit oder selten Biotit bzw. Epidot ersetzt (Abb. B.4.4). Die Neubildung von idiomorphem Aktinolith ist selten zu beobachten (Abb. B.4.5). Weitere Reaktionen sind Ersatz von Biotit durch Chlorit, der Ersatz von Granat durch Chlorit ± Epidot, sowie das Wachstum von Epidot/-Klinozoisit oder Zoisit auf Kosten der Anorthit-Komponente der Plagioklase.

Der überwiegende Deformationsmechanismus bei den Hornblenden und Plagioklasen ist Kataklastik. In einzelnen diskreten Scherzonen kann eine Korngrößenreduktion bis in den submikroskopischen Bereich sowie intensive plastische Deformation beobachtet werden.

B.4.2 Chemische Zusammensetzung der Metabasite

Datenbasis für die geochemische Interpretation der Metabasite sind die RFA-Analysen von Cuttings-Proben aus dem KTB-Feldlabor. Neben Veränderungen im Chemismus bei der Metamorphose sind auch die durch die Art des Probenmaterials bedingte unvollständige Kontrolle über Repräsentativität, Homogenität, Alterationsgrad, Kontamination (Nachfall, Kluftmineralisationen, Mobilisate) sowie Verdünnungseffekte zu berücksichtigen.

Die folgenden Angaben beziehen sich deshalb nur auf Proben, die nach Dünnschliffbeobachtungen und Datenbankabfragen weitgehend frei von Gneis-Nachfall und Kluftmineralisationen sind.

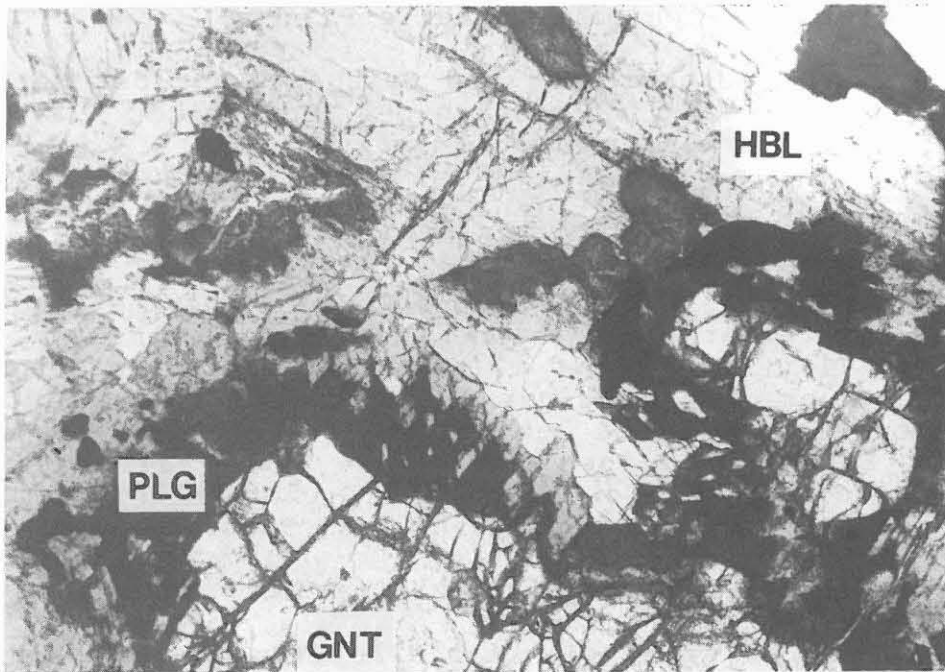


Abb. B.4.3 : Säume von stark alteriertem Plagioklas um Granat.
(DS HC1386, lange Bildkante entspr. ca. 2.2 mm, // Nic.).

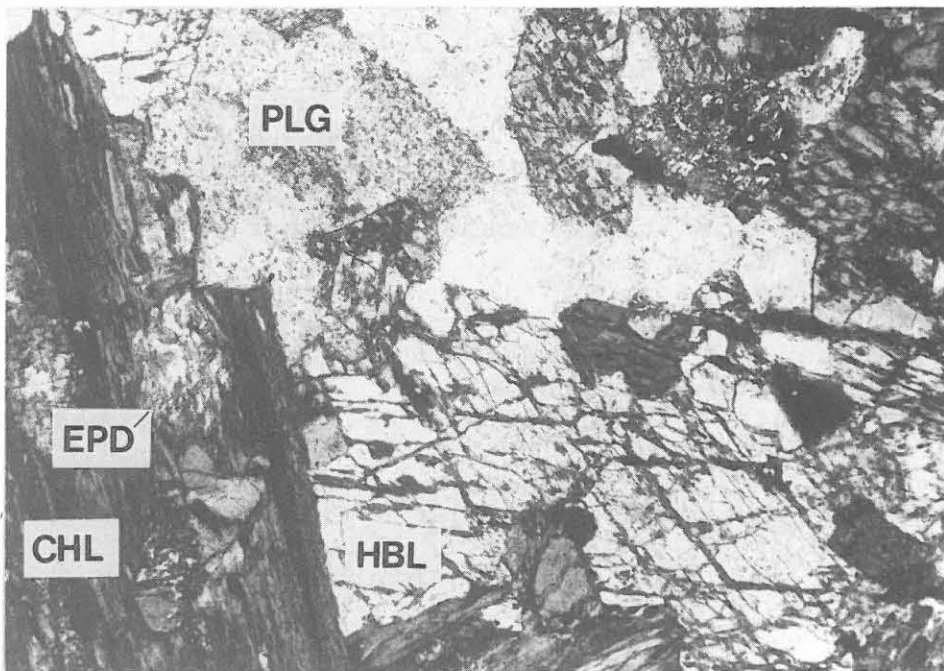


Abb. B.4.4 : Pseudomorpher Ersatz von Hornblende durch Chlorit
und Epidot und Ersatz von Hornblende durch Chlorit ausgehend
von den Spaltbarkeiten. (DS HC0092, lange Bildkante entspr. ca.
2.2 mm, x Nic.).

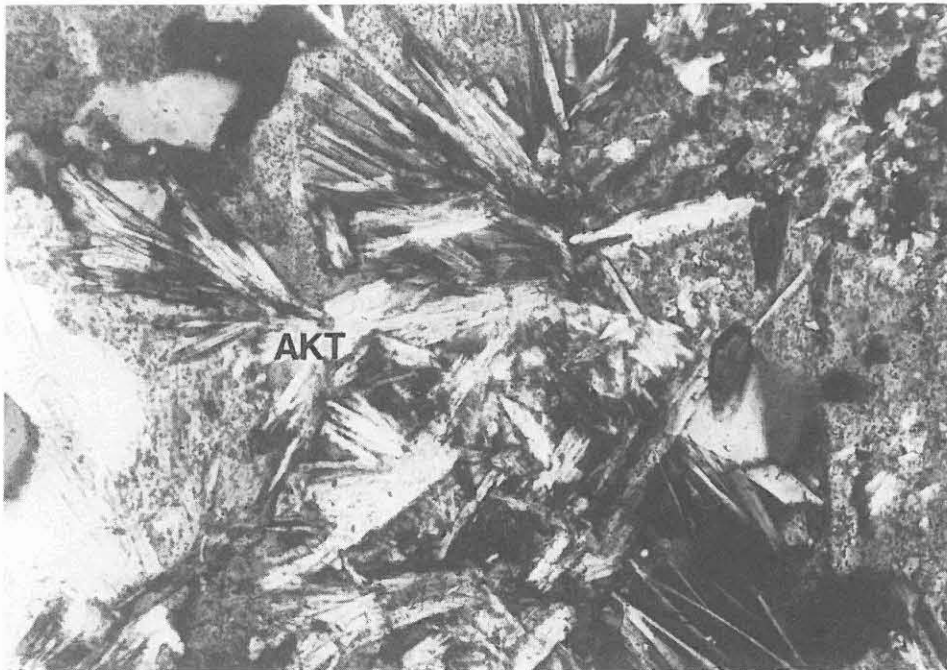


Abb. B.4.5: Neubildung von idiomorphem Aktinolith in stark retrograd überprägtem Amphibolit. (DS HC0168, lange Bildkante entspr. ca. 0.56 mm, x Nic.).

Besonders bei den Metabasiten III (1183 - 1410 m) sind zusätzlich Veränderungen im Chemismus durch die starke kataklastische Überprägung zu erwarten (s.a. ZULAUF 1990).

Alle drei Metabasit-Komplexe zeigen basaltischen Hauptelement- und Spurenelementchemismus. Einen Überblick über die chemische Zusammensetzung gibt Tabelle B.4.1.

Die Metabasite I (69 - 203 m) und III sind mit 46.0 - 55.0 % SiO_2 hy- bis q-normativ (CIPW-Norm, berechnet mit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}=0.15$). Die Metabasite II (309 - 329 m) sind dagegen mit 43.2 - 45.8 Gew.-% SiO_2 deutlich SiO_2 -ärmer und ne-normativ (bis ca. 7 % ne).

Um eine vergleichende Übersicht über die einzelnen Metabasitkomplexe zu ermöglichen, sind in der Abb. B.4.6 der Mg-Wert als Fraktionierungsindex ($\text{Mg}\# = 100 \cdot \text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO}_{\text{total}})$) sowie Cr, Ni, TiO_2 , Zr, Nb, Zr/Y, Zr/Nb und Ti/V in Form eines Teufenlogs dargestellt. Einen Überblick über die Modalbestände gibt Abb. B.4.7. Die Teufenangaben beziehen sich auf die Lag-Teufe, nicht auf die Profil-Teufe. Die Metabasite III sind auf Grund der starken Kontamination mit Gneis-Nachfall erst ab einer Lag-Teufe von 1200 m dargestellt.

Bei relativ konstanten Elementverhältnissen (z.B. Zr/Y) zeigen der Mg-Wert und die Gehalte der kompatiblen und der inkompatiblen Elemente erhebliche, meist gegenläufige Variationen. In der Regel ist nur das generelle Muster, wie z.B. die Abnahme der Cr und Ni-Gehalte bei gleichzeitiger Zunahme der inkompatiblen Elemente, sinnvoll interpretierbar. Eine Reihe kleinerer und

(Gew.-%)	Metabasite I (n=65)			Metabasite II (n=10)			Metabasite III (n=70)		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
SiO ₂	46.0	55.0	50.9	43.2	45.8	44.5	47.1	54.8	51.0
TiO ₂	0.89	2.03	1.44	1.86	2.08	1.95	1.10	3.39	1.86
Al ₂ O ₃	13.2	16.5	14.7	12.6	14.3	13.6	13.8	17.0	15.5
Fe ₂ O ₃	8.3	12.1	9.7	11.5	12.6	12.1	7.3	13.8	9.7
MnO	0.12	0.18	0.15	0.18	0.20	0.19	0.11	0.20	0.15
MgO	5.5	8.7	6.9	6.2	7.8	7.0	4.9	7.7	6.1
CaO	5.40	8.49	7.44	8.48	12.52	10.96	4.95	8.89	7.41
Na ₂ O	2.6	4.5	3.5	2.3	2.9	2.7	2.7	4.0	3.2
K ₂ O	0.60	2.02	1.14	0.89	1.30	1.08	0.71	1.57	1.06
P ₂ O ₅	0.15	0.60	0.27	0.34	0.39	0.37	0.13	0.40	0.23
S	0.0	0.6	0.1	0.1	0.7	0.2	0.1	0.6	0.2
(ppm)									
Sr	229	437	308	268	371	315	198	326	274
Rb	26	103	52	22	39	30	13	50	27
Y	20	44	32	31	34	33	18	45	30
Zr	78	237	149	150	170	161	94	207	131
Nb	4	17	9	18	22	21	8	22	13
Cr	68	249	141	157	236	189	47	215	132
Ni	30	97	56	102	170	127	16	116	53
Zn	81	145	102	92	116	103	71	125	89
V	135	261	201	252	290	273	143	435	239
Cu	22	112	40	42	67	55	29	71	39
Th	<5	8	-	<5	<5	-	<5	9	-
U	<5	<5	-	<5	<5	-	<5	<5	-

Tab. B.4.1 Chemische Zusammensetzung (Minimum, Maximum und Durchschnitt) der Metabasite I, II und III.

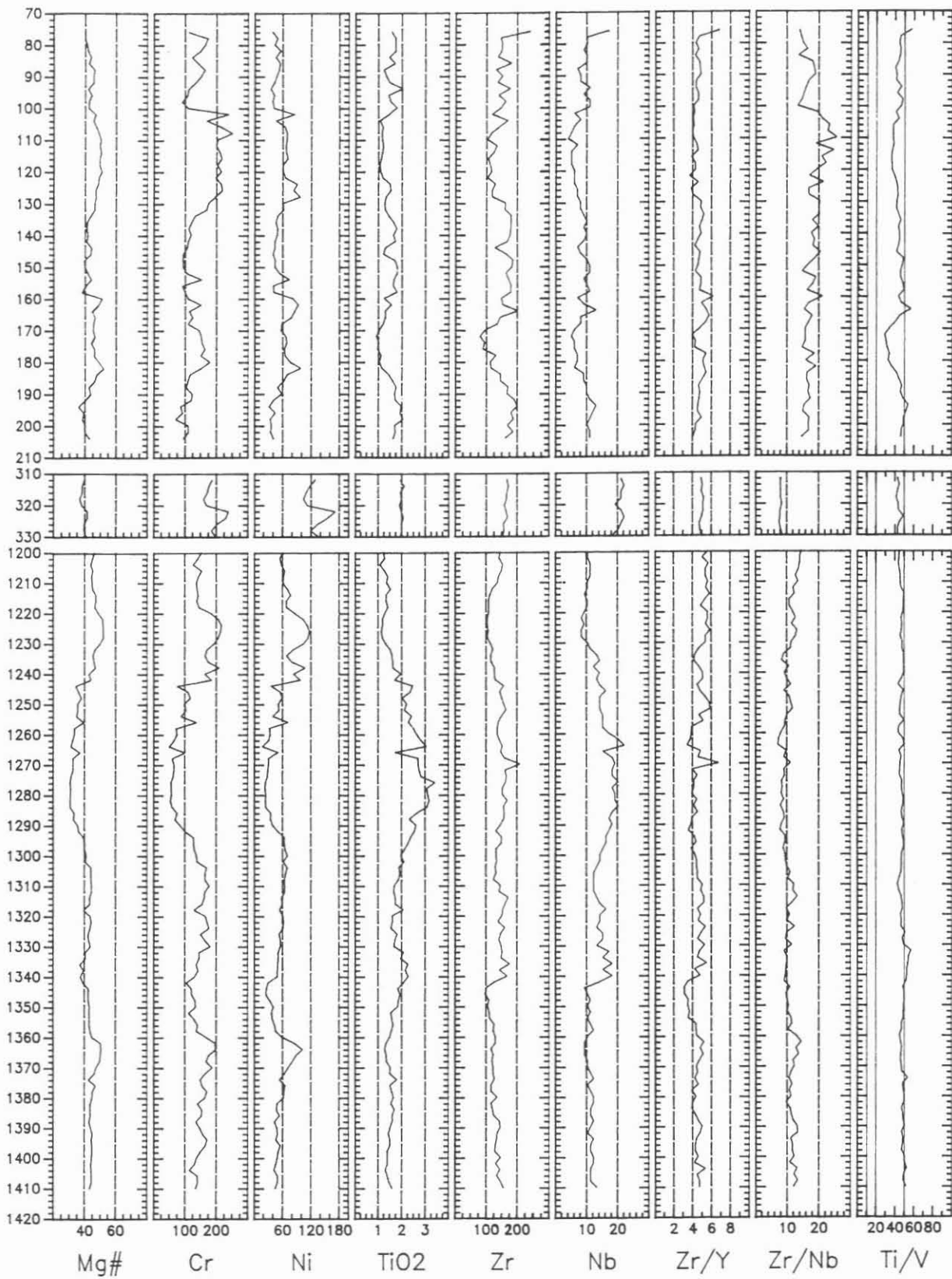


Abb. B.4.6 : Teufenlogs der Parameter Mg-Wert, Cr (ppm), Ni (ppm), TiO₂ (Gew.-%), Zr (ppm), Nb (ppm), Zr/Y, Zr/Nb und Ti/V für die Metabasite I bis III (RFA-Daten, KTB-Feldlabor).

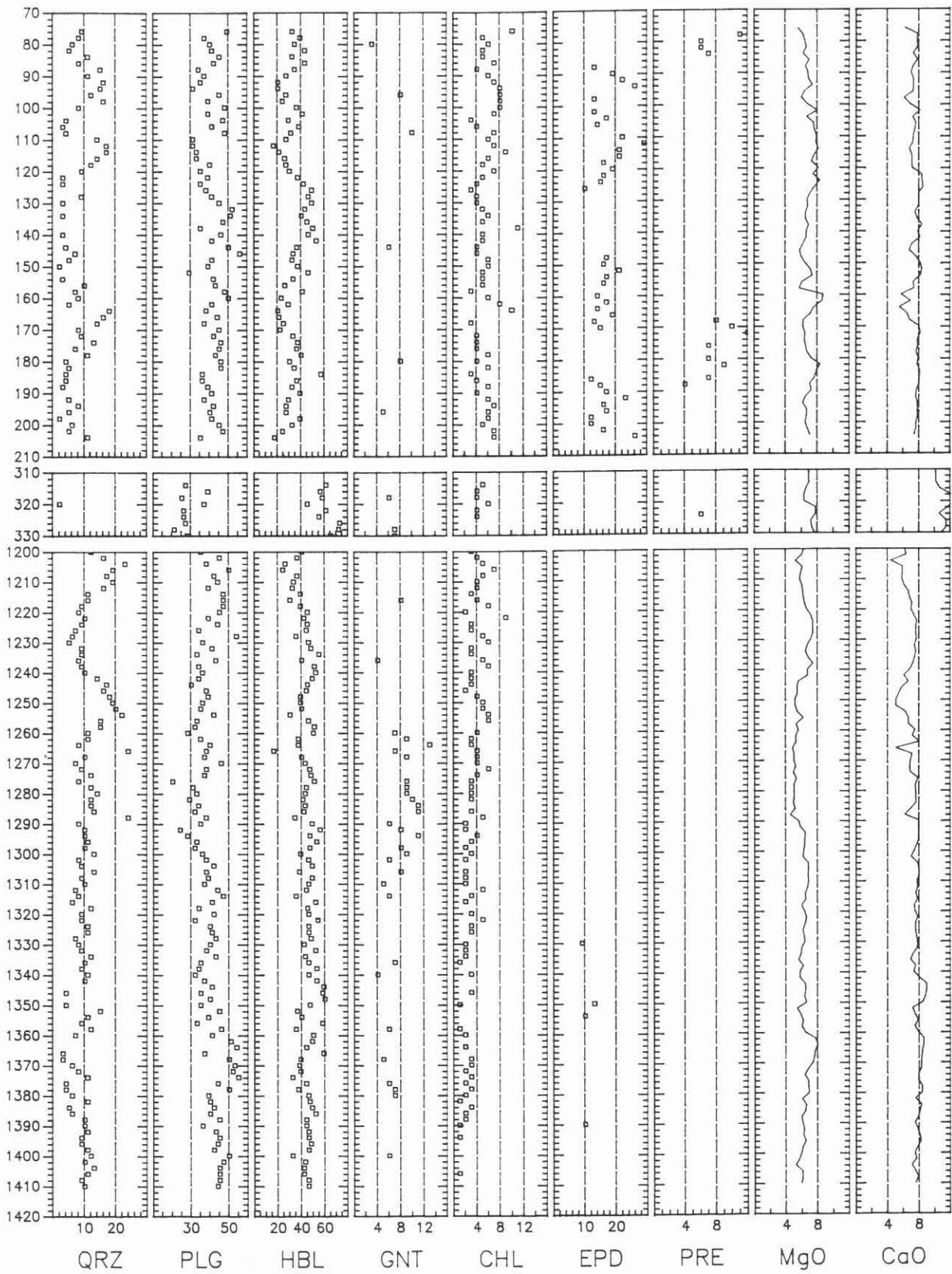


Abb. B.4.7 : Teufenlogs der Modalbestände (RDA-Daten, KTB-Feldlabor) an Quarz (QRZ), Plagioklas (PLG), Hornblende (HBL), Granat (GNT), Chlorit (CHL), Epidot (EPD), Prehnit (PRE) sowie der Gehalte an MgO (Gew.-%) und CaO (Gew.-%, RFA-Daten).

z.T. sehr scharfer Peaks ist nur schwer erklärbar und dürfte auf Effekte wie z.B. Kontamination (s.o.) zurückzuführen sein.

Die Werte für MgO, Mg#, Cr und Ni der Metabasite I bis III liegen im Bereich 4.86 - 8.69 Gew.-%, ca. 30 - 51, 47 - 249 ppm und 16 - 170 ppm. Diese niedrigen Werte sprechen gegen das Vorhandensein mächtigerer Einschaltungen von Meta-Ultramafititen, wie sie aus den entsprechenden Metabasitkomplexen in der Vorbohrung beschrieben wurden (bis zu 24 Gew.-% MgO, 870 ppm Cr und ca. 500 ppm Ni, STROH et al. 1988). Da die Meta-Ultramafitite bei ca. 182 m nur einen kleinen Cr-, Ni- und MgO-Peak verursachen, ist damit zu rechnen, daß sehr geringmächtige Einschaltungen von Meta-Ultramafititen auf Grund eines Verdünnungseffektes nicht mehr eindeutig detektiert werden können.

Innerhalb der Metabasitkomplexe I und III sind Cr bzw. Ni mit den Mg-Werten positiv und mit den inkompatiblen Elementen negativ korreliert. Das bedeutet, daß die chemischen Variationen theoretisch durch Akkumulations-/Fraktionierungsprozesse erklärbar sind.

In der Abb. B.4.8a sind die wenig mobilen inkompatiblen Elemente Ti, Y, Nb und P gegen Zr als Fraktionierungsindex aufgetragen. Die Gehalte aller drei Gruppen liegen im Bereich 0.89 - 3.39 Gew.-% TiO_2 , 18 - 45 ppm Y, <5 - 22 ppm Nb, 0.13 - 0.6 Gew.-% P_2O_5 und 78 - 237 ppm Zr.

Im Vergleich zu den Metabasiten I sind bei entsprechenden Zr-Gehalten die Metabasite III z.T. deutlich angereichert an Nb und TiO_2 und weniger deutlich ausgeprägt an Y. Im Gegensatz dazu zeigen die Metabasite II nur eine signifikante Anreicherung von Nb und eine wenig ausgeprägte Anreicherung von TiO_2 bei vergleichbaren Zr-Gehalten.

Die durchschnittlichen Werte für Zr/Nb und Zr/Y für die Metabasite I, II und III liegen bei ca. 18, 8 und 10 bzw. ca. 5, 5 und 4. Die Ti/Zr-Verhältnisse liegen bei ca. 60, 81 und 71. Die Werte für Ti/V entsprechen mit ca. 30 bis 56 den Werten für MORB bzw. Intraplattentholeiiten (SHERVAIS 1982, s.a. Abb. B.4.6: Ti/V).

Der subalkaline tholeiitische Chemismus der Metabasite I wird belegt durch die TiO_2 -, Zr- und Nb-Gehalte, die Y/Nb-Verhältnisse (>1.5, s.a. PEARCE & CANN 1973) sowie die positive Korrelation von TiO_2 , V und FeO mit FeO/MgO. Die ne-normativen Metabasite II liegen wie die Metabasite III im Übergangsbereich zu alkalinen Zusammensetzungen (niedrigere Zr/Nb-Verhältnisse, höhere TiO_2 - und Nb-Gehalte). Im Zr/ P_2O_5 - TiO_2 -Diagramm zur Unterscheidung von Tholeiiten und Alkalibasalten von WINCHESTER & FLOYD (1976), Abb. B.4.8b, liegen sie z.T. im Tholeiit- und z.T. im Alkalibasaltfeld.

Das Diagramm Zr vs. TiO_2 (PEARCE 1982, Abb. B.4.8b) ermöglicht einen Vergleich bereits vorliegender chemischer Daten der ZEV-Metabasite mit den Ergebnissen der Cuttings-Proben.

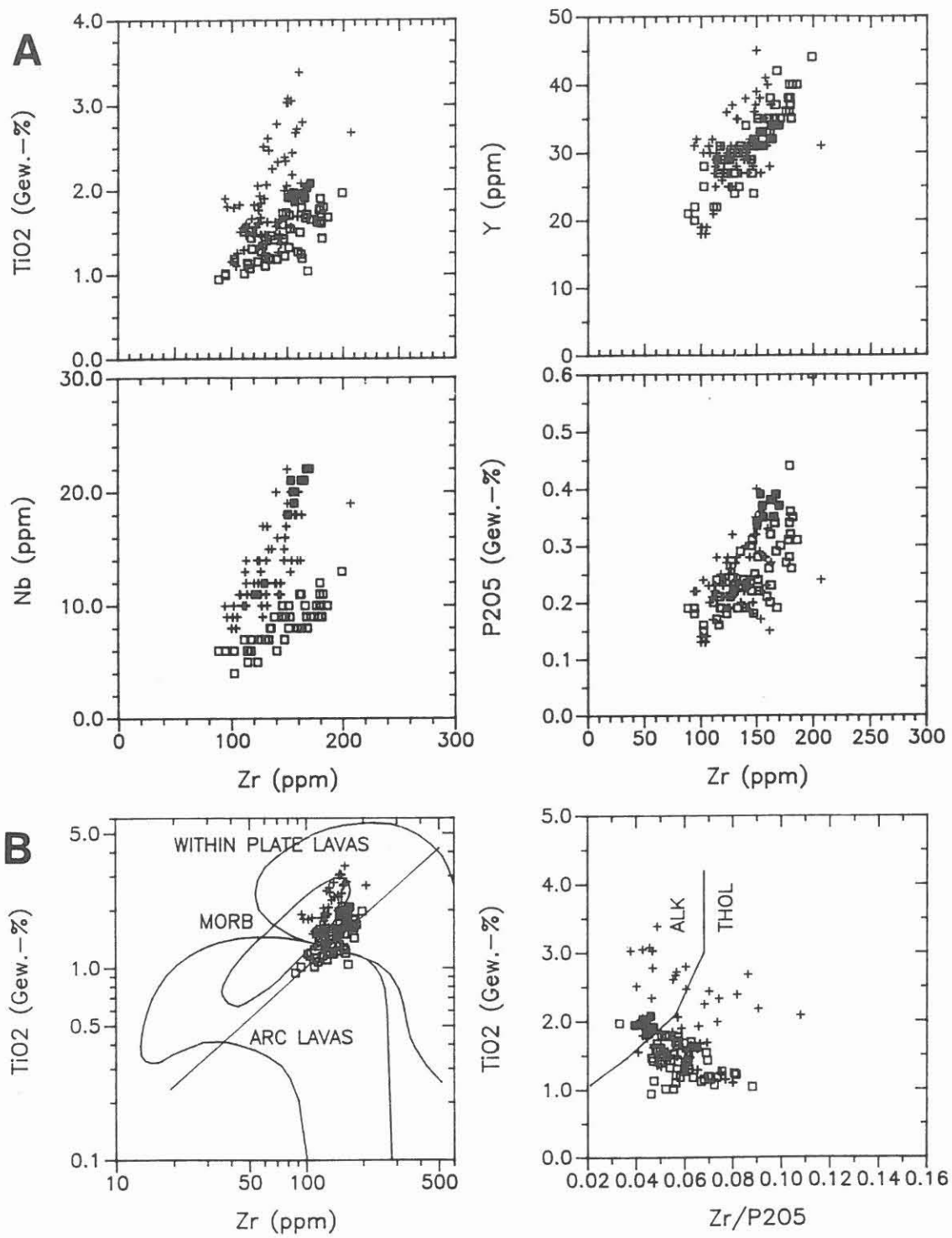


Abb. B.4.8a : Variationsdiagramme Zr vs. TiO₂, Y, Nb und P₂O₅ für die Metabasite I bis III.

Abb. B.4.8b : Diagramme Zr vs. TiO₂ (PEARCE 1982) und Zr/P₂O₅ vs. TiO₂ (WINCHESTER & FLOYD 1976).

Signaturen : □ = Metabasite I (69 - 203 m), ■ = Metabasite II (309 - 329 m), + = Metabasite III (1183 - 1410 m)

Die Analysenpunkte liegen im Bereich der Intraplattenbasalte (Metabasite I und II) bzw. streuen als Folge der höheren Ti/Zr-Verhältnisse über das MORB- und Intraplattenfeld.

Eine genetische Interpretation ist auf Grund der oben angeführten Gründe problematisch und soll hier nicht versucht werden. In Abb. B.4.9 ist die Bandbreite der Zusammensetzungen der Metabasite I bis III in MORB-normierten Variationsdiagrammen dargestellt. Die Anreicherung der inkompatiblen Elemente vom TiO_2 bis zum Nb und insbesondere die Zr/Y- und Zr/Nb-Verhältnisse aber sprechen für Edukte mit einer Zusammensetzung vergleichbar mit E-type-MORB oder Intraplattentholeiten.

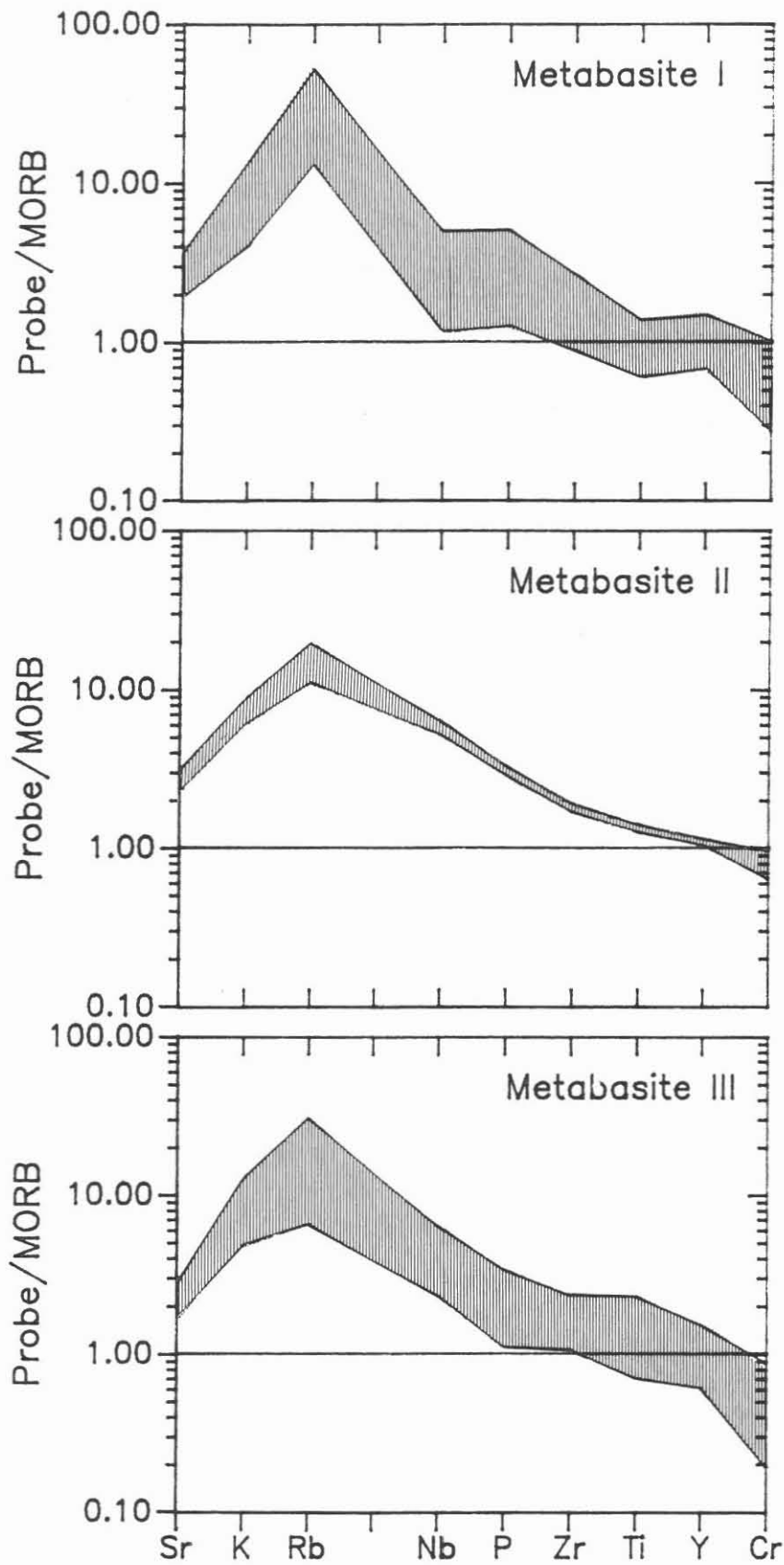


Abb. B.4.9 : MORB-normierte Variationsdiagramme (Daten für MORB aus PEARCE 1981) für die Metabasite I bis III.

B.5 Lamprophyre

Lamprophyre treten in den Teufenbereichen um 74 m (1 m mächtige Gänge), sowie gehäuft zwischen 410 und 451 m, 728 und 751 m (jeweils cm- bis dm-mächtige Gänge) und zwischen 1534 und 1600 m (m-mächtige Gänge) auf. Eine eindeutige Lokalisierung der Gesteine im Bohrprofil anhand der Cuttings ist aufgrund der häufig geringmächtigen Ausbildung und der Vermischung mit Nachfall nur begrenzt möglich. Zuverlässiger läßt sich die Lage im Profil anhand eines deutlichen Anstiegs der natürlichen Gammastrahlung festlegen.

Die meist braunen, fein- bis mittelkörnigen, dichten Lamprophyre durchschlagen Gneise und kataklastische Amphibolite. Über die Verbandsverhältnisse lassen sich mit Hilfe der Cuttinganalysen nur indirekte Aussagen machen.

Im Mikroskop kann ein weiteres Spektrum an Gefügetypen und Mineralbeständen unterschieden werden. In der Regel wird das Bild von einem sperrigen Grundmassengefüge mit Einsprenglingen von Hornblende, Biotit und Plagioklas geprägt (Abb. B.5.1). Die Plagioklasleisten können vollständig sericitisiert sein. In HC1541 zeigen die Plagioklase deutlichen Zonarbau. Die Regelung der Plagioklaseinsprenglinge bildet in z.B. DS HC0415K und HC1544 eine Fließtextur ab.

Pseudomorphosen, vermutlich überwiegend nach Olivin mit rautenförmigen und sechseckigen Querschnitten bestehen aus Aktinolith, Calcit, Chlorit und weiteren Schichtsilikaten (Abb. B.5.2). Olivin ist nirgends erhalten. Klüfte sind mit Epidot, Prehnit, Adular und Kalzit verheilt.

Aus neun Teufenbereichen (HC0074, HC0410, HC0432, HC 0739, HC0749, HC1540, HC1542, HC1550, HC1562) wurden 16 reine Lamprophyroproben unter dem Binokular für RFA- und RDA-Analysen separiert (Tab. B.5.1). Nach mikroskopischen Kriterien wurden von einer Probe bis zu drei Varietäten unterschieden. Aussagen über eine eventuelle Zonierung der Gänge sind daraus allerdings nicht abzuleiten. Nach Mineralbestand und chemischer Zusammensetzung handelt es sich um Kalkalkali-Lamprophyre.

Es lassen sich zwei Varietäten unterscheiden (vgl. Tab. B.5.1):

- **Spessartite** in den Teufenbereichen um 74 m und zwischen 1534 und 1600 m sind gekennzeichnet durch Hornblende als dominierenden dunklen Gemengteil. Plagioklas dominiert gegenüber Kalifeldspat, Quarz fehlt.
- **Kersantite** im Teufenbereich zwischen 410 und 451 m sowie zwischen 728 und 751 m zeigen deutliche Quarzgehalte sowie ebenfalls eine Vormacht von Plagioklas gegenüber Kalifeldspat. Hornblende fehlt, Biotit kann unter dem Mikroskop beobachtet werden, liegt jedoch unter der Nachweisgrenze der RDA. Bei der Probe HC0410 handelt es sich um ein Zwischenglied von Kersantit und Minette; die Gehalte an Kalifeldspat und Plagioklas sind gleich, das Gestein ist reich an Biotit.

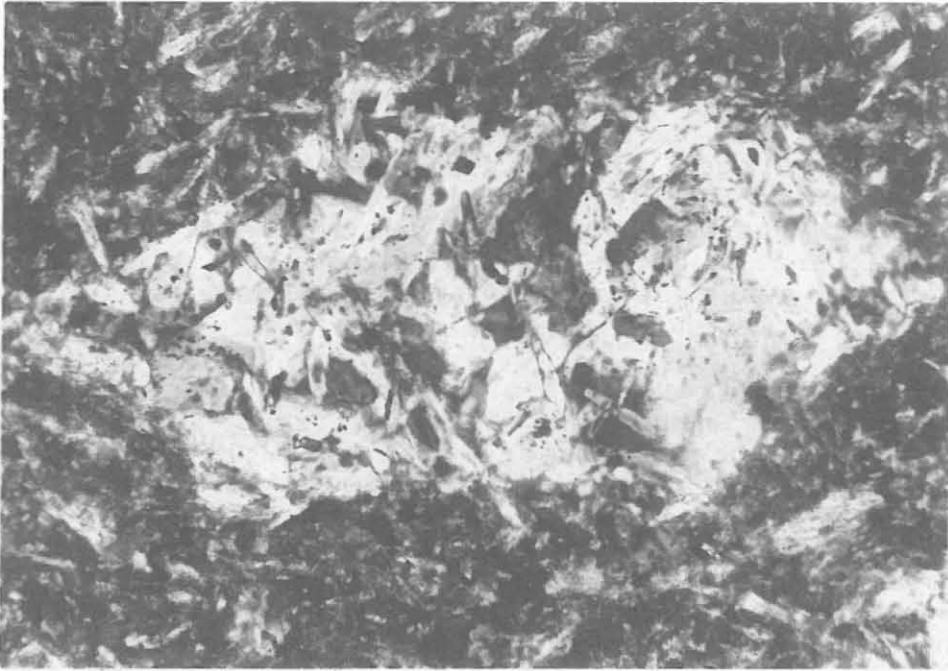


Abb. B.5.1: Aktinolithpseudomorphose in feinkörnigem Lamprophyr, vermutlich nach Olivin. In der Pseudomorphose sind kleine idiomorphe Pyritkristalle sowie Andeutungen von bis zu 5 μm großen Spinellen zu erkennen. (Probe HC1540, lange Bildkante entspr. 0.56 mm, // Nic.)

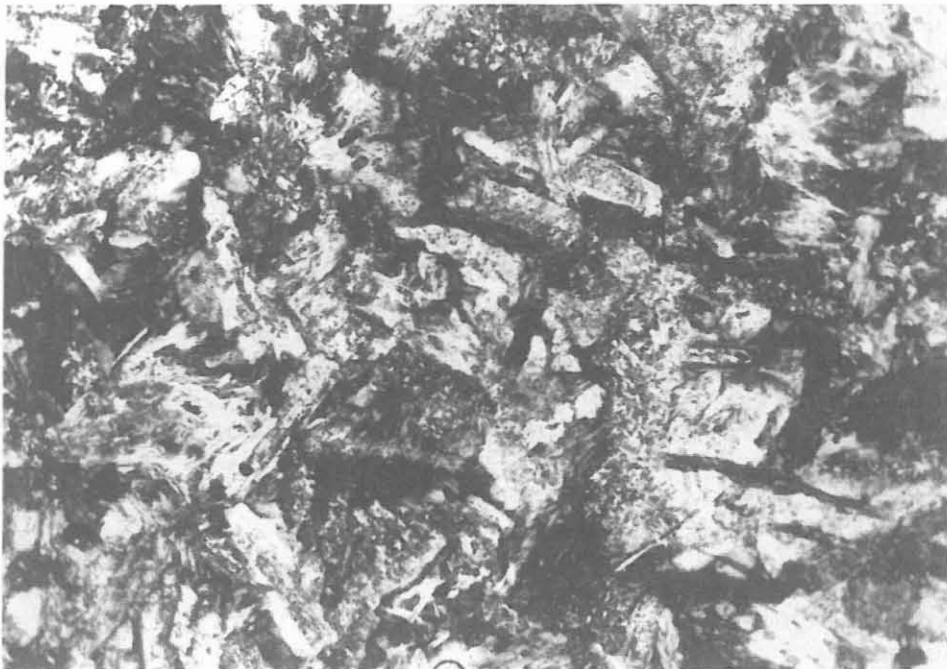


Abb. B.5.2: Übersicht eines grobkörnigen Lamprophyrs mit Aktinolithinsprenglingen in einer Plagioklasmatrix. (Probe HC1582, lange Bildkante entspr. 1.41 mm, x Nic.)

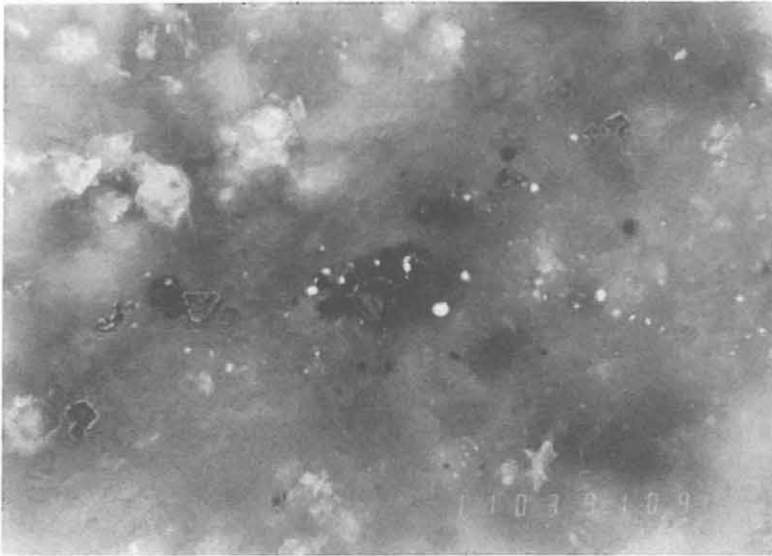


Abb. B.5.3: Idiomorphe Spinell-Einzelkörner, wahrscheinlich in Olivin-Pseudomorphosen in einem Lamprophyr. Hellgraue, dünne Säume bestehen möglicherweise aus Magnetit. Pyrit bildet Einzelkörner (weiß).
(Probe HC0436, Ölimm., lange Bildkante entspr. 300 μm , // Nic.)

Nach den RFA- und RDA-Analysen unterscheiden sich die Lamprophyre im Vergleich zu denen der Vorbohrung durch eine Vormacht von Amphibolen gegenüber Biotit. Der dominierende Anteil von Plagioklas gegenüber Kalifeldspat wurde auch in der Vorbohrung beobachtet. Erwähnenswert ist, daß in den Teufenbereichen bei ca. 74 m und zwischen 1540 und 1562 m Quarz fehlt. In den Lamprophyren der Vorbohrung ist Quarz stets vorhanden (z.B. RÖHR et al. 1989).

Erzmineralisation

Die Erzmineralisation in den Lamprophyren ist sehr feinkörnig. Einzelkörner erreichen nur selten Größen bis 50 μm . Weit verbreitet sind oxidische Ti-Phasen (Anatas, Leukoxen) aus der Ilmenit-Alteration in der Grundmasse des Gesteins. Ilmenit ist nur noch selten reliktmäßig erhalten; er zeigt stengelige Formen und wird von mehr oder weniger stark ausgebildeten Titanit-Säumen umgeben.

Idiomorphe Spinelle mit quadratischen Umrissen erreichen selten eine Korngröße von 35 μm (HC1540); zumeist wird das Mineral in Gruppen von Individuen mit Korndurchmessern von 5 - 20 μm in Pseudomorphosen nach Olivin entdeckt. Wahrscheinlich handelt es sich bei diesem Mineral um den Cr-Spinell Picotit, der auch in Lamprophyren der Vorbohrung bestimmt wurde. Die dort häufigen Magnetit-Säume werden lokal auch hier vermutet (Abb. B.5.3).

Die geringe, disseminierte Sulfidmineralisation besteht aus meist <10 μm großen Einzelkörnern von Pyrit, Chalkopyrit, Pyrrhotin und Sphalerit.

Tab. B.5.1: Chemische Zusammensetzung, CIPW-Norm und Modalbestand der Lamprophyre

	grob (Gew.-%) HC0074	fein HC0074	misch HC0410	misch I HC0432	misch II HC0432	misch HC0739	misch HC0749	fein HC1540	grob HC1540	misch HC1542	fein HC1542	fein HC1550	fein HC1562
SiO2	47.8	46.6	49.7	48.8	48.3	47.3	50.6	49.0	48.0	48.0	48.5	48.1	49.5
TiO2	1.63	2.11	0.97	1.66	1.81	1.76	1.71	1.52	1.56	1.54	1.47	1.51	1.53
Al2O3	15.7	15.1	13.3	15.3	15.2	14.7	14.9	14.4	14.5	15.0	14.3	14.0	14.5
Fe2O3	10.4	12.2	7.5	10.4	11.0	10.3	10.3	9.0	9.1	9.1	8.9	8.7	9.1
MnO	0.15	0.18	0.18	0.17	0.19	0.19	0.19	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
MgO	6.1	7.4	6.0	7.9	8.7	9.2	8.1	8.2	8.5	8.6	8.1	8.2	8.1
CaO	7.27	5.23	6.20	3.62	3.50	4.41	3.96	6.90	6.81	7.94	7.18	7.97	6.47
Na2O	3.0	2.9	0.9	2.4	2.3	1.7	2.1	2.5	2.1	2.2	2.2	2.2	2.4
K2O	2.45	2.16	3.55	1.70	1.48	1.02	1.39	2.09	2.46	1.87	2.42	2.15	2.49
P2O5	0.42	0.44	0.67	0.36	0.40	0.42	0.39	0.38	0.42	0.41	0.40	0.40	0.37
S	nd	nd	0.2	0.2	nd	nd	0.3	nd	nd	0.1	nd	nd	nd
(ppm)													
Sr	338	190	250	115	105	238	216	378	433	507	384	303	365
Rb	107	114	102	71	60	48	56	70	84	62	84	74	86
Y	37	37	33	40	41	30	31	25	25	25	25	25	26
Zr	221	213	338	263	257	242	239	234	242	238	234	240	234
Nb	21	20	19	25	23	22	21	20	20	21	20	20	21
Cr	125	166	380	288	328	384	350	345	373	386	349	368	367
Ni	43	60	131	119	125	150	145	136	155	153	139	150	148
Zn	123	149	108	92	90	106	105	92	96	83	88	91	85
V	173	194	140	192	199	197	185	166	166	177	167	163	166
Cu	20	25	41	134	28	34	23	14	28	28	21	23	27
Th	10	9	30	13	14	14	14	13	14	13	15	12	12
U	<5	<5	7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
CIPW-Norm, berechnet mit Fe2O3/FeO = 0.2													
q	0.0	0.0	8.5	4.9	4.6	7.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
or	15.4	13.7	23.8	11.0	9.5	6.7	8.9	13.2	15.7	11.8	15.4	13.7	15.7
ab	27.0	26.3	8.6	22.2	21.2	16.0	19.2	22.7	19.2	19.8	20.1	20.1	21.6
an	23.6	23.4	24.7	17.1	16.0	21.2	18.4	23.5	24.7	27.2	23.7	23.7	22.8
c	0.0	0.0	0.0	4.2	4.8	4.2	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
di	9.8	1.1	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	7.1	9.6	9.6	13.1	7.1
hy	2.3	12.3	24.9	34.3	37.1	38.2	34.3	21.0	20.5	18.0	19.8	17.4	22.0
ol	15.8	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	6.9	7.9	5.8	6.3	5.0
mt	1.9	2.3	1.5	2.0	2.1	2.0	1.9	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7
il	3.3	4.3	2.1	3.5	3.7	3.7	3.5	3.1	3.2	3.1	3.0	3.1	3.1
ap	1.0	1.1	1.8	0.9	1.0	1.1	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9
Modalbestand (RDA-Daten)													
KFS	9	11	19	nd	nd			15	10	10	11	14	16
PLG	35	32	18	39	51	44	51	41	46	46	46	43	40
AMF	32	19						37	36	35	30	34	38
BIO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
QRZ			44	23	34	31	37						
CHL	24	17	12	36	14		11	7	6	9	13	8	6
EPD		20											
PRH													
CAL			4	3									
TIT						8							

B.6 Erzmineralisation

Die Verteilung der Erzminerale in den Gesteinen ist meist erratisch und qualitativ wie quantitativ inhomogen. Eine Differenzierung in der Art bzw. Ausbildung des Opakmineral-Bestandes in Abhängigkeit von der Lithologie ist nur in Ausnahmefällen, z.B. hinsichtlich Ilmenit, Graphit und Spinell möglich. Die makroskopisch sichtbaren Erzminerale sind im wesentlichen Pyrit, Pyrrhotin, seltener Chalkopyrit oder Ilmenit. Eine Anreicherung disseminierter bzw. linsenförmiger sulfidischer Erzminerale ist häufig mit Graphit-führenden, kataklastisch überprägten Zonen zu korrelieren.

In Cuttings aus Kataklasten-Zonen konnten Kluftbeläge aus Graphit und Pyrit identifiziert werden. Kleine, Millimeter-dünne, diskordante Sulfid-Gängchen durchziehen gelegentlich die Cuttings.

Supergene Alterationseinflüsse sind nur in unmittelbarer Nähe zur Erdoberfläche bzw. in tiefreichenden Störungszonen in Form von Eisenhydroxiden (Lepidokrokit) bis maximal 20 m Teufe aktiv. In stark gestörten bzw. geklüfteten Abschnitten finden sich lokal Goethit und Lepidokrokit und auch Covellin.

Mikroskopisch setzt sich der opake Mineralbestand der durchteuften Gesteine aus folgenden Mineralen zusammen, die nach der Häufigkeit ihres Auftretens aufgelistet sind:

Pyrit, Pyrrhotin, Chalkopyrit, Sphalerit, Pentlandit, Markasit, Galenit, Molybdänit, Covellin, Arsenopyrit

Ilmenit, Rutil, Anatas, Leukoxen, Titanit, Lepidokrokit, Magnetit, (Cr?-)Spinell, Hämatit, Goethit, Zirkon, Scheelit, Graphit.

Das Auftreten von Millerit wird vermutet.

B.6.1 Sulfidische Erzminerale

Pyrit und Pyrrhotin stellen die dominierenden sulfidischen Erzminerale dar.

Pyrit findet sich im wesentlichen in zwei verschiedenen Ausbildungen:

a): idiomorphe bis xenomorphe Einzelkörner in der Gesteinsgrundmasse weisen ein breites Korngrößenspektrum und vermehrt Einschlüsse aus teilweise assoziiertem Chalkopyrit und Pyrrhotin auf. Dieser Pyrit ist häufig stark kataklastisch deformiert; Chalkopyrit und wenig Galenit stellen Rißfüllungen dar; randnahe Markasit-Alterationen (HC0920) wurden identifiziert.

b): metablastisch gebildeter Pyrit besteht aus idiomorphen verwachsenen Einzelkörnern mit zahlreichen kantenparallelen Ge-

steineseinschlüssen. Die Aggregate erreichen Durchmesser bis 0.5 mm. Einlagerungen in Pyrit umfassen Graphit, Titanit, Rutil und Zirkon. Metablastischer Pyrit ist in höherem Maße Bestandteil alterierter Gesteinsabschnitte, was auf die Freisetzung des Fe aus Umwandlungen der gesteinsbildenden Minerale hinweist.

Das erste individuelle Auftreten von **Pyrrhotin** wurde in der Probe HC0288 registriert. Oberflächennäher tritt Pyrrhotin lediglich in Form von Einschlüssen in Pyrit auf. Teilweise sind diese <20µm großen, rundlichen Einschlüsse kogenetisch mit Chalkopyrit assoziiert.

Unterhalb 288 m bildet Pyrrhotin zumeist xenomorphe Einzelkörner und verwachsene Aggregate zwischen 20 und 500 µm mit einer Häufung der Korngrößen im Bereich 250 bis 300 µm (Abb. B.6.1, B.6.2). Die Individuen weisen buchtige Kornformen auf, flammenförmige Pentlandit-Entmischungen sind vertreten. Stellenweise findet randlich eine Umwandlung zu Markasit statt. Aufwachsungen oder saumartige Verdrängungen durch Chalkopyrit und untergeordnet Sphalerit sind in zahlreichen Proben vorhanden. Im Bereich kataklastisch überprägter Abschnitte kann Pyrrhotin eine deformationsbedingte Lamellierung aufweisen. Pyrrhotin ist weiterhin als ein Alterationsprodukt aus Ilmenit vertreten (Abb. B.6.3)

Der Übergang aus den Gneisen in Amphibolit bei 1180 m zeigt keine qualitative Veränderung, jedoch eine geringe quantitativen Zunahme in der Pyrrhotin-Führung. Pyrrhotin im Amphibolit besitzt vermehrt Pentlandit-Entmischungen.

Chalkopyrit tritt in der Grundmasse der Gesteine in xenomorphen Einzelkörnern auf, die selten eine Größe von 100 µm überschreiten. Das Mineral bildet kogenetisch mit Pyrrhotin Einschlüsse in dem nicht-metablastischen Pyrit, was eine Bildungstemperatur von 334 ± 17 °C (YUND & KULLERUD 1966) belegt. Generell deutet aber Chalkopyrit durch seine Verteilung und sein Erscheinungsbild zumeist eine relativ späte Bildungsphase an. Das Mineral zeigt

- nadelförmige Körner, die in die Spaltflächen von Glimmern eingeregelt sind;
- Zwickelfüllungen in Hornblendeaggregaten in Amphibolit;
- Rißfüllungen in metablastischem Pyrit;
- eine enge Zuordnung zu leukokraten Mobilisaten;
- randliche Aufwachsungen oder Verdrängungen von Pyrrhotin.

Sphalerit ist oft mit Chalkopyrit verknüpft, tritt aber quantitativ stark zurück. Das Mineral wurde in zahlreichen Anschliffen identifiziert; die Verteilung ist der des Chalkopyrits sehr ähnlich. Sphalerit weist bräunlich-gelbe bis rotbraune Innenreflexe auf. Häufig wurden Einzelkörner mit rundlichen Einschlüssen von Chalkopyrit bzw. einem Chalkopyrit-ähnlichem Mineral beobachtet (HC0540, HC0600, HC0620, HC0940).

Pentlandit tritt sowohl in Gneisen als auch in Amphiboliten als flammenförmige Entmischung zumeist in Randnähe in Pyrrhotin auf.

Markasit wurde fast ausschließlich als Alterationsprodukt von Pyrrhotin identifiziert. Nur in der Probe HC0920 wurde er bisher als Verdränger von Pyrit beobachtet. Markasit bildet flammen- bis lanzettförmige Aggregate in Randnähe der Wirtsminerale oder in zentraleren Bereichen, von Inhomogenitäten ausgehend. Die Alteration läuft unter Volumenverlust ab, wodurch der Markasit porös erscheint.

Galenit konnte nur untergeordnet in Form von wenigen xenomorphen Einzelkörnern, in Rißfüllungen in Pyrit und in leukokraten Mobilisaten bestimmt werden. Er ist paragenetisch mit Chalkopyrit und Sphalerit verknüpft.

Molybdänit weist eine signifikante Verknüpfung mit Graphit durch eine enge Nachbarschaft oder durch Einschlüsse in Graphitaggregaten auf. Das Mineral bildet in Gneisen und Amphiboliten selten $>50\mu\text{m}$ lange, wenig geknickte Einzelleisten; bei HC0079 findet sich ein tafeliges Aggregat neben Graphit an Ilmenit. Stellenweise ist Molybdänit in Zwickeln von Sulfiden eingelagert.

Covellin ist bisher nur in der Probe HC0170 im Amphibolit als ein verbreitetes Alterationsmineral des Chalkopyrits, den er meist saumartig oder auch vollständig verdrängt, vertreten.

Arsenopyrit wurde bisher in einem Sulfidkonzentrat aus sehr stark kataklastisch überprägtem Amphibolit (HC1528) identifiziert. Das Mineral bildet in hypidiomorpher Ausbildung einfache Kornverwachsungen (Anlagerungen) mit Pyrrhotin.

Millerit tritt evtl. als wenige μm großer Einschuß in einem Chalkopyrit-Mobilisat in der Probe HC0444 auf.

B.6.2 Oxidische Erzminerale

Ilmenit bildet in unterschiedlicher Ausbildung das dominierende oxidische Opakmineral in Gneis- und Metabasit-Einheiten. Alterationen des Ilmenits zu anderen Ti- und Fe-Mineralen (Titanit, Rutil, Anatas, Sulfide) sind in unterschiedlich starker Ausprägung fast stets vorhanden (Abb. B.6.3).

In Gneisen bildet der aus der Alteration der Biotite gebildete Ilmenit längliche bis leistenähnliche Formen entlang der Glimmerspaltflächen oder füllt intergranulare Zwickel. Die langgestreckten Aggregate erreichen selten Längen über $100\mu\text{m}$, ihr Durchmesser liegt überwiegend unter $10\mu\text{m}$. Dieser Ilmenit zeigt selbst wiederum unterschiedlich starke Alterationen, die in den hangenden Gneisen vermehrt aus feinstkörnigem Anatas bzw. Leukoxen, mit zunehmender Teufe überwiegend aus Rutil, Anatas und Titanit bestehen.

Abb. B.6.1: Xenomorpher Pyrrhotin (FES) und stengeliger Graphit (CCC) folgen undeutlich dem metamorphen Lagerbau in stark alteriertem Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis; Rutil (RUT) mit Titanitsaum weist jüngere Anlagerungen aus Graphit und Pyrrhotin auf; Graphit als Anlagerungen an Pyrrhotin;
(HC0444II, Luft, // Nic.).

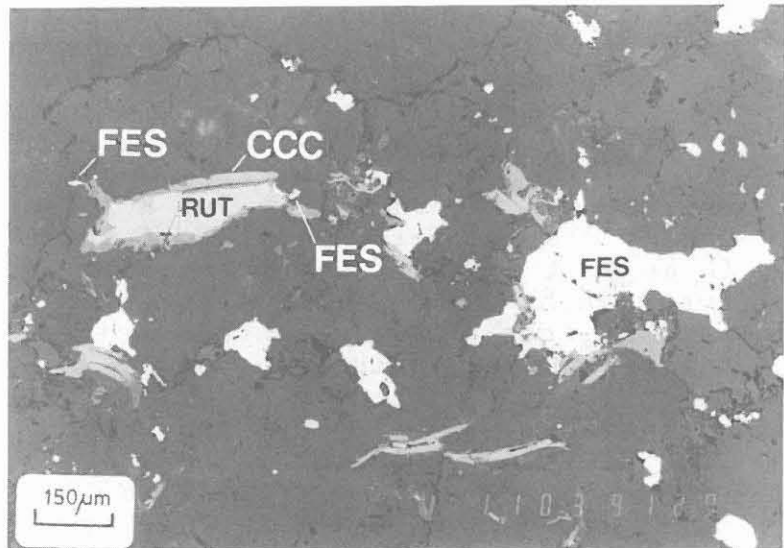


Abb. B.6.2: Alterierter Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis mit eingeregelttem xenomorphem Pyrrhotin (FES) und leistenförmigem Graphit wird von diskordantem Calcit-Gang (CAL) mit Pyrit (PYR) durchschlagen (von oben rechts nach unten links).
(HC0410, Luft, // Nic.).

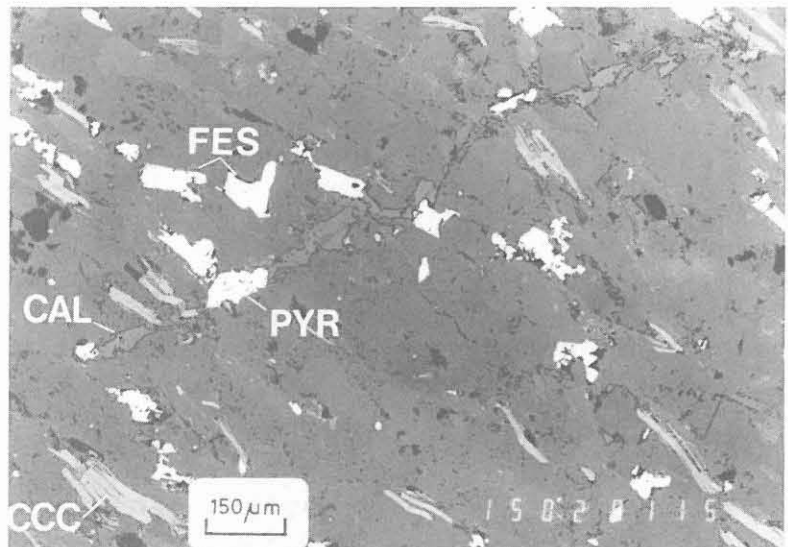
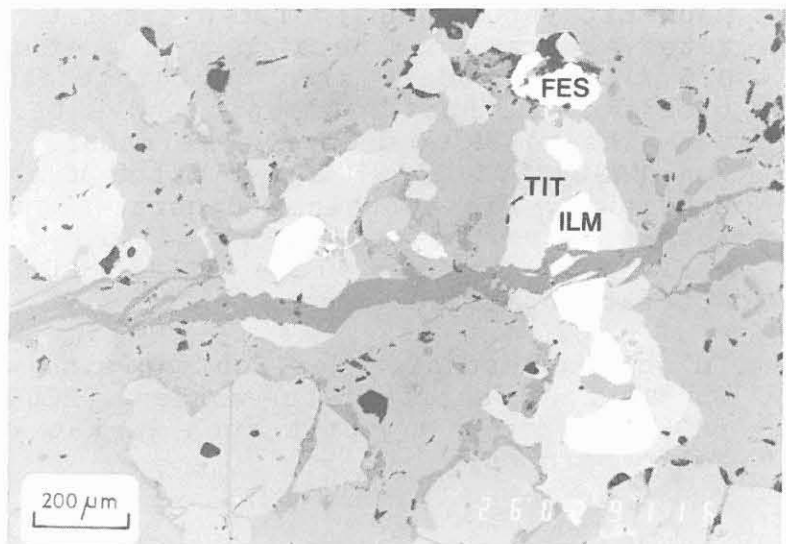


Abb. B.6.3: Ilmenit (ILM) mit sehr dünnem Plagioklas-Saum (dunkelgrau, Dünnschliff-Befund) und mächtigerem Titanit-Saum (TIT, mittelgrau) wird in frischem Granat-Amphibolit von Plagioklas(?) -Gang durchschlagen; oben rechts xenomorpher Pyrrhotin (FES); graue Granat-Aggregate am unteren Bildrand besitzen ebenfalls einen sehr dünnen, aufgefaserten Plagioklas-Saum.
(HC1300K, Luft, // Nic.).



In Amphiboliten findet sich Ilmenit in Form von xenomorphen, buchtigen Individuen oder Verwachsungen; seine Korngröße kann 0.5 mm erreichen, variiert aber in der Regel zwischen 150 und 300 μm . Fast stets ist Ilmenit von Alterationen betroffen, die sich in der Umwandlung zu Rutil und Titanit äußern. Titanit bildet dabei meist saumartige Verdrängungen (Abb. B.6.3), Rutil ersetzt den Ilmenit von den Kornzentren ausgehend. Teilweise bildet das aus der Umwandlung freigesetzte Eisen je nach Schwefelangebot innerhalb oder randlich von Ilmenit Pyrrhotin oder Pyrit (Abb. B.6.3). Die Alteration kann zur vollständigen Umwandlung des Ilmenit führen. Weitere Alterationsprodukte sind Anatas (und bei entsprechendem Ca-Angebot Calcit) und im Amphibolit zwischen 70 und 210 m auch Magnetit und Hämatit (siehe auch Abb. B.6.7). Ilmenit und Hornblende sind stellenweise symplektitartig verwachsen (Abb. B.6.4).

Rutil ist überwiegend als Alterationsmineral des Ilmenit verbreitet; er bildet aber auch in Gneisen und Amphiboliten runde bis ovale, selten $>100 \mu\text{m}$ große Einzelkörner mit einer charakteristischen Zwillingsstreifung aus. Die oft flächigen Innenreflexe sind gelblich braun bis grau-weiß. Saumartige Anlagerungen von Titanit sind vorhanden. Lokal (HC0640) sind sehr kleine Rutil-Einschlüsse in Granat orientiert eingeregelt.

Anatas und **Leukoxen**, ein feinstkörniges Gemenge aus Rutil, Anatas und Titanit, stellen weit verbreitete Alterationsprodukte von Ilmenit und evtl. älteren Ti-Mineralen (Rutil?) dar. Anatas fällt stets durch seine blauen Innenreflexe auf; das Mineral liegt häufig in feinstkörniger Form vor. Leukoxen stellt bei gekreuzten Polarisatoren ein auffälliges, "punkthaufen"-förmiges, mikroskopisch nicht auflösbares Mineralgemenge dar. Es stellt das Haupterzmineral in Lamprophyren dar.

Die **Fe-Oxide** bzw. **Fe-Hydroxide** Magnetit, Lepidokrokit, Hämatit und Goethit treten als Alterationsprodukte von Sulfiden auf. Sie finden sich in oberflächennahen Proben und auch in der Umgebung von prägnanten Störungen, entlang derer zirkulierende Wässer eine Oxidierung ermöglichten.

Magnetit ist in Amphiboliten bis 190 m Teufe ein weit verbreitetes Alterationsmineral des Ilmenit (siehe Kap. B.6.5 und Abb. B.6.7). Es handelt sich um feinstkörnige, fast stets symplektitartig mit Rutil, Ilmenit und evtl. weiteren Fe-Ti-Mineralen verwachsene Vorkommen; vergleichbare Erscheinungsformen wurden von HAGGERTY (1976) als typisch für magmatische Gesteine beschrieben. Die einzelnen Minerale sind mikroskopisch kaum auflösbar. Eine undeutliche Ferrofluid-Fixierung an Ilmenit deutet evtl. auch in der Probe HC1280 auf Spuren von Magnetit als Alterationsmineral hin.

Im oberen Abschnitt der Bohrung sind wenig Magnetit-Einschlüsse in Pyrit identifiziert worden (HC0079). In einem Anschliff (HC0190) tritt Magnetit auch in kataklastisch überprägten Einzelkörnern auf.

Spinell, möglicherweise entsprechend der Vorbohrung der Cr-Spinell Picotit (SIGMUND et al. 1990) konnte in Form von maximal 35 μm großen, idiomorphen Einzelkörnern in Lamprophyr (HC1540) bestimmt werden. Das Mineral findet sich in Gruppen von Einzelkörnern in Olivin-Pseudomorphosen (Kap. B.5, Abb. B.5.3). Sehr dünne, helle Säume bestehen wahrscheinlich aus Magnetit (siehe auch HAGGERTY 1976).

Lepidokrokit (Rubinglimmer) ist in oberflächennahen Proben (HC0010), in der Nachbarschaft Laumontit-führender Klüfte in foliiertem Amphibolit (HC0130) sowie als dominierendes Erzmineral im Bereich stark kataklastisch überprägter Gneise in Störungszonen bei HC0252 und HC0261 vertreten. Lepidokrokit bildet langgestreckte, leistenähnliche Formen aus, die porös erscheinen (Abb. B.6.5). Die Leisten sind lokal aufgerollt und manchmal enger mit Graphit und auch Leukoxen assoziiert.

Hämatit wurde ausschließlich als Alterationsprodukt des Ilmenit bestimmt. Das Mineral bildet Entmischungen entlang von Inhomogenitäten (Risse, Lamellen) in Ilmenit aus Amphiboliten zwischen ca. 70 und 210 m. Diese gleichsinnig orientierten, scheiben- bis linsenförmigen Entmischungen erscheinen deformationsbedingt flammen- oder wellenförmig (siehe Kap. B.6.5, Abb. B.6.7).

Kolloidaler **Goethit** verdrängt Pyrit auf breiter Front bei HC0170 (Abb. B.6.6). Innerhalb des zonar aufgebauten Alterationsminerals sind Pyrit-Relikte erhalten. In dieser Teufe treten als weitere sekundäre Umwandlungsminerale Hämatit und Covellin auf.

Scheelit wurde bisher lediglich in Cuttings aus einer Plagioklas reichen und Kalksilikat führenden Einschaltung in dem Probenbereich HC0965 bis HC0973 mittels UV-Lampe detektiert.

B.6.3 Sonstige Erzminerale

Titanit ist fast stets als Alterationsmineral der verschiedenen Ilmenite in Gneisen und Amphiboliten (Abb. B.6.3, B.6.4) vertreten. Auch in idiomorphen Einzelkörnern ist das Mineral in Korngrößen zwischen 50 und 200 μm weit verbreitet. In dieser Form tritt Titanit sowohl in Amphiboliten als auch in mehr oder weniger stark kataklastisch überprägten Gneisen auf. Rundliche Rutil- oder Sulfideinschlüsse wurden lokal beobachtet (z.B. HC0390). Der Anschliff der Probe HC0410 weist einen leistenförmigen Graphit-Einschluß in Titanit auf; bei HC0620 wird das Mineral von einem dünnen Pyrit-Saum umgeben.

Graphit erlangt in einigen kataklastisch überprägten Zonen in den Gneisen als dominierendes Opakmineral Bedeutung. Er ist in Gneiseinheiten im allgemeinen in Form von Leisten und Tafeln verbreitet, die parallel der Glimmerspaltflächen orientiert sind (Abb. B.6.1, B.6.2). In Amphiboliten tritt mobilisierter

Abb. B.6.4: Ilmenit (ILM) in symplektitartiger Verwachsung mit Hornblende in Granat-Amphibolit. Ilmenit alteriert zu Titanit (TIT, diffus, mittelgrau, saumartig). In Zwickeln ist untergeordnet Calcit (CAL, "erhaben", dunkelgrau) und Pyrrhotin (FES) vertreten. (HC1340K, Luft, // Nic.).

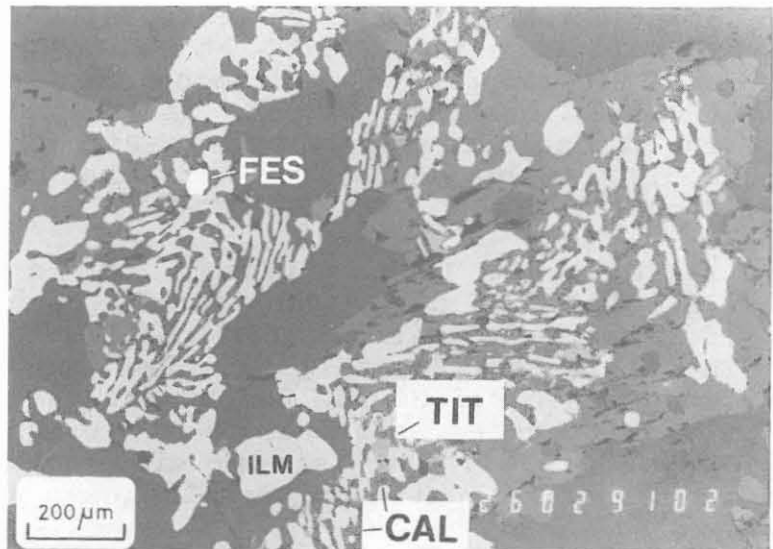


Abb. B.6.5: Disken-artiger und radialstrahliger Lepidokrokit als Hinweis auf oxidierende Einflüsse aus der Störungszone zwischen 250 und 285 m; daneben einige Graphit-Leisten (CCC). (HC0252, Luft, // Nic.).

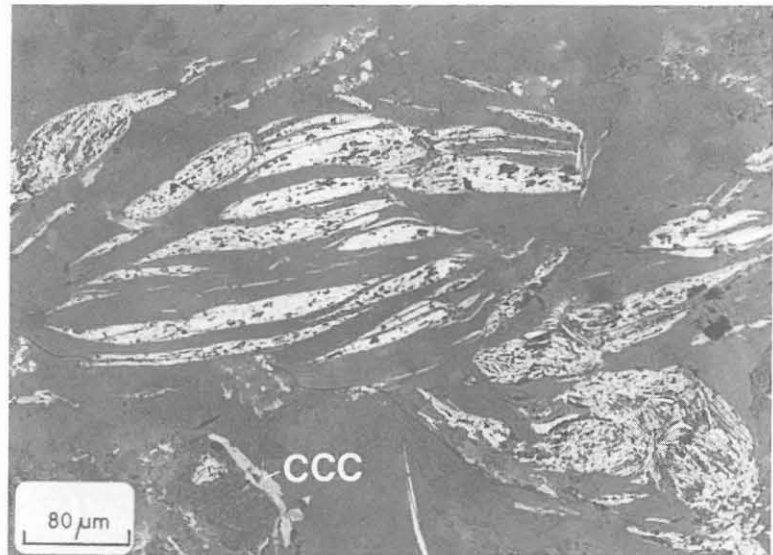
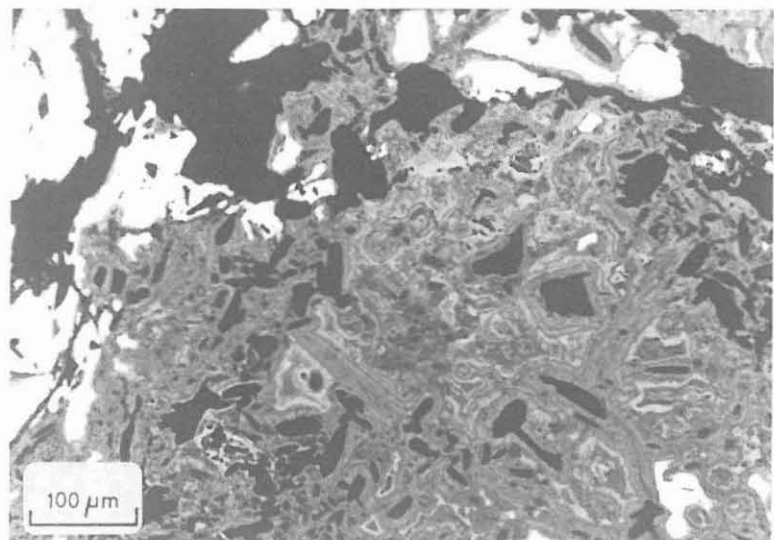


Abb. B.6.6: Kolloidaler Goethit (dunkelgrau) verdrängt Pyrit auf breiter Front oder von Rissen aus fast vollständig; in Amphibolit. (HC0170 (Gneis-Nachfall?), Luft, // Nic.).



Graphit im Zusammenhang mit einer kataklastischen Überprägung auf; disseminierter Graphit in der Gesteinsgrundmasse ist selten.

In Kataklastezonen bildet der Graphit langgestreckte, girlandenförmige Gebilde, die den einzelnen Kataklastebahnen folgen; daneben sind derbe Massen vorhanden, die Aggregatgrößen bis zu 1 mm erreichen (z.B. HC1003). Lokal bildet das Mineral in Gneisen und in Amphiboliten sphärolithische Formen aus. In beiden Gesteinstypen wurde die enge Paragenese von Graphit und Molybdänit bestätigt.

Zirkon ist untergeordnet ein Bestandteil in fast jedem untersuchten Anschliff aus den Gneiseinheiten. Er bildet ovale bis isometrische Kornformen aus, deren Durchmesser fast stets unter 50 μm liegen. Selten finden sich Zirkon-Einlagerungen in Granat.

B.6.4 Altersstellung der Erzminerale

Eine altersmäßige Einordnung der auftretenden Erzminerale ist aufgrund der komplexen tektono-metamorphen Geschichte der durchteuften Einheiten erschwert.

Insgesamt werden alle identifizierten Erzminerale den von KONTNY et al. (1990) unterschiedenen Mineralisationstypen zugeordnet. Eine Differenzierung unterschiedlicher Generationen von Einzelmineralen ist mittels optischer Methoden stellenweise nicht möglich; hier helfen eventuell mikro-analytische Methoden.

Aufgrund der mikroskopischen Befunde ergibt sich für die Gneise und Metabasite die in Tabelle B.6.1 schematisch dargestellte relative Altersabfolge.

Der überwiegende Anteil des Opakmineralbestandes ist relativ jung. Lediglich Zirkon, Ilmenit, disseminierter Rutil und disseminierter, kleine Korngrößen aufweisender, meist xenomorpher Pyrit werden älteren Mineralisationsphasen zugerechnet.

Idiomorpher Titanit, Pyrrhotin, Graphit, Molybdänit und metablastischer Pyrit stehen im Zusammenhang mit der kataklastischen Überprägung der Gesteine. Dabei wird durch die Ausbildung der Minerale und ihre Verwachsungsarten erkennbar, daß Rutil und Titanit älter sind als Pyrrhotin und Pyrrhotin älter als Graphit (Abb. B.6.1). Chalkopyrit, Sphalerit, (Galenit), Arsenopyrit und Pyrit sind als Anlagerungen an diese Minerale vertreten oder füllen lokal Risse in kataklastisch zerbrochenen Aggregaten. Die zahlreichen diskordanten, sehr dünnen Calcitgängchen (Abb. B.6.2) durchschlagen alle Lithologien und auch kataklastisch deformierte Aggregate. Andere junge Gangfüllungen aus Plagioklas(?) durchtrennen in Abb. B.6.3 Ilmenite und ihre jungen Titanit-Säume.

Tab. B.6.1: Relative Altersabfolge der identifizierten Opakminerale in Gneisen und Metabasiten (unter Verwendung der in der KTB-Datenbank ("KTBase") verwendeten Mineralkürzel):

Gneise:

alt - - - - - ----> jung

PYR (FES)

ILM RUT ATS LEX SUL (in Glimmern)
RUT (Individuen)
TIT (Individuen, idiom., Rißfüll. aus FES)
FES PYR (metablastisch)
FEK
CPY ZNS PBS
CCC MOS
CAL (Gängchen), PYR (metablastisch)
ASP
CUV LPK GOE

Metabasite

alt - - - - - ----> jung

ILM PYR

RUT ATS MGN HAM TIT SUL (Alterat. des ILM)
TIT (Säume)
FES
FEK
CCC MOS
CPY ZNS
CAL (Gängchen)
LPK

ASP = Arsenopyrit
ATS = Anatas
CAL = Calcit
CCC = Graphit
CPY = Chalkopyrit
CUV = Covellin
FEK = Markasit
FES = Pyrrhotin
GOE = Goethit
HAM = Hämatit
ILM = Ilmenit
LEX = Leukoxen

LPK = Lepidokrokit
MGN = Magnetit
MOS = Molybdänit
PBS = Galenit
PYR = Pyrit
RUT = Rutil
SUL = Sulfide
TIT = Titanit
ZNS = Sphalerit

B.6.5 Erzmineralführung und Suszeptibilität

Die Werte der magnetischen Suszeptibilität (siehe Kap. D) ergeben für die oberen Bereiche der Bohrung bis ca. 600 m Teufe ein recht heterogenes Bild.

Die Anomalien werden bis ca. 210 m Teufe durch Magnetit mit niedrigen Ti-Gehalten verursacht, der neben anderen Fe-Ti-Mineralen als Alterationsprodukt aus den in den Amphiboliten verbreiteten Ilmeniten entsteht (Abb. B.6.7). Hervorzuheben sind die Teufenabschnitte bei ca. 86, 162 und 190 m.

Der Hauptträger der Suszeptibilität ist jedoch wie in der Vorbohrung Pyrrhotin (Abb. B.6.8). Das Mineral tritt bereits in Oberflächennähe (ab HC0024) in Form von Einschlüssen in Pyrit auf. Diese Einschlüsse sind jedoch antiferromagnetisch, wie die Ferrofluidbelegung der Präparate ergibt. Pyrrhotin-Individuen, ebenfalls antiferromagnetisch, finden sich untergeordnet bei HC0094. Ferrimagnetischer Pyrrhotin tritt zum ersten Mal als Einzelkorn ab einer Teufe von ca. 288 m auf (HC0288.2). Der Übergang von antiferro- zu ferrimagnetischem Pyrrhotin erfolgt bei ca. 288 m Teufe in einem sehr engen Bereich.

Die Anomalien zwischen ca. 295 und 335 m werden somit ausschließlich durch ferrimagnetischen Pyrrhotin verursacht, der in wechselnder Quantität mit Korngrößen bis 0.5 mm Bestandteil der Proben ist. Auch in diesem Teufenabschnitt wurden unmagnetische Pyrrhotin-Einschlüsse einer älteren Generation in Pyrit identifiziert.

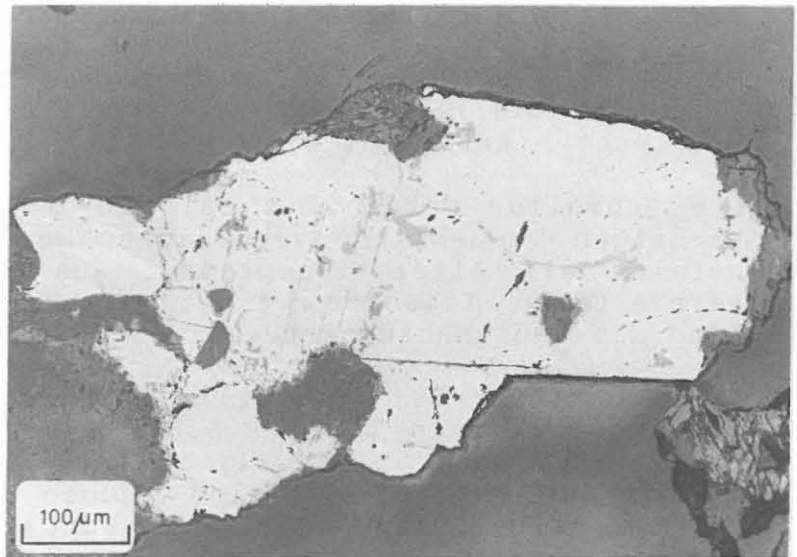
Auch die noch höher anomalen Werte aus ca. 400 bis 550 m werden durch ferrimagnetischen Pyrrhotin bestimmt. In diesen Teufen liegt das Mineral jedoch nicht nur in der magnetischen Form vor; lokal umsäumt ferrimagnetischer Pyrrhotin relikti-sche antiferromagnetische Bereiche in den Kornzentren (HC0406, HC0410). Den seltenen umgekehrten Fall demonstriert die Abb. B.6.9. Generell dominiert bei weitem der ferrimagnetische Pyrrhotin.

Ferrimagnetischer Pyrrhotin liegt auch zwischen 550 und 1070 m vor. Jedoch tritt er quantitativ stark zurück. In einer Kataklasezone unterhalb 1060 m steigt die Pyrrhotin-Führung abrupt an, um mit nachlassender kataklastischer Überprägung allmählich abzunehmen. Pyrrhotin erreicht Korngrößen bis 0.5 mm; seine Kornränder erscheinen angelöst, Alterationen zu Markasit sind verbreitet.

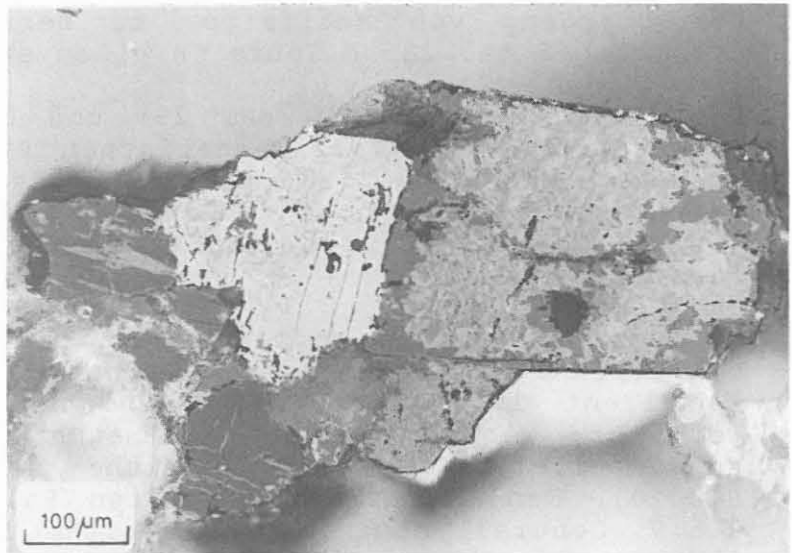
Im Übergang von Gneis zu Amphibolit bei 1180 m weist Pyrrhotin keine Veränderungen in seinem magnetischen Charakter und nur eine geringe Zunahme in der quantitativen Verteilung auf. Der liegende Amphibolit/Gneis-Kontakt zeigt mikroskopisch bezüglich der Pyrrhotin-Führung keine Auffälligkeiten.

Abb. B.6.7: Beispiel für die Ilmenit-Alteration in der hangenden, Granat-führenden Amphibolit-Serie: Als Alterationsprodukte sind Rutil und Magnetit sehr fein symplektit-artig verwachsen (b); entlang von Rissen verdrängen Titanit (dunkel-grau) und flammenförmiger Hämatit (weiß-grau), vom Korninneren her Rutil den Ilmenit (a, b); die Magnetit-Verteilung wird durch die Ferrofluid-Zugabe verdeutlicht (c). (HC0190KII, Luft)

a) // Nic.



b) X Nic.



c) // Nic., Ferrofluid-Aufgabe.

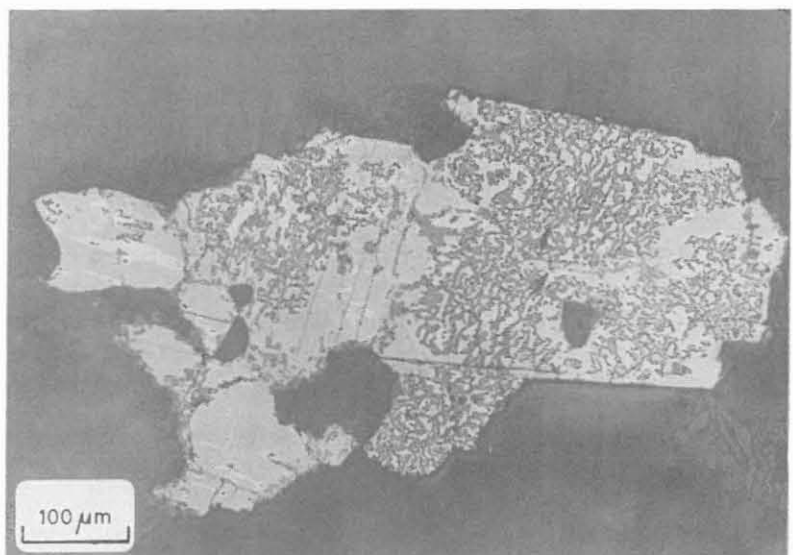
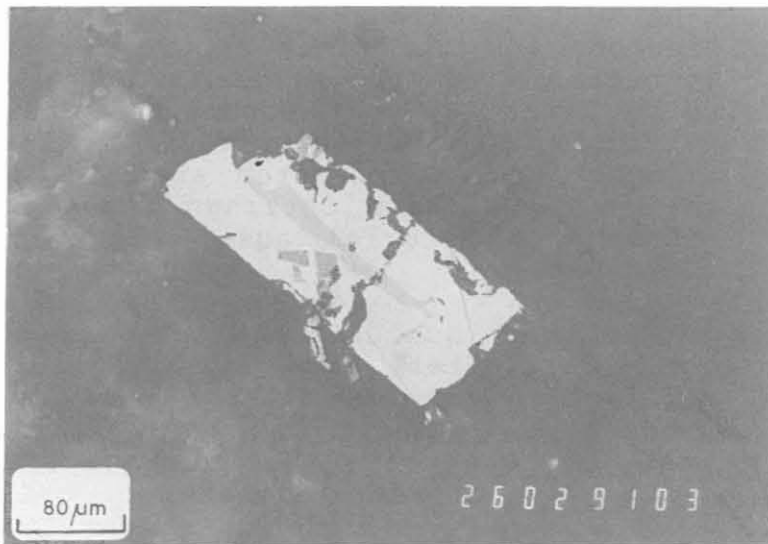
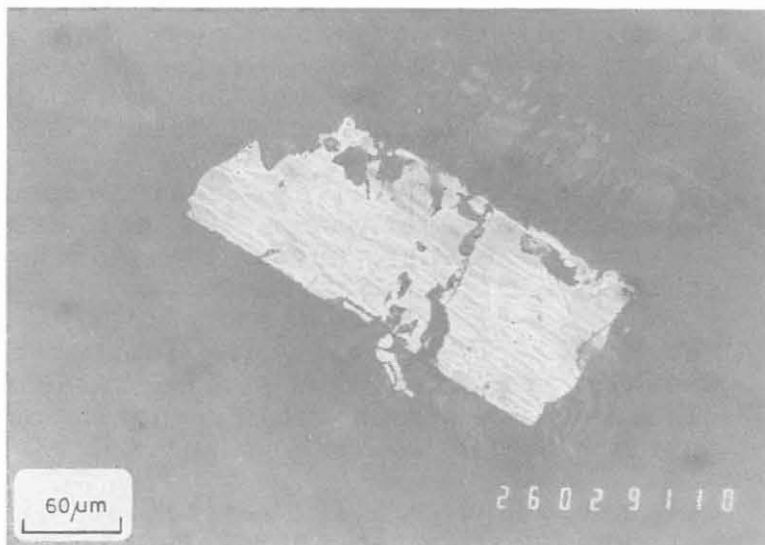


Abb. B.6.8: Pyrrhotin aus verschiedenen Subkörnern mit unterschiedlicher Auslöschung (a), die bei Ferrofluid-Belegung keine Abweichungen in der magnetischen Orientierung zeigen (b); in Granat-Amphibolit.
(HC1340K, Luft, // Nic.).

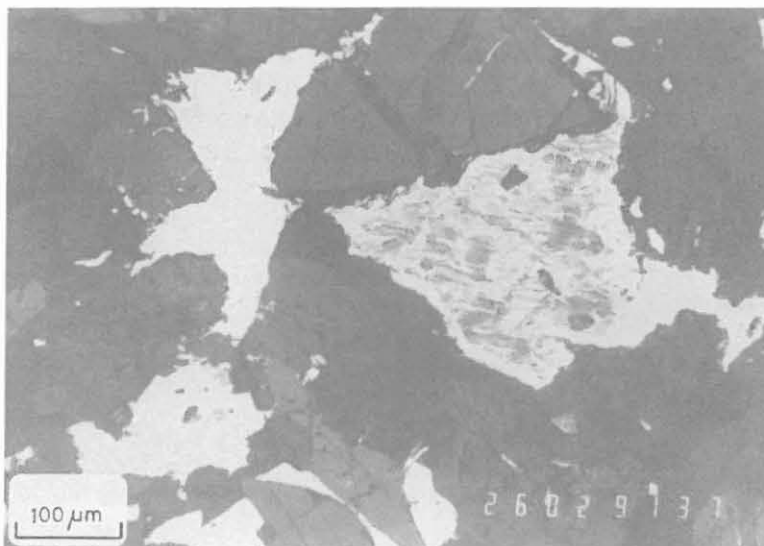


a) lange Bildkante entspr. 560 μm



b) lange Bildkante entspr. 450 μm, Ferrofluid-Aufgabe.

Abb. B.6.9: Überwiegend Ferrofluid-freier, antiferromagnetischer Pyrrhotin mit geringer Markasit-Alteration im Randbereich; im rechten Korn ist zentral ferrimagnetischer Pyrrhotin erhalten; in sulfidreichem, kataklastischem Amphibolit.
(HC01530K, Luft, // Nic.).



Eine weitere durch die Suszeptibilitätswerte angezeigte Anomalienzone ist mit einer Amphibolit-Einschaltung bei 1520 m zu korrelieren. Oberhalb des Kontaktes findet sich in den teilweise kataklastisch überprägten Gneisen antiferromagnetischer Pyrrhotin in geringen Anteilen in der Gesteinsgrundmasse. Ferrimagnetische Komponenten sind dagegen oftmals nur an einzelne, sulfidreichere Cuttings gebunden. Der Verdacht auf nachgebrochenes Material aus geringeren Teufen (1080 - 1100 m) liegt nahe.

In kataklastisch deformiertem Amphibolit bei 1520 m ist Pyrrhotin verbreitet, der ausschließlich in der magnetischen Form vorliegt. Pyrrhotin scheint zum großen Teil als Alterationsprodukt aus Ilmenit bei gleichzeitigem Schwefel-Angebot vorzuliegen. Daneben wurden auch ferrimagnetische Individuen mit hexagonalen Umrissen beobachtet.

In der sich nach unten hin anschließenden heterogenen Wechselfolge aus Gneisen mit eingeschalteten Amphiboliten und diskordanten Lamprophyren zeigt die teufenabhängige Darstellung der Suszeptibilität gegenüber den ab ca. 1575 m folgenden Gneisen leicht erhöhte Werte. Verursacher ist auch hier ferrimagnetischer Pyrrhotin; in den Gesteinen dominiert aber lokal antiferromagnetischer Pyrrhotin (Abb. B.6.9).

In den diskordant die Gesteine durchschlagenden Lamprophyren kann nach Erkenntnissen aus der KTB-Vorbohrung auch Magnetit auftreten. Bisher wurde er jedoch in den untersuchten An-schliffen nicht identifiziert.

Unterhalb 1575 m weist die Suszeptibilität die für Gneise typischen niedrigen Werte ohne herausragende Anomalien auf. In diesen Gesteinen tritt Pyrrhotin nur sehr untergeordnet als antiferromagnetischer Typ auf.

Die Abbildung B.6.10 vergleicht die mit röntgenographischen Methoden bestimmten Schwefel-Gehalte mit der magnetischen Suszeptibilität und der Pyritführung der Gesteine. Es zeigt sich so auch in den analytischen Methoden, wie sich im Teufenbereich 300 - 550 m die Schwefel-Fixierung vom Pyrit zum Pyrrhotin verlagert. Ebenso deutet der Schwefelpeak in Übereinstimmung mit ansteigenden Werten der Suszeptibilität bei ca. 1180 m (Übergang Gneis/Amphibolit) die mikroskopisch bestätigte Zunahme von Pyrrhotin an.

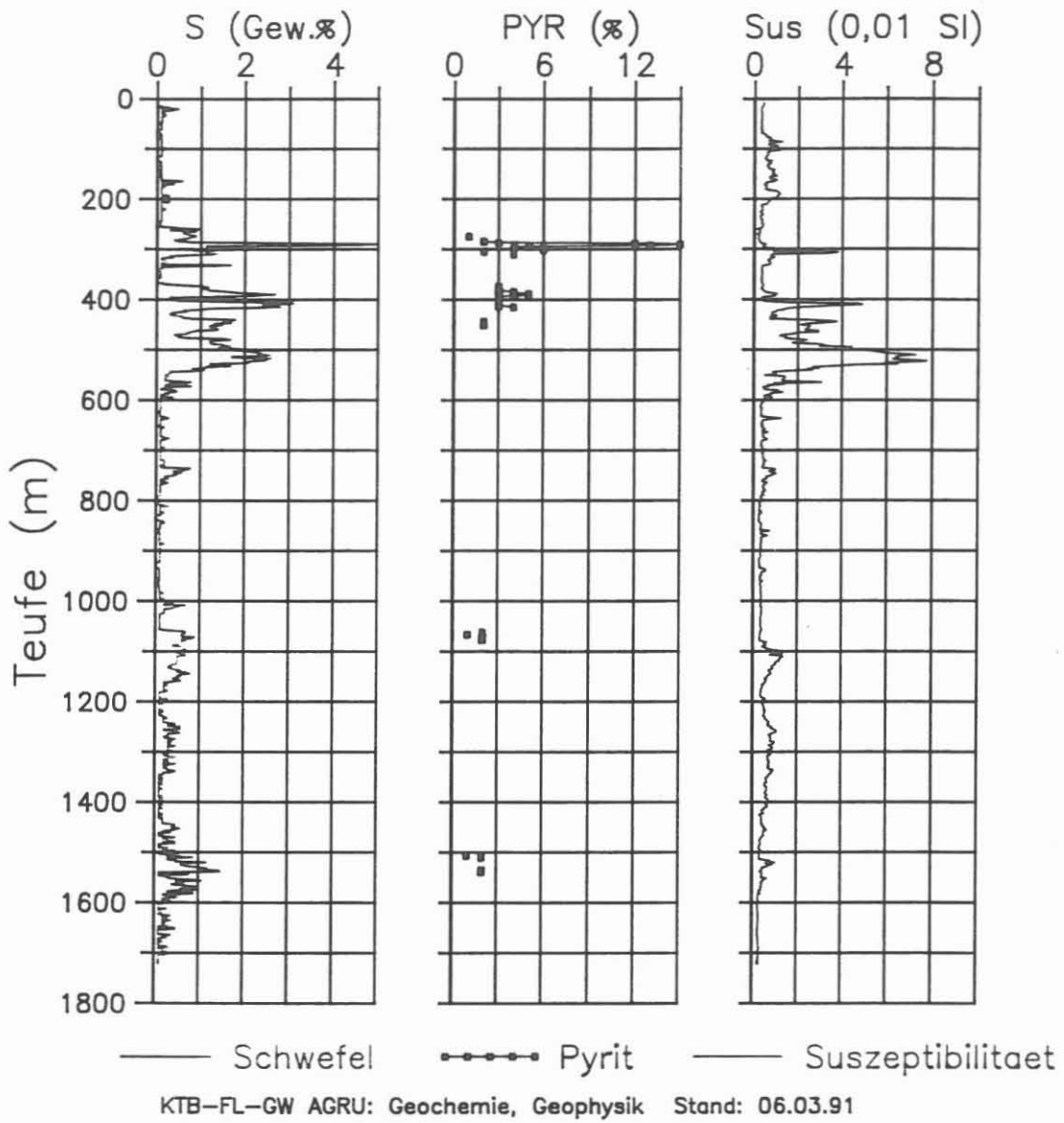


Abb. B.6.10: Teufenabhängige, quantitative Verteilung von Schwefel (RFA) und Pyrit (RDA) im Vergleich zur gemessenen magnetischen Suszeptibilität.

B.7 Strukturen und Gefüge

Für strukturelle Aussagen stehen Cuttings, mehrere Zentimeter große Probenstücke aus der Bohrlochwand sowie Logs des Formation Micro Scanners (FMS) und Formation Micro Imagers (FMI) zur Verfügung.

Nach den Logs fällt die Foliation bis 763 m generell mit 40° - 70° nach SSW. Zwischen 405 und 418 m sowie zwischen 495 und 518 m schwenkt das Einfallen der Foliation einige Male für jeweils einen oder wenige Meter nach NW um (vgl. Geologisches Profil Maßstab 1:200 im Anhang). Dies wird entweder durch offene asymmetrische Falten oder Flexuren an Störungen verursacht. Eine dieser Zonen bei 495 m ist mit Pyrit vererzt.

B.7.1 Faltenstrukturen

In der "Sandfalle" treten vorwiegend im Bereich von Störungen mehrere cm große kataklastische Probenstücke auf. In mehreren Proben, die bis zu 8 cm groß sind, sind verschiedene Falten-typen dokumentiert. Zum einen sind dies einige Stücke verfalteter Kataklastite mit Graphitharnischen (Abb. B.7.1, I und Kap. B.7.2). Den anderen Typ repräsentieren verfaltete Gneise. Diese Stücke sind beim Bohren wahrscheinlich aus der Bohrlochwand oberhalb des Meißels ausgebrochen.

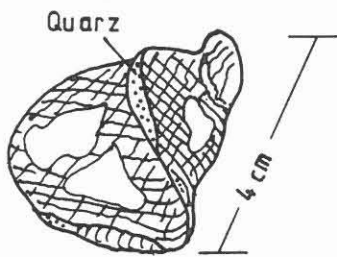
Von 1580 bis 1596 m treten im alterierten Muskovit-Biotit-Gneis halboffene Falten auf. Sie zeigen mit Graphit belegte Harnische auf der Foliation und/oder parallel zu den Faltenachsenflächen (Abb. B.7.1). In der Probe HFG1596 verläuft ein Graphit-Quarz-Harnisch mit Linear auf der ac-Kluft der Falte. Die Falten sind älter als die Graphit-Harnische.

Quarz und stark serizierter Plagioklas haben in diesen Falten eine Korngröße von durchschnittlich $200 \mu\text{m}$. Alle Phyllosilikate sind deformiert. Im Faltencharnier kann eine starke Pyritvererzung mit idiomorphen Aggregaten bis zu mehreren mm Größe vorhanden sein. Die Deformation konzentrierte sich auf diskreten Scherbahnen in den phyllosilikatreichen Lagen. Diese verlaufen bei Umbiegen der Foliation durch die Faltenachsenfläche und sind teilweise mit Graphit mineralisiert. Im Bereich dieser etwa $100 \mu\text{m}$ mächtigen Scherbahnen sind alle Minerale spröd deformiert, nur Quarz ist lokal feinkörnig rekristallisiert.

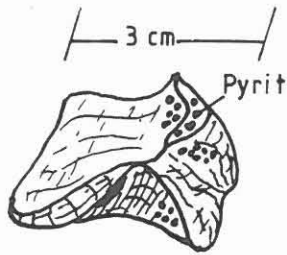
B.7.2 Kataklastite und kataklastisch deformierte Gesteine

Spröd deformierte, feinkörnige Gesteine aus Scherzonen (vgl. auch ZULAUF 1990) werden hier generell als Kataklastite bezeichnet. Mit Ausnahme der Störungszone von 247 - 254 m liegt ihr Volumenanteil in der Regel unter 5 %. Zwischen frischen, undeformierten Gesteinsbruchstücken und Kataklastit liegen in den Mischproben alle Übergänge vor. Spröd deformierte Gesteine,

I. Falten in Graphit-Kataklasiten

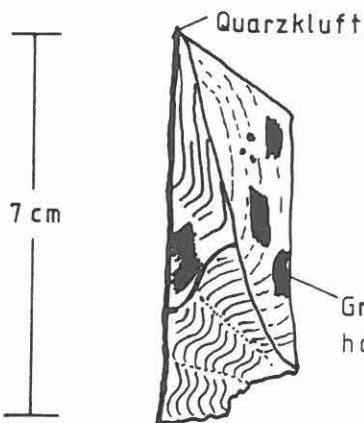


HFG 1543

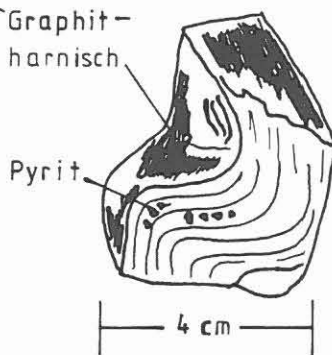


HFG 1580

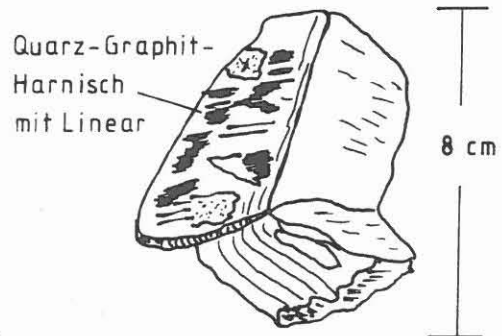
II. Falten im Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis



HFG 1580



HFG 1588



HFG 1596

Abb. B.7.1: Faltenstrukturen in Sandfallenproben

in denen man den Hauptmineralbestand makroskopisch ansprechen kann, erhalten den Präfix "kataklastisch" (Abb. B.7.2).

Kataklasite mit Graphit sind makroskopisch schwarz und häufig mit Pyrit imprägniert, der auch mm-große Nester bildet. Zwischen 1543 m und 1580 m bilden einzelne Kataklasite offene Falten (vgl. Abb B.7.1 I). In den Sandfallenproben finden sich im Bereich von Störungen mehrere cm große, eckige Stücke, die an Trennflächenverschnidungen aus der Bohrlochwand gebrochen sind, selten bis zu handtellergröße, plattige Stücke. Zwischen 1200 und 1400 m sowie zwischen 1500 und 1600 m sind jedoch durchgehend cm-große Ausbruchstücke vorhanden. Viele Stücke sind linsige Gneis-Scherlinge, deren Oberflächen mit Graphit-Harnischen belegt sind (Abb. B.7.3). Erwähnenswert ist, daß auch die Amphibolit-Kataklasite zwischen 1200 und 1400 m Graphit führen. In der Vorbohrung wurden Graphit-Harnische nur in den Gneisen beobachtet.

In der Regel belegt Graphit als schlierige Opakphase die 50 - 100 μm mächtigen Scherbahnen, während der Pyrit idiomorph vorliegt. Die Intensität der Spröddeformation des Ausgangsgesteines zwischen den häufig netzartig verlaufenden Scherflächen ist variabel zwischen schwach deformiert (kataklastisches Gestein) und zerbrochen oder völlig zerrieben (Kataklasit). Im Quarz treten stellenweise feinkörnige Rekrystallisate mit Korngrößen $< 50 \mu\text{m}$ auf (Abb. B.7.4).

Das Mikrogefüge der oben genannten linsigen Gneis-Scherlinge im Amphibolitkörper 1200 - 1400 m ist durch starke Deformation gekennzeichnet. Der Scherling aus Probe HFG1347 besteht aus kataklastischem, alterierten Muskovit-Biotit-Gneis mit mm-großen Plagioklas-Klasten. Plagioklas und die Glimmer sind zerbrochen und verbogen. Quarz ist zum größten Teil rekrystallisiert und besitzt variable Korngrößen bis 200 μm . Die Scherlinge haben einen Saum aus Graphit und idiomorphem Pyrit.

Kataklasite ohne Graphit sind grau (Ausgangsgestein: Gneis) bis grünlich-grau (Ausgangsgestein: Amphibolit). Sie sind makroskopisch nicht immer zweifelsfrei von Lamprophyren zu unterscheiden.

Im Mikrogefüge der Gneis-Kataklasite und kataklastischen Gneise wechseln Scherbahnen von 100 - 200 μm Dicke aus zerriebenen Phyllosilikaten und Leukoxen, häufig mit Sulfiden mit Domänen, in denen das ursprüngliche Quarz-Plagioklas Gefüge erhalten ist (Abb. B.7.5). Die Deformation der Klasten in dieser Matrix zeigt sich im Quarz durch Deformationsbänder und im Plagioklas durch Versatz der Zwillingslamellen. Der Übergang zum kataklastischen Gneis ist fließend. Die Scherbahnen sind dann diskreter und lassen die Gneis-Foliation noch erkennen.

Im Mikrogefüge der Amphibolit-Kataklasite und kataklastischen Amphibolite bilden fein zerriebene Hornblende, Epidot und Chlorit und Leukoxen die Hauptmasse der dichten, dunkelgrünen Matrix. Darin schwimmen 20 - 200 μm große Klasten, die aus

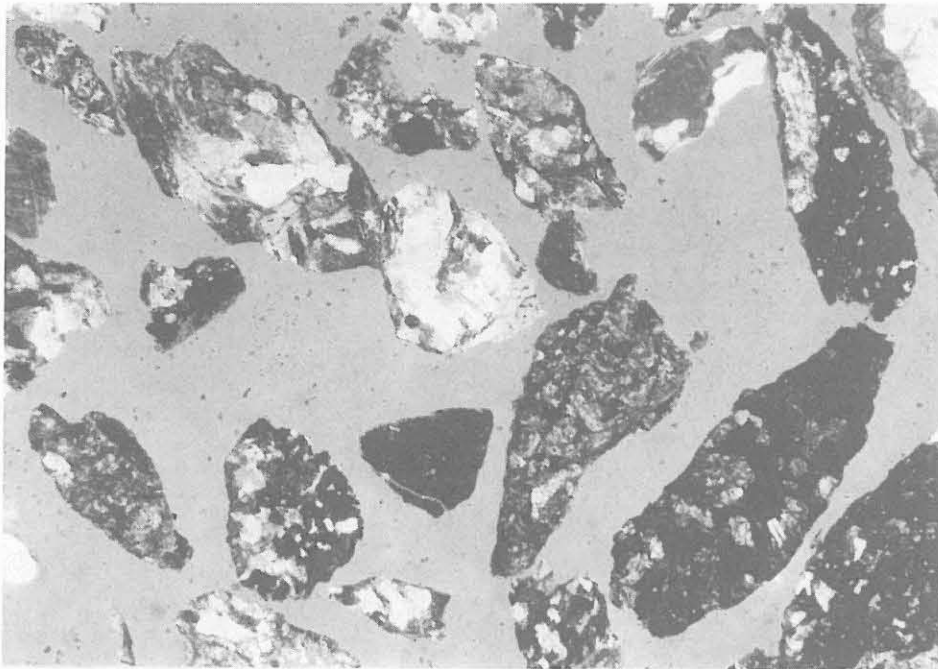


Abb. B.7.2: Amphibolit, Lamprophyr, kataklastischer Gneis und Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis. (Probe HC1562, x Nicols 20°, lange Bildkante entspr. ca. 7,1 mm)

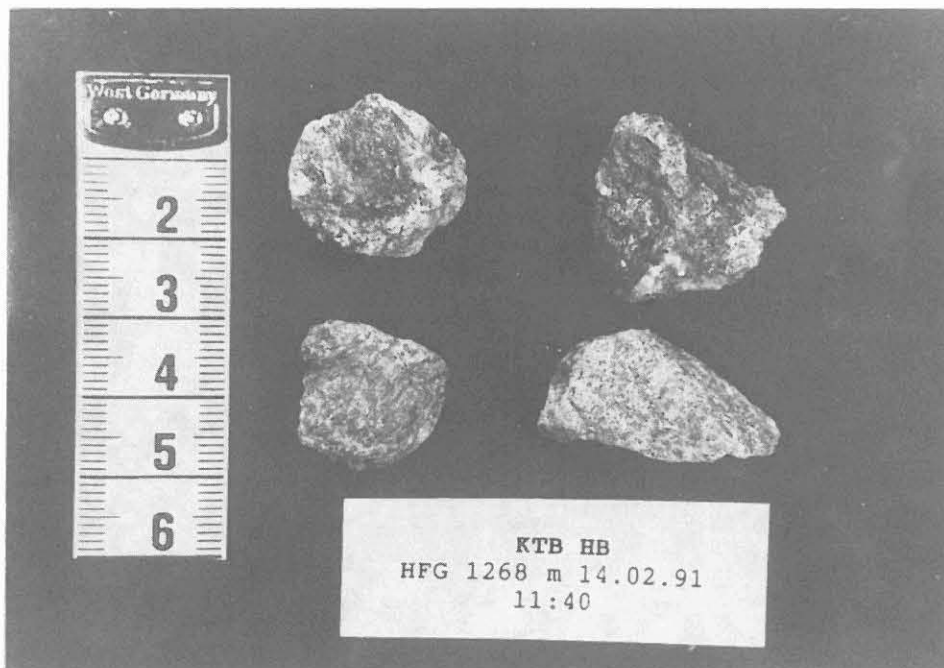


Abb. B.7.3: Linsige Gneisscherlinge mit Graphit-Harnischen innerhalb des kataklastisch überprägten Amphibolits. (Probe HFG1268)

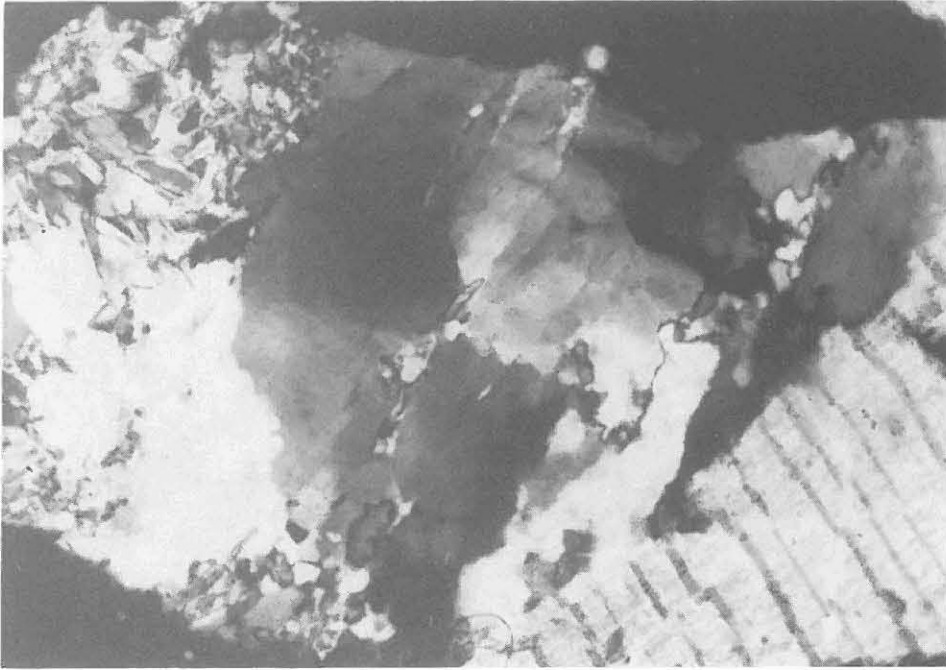


Abb. B.7.4: Aggregat aus zerbrochenem, stark serizitisierten Plagioklas, der von einer Quarzkluft abgeschnitten wird; der Quarz hat Deformations- und Rekristallisationsgefüge und ist von einer jüngeren Kluft mit idiomorphem Prehnit durchzogen; die Probe ist zu 40% aus Lamprophyr sowie zu etwa gleichen Teilen aus sowohl frischem wie auch kataklastischen Granat-Amphibolit und Muskovit-Biotit-Gneis zusammengesetzt. (Probe HC1550, x Nicols, lange Bildkante entspr. ca. 1,3 mm)

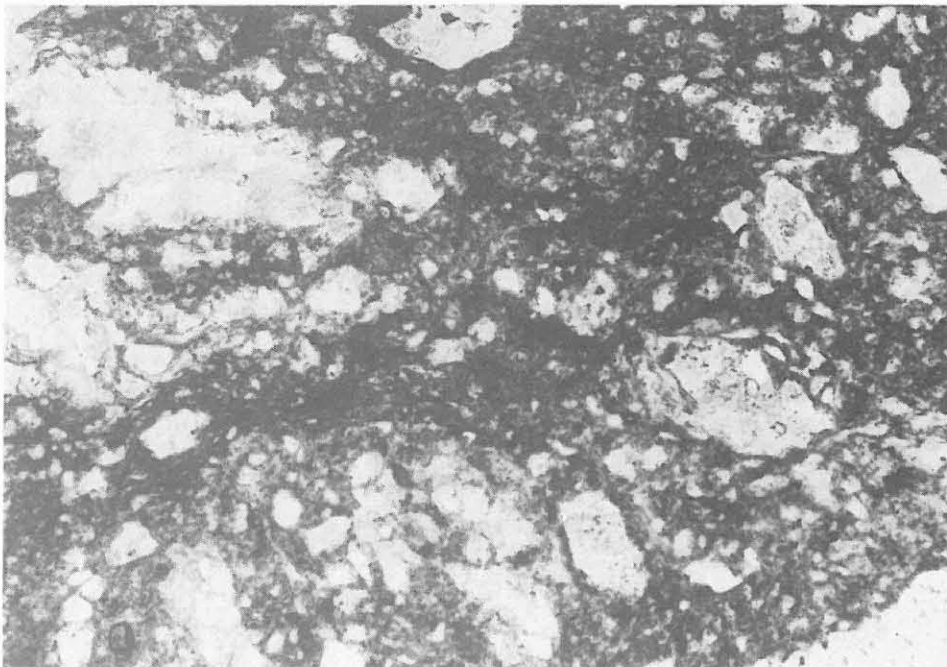


Abb. B.7.5: Kataklastit, entstanden aus Gneis: Quarz- und Plagioklas-Klasten schwimmen in einer Matrix aus zerriebenem Plagioklas, Quarz, Serizit und Chlorit. (DS HC0901, // Nicols, lange Bildkante entspr. ca. 1,8 mm)

Quarz, Plagioklas, Hornblende, Granat und Epidot bestehen (Abb. B.7.6). In Quarz-Klasten ist bisweilen randlich wie auch entlang diskreter Bahnen feinkörnige Rekristallisation zu beobachten. Eine Imprägnation mit Ilmenit, Pyrit und Phyrrotin kann auftreten. Gelegentlich bilden diskrete Scherzonen ein s-Flächengefüge.

Zwischen 195 und 204 m, 1210 und 1400 m sowie zwischen 1500 und 1578 m sind bis zu etwa 5% der Amphibolite kataklastisch überprägt und stärker alteriert (Abb. B.7.7). Hornblende ist zerbrochen und häufig von Spaltrissen ausgehend und randlich chloritisiert. Die Plagioklase sind stark saussuritisiert.

B.7.3 Kluftmineralisation

Quarzgänge scheinen teilweise an Störungen innerhalb der Gneise gebunden zu sein. So sind beispielsweise die kataklastisch überprägten Gneise zwischen 710 und 790 m lokal mit Quarz und Sulfiden mineralisiert. Die Quarzgänge sind häufig deformiert.

Zwei m-mächtige Gänge liegen bei 257 m (Probe HC0260) und 269 m (Probe HC0270) in einer Störungszone. Die Quarz-Komponenten sind bis 5 mm groß, schwach gerundet und können von einem feinen Saum aus Sulfiden und Graphit umgeben sein; sie sind häufig Komponenten einer Störungsbrekzie (vgl. Kap. B.7.4). Die Großwinkelkorngrenzen sind in der Regel nicht eben. Die starke Deformation bei niedrigen Temperaturen ist außerdem durch undulöses Auslösen und Deformationslamellen dokumentiert; zerbrochene Aggregate sind mit Calcit imprägniert (Abb. B.7.8).

Auffallend sind einige foliationsparallele Quarz-Gänge in den Proben HC0428, HC0468 sowie zwischen 1530 und 1550 m. Diese treten in allen Fällen neben den Lamprophyren auf (Abb. B.7.9). Die Quarz-Körner sind bis 1 mm groß. Undeformierte Körner sind selten. Undulöses Auslösen, Deformationsbänder und feinkörnige Rekristallisation entlang von diskreten, etwa 10 μ m starken Scherbahnen sind die Regel.

Im Mikrogefüge der Proben zwischen HC1540 und HC1550 fallen neben den oben beschriebenen Gängen Quarz-Aggregate auf, die ein statisch getempertes, polygonales Pflastergefüge besitzen (Abb. B.7.10). Die Korngröße beträgt 20 - 50 μ m. In einem Aggregat ist der Übergang zwischen kalt deformiertem und statisch getempertem Quarz zu sehen (Abb. B.7.11). Die Ursache für dieses in der Bohrung ungewöhnliche Gefüge könnte in einer Temperung der Quarz-Gänge durch die Lamprophyre liegen. Die zugeführte Energie bewirkte anscheinend eine für die Gefügeänderung ausreichende Aufheizung des Nebengesteines im Bereich dieser etwas mächtigeren Lamprophyre, die auch durch überdurchschnittliche Korngrößen gekennzeichnet sind.

Neben der Quarz- und Sulfidmineralisation (Kap. B.6) treten als Kluftminerale Epidot, Prehnit, Adular, Laumontit und Calcit auf.



Abb. B.7.6: Kataklasit, entstanden aus Amphibolit: Hornblende- und Plagioklas-Klasten in einer Matrix aus zerriebenem und stark serizitisierten Plagioklas, zerriebener und chloritisierter Hornblende und Ilmenit als Opakphase. (DS HC1200, x Nicols , lange Bildkante entspr. ca. 2,2 mm)



Abb. B.7.7: Titanit, Epidot und Aktinolith und stark alterierter Plagioklas bilden die Hauptkomponenten des retrograd überprägten Amphibolits; eingeregelte Bruchstücke dieser Minerale schwimmen in der Prehnit-Kluft. (DS HC1562, // Nicols , lange Bildkante entspr. ca. 1,8 mm)

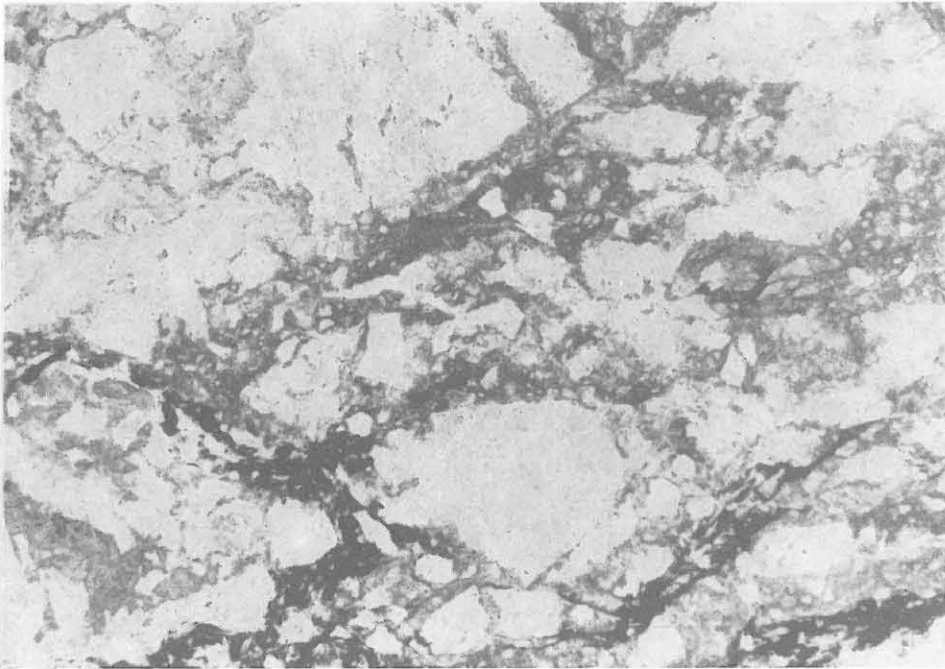


Abb. B.7.8: Deformierter Quarz-Gang, der mit Calcit verheilt ist; die opake Phase ist Graphit; das umgebende Gestein ist kataklastischer, alterierter Muskovit-Biotit-Gneis. (DS HC0264, // Nicols , lange Bildkante entspr. ca. 2,2 mm)

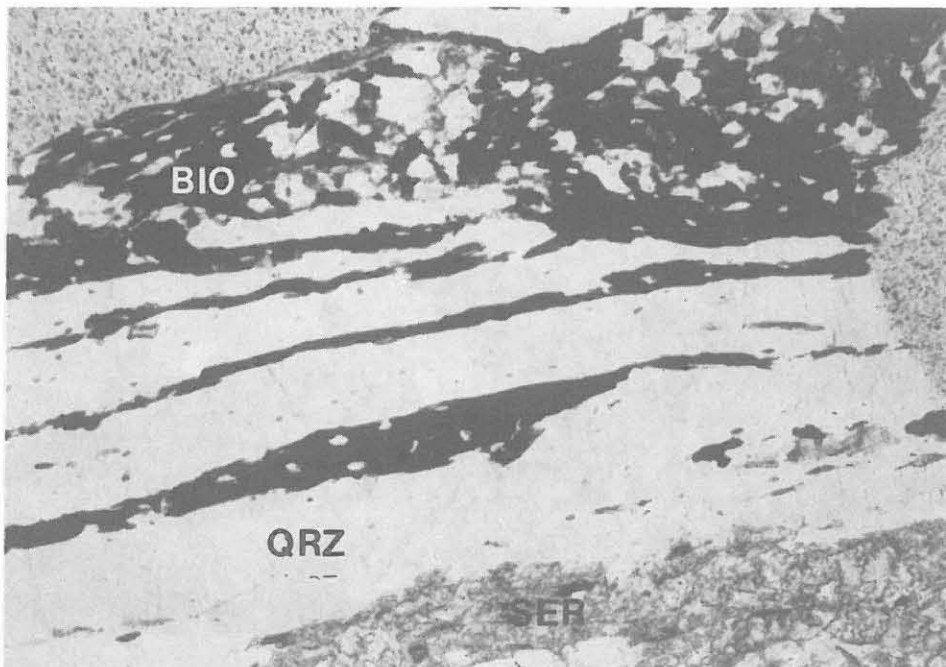


Abb. B.7.9: Kluft mit Quarz (QRZ) und Biotit/Ilmenit (BIO) im Grant-Sillimanit-Biotit-Gneis; das untere Biotit-Band enthält Quarz-Klasten. Die untere, keilförmige Begrenzung besteht aus Serizit und Quarz (SER). Der obere, linke Ecke und der Sinus am rechten Bildrand ist das Einbettungsmittel. (DS HC0468, // Nicols, lange Bildkante entspr. ca. 4,5 mm)



Abb. B.7.10: Statisch getempertes Gefüge mit ebenen Großwinkelkorngrenzen eines Quarz-Ganges, rechts Kataklasit; die Probe besteht zum größten Teil aus Lamprophyr und kataklastischem Amphibolit. (DS HC1540, x Nicols, lange Bildkante entspr. ca. 1,3 mm)

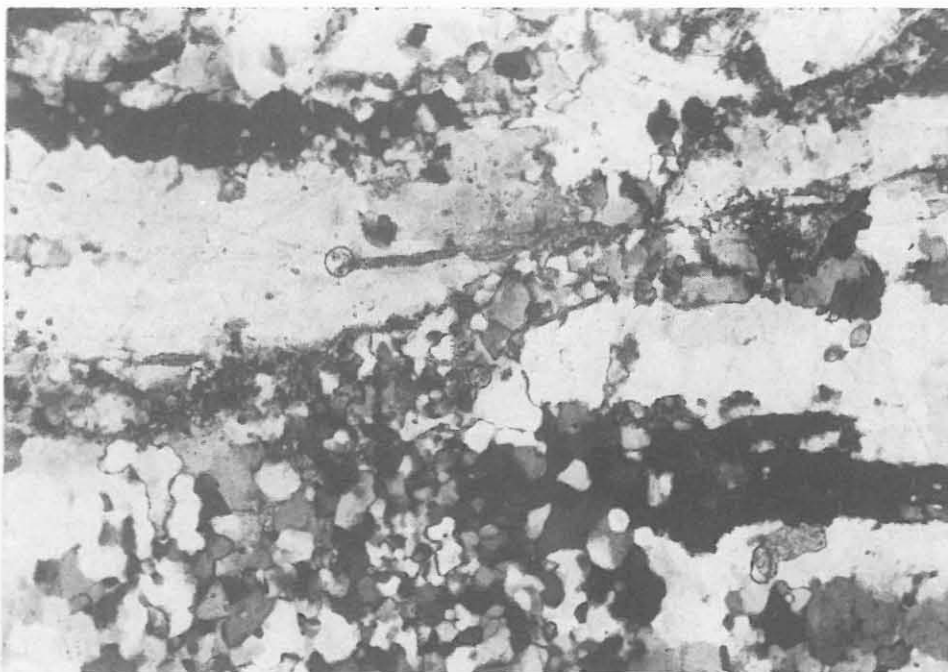


Abb. B.7.11: Die Quarz-Lagen dieses Ganges zeigen Deformationsgefüge und gehen kontinuierlich in ein spannungsfrei getempertes Pflastergefüge über; die Probe enthält Lamprophyr, kataklastischen Amphibolit, untergeordnet Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis und Kataklasit. (DS HC1544, x Nicols, lange Bildkante entspr. 2,2 mm)

Lokal bis zu 5 Vol% **Epidot** auf Klüften und in Gängen ist im Amphibolit von 155 bis 165 m und von 198 bis 208 m vorhanden. Die Epidot-Aggregate sind bis zu 1 mm groß.

Prehnit ist gelegentlich in o.g. Epidot-Klüften vorhanden. Reine Prehnitklüfte treten besonders im Amphibolit von 1213 bis 1242 m auf. Prehnit-Aggregate sind bis 2 mm groß. Die idiomorphen Kristalle werden häufig zur Klüftmitte hin größer und erreichen bis 500 μm . In der Probe HC1240 deutet ein Kristallrasen auf lokal offene Klüfte hin (Abb. B.7.12).

Adular ist gelegentlich in kataklastischen Gneisen zu finden (z.B. Probe HC0720: Abb. B.7.13). Von 1226 bis 1242 m und in den Proben HC1544 und HC1546 tritt er in Paragenese mit Prehnit in (kataklastischen) Amphiboliten auf.

Der Großteil des **Laumontits** tritt zwischen 1226 und 1242 m zusammen mit Prehnit und Adular (Abb. B.7.14) auf.

Calcitimpregnation tritt besonders stark zwischen 240 und 286 m sowie zwischen 298 und 310 m hervor.

In der Probe HC0156 ist die Abfolge 1) Epidot, 2) Laumontit, 3) Calcit in einer mehrfach reaktivierten Klüft dokumentiert. Im Randbereich sind Epidot und Laumontit deformiert. Zur Mitte hat idiomorpher Laumontit, der im Calcit schwimmt, eine Korngröße von durchschnittlich 40 μm (Abb. B.7.15).

B.7.4 Störungszonen

Die größte Störungzone in der Hauptbohrung wurde zwischen 248 und 290 m durchteuft. Sie beißt am W-Rand des Bohrplatzes mit SSE Streichen aus und fällt mit $60^\circ - 65^\circ$ nach E, wobei sie die Vorbohrung in der Teufe 40 - 60 m schneidet. Das Maximum der Gesteinszerstörung liegt zwischen 250 und 254 m, wo neben Kataklasiten eine verletzte Störungsbrekzie gebildet wurde (Abb. B.7.16). Die Gesteinsbruchstücke sind wenige mm groß und teilweise kantengerundet. Zwischen 260 und 280 m ist die Störung mit Ankerit mineralisiert, bei 270 m ist das Maximum der Graphit-Mineralisation, bei 290 m das Maximum der Pyrit-Vererzung. Ein wesentliches Kriterium für die Korrelation dieser Störung mit der Vorbohrung ist eine Ankerit-Mineralisation; diese wurde auch dort mit neuen Vergleichsmessungen nachgewiesen.

Die chemische Zusammensetzung von in 25%-iger Salzsäure gelösten Ankerit-Konzentraten aus Hauptbohrung und Vorbohrung wurde mit ICP-AES bestimmt. Die Konzentrationen der gemessenen Kationen sind in Tab. B.7.1 als Oxide aufgeführt. Neben der Ankerit-Zusammensetzung kommen in dem Konzentrat der Hauptbohrung noch deutliche Anteile von Barium vor.

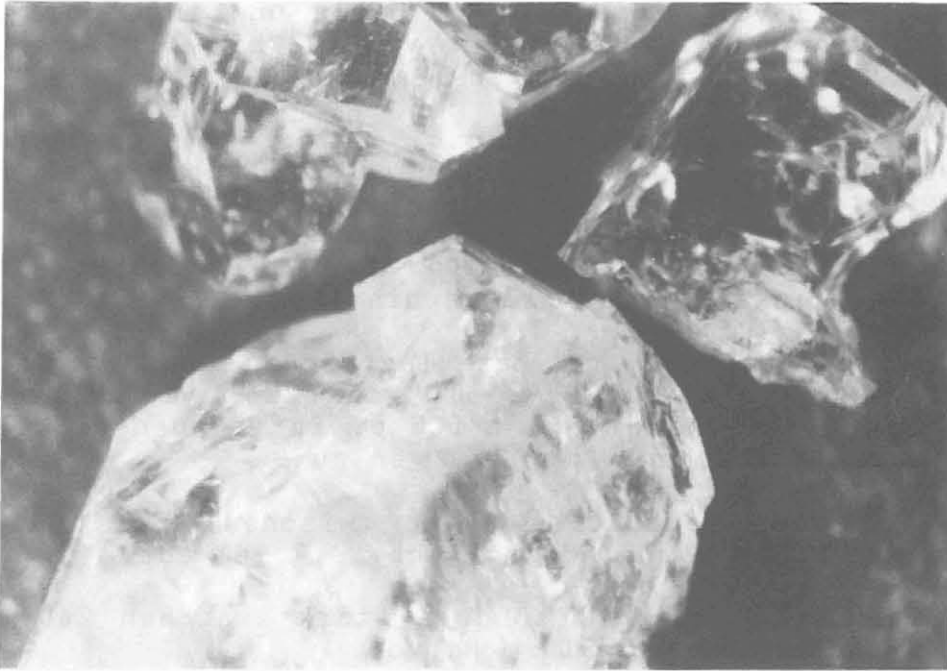


Abb. B.7.12: Idiomorpher Prehnit als Kluftmineral im Amphibolit in der Cuttings-Schüttprobe. (HC1242, lange Bildkante entspr. ca. 2,2 mm).

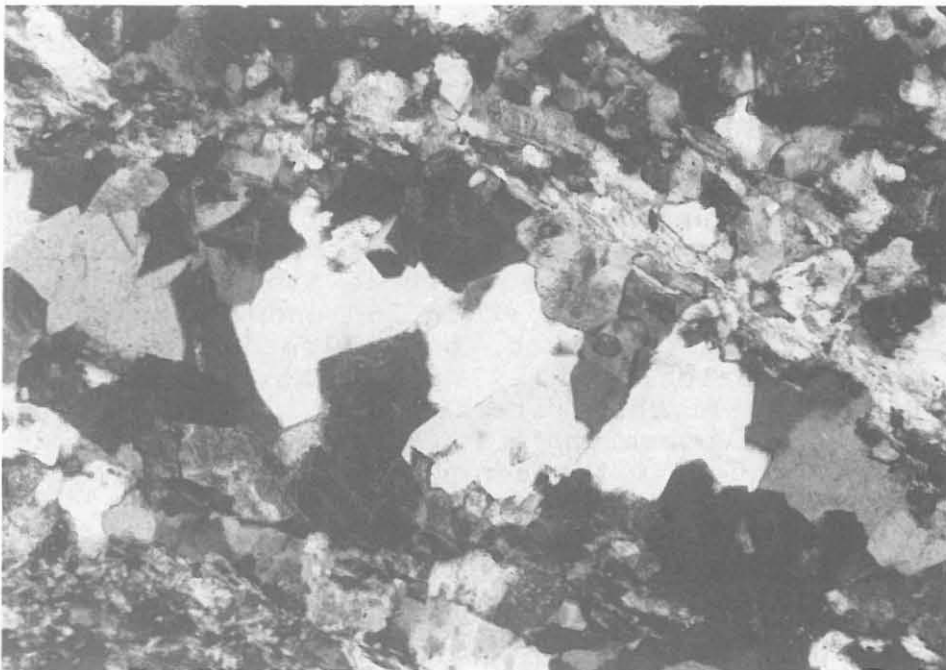


Abb. B.7.13: Adular-Kluft in alteriertem Muskovit-Biotit-Gneis; die Kristalle werden zur Kluftmitte hin größer. (DS HC0720, x Nicols, lange Bildkante entspr. ca. 2,2 mm).



Abb. B.7.14: Senkrecht zur Kluft im Amphibolit gewachsene Laumontit-Kristalle. (DS HC1394, x Nicols, lange Bildkante entspr. ca. 0,5 mm)

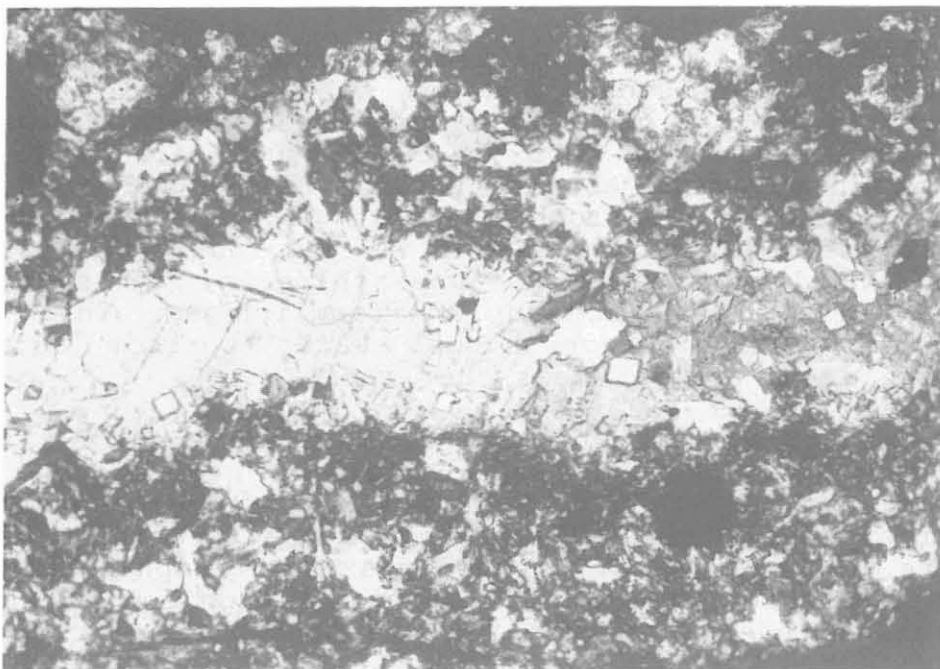


Abb. B.7.15: Diese Kluft im Amphibolit wurde mehrfach reaktiviert; im Randbereich sind Epidot und Laumontit deformiert; zur Mitte wird Laumontit idiomorph und schwimmt im Calcit. (DS HC0156, x Nicols, lange Bildkante entspr. ca. 1,4 mm)

Im tieferen Teil des Amphibolit-Körpers von 69 - 203 m wurden neben der beschriebenen, starken Kluftmineralisation Chlorit-Harnische und kataklastische Überprägung beobachtet. Dies spricht für eine tektonische Natur des Kontaktes zur liegenden Gneisserie.

Tab. B.7.1: Chemische Zusammensetzung von Ankeritkonzentraten

Bohrung	KTB HB	KTB VB1
Probe	HC0272K	VB0043K
Teufe	272 m	43 m
CaO	30,8 %	29,5 %
MgO	8,9 %	13,0 %
FeO	12,8 %	13,0 %
MnO	0,8 %	0,7 %
SrO	0,09 %	0,03 %
BaO	1,3 %	0,05 %

In dem überwiegend aus Gneisen bestehenden Teufenintervall von 330 bis 1180 schneiden kleinere Störungszonen die Bohrung in regelmäßigem Abstand von 20 bis 40 m. Sie sind häufig mit Graphit und/oder Sulfiden schwach vererzt und verlaufen parallel bis spitzwinklig zur Foliation. Dies gilt für den Teufenbereich bis 763 m, darunter ist noch kein FMS verfügbar. Innerhalb dieser Zonen erweitert sich das Bohrloch bevorzugt durch Ausbrüche aus der Bohrlochwand.

Zwischen 1250 und 1320 m schneiden mehrere Störungsbündel den Amphibolit. In vielen Proben ist bis 5 Vol-% kataklastischer, alterierter Muskovit-Biotit-Gneis enthalten. Nach Auswertung der Kalibermessungen vom 12.02., 24.02. und 04.03.91 kam es beim Durchteufen dieses Abschnittes zu keinen Bohrlocherweiterungen im gesamten Bohrloch oberhalb 1180 m (Hangendgrenze des Amphibolitkörpers). Deshalb ist ein Gneis-Nachfall in dieser Größenordnung praktisch auszuschließen. Wahrscheinlich sind diese Gneise tektonisch aus den räumlich nur einige 10-er m entfernten Gneisen eingeschuppt. Dafür spricht auch das Interngefüge der linsigen Gneisscherlinge.

Die geringmächtige, störungsgebundene Granat-Amphibolit-Einschaltung bei 1450 und die stark gestörte Wechsellagerung zwischen Granat-Amphibolit und Muskovit-Biotit-Gneis/Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis von 1500 bis 1575 m interpretieren wir als verschuppte und gestapelte Liegendgrenze des Amphibolites bei 1410 m. Der Wechsel zwischen Gneisen und Amphiboliten hat in diesem Bereich andere Ursachen als die Abschnitte mit Wechsellagerung zwischen 290 und 523 m.

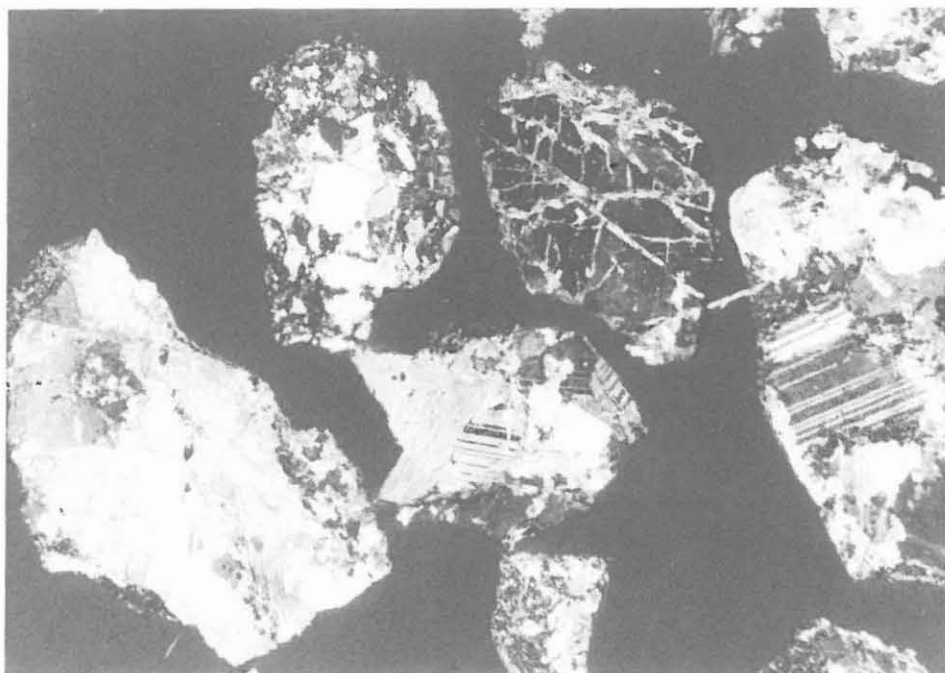
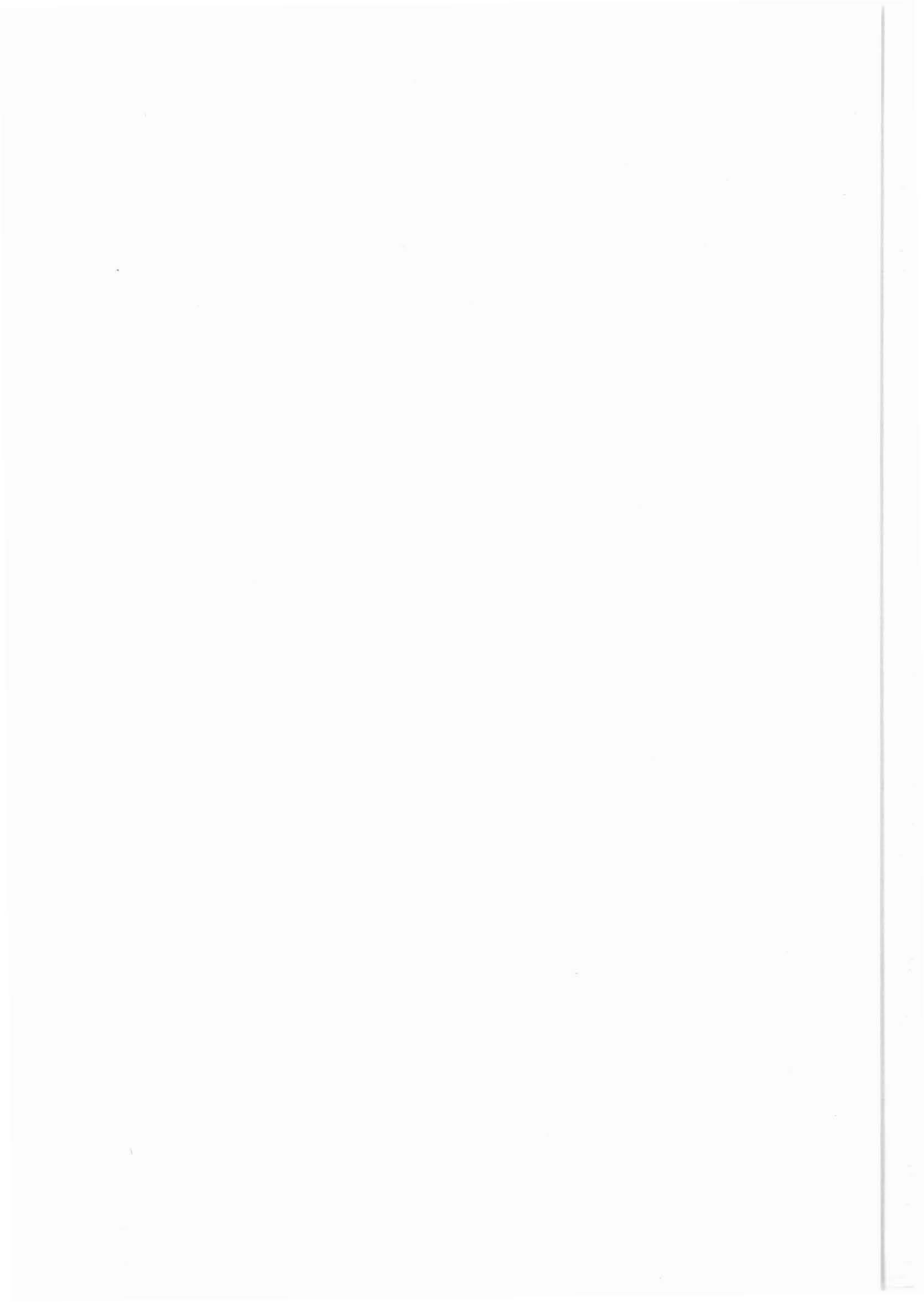


Abb. B.7.16: Die unterschiedlich stark zerbrochenen, kantengerundeten Einzelkomponenten einer Störungsbrekzie sind mit Calcit verheilt; Ausgangsgestein ist der Kalksilikat-führende, Plagioklas-reiche Gneis. (DS HC0256, x Nicols, lange Bildkante entspr. 5,6 mm)



KTB-Report	91-3	7 Seiten	3 Abb.	Hannover 1991
------------	------	----------	--------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz HB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 0 bis 1720 m:

B.8 Korrelation Vorbohrung - Hauptbohrung

G. Hirschmann¹⁾ und J. Kohl²⁾

Anschrift der Autoren:

- 1) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung,
Stilleweg 2, D-3000 Hannover 51
- 2) KTB-Feldlabor, Postfach 67, D-8486 Windischeschenbach

B.8 Korrelation Vorbohrung - Hauptbohrung

G. Hirschmann & J. Kohl

Der Ansatzpunkt der Hauptbohrung befindet sich 185 m östlich des Ansatzpunktes der Vorbohrung. Zwischen beiden Punkten und dicht westlich der Vorbohrung verlaufen nach Aufschlußbearbeitungen und Oberflächenkartierung (ROHRMÜLLER 1987, 1988, ROHRMÜLLER et al. 1989, STETTNER et al. 1990) mehrere NNW-SSE gerichtete Störungen. Die Mehrzahl dieser Störungen fällt - soweit bekannt - steil nach ENE ein. Im Bereich dieser Zone werden nicht nur die lithologischen Einheiten gegeneinander versetzt, sondern es treten auch Gänge und verschieden große Körper von Lamprophyr und Aplit auf (Abb. B.8.2). Auch Störungssysteme anderer Raumlage (WNW-ESE, NW-SE, NE-SW) sind durch die Oberflächenkartierung und die Vorbohrung bekannt geworden. Auch für diese muß eventuell mit größeren Versatzbeträgen gerechnet werden (STETTNER 1989, 1990). Für einen Großteil der Störungszonen ist nach ZULAUF (1990) eine komplexe kinematische Geschichte anzunehmen, die sich in Stadien der Aufschiebung, Blattverschiebung und Abschiebung äußert. Es war daher nicht von vornherein klar, inwieweit die Korrelation zwischen beiden Bohrungen gelingen würde.

Die NNW-SSE gerichteten Störungen des Bohrplatzbereiches gehören zu einer bedeutsamen Störungzone (Nottersdorfer Störungzone). Aus dem Kartenbild ist zu schließen, daß die Scholle östlich der Störungzone gegenüber der westlichen relativ gehoben ist. Die **bedeutendste in der Hauptbohrung angetroffene Störungzone** zwischen 248 und 290 m ist eine der wichtigen Einzelstörungen des Nottersdorfer Systems. Sie kann an der Oberfläche entweder mit der Störung westlich des Bohrplatzes (in der Vorbohrung zwischen 40 und 60 m angetroffen?) oder der Störung zwischen Vor- und Hauptbohrung korreliert werden. Für die erste Variante sprechen einige gemeinsame Merkmale (z.B. das Auftreten ankeritführender Kataklasite - Abb. B.8.1), die zweite Variante ist jedoch wegen der geometrischen Konstruktion wahrscheinlicher. Das Profil der Hauptbohrung unterhalb der genannten Störungzone gehört wie das Profil der Vorbohrung zur westlichen, das Profil oberhalb der Störung zur östlichen Scholle. Andere Störungen besitzen demgegenüber für den Gesamtprofilaufbau und die Korrelation zwischen Vor- und Hauptbohrung untergeordnete Bedeutung. In Abb. B.8.1 ist eine Auswahl derartiger Störungen in teilweise schematischer Form eingetragen.

Das lithologische Grobprofil der westlichen Scholle zeigt bis zur Berichtsteufe - im wesentlichen übereinstimmend für Vor- und Hauptbohrung - folgenden Aufbau:

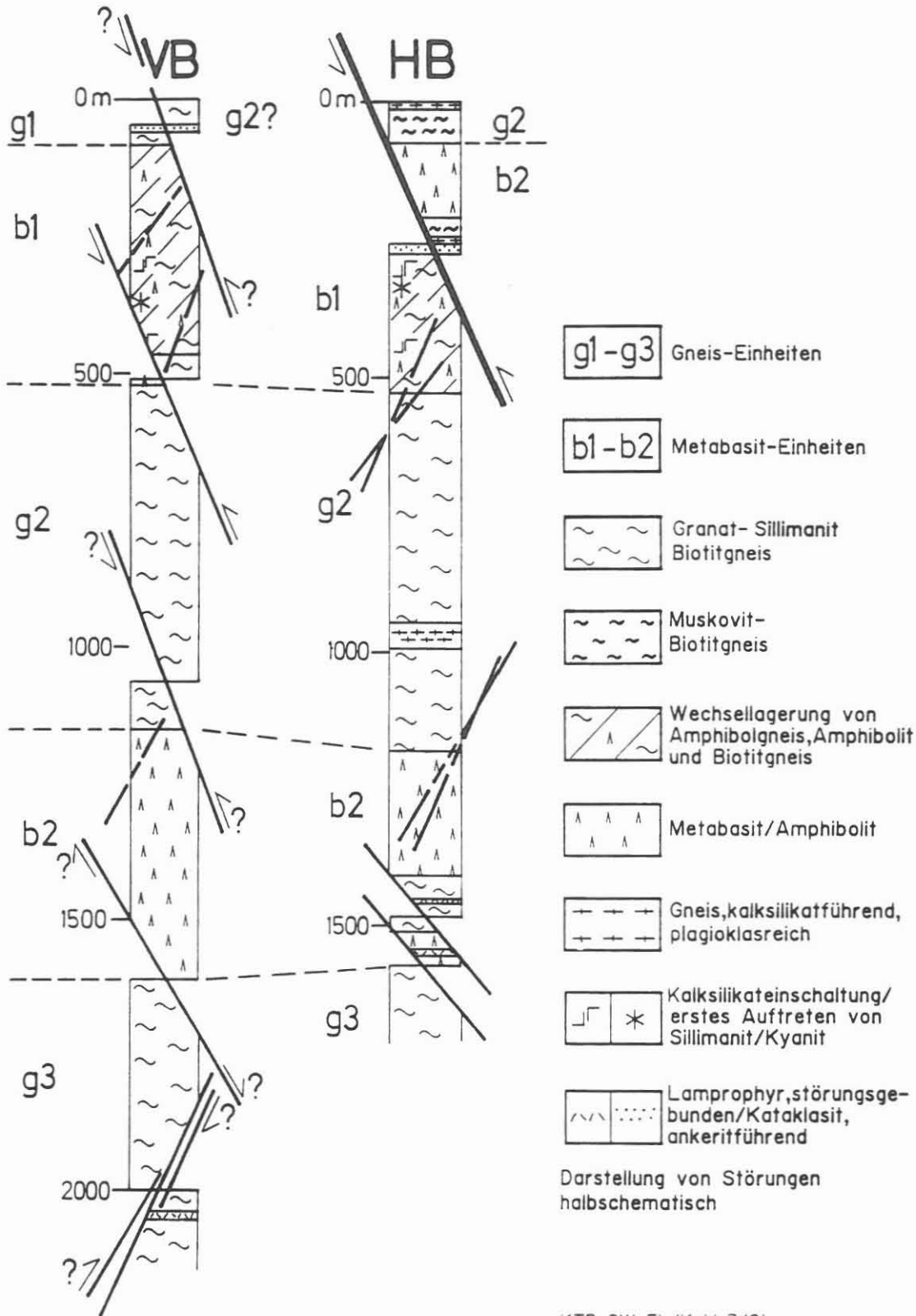


Abb. B.8.1: Korrelation lithologischer Einheiten zwischen Vorbohrung und Hauptbohrung

Gneiseinheit g1: (Muskovit-)Biotitgneis

Vorbohrung: bis ~81 m (Zugehörigkeit der Gneise oberhalb der Störungszone von 40 - 60 m zu dieser Einheit ist fraglich)

Hauptbohrung: wie die höheren Teile der nachfolgenden Einheit b1 tektonisch unterdrückt

Metabasiteinheit b1: Wechsellagerung von Amphibolgneis, Amphibolit und Biotitgneis mit kalksilikatischen Einschaltungen, in der unteren Hälfte erstes Auftreten von Kyanit/Sillimanit

Vorbohrung: ~81 bis ~460 bzw. ~527 m (tieferer Bereich tektonisch stärker gestört)

Hauptbohrung: ~290 bis ~523 m (höhere Teile einschließlich Marmorhorizont tektonisch unterdrückt)

Gneiseinheit g2: Granat-Kyanit/Sillimanit-Biotitgneis, im tieferen Teil Einschaltung von quarzarmem, plagioklasreichem, kalksilikatführendem Gneis

Vorbohrung: ~527 bis ~1160 m (Teile des Profils mit plagioklasreichem, kalksilikatführendem Gneis tektonisch unterdrückt?)

Hauptbohrung: ~523 bis ~1183 m, plagioklasreicher, kalksilikatführender Gneis von ~947 bis ~994 m

Metabasiteinheit b2: Granat-Amphibolit mit Einschaltungen von Metagabbro und Lagen von Meta-Ultramafitit

Vorbohrung: ~1160 bis ~1610 m

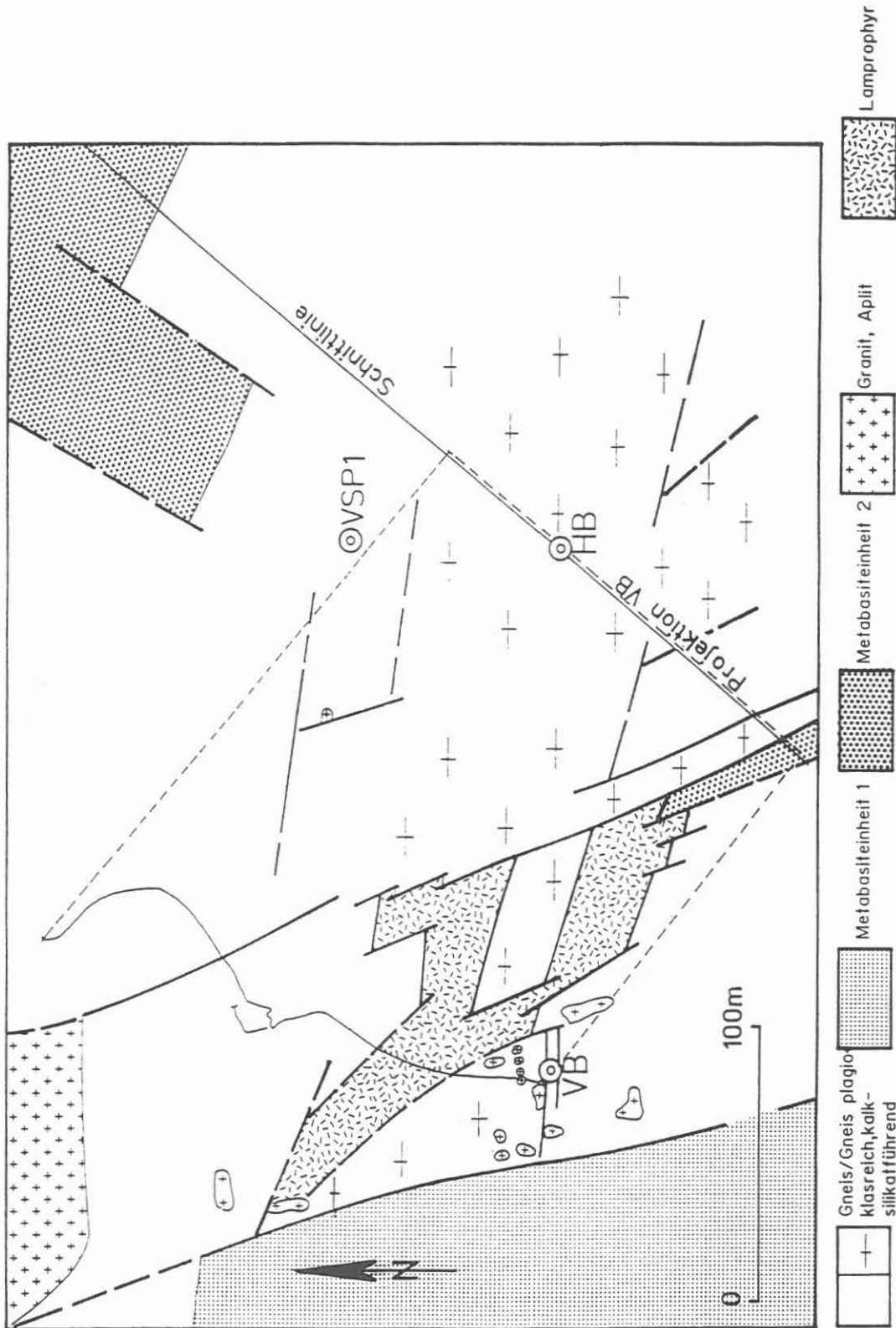
Hauptbohrung: ~1183 bis ~1410 bzw. ~1573 m (Meta-Ultrabasite bisher nicht erkannt, tiefe Profilmteile tektonisch stärker gestört: Verschuppung? Kombination von Auf- und Abschiebungen?)

Gneiseinheit g3: Granat-Sillimanit-Biotitgneis

Vorbohrung: ab ~1610 m

Hauptbohrung: ab ~1573 m

Das Profil der östlichen (gehobenen) Scholle in der Hauptbohrung wird insbesondere durch den zwischen ~69 und ~203 m angetroffenen (Granat-)Amphibolit gekennzeichnet, der geringe Meta-Ultramafititeinschaltungen enthält und einerseits mit der Metabasiteinheit b2 der westlichen Scholle (s.o.) und andererseits mit dem Amphibolit (mit Eklogitrelikten) der Seismik-Bohrung VSP 1 und dem nordöstlich benachbarten Oberflächenausstrich von Amphibolit korreliert werden kann (Abb. B.8.2). Die im Hangenden und Liegenden begleitenden Muskovit-Biotit- bzw. Granat-Sillimanit-Biotitgneise sind wahrscheinlich der Gneiseinheit g2 zuzuordnen. In sie sind (ähnlich wie zwischen 947 und 994 m) sowohl von 0 bis 16 m als auch von ~242 bis ~247 m plagioklasreiche, kalksi-



KTB-GW-PA Hirschmann 4/91
Zeichn.: Kasch

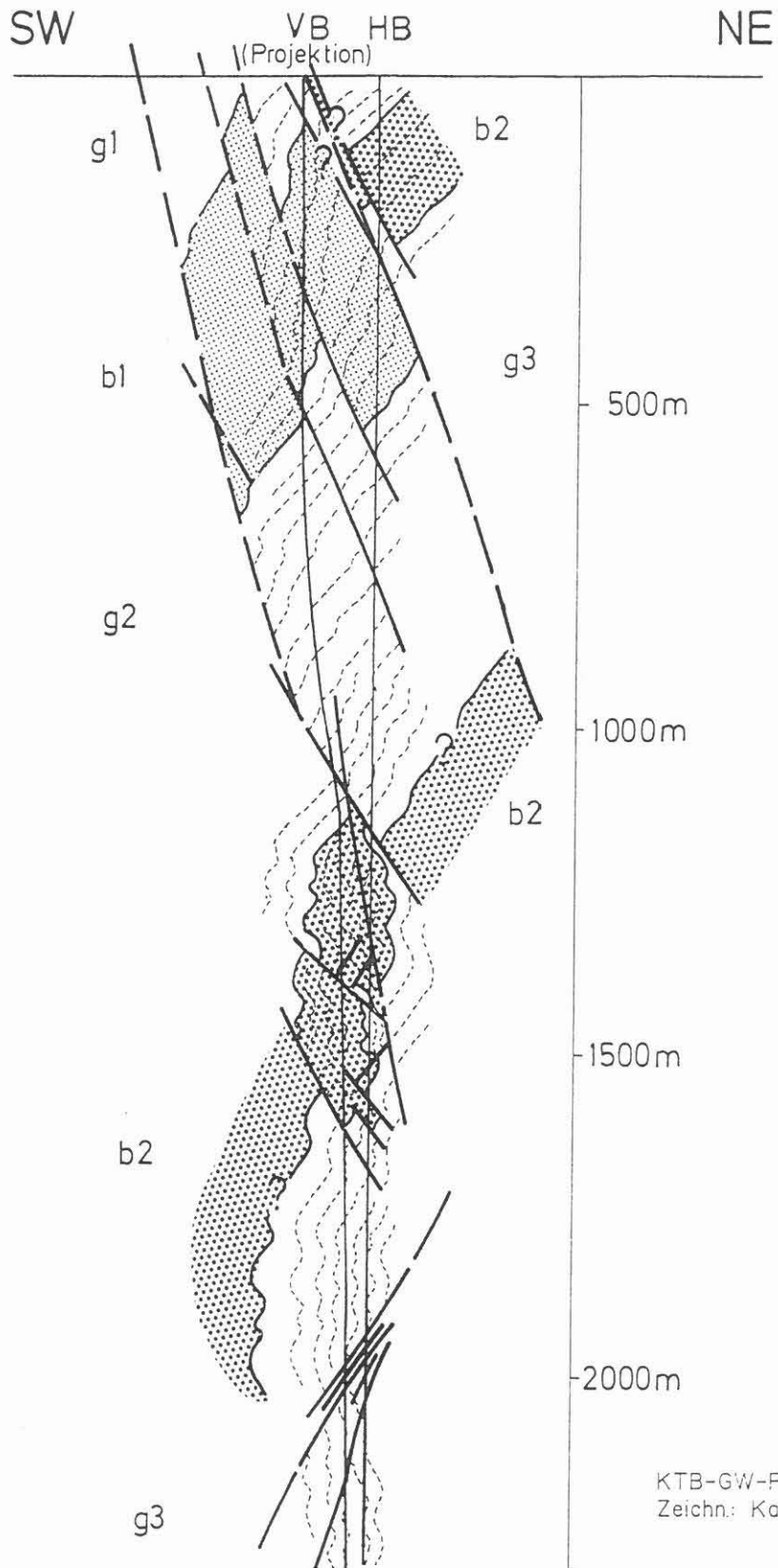
Abb. B.8.2: Geologie des Bohrplatzbereiches (nach ROHRMÜLLER 1987 mit Ergänzungen durch KTB Feldlabor/Geologie, 1990) mit Eintragung des Bohrlochverlaufs der Vorbohrung und Projektion auf die Schnittlinie durch die Hauptbohrung

likatführende Gneise eingeschaltet. Das Profil ist also allem Anschein nach durch mehrfache tektonische Wiederholungen einzelner lithologischer bzw. lithostratigraphischer Abschnitte gekennzeichnet.

Die gegenseitigen räumlichen Beziehungen der Profile von Vor- und Hauptbohrung lassen sich besser verstehen, wenn man unter Berücksichtigung der ermittelten Lagerungsverhältnisse das Profil der Vorbohrung auf einen Schnitt projiziert, der senkrecht zum Streichen durch die Hauptbohrung konstruiert wird. Für die Vorbohrung wurde im Teufenbereich von 500 bis 4000 m ein mittleres Streichen der Foliation von 130° errechnet. Die für die Meßstrecke in der Hauptbohrung bis 1700 m vorliegenden Werte zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Werten der entsprechenden Teufenbereiche der Vorbohrung. Dementsprechend wurde in der Abb. B.8.2 eine 40° orientierte Schnittlinie gewählt. Ausgehend vom tatsächlichen abweichungsbedingten Bohrungsverlauf wurde das Profil der Vorbohrung teufengerecht auf diese Schnittlage projiziert und in Abb. B.8.3 zusammen mit dem Profil der Hauptbohrung dargestellt. Die Zusammengehörigkeit der lithologischen Großeinheiten (s.o.) ist deutlich erkennbar. Die Lagerungsverhältnisse werden bis zur Obergrenze der Metabasiteinheit b2 durch vorwiegend mittelsteiles (bis steiles) Einfallen nach SW bestimmt. Der in der Vorbohrung bis etwa 500 m angetroffene Bereich sehr steilen Einfallens ist an das Nottersdorfer Störungssystem gebunden und in der Hauptbohrung weniger ausgeprägt zu beobachten. Der von der Obergrenze der Metabasiteinheit b2 nach unten folgende Bereich wird durch steiles bis sehr steiles Einfallen mit zahlreichen Verbiegungen um die Vertikale (Einfallen nach SW oder NE) bestimmt. Störungen und ihre Versatzbeträge sind nur auswahlweise und halbschematisch dargestellt. Den größten Versatz von größenordnungsmäßig 1000 m besitzt die im oberen Teil der Hauptbohrung angetroffene, zum Nottersdorfer Störungssystem gehörige Störung.

Nach den bisherigen Ergebnissen sind folgende **Schlußfolgerungen** möglich:

1. Die geologischen Profile von Vor- und Hauptbohrung lassen sich in lithologischer und tektonischer Hinsicht (bisher) sehr gut korrelieren.
2. Trotz des insgesamt komplizierten tektonischen Bauplanes wird es möglich sein, ein schlüssiges räumliches geologisches Bild der Bohrlokation zu gewinnen.
3. Die unterscheidbaren lithologischen Haupteinheiten sind durch eine regelmäßige und prognostizierbare Relativabfolge miteinander verknüpft. Dieser Befund muß bei geologischen (strukturellen, stratigraphischen), petrologischen, geochronologischen und anderen Analysen und Interpretationen berücksichtigt werden.



KTB-GW-PA/Hirschmann 4/91
Zeichn.: Kasch

Abb. B.8.3: Geologischer Schnitt durch die Hauptbohrung und das projizierte Profil der Vorbohrung

4. Die gute Korrelierbarkeit gestattet eine relativ weitgehende Übertragbarkeit von Ergebnissen, die in der Vorbohrung an Material und mit Verfahren gewonnen wurden, welche in der Hauptbohrung nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen.

Danksagungen

Herr Prof. Dr. Emmermann und Herr Prof. Dr. Stöckhert übernehmen dankenswerterweise die Durchsicht des Manuskriptes.
Herrn Dr. Hirschmann danken wir für die Überlassung der Strukturdaten der visuellen Übersichtsauswertung des FMS und FMI.
Dem Bayerischen Geoinstitut in Bayreuth (D. Krauß) und dem Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen (A. Kontny, A. Wiechowsky) sei für qualitative und quantitative Mikrosondenanalysen gedankt.
Unsere technischen MitarbeiterInnen unterstützten uns bei der Erstellung dieses Berichts.

Abkürzungsverzeichnis

Kfs	Kalifeldspat
Plg	Plagioklas
Amf	Amphibol
Bio	Biotit
Qrz	Quarz
Chl	Chlorit
Epd	Epidot
Prh	Prehnit
Cal	Calcit
Tit	Titanit
FMI	Formation Micro Imager
FMS	Formation Micro Scanner
HC	Probenbezeichnung : Hauptbohrung Cuttings
HC..K	Probenbezeichnung : separierte Probe
HFG	Probenbezeichnung : Cuttings aus der Sandfalle (grobkörnig)

B.9 Literaturverzeichnis

BLÜMEL P. (1983): The western margin of the Bohemian Massif in Bavaria.- Fortschr. Mineral., 61, Beiheft 2:171-195, Stuttgart.

EMMERMANN R. & LAUTERJUNG J. (1990): Double X-Ray analysis of cuttings and rock flour: a powerful tool for rapid and reliable determination of borehole lithostratigraphy. Scientific Drilling, 1:269-282.

EMMERMANN R. & WOHLBERG J. (1989): The German Continental Deep Drilling Program (KTB). Springer Verlag, Berlin, 553 p.

EMMERMANN R., LAUTERJUNG J. & STROH A. (1989): Das lithostratigraphische Profil der KTB-Vorbohrung bestimmt durch röntgenographische Phasenanalyse von Bohrklein. - KTB Report 89-3, Beiträge zum 2. KTB-Kolloquium, 152-164, Hannover.

FRANKE W. (1989): The Geological Framework of the KTB Drill Site, Oberpfalz.- In EMMERMANN R. & WOHLBERG J. (eds.): The German Continental Deep Drilling Program (KTB), pp 37-54.

HAGGERTY S. (1976): Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks.- In EL GORESY A., HAGGERTY S.E., HUEBNER J.S., LINDSLEY D.H. & RUMBLE III D.: Oxide Minerals.- Short Course, Min. Soc. America, Hg101-269, Blacksburg.

KONTNY A., VOGTMANN-BECKER J., FRIEDRICH G., HERZIG P. & KEYSNER S. (1990): Erzmineralparagenesen und Mineralisationstypen in der KTB-Vorbohrung.- KTB Report 90-4:65-75, Hannover.

KREUZER H., SEIDEL E., SCHÜSSLER U., OKRUSCH M., LENZ K.-L., & RASCHKA H. (1989): K-Ar geochronology of different tectonic units at the northwestern margin of the Bohemian Massif.- Tectonophysics, 157:149-178.

O'BRIEN P.J. (1989): The petrology of retrograded eclogites of the Oberpfalz Forset, northeast Bavaria, West Germany.- Tectonophysics, 157:195-212.

PEARCE J.A. (1982): Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries.- In THORPE R.S. (ed.): Andesites, Wiley & Sons, New York, pp 525-548.

PEARCE J.A. & CANN J.R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses.- Earth Planet. Sci. Lett., 19:290-300.

PEARCE J.A., ALABASTER T., SHELTON A.W. & SEARLE M.P. (1981): The Oman ophiolite as a Cretaceous arc basin complex: evidence and implications.- Phil. Trans. R. Soc. London, A 300:299-317.

REINHARD J. & KLEEMANN U. (1989): Phasenpetrologische Analyse und Geothermobarometrie der Metapelite in der Zone von Erben-dorf-Vohenstrauß (ZEV), Oberpfalz.- Europ. J. Mineralogy, 1,

Beih.:152. (Abstr.), Stuttgart.

ROHRMÜLLER J. (1987): Geologische Dokumentation der Straßenaufschlüsse im Bereich Windischeschenbach - Burggrub und der temporären Aufschlüsse am KTB-Bohrplatz.- Manuskript Ludwig-Maximilians-Universität München (unveröffentlicht).

ROHRMÜLLER J. (1988): Die Geologie im Umfeld der KTB-Bohrlokation Windischeschenbach, Oberpfalz - Geologisch-Petrographisch-Tektonische Untersuchungen im Gebiet zwischen Windischeschenbach, Burggrub und Bach. Unveröff. Diplomarbeit, Univ. München, 241 S.

ROHRMÜLLER J., GÜNZEL F., HÖLL R. & STETTNER G. (1989): Geologische Karte des KTB-Umfeldes.- In: HÖLL et al.: Geologische Kartierung im Umfeld der KTB-Bohrung.- KTB-Report 89-3:346 und Anlage.

RÖHR C., HACKER W., KEYSSNER S., KOHL J. & MÜLLER H. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich 1709 bis 2500 m: B. Geologie.- KTB Report 89-2:B1-B114.

RÖHR C., KOHL J., HACKER W., KEYSSNER S., MÜLLER H., SIGMUND J., STROH A. & ZULAUF G. (1990): German Continental Deep Drilling Program (KTB) - Geological Survey of the Pilot Hole "KTB Oberpfalz VB".- KTB-Report 90-8:B1-B55, Hannover.

SHERVAIS J.W. (1982): Ti-V-plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas.- Earth Planet. Sci. Lett., 59:101-118.

SIEGESMUND S., VOLLBRECHT A. & WEBER K. (1990): Gefügekundliche Untersuchungen im KTB.- Die Geowissenschaften, 9:287-294.

SIGMUND J., HACKER W., KEYSSNER S., KOHL J., MÜLLER H., RÖHR C., STROH A. & TAPPER M. (1990): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB1a und 1b, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 3500 bis 4000.1 m.- KTB Report 90-2:B1-B142, Hannover.

SOFFEL H.C. (1968): Die Beobachtung von Weiss'schen Bezirken auf einem Titanomagnetitkorn mit einem Durchmesser von 10 μm in einem Basalt.- Z. Geophys., 34:175-181.

STETTNER G. (1989): Geologische Kartierungen im engeren und weiteren Umfeld der Tiefbohrung, Beispiele von deren Auswertung in Beziehung zum Profil der Vorbohrung und das Vorhaben einer geologischen Umfeldkarte 1 : 10000.- KTB-Report 89-3:10-23.

STETTNER G. (1990): KTB Umfeldgeologie. Das geologische Umfeld der Kontinentalen Tiefbohrung in der Oberpfalz. Ein Überblick mit Exkursionshinweisen.- Bay. Geologisches Landesamt, München.

STETTNER G. mit Beiträgen von BURGER R., ROHRMÜLLER J. & TROLL

G. (1990): Geologische Karte des KTB-Umfeldes Oberpfalz
1 : 10000. Blatt Krummenaab.- Hannover 1990.

STROH A., HEINSCHILD H.-J., HOMANN K.D. & TAPPER M. (1988):
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftli-
chen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach),
Teufenbereich von 92 bis 1530 m : C. Geochemie.- KTB-Report 88-
6:C1-C109.

TEUFEL H. (1988): Vergleichende U-Pb- und Rb-Sr-Altersbestim-
mungen an Gesteinen des Übergangsbereichs Saxothuringikum/Mol-
danubikum, NE-Bayern.- Göttinger Arb. Geol. Paläont., 35, 87 S.

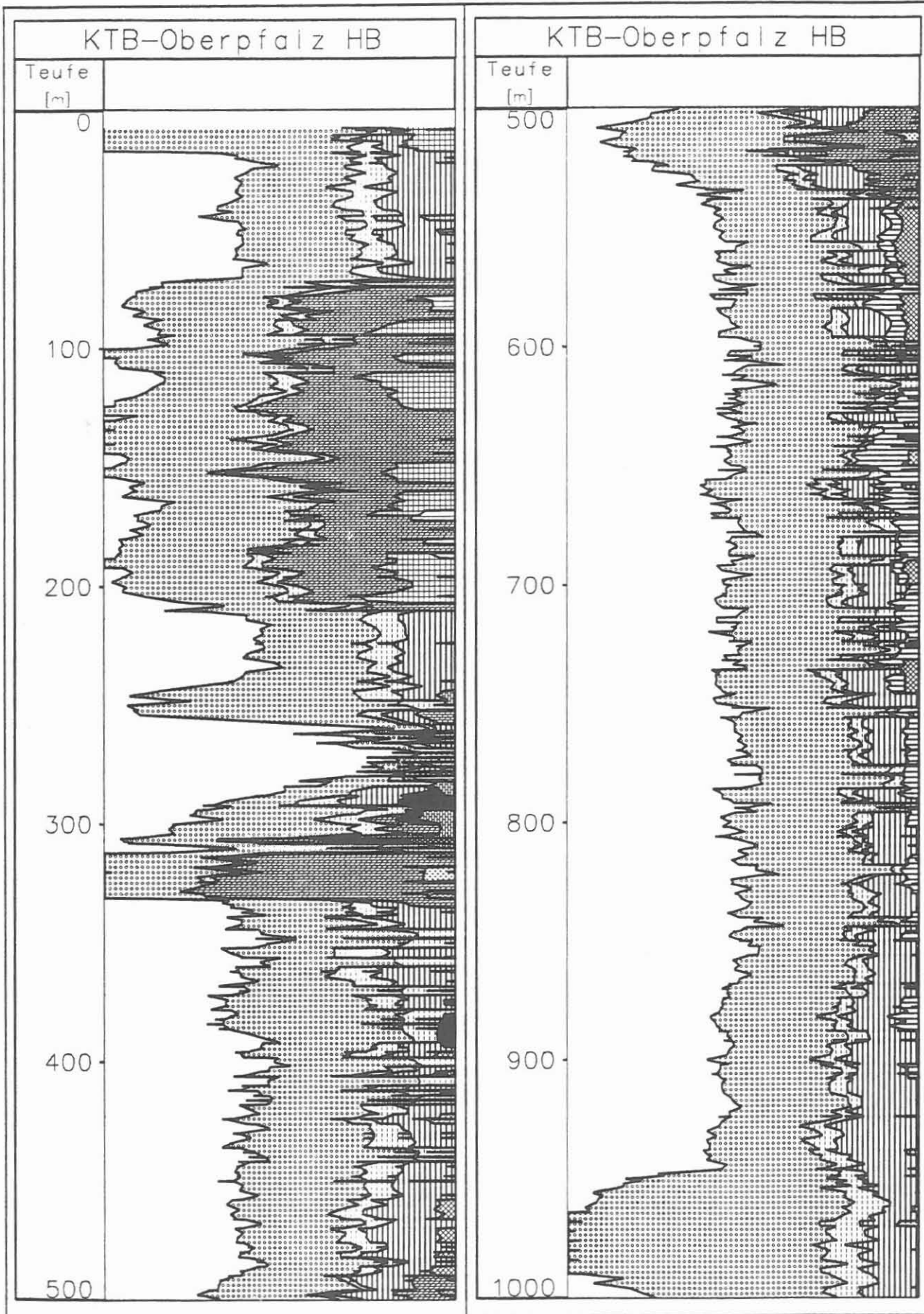
VOLLBRECHT A., WEBER K. & SCHMOLL J. (1989): Structural model
for the Saxothuringian-Moldanubian suture in the Variscan base-
ment of the Oberpfalz (Northeastern Bavaria, F.R.G.) interpre-
ted from geophysical data.- Tectonophysics, 157:123-133.

WEBER K. & VOLLBRECHT A. (1989): The Crustal Structure at the
KTB Drill Site, Oberpfalz.- In: EMMERMANN R. & WOHLLENBERG J.
(eds): The German Continental Deep Drilling Program (KTB), pp
5-36.

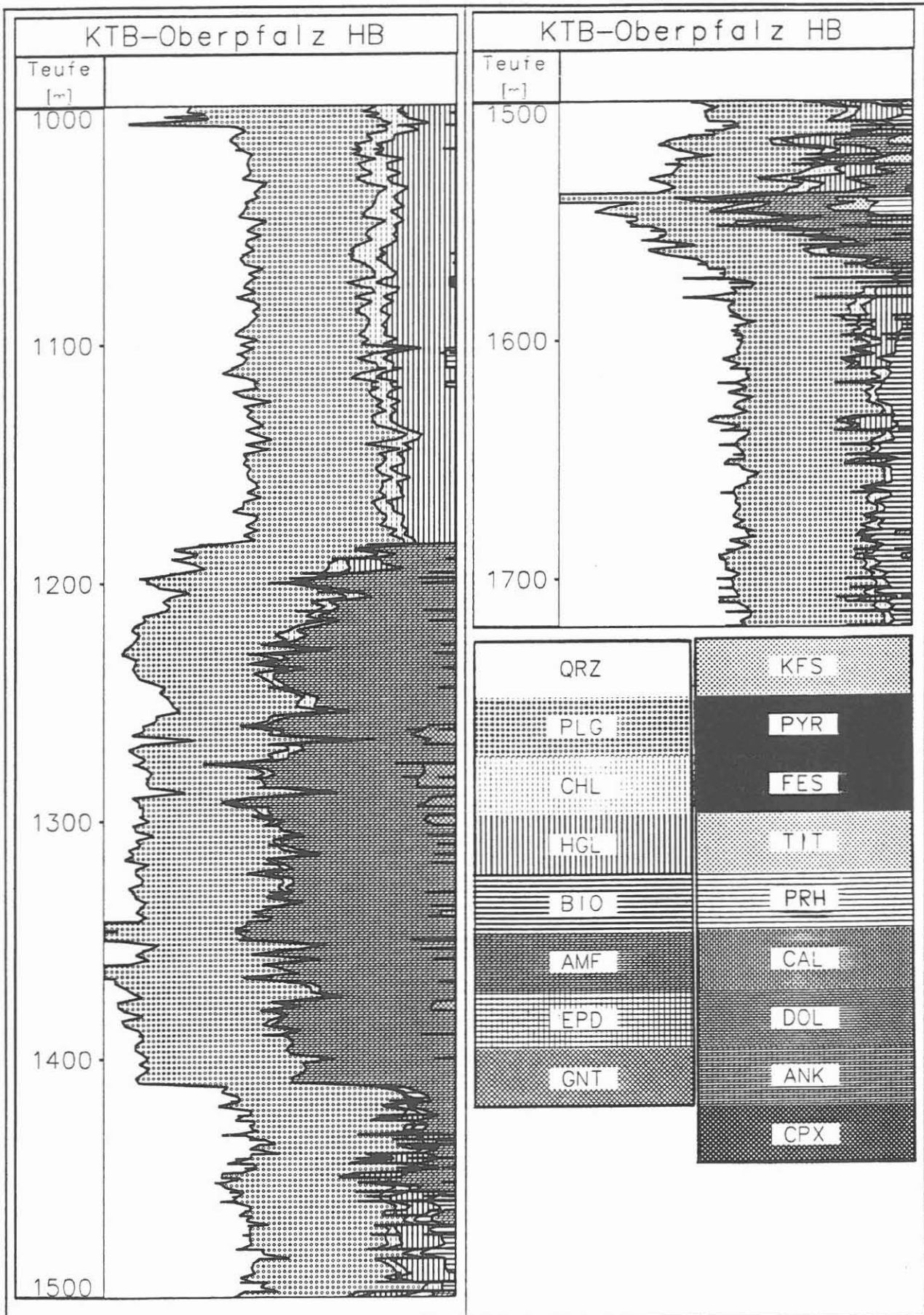
WINCHESTER J.A. & FLOYD P.A. (1976): Geochemical magma type
discrimination : Application to altered and metamorphosed basic
igneous rocks.- Earth Planet. Sci. Lett., 28:459-469.

YUND R.A. & KULLERUD G. (1966): Thermal stability of assemb-
lages in the Cu-Fe-S system.- J. of Petrol., 7:454-488.

ZULAUF G. (1990): Spät- bis postvariszische Deformationen und
Spannungsfelder in der nördlichen Oberpfalz (Bayern) unter be-
sonderer Berücksichtigung der KTB-Vorbohrung.- Frankfurter geo-
wiss. Arb., Serie A, Bd. 8, 285 S., Frankfurt a.M.

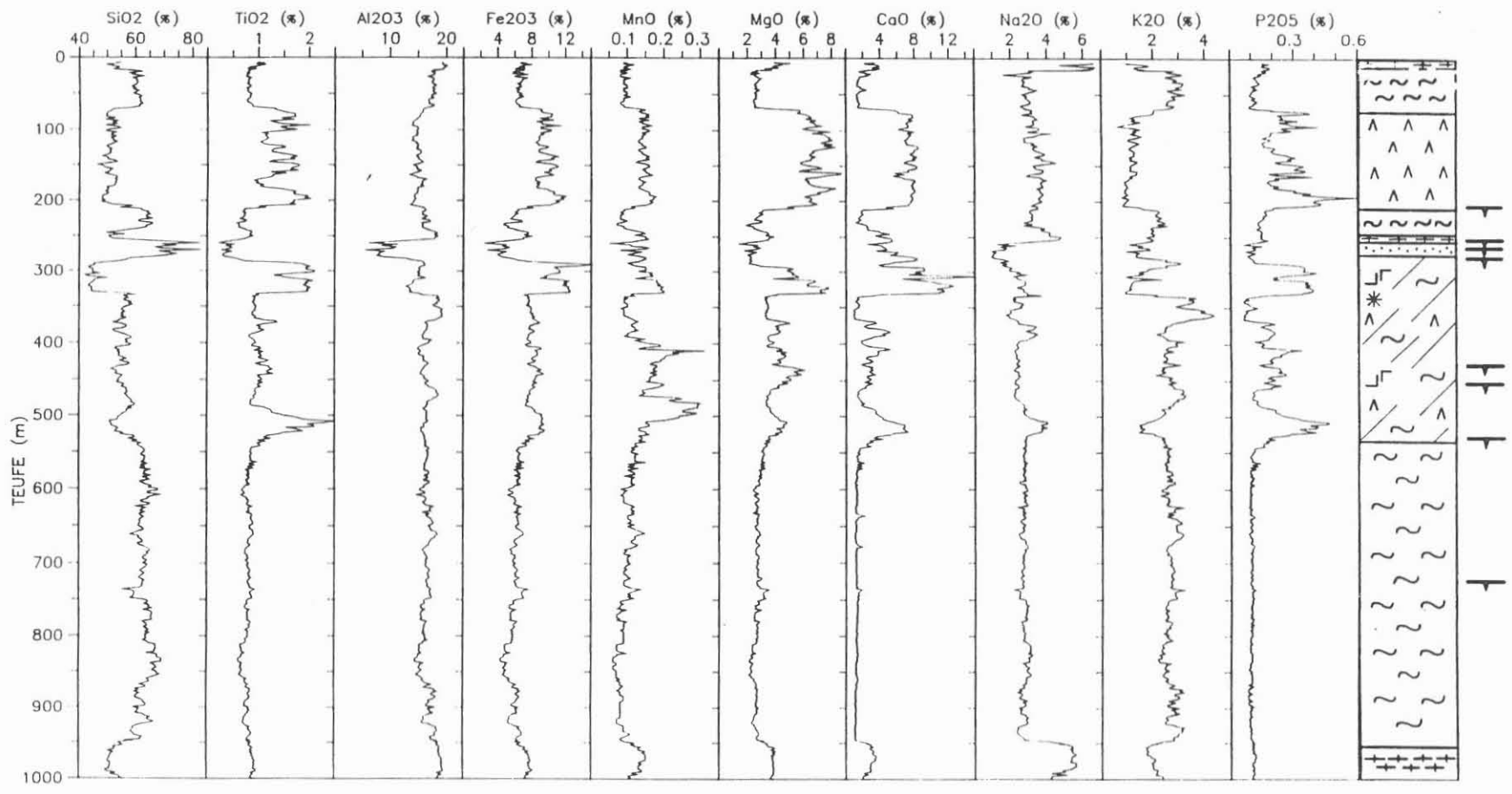


Anlage 1a: Teufenlog der mineralogischen Zusammensetzung



Anlage 1b: Teufenlog der mineralogischen Zusammensetzung (Fortz.)

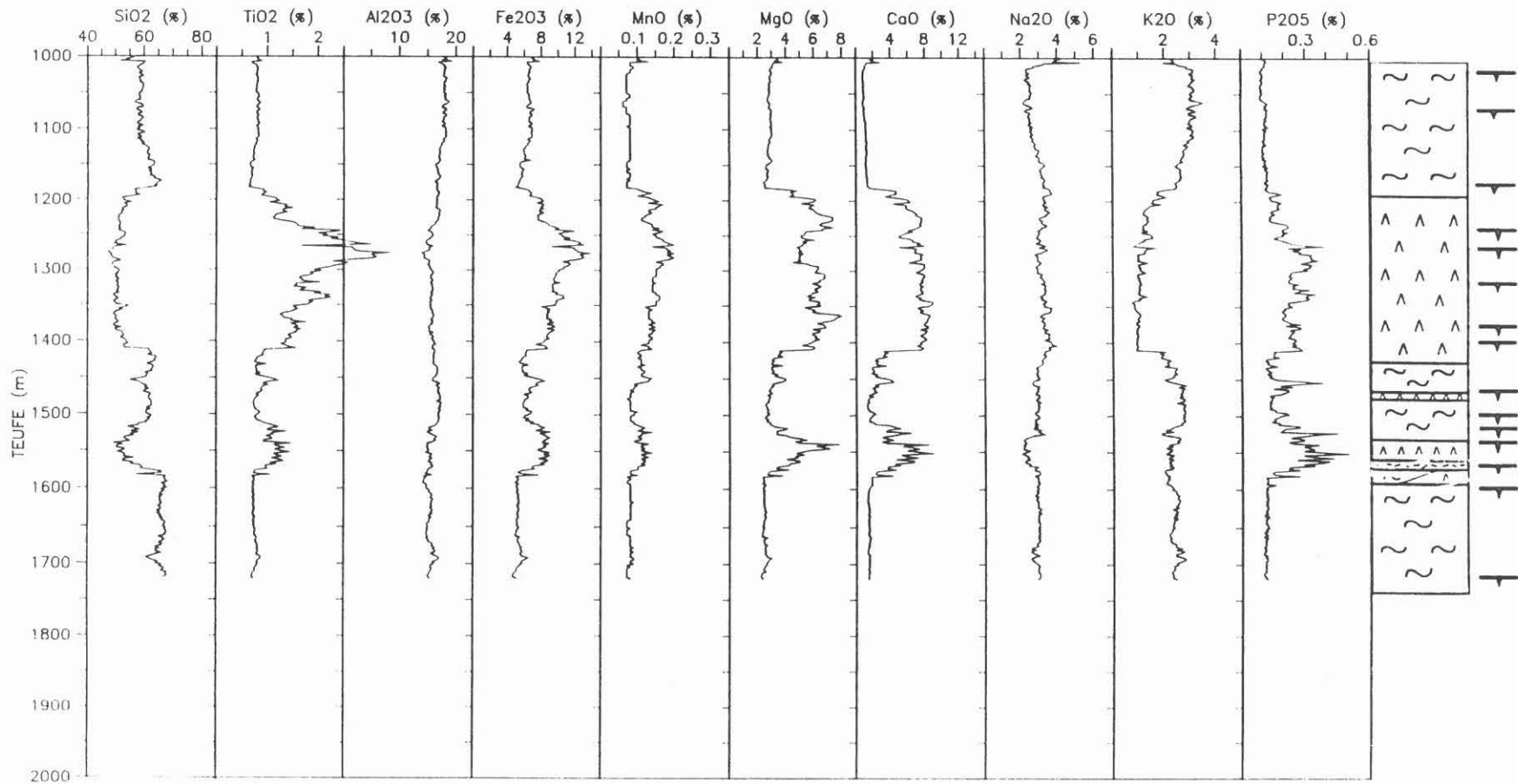
Anlage 2a: Teufenlog der chemischen Hauptbestandteile



KTB HB 0-1000m
 AGRU Geochemie
 Stand: 25.03.91

- * erstes Auftreten von Sillimanit/Kyanit
- Kataklastit, Ankerit-führend
- ^ ^ ^ störungsgebundene Lamprophyre
- ┌ Kalksilikat-Einschaltungen
- ~ Muskovit-Biotit Gneiss
- Störungszone
- ▲▲▲ Metabasite
- ++ Kalksilikat-führender Plagioklasreicher Gneiss
- ~ monotoner Granat-führender Sillimanit-Biotit Gneiss
- ⊠ Wechsellagerung (hornblende)-Biotit Gneiss Sillimanit/Kyanit-führender Biotit Gneiss

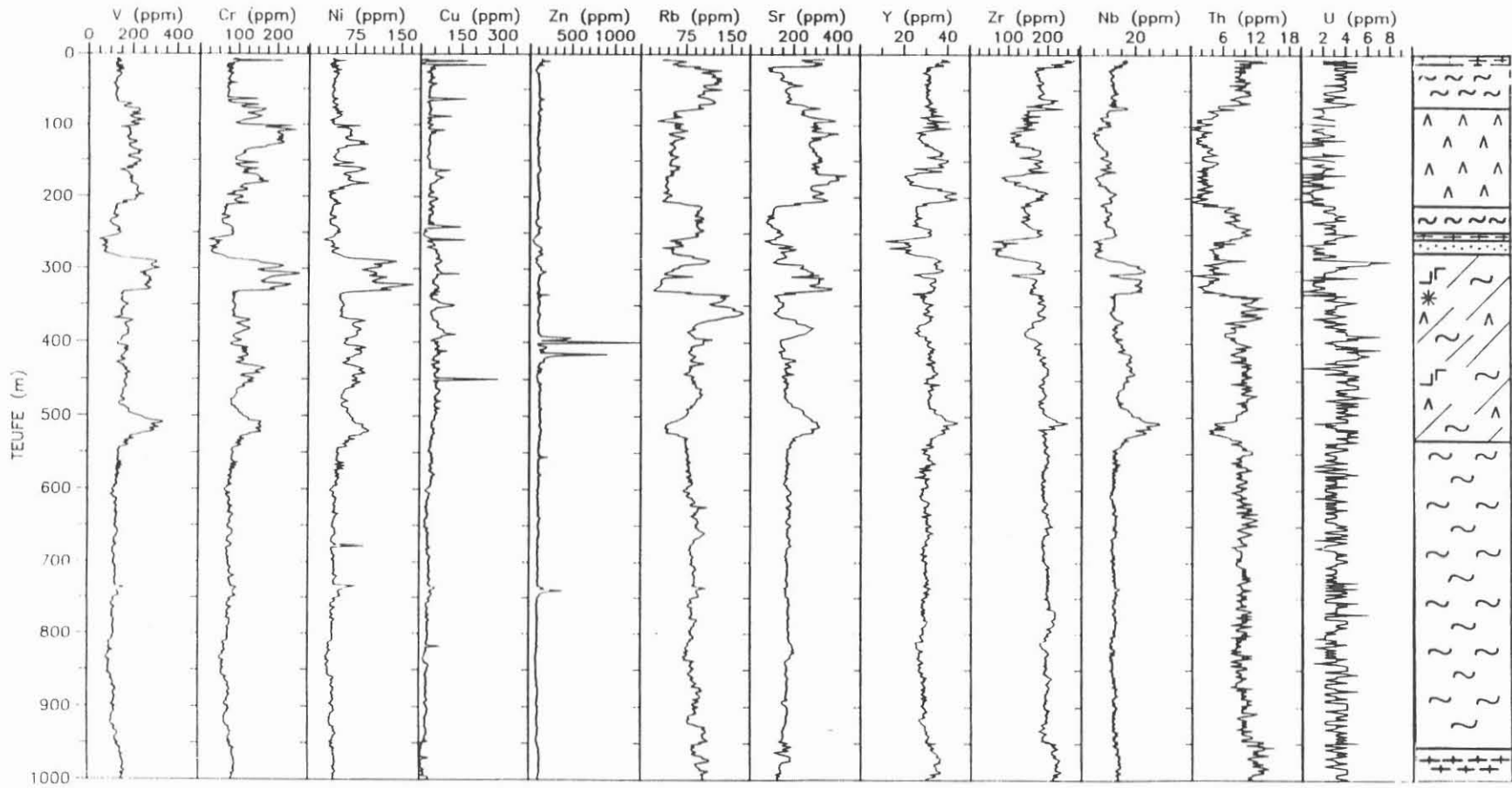
Anlage 2b:
 Tiefenlog der chemischen Hauptbestandteile (Fortsetzung)



KTB HB 1000-1720m
 AGRU Geochemie
 Stand: 25.03.91

- * erstes Auftreten von Sillimanit/Kyanit
- Katakasit, Ankerit-führend
- ^ ^ ^ störungsgebundene Lamprophyre
- ┌ Kalksilikat-Einschaltungen
- ~ Muskovit-Biotit Gneis
- Störungszone
- ^ ^ ^ Metabasite
- + + Kalksilikat-führender Plagioklasreicher Gneis
- ~ monotoner Granat-führender Sillimanit-Biotit Gneis
- ⊠ Wechsellagerung (hornblende)-Biotit Gneis Sillimanit/Kyanit-führender Biotit Gneis

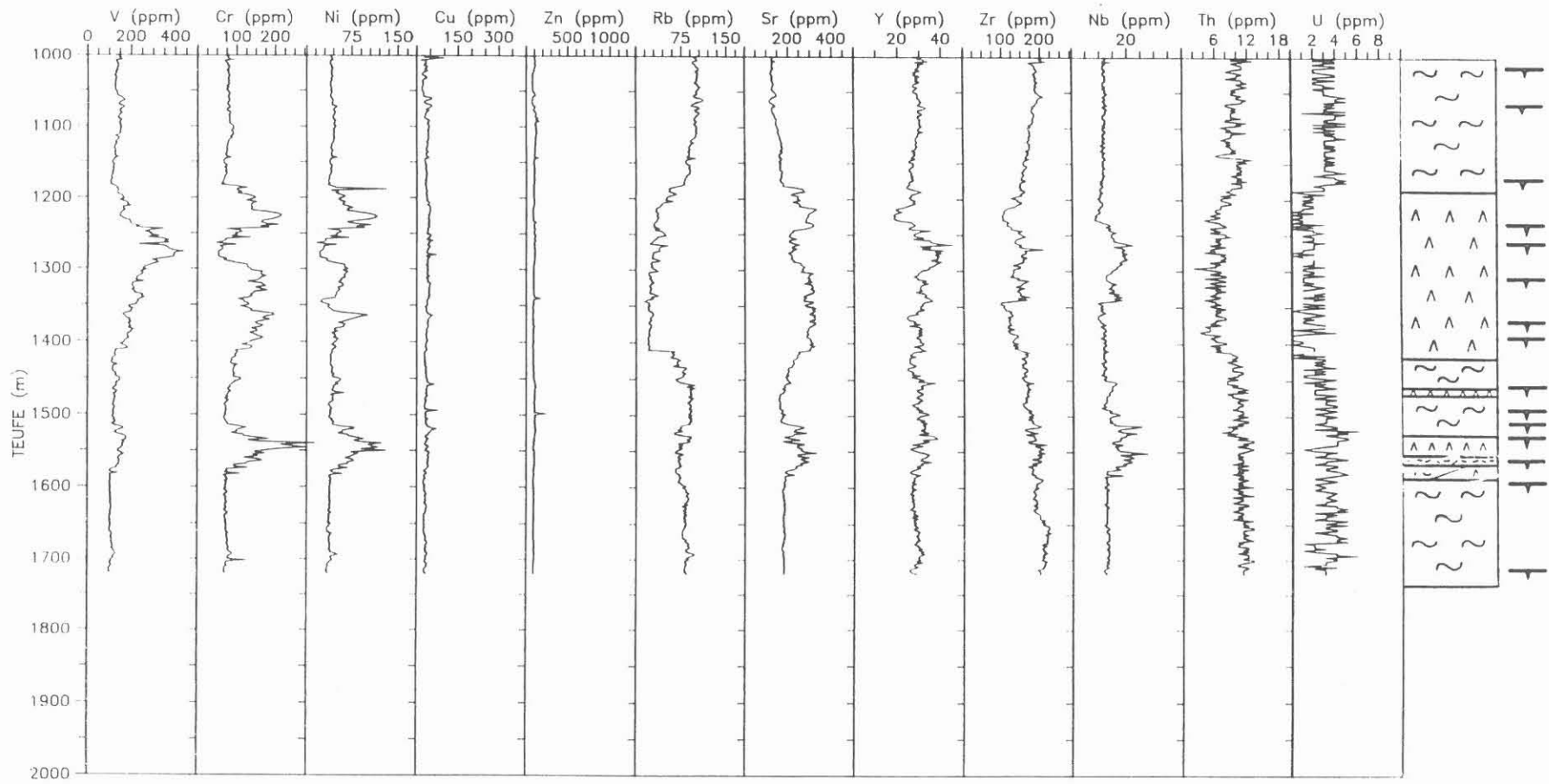
Anlage 3a:Teufenlog der Spurenelemente



KTB HB 0-1000m
 AGRU Geochemie
 Stand: 25.03.91

- * erstes Auftreten von Sillimanit/Kyanit
- Kataklasit, Ankerit-führend
- ^^^ störungsgebundene Lamprophyre
- ┌┐ Kalksilikat-Einschaltungen
- ~ ~ Muskovit-Biotit Gneis
- Störungszone
- ^^^ Metabasite
- ++ Kalksilikat-führender Plagioklasreicher Gneis
- ~ ~ monotoner Granat-führender Sillimanit-Biotit Gneis
- ▧ Wechsellagerung (hornblende)-Biotit Gneis Sillimanit/Kyanit-führender Biotit Gneis

Anlage 3b: Teufenlog der Spurenelemente (Fortsetzung)



KTB HB 1000-1720m
 AGRU Geochemie
 Stand: 25.03.91

- * erstes Auftreten von Sillimanit/Kyanit
- Kataklasit, Ankerit-führend
- ^ ^ ^ störungsgebundene Lamprophyre
- ┌ Kalksilikat-Einschaltungen
- ~ ~ Muskovit-Biotit Gneiss
- Störungszone
- ^^^ Metabasite
- + + Kalksilikat-führender Plagioklasreicher Gneiss
- ~ ~ monotoner Granat-führender Sillimanit-Biotit Gneiss
- ☒ Wechsellagerung (hornblende)-Biotit Gneiss Sillimanit/Kyanit-führender Biotit Gneiss

C. Geochemie

Ch. Figgemeier
J. Hansmann
H.-J. Heinschild
H. Kamm



KTB Report	91-3	C1-C41	14 Abb.	Hannover 1991
------------	------	--------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz HB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor - Teufenbereich von 0 bis 1720 m:

C.Geochemie

Ch. Figgemeier, J. Hansmann, H.-J. Heinschild und H. Kamm *)

Inhaltsverzeichnis:	Seite
Zusammenfassung.....	C 2
Abstract.....	C 2
C.1 Einleitung.....	C 3
C.2 Bohrspülungsanalytik.....	C 4
C.2.1 Bohrspülungszusatz - Dehydril-HT	C 4
C.2.2 Aufbereitungsverfahren und Meßmethoden.....	C 4
C.2.3 Spülungstechnische Parameter und Maßnahmen.....	C 6
C.2.4 Ergebnisse und Diskussion.....	C 7
C.3 Gasanalytik.....	C 13
C.3.1 Allgemeines.....	C 13
C.3.2 Analysenmethoden.....	C 13
C.3.3 Probennahme.....	C 14
C.3.4 Ergebnisse.....	C 18
C.3.4.1 Gasfreisetzung während des Bohrens.....	C 18
C.3.4.2 Tripgase.....	C 20
C.3.4.3 Heliumeinleitungsteste.....	C 22
C.3.4.4 Einfluß der Bohrspülung auf die Gasfreisetzung.	C 23
C.3.5 Diskussion.....	C 25
C.4 Schriftenverzeichnis.....	C 26
C.5 Danksagung.....	C 27
C.6 Anhang.....	C 28
Zusammenstellung sämtlicher Spülungseinleitungen	

*) Anschrift der Autoren:
KTB Feldlabor
8486 Windischeschenbach

Zusammenfassung

Dieser Arbeitsbericht umfaßt die Ergebnisse der Gas- und Spülungsanalysen im Teufenabschnitt 0 - 1720 m.

In der KTB Hauptbohrung wird der gleiche Spülungstyp verwendet, der auch schon in der Vorbohrung im Einsatz war. Es handelt sich hierbei um ein Gemisch von Wasser mit etwa 1.5 % Dehydril-HT, einem anorganischen temperaturbeständigen Spülungszusatz, der mit Wasser ein kolloidales System mit thixotropen Eigenschaften bildet.

Die Ergebnisse der Bohrspülung belegen eine Aufkonzentrierung einzelner Elemente, die durch Bohrspülungs/Gesteinswechselwirkungen (Lösungs- und Oxidationsprozesse) verursacht werden.

Eine Interpretation der Kationenergebnisse im Teufenbereich 1180 - 1720 m ist nicht möglich, da die Kationenanalytik durch Sodazugaben stark beeinträchtigt wurde. Soda kam aus Korrosionsschutzgründen zum Einsatz. Die Anionenanalytik wurde dadurch nicht gestört.

Mit den kontinuierlich durchgeführten Bohrspülungsanalysen konnte für den Teufenbereich 0 - 1720 m kein Zuflußhorizont eindeutig detektiert werden. Die Kationen- und Anionenergebnisse des bei 1720 m durchgeführten Zirkulationstests geben ebenfalls keinen Hinweis auf höher mineralisierte Oberflächen- bzw. Formationswässer.

Durch die kontinuierlich durchgeführte Analyse der aus der Bohrspülung freigesetzten Gase lassen sich im Teufenbereich 0 - 1720 m zwei Zonen eingrenzen, die sich durch deutliche Methan- sowie Radonanreicherungen auszeichnen. Diese Bereiche korrelieren mit dem Auftreten von stark graphitführenden Katakklasezonen.

Mittels Heliumeinleitungen in die Bohrspülung wurde die Effizienz der eingesetzten Quirlentgaser bestimmt und ins Bohrloch zugetretene Methanmengen quantifiziert.

Abstract

In this first KTB report on the Hauptbohrung the results of chemical analysis of the drilling fluid and dissolved gases from 0 - 1720 m are presented.

During drilling of the main hole the same drilling fluid system is being used as that of the pilot hole. This drilling fluid is a mixture of water with 1.5 % Dehydril-HT, an inorganic viscosifier with high temperature stability, giving an fluid with thixotropic properties.

The results of the drilling fluid analyses show enrichments of particular elements produced by fluid/rock interactions (leaching- or oxidation processes).

An interpretation of cation-analysis in the depth interval 1180 - 1720 m is not possible due to additions of soda. Soda was added to the drilling fluid in order to prevent the corrosion of the drill pipe.

Continuous analysis of the drilling fluid gave no indication of influxes of formation waters from 0 - 1720 m.

The results of continuous analysis of dissolved gases indicated two zones of methane and radon enrichment within 0 - 1720 m. These zones coincide with graphite bearing cataclastic horizons.

The efficiency of the degassing system was tested by heliuminjections into the drilling fluid. Therefore the volume of pure methane influx could be quantified.

C.1 Einleitung

In diesem Teil des ersten Arbeitsberichts der KTB-Hauptbohrung werden die Ergebnisse der kontinuierlichen Spülungs- und Gasuntersuchungen (Atomemissionsspektrometer, Ionenchromatograph, Massenspektrometer, Gaschromatograph, Radon-Meßstand) des Teufenbereichs 0 - 1720 m vorgestellt und diskutiert.

Die Zielsetzung besteht in der frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Zuflußhorizonten migrierender Fluide und Gase, die eine gezielte Probennahme ermöglicht.

Die Bohrspülung wurde in Abständen von 2 bzw. 4 m auf ihre Kationen- und Anionengehalte untersucht.

Die Analysenabstände der aus der Bohrspülung freigesetzten Gase sind bei gegebenem Bohrfortschritt von der Meßzeit der eingesetzten Meßgeräte (Prozeßgas-Massenspektrometer = 2 Minuten, Gaschromatograph = 3 Minuten, Radon-Meßstand = 50 Minuten) abhängig.

C.2 Bohrspülungsanalytik

C.2.1 Bohrspülungszusatz - Dehydril-HT

Bei KTB wird erstmalig bei einer Bohrung überhaupt ein anorganischer, temperaturbeständiger Spülungszusatz mit der Bezeichnung Dehydril-HT (Hersteller Henkel KGaA) verwendet. Dieser Zusatz, der hauptsächlich aus den Elementen Si, Mg, Na, Li und O besteht, wird für den bohrtechnischen Einsatz in Form von Pulver in maximal 1 - 2,5 %-iger Konzentration mit Leitungswasser angesetzt. Dieses Gemisch ergibt ein kolloidales System mit thixotropen Eigenschaften. Die Thixotropie und Viskosität ist abhängig von der D-HT Konzentration, dem pH-Wert und dem Elektrolytgehalt (HEROLD et al., 1987).

Die D-HT Spülung bewirkt im Vergleich zu ölbasischen Spülungstypen eine nur relativ geringe chemische Kontamination der Spülung selbst, des Bohrkleins und der Kerne. Ferner erlaubt die konstante chemische Zusammensetzung jederzeit eine Stoffbilanzierung sowie die Erkennung von Fluidzutritten. Die aktuelle D-HT Konzentration bzw. die Gehalte der anderen durch den Zusatz eingebrachten Elemente, können mit Hilfe des Lithiumgehaltes in der Bohrspülung bestimmt werden.

C.2.2 Aufbereitungsverfahren und Meßmethoden

a) Kationen

Die qualitative und quantitative Analyse der Kationen erfolgt mit Hilfe eines Atomemissionsspektrometers der Firma ARL (3580, Vakuum). Die verwendete Meßmethode ist in STROH, 1988 beschrieben. Es werden die Elemente Na, K, Li, Mg, Ca, Sr, Ba, Fe, Zn und Al bestimmt.

Die Probenaufbereitung erfolgt nach einem Verfahren, das in der KTB-Pilotbohrung entwickelt und optimiert wurde (siehe HEINSCHILD et al., 1988). Aufgrund der chemisch-physikalischen Eigenschaften der Bohrspülung ist eine einfache Aufbereitung, wie Verdünnung und Filtration, nicht möglich. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben wurde, bildet das Gemisch Wasser und Spülungszusatz D-HT ein kolloidales System auf der Basis silikatischer Strukturen. Charakteristisch für dieses System ist die Ausbildung negativ geladener Ladungswolken, die zu einer Adsorption der in der Bohrspülung enthaltenen Kationen führt. Filtrationsversuche zeigten deutliche Kationenminderbefunde, so daß diese Methode zur Abtrennung des in der Spülung enthaltenen Bohrmehls verworfen wurde. Das entwickelte Aufbereitungsverfahren ist in der Abb. C.2.1 dargestellt.

b) Anionen

Die Anionengehalte der Bohrspülung werden chromatographisch bestimmt. Das verwendete Analysenverfahren ist im KTB-Report 88-2 (HEINSCHILD et al., 1988) beschrieben. Da die Anionen von dem Spülmittelzusatz nicht adsorbiert werden, kann die Abtrennung des Bohrmehls durch Filtration erfolgen. Den Aufbereitungsgang zeigt die nachfolgende Abbildung.

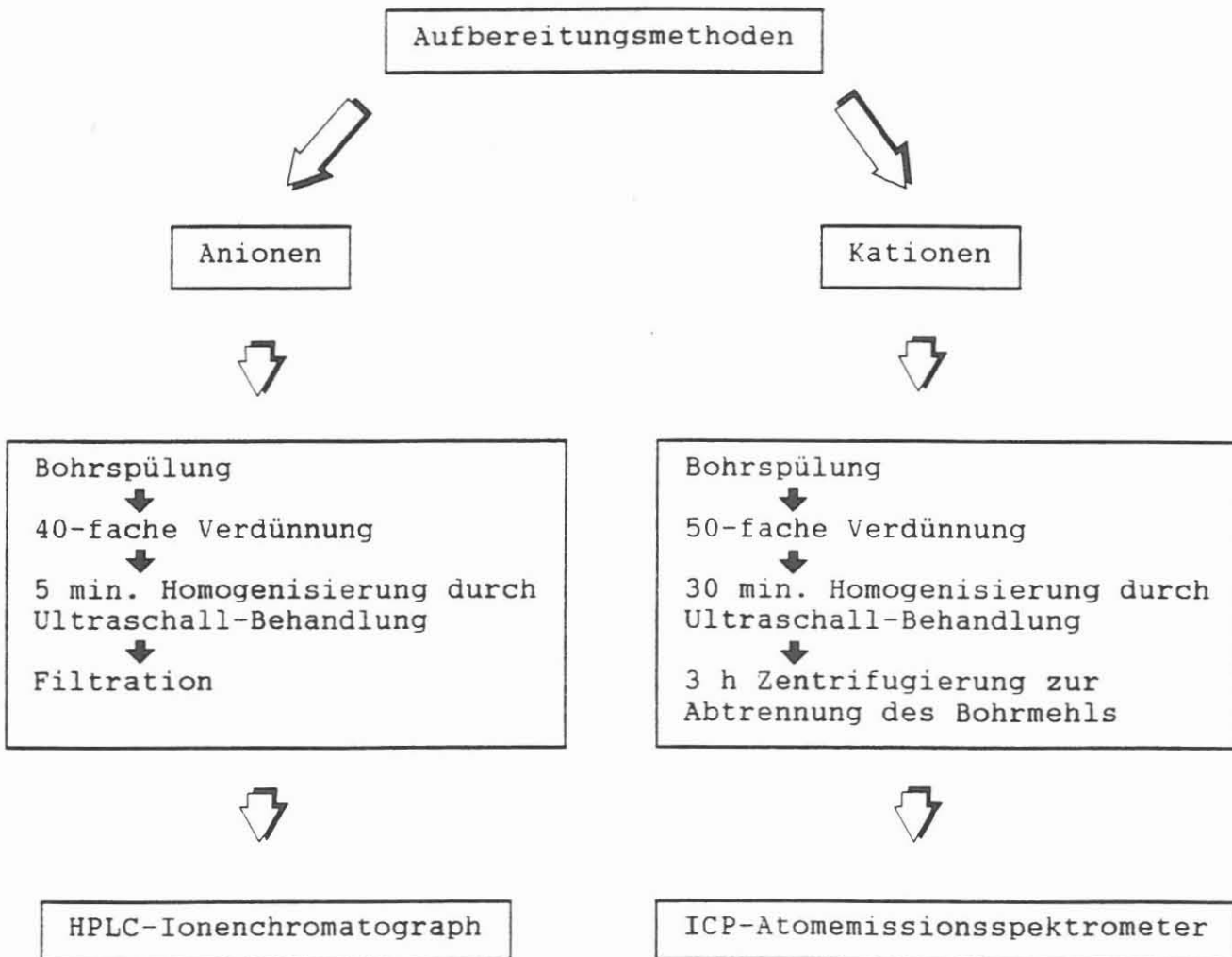


Abb. C.2.1: Fließdiagramm zur Kationen- und Anionenanalyse

C.2.3 Spülungstechnische Parameter und Maßnahmen

Zur Interpretation der Kationen- und Anionenergebnisse müssen spülungstechnische Parameter berücksichtigt werden. Die wichtigsten Parameter wie Spülungseinleitungen, pH-Wert und Gesamtvolumen der zirkulierenden Bohrspülung (TCV in m³) sind in den Tabellen C.6.1.1 und C.6.1.2 (Anhang) zusammengestellt. Die in diesen Listen angegebenen Teufen beziehen sich auf den Beginn einer Einleitung und sind in den Teufenlogs der Kationen und Anionen markiert.

Zu Beginn der KTB-Hauptbohrung wurde eine 1.9 %-ige D-HT Spülung verwendet, der Natronlauge zur pH-Werteinstellung (pH 9.9-10.1) und Soda aus Viskositätsgründen zugesetzt wurde. Die Spülung weist niedrige Initialgehalte für die Elemente Na (350 ppm), K (10 ppm), Ca (42 ppm), Sr (0.2 ppm), Li (58 ppm), Mg (2640 ppm), Cl⁻ (10 ppm) und SO₄²⁻ (60 ppm) auf. Ab 58 m wurde die Bohrspülung mit Wasser auf einen D-HT Gehalt von 1.7 % verdünnt und diese Konzentration bis zur Teufe von 304 m beibehalten.

Nach dem Erreichen dieser Teufe wurde das Bohrloch bis 144 m von 17.5 Zoll auf 28 Zoll erweitert. Anschließend erfolgte eine Rückzementierung des Teufenbereichs von 246 bis 304 m. Danach wurde die Erweiterung bis 305 m fortgeführt und das Bohrloch vollständig verrohrt.

Das Aufbohren der zementierten Strecke und des Rohrschuhs bei 305 m verursachte eine erhebliche Kontamination der Spülung durch Anreicherung von Ca (1730 ppm) und Sr (9 ppm). Mittels Zugabe von NaHCO₃ konnte ein Teil des Ca und Sr in Form von Karbonat ausgefällt werden. Die hohe Ca-Zufuhr bewirkte einen großen Verlust des Spülungszusatzes D-HT, dem durch Zusetzen von 2.5 - 3.5 %-iger D-HT Spülung ("dicke Pille") entgegen gewirkt wurde. Aufgrund der entstandenen instabilen rheologischen Eigenschaften der Spülung wurde sie nach dem Durchbohren des Rohrschuhs vollständig ausgetauscht.

Die neu angesetzte Bohrspülung wurde auf einen D-HT Gehalt von 1.4 - 1.5 % und einen pH von 9.8 - 10.1 eingestellt. Es wurde folgende Anfangszusammensetzung bestimmt: 530 ppm Na, 15 ppm K, 67 ppm Ca, 0.3 ppm Sr, 43 ppm Li, 2000 ppm Mg, 15 ppm Cl⁻ und 50 ppm SO₄²⁻.

Eine immer stärker auftretende Korrosion des Bohrstranges war Anlaß für die Zugabe von Soda ab 750 m. Die Gesamtzugabe belief sich im Teufenabschnitt 750 - 1450 m auf ca. 1.5 t und bewirkte eine "Griesbildung" in der Spülung (siehe dazu Kap. C.2.4). Da die Gestängekorrosion trotz der Sodazugabe drastisch fortschritt, wurde die Zugabe wieder eingestellt. Die darauf folgende Anhebung des pH-Werts (ab 1500 m) von 10 auf 11 war ein weiterer Versuch der Korrosion entgegen zu wirken.

Das zirkulierende Spülvolumen bei 1720 m beträgt 458 m³ und ist 7.5 mal größer als in der Vorbohrung bei gleicher Teufe. Die durchschnittliche Pumprate liegt bei 3.5 m³/min. Zum Vergleich wurde während der Vorbohrung beim Seilkernverfahren mit 0.22 m³ und beim Rotary-Bohrverfahren mit 0.6 - 0.7 m³ Spülung pro Minute gepumpt.

C.2.4 Ergebnisse und Diskussion

Die Spülungsergebnisse sind im Anhang als Teufenlogs im Maßstab 1:3000 dargestellt.

Wie aus der Tabelle C.6.1.1 hervorgeht, wurde der ersten Ansatzspülung aus bohrtechnischen Gründen Wasser, "frische" D-HT Spülung und Natronlauge zugesetzt. Trotz dieser Spülvorgängen belegen die Kationen- und Anionen-ergebnisse eine sukzessive Anreicherung der Elemente Ca, Sr, K, Al, Fe und SO₄²⁻. Eine deutliche Aufkonzentrierung der genannten Elemente zeigt sich nochmals nach dem Spülsaustausch bei 306 m. Die Elementanreicherungen beruhen auf Austausch- bzw. Oxidationsprozesse zwischen Spülung und durchteuftem Gestein, wie durch Laborexperimente belegt werden kann (HOMANN und MÜLLER, 1989).

Die Elemente Ca und Sr werden durch "Leaching-Effekte" der Bohrspülung mit den Mineralen Hornblende, Calcit und vor allem Plagioklas angereichert. Der deutliche Calciumanstieg ab 260 m läßt sich mit dem großen Calciumangebot des hier auftretenden karbonathaltigen Kataklasits und den Kalksilikat-Einschaltungen des Gneises, die ab der Teufe von 288 m durchbohrt wurden, erklären.

Die K- und Al- Anreicherungen sind darauf zurückzuführen, daß feinschuppige Schichtsilikate (Muskowit, Biotit) im alkalischen Milieu der Bohrspülung in eine Kolloidform überführt und schichtparallel in die Gel-Struktur des Dehydrils eingebaut werden (STROH et al., 1988).

Der Eisengehalt ist neben dem Anteil, der durch Gestängabrieb in Lösung geht, auf Bohrspülungsreaktionen mit Fe-haltigen Mineralen wie Hornblende, Chlorit, Biotit und insbesondere Pyrit und Pyrrhotin zurückzuführen.

Die Wechselwirkung Spülung/Pyrit und Pyrrhotin führt neben der Eisenanreicherung auch zu einer Sulfatbildung, die in den Teufenabschnitten 260 - 300 m und 400 - 550 m beobachtet wurde. Sie erklärt sich aus einer Oxidationsreaktion, die nach folgender Gleichung verläuft



In der Abb. C.2.2 sind die Sulfatgehalte der Bohrspülung und die Schwefelgehalte der Cuttings (RFA-Analyse) dargestellt. Der erste signifikante Sulfatanstieg ab 260 m korreliert mit einer Schwefelanreicherung, die durch einen pyrithaltigen Biotit-Hornblende Gneis hervorgerufen wird. Der sprunghafte Abfall des Sulfatgehaltes bei 306 m ist auf den Spülungsaustausch zurückzuführen. Der im Teufenbereich 400 - 550 m durchteufte pyrit- und pyrrhotinreiche Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis führt zu einer einmaligen Anhebung des "Sulfat-Backgrounds" um 150 ppm.

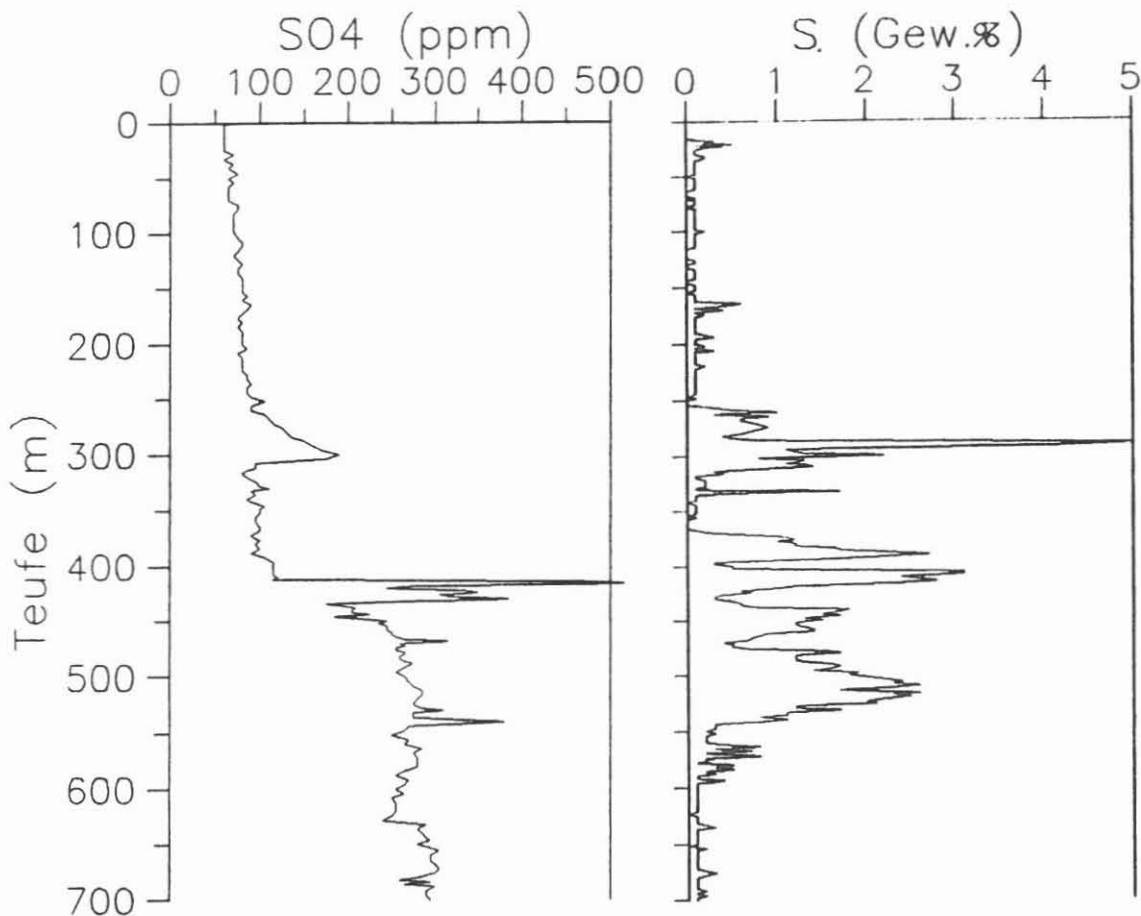


Abb. C.2.2: Sulfatgehalte der Spülung und Schwefelgehalte der Cuttings KTB HB

Der Natriumgehalt der Spülung geht überwiegend auf die Zugaben von Natronlauge und Soda zurück. Natrium kann somit als Zuflußindikator nur bedingt verwendet werden. Punktuell zugegebene große Einleitungsmengen führen zu den sprunghaften Anstiegen, die oftmals in den Teufenlogs zu beobachten sind.

Ab 750 m kam Soda als erste Korrosionsschutzmaßnahme verstärkt zum Einsatz. Die Zugabe von 1.5 t innerhalb des Teufenabschnitts 750 - 1450 m bewirkte eine äußerlich gut sichtbare "Griesbildung" in der Spülung. Die chemischen Analysen dieser Spülungsproben dokumentieren eine deutliche Mg- und Li- Abnahme, die nur auf einen Verlust des Spülungszusatzes D-HT zurückgeführt werden kann. Die adsorptive Eigenschaft des Zusatzes (negativ geladenes Kolloid) hinsichtlich der Kationen führt folglich auch zu einem signifikanten Minderbefund der Elemente Ca, Sr, Al und Fe. Der Effekt spiegelt sich beispielhaft, nach der ersten größeren Sodazugabe (300 kg) bei 750 m, in den Teufenlogs der genannten Kationen wieder. Anfänglich konnte die "Griesbildung" durch starke Scherung der Spülung wieder aufgehoben werden. Die Zugabe von 400 kg bei 1180 m führte dann aber zu einer bleibenden "Griesbildung". Für die Elemente Ca, Sr, Li, Mg, Al und Fe ergeben sich im Teufenbereich 1180 - 1720 m große Variationsbreiten, die eine sehr inhomogene Spülung widerspiegeln. Identische Kurvenverläufe belegen die Adsorptionswirkung des Zusatzes D-HT für diese Elemente. In der Abb. C.2.3 a und b ist der D-HT Gehalt gegen einzelne Kationen im Teufenabschnitt 750 - 1720 m dargestellt. Anhand der D-HT/Kationen- Diagramme kann die adsorptive Wirkung des Zusatzes D-HT bezüglich der ein-, zwei- und dreiwertigen Kationen aufgezeigt werden. Es stellt sich heraus, daß nur die zwei- und dreiwertigen Kationen durch den D-HT Verlust deutlich beeinflußt werden.

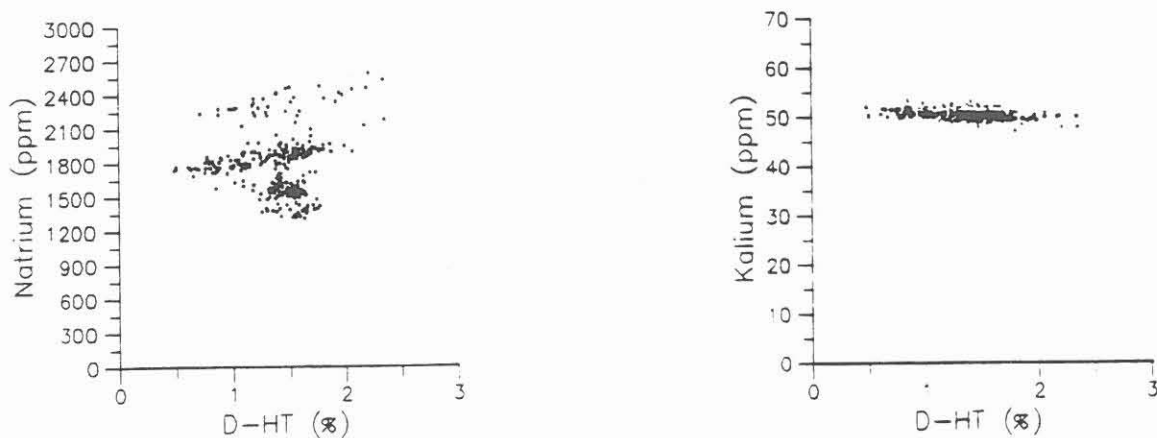


Abb. C.2.3a: D-HT/Kationen - Diagramm KTB HB (750 - 1720 m)

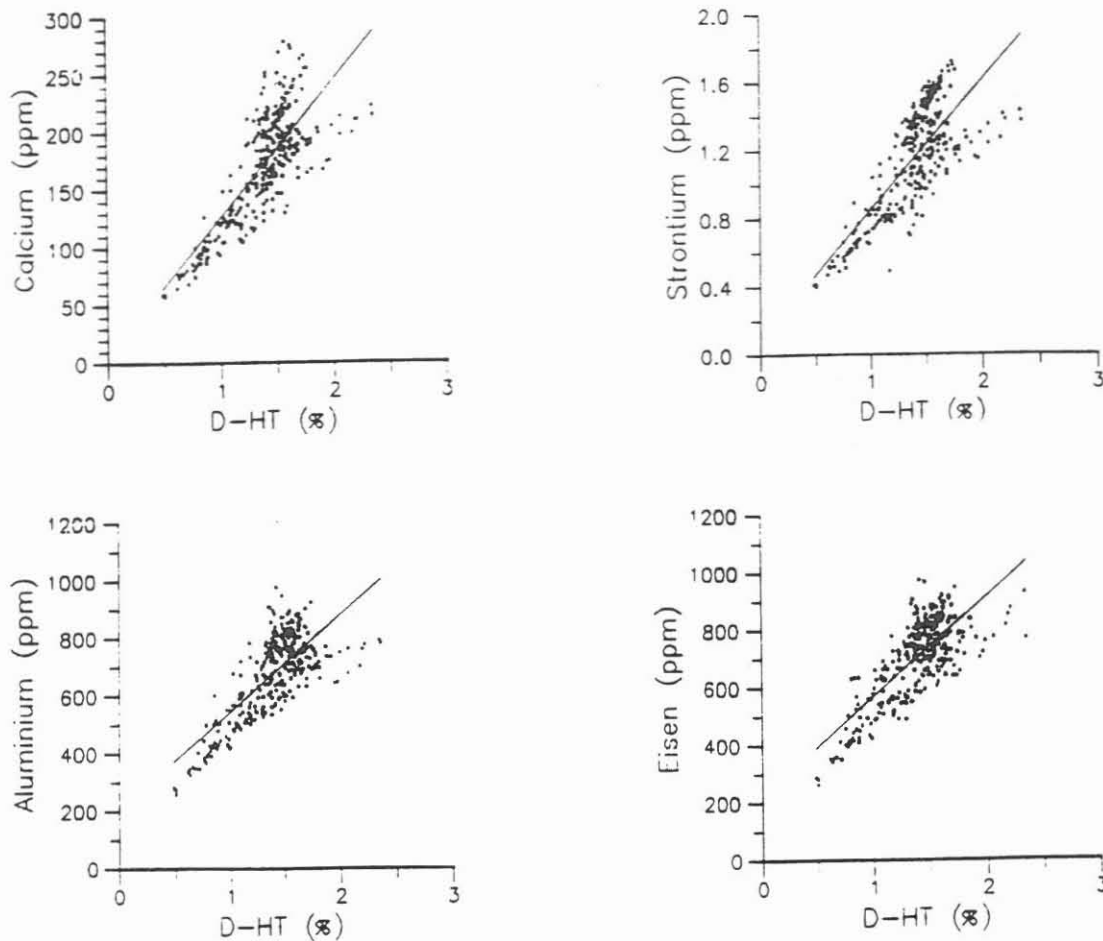


Abb. C.2.3b: D-HT/Kationen - Diagramme KTB HB (750 - 1720 m)

Der Sodazusatz hat außerdem zur Folge, daß ein Teil der Kationen als Karbonat (z.B. CaCO_3 , SrCO_3 , FeCO_3 , etc.) ausfällt. Eine Interpretation der Kationenergebnisse ist in dem Teufenbereich 1180 - 1720 m daher nicht mehr möglich.

Die Anionenanalytik wurde durch den Sodaeinsatz nicht beeinträchtigt. Das Anion Chlorid erwies sich in der Vorbohrung als ein sehr empfindlicher Zuflußindikator. Die Chloridgehalte der Spülung zeigen eine Variationsbreite von 20 bis 50 ppm. Im Teufenabschnitt 1340 - 1400 m tritt eine leichte Anreicherung (50 - 90 ppm) auf, die auf einen Zufluß hindeuten könnte. Anreicherungen der Elemente Na, Ca und Sr, die in der Vorbohrung oftmals mit einem Chloridanstieg verbunden waren, konnten nicht beobachtet werden.

Bei dem Vergleich der Hauptbohrung zur Vorbohrung muß die Herabsetzung der Nachweisempfindlichkeit der "Zuflußindikatorelemente" bedingt durch bedeutend höheren Spülvolumina und Spülpumpraten in der Hauptbohrung (Kap. C.2.3) berücksichtigt werden.

Nach Erreichen der Teufe 1720 m wurde die Bohrung für ein 50-stündiges geophysikalisches Meßprogramm unterbrochen. Die Bohrspülung wurde während dieser Zeit nicht zirkuliert, sondern nur durch ein- und ausfahrende Meßsonden durchbewegt.

Mögliche Zuflüsse führen zu einer lokalen Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Spülungssäule. Eine enge Beprobung der Säule ermöglicht daher das Auffinden von Zuflüssen. Bei bekannter Pumprate, sowie bekanntem Ringraum- und Gestängeverdrängungsvolumen, ist es möglich den genommenen Proben jeweils eine Teufe zuzuordnen. In Tabelle C.2.1 sind die Kationen- und Anionenergebnisse der Spülungsproben, die während der Auszirkulation genommen wurden, gegen die Teufe dargestellt.

Die geringe Chlorid-Schwankungsbreite (30 - 45 ppm) deutet auf keinen Zufluß höher mineralisierter Oberflächen- bzw. salinärer Formationswässer hin. Die großen Variationsbreiten aller bestimmten Kationen dokumentieren eine chemisch sehr inhomogene Spülungssäule.

Tab. C.2.1: Anionen- und Kationengehalte des Zirkulations-
tests (1720 m)
(Alle Angaben in ppm)

Teufe (m)	Na	K	Li	Mg	Ca	Sr	Fe	Al	Cl	SO ₄ ²⁻
100	2280	230	53	2620	149	1.13	677	663	30	255
200	2150	180	27	1420	86	0.68	433	450	30	255
300	2150	200	32	1610	97	0.76	480	500	35	245
400	2290	240	57	2790	165	1.24	749	731	30	275
500	2200	210	37	1900	114	0.87	539	559	35	270
600	2240	250	59	2980	169	1.27	787	742	40	265
700	2110	190	31	1580	94	0.74	486	485	40	260
800	2080	170	24	1210	74	0.60	385	413	35	260
900	2180	200	36	1790	107	0.83	519	541	30	260
1000	2080	180	24	1210	76	0.60	396	422	30	260
1100	2080	180	29	1410	78	0.63	429	453	30	255
1200	2140	200	37	1840	108	0.84	555	573	30	255
1220	2080	170	23	1150	70	0.56	370	400	30	250
1240	2140	200	34	1700	102	0.79	522	546	30	250
1260	2220	220	54	2620	150	1.13	685	664	35	240
1280	2160	220	42	2090	124	0.96	626	625	35	245
1300	2210	230	56	2820	158	1.19	728	689	35	245
1320	2100	200	36	1800	110	0.85	556	564	40	245
1340	2000	150	21	1090	66	0.53	351	364	35	265
1360	2160	240	55	2610	164	1.23	734	716	30	250
1380	2040	200	36	1810	106	0.82	523	517	25	245
1400	2070	220	43	2210	127	0.97	639	621	25	255
1420	1950	170	26	1300	77	0.61	403	412	30	270
1440	1980	180	25	1240	79	0.63	414	436	30	270
1460	2030	190	36	1820	108	0.82	531	536	50	280
1480	2030	200	34	1690	104	0.76	515	535	40	320
1500	1910	150	21	1030	63	0.52	350	379	30	280
1540	1960	180	32	1630	95	0.73	509	498	40	275
1580	2030	180	24	1200	66	0.56	391	425	30	280
1620	2100	180	27	1340	77	0.62	423	462	45	285
1660	2120	200	37	1870	100	0.81	544	560	40	265
1690	2100	200	33	1670	98	0.75	507	521	35	270

C.3 Gasanalytik

C.3.1 Allgemeines

Die Erfahrungen, die beim Abteufen der KTB VB erzielt wurden, haben gezeigt, daß Fluidzutritte ins Bohrloch durch eine kontinuierlich durchgeführte on-line-Analyse der in der Bohrspülung gelösten Gase am besten, schnell und sicher erkannt werden können.

Die Analyse der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase erfolgt mit unterschiedlichen Analysengeräten:

- Gaschromatograph (Methan, Ethan, Propan und Butan),
- Prozeßgas-Massenspektrometer (Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Kohlendioxid, Methan, Wasserstoff und Helium) und
- Radonmeßanlage (^{222}Rn).

Die Analysenergebnisse stellen die prozentualen Volumenanteile der gemessenen Gase in der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase dar.

C.3.2. Analysenmethoden

Seit Beginn der KTB HB im September 1990 ist ein **Gaschromatograph** (F-30 D) der Firma GEO-data mit Schreiberaufzeichnung im Betrieb. Ab 307 m wurden die Meßdaten auf einem PC gesichert und ein neues Gassammelsystem installiert.

Der Gaschromatograph ist mit einem **Flammenionisationsdetektor** (FID) ausgerüstet. Mit Hilfe eines Trägergases (Druckluft) wird eine definierte Probenmenge in eine mit Wasserstoff und Luft brennende Flamme geführt. Gase, die C-C- und/oder C-H-Bindungen besitzen, werden in dieser Wasserstoff-Flamme ionisiert. In der normalerweise kaum ionisierten Wasserstoff-Flamme entstehen durch die Ionisation Ladungsträger ($\text{CH} + \text{O} \rightarrow \text{CHO} + \text{e}^-$), die durch ein elektrisches Feld an einer Sammелеlektrode aufgefangen werden. Der Brenner dient als Kathode, während die Anode dicht über der Flamme angebracht ist (vgl. Abb. C.3.1).

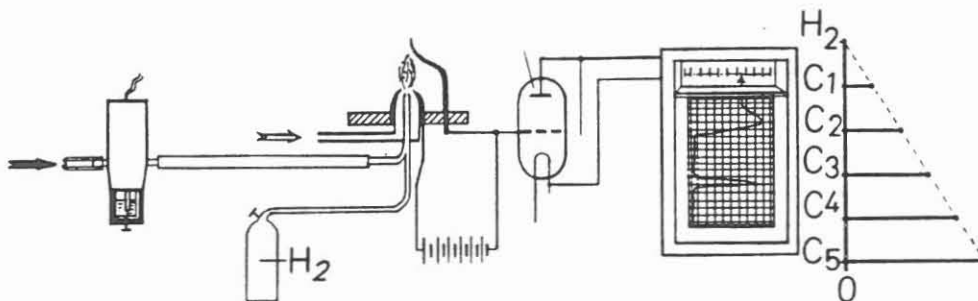


Abb.C.3.1: Schematische Darstellung eines Flammenionisationsdetektors (aus BENDER, 1984)

Bei der thermischen Dissoziation kohlenstoffhaltiger Gase wird die Wasserstoff-Flamme den gebildeten Ionen entsprechend leitend. Das Signal ist der pro Zeiteinheit durchgesetzten Gasmenge proportional.

Die Auflösung des Gaschromatographen betrug 10 ppm; ab 1720 m wurde sie durch eine Gerätemodifizierung auf 1 ppm verbessert.

Zusätzlich ist der Gaschromatograph mit einem automatischen Gassammelsystem ausgerüstet. Dadurch besteht die Möglichkeit, Gase in Abhängigkeit von ihren Konzentrationen an Methan, Ethan, Propan und Butan in vier Gasbehälter (Gasmäuse) automatisch einzuschließen. An diesen Proben werden detaillierte Untersuchungen durchgeführt. Für jede Gasmaus kann die Gasart sowie ein Schwellenwert angegeben werden. Das Schließen eines Gasbehälters erfolgt beim Erreichen bzw. Überschreiten des gewählten Schwellenwertes. Wird eine Gasprobe in einer Gasmaus eingeschlossen, lassen sich die Angaben über den Zeitpunkt der Probennahme sowie die entsprechende Analyse am Bildschirm ablesen.

Das Meßprinzip des eingesetzten **Prozeßgas-Massenspektrometers** (MM8-80) der Firma VAKUUM GENERATORS (jetzt FISOONS) ist im KTB Report 88-6 von STROH et al. 1988 beschrieben.

Der apparative Aufbau, die Meßmethode sowie erste Ergebnisse der **Radon-Meßanlage** (F&E-Projekt von Dr. J. ERZINGER, Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung der Justus-Liebig-Universität Gießen und Dr. G. KELLER, Fachrichtung 3.6 Biophysik und Physikalische Grundlagen der Medizin, Universität des Saarlandes, Homburg) sind Bestandteil eines gesonderten Kapitels I in diesem Report.

C.3.3 Probennahme

Die Freisetzung der in der Bohrspülung gelösten Gase erfolgt durch zwei **Quirlentgaser** der Firma GEO-data. Das Funktionsprinzip ist bei STROH et al. 1989 beschrieben. Beide Quirlentgaser sind vor den Schüttelsieben (hängend in der Bohrspülung) positioniert.

Die Zeitdauer zwischen der Gasfreisetzung mittels Quirlentgaser und der Erfassung mit einem Prozeßgasmassenspektrometer in einem Container auf dem Bohrplatz beträgt 12 Minuten. Hinweise auf den Zutritt von Fluiden stehen mit 12 minütiger Verzögerung zur Verfügung.

Aus sicherheitstechnischen Gründen wurde vor den Schüttelsieben und somit auch vor den Quirlentgasern ein **Gasseparator** installiert. Dieser Gasseparator soll bei einer hohen Gasbeladung der Bohrspülung eine Gasfreisetzung vor den Schüttelsieben bewirken. Abb. C.3.2 zeigt ein idealisiertes Schema des eingesetzten Gasseparators.

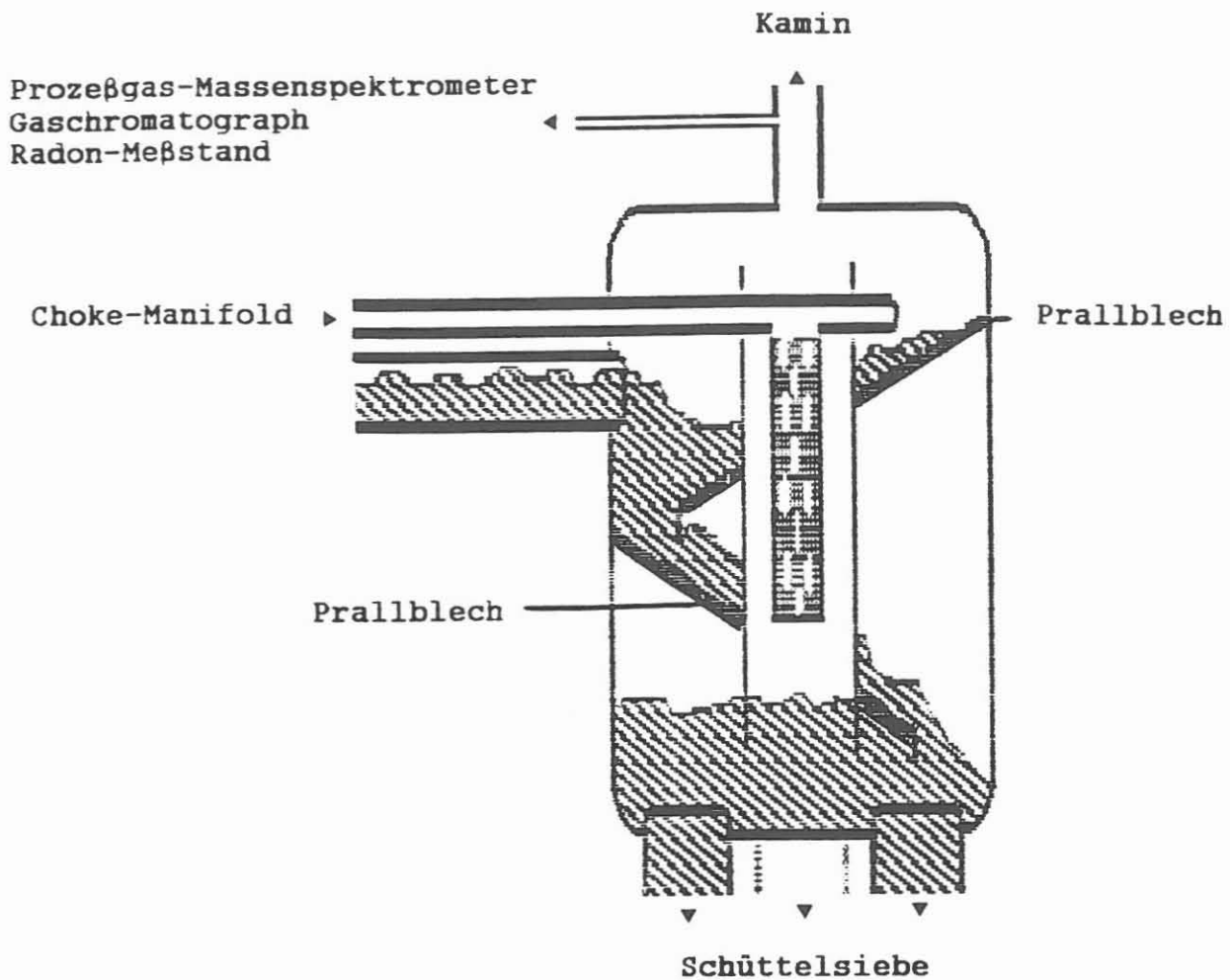


Abb.C.3.2: Schematischer Aufbau des Gasseparators (vereinfachte Darstellung der ITAG-Zeichnung Nr. ZF 1-19/1650.10)

Die aus dem Bohrloch über eine Rohrleitung fließende Bohrspülung prallt im Gasseparator gegen steilstehende Bleche und wird anschließend über weitere Rohrleitungen auf die Schüttelsiebe verteilt. Die bei diesem Prozeß freiwerdende Gasphase entweicht über einen Kamin ins Freie.

Um Aussagen über eine Bohrspülungsentgasung mit dem Gasseparator machen zu können, erfolgte am Kamin im Teufenbereich 54 - 306 m eine kontinuierliche Beprobung (Absaugen der Gasphase) der freigesetzten Gasphase. Eine Bohrspülungsentgasung

findet innerhalb des Gasseparators statt, wenn sich die analysierte Gasphase von der Luftzusammensetzung unterscheidet. Der Vergleich der Kohlendioxidgehalte der Gasphasen aus Quirlentgaser und Gasseparator (Abb. C.3.3) zeigt eine Luftkontamination der aus der Bohrspülung am Gasseparator freigesetzten Gasphase.

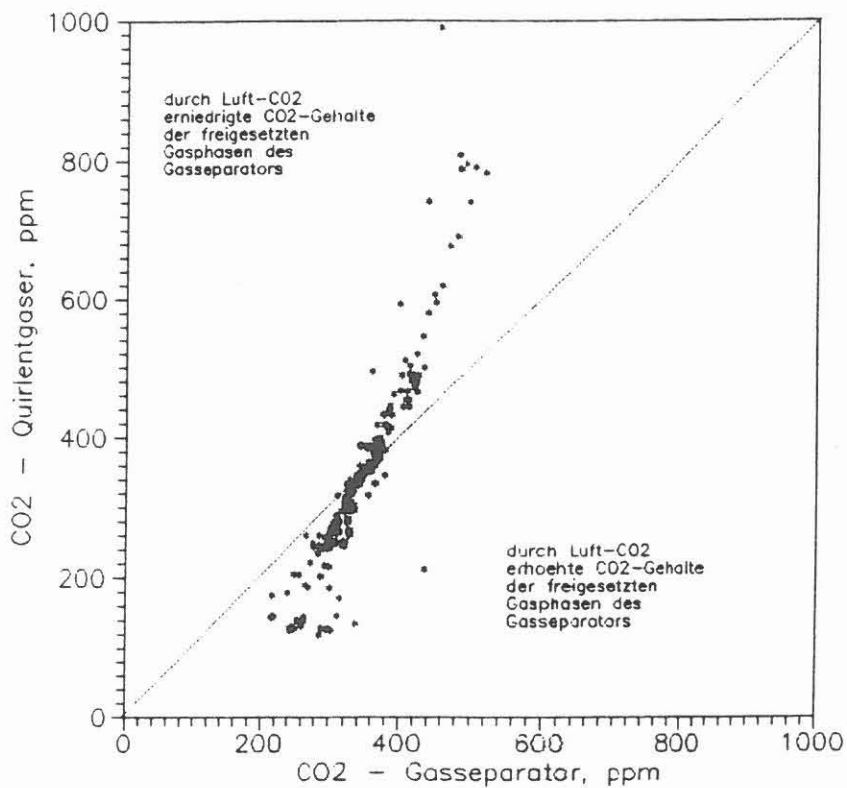


Abb.C.3.3: Vergleich der CO₂-Gehalte von Gasphasen, die mit Quirlentgaser und Gasseparator freigesetzt wurden

Die im Gasseparator freigesetzten Gase fehlen der Gasmenge, die mit den Quirlentgasern gewonnen wird. Das bedeutet, daß die Nachweisempfindlichkeit der gasanalytischen Untersuchungen zur Detektion fluider Phasen herabgesetzt wird.

Die durch die zwei Quirlentgaser aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphasen werden in drei Aliquote (drei verschiedene Analysengeräte) aufgeteilt, so daß die zu untersuchende Gasprobe für das Prozeßgas-Massenspektrometer, den Gaschromatographen und der Radonmeßanlage gleiche Zusammensetzung aufweist. In der Abbildung C.3.4 sind die Methan-gehalte von Gasphasen, die durch Analysen des Prozeßgas-Massenspektrometers ermittelt wurden, gegen die entsprechenden Methananalysen des Gaschromatographen dargestellt.

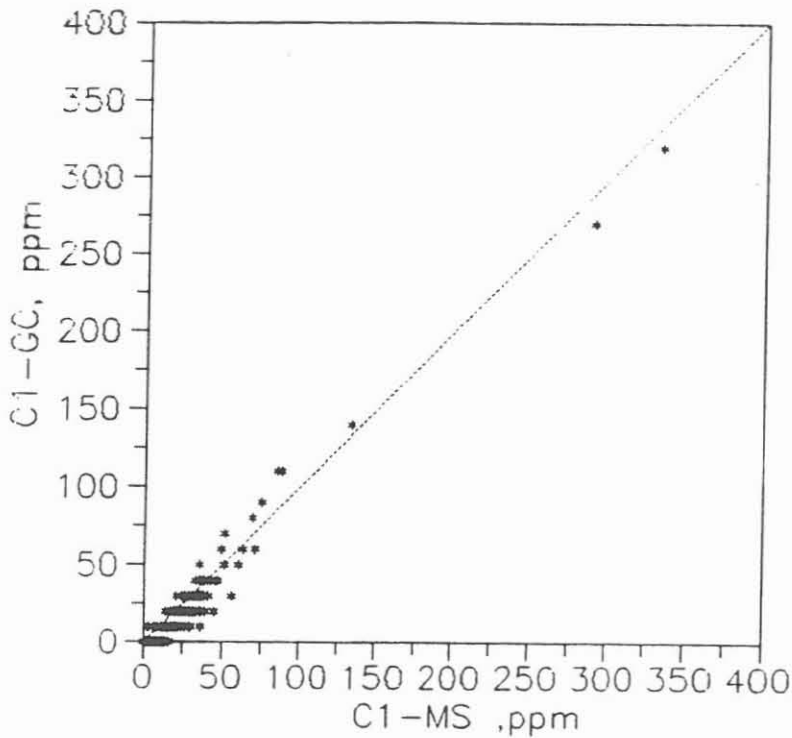


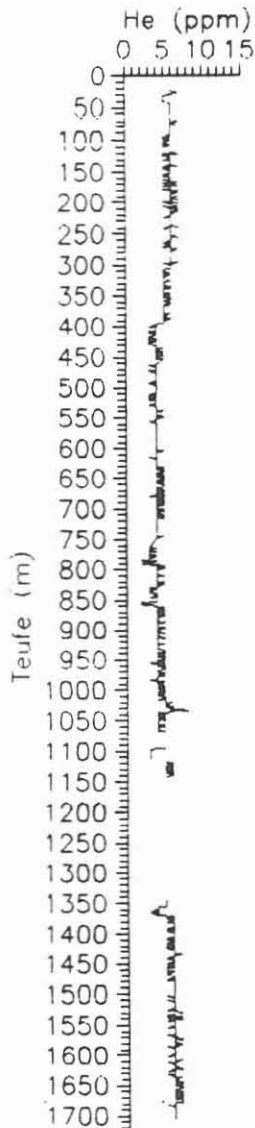
Abb.C.3.4: Vergleich von Methananalyseergebnissen des Prozeßgas-Massenspektrometers mit denen des Gaschromatographen

Der Vergleich der Ergebnisse der massenspektrometrischen und der gaschromatographischen Bestimmung belegt die Richtigkeit der durchgeführten Methananalysen sowie die generelle Eignung beider Meßmethoden.

C.3.4 Ergebnisse

C.3.4.1 Gasfreisetzung während des Bohrens

In den nachfolgenden Abbildungen sind einige ausgewählte Gase gegen die Teufe dargestellt. Größere Datenlücken entstanden durch Geräteausfälle, Umzug der Analysengeräte vom Feldlabor in einen Doppelcontainer an der Bohranlage sowie durch Ausfall der Quirlentgaser.



Die Effizienz der Quirlentgaser war im Teufenbereich 305 - 1350 m aus technischen Gründen vermindert. In diesem Bereich können bis auf eine minimale Anreicherung bei 1140 m kein Methan und nur geringe Wasserstoffvariationen in der Bohrspülung nachgewiesen werden.

Gasanreicherungen, die durch Tripgase verursacht wurden, sind in der Abb.C.3.6 nicht mit aufgeführt.

Die analytischen Untersuchungen der "Bohrspülungsgase" während des Abteufens der KTB VB zeigen, daß sich ins Bohrloch eintretende Gase durch Methan- und Heliumanreicherungen in der Bohrspülung nachweisen lassen.

Im Teufenbereich 0 - 1720 m können einzelne Zone eingegrenzt werden, die sich durch Methananreicherungen (bis 540 ppm) in der Gasphase auszeichnen. Die beiden Hauptzonen im Bereich um 1450 m und 1530 m korrelieren mit stark graphitführenden Kataklysezonen. Neben CH₄ konnte dort ein deutlicher Radonanstieg nachgewiesen werden.

Die Heliumgehalte zwischen 4 und 7 ppm sind auf Kontamination der Bohrspülung mit Luft (5 ppm He) durch den Einsatz des Gasseparators sowie durch Luftaufnahme der Bohrspülung vor dem Verpumpen ins Bohrloch zurückzuführen.

Bei den Wasserstoffgehalten handelt es sich, wie schon im KTB Report 88-6 unter Stroh et al., 1988 beschrieben wurde, um artifizielles Gas.

Abb.C.3.5: Helium-Teufenlog

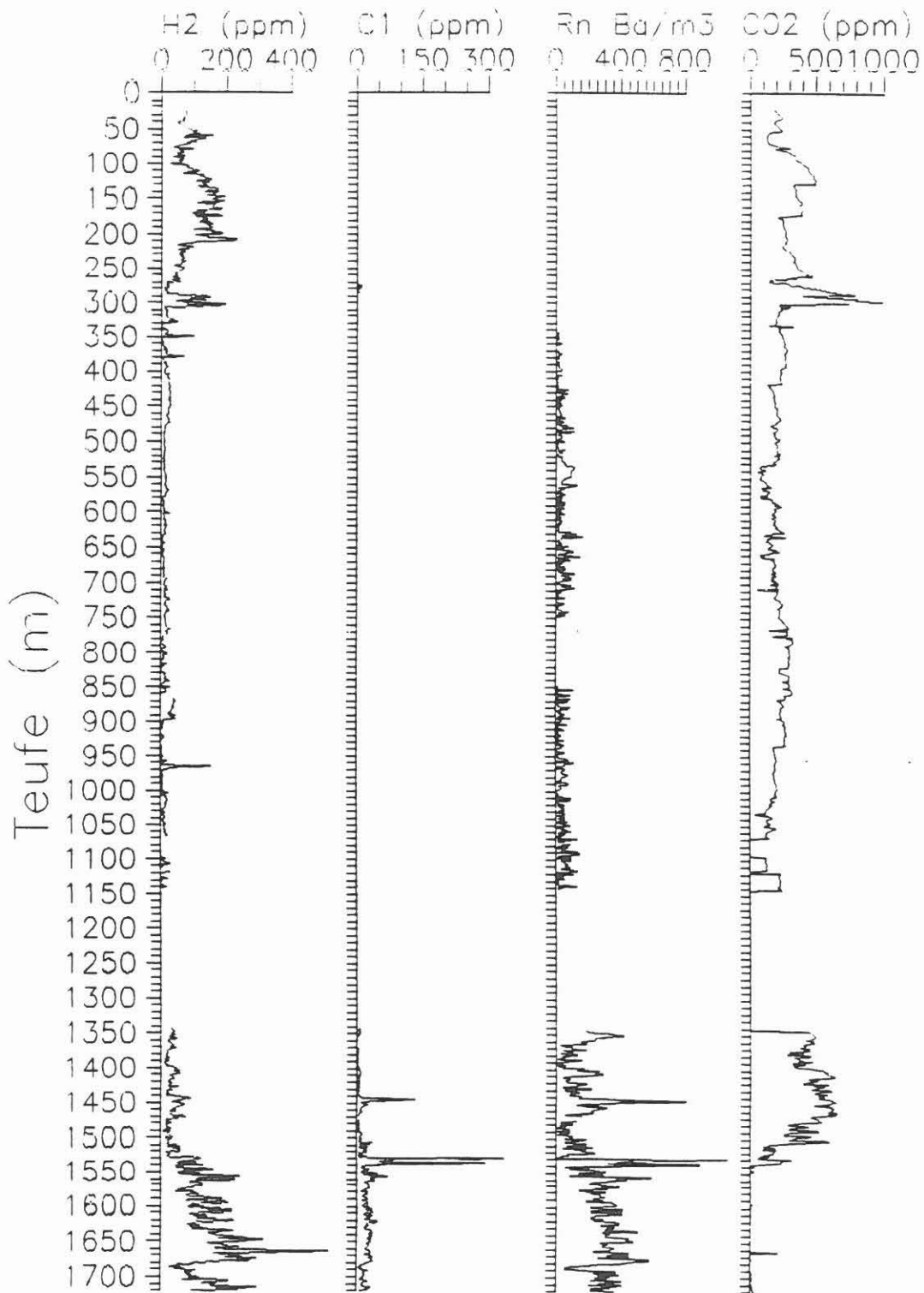
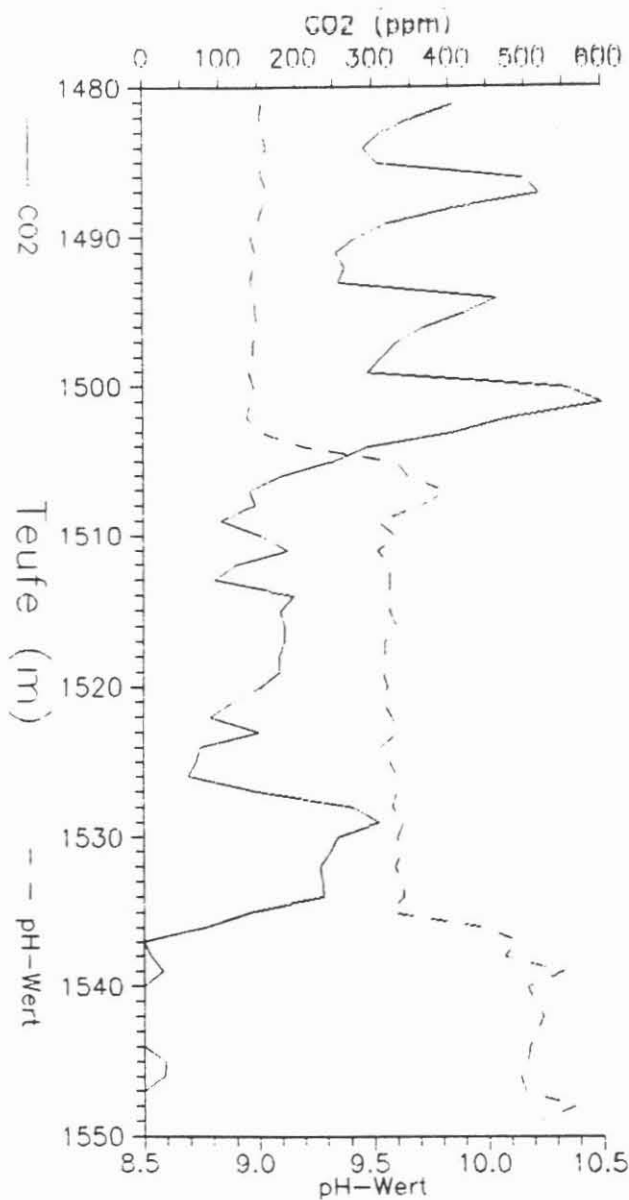


Abb.C.3.6: Teufenlogs der Gase H₂, CH₄, Rn und CO₂



Die Variationen der CO_2 -Gehalte der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase wird durch den pH-Wert der Bohrspülung bestimmt und durch Mitansaugen von Fremdluft durch die Quirlentgaser z.T. verfälscht. In Abb. C.3.7 sind die CO_2 -Gehalte der Gasphasen gegen den pH-Wert der Bohrspülung aus dem Teufenabschnitt 1480 - 1550 m dargestellt.

Abb.C.3.7: Abhängigkeit der CO_2 -Gehalte der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase vom pH-Wert der Bohrspülung

C.3.4.2 Tripgase

Nach längeren Bohrstillstandsphasen treten in der Bohrspülung sogenannte Tripgase auf. Tripgase sind Bohrstillstandsgase, die sich bei der Unterbrechung der Spülungszirkulation in der Regel im Bereich der Bohrlochsohle anreichern. Diese Gasanreicherungen werden nach Wiederaufnahme der Spülungszirkulation entsprechend der Aufstiegszeit auszirkuliert. In den nachfolgenden Abbildungen C.3.8 und C.3.9 sind beispielhaft einige Tripgaszusammensetzungen als Funktion der Zeit dargestellt.

-C21-

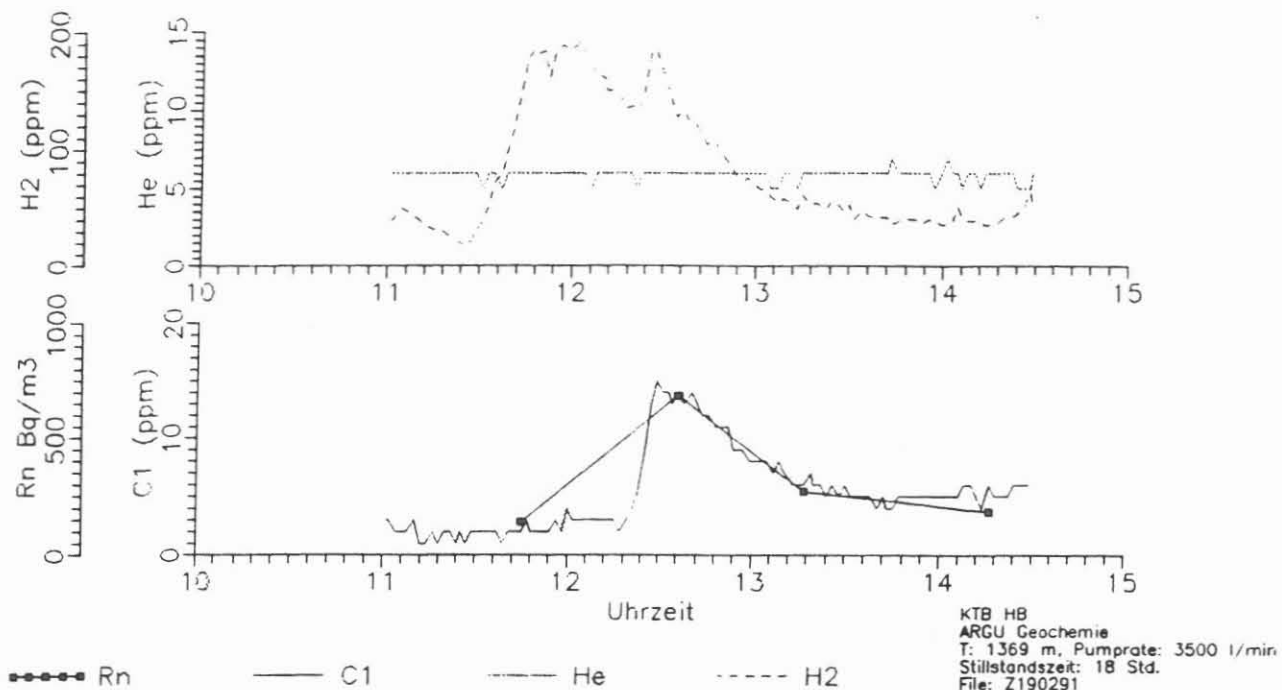


Abb.C.3.8: Trippgas vom 19.02.1991

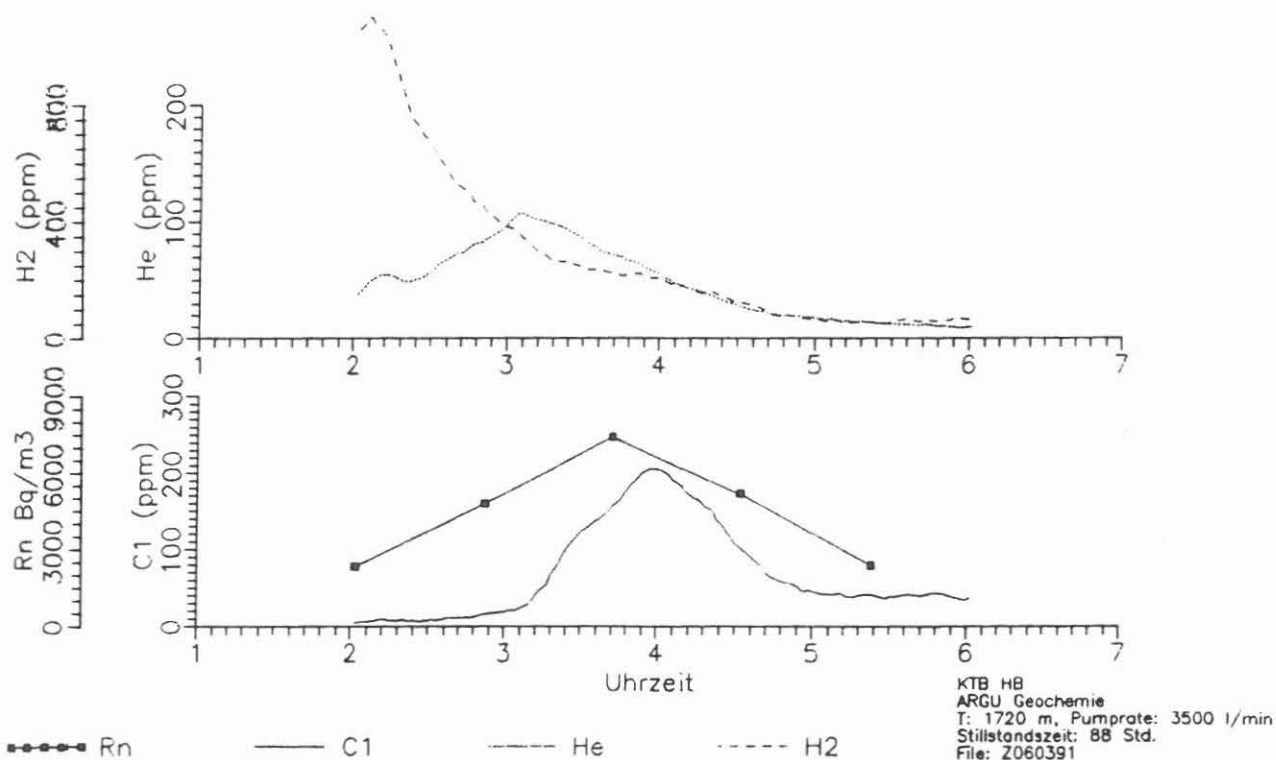


Abb.C.3.9: Trippgas vom 06.03.1991

Für jedes "Tripgasereignis" sind die Parameter Methan, ^{222}Rn , Helium und Wasserstoff in den ausgewählten Abbildungen zusammengefaßt. Generell lassen sich unterschiedliche Trends für die einzelnen Gase aufzeigen. Methan und ^{222}Rn reichern sich im Bohrlochsohlenbereich in der Bohrspülung an. Für Helium kann infolge der geringen Gehalte keine eindeutige Aussage gemacht werden. Die Heliumanreicherung in der Gasphase nach dem Gestängeeinbau vom 06.03.91 ist bedingt durch einen vorher durchgeführten Heliumeinleitungstest. Wasserstoff ist dagegen schon kurz nach Beginn der Bohrspülungszirkulation in der freigesetzten Gasphase nachweisbar. In Abb.C.3.9 startete die Zirkulation um ca. 2⁰⁰ Uhr. Bei der hier beobachteten Wasserstoffanreicherung dürfte es sich um Korrosionswasserstoff, und damit eine künstliche Wasserstoffquelle, handeln.

C.3.4.3 Heliumeinleitungsteste

Die Effizienz des eingesetzten Gasfreisetzungssystems (Quirlentgaser) kann nur durch Gaseinleitungen in die Bohrspülung ermittelt werden. Mit Hilfe der daraus berechneten Freisetzungsraten können erste Bilanzierungen von Gaszutritten ins Bohrloch durchgeführt werden.

Dazu wird das Gas über eine Dotierlanze in den Saugtank der Spülungstankanlage geleitet. Die Dotierlanzenöffnung befindet sich vor dem Ansaugstutzen einer Spülungspumpe, so daß die mit dem eingeleiteten Gas versetzte Bohrspülung sofort ins Bohrloch verpumpt wird. Die Gasaufstiegszeit ist abhängig von der Pumprate und dem Bohrlochvolumen. Der zeitliche Verzug zwischen der Gaseinleitung und der Detektion ermöglicht die Berechnung von exakten Bohrspülungsumlaufzeiten, die eine genaue Teufenzuordnung erlaubt. Als Dotiergas wird routinemäßig Helium verwendet, da Helium inert, die Löslichkeit in der Bohrspülung gering und die Detektion in geringsten Konzentrationen möglich ist. Außerdem sind die Untergrundgehalte der Bohrspülung an Helium mit < 7 ppm sehr gering. In Abb. C.3.10 sind die Heliumanalysen der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase während einer Heliumeinleitung gegen die Zeit dargestellt.

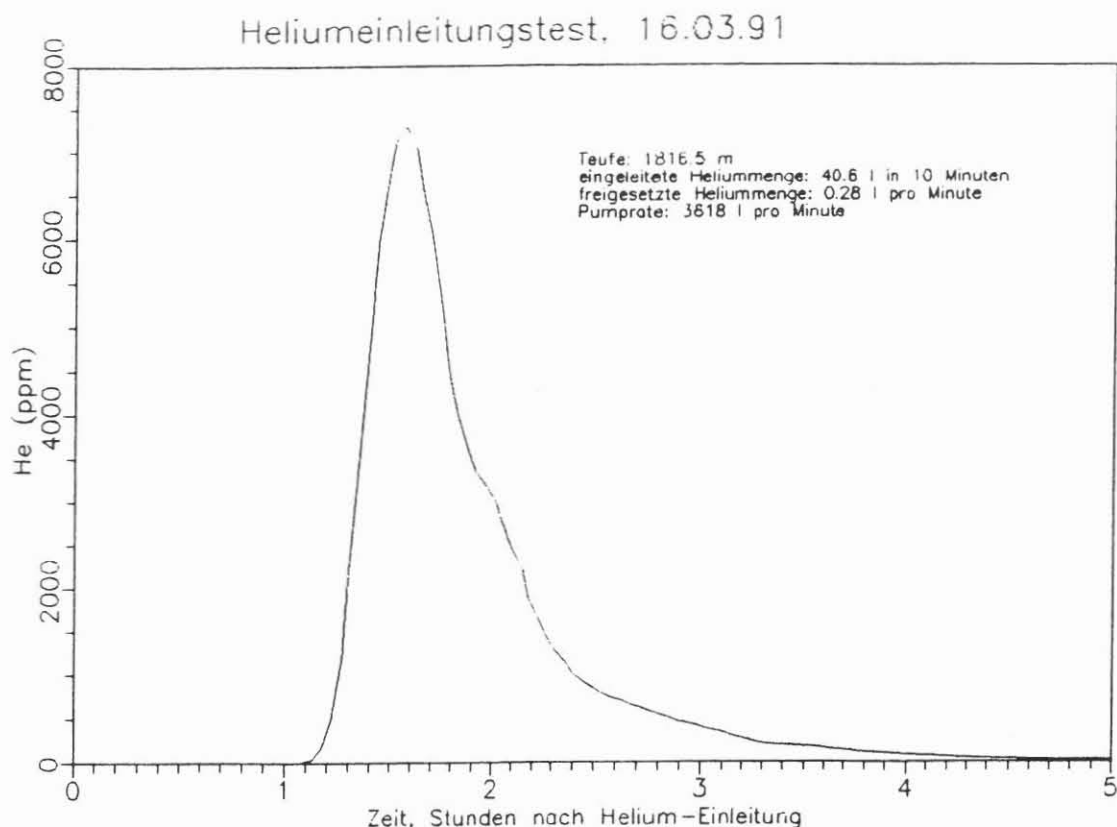


Abb.C.3.10: Heliumkonzentration als Funktion der Zeit in der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase nach einer Heliumeinleitung

Zum Zeitpunkt 0 erfolgte die Heliumeinleitung in die Bohrspülung. Nach 1.1 Stunden ist eine Heliumanreicherung in der Gasphase signifikant nachweisbar. Deutlich ist der schnelle Einsatz des Heliums sowie ein leichter Verzug (asymmetrische Peakform). Dieser Effekt entsteht durch die Verdünnung der aktuellen Gasphase mit den jeweils neu freigesetzten Gasen. Berechnet man die insgesamt freigesetzte Heliummenge über die Peakfläche, so kann für die zwei Heliumeinleitungen eine Freisetzungsrates der eingesetzten Quirlentgaser von ca. 0.2 % bestimmt werden; d.h. treten 10 l reines Helium in die Bohrspülung ein, beträgt die freigesetzte Heliummenge noch 0.02l.

C.3.4.4 Einfluß der Bohrspülung auf die Gasfreisetzung

Ab einer Teufe von 1480 m erfolgte durch den Einsatz von NaOH eine sukzessive Anhebung des pH-Wertes der Bohrspülung von ca. 9.5 auf 11. Die pH-Werte der Bohrspülung sowie die Methan-, Wasserstoff- und Radongehalte der aus der Bohrspülung freigesetzten Gase sind im Teufenabschnitt 1400 - 1720 m in Abb.C.3.11 dargestellt.

Nach den dargestellten Ergebnissen scheint ein Zusammenhang zwischen dem pH-Wert der Bohrspülung und den Untergrundwerten (ohne Gaspeaks) der gemessenen Gase zu bestehen.

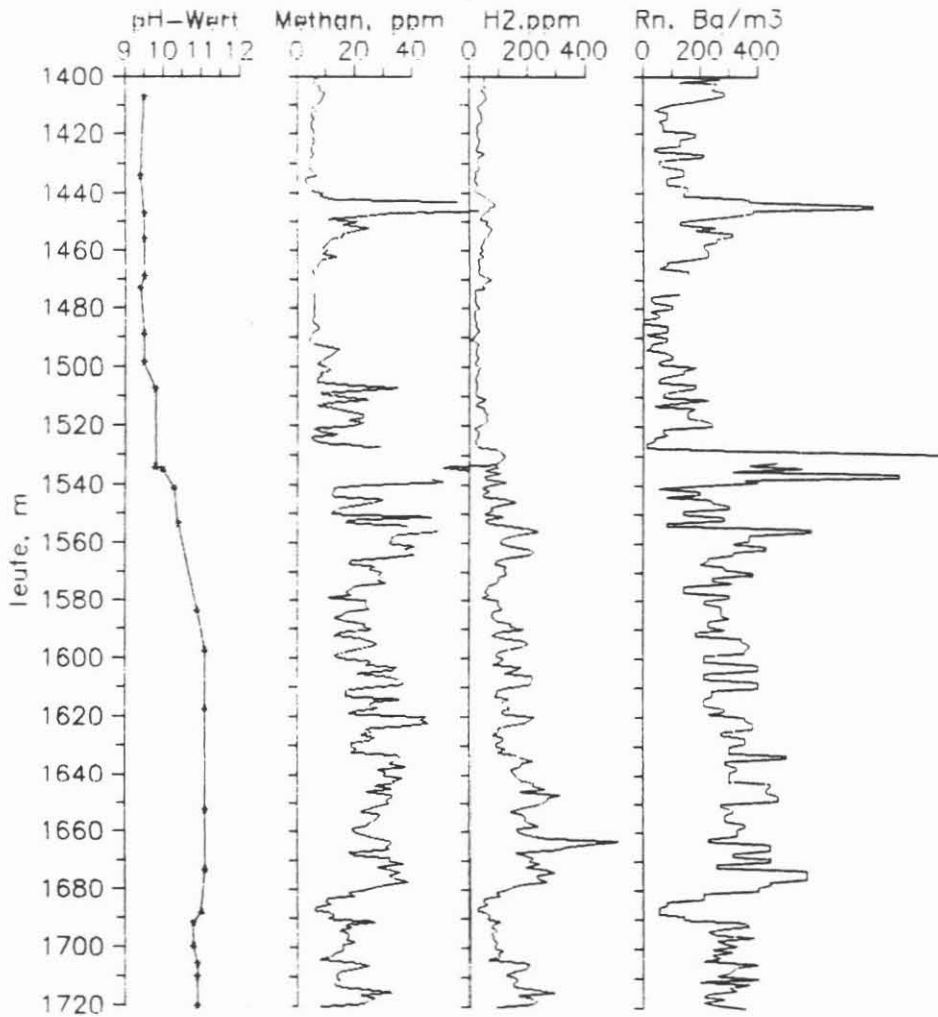


Abb.C.3.11: Vergleich zwischen dem pH-Wert der Bohrspülung und der Zusammensetzung der aus ihr freigesetzten Gasphase

Ein möglicher Grund für diesen Effekt ist, daß der pH-Wert-Anstieg eine Viskositätserhöhung der Bohrspülung verursacht. Daraus könnte

- a) eine schlechtere Vorentgasung der Bohrspülung durch den eingesetzten Gasseparator,
- b) eine verminderte Luftzuführung zur Bohrspülung durch den Gasseparator (wodurch die "CH₄-H₂-Rn-Gasphase" weniger verdünnt wird) und /oder
- c) eine insgesamt schlechtere Bohrspülungsentgasung durch den Gasseparator, Quirlentgaser, BURGES-Bohrspülungsentgaser, Schüttelsiebe und Zentrifugen mit nachfolgender Aufkonzentrierung resultieren.

C.3.5 Diskussion

In Teufe 1527 m konnte in der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase eine Methananreicherung festgestellt werden. Infolge technischer Maßnahmen (Gestängeausbau und Einbau) wurde die Bohrspülung bei 1539 m 17 Stunden lang nicht zirkuliert. In diesem Zeitraum fand eine Anreicherung an Methan und ^{222}Rn (vgl. Abb. C.3.8) in der Bohrspülung des Bohrlochsohlenbereiches statt. Legt man die berechneten Effizienzdaten der eingesetzten Quirlentgaser zugrunde, so sind ca. 3 l reines Methan ins Bohrloch eingetreten. Wie bei HEINSCHILD (1990) beschrieben besteht eine Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Dotiergases vor der Zuführung in die Bohrspülung und der prozentualen Wiederfindung nach der Freisetzung aus der Bohrspülung. Danach ist für Helium die Wiederfindung um den Faktor 2 größer als für Methan. Dies wird durch die bessere Löslichkeit des Methans in der Bohrspülung im Vergleich zum Helium verursacht. Wird dies berücksichtigt, so kann zusammenfassend gesagt werden, daß im Teufenbereich 0 - 1720 m die Größenordnung für reine Methanzutritte unter 10 l (gilt nur für die Bereiche, in denen Gasanalysen vorliegen) liegen. Für eine genaue Aussage über die in die Bohrspülung eingetretene Methanmengen sind Methaneinleitungen in die Bohrspülung geplant.

C.4 Literaturübersicht

- BENDER, F. (1984): Angewandte Geowissenschaften, Band III - Geologie der Kohlenwasserstoff, Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, Angewandte Geowissenschaften in Raumplanung und Umweltschutz. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., STROH, A. & TAPPER, M. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 0 - 480 m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover.
- HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., STROH, A. & TAPPER, M. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 480 - 992 m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-2: C1-C107, Hannover.
- HEINSCHILD, H.-J. (1990): Kontaminationsfreie Bohrspülungs-entgasung. In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 90-2: I1-I10, Hannover.
- HEROLD, C.P., MÜLLER, H., von TAPAVICZA, S. (1987): A New High Temperature Stable Mud Additive for Geological and Deep Drilling Operations. Third International Symposium on Deep Drilling in Crystalline Bedrock. Mora, Sweden 1987.
- HOMANN, K.D. & MÜLLER, H. (1989): Wechselwirkung zwischen Dehydril HT-Bohrspülung und Gesteinsmehl. Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1709 bis 2500 m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 89-2: F1-F45, Hannover.
- STROH, A., HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D. & TAPPER, M. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich 992 - 1530 m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-6: C1-C109, Hannover.

STROH, A., HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., TAPFER, M. & ZIMMER, M. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbe-
arbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach),
Teufenbereich 1709 - 2500m. - In: EMMERMANN, R.,
DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.):
KTB-Report, 89-2: C1-C104, Hannover.

C.5 Danksagung

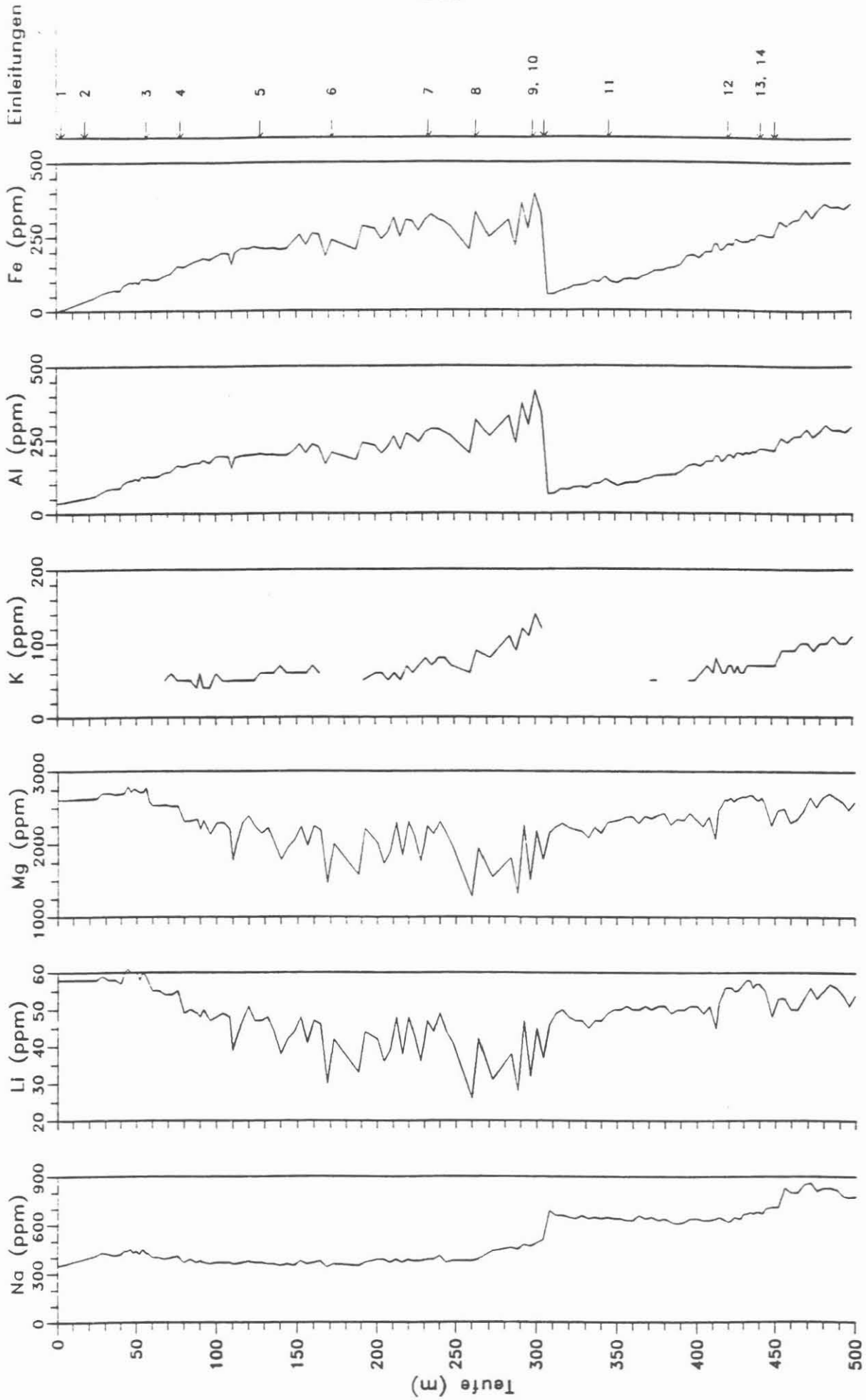
Unser Dank gilt den technischen Mitarbeitern der Geochemie-
gruppe im Feldlabor Frau I. Hermann und Herrn S. Merz. Für
die kritische Durchsicht des Manuskripts danken wir Herrn
Prof. Dr. R. Emmermann und Herrn Dr. Lauterjung.

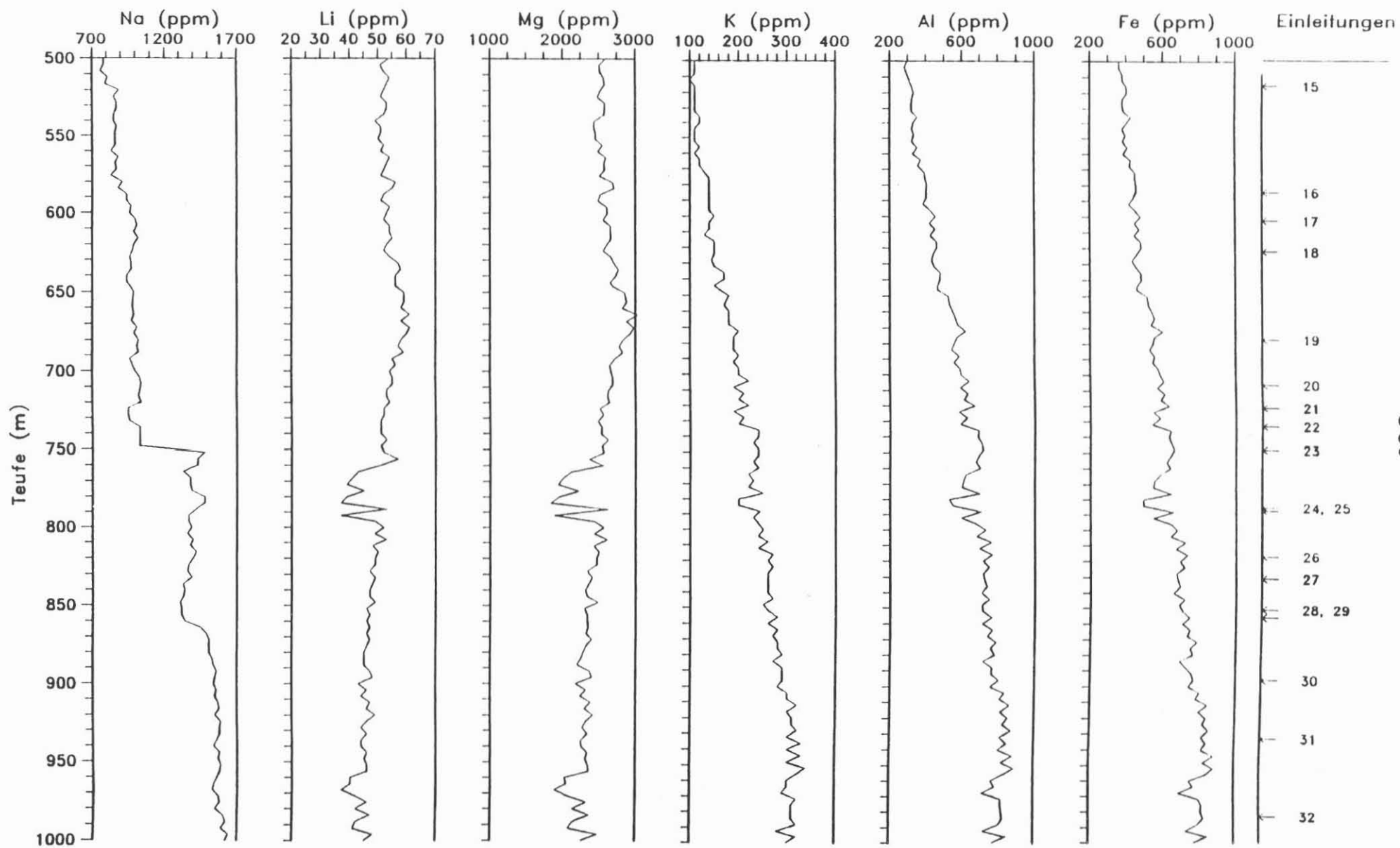
C.6 **Anhang**

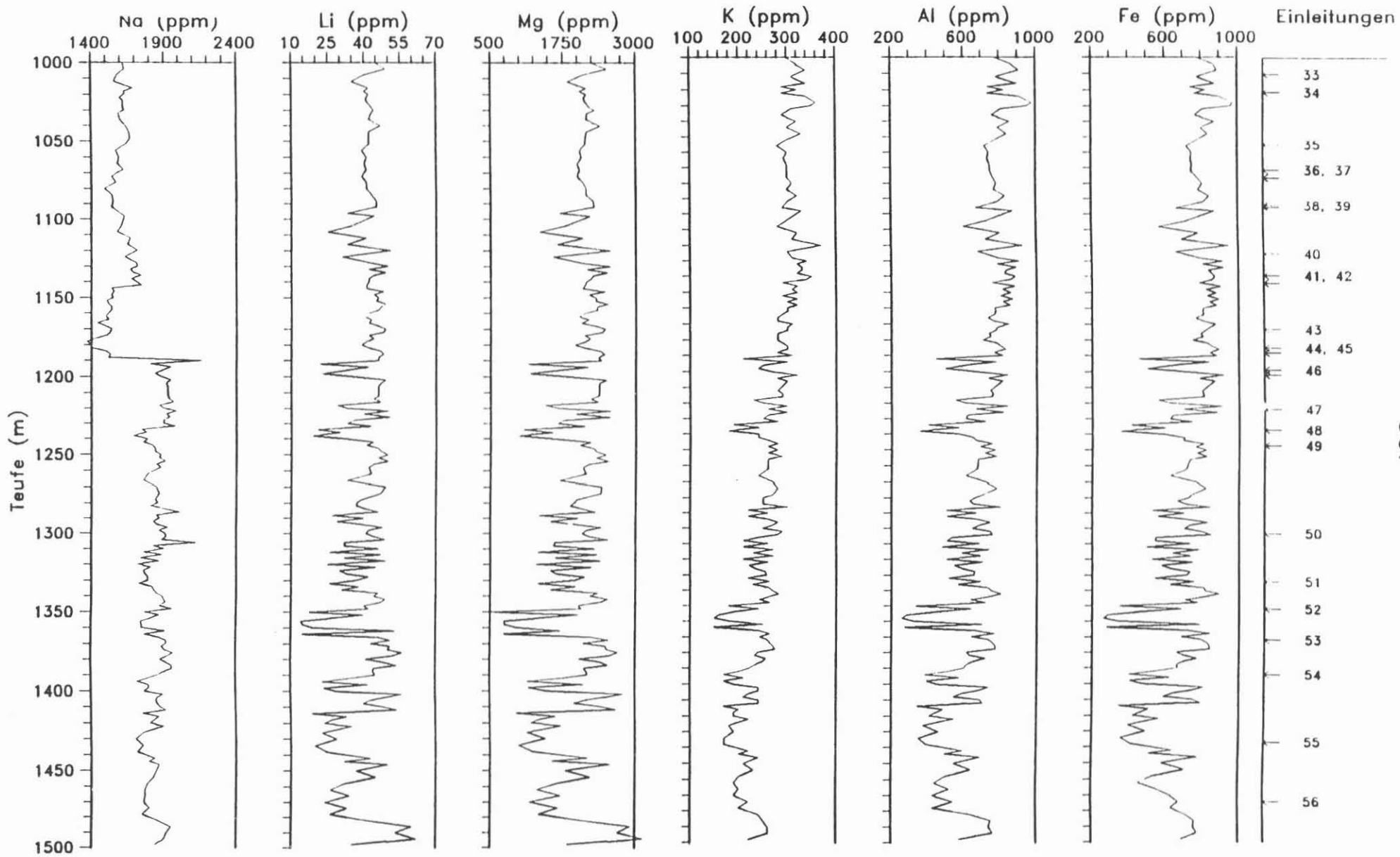
C.6.1 Teufenlogs der Kationen- und Anionengehalte der
Bohrspülung

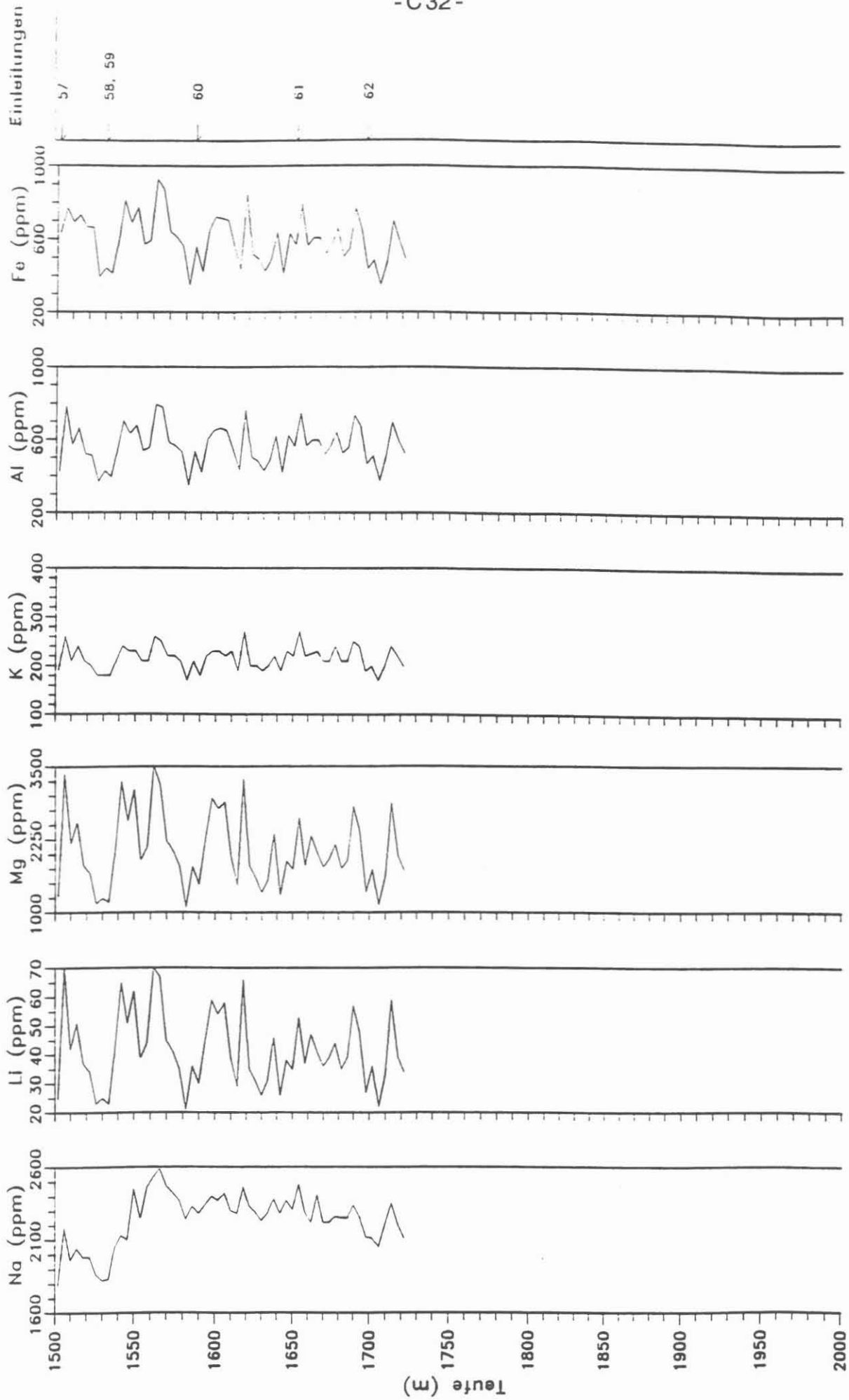
C.6.1.1 Zusammenfassung der Spülungseinleitungen der KTB HB
im Teufenbereich 0 - 305 m

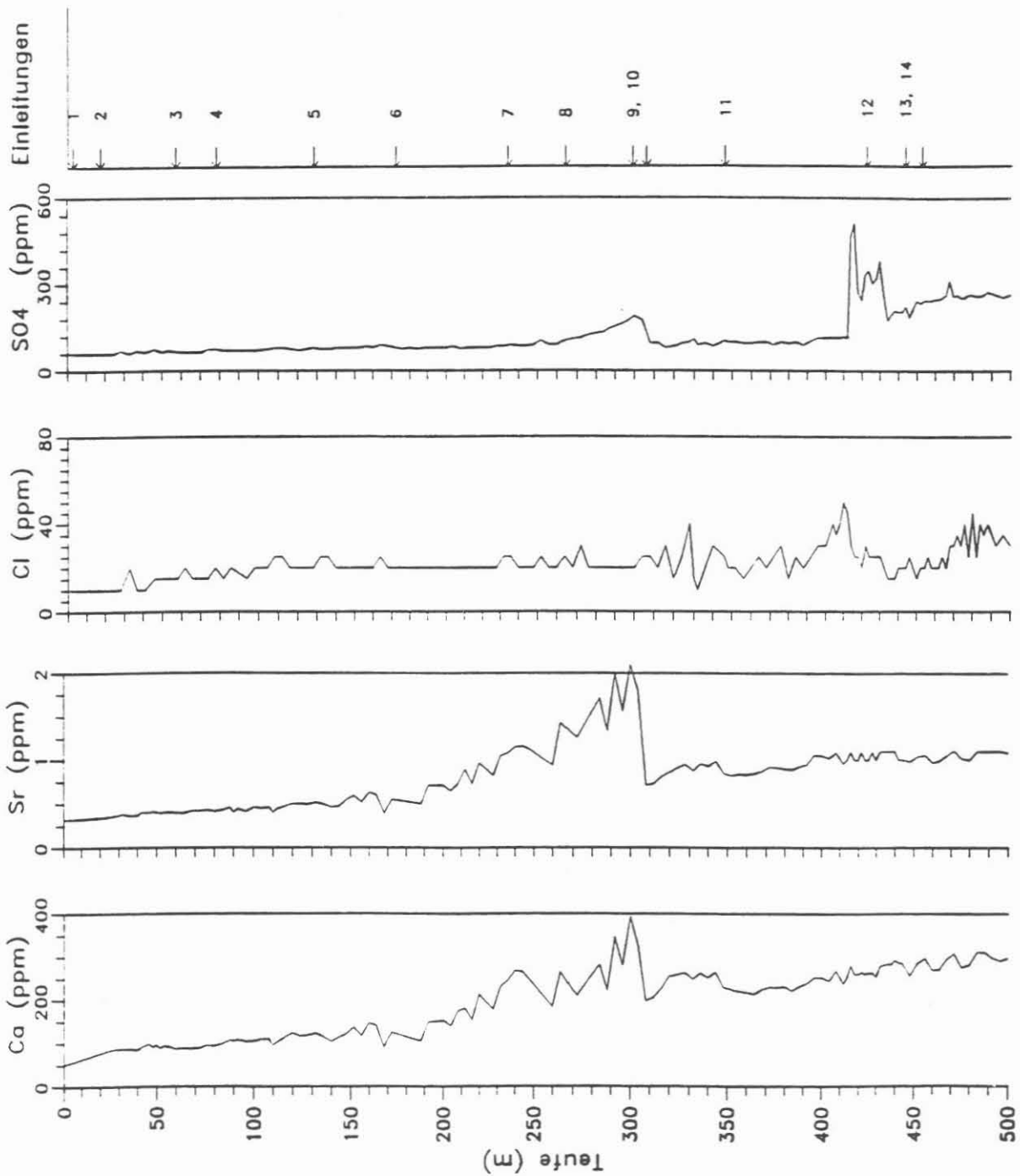
C.6.1.2 Zusammensetzung der Spülungseinleitungen der KTB HB
im Teufenbereich 306 - 1720 m

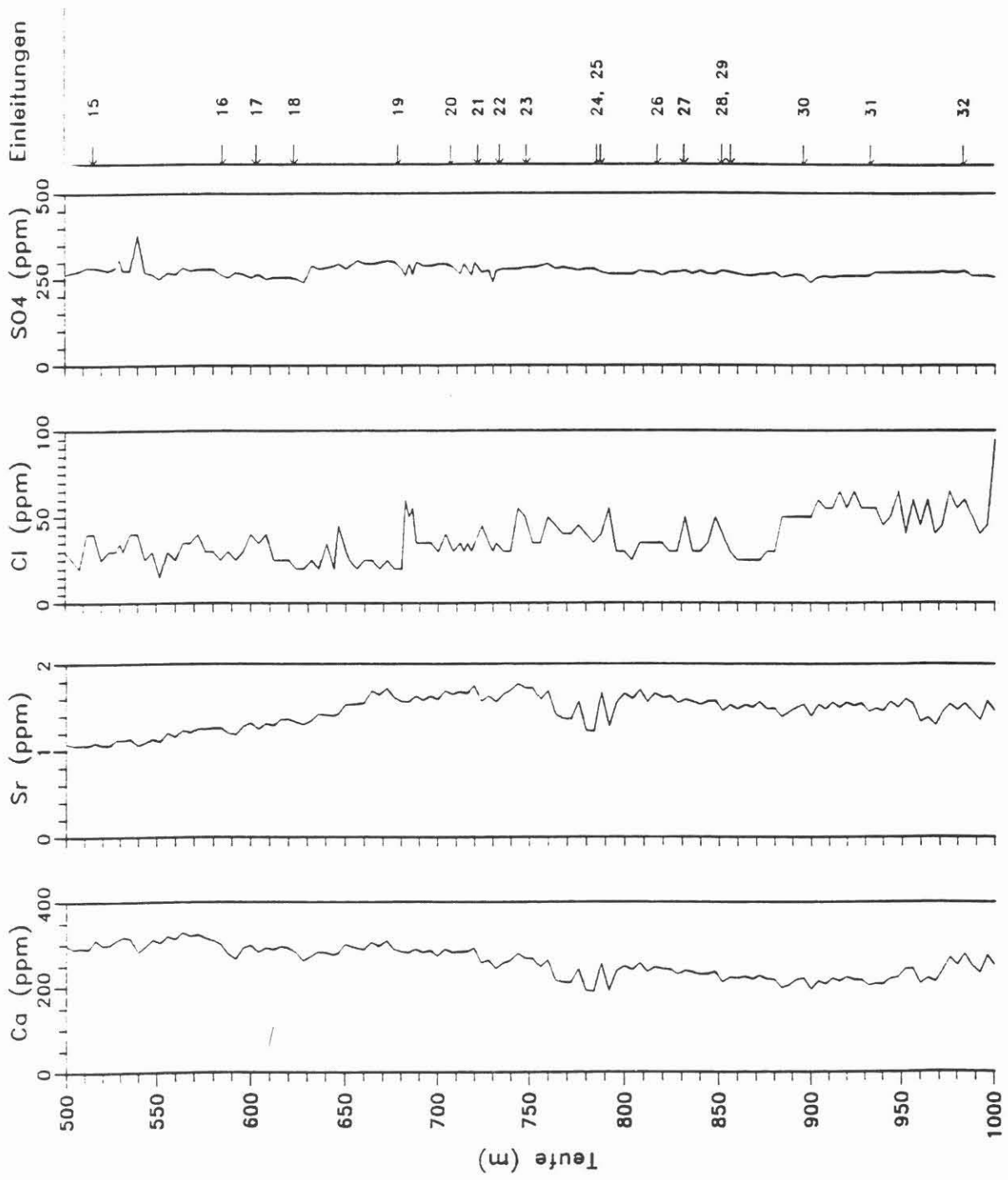


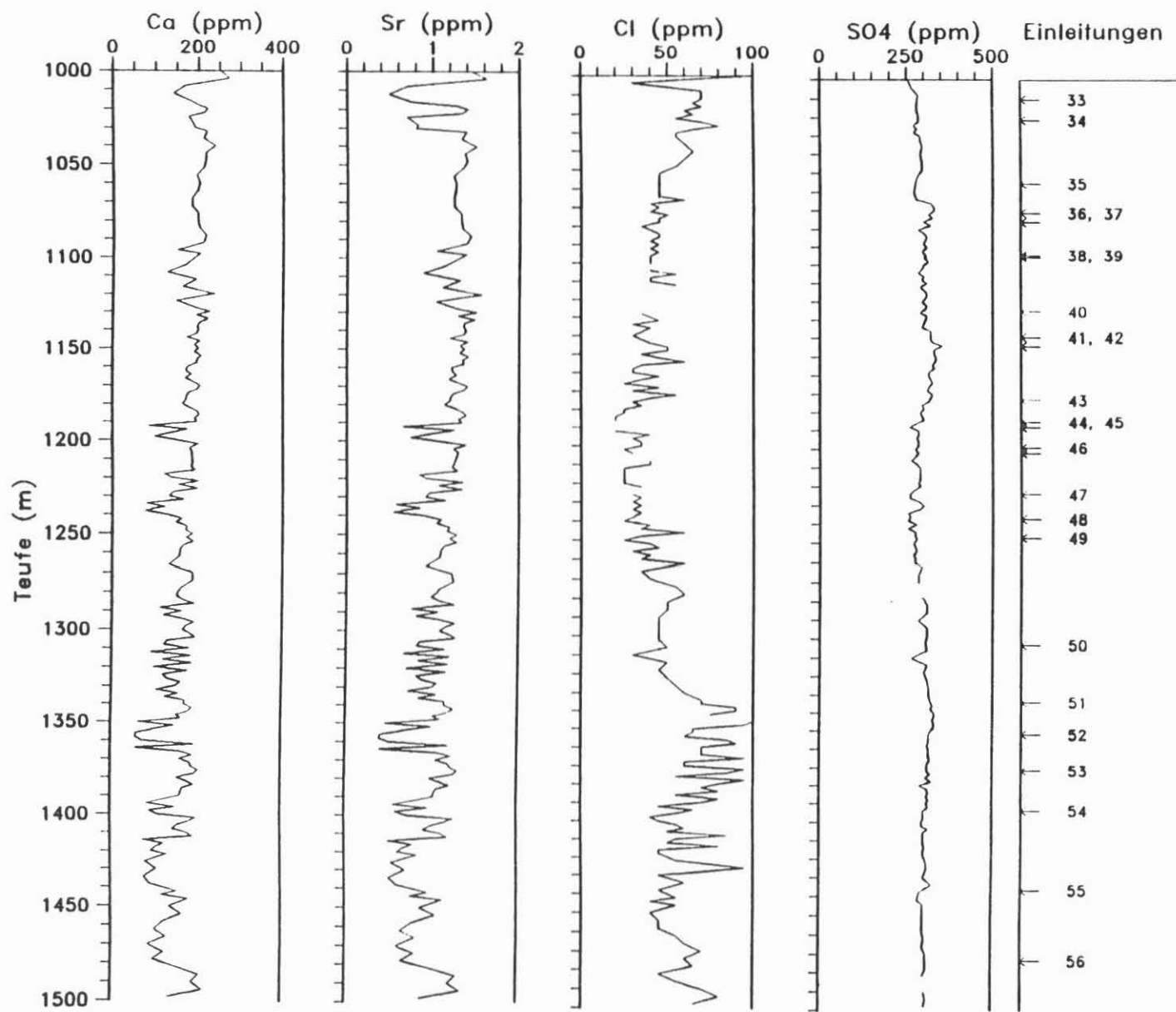


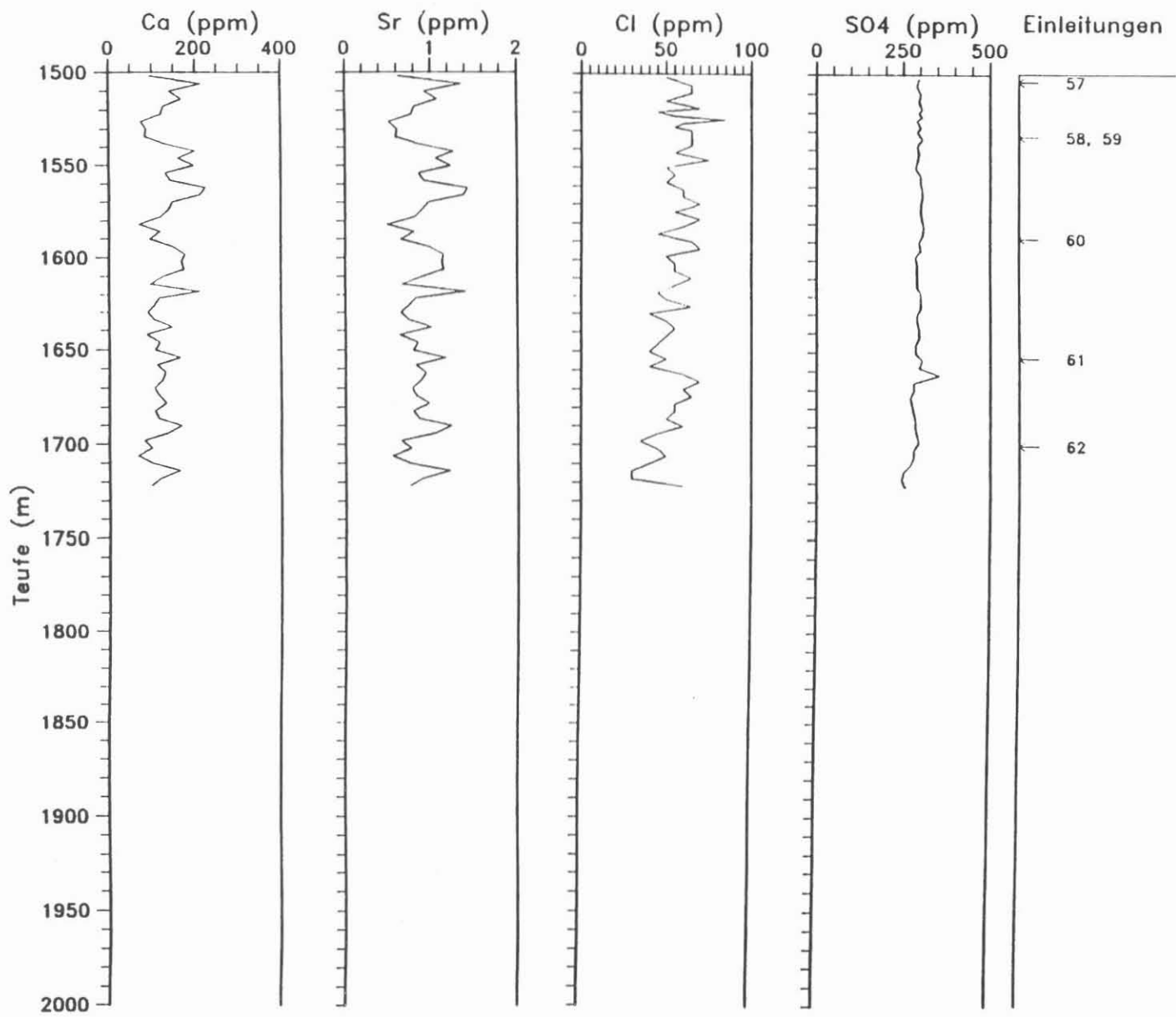












C.6.1.1: Zusammenfassung der Spülungseinleitungen der KTB-HB
(17.5 Zoll Bohrloch) im Teufenbereich von 0 - 305 m.

Nr.	Datum	Teufe (m)	Technische Einleitungen	TCV (m³)	pH-Wert
1	06.10.90	3	20 m³ 2.5% D-HT 2 kg NaOH 29 m³ 2.5% D-HT	151	9.9
2	07.10.90	17	10 m³ 2.5% D-HT 20 m³ 2.5% D-HT 50 kg Na ₂ CO ₃	158	10.1
3	11.10.90	58	15 m³ Wasser	170	10.0
4	14.10.90	77	20 m³ Wasser	170	9.9
5	15.10.90	128	15 m³ Wasser 2 kg NaOH	170	9.8
6	16.10.90	172	10 m³ Wasser	170	9.8
7	17.10.90	231	15 m³ 1.8% D-HT 5 kg NaOH	166	9.8
8	18.10.90	264	15 m³ 1.5% D-HT 3 kg NaOH	172	9.9
9	19.10.90	288	15 m³ Wasser 10 kg NaOH	180	9.9
		288	10 m³ 1.5% D-HT		
		301	10 m³ Wasser 20 kg NaOH		

C.6.1.2: Zusammenfassung der Spülungseinleitungen der KTB-HB nach einem Spülsaustausch bei 306 m.

Nr.	Datum	Teufe (m)	Technische Einleitungen	TCV (m³)	pH-Wert
10	13.11.90	306	50 m³ 1.5% D-HT	142	11.1
11	15.11.90	345	45 m³ 1.5% D-HT	231	10.1
12	21.11.90	415 416	12 kg NaOH in Umlauf 45 m³ 1.5% D-HT	269	9.8
13	22.11.90	436 444	13 kg NaOH in Umlauf 15 m³ Wasser 25 kg NaOH	282	9.7
14	24.11.90	453	50 kg NaOH in 10 m³ Umlaufspülung	283	9.6
15	28.11.90	521	15 m³ 0.5% D-HT 50 kg NaOH	315	9.8
16	02.12.90	585	8 m³ Wasser 50 kg NaOH	310	10.0
17	03.12.90	603	15 m³ 1.25% D-HT 50 kg NaOH	315	10.2
18	04.12.90	624	30 m³ 1.5% D-HT	327	10.1
19	10.12.90	678	25 m³ 0.5% D-HT	316	9.9
20	12.12.90	704 709	15 m³ 0.5% D-HT 10 m³ Wasser	320	9.7
21	13.12.90	723	44 m³ 1.25% D-HT	330	9.9
22	15.12.90	736	15 m³ 0.5% D-HT 50 kg NaOH	327	9.9
23	18.12.90	750	15 m³ 0.5% D-HT 50 kg NaOH 300 kg Na ₂ CO ₃	317	10.0
24	23.12.90	786	30 m³ 0.7% D-HT	321	10.0
25	24.12.90	790	6 m³ Wasser	302	9.9
26	26.12.90	818	15 m³ 0.5% D-HT	315	9.8
27	27.12.90	833	10 m³ Wasser	321	9.8

Fortsetzung der Tabelle C.6.1.2:

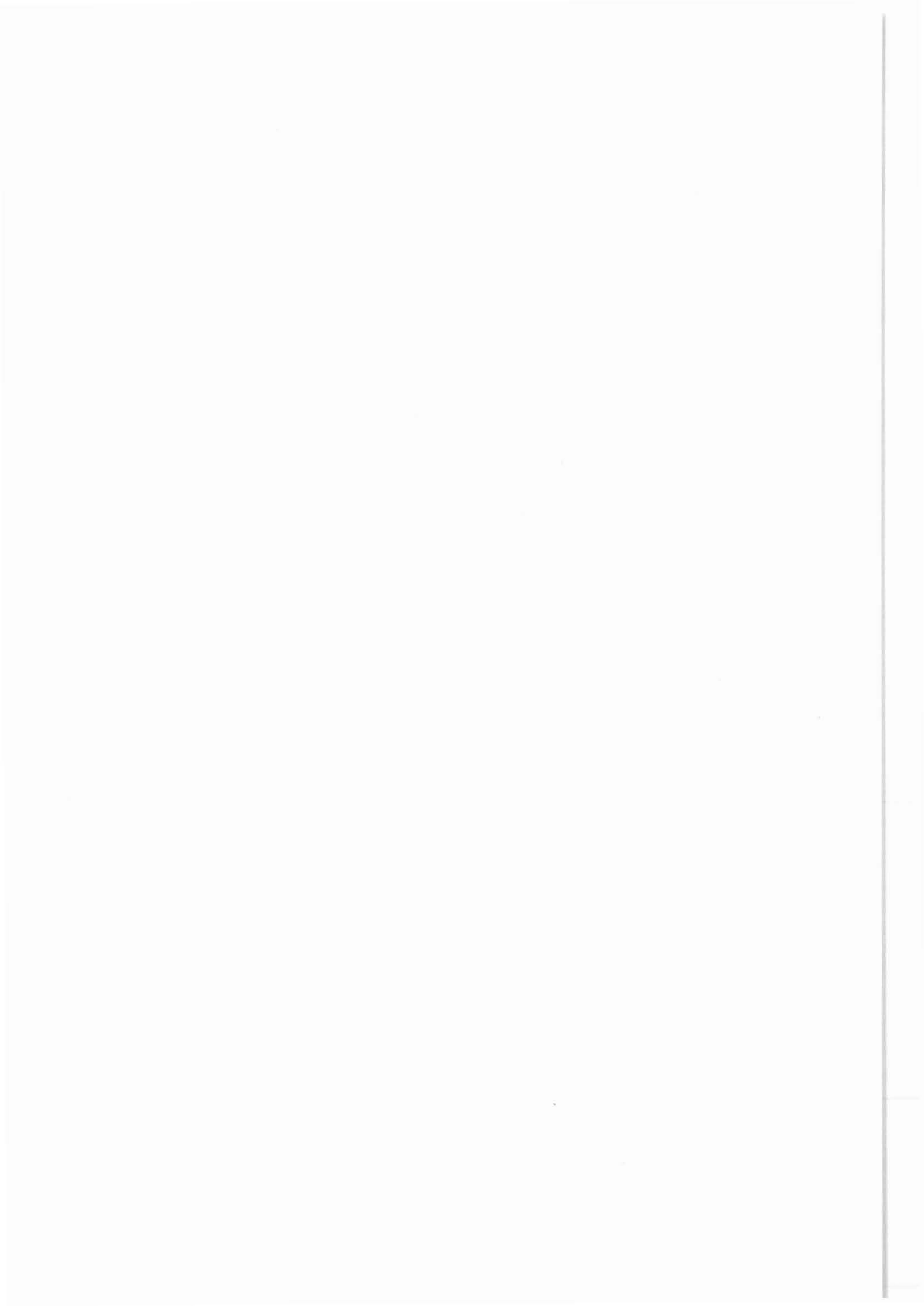
Nr.	Datum	Teufe (m)	Technische Einleitungen	TCV (m ³)	pH-Wert
28	29.12.90	852	5 m ³ Wasser NaOH, Na ₂ CO ₃	335	9.7
29	30.12.90	857	10 m ³ 0.1% D-HT 10 kg Na ₂ CO ₃ NaOH	335	9.8
30	03.01.91	897	20 m ³ 0.3% D-HT 20 kg Na ₂ CO ₃	351	9.8
31	08.01.91	909	15 m ³ 0.8% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃	345	9.6
32	12.01.91	986	15 m ³ 1.6% D-HT 50 kg NaOH	350	9.4
33	14.01.91	1010	15 m ³ 0.5% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃ 50 kg NaOH	348	9.5
34	15.01.91	1021	15 m ³ 0.5% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃	350	9.5
35	17.01.91	1050 1055	15 m ³ 0.8% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃ 15 m ³ 0.3% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃	352	9.4
36	18.01.91	1071	15 m ³ 0.5% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃	358	9.4
37	20.01.91	1076	15 m ³ 0.7% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃	360	9.3
38	22.01.91	1094	15 m ³ 0.8% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃ 50 kg NaOH	370	9.2
39	23.01.91	1095	15 m ³ 0.8% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃	373	9.3
40	25.01.91	1120 1125	15 m ³ 0.5% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃ 25 kg NaOH 15 m ³ 0.5% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃ 25 kg NaOH	--- ---	9.2 9.4

Fortsetzung der Tabelle C.6.1.2:

Nr.	Datum	Teufe (m)	Technische Einleitungen	TCV (m ³)	pH-Wert
41	29.01.91	1139	30 m ³ 1.6% D-HT	385	9.5
42	30.01.91	1144	30 m ³ 1.5% D-HT	385	-. -
43	05.02.91	1144	30 m ³ 1.5% D-HT 30 kg Na ₂ CO ₃	387	9.3
44	06.02.91	1173	12 m ³ 1.5% D-HT	388	9.3
45	08.02.91	1185	25 m ³ 0.3% D-HT 25 kg Na ₂ CO ₃ 50 kg NaOH	395	9.2
		1188	400 kg Na ₂ CO ₃	---	9.5
46	09.02.91	1199	10 m ³ 1.5% D-HT 10 kg Na ₂ CO ₃	400	9.8
		1202	15 m ³ 2.5% D-HT 10 kg Na ₂ CO ₃		9.8
47	10.02.91	1224	15 m ³ 2.5% D-HT	400	9.7
48	11.02.91	1237	15 m ³ 2.5% D-HT	---	9.7
49	13.02.91	1247	15 m ³ 2.5% D-HT 50 kg Na ₂ CO ₃	400	9.5
50	15.02.91	1303	15 m ³ 2.5% D-HT 50 kg Na ₂ CO ₃	408	9.6
51	16.02.91	1334	15 m ³ 2.5% D-HT 50 kg Na ₂ CO ₃	408	9.5
52	18.02.91	1352	15 m ³ 2.5% D-HT 50 kg Na ₂ CO ₃	410	9.5
53	19.02.91	1372	15 m ³ 2.5% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃	415	9.4
54	20.02.91	1394	15 m ³ 2.5% D-HT 50 kg Na ₂ CO ₃	418	9.5
55	21.02.91	1437	15 m ³ 2.5% D-HT 15 kg Na ₂ CO ₃	422	9.5
56	22.02.91	1474	15 m ³ 2.5% D-HT 30 kg NaOH	425	9.4
57	23.02.91	1504	30 m ³ 2.5% D-HT 120 kg NaOH	---	9.5

Fortsetzung der Tabelle C.6.1.2:

Nr.	Datum	Teufe (m)	Technische Einleitungen	TCV (m ³)	pH-Wert
58	24.02.91	1533	15 m ³ 2.5% D-HT 60 kg NaOH	430	9.8
59	25.02.91	1539	30 m ³ 2.5% D-HT 120 kg NaOH	437	10.9
60	26.02.91	1588	30 m ³ 2.5% D-HT 30 kg NaOH	448	11.1
61	27.02.91	1657	30 m ³ 2.5% D-HT	454	11.1
62	01.03.91	1701	30 m ³ 2.5% D-HT 50 kg NaOH	458	10.9



D. Geophysik

Ch. Bucker
E. Lippmann
D. Pribnow
A. Rauen
J. Wienand



KTB-Report	91-3	26 Seiten	18 Abb.	Hannover 1991
------------	------	-----------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz HB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 0 bis 1720 m:

D. Geophysik

Bücker, Ch., Lippmann, E., Pribnow, D., Rauen, A., Wienand, J.

Inhaltsverzeichnis:

D	Einleitung	.....	D2
D.1.	Dichte	.....	D3
D.1.1	Meßmethodik	.....	D3
D.1.2	Darstellung der Meßergebnisse	.....	D4
D.1.3	Vergleich Haupt- / Erweiterungsbohrung	.....	D6
D.2.	Gamma-Spektroskopie	.....	D7
D.2.1	Methodenbeschreibung	.....	D7
D.2.2	Ergebnisse	.....	D8
D.3.	Suszeptibilität	.....	D16
D.3.1	Methodenbeschreibung	.....	D16
D.3.2	Ergebnisse	.....	D17
D.4.	Wärmeleitfähigkeit	.....	D20
D.4.1	Meßmethode	.....	D20
D.4.2	Auswertung	.....	D21
D.4.3	Berechnung der WLF aus Modalbestand	.....	D21
D.4.4	Ergebnisse	.....	D22
D.4.5	Zusammenfassung	.....	D24
D.5.	Literaturverzeichnis	.....	D25

Anschrift der Autoren: KTB-Feldlabor
Wissenschaftliche Einrichtungen
Postfach 67
D-8486 Windischeschenbach

D Einleitung

Für die Messungen der physikalischen Parameter liegt aus dem Teufenbereich 0-1720m Bohrkleinmaterial mit Korngrößen von 63μ bis zu $> 5\text{mm}$ vor. Die Parameter NRM (natürliche remanente Magnetisierung), v_p und v_s (seismische p- und s-Wellengeschwindigkeiten), elektrische Leitfähigkeit, Permeabilität, Porosität und innere Oberfläche können daher nicht ermittelt werden. Als Probenmaterial stehen jeweils ca. 350 g der Gesamtfraktion im gewaschenen und getrockneten Zustand zur Verfügung. Es werden kontinuierlich Messungen der Dichte, der natürlichen Radioaktivität, der Suszeptibilität und der Wärmeleitfähigkeit mit Probenabständen von 2-10m durchgeführt. Testuntersuchungen zeigten, daß für die Messungen der einzelnen Parameter an Bohrklein verschiedene Fraktionen am besten geeignet sind. Die Fraktionen werden durch Trockensiebung hergestellt. In den folgenden Kapiteln wird näher auf die Testuntersuchungen eingegangen. Die Tabelle gibt Aufschluß über die jeweils verwendeten Fraktionen und Meßpunktabstände.

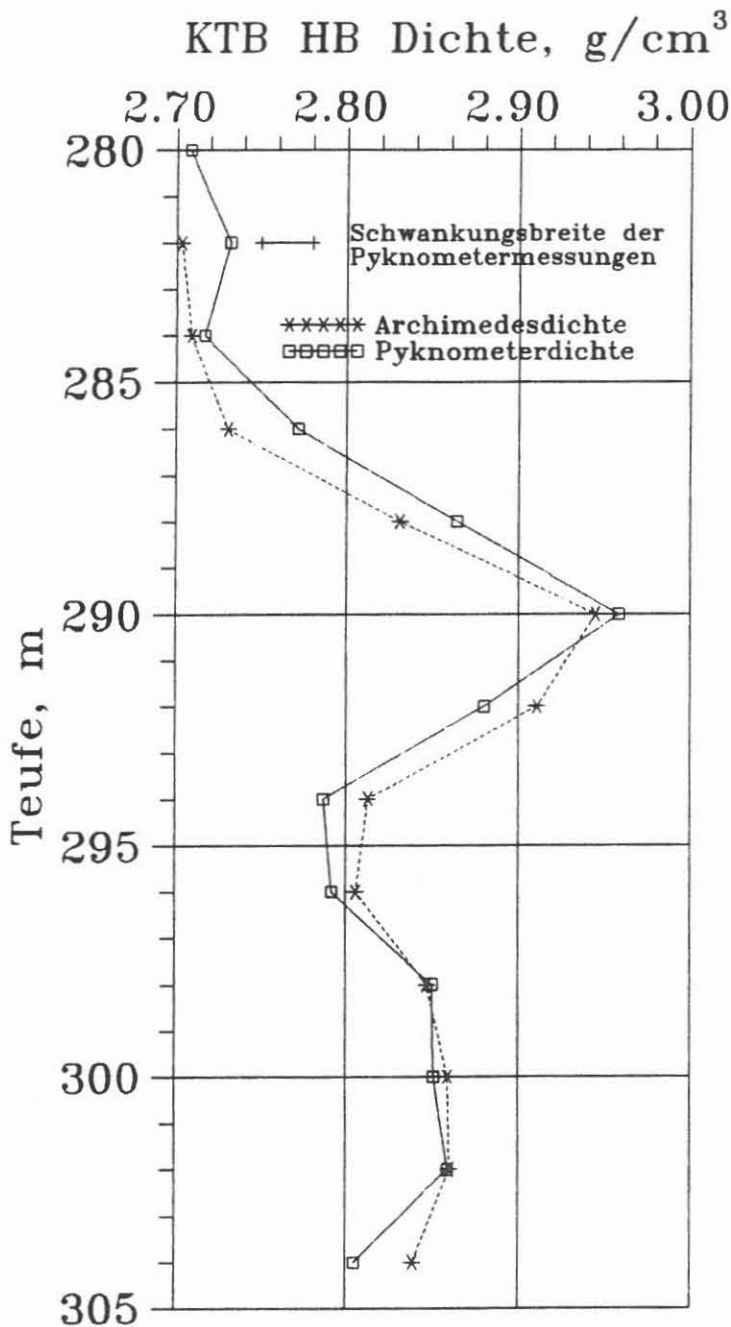
Tabelle:

Übersicht über die mittleren Meßpunktabstände und die verwendeten Kornfraktionen für die Messungen der physikalischen Parameter.

Parameter	Dichte	nat. Radioaktivität	Suszeptibilität	Wärmeleitfähigkeit
Meßpunkt- abstand	2 m	5 m	2 m	10 m
Fraktion	2-5mm	63μ -2mm	2-5mm	63μ -2mm

D.1. Dichte

D.1.2 Meßmethodik



Bis zur Teufe von 300 m wurden zur Bestimmung der Dichte handelsübliche Pyknometer verwendet. Das Meßprinzip und der Meßablauf sind bei BÜCKER et al., (1988) und RAUEN et al., (1988) beschrieben. Da sich diese Methode als sehr zeitaufwendig und umständlich erwies, wurden parallel zu den laufenden Routinemessungen Versuche durchgeführt, um die Dichte der Cuttings auch nach dem "Archimedischen Prinzip" zu bestimmen. Das "Archimedische Prinzip" zur Dichtebestimmung ist im KTB-Report 88-1 (BÜCKER et al., 1988) für Kerne näher beschrieben. Ein Fehler durch Luftbläschen bei der Volumenberechnung ist dadurch zu vermeiden, daß die Cuttingsmenge sorgfältig durchgerührt wird. Beide Meßverfahren weisen annähernd gleiche Ergebnisse auf, wie dies in Abb. D.1.1 dargestellt ist. Es ist kein systematischer Unterschied erkennbar.

Abb. D.1.1: Vergleich der Dichtewerte zwischen Pyknometer- und Archimedes-Methode. Die Dichtewerte stimmen gut überein.

Die jeweiligen Differenzen liegen in der Schwankungsbreite der Einzelmessungen, so daß dieses Verfahren, welches sich als schneller und anwenderfreundlicher erwies, ab 300 m ausschließlich benutzt wurde. Weiter wurde untersucht, welche Korngrößenfraktion sich zur Dichtebestimmung besser eignet. Es zeigte sich, daß die Archimedes-Messungen mit der Grobfraction (> 2mm) besser reproduzierbare Ergebnisse lieferte.

D.1.3 Darstellung der Meßergebnisse

In Abb. D.1.2 ist die Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte bis 1720 m der KTB-Hauptbohrung zu sehen. Das deutliche Maximum bei der Dichte von 2.73 g/cm^3 entspricht den erbohrten Gneisen. Bei den erbohrten Metabasiten läßt sich kein deutliches, sondern ein breites, verschmiertes Maximum von $2.80 - 2.90 \text{ g/cm}^3$ in der Häufigkeitsverteilung erkennen.

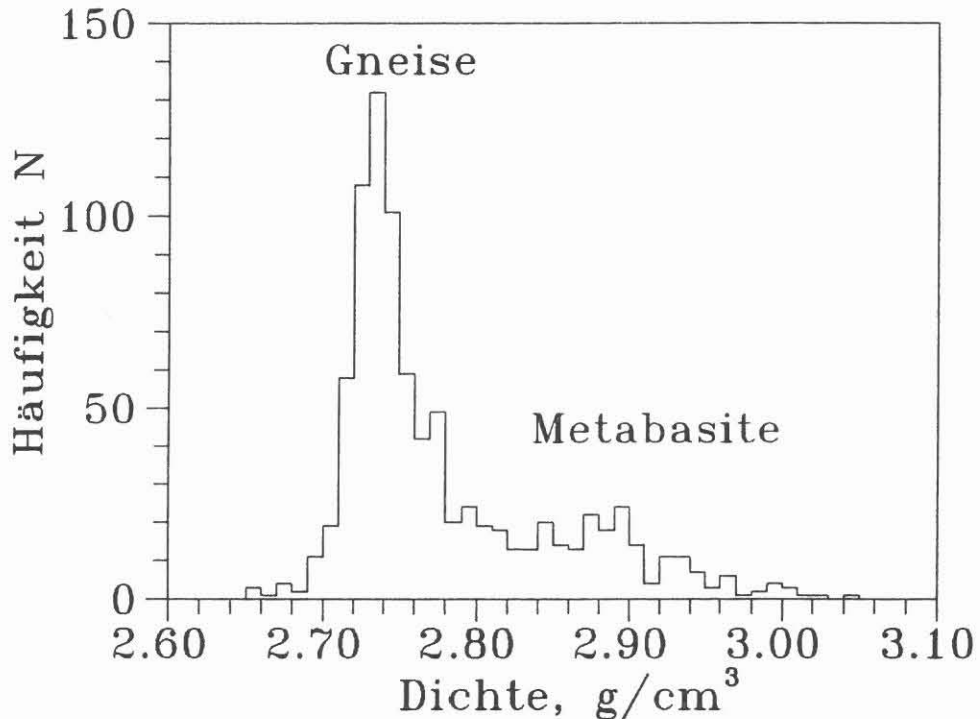


Abb. D.1.2: Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte. Die Gneise weisen eine mittlere Dichte von 2.73 g/cm^3 auf. Diese Dichte wurde auch für die Gneise der Vorbohrung ermittelt.

Die Einzeldichtewerte für den Teufenbereich bis 1720 m sind in Abb. D.1.3 gegen die Teufe aufgetragen. Über den gesamten Teufenbereich ergibt sich eine mittlere Dichte von $2.78 \pm 0.07 \text{ g/cm}^3$ mit den beiden Extrema von 2.65 g/cm^3 aus einer Teufe von 8 m und 3.05 g/cm^3 aus einer Teufe von 326 m.

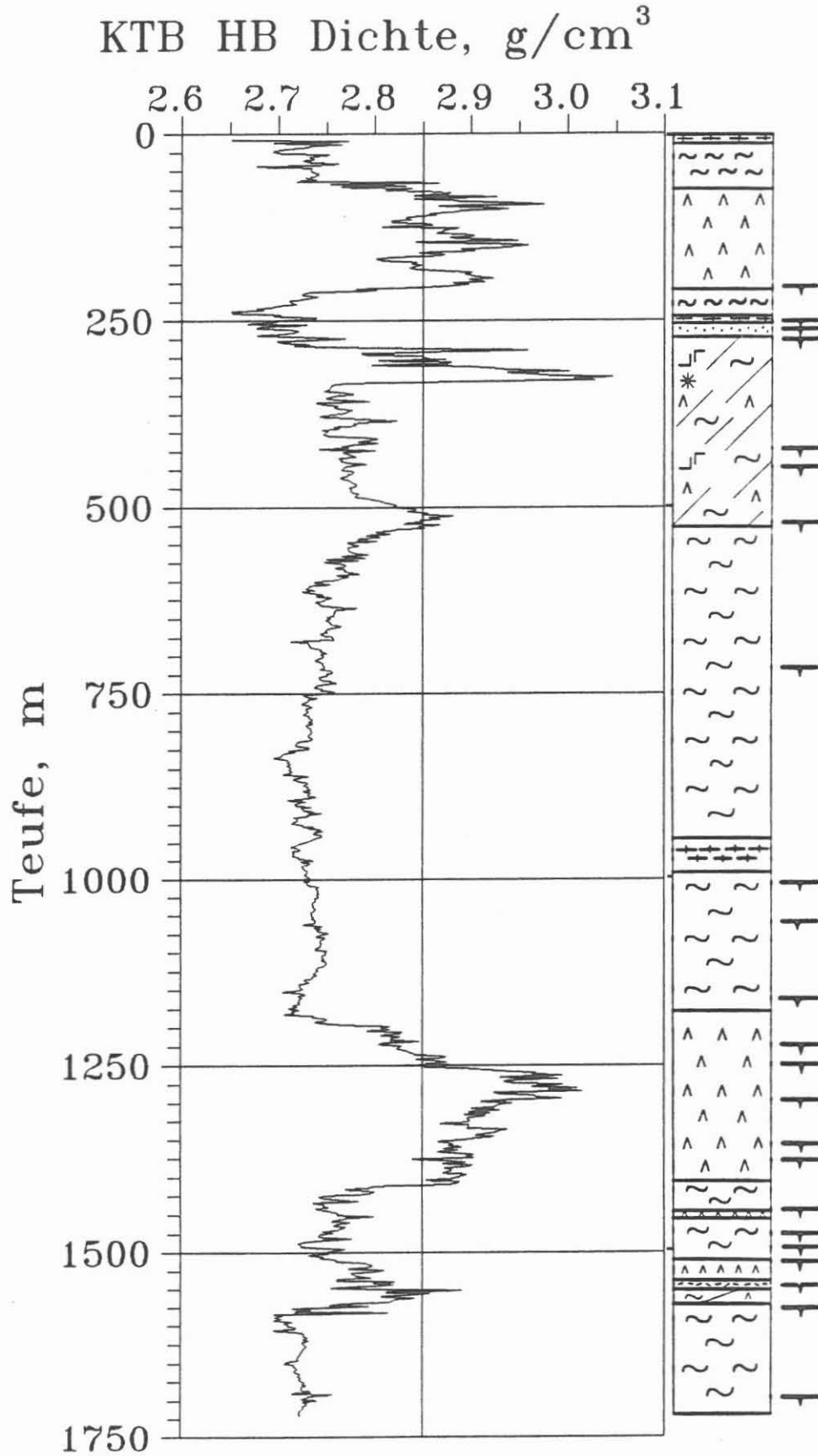


Abb. D.1.3: Teufenlog der Dichte gemessen an Cuttings. Die Metabasite heben sich deutlich durch höhere Dichten ab.

D.1.4 Vergleich zwischen Haupt- und Erweiterungsbohrung

Im Bereich von 193 - 215 m wurde ein Vergleich zwischen der Hauptbohrung (17.5") und der Erweiterungsbohrung (28") angestellt. Es ergaben sich jeweils vergleichbare Werte. Allerdings tritt der Lithologiewechsel zwischen 203 und 205 m bei der Erweiterungsbohrung deutlicher hervor, als bei den Daten aus der Hauptbohrung. Bei den Dichtedaten der Hauptbohrung ist der Lithologiewechsel über 10 m verschleppt.

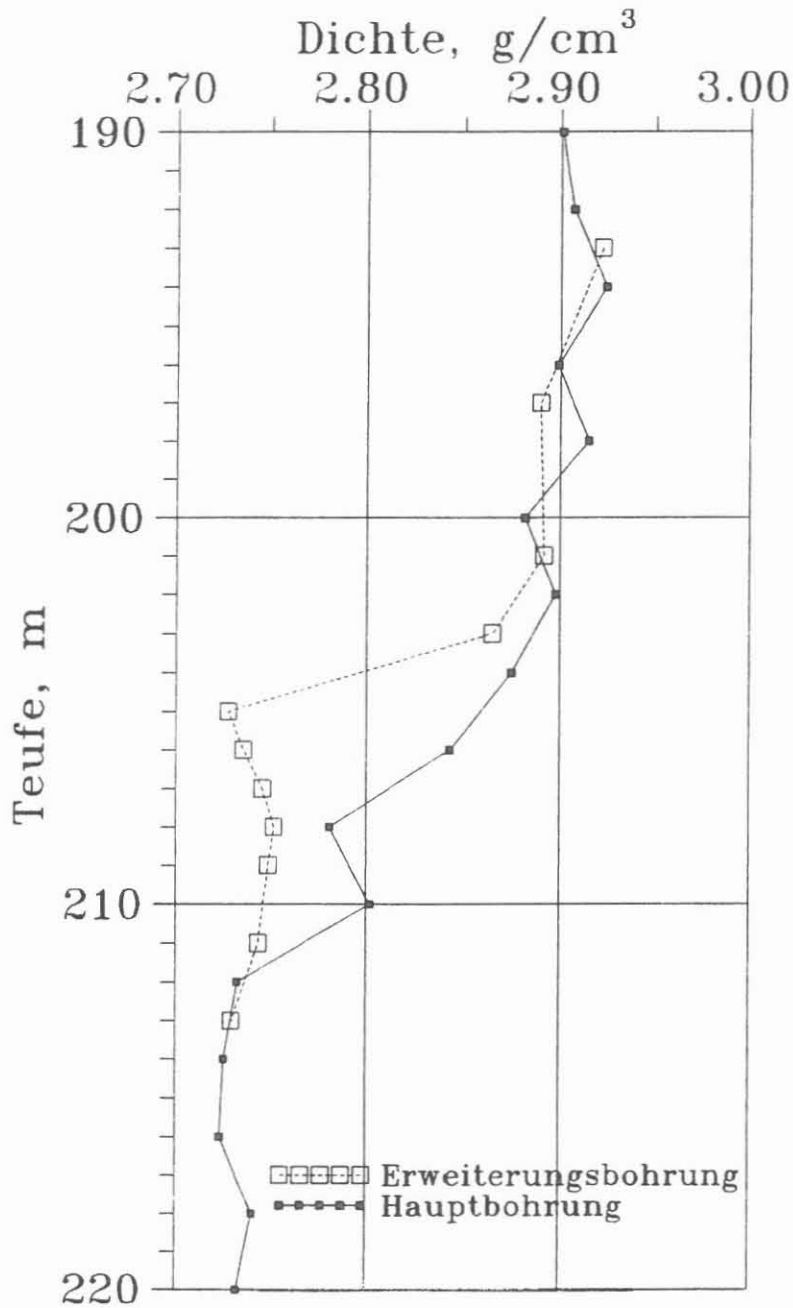


Abb. D.1.4: Vergleich: Haupt-/Erweiterungsbohrung

D.2 Gamma-Spektroskopie

D.2.1 Methodenbeschreibung

Für die Bestimmung der Gehalte an natürlichen Radionukliden wie Kalium, Uran und Thorium in den Bohrkleinproben stehen ein NaJ-Szintillations-Detektor und ein Germanium-Halbleiter-Detektor in kommerziellem Aufbau zur Verfügung. Ausführliche Beschreibungen der Funktionsprinzipien sind z.B. bei KNOLL (1989), KUNZE (1986) zu finden. Der Germanium-Detektor ist vom 45%-Typ, d.h. der Detektor hat für die Co-60 Linie bei 1.33 MeV 45 % der Effektivität eines gleichgroßen NaJ-Detektors. Dabei ist der Ge-Detektor dem NaJ-Detektor bezüglich Auflösung (1.95 keV bei 1.33 MeV) und Peak-Compton-Verhältnis deutlich überlegen. Dadurch können mit dem Ge-Detektor wesentlich kürzere Meßzeiten realisiert werden.

Der prinzipielle Aufbau des Gamma-Spektroskopie-Meßplatzes im Feldlabor ist bei HUENGES et al. (1989) beschrieben. Zur Abschirmung gegen den natürlichen Strahlungsuntergrund sind die Detektoren in eine 10 cm starke Bleiabschirmung eingebaut. Zusätzlich ist der Innenraum der Meßkammern gegen sekundäre Strahlung mit 2 mm Kupfer und 10 mm Plexiglas ausgekleidet. Als Probenbehälter dienen Marinelli-Becher mit 250 cm³ Volumen, die durch ihren π -förmigen Querschnitt den Detektor weitgehend umschließen. Sowohl für den NaJ- als auch für den Germanium-Detektor können dieselben Probenbehälter verwendet werden. Es können Bohrklein-, Spül- und Zentrifugenproben gemessen werden. Die Bohrkleinproben werden in gewaschenem, gesiebttem und getrocknetem Zustand gemessen. Für eine ausreichende Statistik sind Meßzeiten von 10 Stunden bei dem NaJ-Detektor und bis zu 2 Stunden bei dem Ge-Detektor notwendig.

Die Kalibrierung wurde bei beiden Detektoren mit denselben Eichproben vorgenommen. Als Eichproben wurden Standards des 'South African Bureau of Standards' (SABS) (NIM-L, vgl. STEELE et al., 1978) sowie eine Ringprobe (QLO-1, vgl. SOBORNOV & ZOLOTUKHINA, 1987; GLADNEY & ROELANDTS, 1988) verwendet. Darüberhinaus wurden Vergleichsmessungen in Zusammenarbeit mit dem Geochemischen Institut der Universität Göttingen durchgeführt (vgl. HAAK et al., 1990).

Zur Auswertung der Gamma-Spektren, die zur weiteren Verarbeitung komplett abgespeichert werden, stehen verschiedene Software-Pakete zur Verfügung. Für die NaJ-Spektren wird das Programm SODIGAM (Fa. Westmeier, Marburg) und für die Germanium-Spektren das Programm MINIGAM (Fa. EG&G ORTEC, München) verwendet. Über einen Kalibrierfaktor, der aus mehreren Eichmessungen bestimmt wurde, werden Zählraten des Germanium-Detektors an die Zählraten des NaJ-Detektors angeglichen. Die Zählraten werden jeweils im gesamten Spektrum

im Energiebereich von 40 keV - 3 MeV bestimmt und auf die Probenmenge normiert. Aufgrund von apparativen Problemen mit dem Ge-Detektor (Detektor und Elektronik mußten nach langwieriger Fehlersuche komplett ausgetauscht werden) sind quantitative Auswertungen der Germanium-Spektren noch in Arbeit.

Testmessungen zeigten, daß für die Gamma-Spektroskopie die Korngrößen-Fractionen 63 µ - 5 mm bzw. 63 µ - 2 mm am ehesten repräsentativ sind. In Tabelle 1 sind die spezifischen Netto-Zählraten für verschiedene peaks in den Gamma-Spektren für zwei Gneisproben und eine Amphibolitprobe mit den Korngrößenfraktionen 63 µ - 5 mm, 63 µ - 2 mm und 2 mm - 5 mm aufgeführt. Es ist zu erkennen, daß bei den meisten Messungen die maximalen Zählraten in den Korngrößenfraktionen 63 µ - 5 mm und 63 µ - 2 mm auftraten. Da davon ausgegangen werden kann, daß die Korngrößenfraktion 63 µ - 2 mm voraussichtlich über die gesamte Bohrung zur Verfügung stehen wird, wird diese für alle Gamma-Spektroskopie-Messungen verwendet.

Gamma-Spektroskopie Testmessungen
Auswertung Korngrößen-Fraktionierungen

Peak \ Korngröße Probe	Gneis			Amphibolit			Gneis		
	2-5 mm THC24_1	>63 µ THC42_2	63µ-2 mm THC24_3	>63 µ THC86_1	63µ-2mm THC86_2	2-5 mm THC86_3	>63µ THC216_1	2-5mm THC216-2	63µ-2mm THC216_2
Th 1 Pb212 238.6	658.6	660.8	691.8	137.5	136.1	143.5	513.0	490.5	500.5
U 2 Pb214 351.9	396.6	404.0	423.7	153.5	218.7	188.7	328.5	286.9	296.8
Th 3 Th208 583.2	156.4	176.7	180.7	24.6	34.6	34.3	132.9	117.4	142.9
U 4 Bi214 609.3	286.9	299.2	297.7	110.4	166.6	149.3	225.4	212.0	212.7
Th 5 Ac228 911.2	107.9	120.7	124.8	23.7	21.7	9.8	84.5	83.0	75.5
Th 6 Ac228 969.0	46.1	40.8	35.0	11.3	7.5	5.3	18.3	22.2	38.6
Th 7 Bi214 1120.3	62.9	66.0	60.7	31.5	37.7	38.0	54.1	36.2	40.7
K 8 K40 1460.8	687.9	718.3	766.6	269.2	264.2	268.6	583.1	520.4	592.1
Nuklid keV	Gneis			Amphibolit			Gneis		

Werte: Peak-Nettoflächen, jeweils auf 100 g Probenmenge normiert.

Tabelle 1: Ergebnisse der Korngrößenfraktionen-Testmessungen. Die Werte in der Tabelle sind peak-Nettoflächen in counts/sec, auf 100 g Probenmenge normiert. In der ersten Spalte sind die verwendeten peaks mit ihren Gamma-Energien bezeichnet. Die maximalen peak-Nettoflächen wurden hauptsächlich in den Korngrößenfraktion 63 µ - 2 mm und 63 µ - 5 mm detektiert. Die Fraktion 63 µ - 2 mm wird für die Proben-Messungen verwendet.

D.2.2 Ergebnisse

Gamma-Spektroskopie-Messungen in dem Teufenbereich von 0 - 1720 m wurden an insgesamt 358 Bohrkleinproben vorgenommen. Dies entspricht einem mittleren Meßpunktastand von ≈ 5 m. Der Standard-Meßpunktastand beträgt 10 m, in lithologischen Übergangsbereichen 2 m.

Das Teufenlog der spezifischen Zählrate der Cuttings (in der Einheit counts/ sec*kg) ist in Abb. D.2.1 dargestellt. Zum Vergleich ist auch das Gamma-ray-log der Bohrlochmessung (KTB Referat Bohrlochmessungen) eingezeichnet. Die lithologischen Einheiten der Hauptbohrung zeichnen sich in der Zählrate gut ab. Die Gneise weisen im Mittel 50 c/s*kg auf, während die Metabasite deutlich niedrigere Zählraten um 25 c/s*kg haben. Zur Verdeutlichung ist am rechten Rand der Abb. D.2.1 ein vereinfachtes lithologisches Profil eingezeichnet. Die skalenmäßige Übereinstimmung zwischen Bohrloch-Gamma-ray und Cutting-Gamma-ray ist rein zufällig. Bedingt durch den größeren Bohrlochdurchmesser und der dadurch längeren Absorptionsstrecke in der Spülung sind die Zahlenwerte auch nicht absolut mit den Zahlenwerten aus der Vorbohrung vergleichbar. Insgesamt zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Bohrloch- und den Cutting-Messungen.

Bei einem Vergleich der Labor- und Bohrlochmessungen fallen Teufenunterschiede als auch Amplituden-Differenzen auf. Die Teufenunterschiede zwischen Labor- und Bohrlochmessungen sind unterschiedlich groß und nicht systematisch. Zur Verdeutlichung dieses Sachverhaltes ist der Teufenabschnitt von 0 - 300 m in Abb. D.2.2 vergrößert dargestellt. Bei dem Lithologiewechsel von Gneis zu Amphibolit bei 71 m ist kein wesentlicher Teufenversatz zu erkennen, Bohrloch- und Labormessung stimmen gut überein. Ein deutlicher Teufenversatz ist hingegen bei dem nächsten Lithologiewechsel bei 209 m und in der Wechsellagerung darunter zu erkennen. Hier liegen die Labormessungen bis zu 6 m unter der Bohrlochmessung. Bei dem Amphibolit/Gneis-Übergang bei 1410 m ist kein signifikanter Teufenversatz auszumachen (vgl. a. Abb. D.2.1). Die Ursache für diese Teufendifferenzen lag in technischen Problemen für die Teufenangaben des Bohrmeisters. Die Gamma-ray-Messung an Bohrklein bietet damit die Möglichkeit, Teufendifferenzen zu erkennen und zu korrigieren.

In der Häufigkeitsverteilung (Abb. D.2.3) der Gamma-ray Labor- und Bohrlochmessungen stimmen die Mittelwerte für die Gneise gut überein. Die Metabasit-Werte liegen jedoch bei den Bohrlochmessungen unter denen der Labormessungen. Die Ursache ist wahrscheinlich zum Teil in dem Mischproben-Charakter der Cuttings zu suchen. Weiterhin fällt auf, daß die Halbwertsbreite der Häufigkeitsverteilung für die Gneise (Mittelwert 55 c/s*kg bzw. GAPI) bei den Bohrlochmessungen deutlich größer ist als bei den Labormessungen. Dies ist möglicherweise auf die relativ hohe Fahrgeschwindigkeit der Gamma-ray-Messung im Bohrloch und damit verbunden einer statistischen Unsicherheit der Messungen zurückzuführen. Der peak zwischen den Häufigkeitsverteilungen für Gneise und Metabasite der Cuttings bei 35 c/s*kg ist künstlich und verursacht durch die Verdichtungsmessungen in den Lithologie-Übergängen.

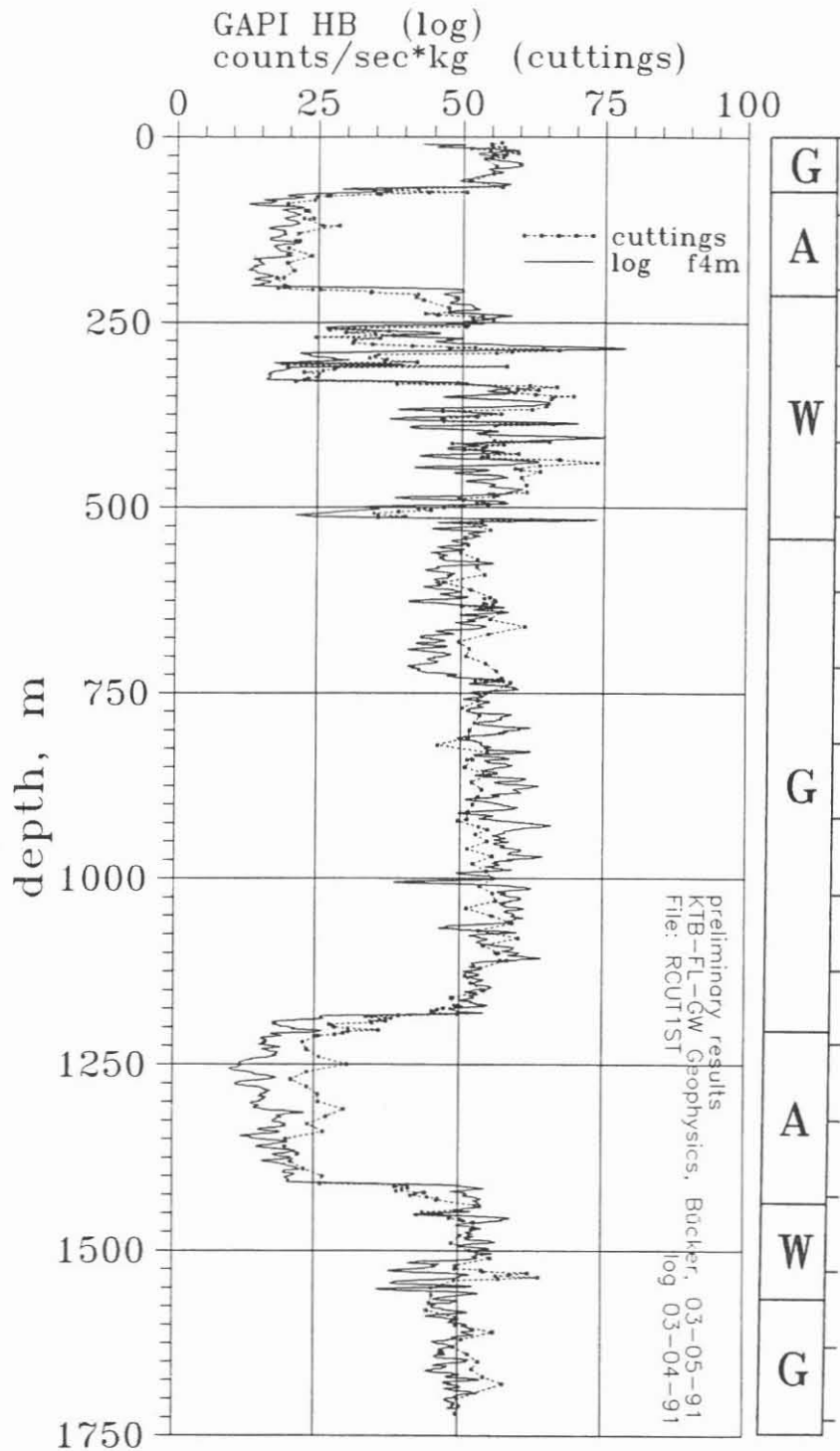


Abb. D.2.1: Teufenlog der spezifischen Zählrate von Cuttings (Gamma-ray). Zum Vergleich ist die Gamma-ray Bohrlochmessung (KTB Referat Bohrlochmessungen) mit eingezeichnet. Die Bohrlochmessung wurde über 4 m gleitend gemittelt. Unterschiede zwischen Bohrloch- und Cutting-Messungen sind im Text erläutert.

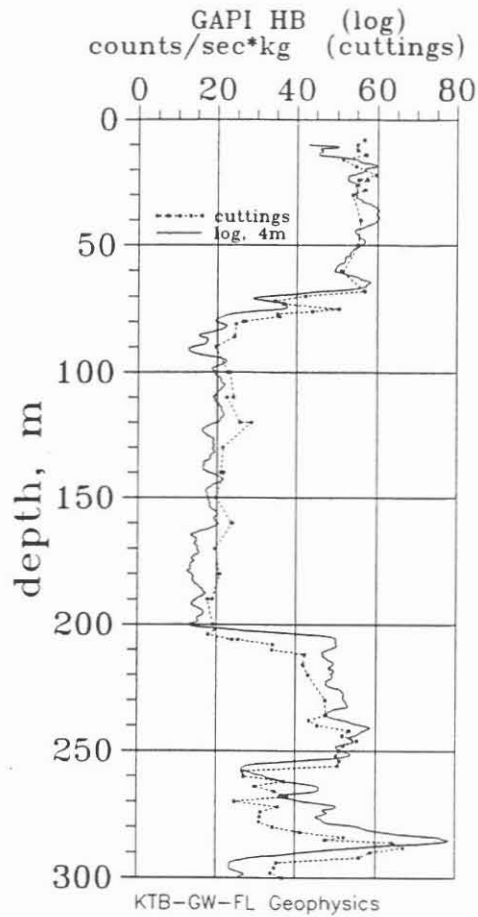


Abb. D.2.2: Ausschnitt aus dem Gamma-ray Teufenlog, Teufenbereich 0 - 300 m. Der Teufenversatz zwischen Bohrloch- und Cuttings-Messungen beträgt bei 209 m bis zu 6m.

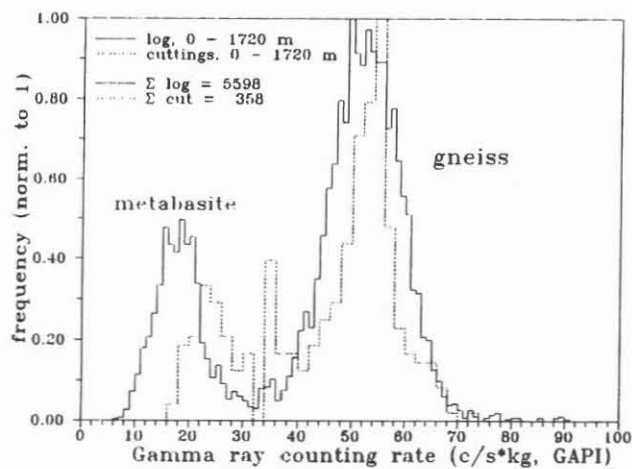


Abb. D.2.3: Häufigkeitsverteilungen der Gamma-ray Cuttings- und Bohrlochmessungen. Die beiden Maxima können den lithologischen Einheiten Metabasite und Gneise zugeordnet werden. Das Zwischenmaximum ist artefiziell.

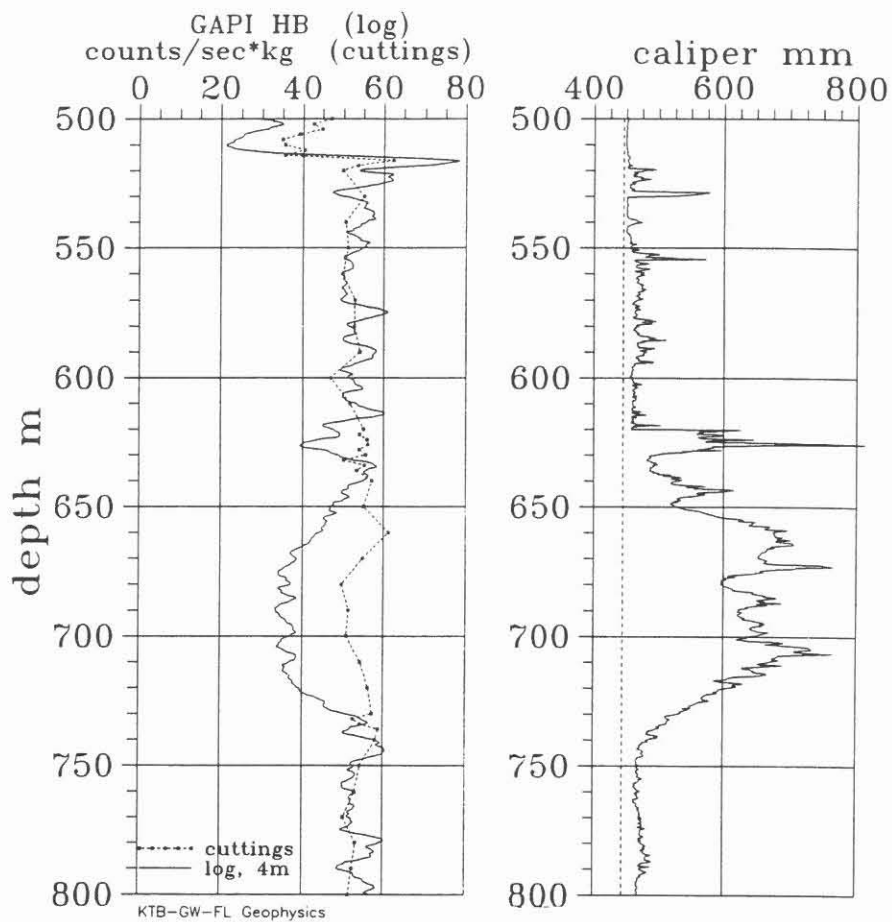


Abb. D.2.4: Ausschnitt aus dem Gamma-ray Teufenlog im Teufenbereich von 500 - 800 m (linke Seite) und Bohrlochkaliber (KTB Referat Bohrlochmessungen). Die Differenzen zwischen Bohrloch- und Labormessungen im Teufenbereich von 600 - 730 m werden durch die Bohrlochrandausbrüche hervorgerufen.

In Abb. D.2.4 ist der Teufenbereich von 500 - 800 m vergrößert dargestellt. Die gute Übereinstimmung zwischen Bohrloch- und Labormessung bei 530 m belegt, daß hier der Teufenversatz gleich Null ist. Auffallend ist die Amplituden-Differenz zwischen Bohrloch- und Labormessungen im Teufenbereich von 600 - 730 m. Diese Differenz wird durch die starken Bohrlochrandausbrüche und der dadurch bedingten größeren Entfernung Quellen-Detektor hervorgerufen. Im rechten Teil der Abb. D.2.4 ist die Bohrloch-Kalibermessung (KTB Referat Bohrlochmessungen) dargestellt. In dem Teufenbereich von 600 - 730 m ist eine Kalibererweiterung bis über 80 cm zu erkennen. Auch kleinere Kalibererweiterungen zum Beispiel bei 530 m verursachen Minima im Gamma-ray. Dies erschwert die Interpretation der Gamma-ray Messungen. Eine Verbesserung könnte sicherlich durch eine Kaliber-Korrektur der Gamma-ray Bohrloch-Messung erzielt werden.

Der Zusammenhang zwischen Zählrate und Dichte der cuttings ist in Abb. 5 wiedergegeben. Wie zu erwarten, nimmt die Zählrate mit zunehmender Dichte der Gesteine ab, im allgemeinen weisen die Gneise höhere Zählraten auf als die Metabasite (vgl. a. Abb. D.2.3).

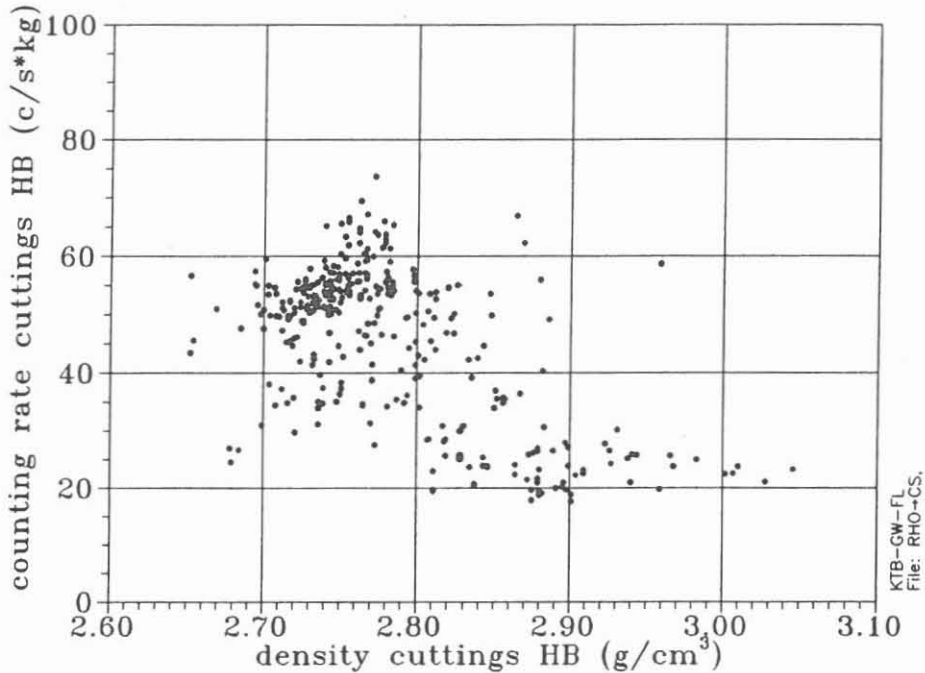


Abb. D.2.5: Zusammenhang zwischen Zählrate und Dichte der Bohrkleinproben. Die Metabasite mit den höheren Gesteinsdichten weisen die niedrigeren Zählraten auf.

Die Ergebnisse der quantitativen Auswertungen der NaJ-Gamma-Spektren hinsichtlich der Kalium-, Uran- und Thorium-Gehalte zeigt Abb. D.2.6. Die Wärmeproduktionsrate A_0 ist mit der Dichte der Cuttings nach der Formel von RYBACH (1976) berechnet. Aus Abb. 6 können mittlere Werte für die Gehalte an Kalium, Uran und Thorium entnommen werden. Die Gneise weisen mittlere Kalium-Gehalte von 2 %, Uran-Gehalte von 2-3 ppm und Thorium-Gehalte von 6 - 12 ppm auf. Die Metabasite haben im Mittel niedrigere Gehalte: Kalium um 1 %, Uran um 1 ppm und Thorium um 2 ppm.

Die kataklastische Störungszone bei 520 m zeichnet sich durch erniedrigte Kalium- und Thorium- Gehalte und erhöhte Uran-Gehalte aus. Das sehr Quarz-arme Plagioklas-Gestein bei 950 m ist durch erniedrigte Kalium-Gehalte gekennzeichnet. Ein signifikanter Unterschied in den Uran- und Thorium-Gehalten in diesem Teufenbereich gegenüber den Gneisen im Hangenden und Liegenden kann nicht erkannt werden. Die Wärmeproduktionsrate liegt im Mittel für die Gneise zwischen 1 - 2 μWm^{-3} und für die Metabasite um 0.5 μWm^{-3} , in guter Übereinstimmung mit den Werten aus der Vorbohrung (vgl. SOFFEL et al., 1991).

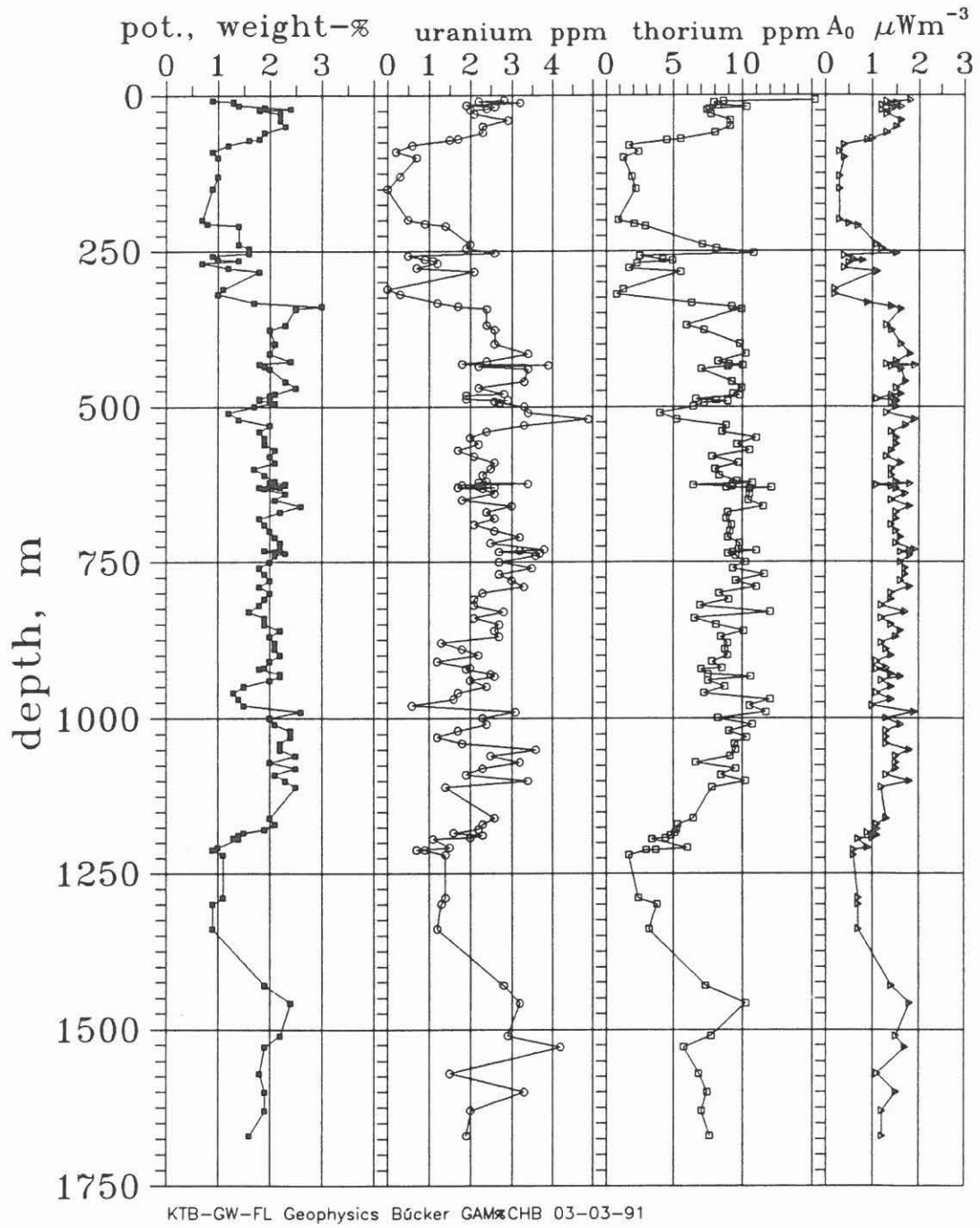


Abb. D.2.6: Kalium-, Uran- und Thorium-Gehalte der Cuttings. Die Wärmeproduktionsrate A_0 in der rechten Spalte ist nach der Formel von RYBACH (1976) berechnet.

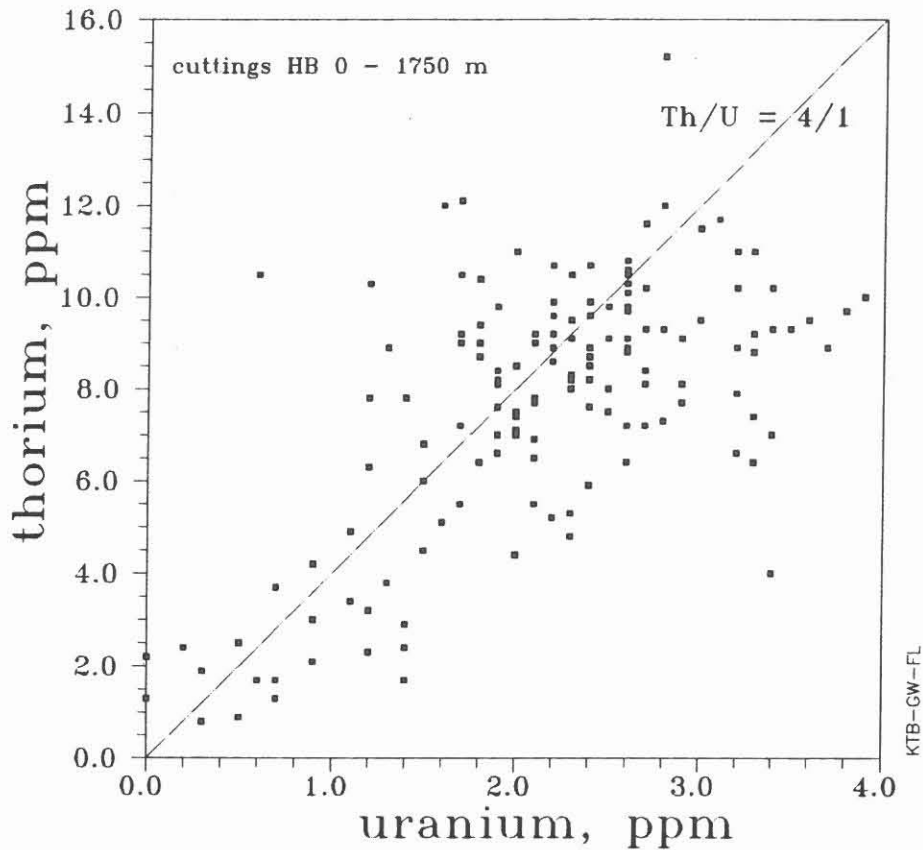


Abb. D.2.7: Zusammenhang zwischen den Thorium- und Uran-Gehalten der Cutting-Proben im Teufenbereich 0 - 1720 m. Die durchgezogene Linie stellt ein Th/U-Verhältnis von 4:1 dar.

Der Zusammenhang zwischen den Thorium- und Uran-Gehalten ist in Abb. D.2.7 dargestellt. Insbesondere im Teufenbereich bis 300 m weicht das Th/U-Verhältnis nur wenig vom dem Mittelwert von 4.0 für granitoide Oberkrustengesteine ab. In diesem Zusammenhang ist interessant, daß im Teufenbereich von 0 - 300 m auch Dichte und Suszeptibilität (vgl. Abschnitt "Suszeptibilität" in diesem Report) sowie Dichte und Zählrate gut korrelieren. Diese Korrelationen sind unterhalb von 300 m nur noch schwach ausgeprägt.

D.3. Magnetische Suszeptibilität

D.3.1. Methodenbeschreibung

Die Suszeptibilitätsmessungen an Cuttings wurden mit dem Meßgerät M.S.2. und dem Sensor M.S.2.B. von der Firma BARTINGTON durchgeführt (siehe BÜCKER et al., 1988). Der auf dem Digital-Display des Meßgerätes abgelesene Meßwert wurde nach Eichkorrekturen durch Multiplikation mit der Proben-dichte und Division durch das Probengewicht in die Volumenssuszeptibilität (kurz Suszeptibilität) in 10^{-3} SI-Einheiten umgerechnet.

Messungen an verschiedenen Stichproben aus der getrockneten Mischfraktion der Korngrößenverteilung $63 \mu\text{m}$ bis $> 5 \text{ mm}$ (Probe HC58, ca. 58 m Teufe) ergaben stark schwankende Ergebnisse (Abb. D.3.1.). Aus der Mischprobe durch Trockensiebung abgetrennte Fraktionen $< 2 \text{ mm}$ und $> 2 \text{ mm}$ wurden ebenfalls stichprobenartig vermessen. Es ergaben sich bei der Grobfraktion ($> 2 \text{ mm}$) die beste Reproduzierbarkeit und höhere und stärker streuende Suszeptibilitäten in der Feinfraktion (Abb. D.3.1.). In der Abbildung D.3.2. sind die Ergebnisse an Fraktionen $> 1 \text{ mm}$ und $< 1 \text{ mm}$ aus einer weiteren Mischprobe (HC42, ca. 42 m Teufe) dargestellt. Hier streuen die Ergebnisse der gröberen Fraktion ($> 1 \text{ mm}$) noch recht stark, stärker als die Ergebnisse der Grobfraktion $> 2 \text{ mm}$ aus der Probe HC58.

In beiden Beispielen liegen die Suszeptibilitäten der feineren Fraktion höher und streuen stärker. Dies ist möglicherweise bedingt durch erhöhten Gehalt an metallischem Abrieb

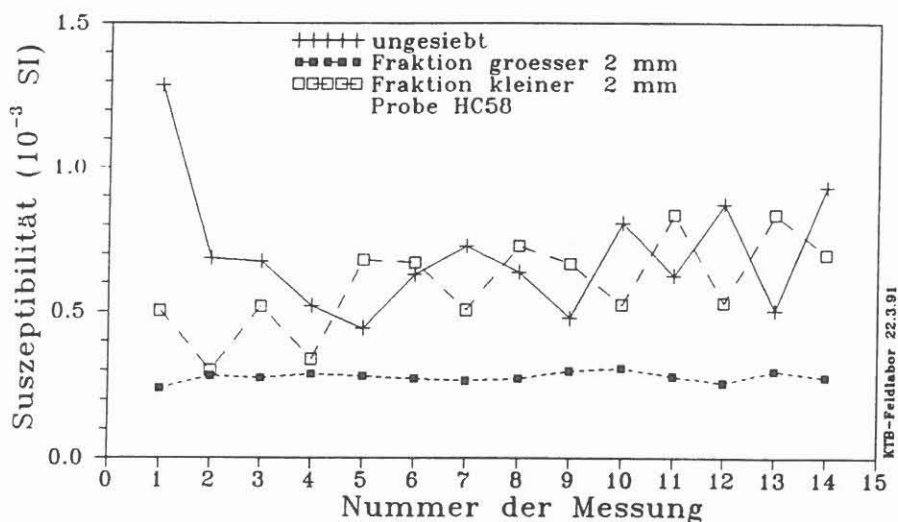


Abb. D.3.1.: Messungen an verschiedenen Stichproben (je $\approx 10 \text{ g}$) der Cuttingsprobe HC58 (ca. 58 m Teufe). Die ungesiebte Originalprobe ($63 \mu\text{m}$ bis $> 5 \text{ mm}$) wurde ebenso vermessen wie abgesiebte Fraktionen größer und kleiner als 2 mm. Die beste Reproduzierbarkeit und geringste Streuung zeigt die Grobfraktion (größer 2 mm).

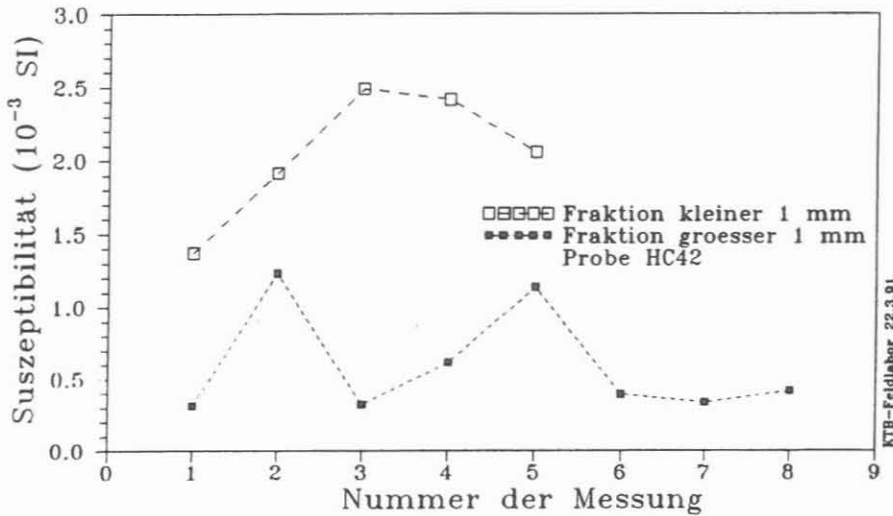


Abb. D.3.2.: Messungen an verschiedenen Stichproben (je ≈ 10 g) der Cuttingsprobe HC42 (aus ca. 42 m Teufe). Die Originalprobe ($63 \mu\text{m}$ bis $> 5 \text{ mm}$) wurde in 2 Fraktionen größer und kleiner als 1 mm getrennt. Hier streuen die Ergebnisse der Grobfraction $> 1 \text{ mm}$ noch relativ stark im Vergleich zu denen der Fraktion $> 2 \text{ mm}$ (Abb. D.3.1.).

vom Bohrwerkzeug und Bohrgestänge, der sich in der Feinfraktion anhäuft. Aus den Ergebnissen dieser Versuche an verschiedenen Korngrößenfraktionen ließ sich die Forderung nach möglichst grobem Material ableiten. Im Routine-Meßbetrieb wurde daher aus der Mischprobe zunächst eine Grobfraction ($> 2 \text{ mm}$) durch Trocken-Siebung abgetrennt und danach an dieser Fraktion die Suszeptibilität an 5 Stichproben (je $\approx 10 \text{ g}$) bestimmt.

D.3.2. Ergebnisse

Das Log der magnetischen Suszeptibilität ist in der Abbildung D.3.3. gezeigt, zusammen mit einem stark vereinfachten lithologischen Profil. Die höchsten gemessenen Suszeptibilitäten (bis 10^{-2} SI) liegen in der bunten Wechselfolge zwischen HC400 und HC520. Beide Amphibolit-Pakete zeigen nur schwach erhöhte Suszeptibilitäten. Ein lokales Maximum um HC1100 ist in Gneisen gemessen worden. Ähnlich hohe Suszeptibilitäten wie in der Vorbohrung (bis zu 0.1 SI , BÜCKER et al., 1990) sind bisher in der Hauptbohrung nicht aufgetreten.

In der Gegenüberstellung der Dichte gegen die Suszeptibilität (Abb. D.3.4.) zeichnen sich hohe Dichten durch relativ geringe Suszeptibilitäten aus. Eine Trennung der gesamten Daten in Gneis- und Amphibolit-Bereiche und in Bereiche der Wechselfolgen (gemäß der Lithosäule in Abb. D.3.3.) ordnet den Amphiboliten den Bereich erhöhter Dichten und wenig erhöhter Suszeptibilitäten zu. Die höheren Suszeptibilitäten erscheinen bevorzugt bei relativ geringen Dichten (zwischen

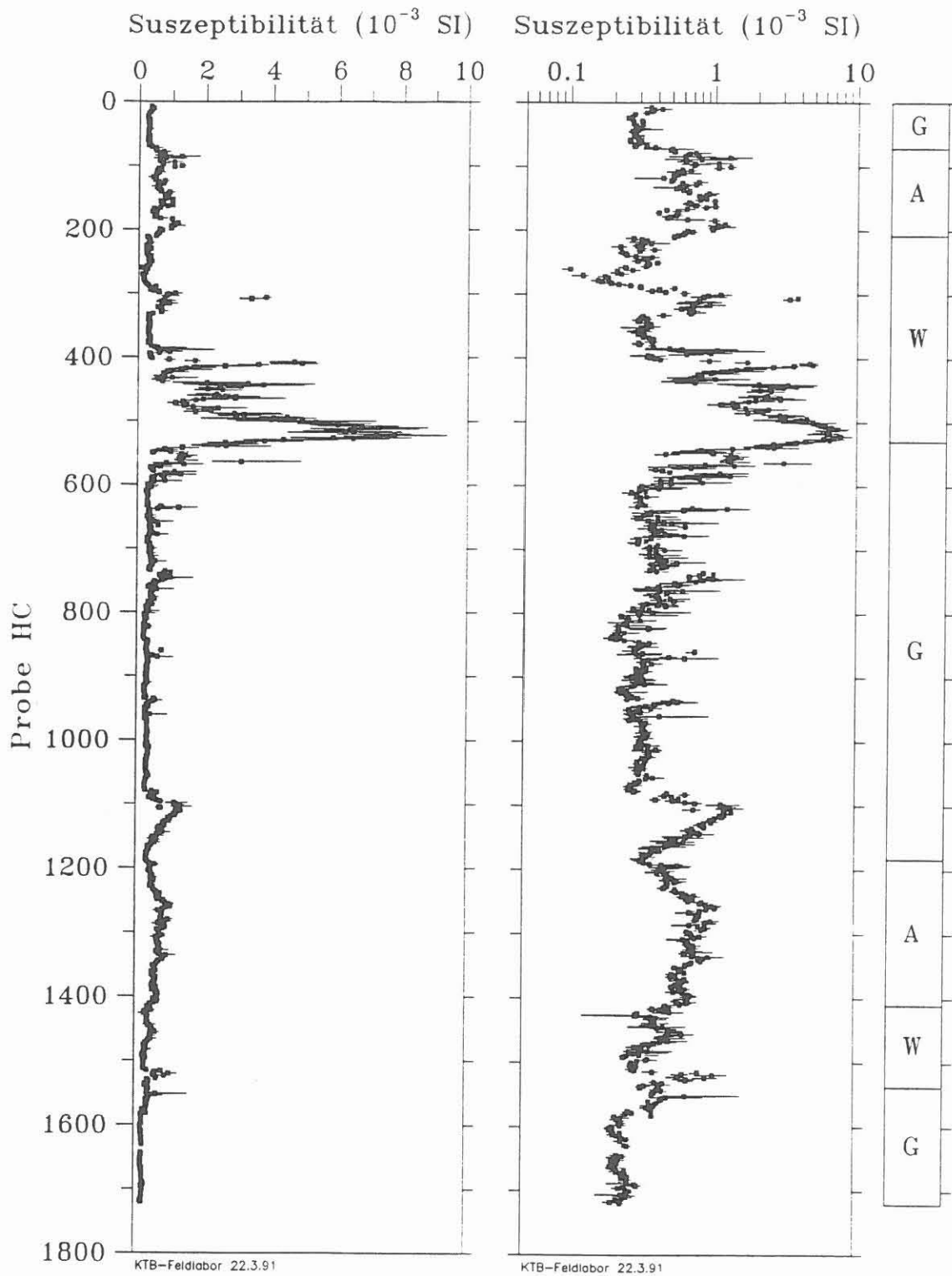


Abb. D.3.3.: Log der magnetischen Suszeptibilität, gemessen an jeweils 5 Stichproben einer Probe (Grobfraktion > 2 mm). Dargestellt ist das arithmetische Mittel der Einzelmessungen und die Variation vom kleinsten zum größten Meßwert, sowohl in linearer, als auch in logarithmischer Teilung. Rechts ein sehr stark vereinfachtes lithologisches Profil (G=Gneis, A=Amphibolit, W=Wechselfolge).

2.75 g/cm³ und 2.85 g/cm³) in den Gneisen und in Gesteinen der Wechselfolgen.

Das Histogramm der Häufigkeitsverteilung in der Abbildung D.3.5. zeigt ein deutliches Maximum der Häufigkeitsverteilung um 0.3*10⁻³ SI und ein Nebenmaximum bei 0.7*10⁻³ SI. Durch die Datentrennung kann das Hauptmaximum den Gneisen und das Nebenmaximum den Amphiboliten zugeordnet werden. Deutlich wird auch, daß Suszeptibilitäten > 1*10⁻³ SI kaum in den Amphiboliten meßbar waren.

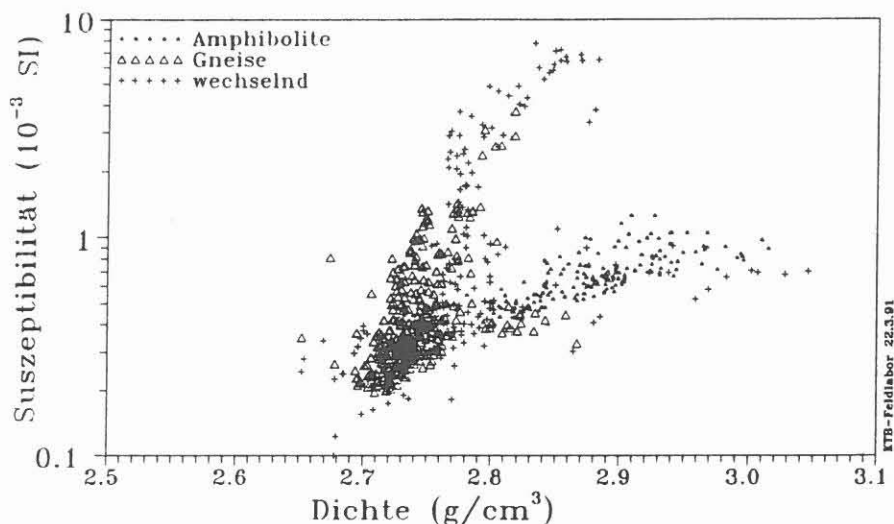


Abb. D.3.4.: Crossplot Dichte gegen Suszeptibilität. Die Mittelwerte aller Messungen im Teufenbereich 8 m bis 1720 m sind in die 3 Hauptgesteinseinheiten (siehe lithologisches Profil der Abb. D.3.2.) getrennt und gegeneinander dargestellt.

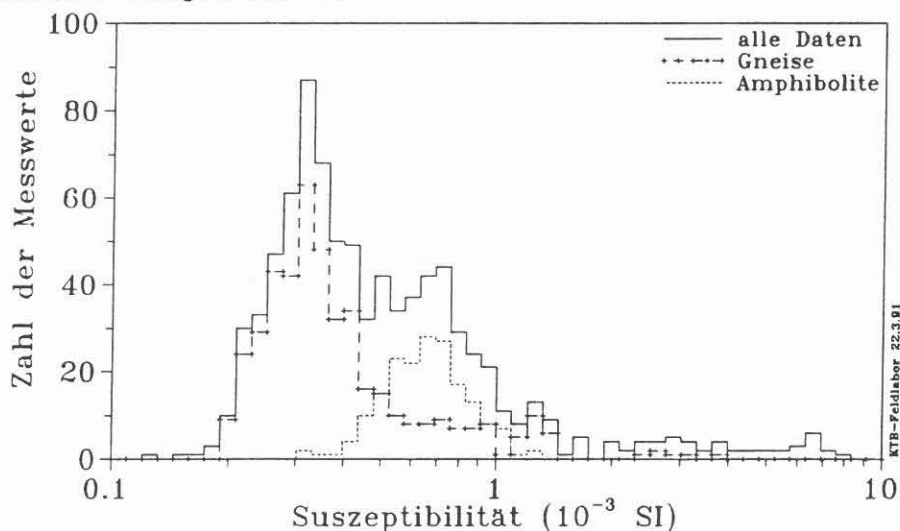


Abb. D.3.5.: Häufigkeitsverteilung der magnetischen Suszeptibilität (Mittelwerte aus allen Einzelmessungen zwischen 8 m und 1720 m, zusätzlich abgetrennt sind Bereiche mit Gneisen und Amphiboliten). Das Suszeptibilitätsintervall von (0.1 bis 10) * 10⁻³ SI wurde logarithmisch in 50 Intervalle zerlegt.

D.4 Wärmeleitfähigkeit

D.4.1 Meßmethode

Die Wärmeleitfähigkeit (WLF) wird in der Hauptbohrung an Bohrklein gemessen. Das Meßprinzip der Halbraum-Linienquelle (HLQ), das sich bei den Kernmessungen der Vorbohrung bewährt hat, ist beibehalten worden: Aus der Aufheizkurve einer zylindrischen Quelle, die in einen thermischen Isolator eingebettet ist, wird die WLF des Halbraums berechnet (RAUEN et al., 1988; HUENGES et al., 1990).

Bohrklein der Fraktion $63 \mu - 2 \text{ mm}$ wird mit Wasser vermischt. Mit dieser feineren Fraktion kann eine dichtere Raumpackung erreicht werden. Mit einem Druck von 20 bis 40 bar wird über die HLQ das überschüssige Wasser herausgepreßt (Abb. D.4.1). Die anschließende Messung dauert 100 Sekunden. Während des Temperaturangleichs wird jede Messung ausgewertet. Routinemäßig werden sieben Messungen alle 10 m durchgeführt.

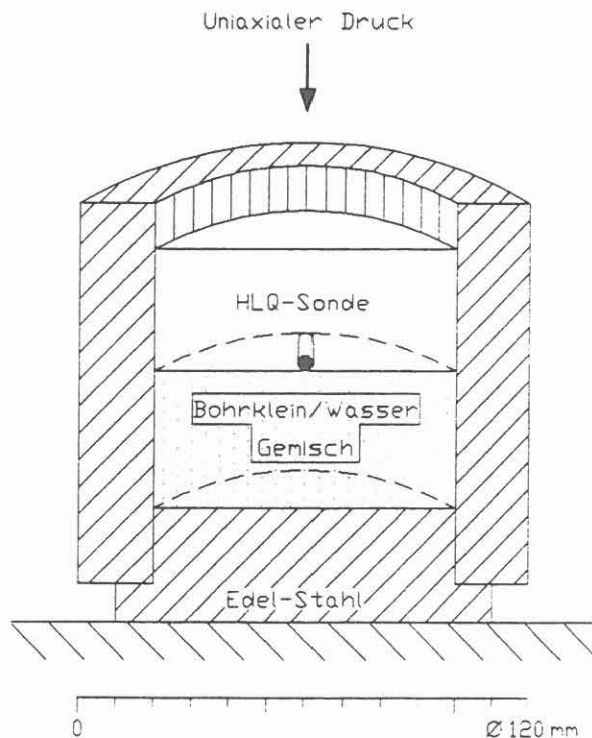


Abb. D.4.1: Meßapparatur zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit der Halbraum-Linienquelle an einem Bohrklein-Wasser-Gemisch

D.4.2 Auswertung

Die Aufheizkurve wird wie bei den Messungen an Kernen der Vorbohrung ausgewertet (HUENGES et al., 1990). Das Ergebnis einer Messung an Bohrklein stellt das geometrische Mittel der Wärmeleitfähigkeiten eines zwei-Phasen-Gemisches dar (SASS et al., 1971):

$$k_g = k_r^{1-\Phi} * k_w^{\Phi} \quad (1)$$

k_g - WLF gemessen
 k_r - WLF Gestein
 k_w - WLF Wasser (0.6 W/m/K)
 Φ - Volumenanteil Wasser ($\approx 35\%$)

Über die verwendeten Massen und Dichten von Wasser und Bohrklein läßt sich die Gesteins-WLF berechnen:

$$k_r = k_g * (k_g / k_w) ** (m_w * d_r / m_r / d_w) \quad (2)$$

m_w - Masse Wasser
 d_w - Dichte Wasser
 m_r - Masse Gestein
 d_r - Dichte Gestein

D.4.3 Berechnung der WLF aus Modalbestand

Ebenfalls über das geometrische Mittel kann die Matrix-WLF aus den Werten gesteinsbildender Minerale berechnet werden (SASS et al., 1971):

$$k_r = k_1^{\Phi_1} * k_2^{\Phi_2} * \dots * k_n^{\Phi_n} \quad (3)$$

Φ_i - Volumenanteil eines Minerals
 k_i - WLF des Minerals

Tabelle D.4.1 zeigt die Werte der WLF für die zehn wichtigsten gesteinsbildenden Minerale der KTB.

Mineral	Dichte g/cm ³	Wärmeleitfähigkeit W/m K
Quarz	2.67	6.60
Chlorit	2.95	5.14
Amphibol	3.15	3.12
Kalifeldspat	2.58	2.49
Pyrit	5.02	19.2
Biotit	2.86	1.73
Granat	4.0	3.55
Plagioklas	2.68	2.31
Hellglimmer	2.8	2.32
Sillimanit	3.25	9.1

Tabelle D.4.1: WLF-Werte der zehn wichtigsten gesteinsbildenden Minerale für KTB (HUENGES et al., 1990)

D.4.4 Ergebnisse

Erste Messungen an einem mit dem Backenbrecher gebrochenem Eichkörper (Macor), dessen Homogenität und Isotropie bekannt sind, zeigen sehr gute Übereinstimmung mit dem Sollwert. Der Einfluß des Wassers kann also mit dem Gleichung (2) zugrunde liegenden Modell vollständig eliminiert werden. Anhand dieses Eichkörpers werden Einflüsse von Anpreßdruck, Fraktion, Wasseranteil, etc. untersucht. Ergebnisse von Messungen an zermahlenden Kernen der Vorbohrung stimmen bei isotropen Amphiboliten mit den vorher am Kern gemessenen Werten überein. Bei Messungen an zermahlenden anisotropen Gneisen spiegeln die Ergebnisse das geometrische Mittel der drei Hauptachsen der WLF gut wider.

Durch Umrechnung der Ergebnisse der Modalanalyse von Gewichtsprozent in Volumenprozent ist die Matrix-WLF alle 2 m mit Gleichung (3) berechnet worden. Die Bohrkleinproben wurden alle 10 m nach dem oben beschriebenen Verfahren vermessen und ausgewertet. Abbildung D.4.2 zeigt den Vergleich zwischen gemessener und berechneter WLF. Die Werte korrelieren gut ($r=0.85$), wobei die gerechnete WLF durchschnittlich 10% über der gemessenen liegt. Bei ähnlichen Vergleichen in der Vorbohrung (HUENGES et al., 1989) lag diese Differenz bei 20%. Einflüsse der Gesteinsstruktur, die bei der Berechnung der WLF aus dem Modalbestand nicht berücksichtigt werden, spielen bei Messungen an Bohrklein offensichtlich eine geringere Rolle.

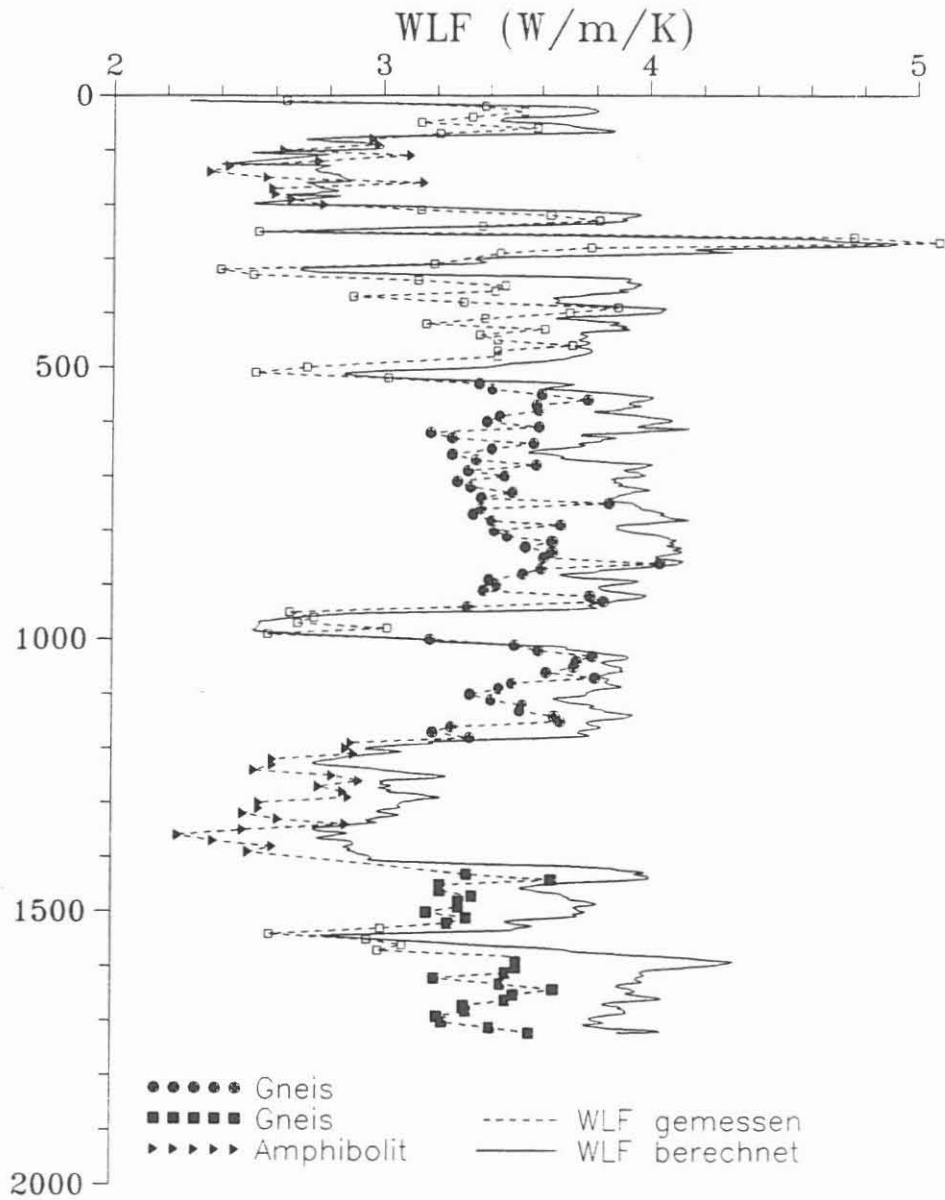


Abb. D.4.2: Gemessene und aus Modalbestand berechnete WLF

	Vorbohrung		Hauptbohrung	
	Teufe [m]	WLF [W/m/K]	Teufe [m]	WLF [W/m/K]
Gneis	530-990	3.7 ± 0.5	530-1180	3.5 ± 0.2
Amphi- bolit	1160-1610	2.6 ± 0.4	80- 200	2.7 ± 0.2
Gneis	1610-2480	3.3 ± 0.5	1190-1390	
			1430-1720	3.4 ± 0.1

Tabelle D.4.2: Mittelwerte vergleichbarer Gesteine aus der Hauptbohrung und der Vorbohrung

In Tabelle D.4.2 sind die Durchschnittswerte für vergleichbare Gesteinsverbände der Vorbohrung und der Hauptbohrung aufgeführt. Sie zeigen innerhalb der Fehlergrenzen gute Übereinstimmung.

D.4.5 Zusammenfassung

Die Übertragung der Linienquellenmethode für Festkörper auf Messungen an einem Bohrklein-Wasser-Gemisch kann als erfolgreich betrachtet werden. Dabei entwickelt sich die HLQ immer mehr zu einer echten Alternative zu den zeitaufwendigen stationären Meßverfahren. Die Ergebnisse der bisherigen Messungen in der Hauptbohrung repräsentieren das geometrische Mittel der drei Hauptachsen der WLF. Ohne weitere Untersuchungen der Anisotropie an Bohrkernen ist die Berechnung der Vertikalkomponente der WLF - wichtig für Temperaturprognosen - unsicher. Durch die große Datenmenge wird ein statistisch sinnvoller Vergleich zu den aus dem Mineralbestand berechneten WLF-Werten möglich.

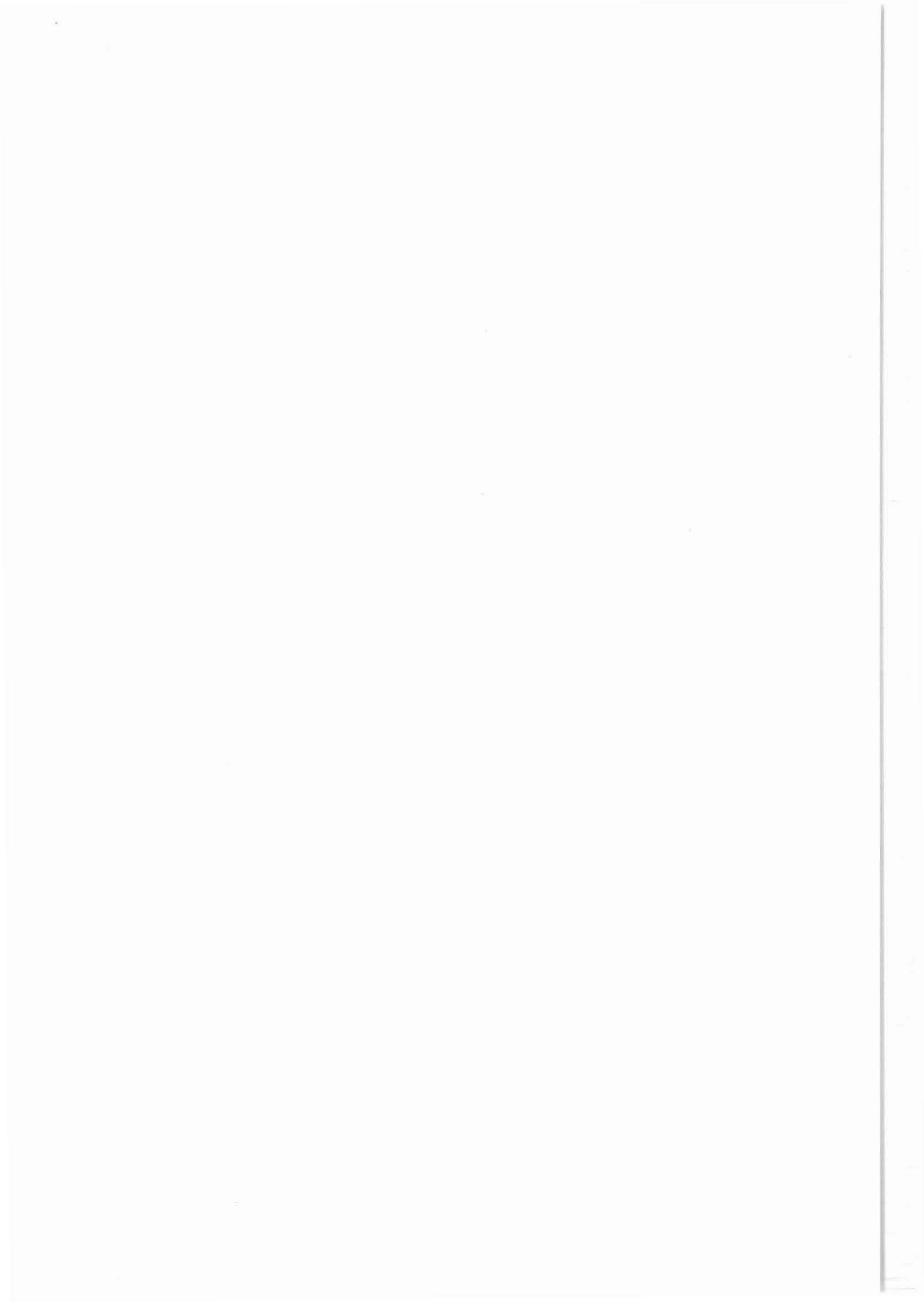
D.5 Literaturverzeichnis

- BÜCKER, Ch., EIGNER, K.-H., RAUCH, E., RAUEN, A., WIENAND, J. & K.E. WOLTER (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich 0-480 m.- D. Geophysik. In: Emmermann, Dietrich, Heinisch, Wöhrl (Hrsg.), KTB-Report 88-1: D1-D42, NLFb, Hannover.
- HUENGES, E., BÜCKER, Ch., WOLTER, K.E., WIENAND, J., RAUEN, A. & E. LIPPMANN (1989): Deep Drilling KTB-Oberpfalz VB, Results of the Geoscientific Proceedings in the KTB-Laboratory; Depth Interval: 1709 - 2500 m.- D. Geophysik.- In: Emmermann, Dietrich, Heinisch, Wöhrl (Hrsg.), KTB-Report 89-2, D1-D83, Hannover.
- HUENGES, E., BURKHARDT, H. & ERBAS, K. (1990): Thermal Conductivity Profile of the KTB Pilot Corehole. Scientific Drilling, 1, 224-230.
- KNOLL, G.F. (1989): Radiation Detection and Measurement.- John Wiley & Sons, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore.
- KUNZE, H.-J. (1986): Physikalische Meßmethoden. B.G. Teubner, Stuttgart.
- GLADNEY, S. & ROELANDTS, I. (1988): 1987 Compilation of Elemental Concentration Data For USGS BHVO-1, MAG-1, QLO-1, RGM-1, SCo-1, SDC-1, SGR-1 and STM-1.- Geostandards Newsletter, Vol. 12, No. 2.
- HAAK, U., GOHN, E., BÜCKER, Ch. and G. ZOTH (1990): Radiogenic heat production measured by laboratory and bore hole methods, a comparison.- Scientific Drilling, 1, 211-216.
- RAUEN, A., LIPPMANN, E., HUENGES, E., BÜCKER, Ch., WIENAND, J. & K.E. WOLTER (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530 m: D. Geophysik.- In: Emmermann, Dietrich, Heinisch, Wöhrl (Hrsg.), KTB-Report 88-6: D1-D60, Hannover.
- RYBACH, L. (1976): Radiogenic heat production: a physical property determined by the chemistry of rocks. In: Strens, R.G.J. (ed.): The physics and chemistry of rocks. Wiley & Sons, London, pp. 309-318.
- SASS, J., LACHENBRUCH, A. & MUNROE, R. (1971): Thermal Conductivity of Rocks from Measurements on Fragments and its Application to Heat-Flow Determinations. JGR, 76, 3391-3401.

- SOBORNOV, O.P. & ZOLOTUKHINA, T.M. (1987): Radioelements in Standard Samples Pertaining to Magmatic Rocks Included in the Single System of the USSR State Standard Samples (According to Gamma-Spectrometric Data).- Geostandards Newsletter, Vol. 11, No. 1.
- SOFFEL, H.C., BÜCKER, CH., GEBRANDE, H., HUENGES, E., LIPPMANN, E., POHL, J., RAUEN, A. SCHULT, A., STREIT, K.M. and WIENAND, J. (1991): Physical Properties Measured on Cores and Cuttings from the Pilot Well (0 - 4000.1 m) of the German Continental Deep Drilling Program (KTB) in the Oberpfalz Area, Bavaria, Federal Republic of Germany.- Surveys in Geophysics, in press.
- STEELE, T.W., WILSON, A., GOUDVIS, R., ELLIS, P.J. and A.J. RADFORD (1978): Trace Element Data (1966-1977) for the SIX "NIMROC" Reference Samples.- Geostandards Newsletter, Vol. 2, No. 1.
- WIENAND, J., RAUEN, A., HUENGES, E., BÜCKER, Ch. & K.E. WOLTER (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich 3000 - 3500 m: D. Geophysik.- In: Emmermann, Dietrich, Heinisch, Wöhrli (Hrsg.), KTB-Report 89-5, D1-D50, NLfB, Hannover.

E. Felsmechanik

Th. Röckel
O. Natsu



KTB-Report	91-3	E1-9	6 Abb.	Hannover 1991
------------	------	------	--------	---------------

Tiefbohrung Oberpfalz HB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 0 bis 1720 m

E Felsmechanik

Punktlastversuche; Vorarbeiten und erste Ergebnisse

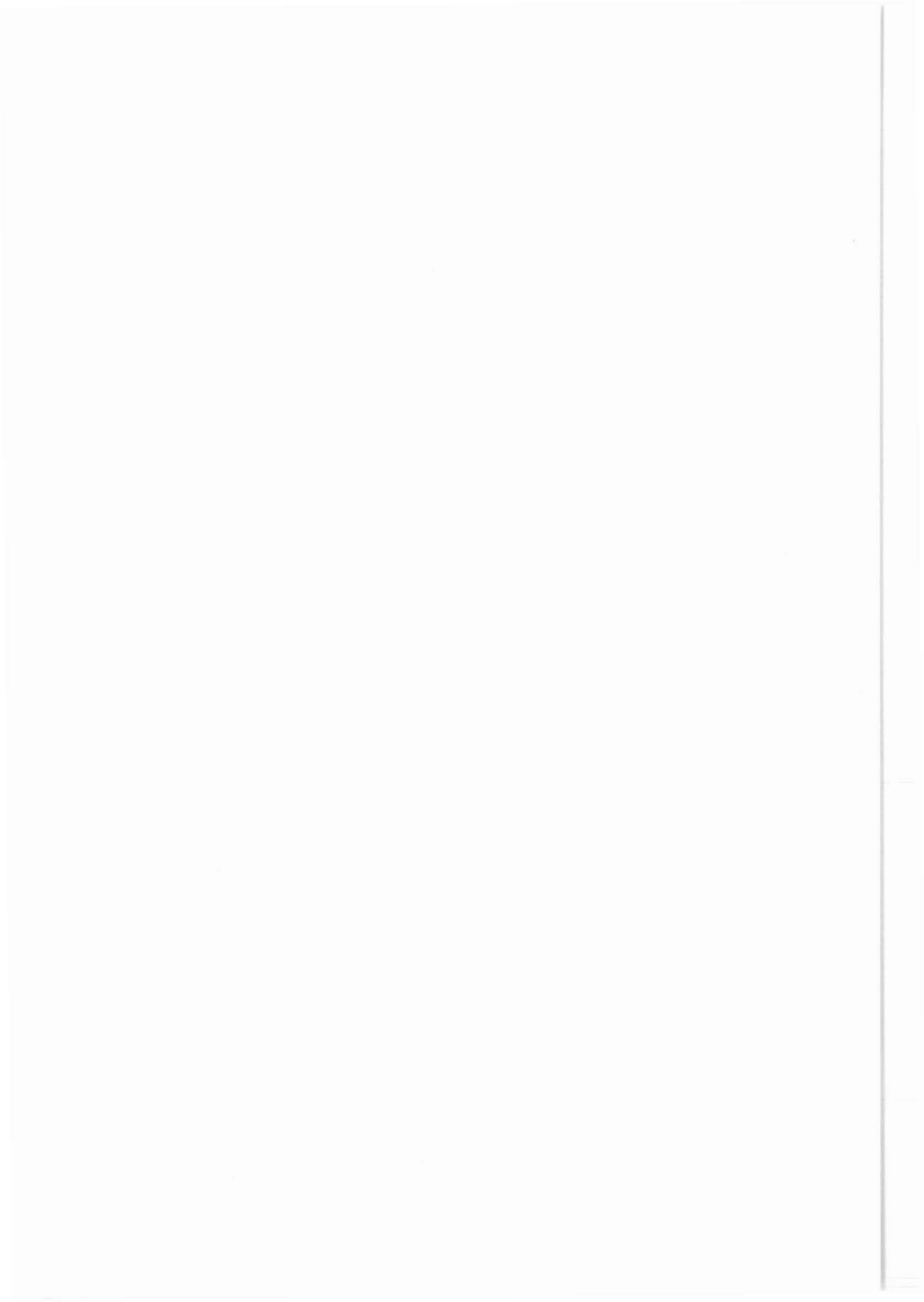
RÖCKEL, Th.* und NATAU, O.**)

Inhaltsverzeichnis	Seite
E.1 Allgemeines	E. 3
E.2 Versuchsdurchführung	E. 4
E.3 Vorversuche an Material der KTB-Vorbohrung	E. 5
E.4 Erste Untersuchungen an Material der KTB-Hauptbohrung im Testintervall 0 m bis 600 m	E. 6
E.5 Ausblick für weitere Arbeiten	E. 9
E.6 Literaturverzeichnis	E. 9

Anschriften der Verfasser)

* KTB-Feldlabor, D-8486 Windischeschenbach

** Lehrstuhl für Felsmechanik
Institut für Boden- und Felsmechanik
Universität (TH) Fridericiana Karlsruhe
7500 Karlsruhe



E.1 Allgemeines

In der KTB-Hauptbohrung sind bis zu einer Teufe von 4000 m bisher keine Bohrkerne vorgesehen. Es ist somit nicht möglich, einaxiale Druckfestigkeitsversuche und indirekte Zugfestigkeitsversuche durchzuführen. Um dennoch Anhaltspunkte über das festigkeitsmechanische Verhalten des Gebirges zu bekommen, sind Punktlastversuche geplant. Diese liefern Anhaltspunkte für das festigkeitsmechanische Verhalten der Gesteine und sind für die Bohrlochstabilität und weitere bohrtechnische Fragestellungen von großer Bedeutung.

Zur Bestimmung der Punktlastfestigkeiten sind keine vollständigen Bohrkerne notwendig, sie können auch an Gesteinsbruchstücken ermittelt werden. Da die Probengröße (Cuttings) beim Einsatz von Rollenmeißeln beschränkt ist, wurde in Vorversuchen an KTB-Vorbohrungsmaterial getestet, bis zu welcher Probengröße Punktlastversuche durchgeführt werden können.

Zur Untersuchung der Punktlastfestigkeit waren insbesondere Sedimentrohrproben vorgesehen. Aus bohrtechnischen Gründen wurde jedoch bislang auf den Einsatz des Sedimentrohres verzichtet. Zur Untersuchung der Punktlastfestigkeit stand grobstückiges Cuttings-Material und Nachfall aus der Bohrlochwand zur Verfügung (Abb E.1). Diese Material wurde in der "Sandfalle" aufgefangen.

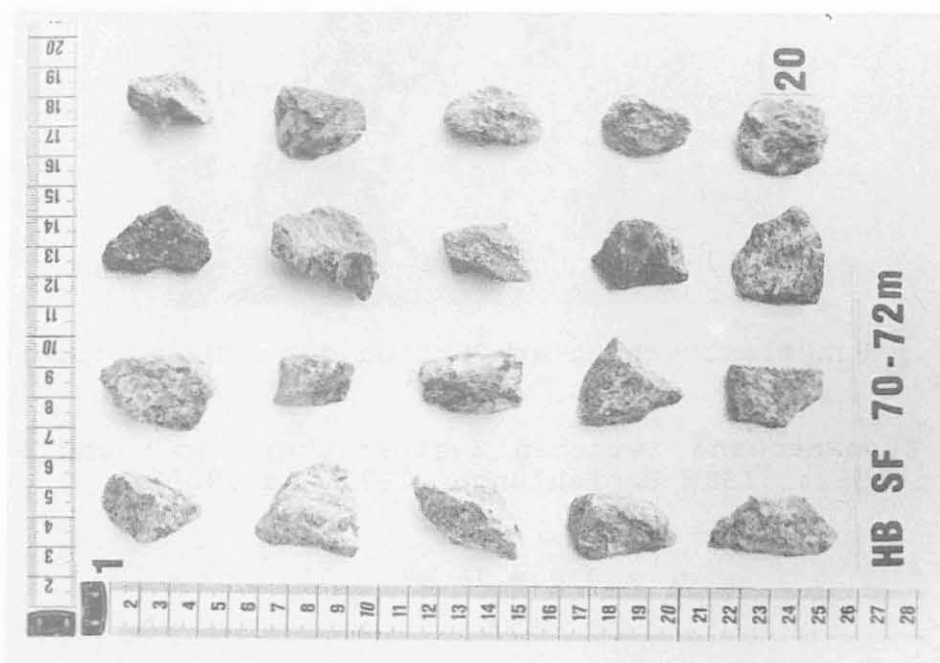


Abb. E.1.: Grobe Cuttings zur Punktlastuntersuchung aus dem Teufenintervall von 70 m bis 72 m.

E.2 Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung

Beim Punktlastversuch werden Bohrkern oder Gesteinsbruchstücke zwischen zwei kegelförmige Spitzen eingespannt und bis zum Bruch belastet (Abb. E.2). Der Punktlastabstand und die Kraft beim Bruch werden ermittelt. Die Punktlastfestigkeit wird auf einen Prüfkörper von 50 mm Durchmesser normiert. Dieser Index-Wert wird als $I_{s(50)}$ Wert bezeichnet.

Theoretische Betrachtungen zeigen, daß die Punktlastfestigkeit ein Maß für die Zugfestigkeit der Gesteine ist (JAEGER&COOK 1969). Darüberhinaus zeigen die Ergebnisse aus Punktlastversuchen auch einen ausreichenden Zusammenhang mit der einaxialen Druckfestigkeit (BIENIAWSKI 1974).

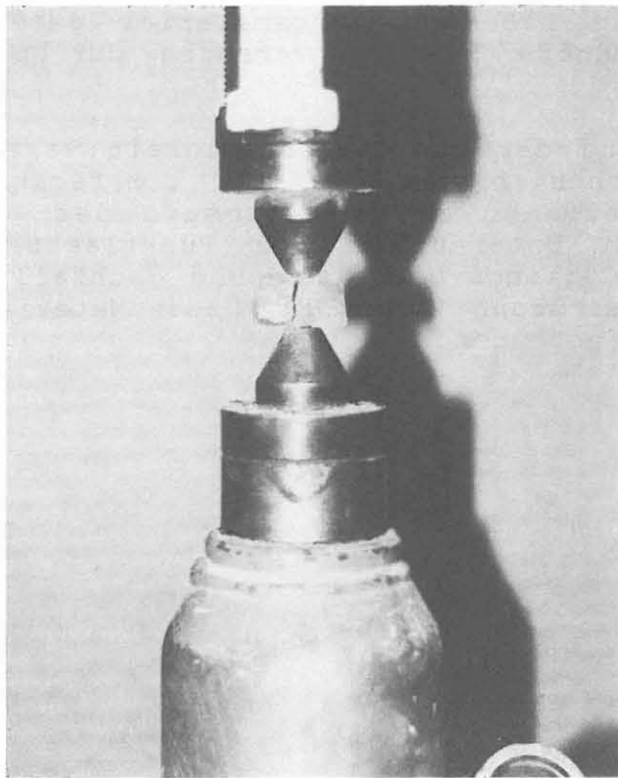


Abb. E.2.: Punktlastversuch an Cutting der KTB-Hauptbohrung

Für den Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit (σ_t) und Punktlastfestigkeit gilt (ISRM-Empfehlungen 1972 und 1985):

$$\sigma_t \times 0,8 = I_{s(50)}$$

Für den Zusammenhang zwischen einaxialer Druckfestigkeit (σ_u) und Punktlastfestigkeit gilt (ISRM-Empfehlungen 1979):

$$\sigma_u = 22 I_{s(50)}.$$

Der Quotient von $\sigma_u/\sigma_t = 18:1$. Über die Aussagefähigkeit der Punktlastversuche gibt folgender Vergleich Auskunft:

In den Metabasiten der KTB Vorbohrung unterhalb von 3575 m betrug das Verhältnis von einaxialer Zylinderdruckfestigkeit zur maximalen bzw. minimalen indirekten Zylinderzugfestigkeiten aus dem Brazilian-Test 19,1 bzw. 25,6. Im Extremfall erreichten die Verhältnisse Werte von 15 bzw. 48 (RÖCKEL&NATAU 1991).

E.3 Vorversuche an Material der KTB-Vorbohrung

Mit Vorversuchen an Probenkörpern der KTB-Vorbohrung sollte festgestellt werden, welche Größe für Probekörper notwendig ist, um noch einen Zusammenhang zwischen Punktlastabstand und Punktlastfestigkeit zu erhalten. Für diese Versuche wurden eine Reihe von Proben mit einem einfachen Feldgerät untersucht.

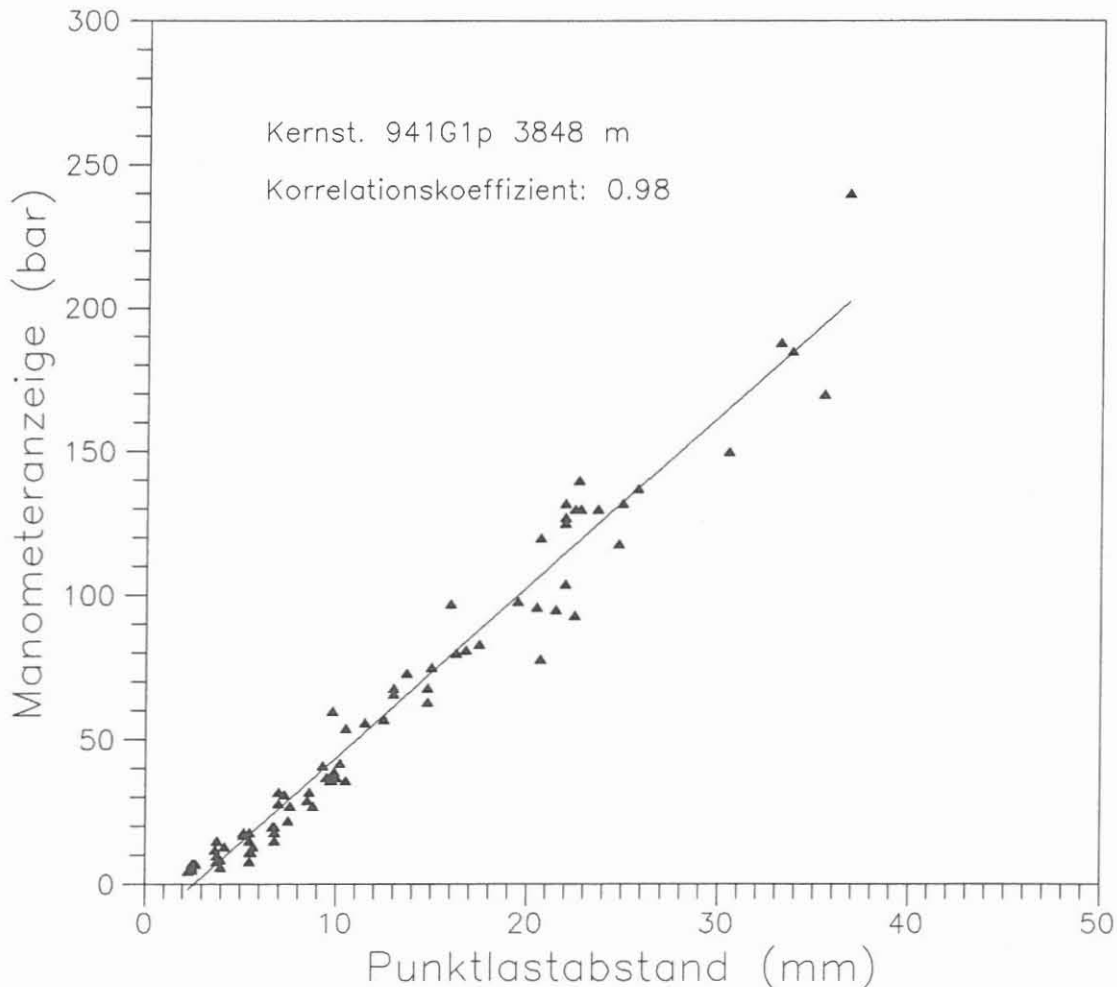


Abb. E.3.: Punktlastfestigkeit in Abhängigkeit vom Punktlastabstand an einer Metabasitprobe aus der KTB-Vorbohrung aus einer Teufe von 3848 m. Der Punktlastabstand korreliert mit der Bruchkraft mit dem Faktor 0,98.

Bei den Metabasiten korrelierte die Punktlastfestigkeit sehr gut mit dem Punktlastabstand. Die Korrelationskoeffizienten lagen bei den Metabasitproben über 0,90. Bei der Probe 941G1p aus einer Teufe von 3848 m lag der Korrelationskoeffizient sogar bei 0,98. An dieser Probe wurden 80 einzelne Punktlastversuche durchgeführt. Der Punktlastabstand reichte von 2,5 mm bis etwa 35 mm (Abb E.3).

Im zweiten Schritt sollte ermittelt werden, wie stark der bohrtechnische Einfluß auf die Proben ist. Aus der KTB-Vorbohrung 1a standen aus diesem Teufenbereich Bohrkerne zur Verfügung während aus der KTB-Vorbohrung 1b im gleichen Teufenintervall Sedimentrohrproben anfielen, die auf ihre Punktlastfestigkeit untersucht werden konnten. Die Sedimentrohrproben aus dem Teufenbereich von 3856 m bis 3871 m wurden gewonnen, als mit einem Rollenmeißel gebohrt wurde. Beim Bohren wurden grobe Cuttings und Nachfall aus der Bohrlochwand und von der Bohrlochsohle, im Sedimentrohr aufgefangen und beim Ausbau des Gestänges an die Erdoberfläche gebracht.

Der Punktlastabstand der Sedimentrohrproben betrug zwischen 3 mm und 7 mm. Die Proben gingen im Mittel bei 208 N zu Bruch. Dies entspricht am Punktlastgerät einer Manometeranzeige von 2,74 bar bezogen auf einen Millimeter Punktlastabstand. Die Punktlastabstände an den Kernproben aus diesem Teufenintervall (Probe 950D3k aus 3869.68 m) betrugen 3 mm bis 45 mm. Die Grenzkraft betrug im Mittel 222 N (2,92 Bar/mm) pro Millimeter Punktlastabstand und war somit den Werten der Sedimentrohrproben ähnlich. Die Punktlastfestigkeit $I_{s(50)}$ berechnet sich aus der Korrelationsgeraden zu 7,0 MPa. Dies entspricht einer indirekten Zugfestigkeit von 8,8 MPa. Verglichen mit den an Probe 950G1p experimentell bestimmten Zugfestigkeiten von 8,5 MPa und 9,6 MPa ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung der experimentell gemessenen indirekten Zugfestigkeit und der aus den Punktlastversuchen errechneten.

E.4 Erste Untersuchungen an Material der KTB-Hauptbohrung im Testintervall 0 m - 600 m

Die ersten Ergebnisse an Material der KTB-Hauptbohrung waren vielversprechend. Der Punktlastabstand betrug bis zu 14 mm. Die Probe HC78 zeigte mit einem Korrelationskoeffizient von 0,78 noch eine deutliche Abhängigkeit der Probenhöhe von der Kraft, die zum Bruch der Probe nötig war (Abb. E.4). Mit zunehmender Teufe wurde die Größe der Cuttings jedoch kleiner und einheitlicher.

Aus diesem Grunde wurde als Maß für die Punktlastfestigkeit der Quotient aus den Mittelwerten der Punktlastabstände und den Mittelwerten der Kräfte beim Bruch einer größeren Probenmenge pro Teufenintervall verwendet. Dieser Quotient wurde gegen die Teufe dargestellt.

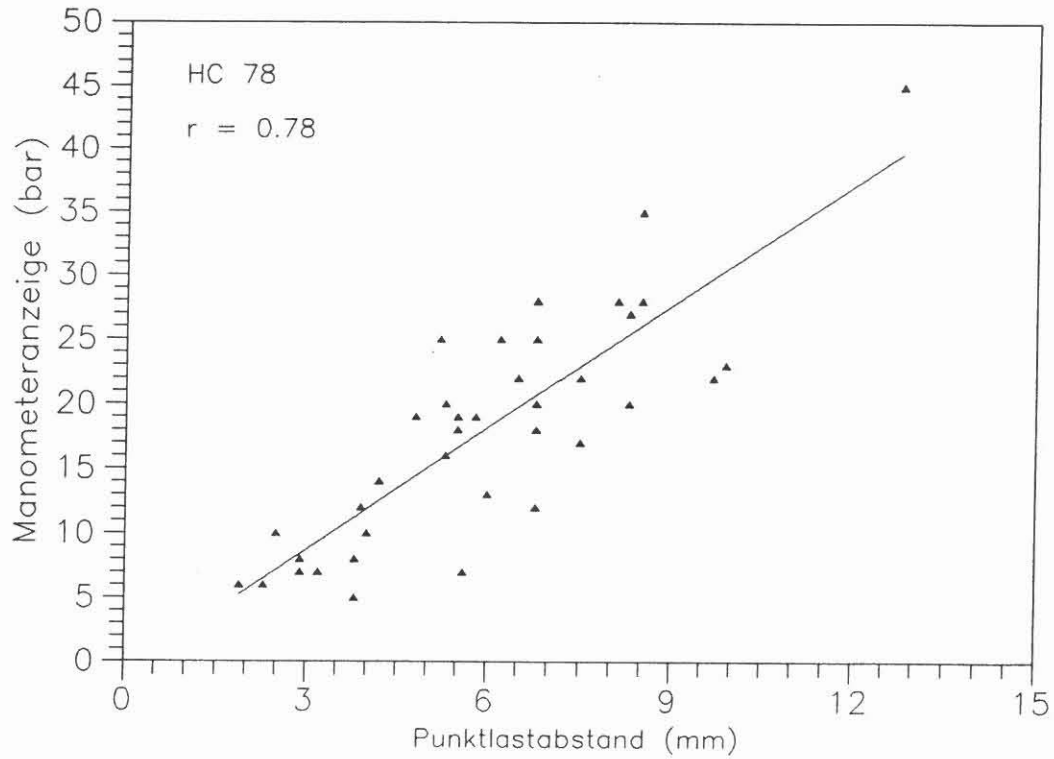


Abb. E.4.: Abhängigkeit der Bruchkraft vom Punktlastabstand bei einer Cuttingsprobe aus einer Teufe von 78 m. Die relativ große Variation der Punktlastabstände ermöglichte es noch eine Korrelation von Punktlastabstand und Bruchkraft vorzunehmen.

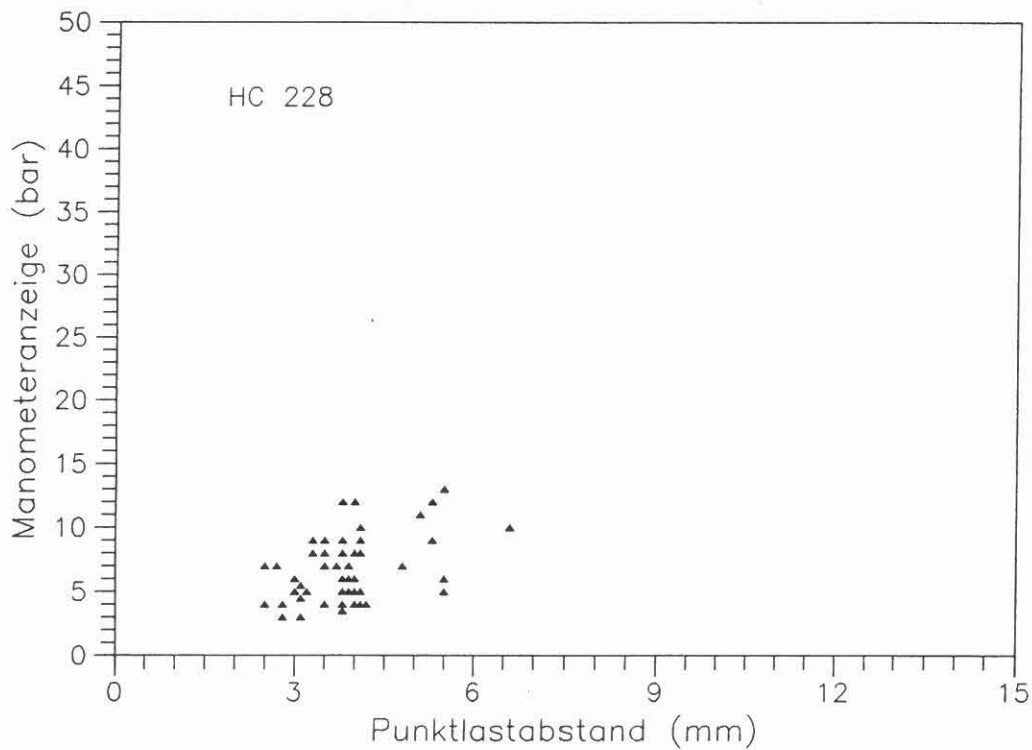


Abb. E.5.: Punktlastabstand gegen Bruchkraft bei Probe HC228

Die höchsten Punktlastfestigkeiten finden sich im untersuchten Teufenintervall in den Metabasiten. In den Biotit-Gneisen sind die Werte geringer. Die niedrigsten Werte wurden in der Kataklysezone zwischen 253 m und 288 m gemessen (Abb. E.6).

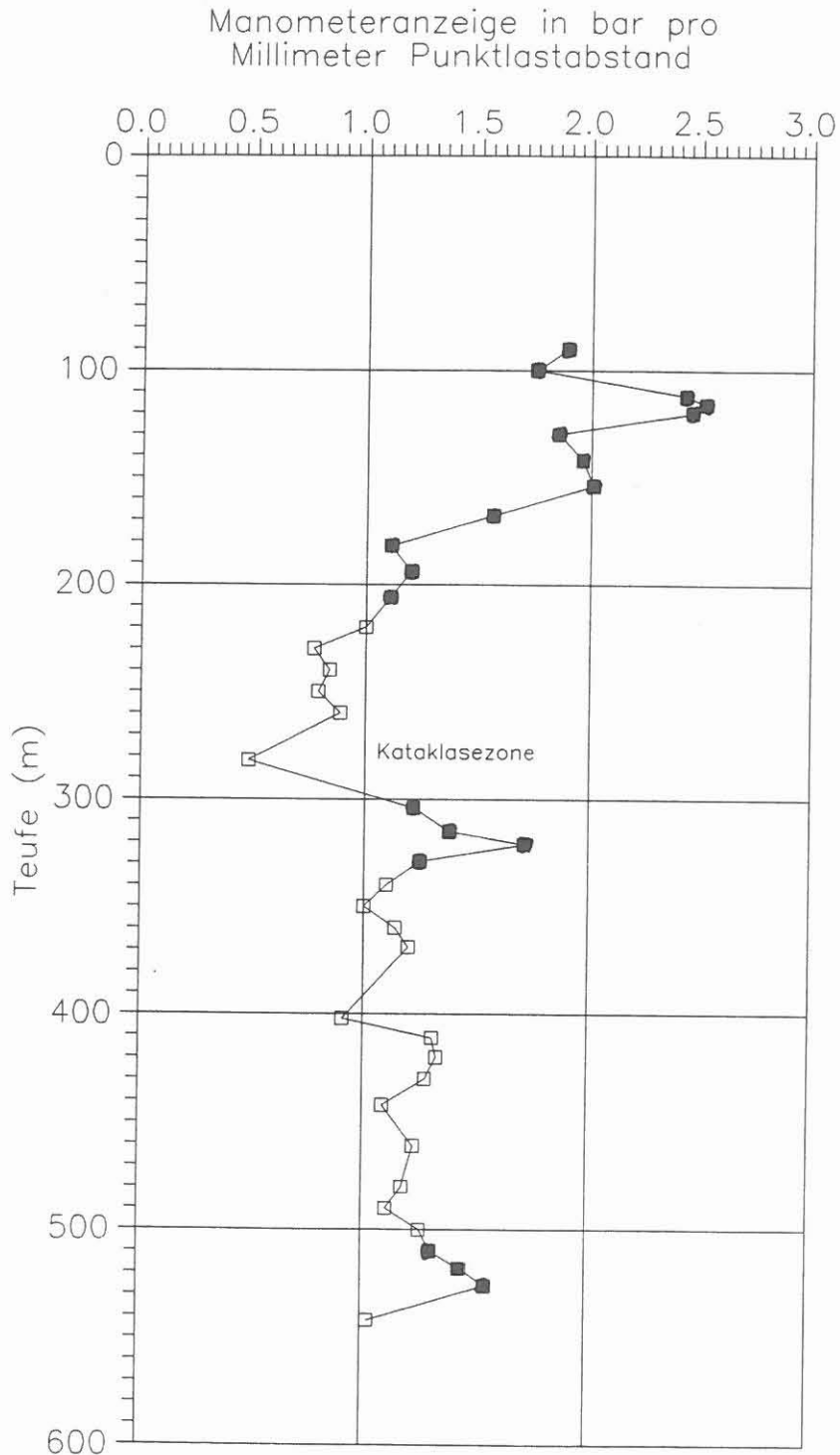


Abb. E.6.: Punktlastfestigkeiten im Testintervall von 0 m bis 600 m. Offene Quadrate = Biotit-Gneise, geschlossenen Quadrate = Metabasite.

E.5 Ausblick für weitere Arbeiten

Während des Abteufens der Hauptbohrung zeigte sich, daß die Cuttings häufig sehr klein waren. Dieses scheint insbesondere dann der Fall zu sein, wenn aus bohrtechnischen Gründen mit geringen Meißellasten gebohrt wird. In diesem Fall ist es nicht mehr möglich, die Proben mit einem einfachen und relativ groben Feldgerät zu prüfen. Nach den ersten und vielversprechenden Versuchen ist es deshalb notwendig, diese Untersuchungen mit einem Laborgerät größerer Meßgenauigkeit durchzuführen. Ein solches Gerät befindet sich zur Zeit in der Planung.

In einigen Teufenbereichen wird es nicht möglich sein, ein durchgängiges Punktlastprofil zu erarbeiten, weil die Cuttings keine ausreichende Größe besitzen. Hilfreich für bohrtechnische Probleme können jedoch sowohl Untersuchungen an Nachfallproben aus Kataklasezonen sein, wie auch Untersuchungen an noch intakten Proben die aus spannungsinduzierten Bohrlochrandausbrüchen stammen.

Diese stark kataklastisch überprägten Gesteine bilden momentan noch deutliche Problemzonen. Doch bereits jetzt beginnen spannungsinduzierte Bohrlochrandausbrüche in frischen, vermutlich steilstehenden, Biotit-Gneisen bohrtechnische Probleme zu verursachen. Diese dürften wegen der zunehmenden deviatorischen Spannungen mit zunehmender Teufe größer werden. Dieses könnte zur Folge haben, daß bei entsprechender Spülrheologie, in größeren Teufen auch zunehmend größere Gesteinsbruchstücke mit der Bohrspülung ausgetragen werden, die dann zu Punktlastversuchen zur Verfügung ständen.

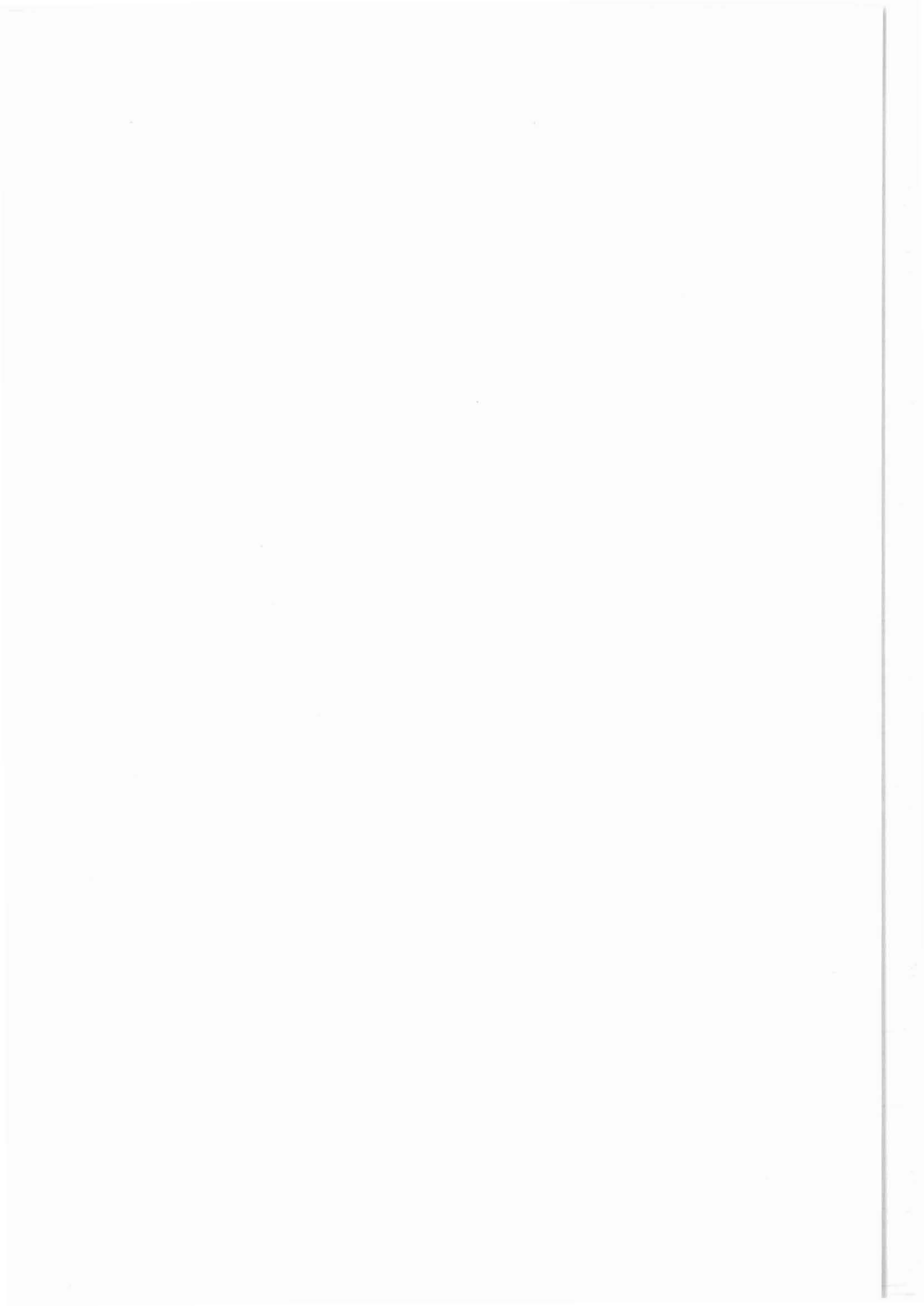
Neben den Punktlastversuchen ist es darüberhinaus notwendig, zur Charakterisierung der Gesteinfestigkeiten in der KTB-Hauptbohrung zumindest gelegentlich einaxiale Druckversuche und indirekte Zugversuche an Bohrkernen oder Seitenkernen durchzuführen, um die Ergebnisse der Punktlastversuche zu kalibrieren.

E.6 Literaturverzeichnis

- BIENIAWSKI, Z.T. (1974): Estimating the Strength of Rock Materials. - J. South Afr. Inst. Min. Met., 74, 312-320.
- ISRM (1972): Suggested Methods for Determining the Point-Load Strength Index of Rock Materials. - ISRM Comm. on Standard. of Lab. Test, 1, 8-13.
- ISRM (1979): Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials. Comm. on Stand. of Lab. & Field Tests, Int. J. Rock Mech. Min Sci&Geomech. Bstr., 16, 135-140.
- ISRM (1985): Suggested Methods for Determining Point-Load Strength. Coom. Test. Meth., Int. J. Rock Mech. Min. SCi&Geomech. Abstr., 22(2), 51-60.
- JAEGER, J.C., COOK, N.G.W. (1969): Fundamentals of Rock Mechanics. - 1-513, London (Meuthen).
- RÖCKEL, Th., NATAU, O. (1991): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB - Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach, Teufenbereich von 3000 m - 4000 m, H.Felsmechanik.
KTB-Report 91-3

F. Bohrkernorientierung und Teufenkorrelation
der KTB Vorbohrung

J. Kohl
J. Kück
J. Sigmund
Th. Wöhrl



KTB-Report	91-3	F1-F22	1 Abb.	Windischeschenbach 1991
------------	------	--------	--------	-------------------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz HB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor - Teufenbereich von 0 - 1720 m:

F. Bohrkernorientierung und Teufenkorrelation der KTB Vorbohrung

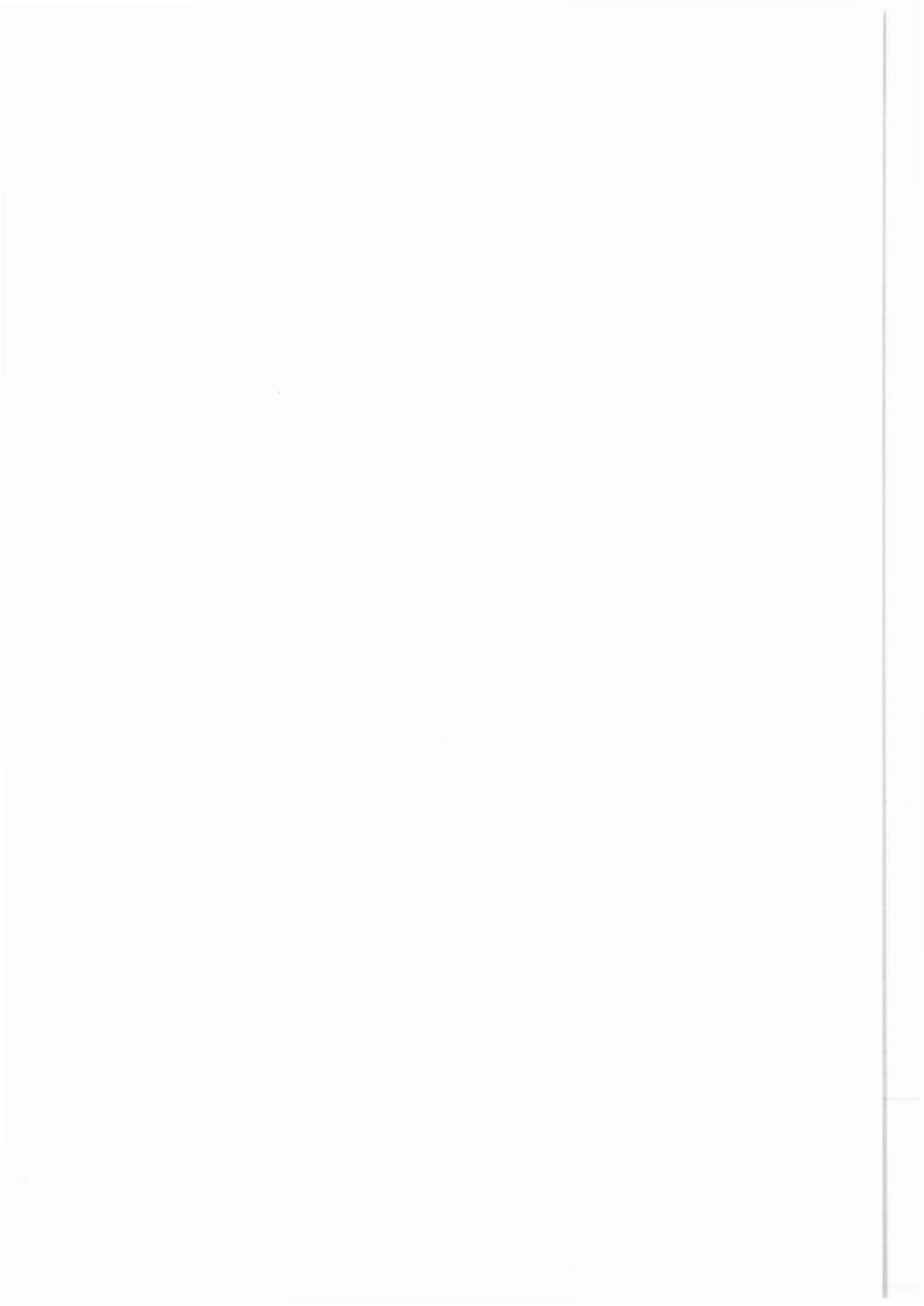
Abschlußbericht mit Ergebnissen

J. Kohl, J. Kück, J. Sigmund & Th. Wöhrl

Inhalt	Seite
F.1 Allgemeines	F 2
F.2 Methode der Bohrkernorientierung	F 2
F.3 Ergebnisse	F 3
F.3.1 Orientierung der Bohrkern	F 3
F.3.2 Teufenkorrelation Bohrkern/FMS-Log	F 3
F.4 Zusammenfassung und Empfehlungen	F 3
F.5 Literatur	F 4
Anhang	

Anschrift der Autoren:

KTB Feldlabor
8486 Windischeschenbach



1. Allgemeines

In der KTB-Vorbohrung wurden über den gesamten Teufenbereich von 0 m - 4000,1 m (E.T.) aus den Bohrungen VB 1 und VB1a insgesamt 3267,59 m Kern mit 956 Kernmärschen gewonnen. Mit Ausnahme von 11 Kernmärschen zwischen 2250,8 m und 3715,8 m erfolgte die Kerngewinnung unorientiert, so daß, wie geplant, eine nachträgliche Orientierung der Bohrkerne durchzuführen war.

Diese Aufgabe wurde zunächst als Auftrag an die Fa. DMT (vormals WBK) vergeben. Später übernahm eine Arbeitsgruppe bestehend aus Mitarbeitern des KTB-Referates Bohrlochmessung, des geophysikalischen Institutes der Universität Karlsruhe und des Feldlabors diese Arbeit. In dieser Arbeitsgruppe wurde die Bohrkernorientierung von einem manuell-visuellen Verfahren zu einem rechnergestützten halbautomatischen Verfahren mit visueller Plausibilitätskontrolle weiterentwickelt.

In verschiedenen KTB-Reports (vgl. KESSELS 1988; SCHMITZ et al. 1989; KOHL et al. 1990) wurde der jeweilige Stand der Bohrkernorientierung dokumentiert.

Da die Orientierung der Bohrkerne aus der Vorbohrung nun abgeschlossen ist, werden in diesem Bericht alle Orientierungsdaten noch einmal zusammenfassend dargestellt.

2. Methode der Bohrkernorientierung

Bei der Inventarisierung im Feldlabor werden die gewonnenen Bohrkerne mit einer Referenzlinie versehen. Diese Referenzlinie wird in der Regel im Streichen der Foliation auf den Kern aufgetragen und ist der Bezug für alle weiteren richtungsbezogenen Meßdaten am Bohrkern. In einem späteren Arbeitsschritt wird mit Hilfe der Bohrlochlogs Formation Micro Scanner Log (FMS) und Bore Hole Televier Log (BHTV), die orientiert gefahren werden, der Winkel ermittelt, um den diese Linie gegenüber magnetisch Nord verdreht ist.

Als Datenbasis für die nachträgliche Orientierung dienen die Strukturdaten der Kerne (Bohrmeisterteufe, Neigung bezogen auf die Bohrkernachse, Neigungsrichtung bezogen auf die Referenzlinie), sowie die Strukturdaten aus den Logs (Logteufe, Neigung bezogen auf die Bohrlochachse, Neigungsrichtung bezogen auf magnetisch Nord).

Die Zuordnung dieser Daten erfolgt weitgehend durch das im Referat Bohrlochmessung der KTB-Projektleitung entwickelte Rechenprogramm CREOS (Core Reorientation by Structures). Bei diesem Verfahren werden die Kerndaten mit den Daten der Bohrlochmessungen korreliert und die Lage der größtmöglichen Übereinstimmung bestimmt. Das Ergebnis ist eine Liste von verschiedenen Möglichkeiten mit einer Angabe über den Teufenversatz zwischen Kern und Bohrlochmessung und mit dem Winkel, um den die Orientierungslinie auf dem Bohrkern gegenüber magnetisch Nord verdreht ist. Für jeden Vorschlag ist zusätzlich ein Qualitätsfaktor angegeben. Eine visuelle Überprüfung der Vorschläge in der Reihenfolge der angegebenen Qualitätsfaktoren mit Hilfe von Bohrkernfotos und der Ausdrücke des FMST

und BHTV durch den bearbeitenden Geologen bildet die abschließende Plausibilitätskontrolle.

3. Ergebnisse

3.1 Orientierung der Bohrkerne

In der Abbildung F.1 sind die gekernten und orientierten Teufenbereiche der KTB-Vorbohrung aufgetragen. Die Ergebnisse der Kernorientierung sind in der Tabelle F.1 aufgeführt. Mit diesen Werten können alle richtungsabhängigen Meßdaten, die sich auf die Referenzlinie des Kerns beziehen, in ihre wahre Lage bezüglich der Bohrlochachse rotiert werden. Die Bohrlochneigung und deren Richtung sind in der Korrektur nicht berücksichtigt und müssen bei Bedarf zusätzlich eingerechnet werden.

3.2 Teufenkorrelation Bohrkern/FMS-Log

Aufgrund der meßtechnisch bedingten Teufendifferenz zwischen der Inventarisierungsteufe der Bohrkerne (Bohrmeisterteufe) und den Logteufen einerseits, sowie zwischen den Logteufen verschiedener Meßphasen andererseits, ist für eine vergleichende Arbeit zwischen den Ergebnissen der Messungen an den Bohrkernen und den Ergebnissen der Bohrlochmessungen eine Erfassung dieser Differenz unbedingt notwendig.

Das Auswerteprogramm CREOS liefert den Teufenunterschied durch einen Vergleich der statistischen Verteilung der Strukturen des Bohrkernes mit denen aus dem FMS-Log. Die Genauigkeit beträgt bei signifikanten Strukturen ± 5 cm, die Genauigkeiten für Bohrkernintervalle beträgt ± 10 cm. Diese Angaben beziehen sich jedoch nur auf die FMST-Meßfahrten, aus denen für die Rückorientierung die Strukturen herausgelesen wurden. Aufgrund von Teufenverschiebungen zwischen einzelnen Meßfahrten ist eine Korrelation von Strukturen mit anderen Bohrchmessungen nur über das Master-Gamma-Ray-Log möglich. Aus diesem Grund ist in der Ergebnistabelle für die Teufendifferenz (Tab.: F.2) jeweils das Datum und die Referenznummer der Messung aufgeführt, auf die sich die Teufenverschiebung bezieht.

4. Zusammenfassung und Empfehlung

Neben dem orientierten Kernbohren wurde für die KTB-Vorbohrung erstmalig ein rechnergestütztes Verfahren zur nachträglichen Bohrkernorientierung entwickelt und erfolgreich angewandt. Dieses Verfahren liefert den Korrekturwinkel, um den der Bohrkern gegen Nord verdreht werden muß, mit einer Genauigkeit von ca. ± 10 Grad. Zusätzlich liefert dieses Verfahren die Teufenverschiebung zwischen Bohrkernsteufe (Bohrmeisterteufe) und Logteufe mit einer Genauigkeit bis zu ± 5 cm.

Besonders geeignet ist dieses statistische Verfahren bei Kernen mit vielen Strukturen. In Bereichen mit keinen oder nur sehr wenigen erkennbaren Strukturen ist eine nachträgliche Orientierung nur schwer oder gar nicht möglich. Aus diesem Grund sollte in der Hauptbohrung mit dem be-

grenzten Kernprogramm jeder Kernmarsch orientiert gebohrt werden, so daß die Orientierung der Bohrkerne durch zwei voneinander unabhängige Verfahren durchgeführt werden kann.

Um die Teufenkorrelation zu sichern, sollten mehrere Kernmärsche über eine zusammenhängende Kernstrecke von ca. 40 - 50 m abgebohrt werden. Durch ein im KTB-Feldlabor entwickeltes Korrelationsverfahren der natürlichen Gammastrahlung der Bohrkerne (routinemäßige Messung im Feldlabor) mit dem Gamma-Ray-Log (vgl. Bücken et al. 1989) wäre die Teufenzuordnung ebenfalls durch ein zweites Verfahren möglich.

5. Literatur

- KESSELS, W. (1988): Die orientierte Kernentnahme unter Verwendung eines Neigungs- und Richtungsrekorders am Innenkernrohr. - KTB-Report 88-7, 157-161.
- KOHL, J., SCHMITZ, D. & RÖHR, C. (1990): Kernorientierung in der KTB-VB - aktueller Stand. - KTB-Report 90-2, G1 - G5.
- SCHMITZ, D., HIRSCHMANN, G., KOHL, J., RÖHR, C. & DIETRICH, H.-G. (1989): Die Orientierung der Bohrkerne in der KTB-Vorbohrung. - KTB-REPORT 89-3, 100-110.
- BÜCKER, CH. & ZIMMERMANN, G. (1989): Vergleichende Untersuchungen der Gamma-Ray-Messungen (GR) im Bohrloch und an Bohrkernen im Teufenbereich 3000 - 3500 m. - KTB-Report 89-5, E1-E9.

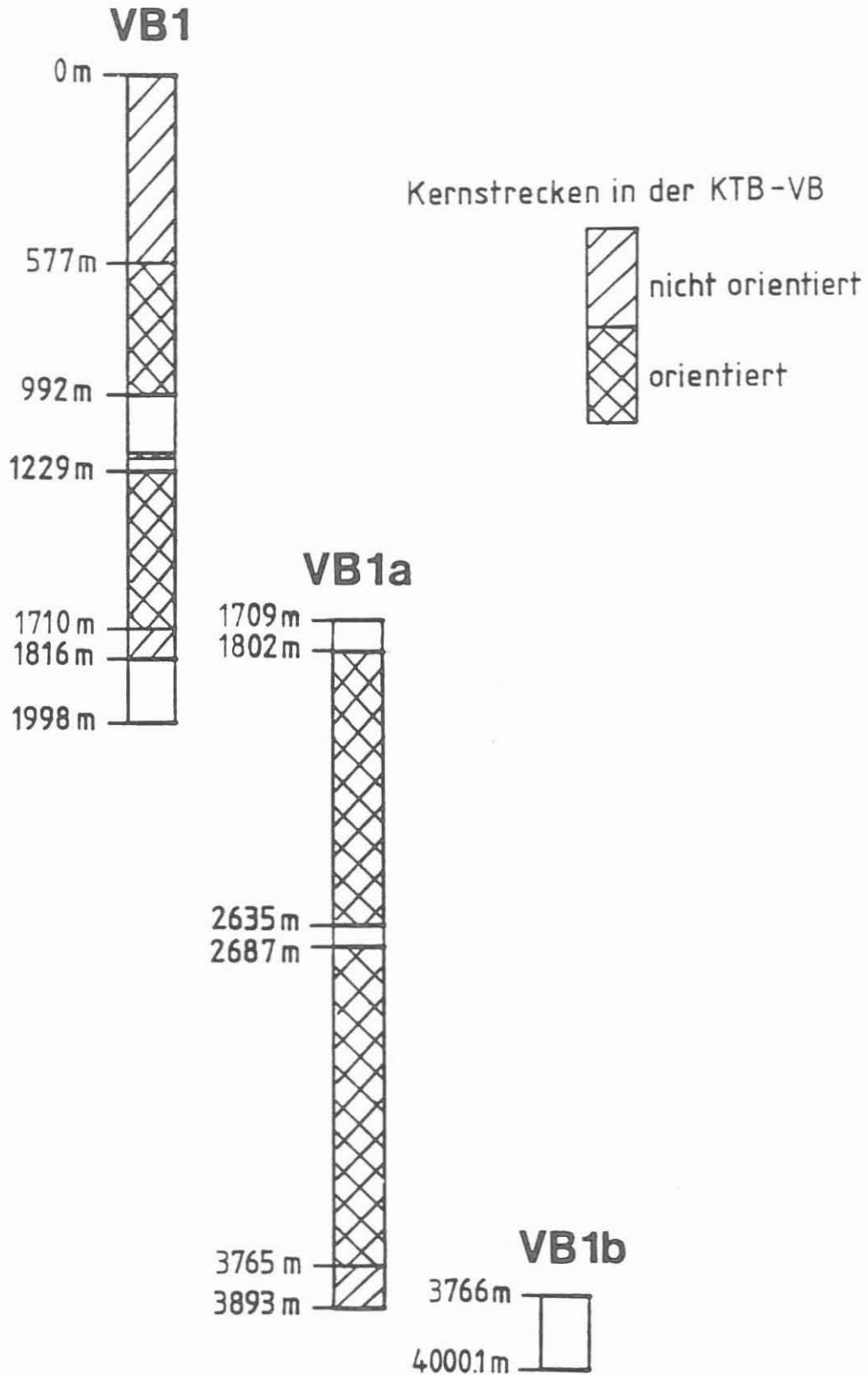


Abb. F.1: Gekernte und orientierte Teufenbereiche der KTB - Vorbohrung

KTB

Tabelle F.1: Azimut und Standardabweichung der Referenzlinie zu Nord

Unter Azimut der Referenzlinie (5. Spalte) ist der Winkel angegeben, um den die Referenzlinie im Uhrzeigersinn gegen Nord verdreht ist.

In der sechsten Spalte (σ) ist die Genauigkeit (Meßfehler, Standardabweichung) in Grad angegeben:

VB1:

Kernstückbereich		Teufenintervall		Azimut	σ
von	bis	von	bis	Referenz- Linie	
108A	108D	576.80	579.30	290	20
109F	109H	586.07	588.01	204	13
110	110	588.42	593.77	26	15
111	112C	594.40	600.59	200	12
113D	113F	604.62	607.80	208	8
114A	114D	607.18	609.10	293	22
114E	114F	609.61	610.50	350	10
115A	115A	610.00	610.87	278	4
115B	115B	610.87	611.37	235	7
116	116	612.06	616.39	124	9
117A	117E	616.70	620.55	354	14
117F	117I	620.51	622.70	8	10
118	118	622.70	628.50	282	13
119	120	628.68	634.52	168	10
121	123	634.50	639.45	42	9
124	124	640.00	642.90	211	15
125	126	643.04	651.96	111	9
127A	127A	652.50	653.40	139	0
127B	129	653.22	667.84	112	10
130	131C	668.00	674.63	308	16
131D	131D	674.63	675.21	310	0
132A	134C	675.40	680.66	109	0
134D	134F9a	680.87	682.44	84	5
134F9b	134G	682.77	684.18	55	6
135	135	684.60	689.36	111	8
136	138	689.90	703.26	105	15
139	140	703.80	706.90	120	7
141	143A	706.90	716.73	109	11
143B	143C	716.66	718.29	94	5
143E	143E	718.81	719.77	77	6
143F	145C	719.74	725.87	108	12
145D	146A	725.81	727.86	87	6
146B	146C	727.84	728.98	58	10
146D	146D	728.92	729.65	110	0
146E	147D	729.65	733.23	127	8
147E	148	733.15	740.18	108	10
149	154B	740.64	763.71	104	11
154C	154C	763.71	764.48	80	7
154D	156	764.48	768.74	115	6

Kernstückbereich		Teufenintervall		Azimut	o
von	bis	von	bis	Referenz- Linie	
157	160	770.47	778.63	129	8
161	161	779.00	782.00	304	12
162A	162C	782.00	783.91	138	4
162D	163	783.81	789.19	110	12
164	164	789.20	792.77	130	4
165	170	792.90	807.76	107	11
171	172B	808.11	811.67	112	9
172C	173A	811.47	813.05	92	11
173B	173B	813.05	813.99	83	6
173C	173C	813.99	814.60	50	0
174	187D	814.50	841.58	111	9
187E	187F	841.57	842.97	76	9
188	195	843.33	863.55	111	11
196	199A	864.50	869.27	127	9
199B	202	869.27	876.77	115	11
203	204	876.90	882.30	137	12
205	207	882.50	890.00	105	10
210	216A	890.00	908.69	118	11
216B	216B	908.62	909.51	132	7
216C	233	909.41	941.12	116	10
234	235	941.38	946.40	131	10
236	238	946.34	952.31	120	13
239A	239A	952.30	953.24	135	5
239B	240	953.19	961.60	118	11
241	243B	961.40	967.92	133	13
243B	246	968.63	979.15	115	10
247	247	979.40	981.50	144	6
248A	248A	981.47	982.17	111	5
248B	249	982.16	986.64	137	6
250	252	986.90	991.82	118	6
253A	253H	1177.00	1183.00	304	23
254A	255D	1228.80	1232.40	315	15
256A	256J	1232.40	1238.40	277	11
257A	257F	1238.40	1242.06	359	9
257G	257H	1243.00	1243.50	300	10
258	259	1244.20	1245.50	340	14
260A	262A	1245.50	1251.76	300	14
262B	262G	1252.00	1256.28	110	19
262H	262I	1256.28	1267.60	350	0
263B	263B	1258.40	1259.30	325	7
263C	263I	1259.27	1263.20	11	19
264A	264C	1263.60	1265.67	120	17
264D	264H	1265.86	1269.60	159	11
265A	265B	1269.60	1270.73	137	6
265D	265G	1271.19	1273.92	265	12
265H	266	1273.92	1281.55	349	14
267A	267G	1281.60	1286.65	115	8
268A	268B	1286.65	1287.94	263	6
268C	268I	1287.97	1292.71	319	14
270B4a	270C4d	1294.80	1296.38	290	0
272A3	273H1q	1301.02	1306.37	104	7
274A1a	274H1u	1306.61	1312.62	54	5
275A1a	2751q	1312.60	1317.42	300	15
277A2a	278i1m	1320.65	1326.94	220	8
279A1a	279K1r	1327.00	1333.00	212	7

Kernstückbereich		Teufenintervall		Azimut	°
von	bis	von	bis	Referenz- Linie	
280B2a	280H21l	1333.70	1338.50	284	6
281A1a	281D1k	1338.50	1341.60	280	15
281E1l	281H1r	1341.60	1344.20	245	15
282A2a	282I2v	1344.37	1350.51	150	6
283A1a	283I1s	1350.60	1356.48	194	9
284A1a	284K1x	1356.60	1362.60	176	7
285A1a	286H1af	1362.60	1374.20	120	0
287A2a	287F2m	1374.35	1378.21	44	7
287F4	288E1y	1378.38	1382.36	76	5
289C3a	292B1f	1385.50	1402.77	132	7
293A1a	293D1l	1404.80	1407.50	322	8
294A1b	294G1af	1410.80	1416.01	122	7
295A1a	295H1w	1416.10	1421.97	48	6
298B6a	298H6p	1434.41	1439.38	54	10
300A1a	300H1s	1445.50	1450.51	264	9
300H3a	301I1ad	1450.61	1456.80	220	10
303A1a	305D1s	1460.10	1464.45	330	15
306B4d	308C1g	1465.20	1476.75	280	5
309A2a	309I1s	1476.35	1481.86	242	8
310B4a	310I4ac	1482.57	1488.05	110	5
312A1a	312H1v	1493.50	1498.48	0	15
313A1a	313G1aa	1498.50	1503.48	300	15
313G3	319A1d	1503.50	1529.34	24	22
320A3a	322E1gT	1529.40	1539.00	330	8
324A1a	324H1t	1546.70	1552.05	346	7
325A2a	325H2af	1551.85	1557.76	182	9
325H4	326G1ae	1557.83	1562.65	50	6
327A1a	327H1at	1563.50	1568.90	140	15
328A1a	329F1r	1568.90	1578.27	162	8
329G2a	329H2c	1578.30	1579.81	180	15
330A1a	330F1w	1580.00	1585.40	320	15
331A1a	331E1z	1585.50	1588.73	350	15
332A1b	332F1ao	1590.63	1594.92	310	0
333D1p	333G1ae	1596.10	1601.11	330	15
334A2a	334G2x	1602.45	1606.65	270	15
335A2b	335H2ao	1607.28	1612.57	290	15
336A1a	336H1ae	1612.60	1618.16	260	15
342D4b	343D1u	1635.46	1638.50	140	15
345A2b	345F2r	1641.90	1645.95	290	15
346A1c	346F1ap	1646.35	1650.30	280	15
347A3a	348A1a	1650.57	1656.05	140	15
348A2a	348F2t	1656.08	1659.71	320	15
349A1a	349F1ae	1660.00	1664.48	270	15
350A2a	351F1ak	1664.80	1673.73	102	4
352A1a	352B1o	1673.64	1675.25	50	15
353A2a	353E2z	1675.70	1679.27	120	15
354A1a	354B1f	1679.60	1681.21	110	15
355A1a	355C1s	1681.40	1683.77	110	15
355D2b	356C1ah	1683.81	1686.30	110	15
358A2a	359B1d	1686.70	1689.43	120	15
360A2a	360B2v	1689.47	1690.39	130	15
361A3a	361B3s	1690.60	1691.71	130	15
362A2a	362A2n	1692.33	1693.18	130	15
363A3a	363B3p	1694.48	1695.50	130	15
368A2a	368C2m	1700.45	1702.01	110	15

Kernstückbereich von bis		Teufenintervall von bis		Azimut Referenz- Linie	o
369A3a	369C3z	1702.27	1704.09	110	15
369C6a	371B1i	1704.17	1707.73	110	15
372A2b	373A1a	1707.75	1709.76	120	9
VB1a:					
409A1a	409F1be	1802.00	1806.46	128	6
410A1a	410G1an	1806.80	1812.10	148	8
411B2a	411H2ac	1812.74	1817.57	140	5
412A1a	412H1ab	1817.80	1822.89	96	5
413C2e	413G2ab	1825.13	1828.27	130	7
414A1a	414F1ai	1828.34	1832.20	122	9
415A1a	415I1h	1832.60	1838.05	126	8
416A1a	416H1s	1838.10	1843.28	118	8
417A2a	417F2aa	1843.70	1847.91	128	10
419A1a	420G1ab	1853.09	1861.00	134	7
421A1a	422H1ac	1861.10	1872.19	130	9
423A2a	423H2an	1872.67	1877.98	120	5
424A1a	424G1o	1878.20	1883.27	132	9
425A1b	425H1ad	1883.70	1888.93	108	4
426A1a	428G1y	1888.90	1903.70	124	6
429A2b	429H2ab	1903.20	1908.59	110	11
429H4a	430H1bf	1908.64	1913.96	302	6
431A1a	432A1d	1914.20	1919.45	305	15
432A3a	433A1d	1919.68	1922.80	286	8
433B5a	433E5o	1923.10	1926.01	128	8
434A1a	434B1j	1926.70	1928.01	278	4
435A1a	436D2c	1929.50	1934.10	114	7
437A2a	439H1ap	1934.13	1944.60	314	9
442A2a	442H2ad	1953.00	1958.31	115	15
443A2a	443G2t	1958.50	1963.41	126	10
445A1a	445E1u	1968.00	1970.80	136	15
446A2a	446E2x	1971.83	1975.40	312	9
447A2a	447E2r	1976.40	1979.53	254	8
448A4a	448D4r	1980.26	1982.41	290	8
449A2a	449E4e	1982.52	1986.47	308	8
450B2a	450E2d	1988.10	1989.80	138	18
451A1a	452H1w	1992.50	2004.13	286	11
453A1a	453E1w	2004.54	2007.65	310	5
455A2a	455D2w	2008.95	2011.53	278	3
456A2a	459A1a	2012.12	2019.23	298	11
461A1a	461K1av	2021.12	2026.74	296	8
462A1a	462E1m	2027.10	2030.88	312	8
463A1a	463E1ak	2030.67	2034.25	298	10
464A1a	464D2c	2034.40	2037.22	294	4
465D4a	465D4j	2040.03	2040.90	260	5
467A2a	467G2as	2042.15	2047.02	302	8
468A1a	469F1u	2047.01	2055.92	304	10
470A1a	470F1ax	2056.00	2059.60	292	9
471A1a	471F1w	2059.70	2063.80	282	13
472A2a	472F2q	2063.72	2067.49	300	15
473A1a	473E1r	2068.10	2071.68	310	15
474A1a	474E1n	2072.65	2075.76	310	15
475A1a	475F1r	2076.00	2078.89	290	15
476A1a	476I1c	2079.08	2084.52	310	7

Kernstückbereich		Teufenintervall		Azimut	σ
von	bis	von	bis	Referenz- Linie	
477A1a	477H1wT	2084.60	2090.48	315	15
478A1a	478H1uT	2090.60	2094.85	300	15
478H1v	479C11T	2095.05	2096.78	280	15
479C2a	480G1z	2096.85	2101.91	300	15
481A2a	482K1aq	2102.50	2113.65	306	9
485A1a	485G1af	2118.50	2123.76	130	2
486A1a	486D1v	2124.00	2126.79	124	8
487A1a	487H1aj	2127.30	2132.86	100	15
487H3a	488I2a	2132.98	2138.41	112	7
489A1a	489E1r	2138.52	2141.95	127	15
490A1a	490G1aaT	2141.90	2146.95	98	9
491A1a	491D1w	2147.50	2150.25	280	15
492A2a	492G2ak	2150.58	2155.55	118	11
493A1a	493C1n	2156.10	2157.95	90	0
505A2a	506C1p	2180.85	2185.62	280	8
506E5a	507D2aw	2186.51	2189.50	310	11
508A1a	508K1w	2189.65	2195.06	302	9
509A3b	510C1aa	2195.77	2197.85	300	15
511A1a	511D1ae	2197.80	2200.43	264	10
512A1a	512B1o,	2200.60	2202.20	292	7
513A2a	513C2k	2202.29	2204.25	104	9
525A1a	525D1r	2223.23	2226.15	114	5
526B2a	526G2aa	2227.58	2232.07	104	11
527A1a	527B1n	2232.05	2233.82	200	15
529A1a	529C1u	2236.30	2238.44	276	5
530A1a	530A1m	2238.70	2239.37	175	15
531A1a	531B1j	2239.40	2240.65	180	15
533A1a	533D1m	2246.68	2249.09	50	15
534A1a	534B1h	2249.50	2250.62	150	15
536A1a	536I1ah	2256.20	2261.71	136	10
537A1a	539F1ae	2261.75	2269.93	312	10
540A9a	541B1l	2270.21	2272.57	126	15
541B3a	542B1l	2272.84	2274.63	304	8
543A2b	543B2t	2274.87	2276.69	138	5
544A1a	545F1q	2276.80	2284.75	302	8
546A3a	546D3aa	2285.28	2288.00	86	6
547A1a	547D1ah	2288.00	2291.16	120	11
548A1a	549F1ad	2291.10	2300.24	138	10
550A1a	552F1ad	2300.30	2310.30	126	7
553A2a	553A2g	2310.70	2311.45	120	15
554A1a	554A1n	2311.80	2312.19	120	15
555A1a	555B1l	2312.22	2313.47	120	15
556A1a	557C1h	2313.90	2318.20	110	10
558A1a	558E1m	2318.60	2321.22	114	5
559A1a	559G1am	2321.55	2326.75	126	10
561A1a	563C1i	2327.30	2335.07	118	9
563D2a	564C1l	2335.14	2337.58	130	15
565A1a	565A1m	2337.70	2338.54	130	15
565B2a	565B2i	2338.53	2339.45	130	15
566A1a	566D1w	2339.30	2342.23	132	6
567A2a	567H2aq	2342.40	2347.58	104	10
567H3a	568E1m	2347.62	2350.82	130	15
569A3a	569H3v	2350.71	2356.05	110	8
569H4a	571I1ai	2356.04	2365.72	114	9
572A1a	572G1u	2366.00	2370.67	125	15

Kernstückbereich		Teufenintervall		Azimut	σ
von	bis	von	bis	Referenz- Linie	
573A1a	574F1n	2370.65	2375.65	130	15
575A1a	575C1d	2375.60	2376.69	116	17
576B3a	576E3o	2377.80	2380.55	134	14
577A1a	577D1k	2380.70	2383.33	112	12
578A1a	578F1q	2383.40	2386.40	128	17
579A1a	579E1u	2386.40	2388.74	92	8
580A1a	580D1l	2389.80	2392.05	320	13
581A1aR	582I1af	2392.10	2402.37	110	10
582I3a	587A1b	2402.55	2418.80	112	10
587C7a	587F7g	2419.90	2421.90	140	15
588A5a	588E5af	2423.14	2426.33	120	15
589A1a	589B1c	2426.10	2427.45	92	10
590A1a	590A1f	2427.50	2428.44	120	15
591A2a	591H2y	2428.35	2433.85	122	9
592A1a	592H1ah	2433.90	2439.18	126	10
595A2a	596E1v	2441.23	2444.00	228	0
598A1a	600G1x	2449.00	2464.47	100	8
601A4a	601F4p	2464.94	2468.87	108	10
602A1R	602G2q	2470.70	2476.35	134	8
603A1a	608B1c	2476.30	2488.49	124	7
609A1R	609G2n	2488.45	2493.49	122	9
609G4a	611A1d	2493.41	2499.23	140	0
611A2a	612H1u	2499.20	2511.10	102	16
613A1c	615G1m	2511.18	2526.20	130	16
616A1a	617H1z	2526.20	2538.00	112	14
618A1a	620H1p	2538.00	2556.00	124	14
621A1a	622G1ac	2556.30	2568.00	92	14
623A1a	624E1u	2568.30	2578.70	158	16
625A1a	627C1p	2578.90	2588.57	132	7
628A1b	628E1ab	2592.12	2596.34	150	8
629A1a	629C1n	2596.50	2598.84	126	5
631A1a	632G1v	2603.00	2613.34	124	6
633A2aK	633G2ab	2614.73	2620.10	104	11
634A1a	637A1a	2620.10	2634.95	126	10
638A2a	639A1b	2687.12	2689.97	136	12
639A5a	639D5r	2690.10	2692.22	120	9
640A2a	640D2s	2692.53	2695.38	130	9
641A1a	642E3c	2695.35	2701.51	100	9
643A1a	643B1j	2701.50	2703.07	120	5
645A1a	645B1d	2703.10	2704.19	106	2
646A1a	651C1l	2704.30	2714.88	108	9
652A1a	656H1x	2714.95	2737.90	128	0
657A1a	657B1b	2737.96	2739.35	138	4
658A1a	658H1ab	2739.60	2745.50	126	8
659A2a	658H2f	2745.70	2751.55	124	9
661A1a	666G1x	2752.20	2774.87	118	8
666C5a	668B1a	2774.94	2778.67	116	7
669A1a	669A2c	2778.82	2779.35	116	7
670A3a	670A3e	2779.77	2780.28	116	7
671A1a	671A1b	2780.30	2780.74	116	7
671A2a	673B1v	2780.74	2784.02	106	9
675A6a	675B6h	2786.40	2787.06	136	0
676A3a	676H3ac	2787.06	2792.90	136	8
678A1aR	678C1r	2794.10	2796.83	116	8
6792a	679F2ac	2796.73	2801.13	108	9

Kernstückbereich		Teufenintervall		Azimut	°
von	bis	von	bis	Referenz- Linie	
681B7aK	681E7g	2802.38	2805.23	104	0
683A1a	683G1y	2805.90	2810.49	106	8
685A3a	685E3u	2811.05	2814.45	122	7
686A1a	687F1ad	2814.10	2820.02	114	8
688A4a	690H1x	2820.19	2833.15	106	9
691A2a	691C2l	2833.24	2835.40	126	5
692A1a	692H1z	2835.40	2841.18	126	7
692H2b	693E1t	2841.23	2844.44	128	4
694A1a	694D1n	2844.60	2847.89	118	7
696A4a	698A1d	2850.75	2857.90	114	9
699A2a	701I1ab	2857.79	2869.61	108	7
702A1a	703C1g	2869.70	2872.50	116	7
705A1a	708D1n	2873.10	2887.95	116	7
709A2b	710H1ah	2888.30	2899.91	120	9
710H4a	715B1e	2900.03	2917.63	100	8
718B11a	721F1v	2921.56	2935.60	112	10
722B2a	723H1x	2936.95	2947.66	132	8
724A1a	726E1t	2947.80	2963.43	124	8
727A1a	727F1p	2963.68	2968.05	112	8
727F3a	729D1z	2968.10	2977.54	122	10
730A1a	730H1m	2977.72	2983.52	102	7
731A1a	733C1l	2983.70	2993.04	110	7
733D3b	733H1v	2993.78	2997.10	168	8
734A01a	735B01c	2997.28	3003.49	122	9
736A01a	738C04h	3003.60	3014.95	112	10
739A01a	740H01y	3013.45	3026.78	138	10
741A01a	744G01w	3026.75	3048.02	118	13
745A01a	745G01ak	3048.40	3053.90	314	11
746A02b	749C03g	3054.60	3063.40	343	13
751A1a	751B	3063.70	3065.50	328	10
751C	751F	3065.54	3068.27	132	10
752A01a	752H02b	3068.25	3074.32	141	11
753A01a	756H01ao	3074.30	3092.30	344	13
757A01a	758G01ad	3092.36	3102.62	178	15
759A01a	760A02a	3102.70	3108.00	1	12
760B02b	760F02r	3108.76	3112.80	94	16
761A06a	762G12r	3112.97	3122.39	294	18
763A02a	763F02t	3122.65	3126.95	195	12
763G02u	764C01j	3127.26	3129.89	241	12
764C01k	764H01ag	3129.89	3134.16	42	15
765A01a	765H01aa	3134.15	3140.20	253	14
767A03a	767H03ab	3140.50	3146.17	357	12
768A01a	768A01a	3146.20	3146.45	210	14
769A03a	769D03lK	3146.51	3149.06	331	17
769D03m	769H03ak	3149.06	3152.11	279	13
770A01a	770E01ag	3152.10	3156.03	14	14
771A01c	771B01s	3155.97	3157.23	50	20
773A02a	775B02e	3162.72	3171.50	332	11
776A01a	776G01ad	3171.60	3177.40	175	15
777A01a	778A01e	3177.40	3182.68	296	10
778B07a	781H01ag	3183.18	3199.03	351	13
782A3a	782B3d	3199.98	3200.40	152	13
783A6a	783F6bl	3203.29	3208.33	120	10
784A2a	784G2ab	3208.62	3214.16	337	10
785A3a	785G	3214.26	3220.00	56	12

Kernstückbereich		Teufenintervall		Azimet	o
von	bis	von	bis	Referenz- Linie	
786A	787E1t	3220.20	3226.80	121	15
788A1a	788G1an	3226.80	3232.75	134	12
789A1a	789G	3232.60	3238.40	33	11
790A	790H1ad	3238.40	3243.72	16	14
791A5a	791C5k	3244.37	3246.09	0	11
791D	791D	3246.20	3246.61	150	0
792A2a	794E1ac	3246.70	3259.70	325	13
795A1a	799G1ax	3259.70	3279.99	342	15
800A1b	804G1ae	3280.00	3302.45	357	10
805A5a	810E	3302.48	3330.90	2	9
811A	815G1ad	3330.90	3353.23	356	9
816A1a	817B1fd	3353.80	3357.40	321	10
818A1a	820A1f	3357.40	3362.63	6	9
821A3a	824H1ad	3362.82	3382.84	332	10
825A1a	825F1v	3382.80	3386.92	4	9
826A1a	826D2l	3387.46	3389.93	191	18
827A4a	827G4o	3390.26	3395.00	333	13
828A1a	830H1af	3395.30	3406.45	22	13
831A3a	837G1z	3406.65	3429.02	0	11
838A1a	839F1n	3429.00	3433.71	38	10
840A1a	841A1e	3433.90	3439.85	327	13
842A1a	843G1af	3440.00	3450.76	79	15
843G1ah	844E1nf	3450.85	3454.85	155	14
845A1a	846G1y	3455.00	3464.19	3	10
847A1a	847G1av	3464.60	3470.07	75	10
848A1a	848F1u	3470.10	3475.43	46	9
848F1v	851A1c	3475.43	3478.00	269	17
851A2b	853D2ab	3478.10	3489.82	44	10
854A2a	854G2ag	3489.90	3494.78	66	14
855A2a	856H	3495.30	3503.30	20	9
857A1a	858A1b	3503.30	3506.50	28	7
858A2c	858H2y	3506.50	3511.93	14	9
859A2a	860A1a	3512.26	3516.76	82	4
861A2a	861F2af	3517.40	3521.55	324	10
862A3a	862G3ae	3521.72	3527.48	30	8
863A2b	864A1h	3527.48	3533.48	332	8
865A2ab	865F2as	3533.86	3538.66	318	9
866A1a	866F1t	3538.80	3543.90	46	6
867B9a	867H9r	3544.66	3549.49	224	7
870A9a	874H1ad	3550.48	3574.91	230	8
876A2a	876E2ay	3580.54	3584.66	299	15
877A3a	877G3ak	3585.02	3590.74	152	19
878A1a	878H1bf	3590.90	3596.69	38	4
879B7a	880A1	3597.73	3598.53	16	6
882A4a	882H4bb	3601.26	3606.88	185	15
883A1aE	885A1e	3607.05	3618.27	358	4
888A3a	891F1an	3627.78	3649.45	184	6
898A3a	900A3a	3653.16	3663.62	322	9
900B7a	903A1f	3663.63	3676.46	206	9
904A1a	905A1b	3676.50	3686.53	354	13
905A4a	907G1x	3682.57	3699.25	196	5
907G2a	911H1az	3699.30	3721.17	184	5
912A4ak	916G1r	3721.28	3747.31	344	4
917A1a	918G	3747.30	3758.50	350	7
918A1a	920A1l	3758.90	3765.33	202	9

Tabelle F.2: Teufendifferenz zwischen Bohrkernen und FMS-Logs:

Kernstück-Nummer		Teufe		Teufen- diff.	FMS-Log		
von	bis	von	bis		Datum		
108A	108D	576.80	579.30	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
109F	109H	586.07	588.01	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
110	110	588.42	593.77	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
111	112C	594.40	600.59	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
113D	113F	604.62	607.80	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
114A	114D	607.18	609.10	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
114E	114F	609.61	610.50	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
115A	115A	610.00	610.87	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
115B	115B	610.87	611.37	0.00 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
116	116	612.06	616.39	0.10 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
117A	117E	616.70	620.55	0.10 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
117F	117I	620.51	622.70	0.10 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
118	118	622.70	628.50	0.10 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
119	120	628.68	634.52	0.10 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
121	123	634.50	639.45	0.15 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
124	124	640.00	642.90	0.10 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
125	126	643.04	651.96	0.15 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
127A	127A	652.50	653.40	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
127B	129	653.22	667.84	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
130	131C	668.00	674.63	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
131D	131D	674.63	675.21	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
132A	134C	675.40	680.66	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
134D	134F ^{9a}	680.87	682.44	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
134F ^{9b}	134G	682.77	684.18	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
135	135	684.60	689.36	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
136	138	689.90	703.26	0.20 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
139	140	703.80	706.90	0.25 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
141	143A	706.90	716.73	0.25 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
143B	143C	716.66	718.29	0.25 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
143E	143E	718.81	719.77	0.25 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
143F	145C	719.74	725.87	0.30 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
145D	146A	725.81	727.86	0.30 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
146B	146C	727.84	728.98	0.25 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
146D	146D	728.92	729.65	0.25 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
146E	147D	729.65	733.23	0.25 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
147E	148	733.15	740.18	0.25 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
149	154B	740.64	763.71	0.30 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
154C	154C	763.71	764.48	0.30 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
154D	156	764.48	768.74	0.35 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
157	160	770.47	778.63	0.35 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
161	161	779.00	782.00	0.35 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
162A	162C	782.00	783.91	0.35 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
162D	163	783.81	789.19	0.35 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
164	164	789.20	792.77	0.35 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
165	170	792.90	807.76	0.35 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
171	172B	808.11	811.67	0.35 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
172C	173A	811.47	813.05	0.45 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
173B	173B	813.05	813.99	0.45 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
173C	173C	813.99	814.60	0.45 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR

Kernstück-Nummer		Teufe		Teufen-	FMS-Log		
von	bis	von	bis	diff.	Datum		
174	187D	814.50	841.58	0.40 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
187E	187F	841.57	842.97	0.45 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
188	195	843.33	863.55	0.50 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
196	199A	864.50	869.27	0.55 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
199B	202	869.27	876.77	0.60 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
203	204	876.90	882.30	0.60 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
205	207	882.50	890.00	0.55 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
210	216A	890.00	908.69	0.55 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
216B	216B	908.62	909.51	0.55 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
216C	233	909.41	941.12	0.55 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
234	235	941.38	946.40	0.50 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
236	238	946.34	952.31	0.60 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
239A	239A	952.30	953.24	0.75 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
239B	240	953.19	961.60	0.75 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
241	243B	961.40	967.92	0.55 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
243B	246	968.63	979.15	0.60 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
247	247	979.40	981.50	0.55 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
248A	248A	981.47	982.17	0.60 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
248B	249	982.16	986.64	0.50 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
250	252	986.90	991.82	0.50 m	21.12.87	Run2	Ref: H30058LR
253A	253H	1177.00	1183.00	0.60 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
254A	255D	1228.80	1232.40	0.60 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
256A	256J	1232.40	1238.40	0.60 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
257A	257F	1238.40	1242.06	0.60 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
257G	257H	1243.00	1243.50	0.60 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
258	259	1244.20	1245.50	0.50 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
260A	262A	1245.50	1251.76	0.10 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
262B	262G	1252.00	1256.28	0.30 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
262H	262I	1256.28	1257.60	0.50 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
263B	263B	1258.40	1259.30	0.65 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
263C	263I	1259.27	1263.20	0.60 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
264A	264C	1263.60	1265.67	0.50 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
264D	264H	1265.86	1269.60	0.45 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
265A	265B	1269.60	1270.73	0.45 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
265D	265G	1271.19	1273.92	0.40 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
265H	266	1273.92	1281.55	0.40 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
267A	267G	1281.60	1286.65	0.40 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
268A	268B	1286.65	1287.94	0.40 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
268C	268I	1287.97	1292.71	0.40 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
270B4a	270C4d	1294.80	1296.38	0.40 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
272A3	273H1q	1301.02	1306.37	0.68 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
274A1a	274H1u	1306.61	1312.62	0.56 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
275A1a	2751q	1312.60	1317.42	0.50 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
277A2a	278i1m	1320.65	1326.94	0.26 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
279A1a	279K1r	1327.00	1333.00	0.42 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
280B2a	280H211	1333.70	1338.50	0.76 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
281A1a	281D1k	1338.50	1341.60	0.25 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
281E11	281H1r	1341.60	1344.20	0.25 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
282A2a	282I2v	1344.37	1350.51	0.26 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
283A1a	283I1s	1350.60	1356.48	0.44 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
284A1a	284K1x	1356.60	1362.60	0.48 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
285A1a	286H1af	1362.60	1374.20	0.50 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
287A2a	287F2m	1374.35	1378.21	0.50 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
287F4	288E1y	1378.38	1382.36	0.23 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL
289C3a	292B1f	1385.50	1402.77	0.33 m	28.02.88	Run3	Ref: H30088RL

Kernstück-Nummer von bis		Teufe von bis		Teufen- diff.	FMS-Log Datum			
293A1a	293D1l	1404.80	1407.50	0.68 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
294A1b	294G1af	1410.80	1416.01	0.35 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
295A1a	295H1w	1416.10	1421.97	0.59 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
298B6a	298H6p	1434.41	1439.38	0.50 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
300A1a	300H1s	1445.50	1450.51	0.66 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
300H3a	301I1ad	1450.61	1456.80	0.60 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
303A1a	305D1s	1460.10	1464.45	0.45 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
306B4d	306G1t	1465.20	1469.37	-0.25m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
307A1a	307H	1469.40	1475.00	0.77 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
308A	308C	1475.30	1476.75	0.40 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
309A2a	309I1s	1476.35	1481.86	0.70 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
310B4a	310I4ac	1482.57	1488.05	0.70 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
312A1a	312H1v	1493.50	1498.48	0.65 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
313A1a	313G1aa	1498.50	1503.48	0.45 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
313G3	319A1d	1503.50	1529.34	0.74 m	28.02.88	Run3	Ref:	H30088RL
320A3a	322E1gT	1529.40	1539.00	0.48 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
324A1a	324H1t	1546.70	1552.05	0.47 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
325A2a	325H2af	1551.85	1557.76	0.73 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
325H4	326G1ae	1557.83	1562.65	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
327A1a	327H1at	1563.50	1568.90	0.55 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
328A1a	329F1r	1568.90	1578.27	0.69 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
329G2a	329H2c	1578.30	1579.81	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
330A1a	330F1w	1580.00	1585.40	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
331A1a	331E1z	1585.50	1588.73	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
332A1b	332F1ao	1590.63	1594.92	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
333D1p	333G1ae	1596.10	1601.11	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
334A2a	334G2x	1602.45	1606.65	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
335A2b	335H2ao	1607.28	1612.57	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
336A1a	336H1ae	1612.60	1618.16	0.55 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
342D4b	343D1u	1635.46	1638.50	0.70 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
345A2b	345F2r	1641.90	1645.95	0.50 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
346A1c	346F1ap	1646.35	1650.30	0.50 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
347A3a	348A1a	1650.57	1656.05	0.30 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
348A2a	348F2t	1656.08	1659.71	0.30 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
349A1a	349F1ae	1660.00	1664.48	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
350A2a	351F1ak	1664.80	1673.73	0.56 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
352A1a	352B1o	1673.64	1675.25	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
353A2a	353E2z	1675.70	1679.27	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
354A1a	354B1f	1679.60	1681.21	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
355A1a	355C1s	1681.40	1683.77	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
355D2b	356C1ah	1683.81	1686.30	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
358A2a	359B1d	1686.70	1689.43	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
360A2a	360B2v	1689.47	1690.39	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
361A3a	361B3s	1690.60	1691.71	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
362A2a	362A2n	1692.33	1693.18	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
363A3a	363B3p	1694.48	1695.50	0.80 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
368A2a	368C2m	1700.45	1702.01	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
369A3a	369C3z	1702.27	1704.09	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
369C6a	371B1i	1704.17	1707.73	0.60 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
372A2b	373A1a	1707.75	1709.76	0.48 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
409A1a	409F1be	1802.00	1806.46	1.06 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
410A1a	410G1an	1806.80	1812.10	1.02 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
411B2a	411H2ac	1812.74	1817.57	0.90 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
412A1a	412H1ab	1817.80	1822.89	1.02 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD
413C2e	413G2ab	1825.13	1828.27	0.59 m	31.05.88	Run4	Ref:	H30094MD

Kernstück-Nummer von bis		Teufe von bis		Teufen- diff.	FMS-Log Datum		
414A1a	414F1ai	1828.34	1832.20	0.95 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
415A1a	415I1h	1832.60	1838.05	0.77 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
416A1a	416H1s	1838.10	1843.28	0.82 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
417A2a	417F2aa	1843.70	1847.91	0.81 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
419A1a	420G1ab	1853.09	1861.00	0.59 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
421A1a	422H1ac	1861.10	1872.19	1.00 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
423A2a	423H2an	1872.67	1877.98	1.14 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
424A1a	424G1o	1878.20	1883.27	1.06 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
425A1b	425H1ad	1883.70	1888.93	0.82 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
426A1a	428G1y	1888.90	1903.70	0.91 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
429A2b	429H2ab	1903.20	1908.59	1.50 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
429H4a	430H1bf	1908.64	1913.96	0.98 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
431A1a	432A1d	1914.20	1919.45	1.00 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
432A3a	433A1d	1919.68	1922.80	1.02 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
433B5a	433E5o	1923.10	1926.01	0.72 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
434A1a	434B1j	1926.70	1928.01	1.06 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
435A1a	436D2c	1929.50	1934.10	0.98 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
437A2a	439H1ap	1934.13	1944.60	0.88 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
442A2a	442H2ad	1953.00	1958.31	0.98 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
443A2a	443G2t	1958.50	1963.41	1.25 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
445A1a	445E1u	1968.00	1970.80	1.22 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
446A2a	446E2x	1971.83	1975.40	1.24 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
447A2a	447E2r	1976.40	1979.53	1.80 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
448A4a	448D4r	1980.26	1982.41	1.13 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
449A2a	449E4e	1982.52	1986.47	0.95 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
450B2a	450E2d	1988.10	1989.80	1.17 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
451A1a	452H1w	1992.50	2004.13	1.18 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
453A1a	453E1w	2004.54	2007.65	1.22 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
455A2a	455D2w	2008.95	2011.53	0.88 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
456A2a	459A1a	2012.12	2019.23	0.44 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
461A1a	461K1av	2021.12	2026.74	0.88 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
462A1a	462E1m	2027.10	2030.88	0.92 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
463A1a	463E1ak	2030.67	2034.25	1.00 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
464A1a	464D2c	2034.40	2037.22	1.10 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
465D4a	465D4j	2040.03	2040.90	1.54 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
467A2a	467G2as	2042.15	2047.02	0.78 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
468A1a	469F1u	2047.01	2055.92	0.98 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
470A1a	470F1ax	2056.00	2059.60	0.73 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
471A1a	471F1w	2059.70	2063.80	0.81 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
472A2a	472F2q	2063.72	2067.49	0.75 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
473A1a	473E1r	2068.10	2071.68	1.00 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
474A1a	474E1n	2072.65	2075.76	1.00 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
475A1a	475F1r	2076.00	2078.89	1.00 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
476A1a	476I1c	2079.08	2084.52	1.05 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
477A1a	477H1wT	2084.60	2090.48	1.00 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
478A1a	478H1uT	2090.60	2094.85	1.20 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
478H1v	479C11T	2095.05	2096.78	1.20 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
479C2a	480G1z	2096.85	2101.91	1.20 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
481A2a	482K1aq	2102.50	2113.65	1.30 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
485A1a	485G1af	2118.50	2123.76	0.71 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
486A1a	486D1v	2124.00	2126.79	1.21 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
487A1a	487H1aj	2127.30	2132.86	1.20 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
487H3a	488I2a	2132.98	2138.41	1.32 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
489A1a	489E1r	2138.52	2141.95	1.30 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
490A1a	490G1aaT	2141.90	2146.95	1.22 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD

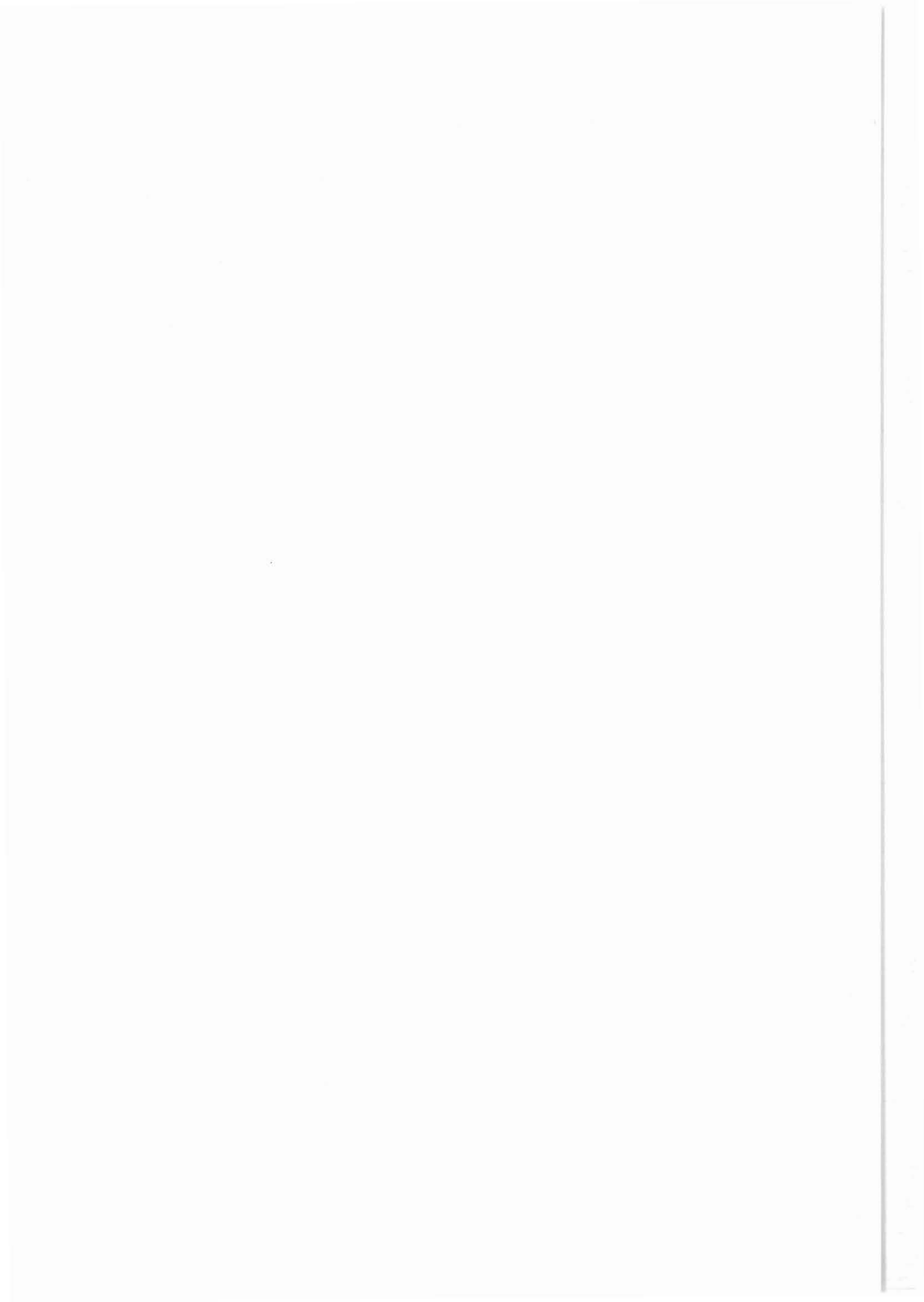
Kernstück-Nummer von bis		Teufe von bis		Teufen- diff.	FMS-Log Datum		
491A1a	491D1w	2147.50	2150.25	1.22 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
492A2a	492G2ak	2150.58	2155.55	1.22 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
493A1a	493C1n	2156.10	2157.95	1.20 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
505A2a	506C1p	2180.85	2185.62	1.46 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
506E5a	507D2aw	2186.51	2189.50	1.40 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
508A1a	508K1w	2189.65	2195.06	1.48 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
509A3b	510C1aa	2195.77	2197.85	1.20 m	31.05.88	Run4	Ref: H30094MD
511A1a	511D1ae	2197.80	2200.43	1.49 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
512A1a	512B1o,	2200.60	2202.20	1.29 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
513A2a	513C2k	2202.29	2204.25	1.47 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
525A1a	525D1r	2223.23	2226.15	2,27 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
526B2a	526G2aa	2227.58	2232.07	2.03 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
527A1a	527B1n	2232.05	2233.82	1.90 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
529A1a	529C1u	2236.30	2238.44	1.80 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
530A1a	530Alm	2238.70	2239.37	1.85 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
531A1a	531B1j	2239.40	2240.65	1.85 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
533A1a	533D1m	2246.68	2249.09	1.70 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
534A1a	534B1h	2249.50	2250.62	1.95 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
536A1a	536I1ah	2256.20	2261.71	2.27 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
537A1a	539F1ae	2261.75	2269.93	2.23 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
540A9a	541B1l	2270.21	2272.57	2.25 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
541B3a	542B1l	2272.84	2274.63	2.29 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
543A2b	543B2t	2274.87	2276.69	2.15 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
544A1a	545F1q	2276.80	2284.75	2.46 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
546A3a	546D3aa	2285.28	2288.00	2.29 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
547A1a	547D1ah	2288.00	2291.16	2.31 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
548A1a	549F1ad	2291.10	2300.24	2.35 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
550A1a	552F1ad	2300.30	2310.30	2.36 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
553A2a	553A2g	2310.70	2311.45	2.30 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
554A1a	554A1n	2311.80	2312.19	2.30 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
555A1a	555B1l	2312.22	2313.47	2.30 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
556A1a	557C1h	2313.90	2318.20	2.41 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
558A1a	558E1m	2318.60	2321.22	2.71 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
559A1a	559G1am	2321.55	2326.75	2.43 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
561A1a	563C1i	2327.30	2335.07	2.49 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
563D2a	564C1l	2335.14	2337.58	2.50 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
565A1a	565A1m	2337.70	2338.54	2.50 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
565B2a	565B2i	2338.53	2339.45	2.50 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
566A1a	566D1w	2339.30	2342.23	2.40 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
567A2a	567H2aq	2342.40	2347.58	2.72 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
567H3a	568E1m	2347.62	2350.82	2.50 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
569A3a	569H3v	2350.71	2356.05	2.47 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
569H4a	571I1ai	2356.04	2365.72	2.49 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
572A1a	572G1u	2366.00	2370.67	2.60 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
573A1a	574F1n	2370.65	2375.65	2.50 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
575A1a	575C1d	2375.60	2376.69	2.38 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
576B3a	576E3o	2377.80	2380.55	2.30 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
577A1a	577D1k	2380.70	2383.33	2.38 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
578A1a	578F1q	2383.40	2386.40	2.28 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
579A1a	579E1u	2386.40	2388.74	2.51 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
580A1a	580D1l	2389.80	2392.05	2.63 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
581A1aR	582I1af	2392.10	2402.37	2.43 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
582I3a	587A1b	2402.55	2418.80	2.87 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
587C7a	587F7g	2419.90	2421.90	2.80 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
588A5a	588E5af	2423.14	2426.33	2.30 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL

Kernstück-Nummer von bis		Teufe von bis		Teufen- diff.	FMS-Log Datum			
589A1a	589B1c	2426.10	2427.45	2.58 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
590A1a	590A1f	2427.50	2428.44	2.28 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
591A2a	591H2y	2428.35	2433.85	2.56 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
592A1a	592H1ah	2433.90	2439.18	2.70 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
595A2a	596E1v	2441.23	2444.00	2.73 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
598A1a	600G1x	2449.00	2464.47	2.66 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
601A4a	601F4p	2464.94	2468.87	2.29 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
602A1R	602G2q	2470.70	2476.35	2.44 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
603A1a	608B1c	2476.30	2488.49	2.56 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
609A1R	609G2n	2488.45	2493.49	2.23 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
609G4a	611A1d	2493.41	2499.23	2.32 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
611A2a	612H1u	2499.20	2511.10	3.05 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
613A1c	615G1m	2511.18	2526.20	2.99 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
616A1a	617H1z	2526.20	2538.00	2.94 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
618A1a	620H1p	2538.00	2556.00	3.04 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
621A1a	622G1ac	2556.30	2568.00	2.87 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
623A1a	624E1u	2568.30	2578.70	3.19 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
625A1a	627C1p	2578.90	2588.57	2.87 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
628A1b	628E1ab	2592.12	2596.34	2.82 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
629A1a	629C1n	2596.50	2598.84	3.24 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
631A1a	632G1v	2603.00	2613.34	2.97 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
633A2aK	633G2ab	2614.73	2620.10	3.09 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
634A1a	637A1a	2620.10	2634.95	2.90 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
638A2a	639A1b	2687.12	2689.97	3.07 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
639A5a	639D5r	2690.10	2692.22	3.31 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
640A2a	640D2s	2692.53	2695.38	3.00 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
641A1a	642E3c	2695.35	2701.51	3.18 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
643A1a	643B1j	2701.50	2703.07	3.10 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
645A1a	645B1d	2703.10	2704.19	3.25 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
646A1a	651C1l	2704.30	2714.88	3.19 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
652A1a	656H1x	2714.95	2737.90	3.29 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
657A1a	657B1b	2737.96	2739.35	3.16 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
658A1a	658H1ab	2739.60	2745.50	3.26 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
659A2a	658H2f	2745.70	2751.55	3.18 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
661A1a	666G1x	2752.20	2774.87	3.10 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
666C5a	668B1a	2774.94	2778.67	3.28 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
669A1a	669A2c	2778.82	2779.35	3.28 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
670A3a	670A3e	2779.77	2780.28	3.28 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
671A1a	671A1b	2780.30	2780.74	3.28 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
671A2a	673B1v	2780.74	2784.02	3.23 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
675A6a	675B6h	2786.40	2787.06	3.17 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
676A3a	676H3ac	2787.06	2792.90	3.13 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
678A1aR	678C1r	2794.10	2796.83	3.07 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
6792a	679F2ac	2796.73	2801.13	3.11 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
681B7aK	681E7g	2802.38	2805.23	3.13 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
683A1a	683G1y	2805.90	2810.49	3.11 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
685A3a	685E3u	2811.05	2814.45	3.03 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
686A1a	687F1ad	2814.10	2820.02	3.24 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
688A4a	690H1x	2820.19	2833.15	3.24 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
691A2a	691C2l	2833.24	2835.40	3.24 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
692A1a	692H1z	2835.40	2841.18	3.29 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
692H2b	693E1t	2841.23	2844.44	3.35 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
694A1a	694D1n	2844.60	2847.89	3.37 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
696A4a	698A1d	2850.75	2857.90	3.57 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL
699A2a	701I1ab	2857.79	2869.61	3.32 m	15.10.88	Run5	Ref:	H30145RL

Kernstück-Nummer von bis	Teufe von bis	Teufen- diff.	FMS-Log Datum
702A1a 703C1g	2869.70 2872.50	3.16 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
705A1a 708D1n	2873.10 2887.95	3.44 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
709A2b 710H1ah	2888.30 2899.91	3.58 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
710H4a 715B1e	2900.03 2917.63	3.37 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
718B11a721F1v	2921.56 2935.60	3.36 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
722B2a 723H1x	2936.95 2947.66	3.57 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
724A1a 726E1t	2947.80 2963.43	3.36 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
727A1a 727F1p	2963.68 2968.05	3.37 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
727F3a 729D1z	2968.10 2977.54	3.39 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
730A1a 730H1m	2977.72 2983.52	3.47 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
731A1a 733C1l	2983.70 2993.04	3.61 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
733D3b 733H1v	2993.78 2997.10	3.62 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
734A01a734G1aa	2997.28 3002.10	3.30 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
735A1a 735B1c	3002.20 3003.30	2.38 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
736A01a738C04h	3003.60 3014.95	3.05 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
739A01a739G01y	3013.45 3021.00	1.80 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
740A1a 740H01y	3021.00 3026.78	3.30 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
741A01a741F1w	3026.75 3031.02	3.25 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
742A1a 744G01w	3031.00 3048.02	3.45 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
745A01a745G01ak	3048.40 3053.90	3.45 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
746A02b746F02t	3054.60 3059.34	3.00 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
747A1a 747B1e	3059.05 3060.95	2.25 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
748A1a 749C03g	3060.95 3063.40	3.08 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
751A1a 751B	3063.70 3065.50	3.20 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
751C 751F	3065.54 3068.27	3.20 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
752A01a752H02b	3068.25 3074.32	1.95 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
753A01a755C02p	3074.30 3086.23	3.40 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
756A1a 756H01ao	3086.30 3092.30	3.00 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
757A01a758G01ad	3092.36 3102.62	3.45 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
759A01a760A02a	3102.70 3108.00	3.20 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
760B02b760F02r	3108.76 3112.80	3.10 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
761A06a761E6aa	3112.97 3116.92	3.50 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
762B12a762G12r	3118.61 3122.39	1.90 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
763A02a763F02t	3122.65 3126.95	3.50 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
763G02u764C01j	3127.26 3129.89	3.50 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
764C01k764H01ag	3129.89 3134.16	3.50 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
765A01a765H01aa	3134.15 3140.20	3.35 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
767A03a767H03ab	3140.50 3146.17	2.70 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
768A01a768A01a	3146.20 3146.45	3.60 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
769A03a769D031K	3146.51 3149.06	3.45 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
769D03m769H03ak	3149.06 3152.11	3.45 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
770A01a770E01ag	3152.10 3156.03	3.65 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
771A01c771B01s	3155.97 3157.23	3.55 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
773A02a773F4x	3162.72 3167.62	3.20 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
774A1a 775B02e	3167.90 3171.50	3.70 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
776A01a776G01ad	3171.60 3177.40	3.65 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
777A01a777A01d	3177.40 3179.20	3.80 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
777B1e 777F2q	3179.20 3181.96	3.79 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
778A1a 778A1e	3182.05 3182.68	3.24 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
778B07a779A01g	3183.18 3187.50	3.44 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
780A1a 780G01q	3187.70 3193.57	3.69 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
781A1a 781H01ag	3193.35 3199.03	2.99 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
782A3a 782B3d	3199.98 3200.40	4.09 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
783A6a 783F6bl	3203.29 3208.33	3.59 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL
784A2a 784G2ab	3208.62 3214.16	3.79 m	15.10.88 Run5 Ref: H30145RL

Kernstück-Nummer		Teufe		Teufen- diff.	FMS-Log		
von	bis	von	bis			Datum	
785A3a	785G	3214.26	3220.00	3.69 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
786A	787E1t	3220.20	3226.80	3.81 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
788A1a	788G1an	3226.80	3232.75	3.79 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
789A1a	789G	3232.60	3238.40	3.94 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
790A	790H1ad	3238.40	3243.72	3.74 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
791A5a	791C5k	3244.37	3246.09	3.64 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
791D	791D	3246.20	3246.61	3.74 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
792A2a	792E2y	3246.70	3250.45	4.09 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
793A2a	794E1ac	3251.01	3259.70	3.39 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
795A1a	798G1aa	3259.70	3274.02	3.86 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
799A1a	799G1ax	3274.05	3279.99	3.24 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
800A1b	804G1ae	3280.00	3302.45	4.02 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
805A5a	810E	3302.48	3330.90	4.09 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
811A	811A1h	3330.90	3331.30	4.19 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
812A1a	812J1ab	3331.25	3337.00	4.04 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
813A1a	813G1x	3337.00	3342.62	4.29 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
814A1a	814H1ak	3342.30	3348.45	3.99 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
815A1a	815G1ad	3348.50	3353.23	4.54 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
816A1a	816C1k	3353.80	3356.15	2.55 m	15.10.88	Run5	Ref: H30145RL
817A1a	K817B1fd	3356.10	3357.40	1.65 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
818A1a	818D1d	3357.40	3360.26	2.55 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
819A1a	820A1f	3360.20	3362.63	2.75 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
821A3a	824H1ad	3362.82	3382.84	2.70 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
825A1a	825F1v	3382.80	3386.92	2.80 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
826A1a	826D2l	3387.46	3389.93	2.80 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
827A4a	827G4o	3390.26	3395.00	2.65 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
828A1a	829C1h	3395.30	3400.55	2.72 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
830A1a	830H1af	3400.47	3406.45	2.53 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
831A3a	831B3w	3406.65	3407.99	2.50 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
832A2c	832D6l	3407.99	3410.29	2.80 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
833A1a	833D2h	3410.17	3412.89	2.93 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
834A1a	834C1d	3412.90	3414.84	2.63 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
835A1a	835B1e	3416.45	3418.38	2.00 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
836A1a	837G1z	3418.30	3429.02	2.72 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
838A1a	839F1n	3429.00	3433.71	2.78 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
840A1a	841A1e	3433.90	3439.85	2.77 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
842A1a	843G1af	3440.00	3450.76	2.80 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
843G1ah	844E1nf	3450.85	3454.85	2.82 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
845A1a	846G1y	3455.00	3464.19	2.83 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
847A1a	847G1av	3464.60	3470.07	3.05 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
848A1a	848F1u	3470.10	3475.43	3.00 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
848F1v	851A1c	3475.43	3478.00	3.00 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
851A2b	851G2x	3478.10	3483.20	2.88 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
852A1a	852D1ah	3483.15	3486.90	3.15 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
853A2a	853D2ab	3486.70	3489.32	2.90 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
854A2a	854G2ag	3489.90	3494.78	3.00 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
855A2a	856H	3495.30	3503.30	3.00 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
857A1a	858A1b	3503.30	3506.50	2.92 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
858A2c	858H2y	3506.50	3511.93	2.66 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
859A2a	860A1a	3512.26	3516.76	2.64 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
861A2a	861F2af	3517.40	3521.55	2.80 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
862A3a	862G3ae	3521.72	3527.48	2.92 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
863A2b	864A1h	3527.48	3533.48	2.84 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
865A2ab	865F2as	3533.86	3538.66	3.00 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL
866A1a	866F1t	3538.80	3543.90	2.94 m	13.12.88	Run5	Ref: H30258RL

Kernstück-Nummer von bis		Teufe von bis		Teufen- diff.	FMS-Log Datum			
867B9a	867H9r	3544.66	3549.49	2.87 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
870A9a	874H1ad	3550.48	3574.91	3.00 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
876A2a	876E2ay	3580.54	3584.66	3.48 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
877A3a	877G3ak	3585.02	3590.74	3.48 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
878A1a	878H1bf	3590.90	3596.69	3.14 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
879B7a	880A1	3597.73	3598.53	3.46 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
882A4a	882H4bb	3601.26	3606.88	3.75 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
883A1a	E885A1e	3607.05	3618.27	3.68 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
888A3a	891F1an	3627.78	3649.45	2.34 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
898A3a	900A3a	3653.16	3663.62	2.46 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
900B7a	903A1f	3663.63	3676.46	2.40 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
904A1a	905A1b	3676.50	3686.53	2.38 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
905A4a	907G1x	3682.57	3699.25	2.32 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
907G2a	911H1az	3699.30	3721.17	2.70 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
912A4ak	916G1r	3721.28	3747.31	2.98 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
917A1a	918G	3747.30	3758.50	2.46 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL
918A1a	920A11	3758.90	3765.33	2.56 m	13.12.88	Run5	Ref:	H30258RL



G. Gefüge und Deformation

W. Sprenger
H. Heinisch
A. Zadow



KTB-Report	91-3	G1-G36	4 Abb.	Hannover 1991
------------	------	--------	--------	---------------

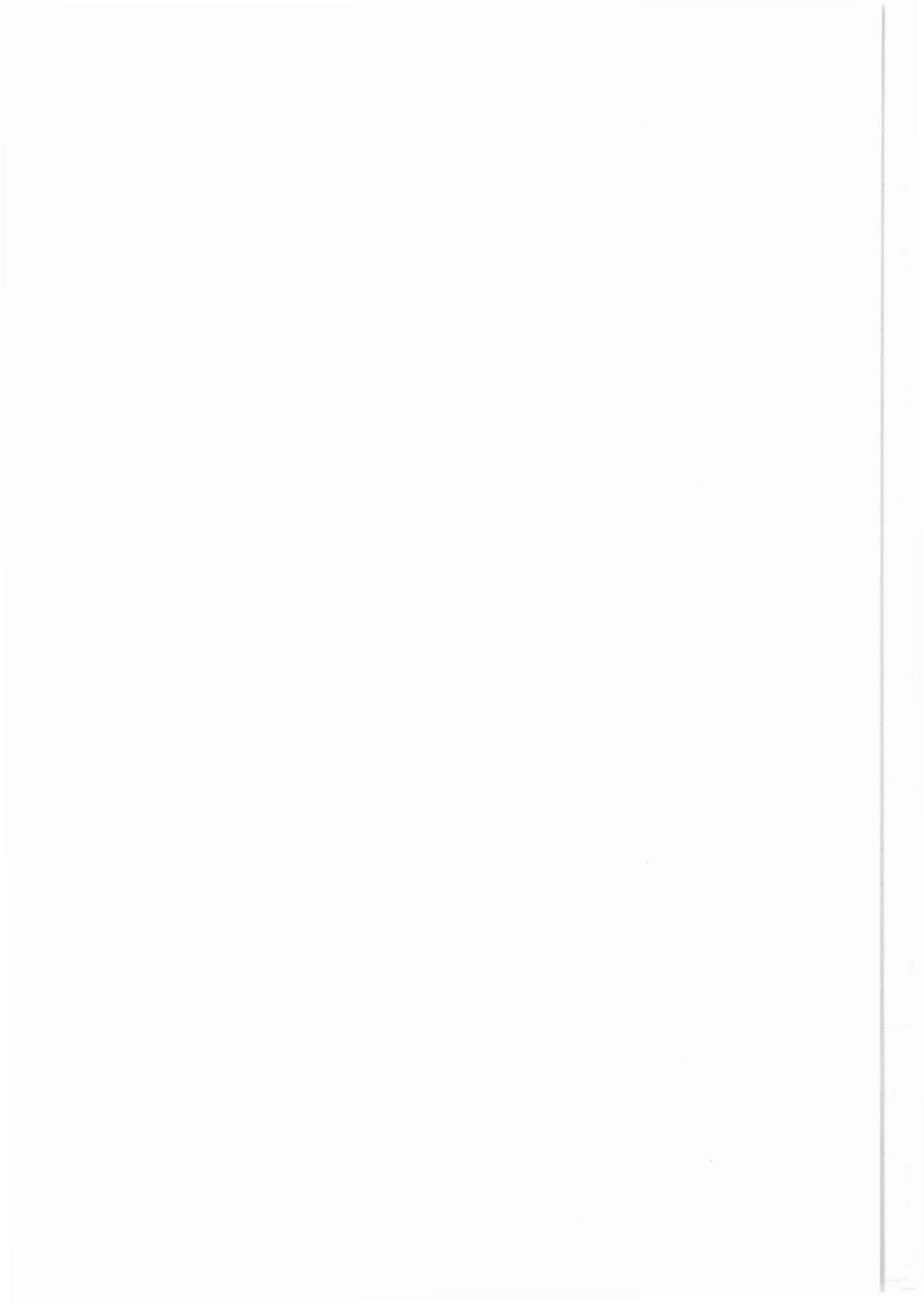
Kontinuierliche makroskopische Aufnahme kinematischer Markierungen an Kernen der KTB-Vorbohrung zur qualitativen Abschätzung der duktilen Verformung im Teufenbereich von 2004m bis 3569m.

G. Gefüge und Deformation

W. Sprenger, H. Heinisch & A. Zadow *)

Inhalt	Seite
G.1 Einführung	G 2
G.2 Daten	G 3
G.3 Ergebnisse und Interpretation	G 4
G.3.1 Schersinnumkehr	G 6
G.3.2 Richtung der Scherbewegung	G 6
G.3.3 Polarität der Scherrichtung	G 9
G.3.4 Interpretation der einzelnen Teufenabschnitte	G 9
G.4 Ausblick	G 11
G.5 Literatur	G 11
G.6 Anhang: Datenliste der Scherkriterien von 2004m bis 3569m	G 13

*) Anschrift der Autoren: Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Universität München, Luisenstraße 37, D-8000 München 2



G.1 Einführung

Die kontinuierliche makroskopische Kernaufnahme hinsichtlich kinematischer Markierungen der duktilen Verformung wurde in Arbeitsteilung zwischen den Arbeitsgruppen von J. Behrmann (Gießen) und H. Heinisch (München) im KTB-Feldlabor durchgeführt (siehe Tab. G.1.1). Wegen des hohen Personal- und Zeitaufwandes dauerten die Arbeiten bis Mitte des Jahres 1990 an. Die Kernaufnahme wurde von der Münchner Arbeitsgruppe nach Auslaufen der DFG-Förderung abgeschlossen. Dieser Bericht stellt die Fortsetzung zu ZADOW et al. (1990) dar und soll die Kontinuität der Daten-Dokumentation für den zweiten Teil der KTB-VB für Teufen zwischen 2004m und 3569m gewährleisten.

Teufenmeter	Anzahl der Markierungen	Bearbeiter
480m - 1250m	588	Zadow (München)
1250m - 1650m	46	Lich/Volp (Gießen)
1650m - 2432m	651	Lich/Volp (Gießen)
2432m - 3000m	1014	Sprenger (München)
3000m - 3600m	1569	Sprenger (München)

Tab. G.1.1: Aufnahmeaktivitäten

Bei den kinematischen Markierungen handelt es sich um Porphyroklasten-Systeme (σ -, δ -Klasten und komplexe σ - δ -Klastensysteme aus Feldspat bzw. Feldspat-Quarz-Aggregaten; δ -Klasten aus Granat), Scherbänder, asymmetrische Parasitärfaaltung der Foliation, sowie 'bookshelf sliding' in rigid Mineralen (v.a. Feldspat). Auch asymmetrische Kleinfalten wurden herangezogen, da die Kontrolle durch unmittelbar benachbarte, eindeutige σ - bzw. δ -Klasten eine extrem hohe Zuverlässigkeit der Kleinfalten als Schersinnindikatoren anzeigte. Für eine detaillierte Diskussion kinematischer Markierungen im duktilen Niveau wird auf SIMPSON & SCHMID (1983), PASSCHIER & SIMPSON (1986) und COBBOLD et al. (1987) verwiesen.

Ziel der Analyse kinematischer Markierungen über die Gesamtstreckung der Vorbohrung war es, Informationen zur Verifizierung tektonischer Modelle und von Teilbewegungspfaden der tektonischen Dislokation in der frühen Orogenese der saxothuringisch-moldanubischen Kruste im Bereich der ZEV zu erhalten. Es wird hierbei angenommen, daß die untersuchten kinematischen Markierungen während der Anlage der ältesten mylonitischen Foliation sensu WEBER & VOLLBRECHT (1987) entstanden sind.

Die Vorgehensweise bei der Kernaufnahme ist ausführlich in ZADOW et al. (1990) beschrieben. Zusätzlich wurden die Para-

meter für die Berechnung der 'vorticity number', einem Maß für die Rotation der Porphyroklasten, erhoben. Daraus läßt sich auf das Strainregime schließen. Die mathematischen Grundlagen sind in PASSCHIER (1987, 1988) erörtert. Ergebnisse aus der Anwendung dieser Methode auf die KTB-Vorbohrung werden in BEHRMANN et al. (1991) dargestellt.

Die Reorientierung der Markierungen in die ursprüngliche Raumlage erfolgte auf der Basis von FMST(Formation Micro-Scanner Tool)- und BGT(Borehole Geometry Tool)-Daten, die von G. Hirschmann, D. Schmitz und J. Kohl zur Verfügung gestellt wurden (siehe auch SCHMITZ et al., 1989). Für die Reorientierung wurden folgende Datensätze verwendet:

Kernmarsch 108-251	(578-991m)	:	FMST (Schmitz)
268-708	(1286-2888m)	:	FMST (Hirschmann)
709-715	(2888-2917m)	:	FMST/BGT
716-733	(2917-2997m)	:	FMST (Hirschmann)
734-784	(2997-3214m)	:	FMST (Schmitz)
785-786	(3214-3223m)	:	FMST/BGT
787-798	(3223-3278m)	:	FMST (Schmitz)
799-815	(3278-3354m)	:	FMST/BGT
816-834	(3354-3417m)	:	FMST (Schmitz)
835-840	(3417-3439m)	:	FMST/BGT
841-856	(3439-3498m)	:	FMST (Schmitz)
857-874	(3498-3570m)	:	FMST (Hirschmann)

Die Rohdaten, einschließlich der reorientierten Daten, wurden in einem dBASE-File abgelegt, der dem Feldlabor und interessierten Arbeitsgruppen zur Verfügung steht. Eine Datenauflistung für den Teufenabschnitt '2004m - 3569m' befindet sich im Anhang.

G.2 Daten

Zwischen 2004m und 3569m wurden ca. 3000 Schersinnindikatoren aufgenommen. Als häufigster Typ sind σ -Porphyroklastensysteme vertreten (65.7 %), seltener treten δ -Klasten (16.3 %) und duktile Parasitärfaalten (13.6 %) auf (Abb. G.2.1). Als Besonderheit sind vereinzelte, komplexe σ - δ -Klastensysteme zu erwähnen, deren erste Generation von Schwänzen primär im Druckschatten rotierender δ -Klasten gebildet und am Ende der Rotation von einer zweiten Generation von σ -Schwänzen überprägt wurde (PASSCHIER, 1987).

Für die teufenabhängige Darstellung im Scher-Log wurden die einzelnen Indikatoren mit ihrem Schersinn auf ein Bohrprofil aufgetragen und Homogenbereiche zusammengefaßt. Das Abgrenzungskriterium für Domänen von 'up-dip'-, 'down-dip'- und symmetrischer Ausbildung lag bei 75%-iger Richtungsidentität. Wie aus Abb. G.2.2 ersichtlich, erfolgt recht häufig eine Umkehr der Scherrichtung. Der Teufenabstand der Umkehrpunkte

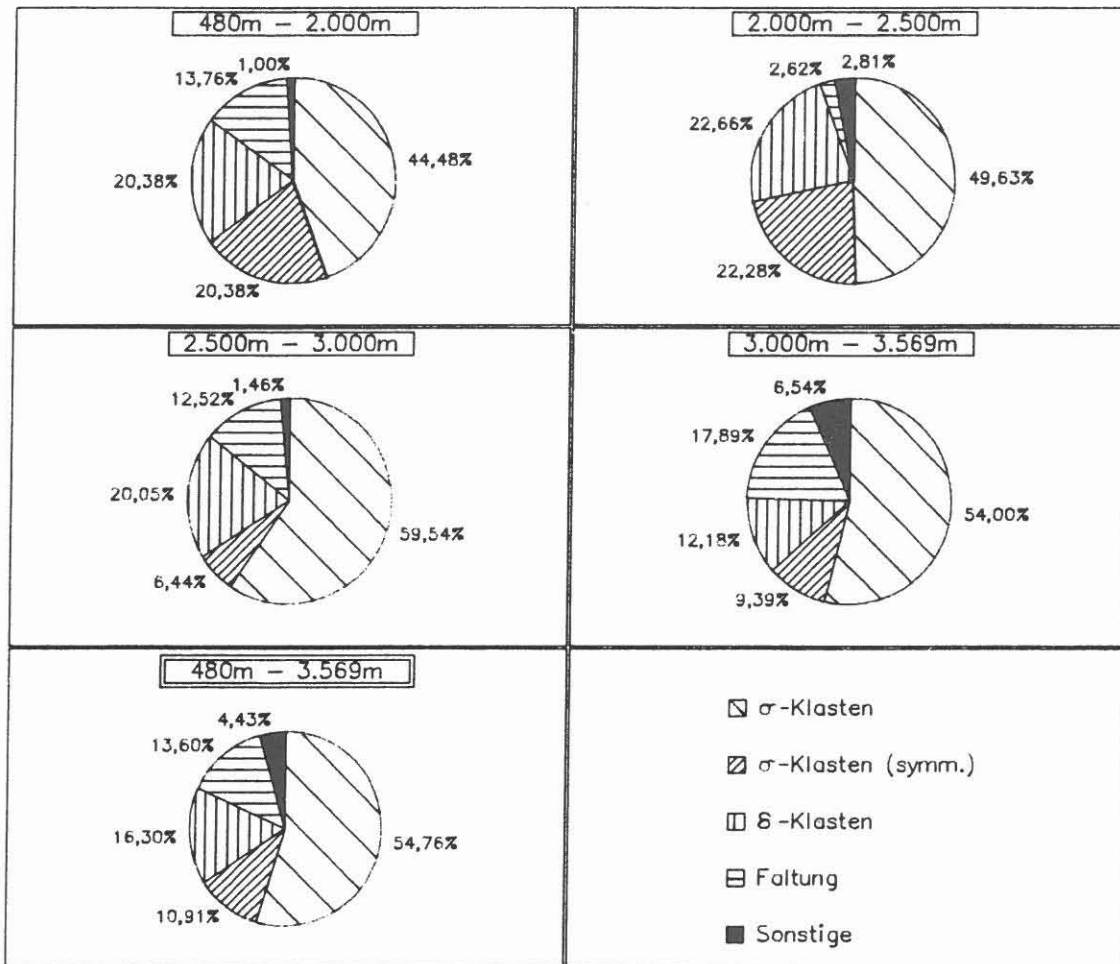


Abb. G.2.1: Prozentualer Anteil der verschiedenen Indikatoren-Typen am Gesamtinventar; unter "Sonstige" fallen S-C-Gefüge, Scherbänder, 'bookshelf structures', Boudinage.

variiert in der Größenordnung von wenigen Metern bis 50 m. Aus Übersichtsgründen wurde in die Profildarstellung auch der Tiefenbereich '480m - 2004m' einbezogen.

G.3 Ergebnisse und Interpretation

Aus den hier dokumentierten Daten lassen sich Aussagen bezüglich Schersinnumkehr sowie Richtung und Polarität der Scherbewegung ableiten. Da die kinematischen Markierungen bezüglich aller späterer Verstellungen als transportierte Gefüge zu betrachten sind, ist ein direkter Schluß auf Dislokationsvorgänge in der frühen Orogengeschichte nicht möglich. Es ergibt sich die Notwendigkeit schrittweiser palinspastischer Operationen, weswegen der Begriff 'scheinbarer Schersinn' für die Rohdaten benützt wird.

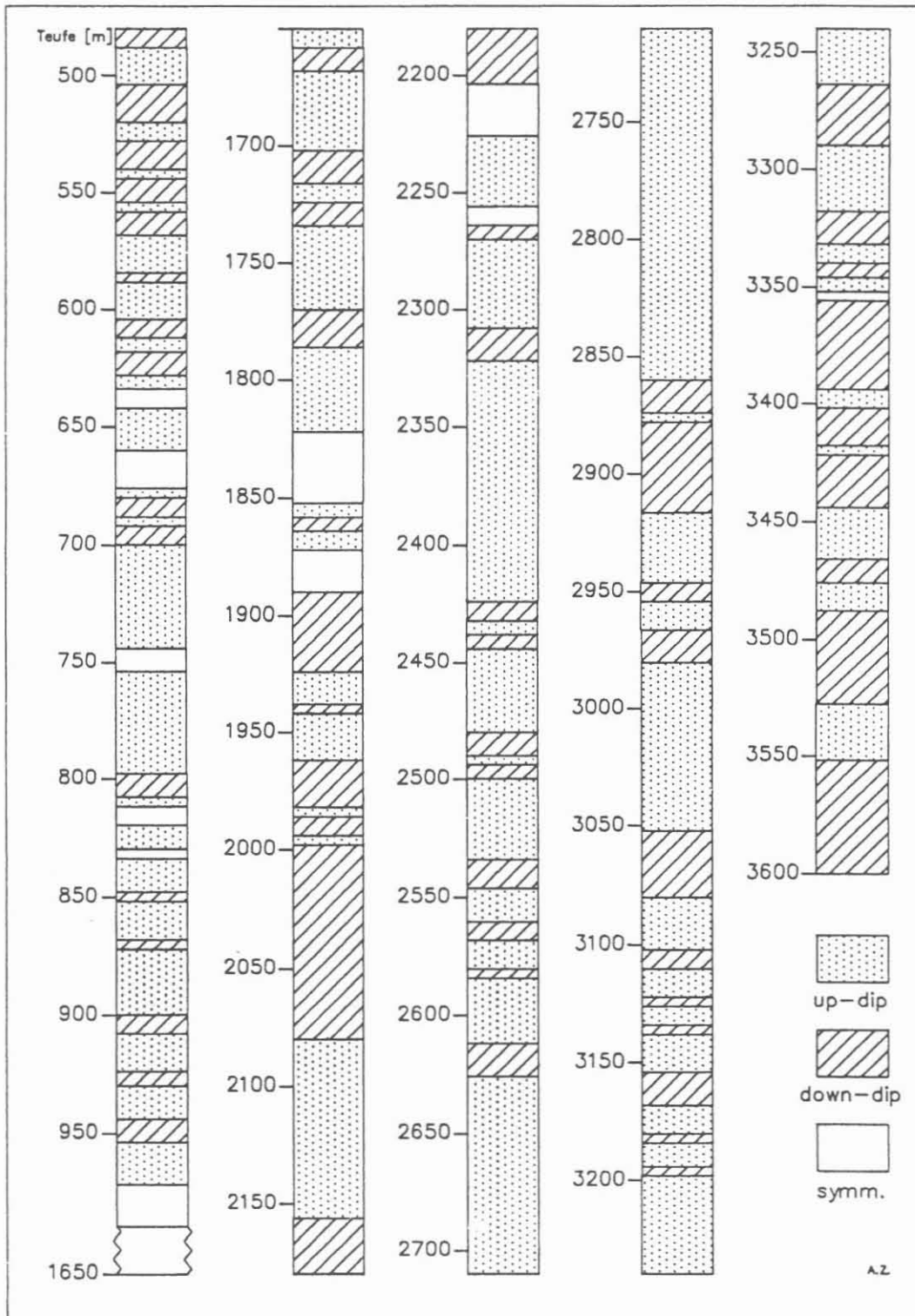


Abb. G.2.2: Scheinbarer Schersinn im Teufenabschnitt 480m bis 3600 m; Bewegung des tektonisch Hangenden in Einfallsrichtung der Foliation (down-dip): Schraffur; gegen die Einfallsrichtung der Foliation (up-dip): Punktsignatur; Domänen koaxialen Fließens: ohne Signatur (generalisierte Darstellung, Auflösung 2m).

G.3.1 Schersinnumkehr

Jede Schersinnumkehr wurde bezüglich ihrer Ursache klassifiziert, um ein Bewertungskriterium für die palinspastische Entzerrung späterer bruchhafter und semiduktilen Deformationsereignisse zu erhalten. Dabei galt folgende Fallunterscheidung (vgl. ZADOW et al. 1990):

- Umkehr durch duktile Faltung,
- Umkehr durch Vertikaldurchgang der Schieferung,
- Umkehr an kataklastischer Störung,
- Umkehr an rheologischen Kontrasten (Materialwechsel).

Mit Verfaltung der Foliation kann der überwiegende Teil der Umkehrungen des scheinbaren Schersinns erklärt werden. Hierbei waren teufenabhängig verschieden häufig folgende Falten-typen beteiligt: duktile Scherfaltung mit Parasitär-falten, semiduktile offene Faltung, bruchhafte Knickfaltung.

In den Bereichen nahezu vertikal stehender Foliation war eine Schersinnumkehr besonders häufig. Dies beruht darauf, daß hier bereits eine geringfügige Faltung oder Knickung für einen Vertikaldurchgang der Foliation (Änderung der Einfall-richtung um 180°) mit entsprechender Schersinnumkehr ausreicht.

In einigen Fällen waren Umkehrungen an das Auftreten von Kataklastezonen gebunden. Die Umkehr an rheologischen Kontrasten beschränkte sich vorwiegend auf die Kontaktbereiche 'Paragneis/Amphibolit'.

G.3.2 Richtung der Scherbewegung

Im Teufenabschnitt '2000m - 3570m' dreht die scheinbare Scherrichtung von NNE (30°) nach E (79°) und wieder zurück nach N (1°). Über die gesamte Kernstrecke ergab die Richtungsanalyse der ableitbaren Scherrichtungen (Klastenposition ca. 90° zur Scherrichtung) Richtungsrosen mit einem mittleren Azimut von 51° bzw. 34° und einem relativ schwachen vektoriel-len Regelungsgrad von 17% bzw. 42% (Abb. G.3.1a-d; Tab. G.3.1). Da das Vektormittel der Streckungsrichtung symmetrischer und asymmetrischer Klasten sehr ähnlich liegt, kann davon ausgegangen werden daß die symmetrischen Klasten wirklich Ausdruck koaxialer Verformung sind und kein Anschnitt-effekt vorliegt.

Fast sämtliche Teilbereiche ergaben ein relativ einheitliches Bild. Lediglich im untersten Teufenabschnitt von 3000 - 3600m zeichnet sich ein differierendes Ergebnis ab (Abb. G.3.2; Tab. G.3.1). In diesem Bereich flacher Foliation und auch im darunter anschließenden Bereich fällt die schlechte Regelung

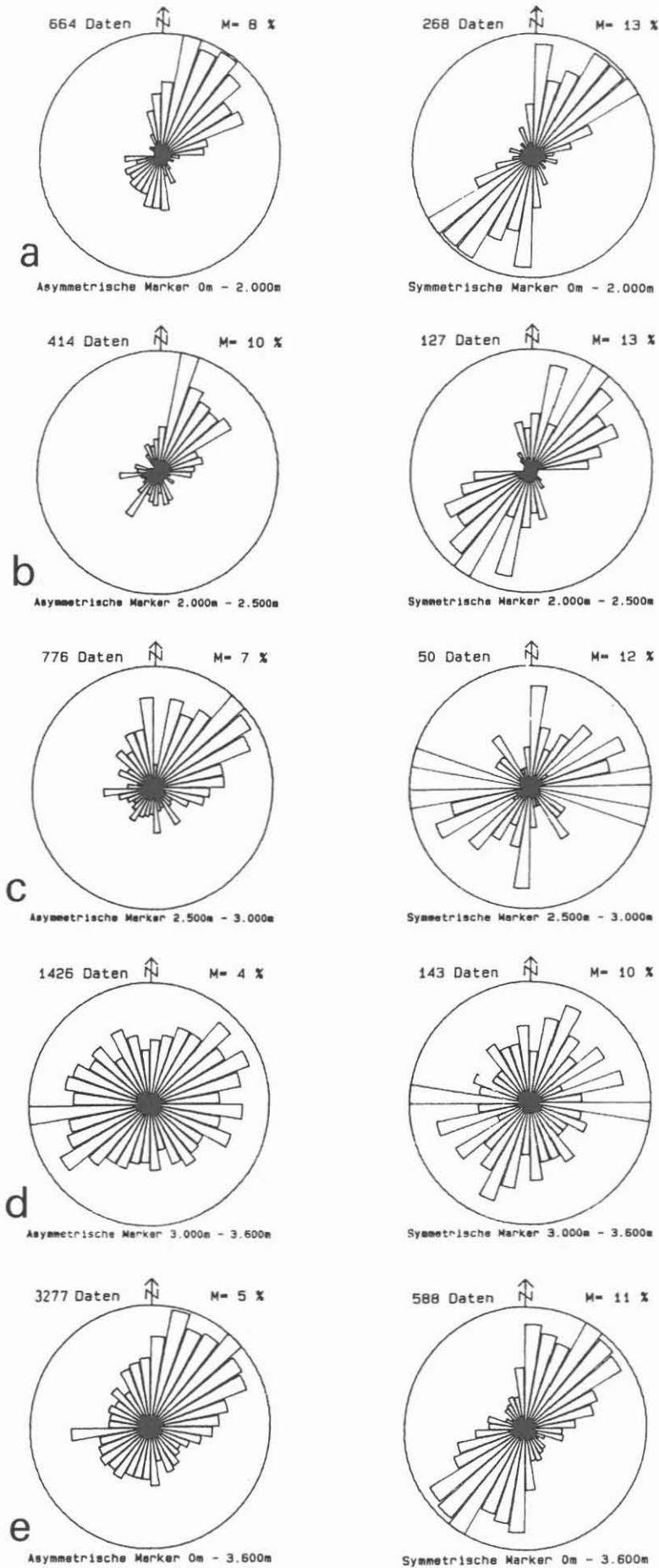


Abb. G.3.1: Richtungsrosen und vektorielle Statistik der im Feldlabor aufgenommenen Schersinn-Indikatoren (480 - 3600m); Markierungen mit zweifelhafter Aussage wurden nicht berücksichtigt; a-d) Entwicklung von einer guten zu einer schlechten Regelung über die gesamte Teufe; e) synoptische Darstellung aller Scherindikatoren der Vorbohrung.

bis Gleichverteilung der Richtungsdaten auf. Dies kann folgende Ursachen haben:

(a) Überlagerung zweier zeitlich getrennter Deformationsregimes mit verschiedener Scherrichtung;

(b) Dominanz koaxialer Deformation bzw. Überlagerung der 'simple shear'-Deformation durch eine höhere 'pure shear'-Komponente;

(c) Ungenauigkeiten bei der Festlegung der Einfallrichtung der Foliation wegen flacher Raumlage und daraus resultierende Ungenauigkeiten bei der Kern-Reorientierung.

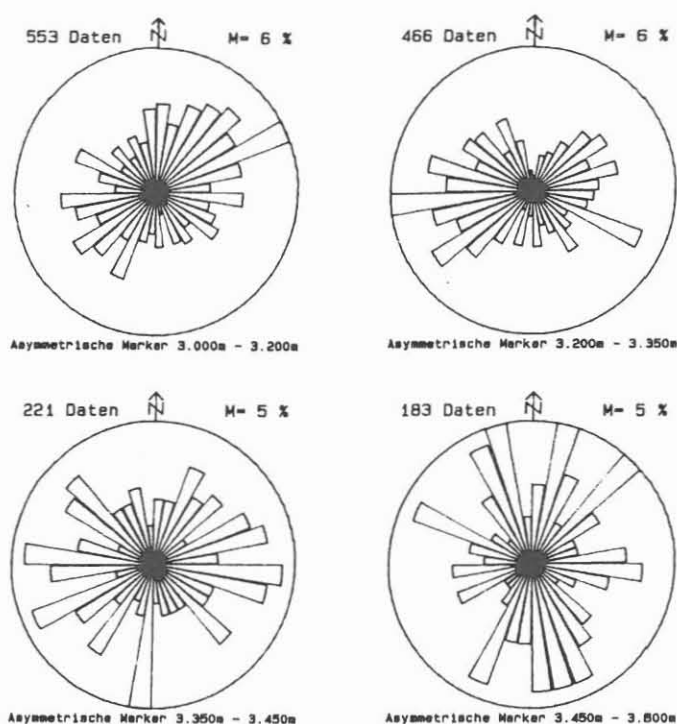


Abb. G.3.2: Richtungsrosen und vektorielle Statistik der im Feldlabor aufgenommenen Schersinn-Indikatoren im Teufenabschnitt mit flacher Foliation und diffuser Hauptscherrichtung (3000 bis 3600m).

Teufenbereich	Anzahl		Regelungsgrad [%]		Vektormittel [°]		Schiefe		Kurtosis	
	asymm.	symm.	asymm.	symm.	asymm.	symm.	asymm.	symm.	asymm.	symm.
0m - 2.000m	664	268	52	58	27	31	4.59	3.60	1.19	-46.25
2.000m - 2.500m	414	127	43	56	30	33	-3.42	-4.77	1.44	3.44
2.500m - 3.000m	776	50	19	19	39	46	-2.31	-1.40	1.55	1.79
3.000m - 3.200m	553		0		20		-2.45		1.19	
3.200m - 3.350m	466		25		87		0.13		-0.34	
3.350m - 3.450m	221	143	13	-10	79	129	-0.11	1.15	-0.47	1.00
3.450m - 3.600m	183		14		1		-3.45		-1.96	
0m - 3.600m	3277	588	17	42	51	34	-0.81	-2.71	1.21	-20.25

Tab. G.3.1: Statistik der Schersinn-Indikatoren über den gesamten Teufenbereich

Nach den vorliegenden Daten ist zusammenfassend von einer Scherdeformation der Gesteine in NNE-SSW-Richtung vor ihrer Wiederfaltung und Aufrichtung in steile Foliationslage auszugehen. Dabei ist vorausgesetzt, daß sich bei der Steilstellung der Foliation nur der Fallwert, nicht jedoch die Fallrichtung änderte.

G.3.3 Polarität der Scherrichtung

Der prozentuale Anteil der Domänen unterschiedlicher Scherrichtung bezüglich der im Mittel steil SSW-fallenden Scherfläche läßt sich in Abhängigkeit von der Teufe folgendermaßen darstellen:

Teufe	up-dip	down-dip	koaxial
458 - 992m	60.6 %	26.8 %	12.6 %
1178 - 1566m	---	---	---
1623 - 1813m	67.1 %	32.9 %	---
1709 - 2008m	45.3 %	38.7 %	16.0 %
2008 - 3053m	69.5 %	27.7 %	2.8 %
3053 - 3265m	68.9 %	31.1 %	---
3265 - 3570m	33.5 %	65.3 %	1.2 %

Dargestellt sind generalisierte Werte, entnommen aus Abb. G.2.2. Bis auf den letzten Teufenabschnitt überwiegt der Anteil der kinematischen Markierungen, die eine Aufschiebung der Hangendscholle anzeigen. Bezogen auf die Horizontalkomponente der Partikelbewegung ergibt sich eine Hauptbewegungsrichtung nach NNE, bezogen auf die Vertikalkomponente eine Hebung des Südblockes. Im Abschnitt zwischen 458m und 2008m ist der Anteil der koaxial deformierten Klasten relativ hoch. Die Abweichung des Teufenbereichs '3265m - 3570m' in der Polarität der Scherrichtung ist, mit den genannten methodischen Einschränkungen, mit der tektonischen Position im Liegendschenkel einer Großfaltenstruktur in Zusammenhang zu sehen.

G.3.4 Interpretation der einzelnen Teufenabschnitte

Bereich 2008m bis 3053m:

In diesem Abschnitt überwiegt teufenmäßig sehr stark ein Up-dip-Regime. Der zu Beginn dieses Abschnittes sich in den Rohdaten abzeichnende Down-dip-Bereich ist nach Anwendung der in Kap. G.4 beschriebenen palinspastischen Operationen als überkippter NE-fallender Bereich anzusprechen.

Die Einfallrichtung der Foliation wechselt sehr stark, es tritt aber kaum ein Wechsel in der Scherrichtung auf. Die Wechsellagen sind fast alle als Vertikaldurchgänge mit Knickfaltung zu betrachten.

Bis 2480m ergibt sich eine Aufschiebung des S-Blockes nach NNE. Darunter kehrt sich die Bewegungsrichtung um. Die Ursache liegt offensichtlich in einem Materialwechsel zu Hornblende-Gneisen.

Ab 2480m wird die Foliation flacher. Von 2626m bis 2854m liegt ein mächtiger Up-dip-Bereich in den Hornblende-Gneisen.

Zwischen 2860 und 3053m herrscht eine kleinräumige Schersinn-Umkehr, die ausschließlich auf duktile Scherfaltung zurückzuführen ist. Nach der Entzerrung wäre dieser Bereich als einheitliche Up-dip-Zone zu betrachten.

Bereich 3053m bis 3265m:

Die in den vorhergehenden Teufen häufige duktile Scherfaltung mit vielen Parasitärfaleten wird in diesem Abschnitt von einer offenen Faltung überlagert, die jünger als das duktile rotationale Ereignis ist. Bei diesen offenen Falten kommt es auf den Öffnungswinkel und die Position der Falte (Orientierung der B-Achse) an, ob sie eine Schersinn-Umkehr verursachen.

Auch die Knickfaltung der höheren Teile der Bohrung wird in dieser Teufe durch die offene Faltung ersetzt. Dies drückt sich in den Gefügediagrammen in einem Übergang von Zweipunkt-Maxima zu einer Gürtelverteilung der Schieferungsflächen aus (KOHL et al., 1990).

Bei der Scherrichtung überwiegt, wie bereits in den oberen Segmenten, die Up-dip-Komponente. Die Foliation liegt flach.

Bereich 3265m bis 3570m:

Bei 3265m erfolgt zusätzlich zu einer Überlagerung der Scherfaltung durch offene Faltung eine Drehung des Foliationsazimuts.

Im Teufenbereich unterhalb 3570m waren wiederum Metabasite durchteuft worden, die keine rotationalen Gefüge erkennen ließen. Unterhalb 3766m wurden keine Messungen mit dem FMST mehr durchgeführt. Da keine Rückorientierung mehr möglich war, mußte auch die Schersinn-Auswertung unterbleiben.

Generell kommt es im unkorrigierten Scherlog in diesem Abschnitt zu einem starken Übergewicht der Down-dip-Richtung. Dies muß so gedeutet werden, daß in diesem Abschnitt der Liegendschenkel einer Großfalte durchteuft wurde. Unter der Annahme, daß diese Großstruktur den bruchhaften bis semiduk-

tilen Ereignissen zuzuordnen ist, kann nach ihrer Rückformung auch hier von einer Aufschiebung des S-Blockes nach NNE ausgegangen werden.

G.4 Ausblick

Die erhobenen Daten bilden die Ausgangsbasis für Aussagen bezüglich möglicher Deckentransporte während der frühen Orogenese der ZEV und bezüglich des Fließverhaltens der tieferen kontinentalen Kruste unter duktilen Strainbedingungen.

Zur Problemlösung im Falle der KTB-Gesteine mußten hierbei zunächst die Auswirkungen der gut dokumentierten, polyphasen bruchhaften bis semiduktilen Verformungen bewertet werden (ZULAUF & KOHL, 1989; ZULAUF, 1989; RÖHR et al., 1990). Anschließend wurde eine palinspastische Rückrotation und Entzerrung der Log-Daten vorgenommen. Die ZEV bildet heute im Bereich der Bohrung eine Großfaltenstruktur (KOHL et al., 1989). Diese entstand jedoch vergleichsweise spät, im semiduktilen Regime bei Temperaturen zwischen 300° und 500°C. Zur Entzerrung dieser Struktur wurde, ausgehend vom Originalscherlog, jeder Bereich einzeln bewertet. Vertikaldurchgänge der Schieferung durch Knickfaltung (höherer Teil der Bohrstrecke) und semiduktile offene Faltung (tieferer Teil der Bohrstrecke) wurden rückgeformt. Daraus ergibt sich schrittweise ein korrigiertes, bezüglich der letzten Verformungsinkremente geglättetes Scherlog. Für dessen graphische Ausarbeitung und abschließende Interpretation ist ein weiterer Beitrag (HEINISCH et al., 1991) vorgesehen. Generell zeigt sich nach der Entzerrung eine deutliche Dominanz duktiler NNE-aufschiebender Fließbewegungen, bezogen auf die im Mittel steilstehende, SSW-fallende Foliationsrichtung.

G.5 Literatur

BEHRMANN J.H., HEINISCH H., LICH S., SPRENGER W., VOLP A. & ZADOW A. (1991): Low-Vorticity Ductile Flow in Gneisses of the Bohemian Massif and its Tectonic Significance. Results from German Deep Continental Drilling (KTB).- First draft Oct. 1990, in prep.

COBBOLD P.R., GAPAIS D., MEANS W.D. & TREAGUS S.H. (Eds.) (1987): Shear criteria in rocks: an introductory review.- J. Struct. Geol. 9/5-6, 521-778, Oxford.

HEINISCH H., KOHL J., SPRENGER W. & ZADOW A. (1991): Kinematische Analyse von Porphyroklasten-Systemen in Gneisen der KTB-Vorbohrung auf der Basis kontinuierlicher Kernaufnahme.- KTB-Report, in prep.

KOHL J., HACKER W., RÖHR C. & SIGMUND J. (1989): Geowissenschaften im KTB-Feldlabor - Geologie - Geologische Strukturen in Gesteinen und KTB-Vorbohrung.- KTB-Report 89-3, 467, Hannover.

KOHL J. ZULAUF G. & RÖHR C. (1990): Veränderungen struktur-geologischer Parameter mit der Teufe in der KTB-Vorbohrung.- KTB-Report 90-4, 454, Hannover.

PASSCHIER C.W. (1987): Stable positions of rigid objects in non-coaxial flow - a study in vorticity analysis.- J. Struct. Geol. 9/5-6, 679-690, Oxford.

PASSCHIER C.W. (1988): Analysis of deformation paths in shear zones.- Geol. Rdsch. 77/1, 309-318, Stuttgart.

PASSCHIER C.W. & SIMPSON C. (1986): Porphyroclast systems as kinematic indicators.- J. Struct. Geol. 8, 831-843, Oxford.

RÖHR C., KOHL J., HACKER W., KEYSSNER S., MÜLLER H., SIGMUND J., STROH A. & ZULAUF G. (1990): German Continental Deep Drilling Program (KTB) - Geological survey of the pilot hole "KTB Oberpfalz VB".- KTB-Report 90-8, B1-B55, Hannover.

SCHMITZ D., HIRSCHMANN G., KOHL J., RÖHR C. & DIETRICH H.-G. (1989): Die Orientierung der Bohrkerne in der KTB-Vorbohrung.- KTB-Report 89-3, 100-110, Hannover.

SIMPSON C. & SCHMID S.M. (1983): An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks.- Geol. Soc. Am. Bull. 94, 1281-1288, Boulder.

WEBER K. & VOLLBRECHT A. (1987): Ergebnisse der Vorerkundungsarbeiten Lokation Oberpfalz.- 2. KTB-Kolloquium Seeheim/Odenwald, 186 S.

ZULAUF G. (1989): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Brucktektonik im Teufenbereich von 1177 bis 1530m: Ergänzende Untersuchungen.- KTB-Report 89-4, E1-E22, Hannover.

ZULAUF G. & KOHL J. (1989): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Brucktektonik im Teufenbereich von 1177 bis 1530m.- KTB-Report 89-2, E1-E14, Hannover.

G.6 Anhang: Datenliste der Scherkriterien von 2004 bis 3569m

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PNST)	KRITERIUM	SCHERSINN	TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PNST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2009	455	A2b	40/70	o (tsynn)	220 ud	2118	485	A1f	210/80	o (syann)	210 --
		B2fk	40/70	δ	45 dd			A1n	210/80	o (syann)	120 --
2012	456	B2c	30/68	o	20 dd	2119		B1g	210/80	o (syann)	90 --
2013		C2j	30/68	o	5 dd			C1l	30/88	o	225 ud
2015	457	B2e	30/68	o	220 ud	2120		D1r	30/82	o (tsynn)	5 ?dd
2022	461	C1q	30/72	δ	65 dd			D1u	30/82	o (syann)	220 --
2023		E1w	30/73	o	15 dd	2128	487	C1n	200/75	o (syann)	130 --
			30/73	δ	15 dd	2130		E1p	210/85	δ	10 ud
			30/73	δ	30 dd	2131		F1s	210/85	o	70 ud
2027	462	A1b	30/78	o	60 dd				210/85	o	45 ud
			30/78	o (syann)	65 --				210/85	o	80 ud
			30/78	δ	50 dd	2134	488	C1j	40/75	o	280 ud
			30/78	δ	60 dd	2135		E1r	35/80	δ	285 ud
			30/78	δ	10 dd				35/80	o (syann)	165 --
		A1c	30/78	o	30 dd	2136		F1s	35/85	δ	350 dd
			30/78	δ(p)σ(s)	180 ud	2137		H1z	30/90	o (tsynn)	350 ?dd
2024		F1aj	30/75	o	350 dd	2138	489	A1a	210/90	o	190 dd
2030	463	A1a	20/55	δ	20 dd	2139		B1d	210/90	o (syann)	35 --
2032		C1q	20/55	o (syann)	160 --			C1c	210/90	o (syann)	10 --
2033		D1	20/55	o (syann)	30 --			C1e	210/90	δ(p)σ(s)	40 ud
2034	464	A1d	20/55	o	10 dd	2140		C1g	210/90	o (tsynn)	105 ?ud
2040		E4f	20/65	δ	20 dd			D1h	210/90	o (syann)	190 --
2037	465	A2d	20/62	δ(p)σ(s)	20 dd				210/90	o	20 ud
2038		C2p	20/65	o	0 dd	2141		E1i	220/85	δ	65 ud
2040	465	D4a	40/60	o	40 dd				220/85	o (tsynn)	20 ?ud
			40/60	o	10 dd			E1n	220/85	o	30 ud
2043	467	B2g	40/70	o	25 dd			F1r	220/85	o	25 ud
			40/70	δ	15 dd	2144	490	D1n	245/85	o (tsynn)	75 ?ud
			40/70	o	18 dd	2146		F1w	250/85	δ	100 ud
		B2h	40/70	o	215 ud	2149	491	C1s	200/60	o (syann)	190 --
2051	468	H1w	20/78	o	10 dd	2150	492	A2a	250/85	o	90 ud
			20/78	o	10 dd	2151		B2e	200/60	o	185 dd
			20/78	o	50 dd			C2j	200/65	o	20 ud
		H1x	20/78	o	45 dd	2152		C2k	200/65	δ	25 ud
			20/78	o	20 dd	2153		E2f	205/70	δ	10 ud
		J1aa	20/80	o	10 dd			E2g	205/70	o	0 ud
			20/80	o	0 dd	2154		F2ac	205/70	δ	240 dd
			20/80	o	25 dd			G2ai	205/70	o	25 ud
			20/80	o	50 dd	2155		G2ak	210/82	δ	5 ud
2054	469	C1f	30/70	o	40 dd	2156	493	A1a	210/82	δ	180 dd
		D1j	30/70	o	40 dd				210/82	o	150 dd
2057	470	D1r	30/70	o (syann)	180 --				210/82	o (syann)	200 --
2059		F1aq	30/70	δ(p)σ(s)	30 dd			A1c	210/82	o (syann)	190 --
	471	A1b	30/70	δ (tsynn)	20 dd			A1h	210/82	o	150 dd
2060		B1d	30/70	δ	15 dd				210/82	o	170 dd
2061		C1g	30/70	o	30 dd	2157		B1j	210/82	o	155 dd
			30/70	o	75 dd				210/82	o (syann)	20 --
2063		A2a	30/70	o	50 dd	2157		B1n	210/82	δ	230 dd
2065	472	C2f	30/70	o	35 dd	2158		C1n	210/82	o	220 dd
		D2h	30/70	o (syann)	210 --	2180	504	E2l	20/75	o (syann)	240 --
2066		E2i	30/70	δ	320 dd	2181	505	B2b	20/75	o	10 dd
		E2l	30/70	δ	45 dd	2183	506	A1a	20/75	δ	5 dd
2073		B1c	38/65	o	78 dd	2186	507	A2e	30/75	o	10 dd
2074	474	D1g	38/65	o	58 dd	2187		B2z	30/75	o (syann)	140 --
2076	475	B1d	45/68	o	30 dd	2190	508	B1d	30/78	o (tsynn)	240 ?ud
		C1f	45/68	δ	50 dd				30/78	o	20 dd
2079	476	A1b	50/70	δ	20 dd			C1e	30/78	o (syann)	205 --
2081		D1i	50/70	o (tsynn)	260 ?ud	2191		B1j	35/78	o (syann)	230 --
2084	477	A1a	35/70	o (tsynn)	35 ?ud	2193		G1e	35/78	o	210 ud
2093	478	G1q	35/80	o (tsynn)	190 ?ud			H1n	35/78	o	260 ud
2098	480	D1k	30/80	o	285 ud	2194		I1n	40/78	o	60 dd
2099		D1n	25/80	o	235 ud				40/78	o	30 dd

TRUPE [n]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2196	510	B1k	40/78	o	40 dd
			40/78	o (synn)	80 --
			40/78	o	30 dd
2197	511	A1a	40/75	o	35 dd
		A1b	40/75	o	220 ud
2198		B1q	40/75	o	355 dd
2201	512	A1g	35/80	o (synn)	215 --
2203	513	C2k	30/85	o	180 ud
2204	514	A1b	25/88	o	345 ?dd
		A1d	25/88	o	55 dd
2205		B1g	25/88	o (synn)	195 --
2207	515	B1p	25/90	o (synn)	245 --
		B1s	25/90	o (synn)	195 --
2208		B1y	25/90	o (synn)	160 --
2210	517	B3b	210/70	o (synn)	70 --
2212	518	A2b	200/80	o (synn)	175 --
			200/80	o (synn)	40 --
			200/80	o (synn)	45 --
			200/80	o (±synn)	10 ?ud
			200/80	o (synn)	5 --
		A2d	200/80	o (synn)	150 --
			200/80	o (synn)	355 --
			200/80	o (synn)	50 --
			200/80	o (synn)	80 --
			200/80	o (synn)	35 --
		A2h	200/80	o (synn)	10 --
			200/80	o	200 dd
			200/80	o	180 dd
2213	519	A2f	200/85	o (synn)	220 --
			200/85	o (synn)	210 --
		A2l	200/90	o	10 ud
2214	520	A1b	190/80	o (synn)	250 --
			190/80	o (synn)	75 --
2215		B1r	190/80	o (synn)	170 --
2218	521	D1u	200/88	o	205 dd
			200/88	o	210 dd
2223	525	A1a	25/90	o	175 ud
2224		B1g	25/90	o (±synn)	15 ?dd
2225		C1o	20/90	o (synn)	5 --
		D1r	20/90	o (synn)	195 --
2226	526	A1a	20/90	o	210 ud
			20/90	o	190 ud
			20/90	o	210 ud
			20/90	o	235 ud
2227		B1c	200/88	δ	30 ud
2228		D2f	200/85	o	50 ud
			200/85	o	335 ud
			200/85	o	345 ud
2229		E2g	220/83	o	60 ud
2230		E2h	230/82	o	85 ud
2232	527	B1l	240/82	o	80 ud
		B1l	240/82	o (synn)	210 --
2236	529	A1d	20/85	o	210 ud
			20/85	o	210 ud
			20/85	o	330 dd
			20/85	o	30 dd
2237	529	C1q	220/80	o	250 dd
			220/80	o (synn)	30 --
2241	532	A1c	220/65	δ(p)σ(s)	30 ud
		B1d	220/65	o (synn)	240 --
	534	B1f	220/65	δ	0 ud

TRUPE [n]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2241	534	B1f	220/65	o	30 ud
2256	536	A1b	220/85	o	70 ud
2260		H1x	50/85	o (synn)	245 --
			50/85	o (synn)	230 --
			50/85	o (synn)	205 --
			50/85	o (synn)	260 --
			50/85	o (synn)	245 --
2261		H1y	50/80	o (synn)	230 --
2262	537	B1p	50/75	o (synn)	215 --
2263		C1q	50/75	o (synn)	10 --
		C1r	50/75	o (synn)	0 --
2264		D1y	40/85	o	70 dd
	538	A1e	40/85	o (synn)	240 --
2265	539	A1a	30/90	o	10 dd
2268		D1o	240/62	δ	225 dd
2271	540	C9r	240/75	δ	50 ud
2275	543	B2g	240/85	o	90 ud
2277	544	B1b	50/85	o (synn)	40 --
			50/85	o	190 ud
2278		C1g	50/85	o	245 ud
2279		E1o	50/85	o	260 ud
2282	545	D1n	50/85	o (synn)	235 --
2283		E1o	220/90	o (synn)	10 --
2286	546	C1n	220/90	o	55 ud
2290	547	D1ag	220/85	o (±synn)	95 ?ud
2291	548	A1a	220/85	o	45 ud
2293		D1h	220/77	o	70 ud
2294		F1k	220/80	o	220 dd
		F1n	220/80	δ	5 ud
2295		G1s	220/80	o (synn)	230 --
			220/80	o	15 ud
2296	549	A1b	220/75	o	40 ud
		B1d	220/75	o	10 ud
			220/75	δ	30 ud
		B1e	220/72	δ	10 ud
2297		C1g	220/72	o	40 ud
2298		D1n	210/73	o	10 ud
			210/73	o	20 ud
			210/73	o	10 ud
			210/73	o (±synn)	15 ?ud
			210/73	δ	70 ud
			210/73	o	350 ud
		B1s	200/75	o	20 ud
2299	549	F1ad	200/75	o (synn)	190 --
2300	550	A1a	200/75	o (synn)	80 --
2302		C1i	220/65	o (synn)	60 --
2303		E1q	230/65	o	10 ud
2304	551	A1b	225/73	δ	5 ud
			225/73	o	5 ud
2307	552	B1f	220/78	o (synn)	40 --
		C1h	220/78	o (synn)	240 --
2309		D1n	220/78	δ	270 dd
2310	553	Aa	215/76	δ(p)σ(s)	235 dd
2316	556	C1r	210/75	o (synn)	205 --
	557	A1a	210/75	δ	185 dd
		A1b	210/75	o (synn)	65 --
2319	558	A1b	215/73	o	120 ud/dex
			215/73	o	25 ud
		B1d	215/73	δ	180 dd
		C1e	215/73	δ	195 dd
2320		C1f	215/73	δ	210 dd

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2320	558	D1h	215/73	o (syann)	220 --
2322	559	B1j	220/72	o (syann)	210 --
			220/72	o	220 dd
2323		D1r	220/72	o	35 ud
2328	561	C1u	210/60	o	350 ud
2331	562	D1r	210/60	o (syann)	235 --
2332		D1s	210/60	o (syann)	20 --
2333	563	A1c	210/60	o	95 ud
2334		C1i	215/62	δ	65 ud
2335	564	A1a	215/63	o (syann)	230 --
		A1b	215/63	o	195 dd
			215/63	o (syann)	175 --
2337		C1k	215/63	δ	355 ud
		A1c	215/63	δ	215 dd
2339		B2h	220/65	δ	170 dd
2341	566	C1n	220/65	o	70 ud
		C1n	220/65	o	30 ud
		D1q	220/65	o (syann)	225 --
		D1s	220/65	δ	110 ud
2344	567	E2n	215/65	o (syann)	165 --
2346		F2ae	215/65	o	270 dd
2347		H2ak	215/65	o	205 dd
2349	568	C1d	215/65	δ	95 ud
2350		E1n	210/65	o	95 ud
2351	569	B3b	210/65	o (syann)	0 --
		B3d	210/65	o (syann)	50 --
2352		C3ek	210/65	o (syann)	40 --
		D3f	210/65	o (syann)	15 --
2353		E3g	210/65	o	80 ud
		F3h	210/65	o (syann)	30 --
			210/65	o (syann)	45 --
2354		G3k	210/65	o (syann)	45 --
2355		G3l	210/65	o	40 ud
2358	570	B1aa	210/65	o (syann)	160 --
		F1ab	210/65	o	35 ud
2359		G1ad	210/65	o (syann)	30 --
2360	571	A1a	210/75	o (syann)	30 --
2362		D1e	210/90	o (syann)	230 --
		F1k	40/85	δ	195 ud
			40/85	o	210 ud
2363		H1ad	40/80	o	220 ud
2365		C1g	200/80	o (±syann)	165 ?dd
2367	572	D1h	200/80	o (syann)	70 --
		D1k	200/80	δ	20 ud
		E1l	200/80	o (syann)	45 --
2370		G1q	200/80	o (±syann)	20 ?ud
	573	B1f	185/80	o	5 ud
2372	574	B1b	180/80	o	330 ud
2373		C1d	180/85	δ	0 ud
2374		D1g	180/90	o	170 dd
		E1h	180/90	o (syann)	160 --
2375	575	B1c	180/90	o (syann)	0 --
2376		C1d	30/88	o (syann)	190 --
2377	576	B3a	30/85	δ (±syann)	165 ?ud
2378		C3b	30/85	o (syann)	160 --
2379		D3c	25/90	o (syann)	170 --
			25/90	o	205 ud
		D3i	25/90	o (syann)	350 --
2380	577	A1b	25/90	o (syann)	265 --
2381		B1e	200/80	δ(p)σ(s)	35 ud
			200/80	o	65 ud
2382		D1g	200/70	δ	40 ud

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2383	578	A1a	210/60	o (syann)	75 --
		B1b	210/60	o (±syann)	170 ?dd
			210/60	o	10 ud
2384		C1c	210/65	o (±syann)	80 ?ud
		C1d	210/65	o (±syann)	0 ?ud
		D1e	210/65	o	40 ud
			210/65	δ	150 dd
2385		E1h	210/70	o	95 ud
2386	579	A1b	210/75	o (syann)	60 --
		B1d	210/75	o	210 dd
2393	581	C1kk	210/80	o	0 ud
2394		D1n	210/80	o	5 ud
2395		E1p	210/80	o (syann)	230 --
		E1q	210/80	δ(p)σ(s)	35 ud
2398	582	C1e	215/65	o (syann)	30 --
2399		D1h	215/62	o (syann)	185 --
2400		F1n	220/60	o (syann)	260 --
2404	584	A1a	210/62	o	105 ud
		B1c	210/62	o	60 ud
			210/62	o (±syann)	10 ?ud
2407		G1o	200/65	o	320 ud
2411	585	E1k	200/65	o	20 ud
2413		G1o	200/65	o (syann)	190 --
2415	586	B1c	210/70	o	80 ud
2419	587	C7a	220/70	o (syann)	225 --
2420		D7b	220/70	o	15 ud
2421		F7f	230/60	o	50 ud
2423	588	B5e	210/70	F	250 dd
2426	589	A1a	220/68	F	260 dd
			220/68	δ	260 dd
2429	591	C2g	205/75	o	335 ud
2430		D2hk	210/75	o	75 ud
			210/75	δ	330 ud
			210/75	o (±syann)	185 ?dd
2431		E2l	205/80	o	160 dd
			200/80	δ	360 ud
			205/80	o (syann)	55 --
			200/80	o	155 dd
			200/80	δ	250 dd
			200/80	o	125 dd
2432		F2n	205/80	o (syann)	65 --
		G2v	200/80	o (±syann)	320 ?ud
			200/80	o	190 dd
			200/80	o	320 ud
2433			200/80	o	360 ud
			200/80	o	335 ud
		H2g	200/80	δ	150 dd
			200/80	o	10 ud
		H2v	200/80	o (syann)	55 --
		H2x	200/80	o	50 ud
		H2x	200/80	o	15 ud
	592	A1f	200/80	o (syann)	75 --
			200/80	o	345 ud
		A2f	200/80	δ	295 ud
2434		B1g	200/80	o	65 ud
			200/80	δ	335 ud
			200/80	o (syann)	25 --
		B1k	200/80	o	70 ud
2435		C1l	200/80	o	320 ud
			200/80	o	330 ud
			200/80	o (syann)	10 --
		C1r	200/80	o	55 ud

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2435	592	C1r Dis	200/80	o (synn)	145 --
			200/80	o	90 ud
			200/80	o	335 ud
2436		E1f F1u F2v	200/80	δ	5 ud
			200/80	o (±synn)	340 ?ud
			200/80	δ(p)σ(s)	360 ud
2437		G1y	200/80	o	5 ud
			200/80	δ	55 ud
			200/80	δ(p)σ(s)	65 ud
			30/90	δ	70 dd
			30/90	o (synn)	65 --
			30/90	δ(p)σ(s)	190 ud
			30/90	o	250 ud
2438	593	H1d	30/90	δ	10 dd
			30/90	δ(p)σ(s)	150 ud
			30/90	F	260 ud
			30/90	o (synn)	15 dd
			30/90	o	15 dd
2441	596	A1b	30/90	o	20 dd
2442		B1f	30/90	δ	260 ud
			30/90	o	55 dd
2443		C1l	30/90	o	45 dd
			30/90	o	40 dd
			30/90	o	60 dd
			30/90	o	50 dd
			30/90	o (±synn)	45 ?dd
2444	597	A1b	30/90	o	215 ud
			30/90	o	205 ud
			30/90	o	55 dd
2445	598	A1ck	30/90	o	50 dd
2451		D1j	200/80	o	95 ud
			200/80	o	10 ud
2455	599	C1e	220/85	F	165 dd
2456		E1k	220/85	o	360 ud
			220/85	o (synn)	40 ud
2457		F1n	220/85	o	45 --
			220/85	o	360 ud
			220/85	o	50 ud
			220/85	o	25 ud
			220/85	o	360 ud
2458		G1s	220/78	o	345 ud
			220/78	o	10 ud
			220/78	o	205 dd
2459	600	A1b	220/78	o	260 dd
			220/78	δ	15 ud
2460		B1f	220/78	o	15 ud
			220/78	o (synn)	75 --
			220/78	o (±synn)	20 ?ud
			220/78	o (synn)	35 --
			220/78	o	45 ud
			220/78	o (synn)	45 --
			220/78	o	50 ud
			220/78	o	155 dd
			220/78	o	70 ud
			220/78	o	45 ud
			220/78	o	340 ud
2461		D1l	220/78	o	45 ud
			220/78	o	340 ud
			220/78	o	45 ud
2462		E1p	220/78	o	85 ud
			220/78	o	100 ud
2464		G1u	220/78	o	180 dd
			220/78	o	55 ud
2464		G1u	220/75	o	165 dd

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2465	601	B4f	220/75	o	65 ud
			220/75	o	355 ud
2466		D4j D4k	220/80	o	130 dd
			220/80	δ	55 ud
2467		E4l	220/80	o	210 dd
			220/80	δ	270 dd
			220/80	o (synn)	70 --
2469		H8d J8e	220/80	o	85 ud
			200/75	o	180 dd
			200/75	δ	40 ud
2472	602	B2d C2e C2f	200/75	δ	35 ud
			200/75	δ	40 ud
			200/75	F	15 ud
			200/75	δ	340 ud
			200/75	o	35 ud
2473		D2g	230/80	δ	155 dd
			230/82	o	50 ud
2474		E2jk F2kk	230/82	δ(p)σ(s)	25 ud
			230/82	δ	20 ud
2476	603	A1a B1b C1dk C1dk	230/82	o	50 ud
			230/82	δ	320 dd
			230/82	o	140 dd
			230/82	o	55 ud
			230/82	δ	205 dd
2477		C1dk	230/82	o	130 ud
			230/82	o	55 ud
2478		D1fk E1gk	230/82	δ	215 dd
			230/82	o	95 ud
2479		E1hk F1jk	230/82	δ	75 ud
			230/82	o	20 ud
2480		A1ak A1gk	40/85	o	280 dd
			40/85	δ	120 dd
2481	605	A1ak	40/85	δ	165 ud
			40/85	F	95 dd
2483	606	B1hk	40/85	δ	85 dd
			40/85	δ	120 dd
2484		C1j	40/85	δ	350 dd
			40/85	o	360 dd
			40/85	o	140 ud
			40/85	o	210 ud
			40/85	δ	355 dd
2485	607	A1bk	40/85	δ	210 ud
			40/85	δ	275 ud
			200/50	δ	165 dd
			200/50	δ	160 dd
			200/50	o	255 dd
2486		B1e	200/50	δ	15 ud
			200/50	o	175 dd
			200/50	o	185 dd
2487	608	B1f	200/50	δ	260 dd
			200/50	δ	20 ud
			200/50	o	110 dex
2488	609	A2bk	200/50	F	285 sin
			200/50	o	260 dex/dd
2489		B2ck	200/50	o	80 ud
			200/50	F	85 dex/ud
2490		C2ek D2f	200/50	o (±synn)	270 ?dd
			200/50	F	150 dd
2490		C2ek D2f	200/50	o	340 ud
			200/50	o	230 dex/dd
2490		C2ek D2f	200/50	δ	270 dd
			200/50	δ	235 dd

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2491	609	E2gk	200/50	σ	65 ud
			200/50	σ	320 ud
			200/50	σ	345 ud
			200/50	σ	70 ud
			200/50	δ	35 ud
2492	F2hk	F2i	200/50	σ	360 ud
			200/50	σ	50 ud
			200/50	σ (synt)	140 --
2494	610	B1bk	210/78	δ	170 dd
			210/78	σ	285 dd
			210/78	σ	265 dd
2495	C1ck	C1d	210/78	δ(p)σ(s)	285 dd
			210/78	F	270 dd
			210/78	σ	255 dd
2496	D1f	D1g	210/78	δ(p)σ(s)	130 dd
			210/78	σ	140 dd
			210/78	σ	120 dex
			210/78	δ	160 dd
			210/78	σ (±synt)	10 ?ud
2498	F1lk	E1hk	210/78	δ(p)σ(s)	30 ud
			210/78	δ	125 dd
			210/78	δ	160 dd
			210/78	σ	300 dex
			210/78	σ	80 dd
2499	611	A1b	210/78	F	285 dex/dd
			210/78	σ	290 dd
			210/78	F	100 ud
			210/78	σ	350 ud
		A2d	210/78	δ	240 dd
			210/78	F	330 ud
			210/78	δ	260 dd
			210/78	δ	40 ud
		B2j	210/78	σ	215 dd
			210/78	δ(p)σ(s)	295 dd
2500	C2hk	210/78	σ	265 dd	
		210/78	δ	240 dd	
2501	D2j	210/78	δ	300 sin	
		210/78	σ	250 dd	
2503	E2k	210/45	σ	105 ud	
		210/45	σ	95 ud	
		210/45	δ	35 ud	
2504	H2p	210/45	F	25 ud	
2506	612	B1c	210/45	σ	15 ud
			210/45	F	260 dd
2507	D1lk	E1mk	210/60	δ	170 dd
			210/60	σ	80 ud
			210/60	σ	65 ud
2508	F1nk	210/60	F	50 ud	
		210/60	σ	15 ud	
		210/60	σ	30 ud	
2510	H1s	210/60	σ (synt)	75 --	
		210/60	σ (synt)	45 --	
2511	613	A1c	210/60	σ (synt)	45 --
			10/60	δ	35 dd
			10/60	σ	160 ud
			10/60	σ	205 ud
			10/60	σ	250 ud
2512	C1fk	10/60	δ	325 dd	

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2514	613	E1hk	10/60	σ (synt)	0 --
			10/60	σ	185 ud
			10/60	σ (±synt)	50 ?dd
2515	614	G1l	10/60	σ (synt)	135 --
2516		A1ak	10/60	σ	30 dd
2517		C1d	220/70	δ	360 ud
2518		D1g	220/70	σ	55 ud
2519	615	F1j	220/70	δ	360 ud
			220/70	σ	20 ud
2520	616	A1a	220/70	σ	50 ud
2521		B1ck	210/65	σ	10 ud
			210/65	σ	80 ud
2522	D1e	210/65	σ	20 ud	
		210/65	δ	320 dex/ud	
		210/65	δ	310 dex/ud	
2523	E1fk	210/65	δ	90 dex/dd	
		210/65	σ	40 ud	
2524	617	F1gk	210/65	σ	295 sin
2525		G1l	210/68	σ (synt)	30 --
			210/68	σ	120 dex
2527	618	B1d	210/68	σ	110 ud
			220/50	σ (synt)	80 --
2529	E1gk	F1hk	220/50	δ	80 ud
			220/50	σ	335 ud
			220/50	σ	330 ud
			220/50	σ	5 ud
			220/50	σ	20 ud
2530	619	G1j	220/50	σ	100 ud
			220/50	σ (synt)	70 --
			220/50	δ(p)σ(s)	140 sin
2531	620	H1k	220/50	σ	140 sin
			220/50	δ	340 ud
2533	621	I1k	220/50	σ	50 ud
			220/50	F	300 sin
			220/50	δ	295 dd/sin
			220/50	σ	110 ud
			220/50	σ	210 dd/dex
2534	622	J1k	230/58	σ (±synt)	300 ?dd
			230/58	σ	120 ud
			230/58	σ (synt)	100 --
2535	623	K1k	230/58	σ	100 ud
			230/58	σ	85 ud
			230/58	σ	80 ud
			230/58	σ	10 ud
			230/58	σ	80 ud
2536	624	L1k	230/58	δ	205 dd
			230/58	F	200 dd
			230/58	σ	190 dd
2537	625	M1k	220/68	σ	60 ud
			220/68	σ	350 ud
			220/68	σ	210 dd
2538	626	N1k	220/68	σ	300 dd
			220/68	δ	45 ud
			220/68	σ	330 ud
2539	627	O1k	220/68	σ	330 ud
			220/68	σ	250 dd
			220/68	σ	290 dd
			220/68	σ (±synt)	310 sin
			220/68	δ	330 ?ud
2540	628	P1k	220/68	σ	190 dd
			220/68	σ	310 dex

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2539	618	Blck	220/68	δ	140 dd
			220/68	σ	100 ud
			220/68	F	190 dd
2540		Cl d	220/65	σ (syann)	40 --
			220/65	σ	320 dex
			220/65	σ	260 dd
2542		Diek	220/65	σ	330 ud
			220/65	σ	260 dd
2546	619	Glkk	220/65	δ	170 dd
2548		Diek	230/62	σ	70 ud
2549		Fljk	230/62	σ (tsynn)	90 ?ud
		Gll	230/62	δ	100 ud
2550	620	Hln	230/62	δ	5 sin
			230/62	σ	140 ud
			230/62	σ	40 ud
2552		Hlo	210/45	σ (syann)	60 --
			210/45	σ (tsynn)	5 ?ud
2553		Alak	210/45	σ	50 ud
			210/45	σ	100 ud
2554		Cif	210/45	δ	55 ud
			210/45	σ	65 ud
2555		Blp	230/50	σ	70 ud
			230/50	σ	65 ud
			230/50	σ (syann)	80 --
2556	621	Alak	230/50	σ (syann)	130 --
			230/50	δ	60 ud
			230/50	σ	120 ud
2557		Blc	230/50	σ	145 dex
			230/50	σ (tsynn)	230 ?dd
			230/50	σ (syann)	15 --
2558		Clf	230/50	σ	20 ud
			230/50	σ	170 dex/dd
			230/50	δ	330 ud
2559		Clg	230/50	σ (syann)	-0 --
			230/50	σ (syann)	10 --
			230/50	δ	40 ud
2560	622	Blh	230/50	F	45 ud
			230/50	σ	30 ud
			230/50	δ	165 sin/dd
2561		Dlh	230/50	σ	60 ud
			230/50	σ	300 dd
			230/50	σ	50 ud
2562		Dlj	230/30	σ (tsynn)	250 ?dd
			230/30	σ (tsynn)	270 ?dd
			230/30	σ (syann)	100 --
2564		Dlk	230/30	σ	25 ud
			230/30	σ	320 ud
			230/30	σ	120 ud
2565	623	Ala	230/30	δ	100 ud
			230/30	σ	100 ud
			230/30	σ	30 ud
2566		Flr	230/30	δ	100 ud
			230/30	σ	30 ud
			230/30	F	340 ud
2567	624	Blx	230/30	σ	210 dd
			230/30	σ (syann)	75 --
			230/30	F	310 dd
2568		Blx	230/30	F	310 dd
			230/30	σ	135 dex
			230/30	σ	190 dd
2569	625	Ala	230/30	σ	90 ud
			230/30	σ	350 ud
			230/30	σ	210 dd
2570		Blh	230/30	σ	260 dd
			230/30	σ	90 ud
			230/30	F	260 dd
2571	626	Blh	230/30	σ	20 ud
			230/30	σ	80 ud
			230/30	σ	170 sin
2572		Blh	230/30	σ	260 dd
			230/30	F	240 dd
			230/30	σ	20 ud
2573	627	Ala	230/30	σ (syann)	100 --
			230/30	σ (syann)	60 --
			230/30	σ	20 ud
2574		Ala	230/30	σ	150 ud
			230/30	σ	50 ud
			230/30	σ (syann)	40 --
2575	628	Ala	230/30	σ	70 ud
			230/30	σ	70 ud
			230/30	F	90 ud
2576	631	Ala	230/30	σ	90 ud
			230/30	σ	90 ud
			230/30	F	90 ud

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2565	622	Dlq	250/45	δ	220 dd
			250/45	δ	120 ud
			250/45	σ	105 ud
2566		Flu	250/45	σ (syann)	10 --
			250/45	σ	90 ud
			250/45	σ	220 dd
2567	623	Flv	240/45	σ	150 dd
			250/45	F	175 dd
			250/45	F	310 dd
2568		Flwk	250/45	σ	290 dd
			250/45	σ	215 dd
			250/45	σ (tsynn)	120 ?ud
2569	624	Ala	250/45	σ	270 dd
			250/45	σ	10 ud
			250/45	σ	100 ud
2570		Blb	250/45	σ	20 ud
			250/45	σ	45 ud
			250/45	δ	355 ud
2571		Clck	250/45	σ	350 ud
			250/45	δ	60 ud
2572		Dldk	250/45	σ	90 ud
			250/45	σ	105 ud
2573		Flfk	250/45	σ	105 ud
			250/45	σ	95 ud
2574	624	Ala	230/43	σ	20 ud
			230/43	σ (tsynn)	300 ?dd
2575		Blbk	230/43	σ	350 ud
			230/43	σ	65 ud
2576		Dl2	230/43	σ	105 ud
			230/43	σ	70 ud
2577		Blq	280/35	σ	100 ud
			280/35	σ	40 ud
2578		Blr	280/60	σ	140 ud
			280/60	σ (tsynn)	300 ?dd
2579		Fls	280/60	σ	115 ud
			280/60	σ	60 ud
2580	625	Alb	240/60	σ	55 ud
			240/60	σ (syann)	145 --
2581		Blck	240/60	σ	45 ud
			240/60	δ	215 dd
2582		Clck	240/60	σ	140 ud
			240/60	σ (tsynn)	210 ?dd
2583	626	Dle	240/60	σ	360 dex
			240/60	σ	205 dd
2584		Dlf	240/60	F	270 dd
			250/72	σ (syann)	80 --
2585		Blgk	250/72	σ (syann)	40 --
			250/72	σ	290 dd
2586	627	Ala	250/72	σ	70 ud
			250/72	σ	80 ud
2587		Flhk	250/72	σ	80 ud
			250/72	σ	170 sin
2588	628	Ala	250/72	σ	260 dd
			250/72	F	240 dd
2589		Blkk	250/72	σ	20 ud
			250/72	σ (syann)	100 --
2590		Ala	260/62	σ	60 --
			260/62	σ	20 ud
2591		Ala	260/62	σ	150 ud
			260/35	σ	50 ud
2592	629	Ala	260/35	σ	40 --
			260/35	σ (syann)	70 ud
2593		Blkk	260/35	σ	70 ud
			260/35	σ	90 ud
2603	631	Ala	230/35	F	70 ud
			230/35	σ	90 ud

TRUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STOCK	SF (PMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2603	631	A1a	230/35	F	50 ud
			230/35	σ	340 dex/ud
2604		B1d	230/35	δ	25 dd
2605		D1g	230/50	σ (synn)	60 --
2606		E1k	230/50	σ	40 ud
		F1l	230/50	σ	100 ud
2607		F1nk	230/50	σ	350 ud
			230/50	σ	10 ud
		G1nk	230/50	F	220 dd
			230/50	δ	70 ud
			230/50	σ	90 ud
			230/50	δ	5 ud
		G1o	230/50	σ	80 ud
			230/50	σ	350 ud
			230/50	σ	350 ud
			230/50	F	240 dd
2608	632	A1a	230/50	σ	300 sin/dd
		A1bk	230/50	σ	10 ud
			230/50	σ (±synn)	190 ?dd
			230/50	σ (synn)	5 --
2609		B1ck	230/50	σ	150 dd
			230/50	σ	30 ud
			230/50	σ	40 ud
			230/50	σ	20 ud
			230/50	σ	360 ud
			230/50	σ	70 ud
2610		C1fk	230/50	σ (synn)	80 --
			230/50	F	220 dd
			230/50	σ (±synn)	160 ?dd
2611		D1hk	200/40	σ	50 ud
			200/40	σ (synn)	20 --
			200/40	σ	310 ud
			200/40	σ	60 ud
2612		E1l	200/40	σ	-10 ud
		E1nk	200/40	σ (synn)	120 --
		F1ok	200/40	σ	240 dd
			200/40	σ	30 ud
			200/40	σ	40 ud
2613		F1p	200/40	δ	320 ud
			200/40	F	240 dd
		G1qk	200/40	δ	70 ud
2613			200/40	σ	60 ud
			200/40	σ	10 ud
2614		G1t	200/40	δ	170 dd
	633	A2ak	200/40	σ	210 dd
			200/40	δ	290 dd
			200/40	F	250 dd
2615		B2bk	170/70	σ	40 ud
2616		B2c	170/70	σ	295 ud
		C2g	170/70	σ	30 ud
			170/70	δ	135 dd
			170/70	δ	220 dd
2618		F2wk	170/70	δ	120 dd
			170/70	F	170 dd
			170/70	σ	50 sin/ud
			170/70	δ	210 dd
2620	634	A1a	170/70	δ	260 dd
		B1ck	170/70	δ	220 dd
			170/70	δ	170 dd
2626	635	A1a	230/65	σ	260 dd
		B1b	230/65	δ	90 ud
2629		E1r	270/68	σ (±synn)	70 ?ud

TRUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STOCK	SF (PMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2629	635	E1r	270/68	σ	80 ud
2630		G1v	270/68	σ	140 ud
2632	636	A1b	220/60	σ	360 ud
			220/60	δ	130 ud
		B1c	220/60	σ	70 ud
2633		C1g	220/60	δ	90 ud
			220/60	F	270 dd
		C1h	220/60	δ	90 ud
			220/60	σ	80 ud
2688	638	C2h	220/62	F	170 dd
2689		D2k	220/62	σ (synn)	60 --
			220/62	σ	360 ud
2690	639	A5b	230/65	σ	35 ud
2692	640	A2c	230/65	δ	175 dd
			230/65	δ	175 dd
			230/65	δ	205 dd
			230/65	δ	120 sin/ud
			230/65	σ (synn)	100 --
2693		B2j	230/65	σ	50 ud
2694		D1uk	210/60	δ	40 ud
2695	641	A1a	210/60	σ (synn)	0 --
			210/60	σ	30 ud
		A1c	210/60	δ	355 ud
2697		C1ac	210/60	σ	265 dd
			210/60	δ	265 dd
2696		C1x	210/60	σ	40 ud
		D1ad	210/60	σ	65 ud
2697	642	A1c	210/60	σ (±synn)	65 ?ud
			210/60	σ	45 ud
			210/60	σ	10 ud
2698		A1e	210/60	σ	40 ud
		B1e	210/60	σ	335 ud
2699		B1f	220/78	δ	165 dd
		C1j	220/78	σ (±synn)	45 ?ud
			220/78	δ	110 ud
2700		D1o	220/78	σ	360 ud
2701		E3a	220/78	δ	20 ud
			220/78	σ	85 ud
			220/78	σ (±synn)	20 ?ud
	643	A1a	220/78	σ	20 ud
		A1c	220/78	σ	120 ud
			220/78	σ	40 ud
			220/78	σ	40 ud
			220/78	δ	260 dd
2703	645	A1b	220/78	σ	30 ud
			220/78	σ (synn)	30 --
		B1c	220/78	δ	245 dd
			220/78	σ (±synn)	325 ?ud
2704		B1d	220/62	σ	110 ud
	646	A1a	220/62	δ	25 ud
			220/62	σ (synn)	45 --
2705	647	A1ak	220/62	σ (synn)	35 --
2707		D1h	220/62	σ	80 ud
			220/62	σ	70 ud
			220/62	σ (synn)	70 --
			220/62	σ	65 ud
		D1i	220/62	δ	80 ud
	648	A1a	220/62	δ	85 ud
			220/62	σ	80 ud
			220/62	δ	310 dex
			220/62	δ	305 dd/dex
2708		B1d	200/58	δ	60 ud

TRUPE [m]	KERN- NARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2708	648	B1d	200/58	δ	350 ud
			200/58	δ	240 dd
			200/58	σ	220 dd
2709		C1e	200/58	σ	325 ud
		C1f	200/58	δ	150 dd
2710	649	A1b	200/58	δ	40 ud
2713	651		210/65	δ(p)σ(s)	220 dd
			210/65	σ (syann)	100 --
2714		C1c	210/65	σ	35 ud
			210/65	F	50 ud
	652	A1a	210/65	F	220 dd
			210/65	σ	230 dd
			210/65	δ	60 ud
			210/65	σ	10 ud
			210/65	σ	90 ud
2715		A1b	210/65	σ	40 ud
		B1c	200/60	σ	340 ud
			200/60	δ	360 ud
			200/60	F	350 ud
2716		B1f	200/60	σ	320 ud
			200/60	σ	30 ud
			200/60	σ	10 ud
		C1h	200/60	σ	10 ud
			200/60	σ	345 ud
			200/60	δ(p)σ(s)	340 ud
2717		D1k	200/60	σ	320 ud
			200/60	σ	320 ud
			200/60	F	230 dd
2718		E1l	200/60	σ	90 ud
			200/60	δ	85 ud
2719	653	A2a	200/60	σ	50 ud
		A2bk	200/60	σ	310 ud
			200/60	σ	20 ud
			200/60	σ	320 ud
2720		B2ck	220/68	σ	70 ud
			220/68	F	180 dd
			220/68	F	190 dd
		B2dk	220/68	σ	60 ud
			220/68	σ	70 ud
		C2ek	220/68	δ	200 dd
			220/68	σ	80 ud
2721	654	A1a	220/68	σ	70 ud
2722		B1b	220/68	σ	50 ud
		B1c	220/68	σ	10 ud
			220/68	σ	350 ud
		C1d	220/68	σ	60 ud
2723		C1e	220/60	σ	350 ud
		D1f	220/60	F	180 dd
			220/60	σ	30 ud
2724		D1g	220/60	δ	20 ud
2725		F1rt	220/50	σ	80 ud
2726	655	B1ek	220/60	σ	80 ud
2730		G1r	200/70	σ	360 ud
			200/70	σ	360 ud
2731		H1t	230/50	σ	40 ud
	656	A1a	230/50	σ	40 ud
2735		E1jk	200/75	σ	90 ud
			200/75	σ	90 ud
		F1l	220/68	σ	70 ud
2736		G1n	220/68	F	170 dd
		G1n	230/62	σ	50 ud
2737	657	A1a	220/68	σ	30 ud

TRUPE [m]	KERN- NARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2738	657	B1g	220/62	F	180 dd
			220/62	σ	20 ud
2740	658	A1c	210/65	σ	60 ud
			210/65	F	280 dd
		B1d	210/65	σ	50 ud
2741		C1o	230/30	δ	10 ud
		D1p	240/45	F	310 dd
2747	659	C2c	200/58	σ	350 ud
			200/58	σ	50 ud
		D2n	200/58	σ	90 ud
2748		E2o	220/65	δ	240 dd
			220/65	σ	200 dd
		E2p	220/65	σ	85 ?ud
		E2qk	220/65	σ	25 ud
			220/65	σ	5 ud
			220/65	σ (syann)	50 --
2749		F2s	220/65	σ	355 ud
			220/65	σ	355 ud
		F2t	220/65	σ	45 ud
		F2t	220/65	F	345 ud
		F2u	220/65	σ	40 ud
			220/65	σ	30 ud
2750		H2x	0/65	σ	160 ud
			220/65	σ	70 ud
2751	660	A1c	220/65	σ	50 ud
2752	661	A1a	220/65	δ	45 ud
		A1bk	220/65	σ	65 ud
			220/65	σ (syann)	165 --
			220/65	σ	40 ud
		B1ck	210/60	σ	75 ud
2753		C1f	210/60	σ	90 ud
2754		C1h	210/60	σ (syann)	150 --
		D1m	210/60	δ	30 ud
2755		D1q	210/60	σ	350 ud
		E1t	210/60	δ	290 sin
			210/60	σ	45 ud
2756		F1y	210/60	δ	40 ud
			210/60	σ	10 ud
2758	662	A1a	210/60	δ	5 ud
			210/60	δ	345 ud
		A1d	210/60	σ (syann)	20 --
			210/60	σ (syann)	0 --
		A1e	210/60	δ	230 dd
2759	663	A1a	210/60	σ	30 ud
2760		C1h	210/60	S-C	35 ud
			210/60	σ	355 ud
2761		C1n	210/60	S-C	55 ud
2762		F1t	210/40	F	315 ud
			210/40	δ	15 ud
2764		H1aq	210/40	S-C	20 ud
2765	664	B1ck	210/40	δ	325 ud
		B1d	210/40	σ	50 ud
			210/40	δ	70 ud
2766		C1f	220/50	σ (syann)	100 --
		D1h	220/50	σ	50 ud
			220/50	σ	40 ud
2767		E1q	220/50	σ	355 ud
			220/50	σ	110 ud
		E1rk	220/50	σ	110 ud
2768		F1sk	220/50	σ	60 ud
2770	666	A1a	210/50	σ (±syann)	315 ?ud
		A1b	210/50	σ	340 ud

TEUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STOCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2770	666	A1b	210/50	σ	40 ud
2771		B1d	210/50	σ	330 ud
2772		D1p	210/50	σ	80 ud
2773		E1q	210/50	S-C	70 ud
2774		F1w	200/65	σ	345 ud
	668	A1a	200/65	σ	345 ud
2775		A1b	200/65	σ	5 ud
			200/65	σ	5 ud
			200/65	σ	335 ud
2780	670	D3d	240/50	σ	10 ud
2781	671	C2n	240/50	σ (syann)	60 --
2782	673	A1l	240/50	δ	80 ud
2783		B1v	190/35	σ	350 ud
2786	675	A4a	220/60	σ	140 dex
		A5a	220/60	σ	45 ud
			220/60	σ	15 ud
		B6h	220/60	σ	100 ud
			220/60	F	70 ud
2786			220/60	σ	35 ud
2787	676	A3a	220/60	σ	5 ud
		A3b	220/60	F	40 ud
		A3e	220/60	σ	290 dd
2788		B3h	200/35	σ	50 ud
			200/35	σ	30 ud
		C3k	200/35	σ	310 sin/ud
2789		C3l	200/35	σ (±syann)	280 ?dd
		D3m	200/35	σ	50 ud
			200/35	σ (syann)	140 --
		D3n	200/35	σ	330 ud
2798	678	C1h	210/45	σ	20 ud
	679	D2n	210/45	F	250 dd
2799		E2t	210/45	σ	360 ud
		E2w	210/45	σ	50 ud
2803	681	C7ak	200/60	σ	310 ud
			200/60	σ	320 ud
		D7b	200/60	σ	350 ud
2805	682	A1a	200/60	σ	330 ud
		A1d	200/60	σ	90 ud
	683	A1b	200/60	F	50 ud
2806		A1c	200/60	σ	50 ud
		B1d	200/60	F	20 ud
2807		C1f	200/60	F	350 ud
			200/60	F	50 ud
		C1g	200/50	σ	355 ud
2809		F1v	200/50	σ	65 ud
2813	685	D3p	200/60	F	230 dd
2815	686	B1n	230/60	σ	340 ud
2817	687	C1g	230/60	σ (syann)	170 --
2818		D1m	180/60	σ	70 ud
			180/60	σ	15 ud
2819		E1s	180/60	σ	100 dex
		E1t	180/60	σ	35 ud
2820	688	B4f	180/60	σ	110 dex
			180/60	σ	60 ud
2823	689	C1f	200/50	σ	90 ud
		C1h	200/50	σ	325 ud
		C1k	200/50	σ	290 sin
		D1l	200/50	σ	350 ud
			200/50	σ	10 ud
2825		F1v	200/50	σ	330 ud
			200/50	σ	60 ud
2826		G1y	230/25	σ	340 ud

TEUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STOCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2826	689	G1y	230/25	F	250 dd
2827	690	A1b	230/25	σ	65 ud
		B1c	230/25	σ (syann)	60 --
			230/25	δ	270 dd
2828		B1e	230/25	σ	110 ud
2831		F1q	210/45	F	230 dd
			210/45	F	215 dd
			210/45	σ	340 ud
2832		G1t	210/45	σ	55 ud
			210/45	σ	80 ud
2834	691	B2g	200/68	σ	30 ud
		C2k	200/68	σ	355 ud
2836	692	B1c	210/45	σ	20 ud
2837		C1h	210/45	σ	355 ud
			210/45	σ	40 ud
			210/45	σ	330 ud
		D1j	210/45	σ	60 ud
2838		D1k	210/45	σ	350 ud
		D1l	210/45	F	360 ud
		E1n	210/45	σ (syann)	80 --
			210/45	σ	35 ud
			210/45	σ	50 ud
2840		G1t	210/50	σ	10 ud
		G1u	210/50	σ	310 sin
2841	693	A1a	210/50	σ	70 ud
2842		B1c	220/45	σ	35 ud
2843		D1o	220/45	σ	20 ud
2844	694	A1b	220/45	σ (±syann)	285 ?dd
			220/45	σ (±syann)	260 ?dd
2845		A1d	220/45	δ	45 ud
			220/45	σ	75 ud
		B1f	220/45	δ	30 ud
			220/45	σ	20 ud
2846		C1h	210/35	δ	60 ud
2847		D1l	210/35	σ (syann)	170 --
2851	696	A4e	220/50	σ	50 ud
		B4j	220/50	σ	30 ud
		B4j	220/50	δ(p)σ(s)	55 ud
2852		C4l	220/50	σ (±syann)	60 ?ud
2853		D4n	220/50	σ (±syann)	350 ?ud
2854		B4s	220/50	σ	60 ud
		F4u	220/45	F	200 dd
			220/45	F	195 dd
2855		G4v	220/45	F	260 dd
			220/45	δ(p)σ(s)	110 ud
			220/45	σ	70 ud
2856		H4ag	220/45	F	320 ud
		H4x	220/45	F	340 ud
	697	A1b	220/45	σ	15 ud
			220/45	δ	360 ud
			220/45	σ	360 ud
			220/45	F	50 ud
2860	699	D2j	220/60	F	190 dd
		E2k	220/45	σ	185 dd
			220/45	F	165 dd
2861		F2n	220/45	F	175 dd
		F2n	220/45	F	40 ud
2862		G2w	220/45	σ	20 ud
			220/45	F	50 ud
2863		H2y	220/45	F	60 ud
2864	701	A1c	220/45	σ	105 ud
		B1e	220/45	F	150 dd

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FNST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2865	701	Clg	220/45	o	270 dd
		Dlh	220/45	F	235 dd
			220/45	δ	160 dd
2866		Dli	220/45	δ	95 ud
			220/45	F	25 ud
		Elk	210/50	o	180 dd
2867			210/50	o	190 dd
		Fim	210/50	o	265 dd
			210/50	o	220 dd
2868			210/50	o	265 dd
		Gln	210/50	δ	70 ud
		Glr	210/50	F	340 ud
		Hlt	210/50	o (synn)	140 --
			210/50	o	170 dd
			210/50	o	220 dd
		Hlu	210/50	F	250 dd
			210/50	o	345 ud
			210/50	o	240 dd
2869	702	Jlly	210/50	o	115 dex
2870	703	Bld	210/50	δ	40 ud
		Ala	210/50	o	80 ud
			210/50	o	340 ud
		Alb	210/50	o	310 ud
			210/50	δ	40 ud
		Blc	210/50	o (±synn)	180 ?dd
			210/50	o	130 ?ud
		Cld	210/50	o	65 ud
		Blg	210/50	o	145 dd
2873	705	Dll	210/50	o	10 ud
Dlu		210/35	F	140 dd	
2874	706	Alb	210/35	F	205 dd
2875		Blk	210/45	o	15 ud
2876		Cll	210/45	o	360 ud
		210/45	o	40 ud	
	Dim	210/45	o	15 ud	
2878			210/45	o	55 ud
		Dlu	210/45	o	335 ud
		Elp	210/45	δ	60 ud
			210/45	o	35 ud
		Elq	210/45	δ	340 ud
			210/45	o	60 ud
		Elu	210/45	F	10 ud
			210/45	o	350 ud
		Ala	210/45	o	350 ud
			210/45	δ	290 dd
			210/45	o	360 ud
			210/45	o	10 ud
			210/45	o	40 ud
		Blc	210/45	δ	195 dd
			210/45	o	200 dd
			210/45	F	270 dd
		Bld	210/45	o	80 ud
			210/45	o	245 dd
2880		Cle	210/45	F	55 ud
Clf		210/45	F	5 ud	
2881		Dlj	210/45	o	10 ud
		Ell	210/45	F	195 dd
			210/45	o (synn)	55 --
2882		Elm	210/45	c	45 ud
		Flp	210/50	o	145 dd
2883		Glg	210/50	o	135 dd
			210/50	δ(p)σ(s)	260 dd

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FNST)	KRITERIUM	SCHERSINN
2833	707	Glr	210/50	o	345 ud
2884		Hlt	210/50	F	130 dd
2886	708	Bld	210/45	F	40 ud
			210/45	δ	290 dd
2889	709	C2g	202/45	o	187 dd
			202/45	o	212 dd
2891		E2nk	172/45	o	332 ud
		F2ok	202/45	o	292 dd
2893	710	H2u	212/45	o	112 ud
2894		Ala	202/45	o	127 dd
		Alb	122/45	o	22 ud
2895		Blh	192/45	o	322 ud
		Clk	162/45	o (±synn)	42 ?ud
		Cln	202/45	δ	132 dd
			202/45	o	147 dd
		Clo	197/45	o	77 ud
		Elr	192/45	o	102 dex
			192/45	δ	37 ud
		F1t	237/45	o	142 ud
2897			237/45	o	37 ud
2899	711	Hlz	182/45	δ	332 ud
2901		Blc	217/55	δ	177 dd
			217/55	δ	182 dd
2902		Dll	272/50	δ	102 ud
2903		Blm	222/50	δ	67 ud
			222/50	δ	252 dd
2904		F1s	212/50	o	272 dd
		Glv	212/50	δ	272 dd
2905		Glx	222/50	F	102 ud
			222/50	F	342 ud
2908	712	Hlad	222/50	F	282 dd
		D1fk	222/60	F	262 dd
			222/60	o	182 dd
			222/60	δ	252 dd
		F1l	227/40	F	282 dd
		G1aa	222/50	o	232 dd
2910	713	Blc	227/45	o	272 dd
2912		Bif	237/45	F	222 dd
		C1i	227/45	δ	277 dd
			227/45	δ	302 dd
			227/45	o	202 dd
		2914	714	Ala	207/40	o	137 dd
			207/40	o	177 dd
		2915	B1ck	222/45	o	307 dd
			222/45	o	62 ud
		2916	715	Ala	222/40	F	182 dd
		B1b	222/40	F	212 dd
		2924	719	D1k	220/45	o	85 ud
			220/45	o	40 ud
		2925		E1o	220/45	o	5 ud
2926	720	Elr	220/40	o	355 ud
2927		B1e	220/40	o	60 ud
		B1g	220/40	o	60 ud
2928		C1h	220/40	o	40 ud
			220/40	o	20 ud
		D1o	220/40	o (±synn)	190 ?dd
		2929	Elr	210/40	F	60 ud
			210/40	o (±synn)	330 ?ud
		2931	721	Ala	210/40	o (±synn)	90 ?ud
		Alf	210/40	F	360 ud
		2935	722	Ala	210/35	o	100 ud
			210/35	o	360 ud

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PNST)	KRITERIUM	SCHERSINN		
2935	722	A1b	210/35	δ	40 ud		
2937		D2h	210/35	σ (±synn)	110 ?ud		
				210/35	σ	30 ud	
				210/35	σ	30 ud	
2938			D2i	210/35	σ	60 ud	
2940			F2q	210/35	σ	20 ud	
2941			G2t	220/15	σ	310 ud	
				220/15	σ	30 ud	
			G2u	220/15	σ	340 ud	
			H2v	220/15	σ	130 ud	
	723	H2w	220/15	σ	340 ud		
			H2y	220/15	σ	30 ud	
			A1a	220/15	σ	10 ud	
				220/15	σ	340 ud	
				220/15	σ	60 ud	
2442			B1b	220/15	σ	70 ud	
2443			D1g	200/35	δ	5 ud	
2945			F1m	200/35	δ	60 ud	
2947			H1t	200/40	σ	115 dd	
2948		724	B1d	200/40	F	80 ud	
2949	C1g		200/40	σ	250 dd		
				200/40	σ	215 dd	
			D1k	210/40	σ	145 dd	
				210/40	σ	255 dd	
2950			E1m	210/40	F	290 dd	
2951			F1n	210/40	δ	160 dd	
				210/40	σ	145 dd	
2952			H1v	210/40	δ	200 dd	
2953	725		A1a	210/40	δ	150 dd	
				210/40	δ	175 dd	
2954			A1c	210/40	σ	215 dd	
				210/40	σ	80 ud	
			B1e	200/25	σ	230 dd	
			B1g	200/25	δ	265 sin/dd	
			B1j	200/25	σ	280 dd	
2955			C1o	200/25	σ	30 ud	
2956			D1p	200/25	σ	55 ud	
				200/25	δ	320 ud	
			200/25	σ	170 dd		
	726	D1q	200/25	δ	310 ud		
2957			E1s	200/25	σ	280 dd	
				200/25	δ	255 dd	
			E1t	200/25	σ	260 dd	
2959			Glac	180/30	σ/S-C	290 ud	
			Gly	180/30	σ	315 ud	
2960			B1d	180/30	F	105 dd	
			E1o	190/35	σ	110 dex	
			G1d	180/30	F	55 ud	
2963		727	A1a	290/35	F	75 ud	
2965			C1e	150/30	σ (synn)	120 --	
				150/30	σ	335 ud	
				150/30	δ	140 ?dd	
			C1g	150/30	σ	40 ud	
2966			C1i	150/30	σ (synn)	85 --	
			D1i	150/30	σ	20 ud	
2968	728		A1c	210/40	δ(p)σ(s)	200 dd	
					210/40	F	145 dd
				B1f	210/40	σ	150 dd
2969			C1l	210/40	σ	240 dd	
			D1h	210/40	σ	80 ud/sin	
			D1o	210/40	δ/F	10 ud	
2971			E1x	210/40	F	360 ud	

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PNST)	KRITERIUM	SCHERSINN		
2973	728	H1af	210/40	σ	5 ud		
2974	729	A1a	210/40	F	250 dd		
			A1c	210/40	σ	155 dd	
				210/40	σ	130 dd	
2975			B1f	210/40	σ (±synn)	260 ?ud	
			C1h	210/40	σ	85 ud	
		730	B1q	210/40	δ	210 dd	
2981				E1ab	210/45	F	330 ud/sin
					210/45	δ	40 ud
				F1ac	210/45	σ	100 ud
					210/45	F	330 ud
2982			G1ad	200/20	σ	350 ud	
				200/20	σ	50 ?ud	
				200/20	δ	310 ud	
				200/20	δ	305 ud	
			G1ae	200/20	σ	15 ud	
2983	731	G1ag	200/20	σ	350 ud		
			A1a	200/20	δ	50 ud	
2984			B1g	200/20	F	315 ud	
				200/20	δ	15 ud	
2986			D1m	200/40	σ (±synn)	335 ?ud	
				200/40	δ	350 ud	
				200/40	σ (±synn)	345 ?ud	
			E1n	200/40	δ	15 ud	
			E1o	200/40	F	165 dd	
2987		732	E1r	200/40	σ	330 ud	
			A1a	200/40	σ/S-C	50 ud	
2988			B1c	200/40	δ	315 ud	
			B1c	200/40	δ/F	40 ud	
			B1d	200/40	δ	360 ud	
2989			C1h	200/40	δ	10 ud	
				200/40	δ	15 ud	
				200/40	σ	40 ud	
			D1k	200/40	δ	295 sin	
				200/40	σ	335 ud	
	733		200/40	σ	65 ud		
			D1l	220/40	σ/S-C	80 ud	
2991			A1f	220/40	δ/F	100 ud	
			A1f	220/40	δ	65 ud	
2992			C1l	220/40	σ	130 dex	
2993			C2c	220/40	σ/S-C	95 ud	
			D3b	220/50	δ	355 ud	
				220/50	σ	325 ud	
2995			F3h	220/50	δ	110 sin/ud	
				220/50	σ	340 ud	
	734	G3o	220/50	F	15 ud		
2996			G3r	230/70	σ	305 dd	
			G3t	230/70	σ	330 ud	
				230/70	σ	355 ud	
			H3u	230/70	δ/F	95 ud	
			H3v	230/70	σ	245 dd	
				230/70	F	255 dd	
				230/70	σ	55 ?ud	
				230/70	σ	40 ud	
				230/70	F	230 dd	
2997	734	A1b	187/70	σ	347 dex/ud		
2998			B1h	187/70	σ	267 sin	
3000			E1r	182/35	F	2 ud	
3001			E1v	302/20	δ	152 ud	
				302/20	F	2 dd	
				302/20	F	92 ud	
			F1z	207/20	σ	347 ud	

TEUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FNST)	KRITERIUM	SCHERSINN		
3003	735	B1c	52/20	σ	272 ud		
		736	A1a	202/20	δ	22 ud	
3004		B1c	202/20	σ	127 dd		
		B1c	202/20	F	322 ud		
		B1d	202/20	σ	17 ud		
3005		C1h	237/35	δ	117 ud		
			162/35	F	32 ud		
3006		D1i	202/35	σ	172 dd		
			202/35	σ (synt)	152 --		
		E1o	202/35	σ	72 ud		
3008	737	G1r	227/35	σ	177 dd		
3010		A1a	212/30	σ	77 ud		
			212/30	σ	92 ud		
		A1b	197/30	S-C	332 ud		
			197/30	σ (synt)	292 --		
			197/30	σ	7 ud		
			197/30	F	37 ud		
3011		A1c		197/30	σ	97 ud	
				197/30	σ	332 ud	
				197/30	σ	327 ud	
			197/30	σ	352 ud		
			197/30	σ	2 ud		
			192/30	σ	22 ud		
	B1d		192/30	σ	32 ud		
			192/30	σ	42 ud		
			192/30	F	42 ud		
			192/30	σ	312 ud		
			192/30	σ (synt)	97 --		
			192/30	σ	72 ud		
		3012	738	A1b	192/35	σ	2 ud
				3013	A3ck	192/35	σ	302 ud
			B3e		202/35	σ	342 ud
					192/35	σ	332 ud
	202/35			σ	342 ud		
	202/35			σ	67 ud		
	202/35			σ	57 ud		
	202/35			σ	342 ud		
3014			202/35	σ (synt)	122 --		
		C3g	202/35	σ	332 ud		
		C4c	202/35	σ	2 ud		
			202/35	σ	22 ud		
	739		202/35	σ	77 ud		
		A1a	218/30	σ	48 ud		
			218/30	σ	13 ud		
		3015	A1b	218/30	σ (synt)	98 --	
			218/30	σ	83 ud		
			218/30	σ	68 ud		
		B1ck	218/30	σ	38 ud		
			218/30	σ (synt)	118 --		
3016		C1dk	198/25	δ	33 ud		
			198/25	σ	348 ud		
		3018	E1mk	198/30	Bd	18 ud	
3019		F1nk	218/35	σ	68 ud		
		G1r	208/35	F	48 ud		
			208/35	σ	63 ud		
			208/35	σ	38 ud		
			218/35	σ	358 ud		
			218/35	S-C	353 ud		
		3021	740	A1b	208/35	σ	348 ud
					208/35	σ	28 ud
		A1e	208/35	σ	58 ud		
			208/35	σ	68 ud		

TEUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FNST)	KRITERIUM	SCHERSINN	
3021	740	A1e	208/35	σ	358 ud	
			208/35	σ (synt)	118 --	
3022		B1c	208/35	σ	108 ud	
		B1h	208/35	σ	68 ud	
		C1m	228/35	σ	68 ud	
3024			228/35	F	78 ud	
		E1u	213/35	σ	53 ud	
			213/35	σ	18 ud	
		F1v	228/30	F	48 ud	
			228/30	σ (synt)	113 --	
			228/30	σ	308 sin	
			228/30	σ	8 ud	
			228/30	σ	8 ud	
3025		G1w	218/25	σ	138 dex	
			218/25	δ	278 dd	
			198/25	σ	348 ud	
			198/25	F	348 ud	
3026	741	A1a	198/25	σ	298 ud	
			198/25	σ	8 ud	
			198/25	F	178 dd	
			208/30	σ	28 ud	
3028		C1k	208/30	σ	298 --	
3029		D1m	208/30	σ (synt)	78 ud	
3031	742	B1c	208/15	σ	18 ud	
			3032	C1f	208/25	σ	88 ud
3033		D1h	208/15	σ	28 ud	
				208/15	σ	268 dd
3034		E1n	198/20	δ	28 ud	
3035		F1r	208/20	δ	103 ud	
3036		H3b	208/30	σ	68 ud	
3037	743	A1b	233/35	σ	68 ud	
3038		B1e	218/35	F	28 ud	
			223/40	σ	33 ud	
3039		D1i	233/45	σ	33 ud	
3040		D1k	238/45	σ	68 ud	
			E1o	218/55	σ	38 ?ud
3043	744	A1dk	208/60	σ (tsynt)	218 dd	
			B1h	228/50	σ	73 ud
3044		B1k	223/75	σ	63 ud	
3045		D1s	208/65	σ	129 ud	
3050	745	C1q	179/45	σ	229 ud	
			D1r	44/45	σ	264 ud
3051		E1u	44/45	F	254 ud	
			3052	F1ac	44/40	F	194 ud
			44/40	F	244 ud	
			34/40	F	69 dd	
			59/35	δ	84 dd	
			44/35	σ	14 ?dd	
3053		G1ae	34/35	F	223 ud	
			G1af	103/20	S-C	13 ud
3056	746	B2f	103/20	S-C	118 ?dd	
			C2g	68/20	σ (tsynt)	93 dd
				63/20	σ	63 dd
				63/20	σ	13 dd
			53/20	σ	58 dd	
			63/20	σ	108 dd	
			53/20	σ	208 ud	
			58/20	σ	93 ?dd	
			68/20	σ (tsynt)	43 dd	
			63/20	σ	143 dd	
3058		E2p	83/20	σ	123 dd	
3059		F2t	83/20	σ	153 dd	
				83/20	σ	
	747	A1a	103/20	σ		
				103/20	σ	

TRUPE [n]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SP (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3062	749	B2k	103/25	F	333 sin/ud
		B2l	103/25	o	323 dex/ud
		C3b	78/25	o	88 dd
3063	750	A1a	70/25	F	30 dd
			70/25	F	130 dd
3064	751	A1d	70/35	F	90 dd
			70/35	F	40 dd
3065		C3d	70/35	o	30 dd
3066		D3f	70/25	o	130 dd
		E3g	90/20	F	80 dd
			90/20	F	20 dd
			90/20	F	50 dd
3068	752	A1c	86/30	F	141 dd
3069		C1f	316/10	o	296 dd
3073		H1al	51/20	F	21 dd
3075	753	B1k	64/35	F	64 ?dd
			54/35	o (±synn)	174 ?ud
3076		D1m	64/35	F	234 ?ud
		D1n	84/35	F	324 ?ud
3977			74/35	o (±synn)	84 ?dd
		E1o	64/35	F	204 ?ud
		E1p	84/35	F	64 dd
3078		F1s	89/35	F	39 dd
		F1t	64/35	F	14 dd
			64/35	F	9 dd
		G1u	54/35	o	34 dd
			54/35	F	64 dd
			54/35	o	99 dd
			54/35	o (synn)	344 --
3079		G1vk	54/35	F	114 dd
		G1xk	54/35	F	44 dd
			54/35	F	14 dd
3080	754	B1ek	64/35	o (±synn)	234 ?ud
			64/35	o	254 ud
		B1gk	74/35	o	34 dd
			64/35	o (±synn)	94 ?dd
3082		E1q	64/40	F	234 ud
			64/40	F	224 ud
			64/40	F	204 ud
			64/40	F	224 ud
3083		E1r	54/40	o (synn)	179 --
			54/40	F	214 ud
		F1u	54/45	o (±synn)	29 ?dd
			54/45	o (synn)	234 --
			54/45	o (synn)	264 --
3084	755	A1a	94/45	o	304 ud
			94/45	o (synn)	264 --
		A2e	54/45	o	259 ud
			54/45	o	294 ud
3085		B2g	64/45	o (±synn)	264 ?ud
		C2j	54/45	F	44 dd
3086		C2n	54/45	o	354 dd
		C2o	54/45	o (synn)	14 --
	756	A1b	84/45	o	124 dd
			84/45	o	9 dd
		A1d	64/45	o	234 ud
			64/45	o (synn)	224 --
		A1e	64/45	o (synn)	234 --
		A1f	64/45	o	234 ud
			64/45	o	289 ud
3087		B1h	64/45	o (synn)	204 --
			64/45	o	309 ud

TRUPE [n]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SP (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3087	756	B1h	64/45	o	314 ud
			64/45	o	164 ud
		B1j	84/45	o	234 ud
3088		C1m	54/45	o	294 ud
			54/45	o	294 ud
		D1o	64/40	o	254 ud
3089		D1p	54/40	o	324 ud
		E1r	54/35	o	114 ud
		E1s	74/35	o	264 ud
			74/35	o	254 ud
			74/35	o	174 ud
3090		F1t	74/30	o	164 dd
		F1v	84/30	o	259 ud
		F1w	74/30	F	314 ud
			74/30	o	299 ud
			74/30	o	294 ud
3091		G1aa	74/30	o	174 sin
			74/30	o	164 sin
			74/30	o (±synn)	164 ?dd
		G1x	94/30	o (±synn)	344 ?ud
			94/30	o	294 ud
		G1z	94/30	o (synn)	354 --
		H1ab	84/25	o	304 ud
		H1ag	74/25	o	354 dd
			74/25	o (±synn)	4 ?dd
3092	757	H1an	94/25	o (±synn)	204 ?ud
		A1a	268/25	F	283 dd
			268/25	o	138 ud
			268/25	o (synn)	8 --
		A1b	268/25	F	298 dd
		A2b	78/25	o	248 ud
			78/25	o	278 ud
			78/25	o	263 ud
3093		B2f	88/25	F	268 ud
			88/25	F	228 ud
			88/25	F	308 ud
		C2j	68/25	o (synn)	198 --
			68/25	o	218 ud
3094		C2k	78/25	o	288 ud
		D2l	58/30	o	273 ud
			58/30	o	238 ud
			58/30	o	238 ud
		D2n	68/30	o	318 ud
			68/30	o (synn)	333 --
			68/30	o	298 ud
3095		D2n	68/35	o	238 ud
			68/35	o	328 ud
		E2p	78/35	F	148 dd
		E2q	78/35	F	248 ud
3096		F2r	78/35	o (±synn)	268 ?ud
		F2s	58/40	o (±synn)	108 ?dd
		F2v	78/40	o (synn)	208 --
3097		G2w	58/40	o	268 ud
			78/40	F	218 ud
	758	A1	88/45	o (±synn)	58 ?dd
			88/45	o	148 dd
3098		B1h	68/35	o	228 ud
			68/35	o	108 dd
			88/35	o	98 dd
		B1j	78/35	o	88 dd
		B1q	58/35	o	288 ud
			58/35	o (±synn)	358 ?dd

TEUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN	
3098	758	C1k	58/25	o	158 ud	
3099		C1l	88/25	o (syann)	248 --	
				88/25	o (syann)	188 --
				88/25	o (syann)	348 --
			C1p	68/25	o	28 dd
3100			D1r	178/20	o (syann)	358 --
			E1t	48/25	o (syann)	178 --
				48/25	o (syann)	198 --
			E1u	48/25	o	208 ud
				48/25	o (syann)	188 --
			48/25	o (syann)	218 --	
			18/25	F	188 ud	
3102	759	A1b	81/35	o	241 ud	
		A2a	71/35	o	281 ud	
			71/35	o	286 ud	
3103		B2c	181/35	o	201 dd	
			181/35	o	231 dd	
			191/35	o	151 dd	
3105		D3j	326/45	o (syann)	231 --	
		E3l	31/45	F	41 dd	
			21/45	o	61 dd	
3106		E3n	1/45	o	161 ud	
		E3o	1/45	F	16 dd	
		F3p	341/40	o (syann)	281 --	
			61/40	o	341 dd	
3107		F3r	331/40	o (±syann)	296 ?dd	
			331/40	o (±syann)	131 ?ud	
		G3s	1/30	F	231 ud	
			1/30	o	201 ud	
		G3t	281/30	o	191 dex	
3108	760	A1a	36/30	o	51 dd	
		A1b	41/30	F	221 ud	
		B2b	224/20	o	244 dd	
				204/20	o	304 ud
				24/20	F	274 ud
				34/20	F	284 ud
3109			B2c	4/20	F	54 dd
				4/20	o	24 dd
			C2d	24/20	o	254 ud
				24/20	o	234 ud
			24/20	o	64 dd	
			24/20	o	254 ud	
			24/20	o	264 ud	
3110		C2e	24/20	o	264 ud	
			24/20	o	114 ud	
		D2f	69/17	o (syann)	209 --	
			94/20	o	254 ud	
			94/20	o	284 ud	
		D2g	119/20	o	319 ud	
			129/20	o	359 ud	
			129/20	o	359 ud	
		D2h	94/20	o	314 ud	
			94/20	o	334 ud	
3111		E2j	180/10	o	324 ud	
			180/10	o	34 ud	
3112		F2o	150/10	o (syann)	134 --	
			150/10	o (±syann)	104 dd	
			150/10	o	324 ud	
		F2r	150/10	o	124 dd	
3113	761	A6d	130/10	o	334 ud	
		B6e	130/ 5	o	349 ud	
		B6f	130/ 5	F	154 dd	

TEUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN	
3114	761	C6h	110/ 5	o	309 ud	
		C6j	110/ 5	F	84 dd	
				110/10	F	324 ud
				110/10	F	334 ud
3115			D6q	90/10	o (syann)	294 --
				90/10	o (syann)	99 --
			D6s	74/10	o	224 ud
3116			E6z	174/10	o	64 ud
				174/10	o	334 ud
				174/10	o	314 ud
3117	762	A4	190/10	o	284 dex	
3118		A5c	190/10	o (syann)	269 --	
		A6	190/10	o	109 dex	
		B12a	354/20	o	154 ud	
3119			C12a	19/30	o	129 ud
			C12d	44/30	o	194 ud
				19/30	o	154 ud
			D12f	104/30	o	254 ud
3120			E12h	74/15	o	274 ud
			E12j	160/15	o	254 ud/sin
		E12k	160/15	o	129 dd	
3121		E12l	160/15	o	299 ud	
			160/15	o	204 dd	
			160/15	o	64 ud	
		F12m	160/15	o	29 ud	
			160/15	o	144 dd	
		F12o	160/15	o (syann)	69 --	
3122	763	G12q	234/15	F	204 dd	
		A1a	110/15	F	140 dd	
		A2	115/15	S-C	95 dd	
		A2a	225/10	o (±syann)	265 ?dd	
		A2c	195/10	o	55 ud	
3123			B2d	195/15	F	155 dd
			B2e	175/15	S-C	45 ud
				175/15	S-C	5 ud
			B2f	160/15	o (syann)	315 --
				160/15	o	355 ud
3124		C2h	80/15	o (syann)	265 --	
			80/15	o (syann)	95 --	
		C2j	80/15	o	220 ud	
		C2k	80/15	F	35 dd	
3126		F2r	120/15	o	125 dd	
			120/15	o(p)o(s)	5 dd	
		F2t	120/15	o	220 ud/dex	
3127		G2w	160/15	o	336 ud/dex	
			160/15	o	1 ud	
			160/15	o	351 ud	
		G2x	160/15	o (syann)	301 --	
			160/15	o	181 dd	
		G2y	160/15	o	131 dd	
3128	764	A1a	160/10	o	21 ud/sin	
				160/10	o	271 ud/sin
				160/10	o	186 dd
				160/10	o	156 dd
				160/10	F	41 ud/sin
				160/10	F	191 dd/dex
				160/10	o	291 ud/dex
			B1b	160/10	F	16 ud/dex
				160/10	F	31 ud/dex
				160/10	o	71 dex
			160/10	o	61 ud/sin	
3129		C1k	140/10	o	202 dd/sin	

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FNST)	KRITERIUM	SCHERSINN	
3130	764	C1m	120/10	o	92 dd/sin	
			120/10	o (syann)	92 --	
			120/10	o (syann)	152 --	
		C1o	120/10	o	267 ud/dex	
			120/10	o (±syann)	292 ?ud/dex	
			120/10	o (±syann)	282 ?ud/dex	
			120/10	o	122 dd/sin	
			120/10	o (±syann)	172 ?dd/sin	
3131		D1p	120/10	o	267 ud	
		Elwk	120/10	o (±syann)	172 ?dd/sin	
			120/10	o	267 ud	
3133		H1ac	132/10	o (syann)	332 --	
			H1ad	112/10	o	262 ud/sin
			112/10	o	112 dd	
3134	765	A1c	343/10	o (syann)	253 --	
			343/10	o	208 ud	
			343/10	o (syann)	198 ud	
		A1d	343/10	F	203 ud	
			B1e	318/10	o (±syann)	313 ?dd
			318/10	o	3 dd	
3135		B1g	213/10	F	213 dd	
			213/10	F	193 dd	
3136		C11	253/10	o	253 dd	
3137		D1p	223/10	o (±syann)	288 ?dd/sin	
			223/10	o	243 dd/sin	
3138		E1q	223/10	F	13 ud/sin	
			F1r	3/10	o	63 dd/dex
3140	767	H1aa	343/10	o (syann)	98 --	
			83/10	o (syann)	233 --	
			343/10	o (±syann)	173 ?ud	
			343/10	o	358 dd	
			343/20	o	143 ud	
			343/20	o	228 ud	
3141		A1	267/25	o	242 dd	
			267/25	o	187 dex	
			230/25	o	292 ud	
			230/25	o/P	267 ?dd	
			230/25	F	57 ud/sin	
			230/25	o	57 ud/sin	
			230/25	F	37 ud/dex	
			230/25	o	292 dd/sin	
			230/25	o	112 ud/dex	
			230/25	o	247 dd/sin	
			230/25	o	222 dd/sin	
			230/25	o	232 dd/sin	
3142		B3e	230/25	o (syann)	142 --	
			C3g	230/15	F	87 ud/dex
			230/15	o	142 dex	
			C3h	230/15	F	87 ud/dex
			C3j	230/15	S-C	232 dd/dex
			C3k	230/15	o	312 dd/sin
			C3l	230/15	o	107 ud/sin
			230/15	o	122 ud/sin	
			230/15	o/S-C	352 sin	
			240/10	F	257 dd/sin	
3143		D3n	240/10	o	267 dd/dex	
			D3o	240/10	o	52 ud/dex
		D3p	240/10	o	97 ud/dex	
			E3t	67/10	o	337 sin
			E3u	60/10	o	117 dd/sin
			60/10	o (syann)	107 --	
			60/10	o	142 sin	

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FNST)	KRITERIUM	SCHERSINN	
3143	767	E3u	60/10	F	7 dd/sin	
			60/10	o	107 dd/dex	
3144		E3v	60/10	o (syann)	22 --	
			60/10	o (syann)	27 --	
			60/10	o (syann)	132 --	
			60/10	o (syann)	332 --	
			60/10	o	127 dd/dex	
			60/10	o	187 ud/dex	
3145		F3w	60/10	o (±syann)	242 ?ud/sin	
			60/10	o (±syann)	257 ?ud/sin	
			60/10	F	127 dd/dex	
			60/10	o (±syann)	207 ?ud/sin	
			60/10	o	327 sin	
			60/10	o	157 ud/sin	
			60/10	o (±syann)	207 ?ud/sin	
			60/10	o	157 ud/sin	
			60/10	o	52 dd/dex	
			60/10	F	67 dd/dex	
3145	767	H3aa	60/10	o	37 dd/dex	
			60/10	o	352 dd/dex	
			60/10	o (±syann)	300 ?ud/sin	
			60/10	o	111 dd/dex	
3146	768 769	A1a	61/10	o	181 ?ud/sin	
			61/10	o (±syann)	271 ud/dex	
			61/10	o (syann)	306 --	
			61/10	o	151 sin	
			61/10	o (±syann)	181 ?ud/sin	
			61/10	o	186 ud	
			61/10	o (±syann)	241 ?ud	
			71/10	o	201 ud	
			71/10	o	231 ud	
			71/10	o	256 ud	
3147		B3f	71/10	o	131 dd/dex	
			71/10	o	141 dd/dex	
			71/10	o	21 dd	
			71/10	o (±syann)	41 ?dd	
			60/10	o	191 ud/dex	
			60/10	o	231 ud/dex	
			60/10	o	201 ud/dex	
			60/10	o	111 dd/sin	
			60/10	o (±syann)	221 ?ud/sin	
			60/10	o	121 dd/dex	
			60/10	o (±syann)	226 ?ud/sin	
			60/10	o (±syann)	91 ?dd/dex	
3149		D3n	60/10	F	91 dd/dex	
			211/10	o	41 ud/dex	
			211/10	o	41 ud	
			189/15	o	59 ud	
			189/15	o	289 ud	
			189/15	o	49 ud	
			189/15	o	59 ud	
			189/15	o	59 ud	
			189/15	o	19 ud	
			209/15	o	359 ud	
3150		E3s	209/15	o	349 ud	
			F3t	209/20	o	159 dd
			209/20	o	124 dex	
			209/20	o	294 dd	
			209/20	o (±syann)	84 ?ud/sin	
			209/20	o	319 ud/dex	
3152	770	A1a	209/20	o (±syann)	79 ?ud/sin	
			174/20	o (±syann)	79 ?ud/sin	

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN	TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN				
3152	770	A1a	194/20	o	264 dd/sin	3178	777	B2a	76/20	o	296 ud				
		A1b	184/20	F	274 dd			3179	C2ck	96/20	o	106 dd			
3153	770		184/20	δ	204 dd				76/20	δ	46 dd				
			174/20	o	144 dd			C2f	56/20	o (±synn)	6 ?dd				
			194/20	o	264 dd/sin				46/20	o (±synn)	26 ?dd				
			194/20	o (±synn)	314 ?ud/sin			D2g	306/20	δ	306 dd				
			184/20	o	24 ud	3179			46/20	F	16 dd				
			104/20	o	334 ud				46/20	o (±synn)	266 ?ud/sin				
			204/25	F	134 dd	3180				46/20	o	46 dd			
			204/25	o	144 dd										
					164/25	o	124 dd				66/20	δ	246 ud		
					214/25	δ	224 dd				66/20	F	96 dd		
			214/25	o	209 dd				66/20	δ	96 dd				
			214/35	o	184 dd				26/20	δ	336 dd				
			214/35	δ	134 dd				51/20	δ	261 ud				
			214/35	o (synn)	304 --				51/20	F	76 dd				
			244/30	o	354 ud				66/20	F	256 ud				
3154	770		244/30	o (±synn)	214 ?dd	3181		F2n	336/25	F	216 ud				
			244/30	o	354 ud	3183	778			86/35	o	261 ud			
			174/45	o	234 dd										
			174/45	F	84 dd					41/35	o	231 ud			
					52/15	o (±synn)	172 ?ud/sin	3184					81/35	F	171 ud
					52/15	o	212 ud				91/35	F	281 ud		
					72/30	F	92 dd				31/45	F	211 ?ud/sin		
					72/30	o	292 ud				36/45	o (±synn)	46 ?dd		
					62/30	o	202 ud				61/45	o	1 dd/dex		
					52/40	o	242 ud	3185		F7b	41/60	o (±synn)	211 ?ud/dex		
3164	773	A4a	72/30	o	292 ud	3186		F7j	56/60	S-C	46 dd				
			62/30	o	202 ud					56/55	o	66 dd			
			52/40	o	242 ud					41/55	δ	41 dd			
			62/45	o	222 ud					48/55	δ	78 dd			
			62/45	o	227 ud	3187		A1g	48/55	δ	78 dd				
			52/50	o (synn)	242 --	3189		C1dk	101/30	S-C	311 ud				
			52/50	o (±synn)	2 ?dd	3190		C1f	71/30	δ	111 dd				
			62/50	o (synn)	252 --				66/30	o	331 dex				
			52/30	o	212 ud				81/30	o (±synn)	71 ?dd				
			24/40	o (synn)	17 --				81/30	o (±synn)	76 ?dd				
			6/40	o (±synn)	82 ?dd				71/30	F	76 dd				
			5/40	o	77 dd				121/30	δ	231 ud				
			5/40	o	62 dd	3191		E1kk	81/25	S-C	101 dd				
			5/40	o	52 dd				81/25	δ	41 dd				
			5/50	o	55 dd				351/25	F	311 dd				
			5/50	o	95 dd				51/25	F	31 dd				
			7/10	o (±synn)	190 ?ud/sin	3192		G1n	56/25	o (synn)	146 --				
			7/10	o	70 dd/dex				61/25	o (±synn)	201 ?ud/sin				
			7/10	o	175 ud/dex				61/25	δ	111 dd				
			9/10	o	50 dd/dex				61/25	o (±synn)	261 ?dd				
			9/10	o (±synn)	235 ?ud/dex	3194		B1e	311/30	o (±synn)	256 ?ud				
			9/10	o (±synn)	135 ?dd/dex				46/30	o (±synn)	241 ?ud				
			9/10	o	25 dd/sin				46/30	o (±synn)	241 ?ud				
			9/10	o (synn)	170 --	3195		C1jk	21/35	o	191 ud				
			9/10	S-C	75 dd/dex				231/45	F	61 ud				
			9/10	o	115 dd/dex	3197		E1p	231/45	F	101 ud				
			9/10	F	30 dd/sin				21/45	F	61 dd				
			9/10	o (±synn)	195 ?ud/sin				21/45	o	71 dd				
			90/10	o (±synn)	63 ?dd/dex				231/45	F	66 ud				
			171/20	o	241 dd	3198		G1v	1/50	o	211 ud				
			226/20	o	226 dd				31/50	o	251 ud				
			226/20	o (±synn)	236 ?dd	3203		A6hk	270/40	F (?)	230 dd				
			236/20	o	26 ud	3204		B6w	220/50	o	270 dd				
			236/20	o (±synn)	116 ?ud	3206		B6au	290/20	o (±synn)	270 ?dd				
			241/20	o (±synn)	66 ?ud	3207		B6av	300/20	o (±synn)	310 ?dd				
			251/20	o	51 ud				300/20	o	330 dd				
			146/20	o	191 dd				110/20	F	350 ud				
									260/20	δ	270 dd				

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PNST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3208	783	F6bk	240/20	o (±synn)	20 ?ud
			215/20	o (±synn)	75 ?ud
	784	A2b	87/20	o	67 ?dd
			A2c	72/20	o	137 dd/sin
			72/20	o	157 dd/sin
3210		C2gk	187/20	o (±synn)	242 ?dd/sin
3211		D2j	97/25	o (±synn)	37 ?dd/sin
3212		E2l	187/25	o	77 ud
			F2n	142/25	o	117 dd
			147/25	o	192 dd
				147/25	o	72 dd
3213		F2u	142/25	o	92 dd
			G2w	160/25	o	75 dd
			152/25	o	57 ud
				147/25	o	317 ud
			157/25	o	337 ud
		G2y	167/20	S-C	37 ud
3214	785	A3d	161/15	o (±synn)	346 ?ud
3215		B3e	171/20	o	146 dd
			161/20	o (±synn)	171 ?dd
				B3f	141/20	o	76 dd
3216		C3j	121/20	o	146 dd
				C3h	136/20	o	176 dd
			111/20	o	56 dd
				C3k	111/20	o	31 dd
			96/20	o	56 dd
3217		D3t	171/20	o	131 dd
3218		F3aa	121/20	o	121 dd
3220	786	A4d	106/20	o	96 dd
				181/25	o	221 dd
			151/25	o	141 dd
				B4e	216/25	o	196 dd
3222		C4j	191/25	o	181 dd
			D4k	156/25	o (±synn)	201 dd
			136/25	o	146 ?dd
				D4m	111/25	o	116 dd
3223	787	A1a	111/35	o	41 dd
				D4n	111/35	o	136 dd
			111/35	o	111 dd
				A1b	111/35	o	81 ?dd
3224		B1e	111/35	o	51 dd
				A1d	111/35	o	116 dd
3225		C1k	106/35	o	181 dd
				B1f	86/35	o	66 dd
3227	788	D1l	91/40	o	51 dd
				D1l	86/40	o	116 dd
3228		B1m	154/45	o	114 dd
				B1k	149/45	o (±synn)	89 ?dd
			159/45	o	139 dd
				B1n	134/45	o	114 dd
3230		E1ae	302/40	o	282 dd
				C1p	227/40	o	247 dd
3231		F1aj	174/35	o	174 dd
				E1ae	109/35	o	119 dd
3232	789	G1ak	109/35	o	29 dd
				F1aj	104/30	o	34 dd
3233		B1h	119/30	o	119 dd
				G1ak	114/30	o	74 dd
			123/25	o (±synn)	78 ?dd
			103/25	o	98 dd
			103/25	o	143 dd
		B1j	103/30	o	93 dd

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PNST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3233	789	B1j	103/30	o	63 dd
			103/30	o (synn)	143 --
3235		D1o	118/40	o	193 dd
				E1rk	93/40	o	123 dd
3236		E1s	93/40	o (±synn)	123 ?dd
				E1t	93/40	o	73 dd
			93/40	o	63 dd
				F1v	73/35	S-C	83 dd
3237		G1ac	23/30	S-C	48 dd
				23/30	S-C	63 dd
3238	790	A1e	36/30	o	46 dd
				86/30	o	16 dd
			36/30	o	31 dd
				36/30	o	41 dd
3239		A1f	36/30	o	71 dd
				36/25	o	66 dd
			36/25	o (synn)	56 --
				B1g	36/25	o	211 ud
3240		C1j	36/25	o (synn)	91 --
				D1l	66/20	o	41 dd
3241		F1r	96/20	o	111 dd
				96/20	o	116 dd
3242		G1w	71/15	o	346 dd/sin
				76/15	o	116 dd/dex
			76/15	o	231 ud
				76/15	o (±synn)	106 ?dd
3243		G1x	76/20	o	291 ud
				G1z	76/20	o	96 dd
3244	791	H1ab	66/20	o (synn)	161 --
				66/20	o	246 ud
3245		B5b	66/20	o	261 ud
				B5c	80/25	o	330 ud/dex
3246	792	A2d	80/25	o	240 ud
				80/25	o	255 ud
3247		A2e	70/30	o	270 ud
				B5e	70/30	o	230 ud
			70/30	o	340 ud/sin
				C5e	70/30	o	160 ?dd/dex
3248		D6m	70/30	o (±synn)	290 ud
				100/25	o	290 ud
3249		A2d	55/25	o	265 ud
				55/25	o	195 ud
3250		A2e	55/25	o	235 ud
				55/25	o	225 ud
			55/25	o	220 ud
				55/25	o	310 ud
3251		B2f	65/25	o (±synn)	175 ?ud/sin
				B2g	65/25	o	255 ud
3252		B2h	65/25	o (±synn)	255 ?ud
				65/25	o (synn)	35 --
3253		C2k	65/25	o (synn)	75 --
				65/25	o	260 ud
3254		D2p	65/25	o	120 dd
				65/25	o	195 ud
3255		E2q	65/25	o	195 ud
				60/30	o	190 ud
3256		F2s	60/30	o	205 ud
				60/30	o	235 ud
3257		G2t	60/30	o	230 ud
				60/30	o	230 ud
3258		H2u	45/30	o	265 ud
				E2y	45/30	o	240 ud
3259		I2v	45/30	o	220 ud
				45/30	o	220 ud

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FNST)	KRITERIUM	SCHERSINN	TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FNST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3250	792	B2y	45/30	o	255 ud	3265	797	C1l	102/55	δ	282 ud
3251	793	A4a	65/35	o	225 ud	3266		D1p	82/60	F	112 dd
			65/35	o (synn)	150 --	3268		F1ah	232/65	o (synn)	142 --
		A4b	65/35	o	285 ud	3269	798	A1h	252/45	δ	202 dd
			65/35	o (±synn)	175 ?ud			A1k	232/25	o	147 dd/dex
		A4c	65/35	o (synn)	15 --				232/25	o	147 dd/dex
		B4e	65/35	o (synn)	175 --			B1l	242/25	o	102 ud
			65/35	δ	265 ud				242/25	o	52 ud
			65/35	o	225 ud	3270		B1nk	262/35	o	122 ud
3252		B4r	65/40	o	275 ud	3272		B1s	292/40	δ	112 ud
		C4aa	75/40	o	220 ud				292/40	F	82 ud
		C4x	75/40	o	250 ud			E1t	262/40	o	212 dd
			75/40	o (±synn)	220 ?ud				262/40	F	212 dd
3253		D4af	45/40	o	310 ud			E1z	202/30	o	322 ud
			45/40	δ	215 ud	3273		F1w	182/30	o (±synn)	212 ?dd
			45/40	o	300 ud/dex				222/25	o	132 sin
3255	794	A1a	55/25	F	245 ud	3274	799	A1b	142/25	F	152 dd
			55/25	o	360 dd				142/25	o	162 dd
3256		B1k	75/40	o (±synn)	285 ?ud			A1d	132/25	o	12 ud
			175/40	o (±synn)	65 ?ud			A1e	122/25	o	82 dd
		B1nk	75/55	δ	35 dd				152/25	o (±synn)	22 ?ud
3257		C1ok	75/55	δ	285 ud	3275		B1o	157/30	δ	167 dd
			75/55	δ	235 ud				152/30	F	222 dd/sin
		D1s	75/55	o (synn)	45 --			C1q	112/30	F	142 dd
3258		D1t	76/55	δ	136 dd	3276		C1wk	242/40	F	177 dd
		E1vk	75/55	o	225 ud	3277		D1ab	62/40	F	52 ?dd
			75/55	o	285 ud			E1ae	152/35	o (±synn)	172 ?dd
			75/55	o (±synn)	55 ?dd				152/35	δ	22 ud
			75/55	o (±synn)	345 ?ud/sin	3278		E1al	142/35	o (synn)	22 --
		E1w	75/55	o (synn)	115 --			F1al	152/35	F	342 ud
3259		E1x	75/80	o	305 ud	3280	800	A1b	74/35	F	64 dd
		E1y	75/80	o (synn)	95 --			B1d	74/45	F	254 ud
			75/80	o	145 dd				74/45	F	274 ud
	795	A2b	67/30	o	37 dd			C1f	74/45	o (±synn)	224 ?ud
			62/30	o	22 dd	3281		C1l	74/50	o	44 dd
		A2d	82/30	o	22 dd				74/50	F	14 dd
3260		A2gk	67/20	o	347 dd	3282		D1j	314/35	F	284 dd
		B2hk	72/20	o	152 dd			E1k	77/25	o	257 ud
			67/20	o	2 dd	3283		F1n	74/25	F	24 dd
3261		C2kk	182/45	o (±synn)	162 ?dd	3284		G1p	84/50	δ	334 ud
	796	A8b	67/45	o	217 ud				84/50	o	314 ud
			67/45	o	252 ud				84/50	o	294 ud
			82/45	F	42 dd			G1s	84/45	o	104 dd
3262		A8ek	87/45	o (±synn)	217 ?ud	3285	801	A1b	74/35	S-C	44 dd
		B8fk	72/45	o	262 ud				74/35	F	44 dd
3263		B8j	72/50	δ	267 ud	3286		C1j	254/65	o	214 dd
			257/50	δ	147 ud	3287		D1l	264/55	o	274 dd
		C8l	57/50	F	12 ?dd	3288		E1m	84/45	o	44 dd
			262/50	F	327 dd			F1o	94/40	o (±synn)	304 ?ud
			102/50	o	282 ud	3289		G1q	104/40	F	134 dd
	797	A1a	62/50	δ	102 dd	3290		G1r	109/45	o (±synn)	119 ?dd
3264		A1c	62/50	δ	252 ud			H1ac	74/35	o	244 ud
			62/50	o	252 ud			H1ac	74/35	o (±synn)	279 ?ud
		A1d	62/50	o (±synn)	267 ?ud			H1w	74/35	o	224 ud
		B1e	67/50	o	242 ud	3291	802	A1a	74/50	o	234 ud
		B1f	67/55	δ	297 ud				74/50	o	234 ud
		B1g	67/55	o	267 ud				74/50	o	234 ud
			62/55	F	72 dd			A1b	104/50	δ	314 ud
		B1h	62/55	F	52 dd/dex				104/50	F	174 dd
			62/55	o	52 dd/dex				104/50	δ	144 dd
			62/55	o	12 dd				104/50	o	254 ud/sin
3265		B1j	62/55	F	222 ud			B1e	114/50	o	274 ud

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3291	802	Ble	114/50	o	99 dd
			114/50	o	314 ud
3292		Blf	124/35	o	329 ud
			124/35	o	264 ud
		Clg	84/35	o	264 ud
			84/35	F	94 dd
			84/35	F	44 dd
		Clh	94/20	o	344 ud
		Clk	104/20	o	314 ud
			104/20	o	234 ud
			104/20	o	259 ud
			104/20	o	249 ud
3293		Dlkk	84/25	o	244 ud
		Dll	144/60	o	24 ud
			144/60	o (synn)	44 --
			144/60	o	299 ud
			104/60	o	204 ud/dex
3294		Dln	114/55	o	334 ud
		Elo	84/50	o	299 ud/dex
		Elpk	144/45	F	94 dd
		Flqk	74/45	o (synn)	124 --
			74/45	o (±synn)	304 ?ud
3296	803	Alb	114/35	o	314 ud
			114/35	o	304 ud
3297	804	Bld	44/35	F	34 dd
			54/35	o	234 ud
3298		Blf	74/35	o	224 ud
		Clg	44/30	o	199 ud
			44/30	o	179 ud
3299		Dll	64/25	F	34 dd
		Eln	54/20	o	234 ud
			54/20	o	194 ud
3300		Elp	64/20	o	254 ud
			64/20	o (synn)	174 --
		Elr	74/20	o	284 ud
		Fls	74/30	o	74 dd
		Flt	84/30	o	144 dd
3301		Glaa	64/35	o (synn)	54 --
3302		Glae	74/35	F	59 dd/sin
	805	A5a	92/30	o	272 ud
			92/30	o	322 ud
			92/30	o (synn)	12 --
			92/30	o	237 ud
3303		A5c	82/30	F	92 dd
		B5e	82/30	o	322 ud
		B5f	92/30	o	262 ud
		B5g	82/30	o	267 ud
		B5h	82/30	o	312 ud
		C5j	72/40	o	162 ud/sin
			72/40	o	272 ud
			72/40	o	232 ud
3304		C5k	92/45	o	342 ud/dex
		D5l	82/45	F	47 dd
			82/45	o (synn)	172 --
			72/45	F	52 dd
			72/45	o	82 dd
		D5m	72/45	F	112 dd
3305	806	Alb	89/45	o (±synn)	249 ?ud
			89/45	F	39 dd
		Alc	79/45	o	289 ud
			109/45	o	304 ud
3306		Ble	79/35	F	59 dd

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3306	806	Ble	79/35	o (synn)	49 --
3307		Dlhk	89/35	o	224 ud
			89/35	o	324 ud
		Dlj	89/35	o	229 ud
			89/35	o	339 ud
			89/35	o	269 ud
		Dlk	89/35	o	249 ud
			89/35	F	279 ud
			89/35	o	299 ud
3308		Elm	99/40	F	59 dd
			99/40	o	269 ud
		Elo	109/40	o	349 ud
		Flp	109/45	o	284 ud
			109/45	o (synn)	34 --
			109/45	o	309 ud
3309		Flq	119/45	o	199 sin
			119/45	o	4 ud/sin
3311	807	Gls	109/50	o	284 ud
		Clc	219/55	o	49 ud
			219/55	o	299 sin
		Dlg	79/68	o	259 ud
3312			79/68	o	339 sin
3314		Flc	104/70	o	244 ud
		Flp	114/75	o	274 ud
		Flsk	124/75	o	354 ud
			124/75	o	304 ud
		Gltk	104/70	o	344 ud
			104/70	o (synn)	4 --
3315		Glu	94/70	o	244 ud
		Gly	114/65	o	264 ud
			114/65	o	284 ud
3316	808	Ble	124/25	o	254 ud
			124/25	o	314 ud
			124/25	o (±synn)	54 ?dd
3317		Blfk	114/25	o	254 ud
			104/25	o	309 ud
		Clgk	104/25	o	254 ud
			104/25	o	314 ud
			104/25	o	334 ud
			104/25	o	4 ud
			104/25	o	234 ud
			104/25	o	14 ud
		Clj	114/30	o	339 ud
			114/30	o	284 ud
			94/30	o	234 ud
3318		Dlok	110/30	o	260 ud
		Dlp	110/40	o	155 dd
			110/40	o	170 dd/dex
3319		Dlq	100/40	F	105 dd
			100/40	o	80 dd
			100/40	o	190 sin
			100/40	o	80 dd
		Elr	110/45	o	215 ud/sin
			110/45	o	260 ud
			110/45	o	290 ud/sin
3320		Fluk	100/50	o (±synn)	100 ?dd
			100/50	o (±synn)	240 ?ud
			100/50	o	265 ud
3321		Glae	110/50	o	75 dd
		Glz	120/50	o	160 dd
			120/50	o	85 dd

TRUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SP (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN	
3321	809	A1b	140/50	o	335 ud	
3322		A1e	140/50	o	360 ud	
				140/50	o	230 ud
		B1f	210/40	o	150 dd	
				210/40	o	210 dd
				210/40	o	210 dd
				210/40	o	100 ud
				210/40	o	300 ud
3323			C1g	150/30	o	120 dd
				150/30	o	130 dd
				150/30	o	70 dd
3324			D1h	50/35	o	50 dd
			D1j	90/35	o	70 dd
				90/35	o	110 dd
			90/35	o	110 dd	
		E1k	290/40	o (tsynn)	180 ?ud/dex	
3325		E1l	110/35	o	180 dd	
			105/35	o	45 dd	
		F1m	105/30	o (tsynn)	315 ?ud	
			100/30	o (tsynn)	60 ?dd	
3326		H1p	260/30	F	170 dd	
		H1u	100/35	o (tsynn)	90 dd	
3327	810	A1e	120/35	o (syann)	110 --	
				120/35	o (tsynn)	330 ?ud
3328			B1f	125/40	o	325 ud
				130/40	o	300 ud
				135/40	o (tsynn)	320 ?ud
				110/40	F	260 ud
			C1j	110/30	o	300 ud
				110/30	o	290 ud
			C1k	290/30	o	150 ud
3329			C1l	110/30	o	110 dd
			D1m	110/30	o	110 dd
				120/30	o	100. dd
				110/30	o	45 dd
3330			E1r	125/35	o	75 dd
	811	A1b	135/35	o	265 ud	
				135/35	o	285 ud
3331	812	A1c	120/35	o	285 ud	
		A1j	130/30	o (tsynn)	290 ?ud	
				150/30	o	350 ud
				150/30	o	360 ud
			A1kk	150/30	o	100 dd
				110/30	F	130 dd
3332			B1kk	110/20	o (tsynn)	120 ?dd
				110/20	F	230 ud
				285/20	F	10 dd
			C1n	120/25	o	230 ud
				120/25	o	220 ud
				125/25	o	35 ud
3333			D1o	100/30	o (tsynn)	330 ud
				120/30	o	180 dd/sin
			100/30	o (tsynn)	210 ?ud/sin	
		E1qk	90/40	o	330 ud	
			185/40	o	75 ud	
3335		G1sk	80/50	o (tsynn)	80 dd	
			70/50	o	300 ud	
		H1tk	80/45	o	300 ud	
3336	813	J1ab	100/40	o (tsynn)	270 ud	
3337			A1a	90/40	o	260 ud
				90/40	o	260 ud
				110/40	o	310 ud

TRUFE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SP (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN		
3337	813	A1b	95/40	o	275 ud		
				300/40	o	60 ud	
			A1c	95/45	o	335 ud	
				95/45	o	355 ud	
			B1ek	100/55	F	330 ud	
3338			B1f	100/45	F	150 dd	
				100/45	o	130 dd	
			B1g	100/35	o	260 ud	
			C1h	140/35	F	250 ud	
3339			C1j	140/50	F	110 dd	
			C1k	130/50	o	290 ud	
				130/50	o	300 ud	
			D1n	95/50	o (tsynn)	230 ud	
				100/50	F	250 ud	
3340		D1ok	80/55	o	270 ud		
			80/55	F	80 dd		
			80/55	o	80 dd		
		E1pk	90/45	o	80 dd		
3341		F1u	115/50	o	310 ud		
		F1v	200/50	F	100 ud		
		G1x	100/50	o	120 dd		
			90/50	o (tsynn)	270 ?ud		
			110/50	o	260 ud		
			110/50	o	150 dd		
3342	814	A1b	97/60	F	117 dd		
			A1ck	110/60	o	90 dd	
				300/60	o	140 ud	
				300/60	o	140 ud	
3343			B1dk	220/55	o	165 dd	
			C1e	90/45	o	300 ud	
				120/45	o	90 dd	
3344			D1f	130/65	F	100 dd	
				0/65	o	240 ud	
				80/65	o	320 ud	
			D1g	105/65	o	155 dd	
				110/65	F	70 dd	
3346			F1l	60/50	F	60 dd	
			F1m	100/50	o	280 ud	
			110/50	F	260 ud		
3349	815	B1q	100/40	o (syann)	50 --		
				100/40	F	280 ud	
				100/40	o	260 ud	
				100/40	F	260 ud	
			C1sk	80/40	F	250 ud	
				100/40	F	280 ud	
				100/40	F	280 ud	
3350			D1tk	100/45	o (tsynn)	280 ?ud	
				100/45	o	60 dd	
3351			E1uk	100/50	F	110 dd	
				100/50	F	80 dd	
3354		816	B1ck	81/45	F (tsynn)	241 ?ud	
					61/50	o (syann)	11 --
3355				C1ek	56/60	o (tsynn)	206 ?ud
			C1k	56/65	o (syann)	31 --	
			C1q	51/65	F	251 ud	
			C1u	231/65	o (syann)	21 --	
3356	817		A1c	81/70	o	221 ud	
					81/70	o (syann)	41 --
				A1k	241/75	F	241 dd
					241/75	o (syann)	91 --
				B1d	71/75	o	121 dd
					71/75	o (syann)	141 --

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PNST)	KRITERIUM	SCHERSINN	
3356	817	B1d	71/75	o	311 ud	
			71/75	o (syann)	131 --	
3357	818	Ala	106/60	F	96 dd	
			106/60	F	136 dd	
3358		Albk	76/50	o (tsyann)	46 ?dd	
			Blck	66/45	o	231 ud
				C1e	86/50	F	36 dd
3359		D1j	66/50	o (tsyann)	326 ?ud	
			66/60	o (tsyann)	26 ?dd	
			66/60	F	266 ?ud	
3361	819	B1f	66/60	o (tsyann)	216 ud	
			66/60	o (tsyann)	296 ?ud	
			66/65	o (syann)	86 --	
3362		C1h	76/60	o (tsyann)	126 ?dd	
			C1j	106/60	o (tsyann)	141 ?dd
	820	Alf	116/60	o	16 ud	
			116/60	o	276 ud	
			82/55	o	242 ud	
3363		A3d	82/55	o	262 ud	
			82/60	o	332 ud	
3364		B3f	72/60	o (tsyann)	202 ?ud	
			C3h	52/60	o (tsyann)	332 ?dd
3365		C3j	52/60	F	52 dd	
			C3k	42/60	F	97 dd
			B3p	92/60	o (syann)	92 --
			92/60	o (syann)	102 --	
			102/60	o (syann)	92 --	
			92/60	o (syann)	42 --	
3366		F3q	92/65	o	272 ud	
			G3s	42/65	F	72 dd
3367		G3u	92/65	o	262 ud	
			G3v	102/65	F	97 dd
			102/65	o	187 dd	
			102/65	o	177 dd	
			G3w	92/65	F	132 dd
			H3aa	52/65	o	272 ud
			52/65	F	262 ud	
			H3x	92/65	o	282 ud
			H3y	42/65	o	232 ud
			42/65	F	212 ud	
			H3z	42/65	o	262 ud
			3368	822	I6a	82/65	F	22 dd
Ala	52/65	o	182 ud			
	52/65	o	232 ud			
		Alb	52/65	F	92 dd	
			62/65	o	82 dd	
			62/65	F	72 dd	
			62/65	o	32 dd	
			62/65	F	102 dd	
			3369	B1dk	62/63	o	82 dd
62/63	o	62 dd				
62/63	F	352 dd				
			62/63	F/δ	302 ud	
			B1g	72/63	F	92 dd
			72/63	o	142 dd	
			72/63	F	262 ud	
			B1h	72/63	o	102 dd
			B1kk	72/63	o	102 dd
3371	823	Ala	82/62	F	42 dd	
			82/62	F	72 dd	
			Alb	82/62	o	292 ud
			Alc	82/62	o	12 dd
		B1d	82/55	o	247 ud	

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PNST)	KRITERIUM	SCHERSINN	
3372	823	C1e	72/40	F	72 dd	
3373		D1j	62/40	o (syann)	72 --	
	62/40		o	167 ud		
	62/40		o	182 ud		
	62/40		F	182 ud		
3374		D1k	62/40	o	272 ud	
			E1l	62/45	o	272 ud
			62/45	o (tsyann)	52 ?dd	
		Fluk	62/45	o	202 ud	
			52/45	F	77 dd	
			52/45	F	102 dd	
			52/45	F	32 dd	
3375	824	G1pk	72/45	o	322 ud	
3377		B1b	32/45	o (syann)	77 --	
	B1c		62/45	F	192 ud	
3378		C1d	62/50	o (tsyann)	312 ?ud	
3379			D1j	62/50	F	62 dd
3380		E1p		62/50	o (syann)	57 --
			62/60	o	82 dd	
			62/60	o	62 dd	
			62/60	o (syann)	22 --	
			F1v	62/60	o	42 dd
			62/60	o	72 dd	
			G1t	62/65	o (syann)	92 --
3381	825	Alb	94/65	o	249 ud	
3383			B1c	74/65	o (syann)	154 --
				99/65	o	29 dd
			99/65	o (tsyann)	64 ?dd	
			99/65	o	49 dd	
		B1dk	99/65	o (syann)	29 --	
			99/65	o (syann)	74 --	
		B1dk	99/65	o (tsyann)	99 ?dd	
3384		C1ek	79/60	o	74 dd	
		D1g	84/60	o	74 dd	
3385		E1n	74/50	o (syann)	109 --	
			74/50	o (syann)	79 --	
3386		F1p	279/50	o	314 dd	
			279/50	o	319 dd	
		F1q	259/50	o (syann)	54 --	
3388	826	B2c	71/50	F	221 ud	
		C2h	61/50	o (syann)	21 --	
3391	827	C4ek	73/65	F	113 dd	
3392			D4f	78/65	o (syann)	38 --
				78/65	o	13 dd
			78/65	F	63 dd	
3393		E4g	73/80	o/F	28 dd	
			73/80	o (tsyann)	253 ?ud	
			73/80	o (syann)	18 --	
3394		F4h	83/75	o	318 ud	
			83/75	o	273 ud	
		G4n	93/70	o (tsyann)	143 ?dd	
			93/70	o	138 dd	
3395	828	B1f	102/60	F	102 dd	
			102/60	S-C	322 ud	
			102/60	o (tsyann)	62 ?dd	
3396		C1j	82/60	F	312 ud	
3397		D1k	92/60	F	262 ud	
			102/60	o (syann)	87 --	
			102/60	o	242 ud	
			102/60	F	222 ud	
			102/60	F	267 ud	
		E1e	102/60	o (syann)	162 --	

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3398	829	Alb	82/60	o	92 dd
			82/60	o	232 ud
			77/60	δ	282 ud
			97/60	o	312 ud
			97/60	o	307 ud
3399	830	Bld	92/60	o	297 ud
			92/60	δ	257 ud
3400	830	Alb	117/55	S-C	287 ud
			92/55	o	302 ud
3401	830	B1c	92/55	o	300 ud
			97/55	δ	127 dd
3402	830	Cld	112/60	o	262 ud
			317/60	o (±synn)	137 ud
3403	830	Dlf	272/60	o	232 dd
			262/60	o (±synn)	92 ud
3404	830	Dlg	82/60	δ	242 ud
			82/60	F	282 ud
3405	830	Elk	102/60	δ	152 dd
			82/65	F	92 dd
3406	831	Fll	142/65	F	342 ud
			97/65	o (synn)	92 --
3407	831	Glpk	122/60	F	122 dd
			112/60	F	82 dd
3408	832	Gls	112/60	F	82 dd
			290/55	o	150 ud
3409	832	Ala	110/60	o	40 dd
			100/60	o	240 ud
3410	833	Alb	95/60	o (synn)	70 --
			100/60	o	130 dd
3411	833	Alb	90/60	o	130 dd
			100/60	δ	300 ud
3412	834	B2d	160/65	o (±synn)	110 dd
			245/65	o (synn)	35 --
3413	834	B2e	170/65	F	210 dd
			30/65	F	190 ud
3414	835	D2h	55/65	F	225 ud
			95/62	o (synn)	170 --
3415	835	Ala	95/62	o	275 ud
			75/62	o	65 dd
3416	835	B1c	49/62	o (synn)	34 --
			59/40	F	69 dd
3417	835	Bld	74/40	F	49 dd
			64/40	o (±synn)	29 dd
3418	836	Ala	69/40	o (synn)	109 --
			134/50	o	334 ud
3419	836	Bld	119/50	S-C	309 ud
			129/50	o (synn)	4 --
3420	836	Ble	129/50	o	9 ud
			94/55	o (synn)	104 --
3421	836	Clh	131/50	o	131 dd
			119/50	o (±synn)	109 ?dd
3422	836	Flm	109/50	o	249 ud
			109/50	o	59 dd
3423	836	Fln	109/50	δ	249 ud
			109/50	F/δ	319 ud
3424	837	G1q	299/50	F	289 dd
			269/50	F	279 dd
3425	837	G1t	109/50	F	129 dd
			139/55	o (synn)	169 --
3426	837	G1v	139/55	F	119 dd
			139/55	F	109 dd
3427	838	Ala	169/50	o (±synn)	339 ?ud
			169/50	o	189 dd

TRUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3431	839	Bld	169/45	F	189 dd
			169/45	δ	189 dd
			169/45	δ	189 dd
3432	839	Dlf	119/45	o	149 dd
			149/45	δ	284 ud
3433	839	Dlh	134/45	o (±synn)	99 ?dd
			119/45	o	304 ud/dex
3434	840	Bli	74/45	o	104 dd
			164/45	o	344 ud
3435	840	Flm	184/45	δ	324 ud
			214/45	F	24 ud
3436	840	Aldk	179/45	o	189 dd
			349/45	o (±synn)	344 ?dd
3437	840	Blf	344/45	o (±synn)	239 ?ud/sin
			344/45	δ	219 ud
3438	840	Blg	179/45	o (±synn)	189 ?dd
			179/45	F	174 dd
3439	841	Clh	169/45	F	194 dd
			179/45	δ	329 ud
3440	841	Cljk	341/40	δ	341 dd
			359/45	F	359 dd
3441	841	E1l	179/45	F	189 dd
			169/50	o (±synn)	159 ?dd
3442	841	Gln	74/50	o (±synn)	169 ?ud
			129/55	o (synn)	39 --
3443	841	Glo	177/60	δ	7 ud
			152/60	o	37 ud
3444	842	Ale	147/60	δ	32 ud
			134/65	F	49 dd
3445	842	Alb	134/65	o	214 dd
			134/65	o (synn)	94 --
3446	842	Alc	134/65	o	134 dd
			134/65	F	214 dd/sin
3447	842	Bldk	134/65	o	39 ud
			134/60	o	79 dd
3448	842	Clck	169/60	o (±synn)	169 ?dd
			169/60	o	214 dd
3449	842	Clg	169/60	o (synn)	174 --
			169/60	o	109 dd
3450	842	Dlh	169/60	o	179 dd
			169/60	F	189 dd
3451	842	Dli	169/60	o	199 dd
			169/60	o (synn)	169 --
3452	842	Elk	169/55	o	119 dd
			159/55	o	9 ud
3453	842	Elm	159/55	o (synn)	104 ?dd
			159/55	o	79 --
3454	842	Fln	159/55	o	219 dd
			159/55	o	239 dd/sin
3455	842	Flo	159/55	o (synn)	54 --
			139/55	F/δ	344 ?ud
3456	843	Blq	139/55	o (synn)	9 --
			154/55	S-C	9 ud
3457	843	Hlt	154/55	S-C	349 ud
			144/55	o	359 ud
3458	843	Blg	144/55	o	24 ud
			144/55	o	4 ud
3459	843	Clok	149/50	o	274 ud
			109/50	o/S-C	329 ud
3460	843	Dip	284/40	o	154 ud
			279/40	o (synn)	149 --
3461	843	E1s	134/40	o	319 ud
			134/40	o	319 ud

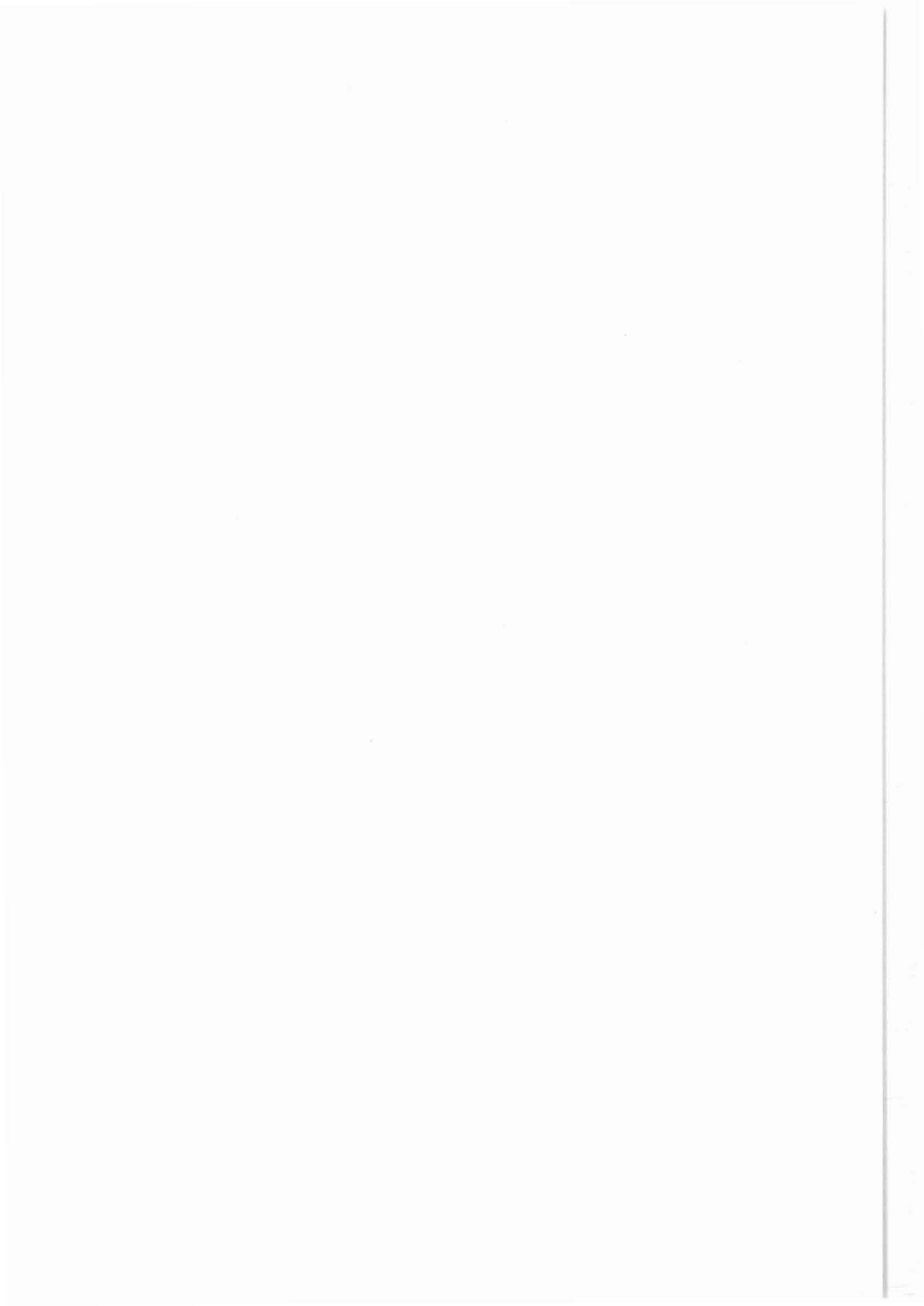
TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN		
3449	843	Flw	134/40	F	304 ud		
		Flx	134/35	o	339 ud		
		Fly	134/35	o	279 ud		
3453	844	Dlh	105/25	o/S-C	345 ud		
			105/25	o/S-C	225 ud		
		Elj	105/25	F	65 dd		
3455	845		105/25	F	145 dd		
		Alb	83/25	o	218 ud		
			83/25	F	218 ud		
3456		Alc	83/25	F	203 ud		
		B1k	103/30	o	13 ud		
			103/30	o	328 ud		
3458			103/30	o	348 ud		
			103/30	o	13 ud		
			103/30	o	358 ud		
		Elag	138/40	o	8 ud		
		ElaI	153/40	o (tsynn)	138 ?dd		
		Elak	133/40	F	8 ud		
3459	846	Elao	133/50	o (tsynn)	143 ?dd		
		Ala	83/50	o	353 ud/dex		
		Alb	103/50	o (syann)	23 --		
3461		B1c	223/50	o	208 dd		
			223/50	o	158 dd		
		B1fk	53/50	o (tsynn)	218 ?ud		
			53/50	o	248 ud		
		Dln	153/40	o (tsynn)	313 ?ud		
		Eln	103/35	o	333 ud		
		G1xk	193/30	o	348 ud		
		G1y	193/30	o	348 ud		
		3465	847	Alk	140/25	o (syann)	45 --
					140/25	o	15 ud
B1t	165/25			F	205 dd		
B1u	205/25			o	25 ud		
	165/25			o	50 ud		
	165/25			o (syann)	70 --		
B1v	165/25			o	20 ud		
C1x	150/25			o (syann)	25 --		
C1z	115/25			o (syann)	10 --		
3467				D1ae	155/35	o	245 dex
		Dlag	145/35	o	360 ud		
			145/35	o	325 ud		
			145/35	o	25 ud		
		Elan	295/50	o (syann)	90 --		
3468			215/50	o	45 ud		
		Flao	160/50	F	235 dd/dex		
			160/50	o	175 dd		
3469	848	Glav	100/45	F	95 dd		
3470		Ala	166/45	F	106 dd		
			176/45	o	336 ud		
			146/45	F	166 dd		
3471		B1f	106/40	o	146 dd		
	B1h	216/40	F	346 ud			
3472		Dlnk	146/35	o (syann)	71 --		
			146/35	o (tsynn)	266 ?ud/sin		
		Dln	181/35	o (tsynn)	121 ?dd		
3473		B1p	136/35	o	36 ud		
3474		Flq	181/30	o	46 ud		
			181/30	o	46 ud		
3475	849	Alb	154/30	o (syann)	64 --		
		Alc	154/30	o	339 ud		
		Ala	154/30	F	169 dd		
3476		Alf	124/30	o	264 ud		

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (FMST)	KRITERIUM	SCHERSINN		
3476	849	B1g	254/30	o	244 dd		
			349/30	o	299 dd		
3477		B1h	319/30	o	189 ud		
		B1k	339/25	o	179 ud		
		B1m	299/25	o	159 ud		
			299/25	o	89 ud		
		B1n	109/25	o	289 ud		
			109/25	o	159 dd		
3478	851	C1o	139/25	o	39 ud		
			139/25	o	299 ud		
		C1q	149/25	o	324 ud		
		C1s	144/25	o	264 ud		
		A2b	124/25	F	54 dd		
			124/25	F	14 ud		
		3479		C21k	124/20	o (tsynn)	324 ?ud
		3480		D2m	139/20	o	344 ud
				D2n	134/20	o	344 ud
		3481		E2r	139/25	o	299 ud
3483	852		144/25	o	339 ud		
		Alh	134/40	o	334 ud		
		C1w	134/45	F	294 ?ud		
		C1x	154/45	F	294 ud		
			129/45	F	289 ud		
		D1z	174/45	o	44 ud		
		A2c	134/55	o	334 ud		
		A2d	149/55	o (tsynn)	349 ?ud		
		A2g	159/55	o (tsynn)	99 ?dd		
		A2h	144/55	o	304 ud		
3486	853	B2i	134/55	F	314 ud		
		D2x	184/55	o (tsynn)	174 ?dd		
3487		B2e	191/55	o (tsynn)	141 ?dd		
			156/55	F	166 dd		
		C2m	126/50	o	96 dd		
			121/50	o	66 dd		
			126/50	F	86 ?dd		
			156/50	o (tsynn)	171 ?dd		
			171/50	o	196 dd		
		D2x	106/50	F	26 ?dd		
		E2z	86/50	F	6 ?dd		
			96/50	F	16 dd		
3489	854	G2afk	16/50	F	16 dd		
		B2g	120/45	F	70 dd		
3490		B2j	110/45	o	150 dd		
			95/45	o	65 dd		
			100/45	o	175 dd		
		C2k	120/45	o	150 dd		
		B1f	150/40	o (tsynn)	160 ?dd		
		D1k	150/45	o (tsynn)	330 ?ud		
		E1r	180/50	o (tsynn)	180 ?dd		
			175/50	o (tsynn)	335 ?ud		
			125/50	o	145 dd		
			140/50	o	75 dd		
3491		B1y	145/50	o	205 dd		
			105/50	o	100 dd		
			125/50	o	165 dd		
			110/50	o	135 dd		
		3493		A1b	250/40	o (p) o (s)	350 ud
		3494	855	B1d	220/40	o (syann)	55 --
				B1e	230/40	o	220 dd
		3495			240/40	o	270 dd
				B1f	240/35	o	250 dd
				D1k	260/35	o	275 dd
3496							
3498	856						
3499							
3501							
3502							
3503							
3504							
3505							

TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3505	857	D1l	235/35	σ (±synn)	95 ?ud
			235/35	σ	200 dd
3506	858	A2c	240/35	σ	40 ud
		A2e	240/35	σ	130 ud
3507		B2j	220/35	σ	160 dd
			220/35	σ (synn)	10 --
		B2k	220/35	σ (synn)	30 --
3507			220/35	σ (synn)	140 --
		B2l	220/35	σ	170 dd
			220/35	σ	190 dd
3508		C2h	220/35	δ	190 dd
			220/35	σ	180 dd
			200/35	F	170 dd
3509		D2p	150/45	σ	200 dd
			150/45	δ	155 dd
3510		F2u	180/45	σ	90 sin
			180/45	σ	115 dd/sin
			180/45	σ	230 dd
			180/45	σ	265 dd
3511		H2x	180/45	F	100 dd
3512	859	B2e	130/45	σ	205 dd/sin
			130/45	δ	115 dd
3515		E2z	90/35	δ	15 dd
			110/35	σ	80 dd
3516		F1ad	90/35	σ	85 dd
		F2ac	90/35	σ	25 dd
	860	A1c	90/35	δ	0 sin
		A1e	80/35	F	70 dd
3517	861	A2a	160/35	F	205 dd
3518		C2l	230/35	σ (±synn)	80 ?ud
		C2o	240/35	δ/F	180 dd
		C2p	190/35	δ	285 sin
3519		D2s	185/35	F	30 ud
3520		B2z	155/35	F	130 dd
			155/35	F	130 dd
3521	862	A3b	170/35	δ	195 dd
			170/35	F	160 dd
3522		A3d	170/35	σ (±synn)	170 ?dd
		C3k	120/35	F	150 dd
			150/35	σ	115 dd
			150/35	σ	320 ud
			150/35	δ	20 ud
			150/35	δ	45 ud
3523		C3m	75/35	δ (±synn)	300 ?ud
3524		B3t	140/35	σ	160 dd
3526		G3aa	70/35	δ/F	40 dd
3527	863	A2e	170/25	δ	55 ud
		A2l	180/25	σ	120 dd
3528		B2n	180/25	δ	265 sin
3530		D2aa	210/25	σ	5 ud
3532		G2an	110/20	σ (synn)	145 --
3533	865	A2d	90/20	δ	190 ud
3535		B2n	160/20	δ	270 ud
3536		D2q	170/35	δ	10 ud
		E2v	250/35	σ	105 ud
			250/35	σ	90 ud
3538		F2ak	215/35	δ	105 ud
3539	866	B1e	60/35	σ	240 ud
			60/35	σ	300 ud
			100/35	F	85 dd
3540		C1f	100/35	σ (±synn)	340 ?ud
3541		D1hk	190/35	δ	295 ud

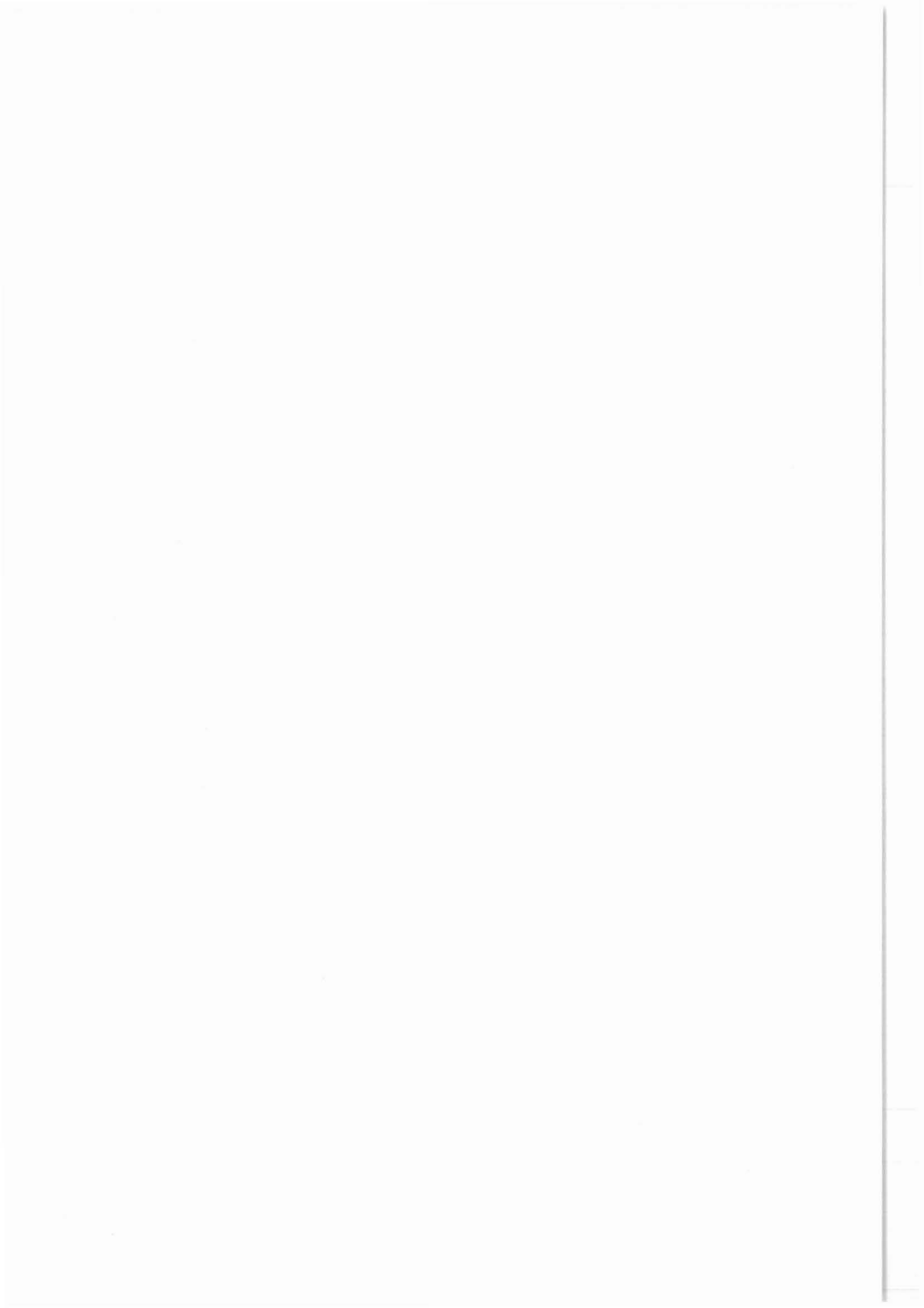
TEUPE [m]	KERN- MARSCH	KERN- STÖCK	SF (PMST)	KRITERIUM	SCHERSINN
3571	866	D1hk	190/35	δ	295 ud
			190/35	δ	310 ud
		D1l	170/35	σ	50 ud
		D1m	170/35	δ/F	280 ud
3542		E1r	170/35	σ	40 ud
3551	870	C9g	35/45	σ (±synn)	10 ?dd
3552		D9h	30/45	F	240 ud
			30/45	F	180 ud
3554	871	B1e	10/45	σ (±synn)	40 ?dd
3555		B1g	340/45	σ	290 dd/dex
		C1h	350/45	δ/F	50 dd/dex
3562	872	G1r	140/15	σ (synn)	160 --
3569	874	B1bk	250/50	σ (synn)	160 --

Legende: SF (PMST) = Reorientierte Raumlage der Foliation; σ = Sigma-Klast; δ = Delta-Klast; synn = symmetrisch; F = Faltung; (p) = primär; (s) = sekundär; SB = Scherbänder; Bk = Bookshelf Structures; S-C = S-C-Gefüge; Bd = Boudinage; ud = up-dip (Bewegung des tektonisch Hangenden gegen die Einfallrichtung der Foliation); dd = down-dip (Bewegung des tektonisch Hangenden in Einfallrichtung der Foliation).



H. Felsmechanik

Th. Röckel
O. Natsu



KTB-Report	91-3	H1-14	7 Abb.	Hannover 1991
------------	------	-------	--------	---------------

Nachtrag zur KTB-Vorbohrung

Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB - Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor
(Windischeschenbach, Teufenbereich von 3000 m 4000 m

H Felsmechanik

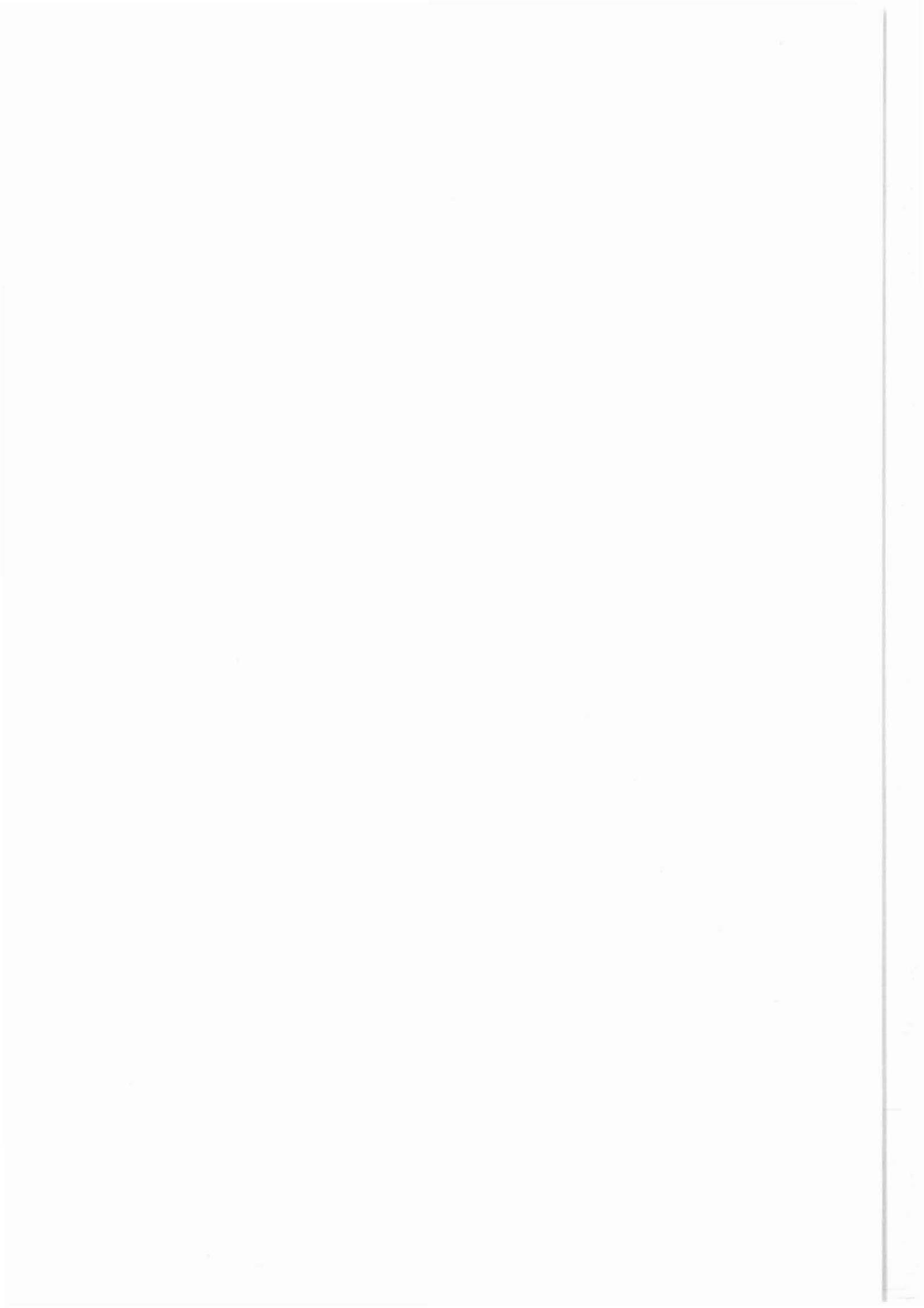
RÖCKEL, Th.* und NATAU, O.**)

Inhaltsverzeichnis	Seite
H.1 Einleitung	H 3
H.2 Ergebnisse der felsmechanischen Indexversuche	H 5
H.2.1 Einaxiale Druckfestigkeitsversuche	H 5
H.2.1.1 Einaxiale Druckfestigkeiten im Teufenbereich von 3000 m bis 3575 m (Biotit-Gneise)	H 6
H.2.1.2 Einaxiale Druckfestigkeiten im Teufenbereich unterhalb von 3575 m (Metabasite)	H 8
H.2.1.3 Einaxiale Druckfestigkeiten im Bereich von Störungs- und Katakklasezonen	H 10
H.2.2 Indirekte Zugfestigkeitsversuche	H 11
H.2.2.1 Indirekte Zugfestigkeiten im Teufenbereich von 3000 m bis 3575 m (Biotit-Gneise)	H 13
H.2.2.2 Indirekte Zugfestigkeiten im Teufenbereich unterhalb von 3575 m (Metabasite)	H 13
H.3 Literaturverzeichnis	H 14

Anschriften der Verfasser)

* KTB-Feldlabor, D-8486 Windischeschenbach

** Lehrstuhl für Felsmechanik
Institut für Boden- und Felsmechanik
Universität (TH) Fridericiana Karlsruhe
7500 Karlsruhe



H.1 Einleitung

Die Ergebnisse der felsmechanischen Indexversuche von 3000 m bis 4000,1 m werden in diesem Arbeitsbericht zusammengefaßt. Es wurden 37 einaxiale Druckfestigkeitsversuche und 54 indirekte Zugfestigkeitsversuche durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. H.1 aufgelistet. Die überwiegende Anzahl der Versuche wurde im KTB-Feldlabor mit einer servogeregelten 1000 kN Prüfmaschine durchgeführt. Einige einaxiale Druckfestigkeitsversuche, bei denen zusätzlich die Querdehnung gemessen wurde, sind mit einer servogeregelten 5000 kN Prüfmaschine am Lehrstuhl für Felsmechanik in Karlsruhe durchgeführt worden. Die Versuchsbedingungen sind bei RÖCKEL&NATAU (1989a) beschrieben.

Tab H.1.: Ergebnisse der einaxialen Druckfestigkeitsversuche
 Legende: σ_u = Einaxiale Druckfestigkeit, BIO-GNS = Biotit-Gneis, LAM = Lamprophyr, GNT-AMP = Granat-Amphibolit, MET-GAB = Metagabbro, MET-UMA = Meta-Ultramafitit, x = massig.

Kernstück	Lithologie	Teufe	Einfall- winkel	σ_u (MPa)	E-Modul (GPa)
737A1c	BIO-GNS	3011.29	40	47.5	42.8
742B1c	BIO-GNS	3032.32	45	35.3	14.5
746E2nk	BIO-GNS	3057.91	20	88.3	47.2
75C3e3	BIO-GNS	3104.35	20	133.9	44.7
764G1ab	BIO-GNS	3133.20	0	151.0	49.2
769A3e	BIO-GNS	3146.99	25	85.7	36.1
776D1g	BIO-GNS	3174.61	10	117.2	43.8
778F7h	BIO-GNS	3185.98	40	45.1	46.3
781D1e	BIO-GNS	3196.24	20	129.2	
784B2d	GNT-AMP	3209.20	x	141.6	51.7
784C2gK	BIO-GNS	3210.84	10	116.6	28.6
790H1ab	BIO-GNS	3243.35	25	93.5	
797B1e	BIO-GNS	3264.89	40	28.3	10.5
801A1c	BIO-GNS	3285.78	50	56.9	18.3
804G1aa	BIO-GNS	3301.64	20	83.3	31.9
810C1l	BIO-GNS	3329.33	45	77.6	37.3
814G1g	LAM	3347.15	x	108.8	40.4
816A1bK	BIO-GNS	3359.15	60	54.8	33.9
822B1hk	BIO-GNS	3370.12	50	65.1	57.5
830C1e	BIO-GNS	3402.21	60	31.2	28.6
836F1u	BIO-GNS	3422.49	55	45.5	18.1
840D1hK	BIO-GNS	3436.70	60	55.9	33.4
846B1fk	BIO-GNS	3460.54	70	77.7	32.8
851D2o	BIO-GNS	3480.93	45	72.1	33.8
856B1c	BIO-GNS	3498.30	55	61.1	36.6
866A1a	GNS	3538.85	x	135.5	43.7
872B1c	GNS	3558.34	x	136.4	57.4
883C1fk	MET-GAB	3609.44	x	250.4	70.0
886D2p	GNT-AMP	3626.86	x	146.0	78.8
890B1g	AMP	3640.18	x	150.0	69.8
902G2wk	GNT-AMP	3675.65	x	232.0	66.2
909F1k	GNT-AMP	3709.32	x	167.3	90.0
911B1j	MET-UMA	3716.90	x	121.0	33.6
916E1j	GNT-AMP	3745.31	x	240.4	52.3
923D1p	AMP	3785.01	x	249.4	76.0
931D2fk	GNT-AMP	3816.59	x	265.4	59.8
939B1b	MET-GAB	3831.88	x	254.0	67.1

Bedingt durch bohrtechnische Probleme stehen Bohrkerne aus der Vorbohrung 1a nur bis zu einer Teufe von 3893 m zur Verfügung.

Der Probendurchmesser betrug 94 mm. Die einaxialen Druckfestigkeiten einiger Metabasitproben unterhalb von 3575 m wurde an 50 mm Plugs geprüft, weil die 94 mm Probekörper mit der 1000 KN Prüfmaschine (144,0 MPa) nicht mehr zu Bruch gefahren werden konnten. In der Metabasit-Abfolge unterhalb von 3575 m waren einige Kernstrecken durch Core-Disking (BORM et al. 1989, NATAU et al. 1989) und Axial-Splitting Strukturen so stark beansprucht, daß in diesen Bereichen keine einaxialen Druckfestigkeitsversuche und indirekten Zugfestigkeitsversuche durchgeführt werden konnten.

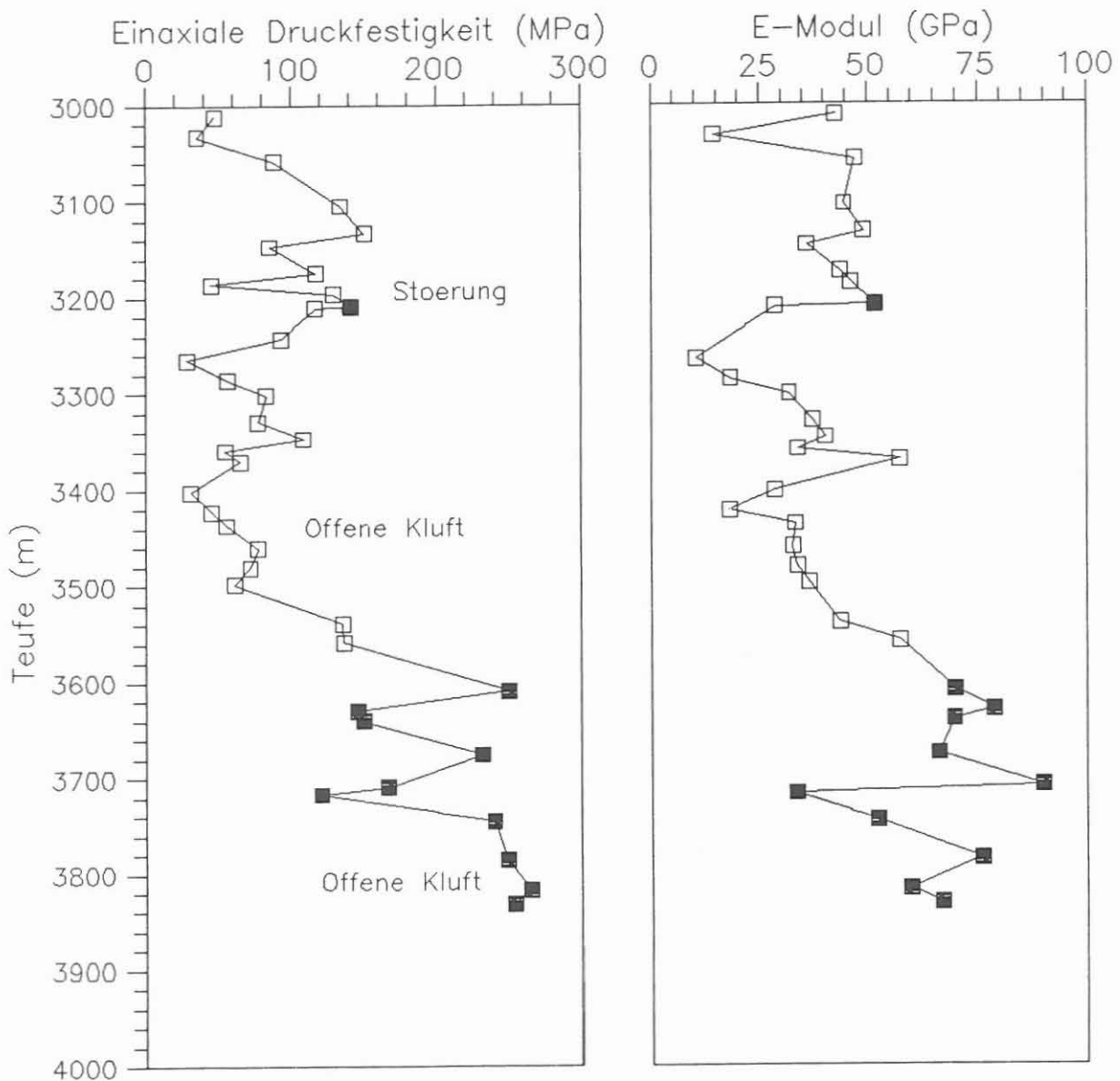


Abb. H.1.: Einaxiale Druckfestigkeiten und E-Moduli im Teufenbereich von 3000 m bis 4000 m. Offene Quadrate = Biotit-Gneise, schwarze Quadrate = Metabasite.

H.2 Ergebnisse der felsmechanischen Index-Versuche

H.2.1 Einaxiale Druckfestigkeitsversuche

Im Teufenintervall unterhalb von 3000 m zeichnet sich eine deutliche Abhängigkeit der einaxialen Druckfestigkeiten von der Lithologie ab. Bis 3575 m wurden im wesentlichen Biotit-Gneise durchteuft, die nur gelegentlich von geringmächtigen Lamprophyrgängen und bei 3200 m von einigen Metabasit-Einschaltungen unterbrochen wurden. Im Teufenbereich bis 3575 m dominieren lagige Muskovit-Biotit-Gneise über feinkörnig-straflagige (Granat) Biotit-Gneise (MÜLLER et al. 1989). Das Einfallen der Foliation ist recht wechselhaft, gelegentlich liegt sie söhlig.

Unterhalb dieser mächtigen Biotit-Gneise folgen bis zur Endteufe Metabasite die hauptsächlich aus Amphiboliten und einigen Meta-Gabbros bestehen (SIGMUND et. al. 1990). Diese Metabasite sind makroskopisch meist recht massig und isotrop ausgebildet. Die einaxialen Druckfestigkeiten und die E-Moduli der Proben in Abhängigkeit von der Teufe sind in Abb. H.1 dargestellt.

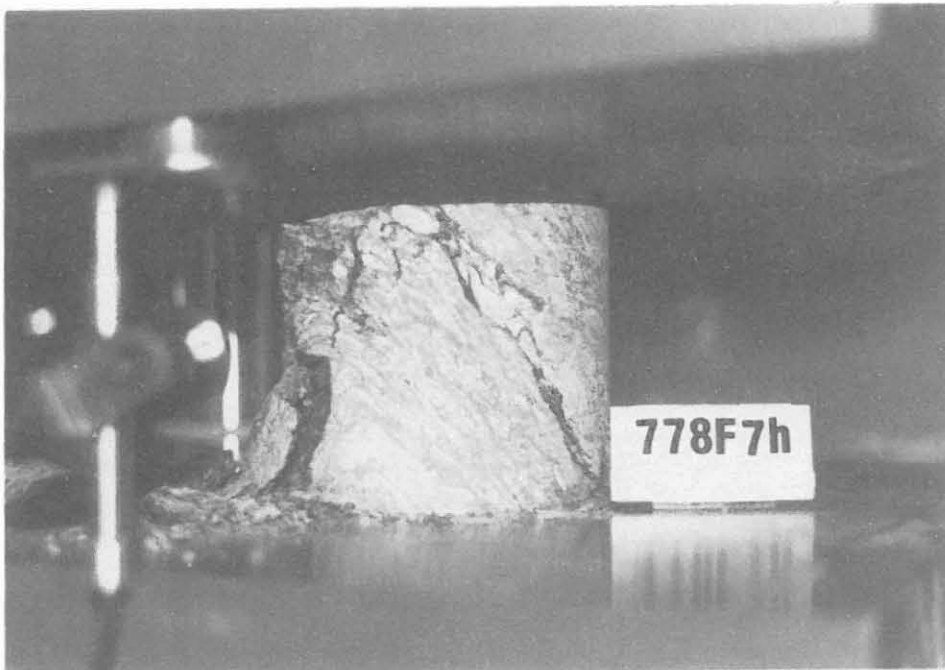
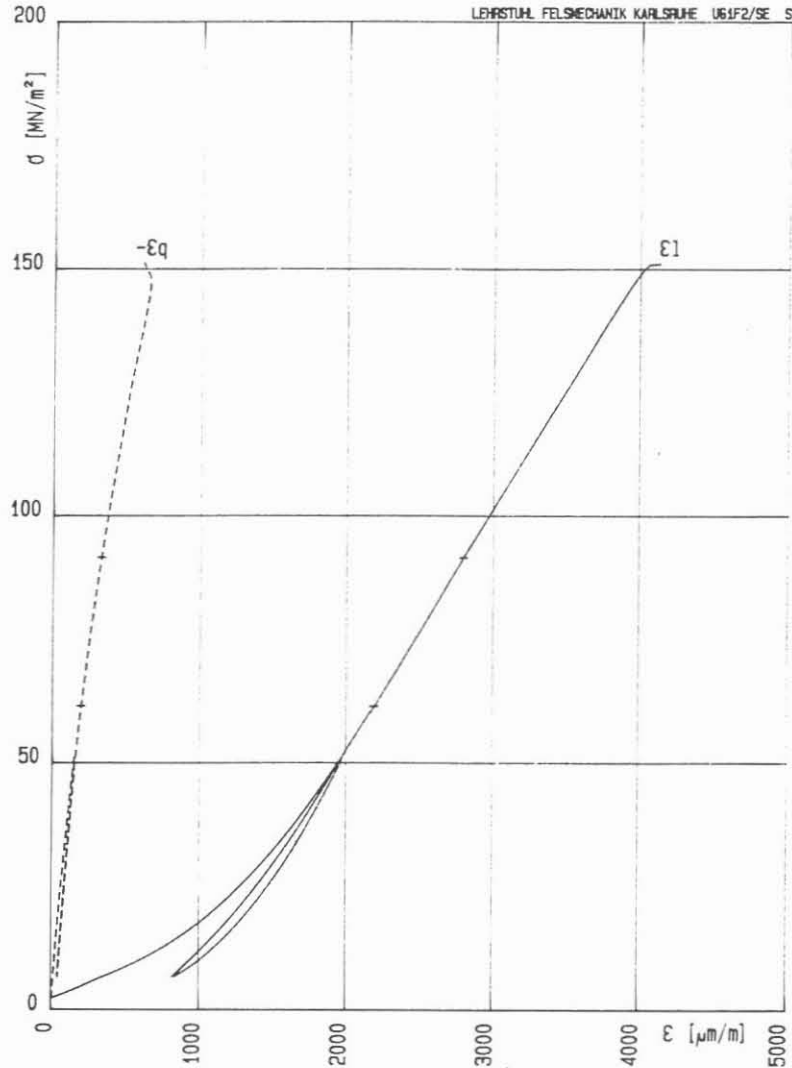


Abb. H.2.: Einaxialer Druckfestigkeitsversuch an einer Biotit-Gneis Probe mit 45° einfallender Foliation aus einer Teufe von 3185,98 m. Der Scherbruch erfolgte bevorzugt entlang der Foliationsflächen.

H.2.1.1 Einaxiale Druckfestigkeiten im Teufenbereich von 3000 m bis 3575 m (Biotit-Gneise)

Die Werte für die einaxialen Druckfestigkeiten der Biotit-Gneise im Teufenbereich von 3000 m bis 3575 m streuen über weite Bereiche. Der Mittelwert für die einaxialen Druckfestigkeiten dieser meist flach einfallenden Biotit-Gneise beträgt 81,0 MPa. Er ist deutlich höher als der Mittelwert von 42,8 MPa für die steil einfallenden Biotit-Gneise zwischen 1610 m und 2480 m (RÖCKEL&NATAU 1989b).



EINAXIALER DRUCKVERSUCH: KTB/VB/GK 76461 29.03.89

Belastungs-Geschwindigkeit: 2.0 MN/m²min

Zahl der Lastzyklen: 1 Lastwechsel-Pause: 2.0 min

$\sigma_{\text{max}} = 151.1 \text{ MN}/\text{m}^2$ $E_{40-60} = 49207 \text{ MN}/\text{m}^2$ $\nu_{40-60} = 0.22$

Abb. H.3.: Arbeitslinie eines s hlig lagernden Biotit-Gneises aus einer Teufe von 3133,2 m. Neben der Längsdehnung wurde auch die Querdehnung gemessen. Die Bruchfestigkeit beträgt 151,0 MPa, der E-Modul 49,2 GPa und die Poissonzahl 0,22.

Den niedrigsten Wert für die einaxiale Druckfestigkeit in der untersten Biotit-Gneis-Abfolge besitzt die Probe 797B1c aus einer Teufe von 3264,89 m mit 28,3 MPa. Der E-Modul, dieser Probe deren Foliation mit 40° einfällt, ist mit 10,5 GPa sehr niedrig. In Probe 778F7h trat der Scherbruch bevorzugt entlang der Foliation ein, die mit etwa 45° einfällt (Abb. H.2).

Die höchste einaxiale Druckfestigkeit wurde mit 151,0 MPa am Kernstück 764G1ab aus einer Teufe von 3133,2 m gemessen. Der E-Modul dieser Probe ist mit 49,2 GPa für einen Biotit-Gneis recht hoch. Die Foliation in diesem Kernmarsch fällt sehr flach ein, in der untersuchten Probe lag sie söhlig. Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm zeigt über weite Belastungsbereiche ein lineares Verhalten. Nur zu Beginn der Belastung ist die Arbeitslinie konkav gekrümmt. Vorhandene Mikrorisse werden geschlossen und parallel zur Foliation eingeregelt. Schichtsilikate werden deformiert. Von 50 MPa aufwärts besitzt die Probe bis zum Bruch ein lineares Spannungs-Dehnungs-Verhalten. Bei dieser Probe wurde auch die Querdehnung bestimmt. Die Poissonzahl beträgt 0,22 (Abb. H.3).

Die einaxiale Druckfestigkeit und die E-Moduli sind in den Biotit-Gneisen stark vom Einfallwinkel der Foliation abhängig. Bei sehr flacher Foliation sind die Werte recht hoch. Sie nehmen mit zunehmendem Einfallwinkel sehr stark ab, um bei 55° bis 60° Einfallen die geringsten Werte zu erreichen. Hier kann es leicht zum Scherbruch entlang der Foliationsflächen kommen. Mit weiter zunehmendem Einfallwinkel der Foliation nehmen die Festigkeiten wieder leicht zu (Abb. H.4). Da in diesem Teufenintervall die Biotit-Gneise die niedrigsten Einfallwerte in der KTB-Vorbohrung besitzen, ist es verständlich, daß die Festigkeiten in diesem Teufenintervall relativ hoch sind.

In die Biotit-Gneise sind gelegentlich geringmächtige Metabasitkörper und Lamprophyrgänge eingeschaltet. Die Metabasitprobe 784B2d aus einer Teufe von 3209,7 m besitzt ein E-Modul von 51,7 GPa. Die einaxiale Druckfestigkeit beträgt 141,6 MPa, wobei sich der Bruch bei dieser Probe schon relativ früh durch eine deutliche Verflachung der Arbeitslinie andeutete.

Bei 3347 m ist in die Biotit-Gneise ein Lamprophyrgang eingeschaltet. Dieser Lamprophyr ist feinkörnig, massig und isotrop ausgebildet. Die einaxiale Druckfestigkeit des Kernstücks 814G1p aus einer Teufe von 3347,15 m beträgt 108,8 MPa bei einem E-Modul von 40,4 GPa.

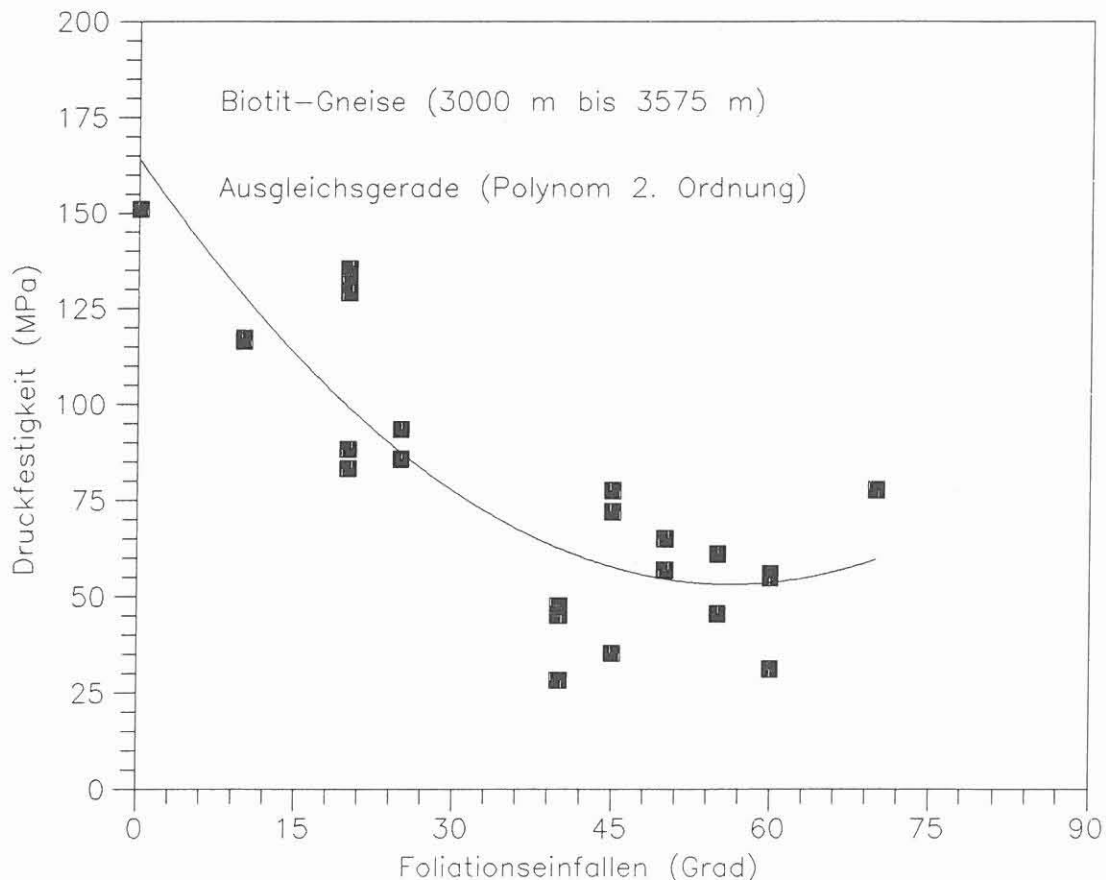


Abb. H.4.: Abhängigkeit der einaxialen Druckfestigkeiten der Biotit-Gneise vom Einfallwinkel der Foliation Teufenintervall von 3000 m bis 3575 m.

H.2.1.2 Einaxiale Druckfestigkeiten im Teufenbereich unterhalb 3575 m (Metabasite)

Die Metabasit-Abfolge unterhalb von 3575 m reicht bis zur Endteufe der Vorbohrung und besteht hauptsächlich aus Amphiboliten und Meta-Gabbros (SIGMUND et al. 1990). In diese Metabasit-Abfolge ist zwischen 3716,7 m und 3720,2 m ein Meta-Ultramafitit-Körper eingeschaltet.

Die Metabasite besitzen im Mittel mit 207,6 MPa die höchsten einaxialen Druckfestigkeiten und mit 66,4 GPa die höchsten durchschnittlichen E-Moduli aller Gesteinseinheiten in der KTB-Vorbohrung. Die Proben verhalten sich nach der Schließung der Mikrorisse bei Belastungsbeginn bis zum Bruch der Probe weitgehend linear-elastisch. Die höchste einaxiale Druckfestigkeit in der Vorbohrung wurde am Kernstück 931D2fK aus einer Teufe von 3816,59 m mit 265,4 MPa gemessen.

Die Querdehnung wurde in diesem Teufenbereich an einem Granat-Amphibolit (Kernstück 909F1k) aus einer Teufe von 3709,32 m gemessen. Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm dieser

Probe zeigt kein ausgeprägtes linear-elastisches Verhalten. Mit zunehmender Belastung wird die Arbeitslinie zunehmend steiler, bei einer Belastung von 110 MPa kam es zu ersten Rissen in der Probe. Der Bruch der Probe erfolgte bei einer Belastung von 167,3 MPa. Der E-Modul dieser Probe war mit 90,0 GPa sehr hoch. Die Poissonzahl, die im Bereich von 40% und 60% der Bruchspannung ermittelt wurde, beträgt 0,33 (Abb. H.5) und ist somit deutlich höher als in der Biotit-Gneisprobe mit söhligiger Foliation.

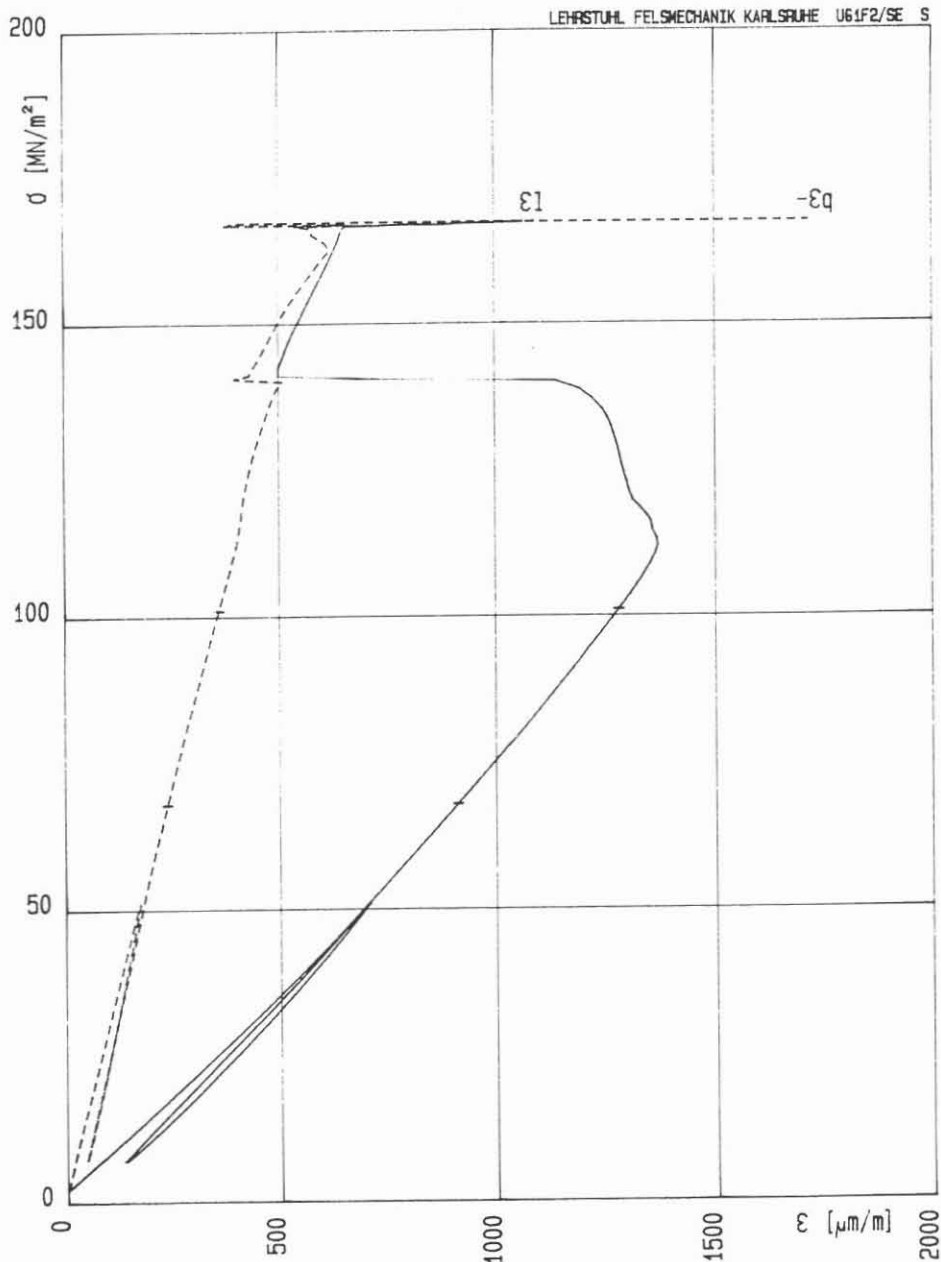


Abb. H.5.: Einaxialer Druckfestigkeitsversuch mit Querdehnungsmessung an einer Metabasit-Probe aus einer Tiefe von 3709,32 m. Die einaxiale Druckfestigkeit beträgt 167,3 MPa, der E-Modul 90,0 GPa und die Poissonzahl 0,33.

H.2.1.3 Einaxiale Druckfestigkeiten im Bereich von Störungs- zonen und offenen Klüften

Die Kataklasite unterhalb von 3000 m sind nur noch einige Zentimeter mächtig und weniger verbreitet (MÜLLER et al. 1989). Bei 3199,7 m wurde eine dm-mächtige steile Störungszone bei vollem Kerngewinn erbohrt. Sie besteht aus einem 2cm mächtigen mit Quarz und Feldspat mineralisierten Kataklasit und einem 0,5 cm starken tonig weichen Ultra-Kataklasit.

Die einaxiale Druckfestigkeit des Kernstücks 781D1e aus einer Teufe von 3196,24 m, nur etwa 3 Meter von der Störungszone entfernt, betrug 129,2 MPa und besaß somit einen der höchsten Werte in der Biotit-Gneis Abfolge bis 3575 m. Unterhalb der Störung waren die einaxialen Druckfestigkeiten, bis zu einer Entfernung von ca. 10 m Entfernung, mit 116,6 MPa in den Biotit-Gneisen und 141,6 MPa in den Metabasiten recht hoch. Dies ist ein wichtiger Unterschied zu den graphitischen Kataklasen wie z.B. zwischen 2156 und 2187 m. In dieser Zone standen zwischen 2128 m und 2192 m praktisch keine geeigneten Kerne für die einaxialen Druckfestigkeitsuntersuchungen zur Verfügung. Bei 2128 m, über 30 m vom Kern der Kataklasenzone entfernt, besaß die Probe 478B1h eine einaxiale Druckfestigkeit von nur 18,8 MPa (RÖCKEL&NATAU 1989).

Dies deutet darauf hin, daß mit zunehmender Teufe die Mächtigkeiten der Störungszone abnehmen und sich ihr Einfluß relativ rasch wieder verliert. Wenige Meter von diesen tiefen Störungszone entfernt können sich wieder hohe Festigkeiten einstellen.

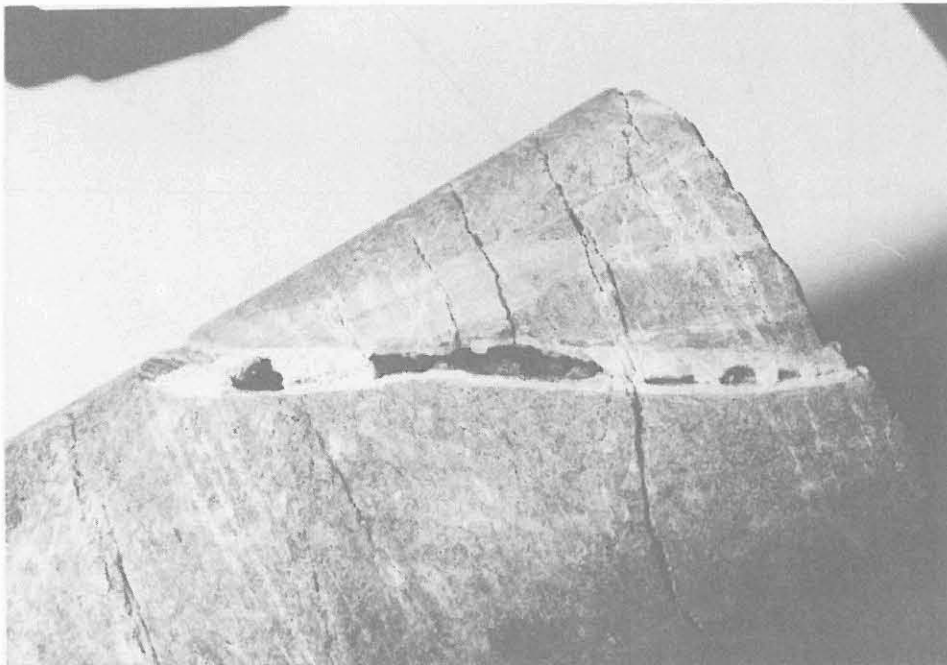


Abb. H.6.: Offene Kluft mit Fluidzutritten in das Bohrloch aus einer Teufe von 3817 m.

In der KTB-Vorbohrung wurden bei 3447 m und bei 3817 m offene Klüfte durchteuft, wobei es zu deutlichen Zuflüssen von hochsalinaren Fluiden in das Bohrloch kam. Das Kernstück 931D2fK, das weniger als ein Meter von dieser offenen Kluft entfernt war (Abb. H.6), besitzt eine einaxiale Druckfestigkeit von 265,4 MPa und ist somit die höchste einaxiale Druckfestigkeit die in der gesamten Vorbohrung gemessen wurde. Dieses deutet darauf hin, daß in großen Teufen das Gebirge durch solche Klüfte nur über sehr kurze Entfernungen gestört wird. Andernseits ist die hohe Druckfestigkeit ein Indiz dafür, daß sich in solchen Bereichen sehr hohe Spannungen akkumulieren können.

H.2.2 Indirekte Zugfestigkeitsversuche

Im Teufenbereich von 3000 m bis 4000 m wurden 27 Probenpaare auf ihre indirekte Zugfestigkeit untersucht. Bei den foliierten Gneisen wurden jeweils ein indirekter Zugversuch parallel und senkrecht zur Streichrichtung der Foliation durchgeführt. Die Metabasite wurden parallel und senkrecht zur bevorzugten Rissrichtung geprüft.

Tab. H.2.: Ergebnisse der indirekten Zugfestigkeitsversuche.
Legende: rt max = Zugfestigkeit parallel zur Streichrichtung der Foliation in den Biotit-Gneisen und maximale Zugfestigkeit in den Metabasiten, rt min = Zugfestigkeit senkrecht zur Streichrichtung der Foliation in den Biotit-Gneisen und minimale Zugfestigkeiten in den Metabasiten.

Kernstück	Lithologie	Teufe (m)	rt max.	rt min.	Einf. Fol.
742C1f	BIO-GNS	3032.96	9.9	7.4	45
764G1ab	BIO-GNS	3133.35	11.0	6.5	0
769D3lk	BIO-GNS	3148.79	5.4	2.9	45
780G1n	BIO-GNS	3198.25	9.6	3.3	20
784C2gk	BIO-GNS	3210.82	14.6	13.8	10
805B5f	BIO-GNS	3303.87	10.6	9.0	20
810C1l	BIO-GNS	3329.23	8.0	11.6	45
816A1bk	BIO-GNS	3359.26	10.8	6.6	60
822B1hK	BIO-GNS	3370.11	12.0	7.8	50
836E1k	BIO-GNS	3421.52	7.5	3.8	55
846B1fk	BIO-GNS	3460.44	8.2	4.0	70
840E1l	BIO-GNS	3437.31	10.2	7.5	60
851D2m	BIO-GNS	3480.47	7.5	4.5	45
855C2k	BIO-GNS	3496.74	11.8	9.4	55
859C2k	BIO-GNS	3512.79	5.9	4.0	20
866A1a	GNS	3539.26	10.2	13.2	x
872B1c	GNS	3558.39	9.2	8.0	x
883C1fk	MET-GAB	3609.34	6.9	14.6	x
886D2p	GNT-AMP	3627.19	14.9	13.2	x
891A1af	GNT-AMP	3648.71	12.0	8.6	x
902G2wK	GNT-AMP	3675.75	13.6	7.2	x
909F1k	GNT-AMP	3709.42	15.3	10.3	x
916E1j	GNT-AMP	3744.46	10.0	7.5	x
923D1p	GNT-AMP	3784.91	6.1	5.2	x
931D2fk	GNT-AMP	3816.59	14.3	9.4	x
939B1d	MET-GAB	3831.89	14.6	10.8	x
950D3d	GNT-AMP	3869.68	9.6	8.5	x

Die Rissrichtung wurde entweder anhand der Ergebnisse der seismischen Untersuchungen oder anhand von Core-Disking Strukturen untersucht. In Abb. H.7 ist die Abhängigkeit der Zugfestigkeiten von der Teufe dargestellt und in Tab. H.2 aufgelistet.

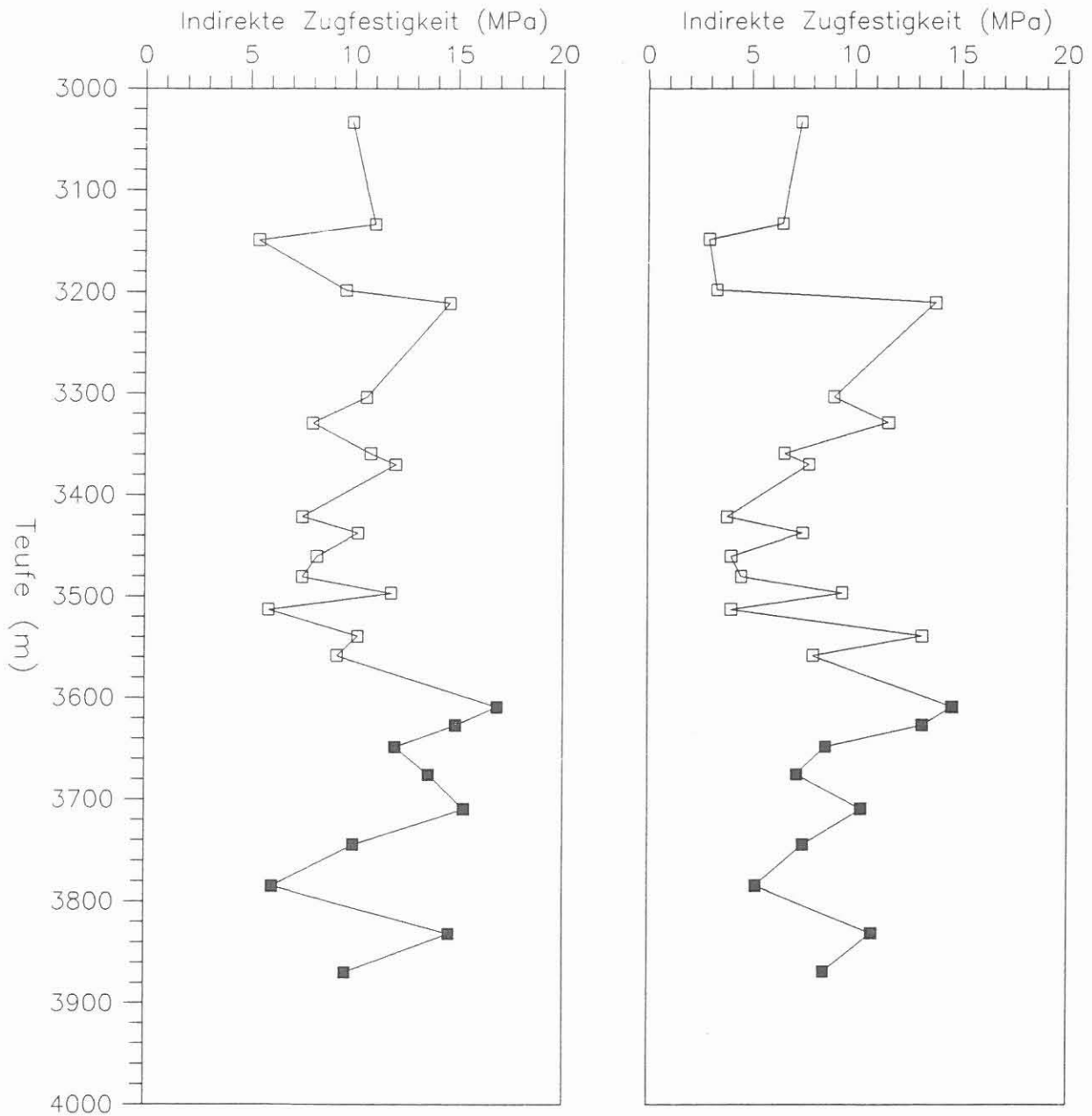


Abb. H.7.: Zugfestigkeiten in Abhängigkeit von der Teufe. Linke Spalte; indirekte Zugfestigkeit parallel zur Streichrichtung der Foliation der Biotit-Gneise (offene Quadrate) und maximale Werte in den Metabasiten (schwarze Quadrate). Rechte Spalte; indirekte Zugfestigkeit senkrecht zur Streichrichtung der Foliation der Biotit-Gneise und minimale Werte in den Metabasiten.

H.2.2.1 Indirekte Zugfestigkeiten im Teufenbereich 3000 m bis 3575 m (Biotit-Gneise)

Die Zugfestigkeiten in den Biotit-Gneisen sind Richtungsabhängig (RÖCKEL&NATAU 1989b). Parallel zur Streichrichtung der Foliation beträgt sie im Mittel 9,6 MPa. Den höchsten gemessenen Wert, parallel zur Streichrichtung der Foliation, besaß die Probe 784D2fK aus einer Teufe von 3210,82 m mit 14,6 MPa. Der Einfallwinkel der Foliation ist mit nur 10° sehr flach. Den niedrigsten Wert, parallel zur Streichrichtung der Foliation, wies die Probe 769D31K aus einer Teufe von 3148 m mit 5,4 MPa indirekter Zugfestigkeit auf. Der Einfallwinkel der Foliation betrug 45°.

Senkrecht zur Streichrichtung der Foliation lagen die Mittelwerte für die indirekte Zugfestigkeit der Biotit-Gneise im Teufenbereich von 3000 m bis 3575 m bei durchschnittlich 7,3 MPa. Verglichen mit den Werten der steilstehenden Biotit-Gneise aus dem Teufenbereich von 1610 m bis 2480 m mit durchschnittlich 4,2 MPa sind diese Werte deutlich höher. Im Teufenintervall von 3000 m bis 3575 m besaß die Probe 784D2fK mit 13,8 MPa die höchste Zugfestigkeit senkrecht zur Streichrichtung der Foliation. Der niedrigste Wert wurde an der Probe 769D31K mit 2,9 MPa gemessen. Der Einfallwinkel der Foliation betrug bei dieser Probe 45°.

H.2.2.2 Indirekte Zugfestigkeit im Teufenbereich unterhalb 3575 m (Metabasite)

Die indirekten Zugfestigkeiten der Metabasite in der Teufe unterhalb von 3575 m betragen im Mittel 12,7 MPa für die maximalen Werte bzw. 9,5 MPa für die minimalen Werte von Probenpaaren. Die höchste indirekte Zugfestigkeit von 16,9 MPa wurde am Kernstück 883C1fK, einem Meta-Gabbro, aus einer Teufe von 3609,34 m gemessen. Die niedrigste indirekte Zugfestigkeit von 5,2 MPa wies Kernstück 923D1p, ein Granat-Amphibolit, aus einer Teufe von 3784,91 m auf. Vergleicht man die Zugfestigkeit dieser beiden Proben mit den einaxialen Druckfestigkeiten dieser Kernstücke mit 250,4 MPa bzw. 249,4 MPa zeigt sich, daß die einaxialer Druckfestigkeit 15 bis 48 mal höher ist als die indirekte Zugfestigkeit.

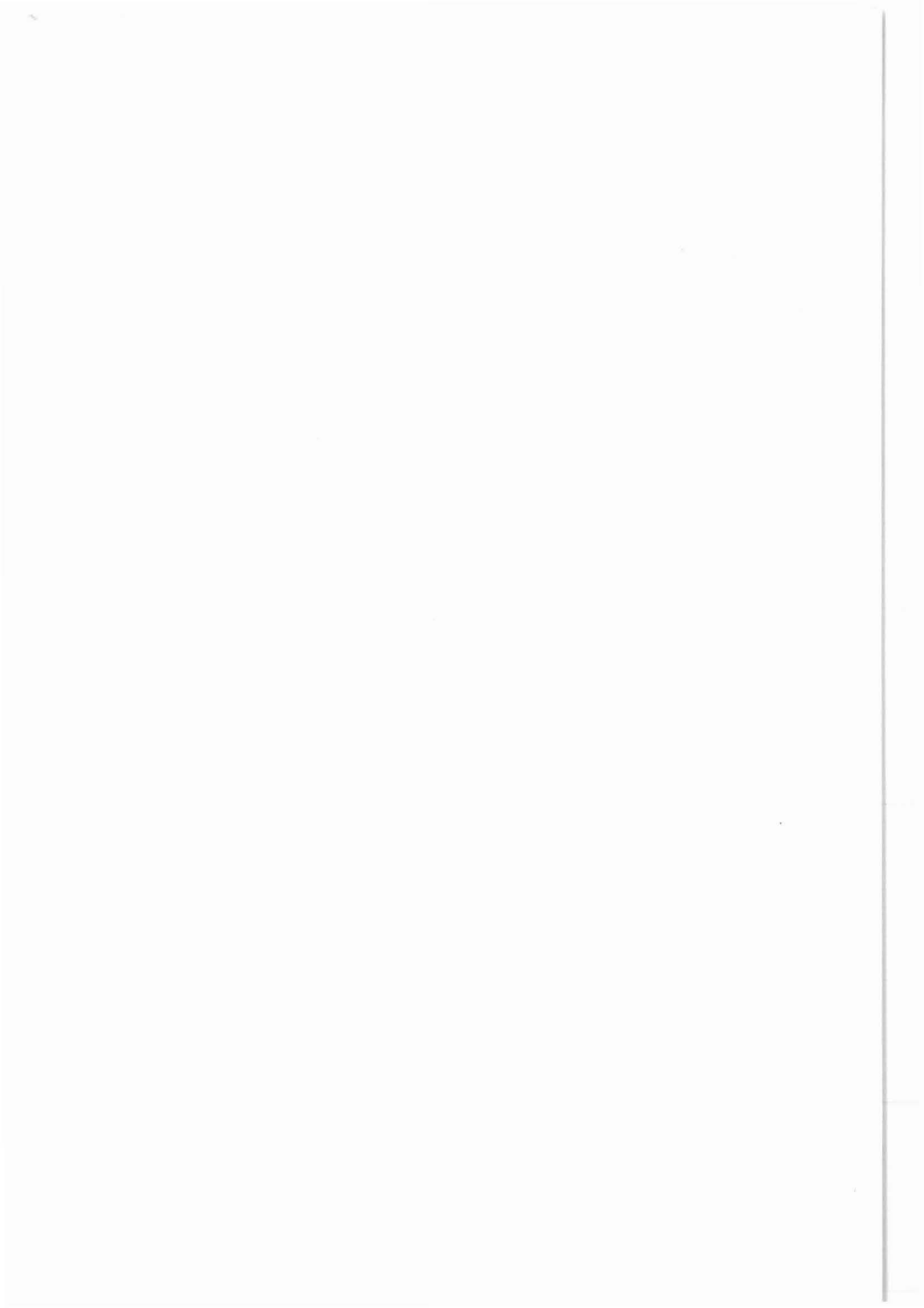
In diesen Teufen sind in den Metabasiten häufig Core-Disking- und Axial-Splitting-Strukturen entwickelt. Diese Strukturen sind auf makroskopische Zugbrüche zurückzuführen. In einigen Proben sind diese Zugbrüche deutlicher entwickelt und in anderen eher schwach. Der Grund für die gelegentlich niedrigen Zugfestigkeiten bei hohen Druckfestigkeiten ist auf Mikrorisse in den Proben zurückzuführen. Diese können beim einaxialen Druckversuch bei Belastung geschlossen werden, während sie beim indirekten Zugversuch bei entsprechender Orientierung zur Belastungsrichtung weiter geöffnet werden bis der Zugbruch bei relativ niedrigen Zugfestigkeitswerten eintreten kann.

H.3 Literaturverzeichnis

- BORM, G., LEMPP, Ch., NATAU, O. & RÖCKEL, Th. (1989): Instabilities of Borehole and Drillcores in Crystalline Drillings, With Examples from the KTB Pilot Hole. Scientific Drilling, 1: 105-114, Springer, Heidelberg - New York - Tokyo.
- MÜLLER, H., HACKER, W., KEYSSNER, S., RÖHR, C., SIGMUND, J., KOHL, J., STROH, A. & TAPFER, M. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz Vb 1a, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich 3009.7 - 3500 m: B. Geologie
KTB-Report 89-5, B1-B94
- NATAU, O., BORM, G. & RÖCKEL, Th. (1989): Influence of Lithology and Geological Structure on the Stability of the KTB Pilot Hole.
In: MAURY, V. and FORMAINTRAUX, D. (Eds) Rock at Great Depth, Proc. Int. Symp. ISRM, Vol. 3, 1487-1490, Pau, France.
- RÖCKEL, Th., NATAU, O. (1989a): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB - Erste Ergebnisse felsmechanischer Index-Versuche bis 1998 m.
KTB-Report 89-2
- RÖCKEL, Th., NATAU, O. (1989b): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB - Erste Ergebnisse felsmechanischer Index-Versuche im Teufenbereich von 1998 m bis 3000 m.
KTB-Report 89-5
- SIGMUND, J., HACKER, W., KEYSSNER, S., KOHL, J., MÜLLER, H., RÖHR, C., STROH, A. & TAPFER, M. (1989): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB 1a, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich 3500 m - 4000,1 m, B. Geologie.
KTB-Report 90-2

I. Das automatische Probenahmesystem für die Hauptbohrung des KTB

M. Heinish



KTB-Report	91-3	I1 -I3	1 Abb.	Windischeschenbach 1991
------------	------	--------	--------	-------------------------

I. Das automatische Probenahmesystem für die Hauptbohrung des KTB

M. Heinisch

Rückblick

Um die Reproduzierbarkeit von Analysedaten zu gewährleisten, hat die gleichbleibende Qualität der Probenahme höchste Priorität. Es gilt der Grundsatz, daß jede Analyse nur so gut sein kann wie die Probe, auf der sie beruht. Deshalb war bereits im Vorfeld der Vorbohrung ein automatisches Probenahmesystem angestrebt worden, konnte jedoch aus zeitlichen und finanziellen Gründen seinerzeit nicht realisiert werden. Für die Beprobung von Feststoffen in der Hauptbohrung war ein solches Probenahmesystem ursprünglich Planungsbestandteil der rechnergesteuerten "großen Bohranlage"; die Reduzierung der Investitionskosten hatte jedoch auch den Wegfall des automatischen Probenahmesystems zur Folge.

Bei der Vorstellung des komplizierten Spülungszyklations-systems der Bohranlage für die Hauptbohrung zu Beginn des Jahres 1990 wurde erneut deutlich, daß eine sinnvolle, repräsentative Probenahme von Feststoffmaterial aller anfallenden Korngrößen - dem in Anbetracht des zu erwartenden geringen Kernerhalts nahezu alleinigen Probenmaterial für Analysen in einem geowissenschaftlichen Großprojekt - sowie der Bohrspülung selbst bei den geplanten Bohrlochdurchmessern und Pumpraten nur mittels eines automatisch arbeitenden Probenahmesystems möglich sein würde. Zur Planung und Entwicklung eines geeigneten Systems wurde die Firma ITAG, Celle, mit einer Studie beauftragt, die zu Ende des Jahres 1990 in den Auftrag zum Bau des Probenahmesystems mündete.

Anlagenbeschreibung

Das Probenahmesystem ist im Prinzip eine Spülsaufbereitungsanlage in kleinindustriellem Maßstab, die mit einem repräsentativen, regelbaren Spülungsteilstrom gespeist wird. Die groben Feststoffe werden, wie auch bei der Spülsaufbereitungsanlage der Bohranlage, durch ein Schüttelsieb, die feinen durch eine Zentrifuge aus der Bohrspülung abgetrennt. Zusätzlich wird hier auch eine Probe der Bohrspülung selbst abgezapft. Alle drei Proben werden automatisch pro Probenintervall in separate Behälter abgefüllt. Der Spülungsteilstrom ist automatisch so geregelt, daß unabhängig von Bohrfortschritt und Pumprate eine konstante Menge Gesteinsprobe über die Länge eines Probenintervalls ("Schlitzprobe") anfällt. Gegenüber der Spülsaufbereitungsanlage der Bohranlage befinden sich im Spülungsteilstrom

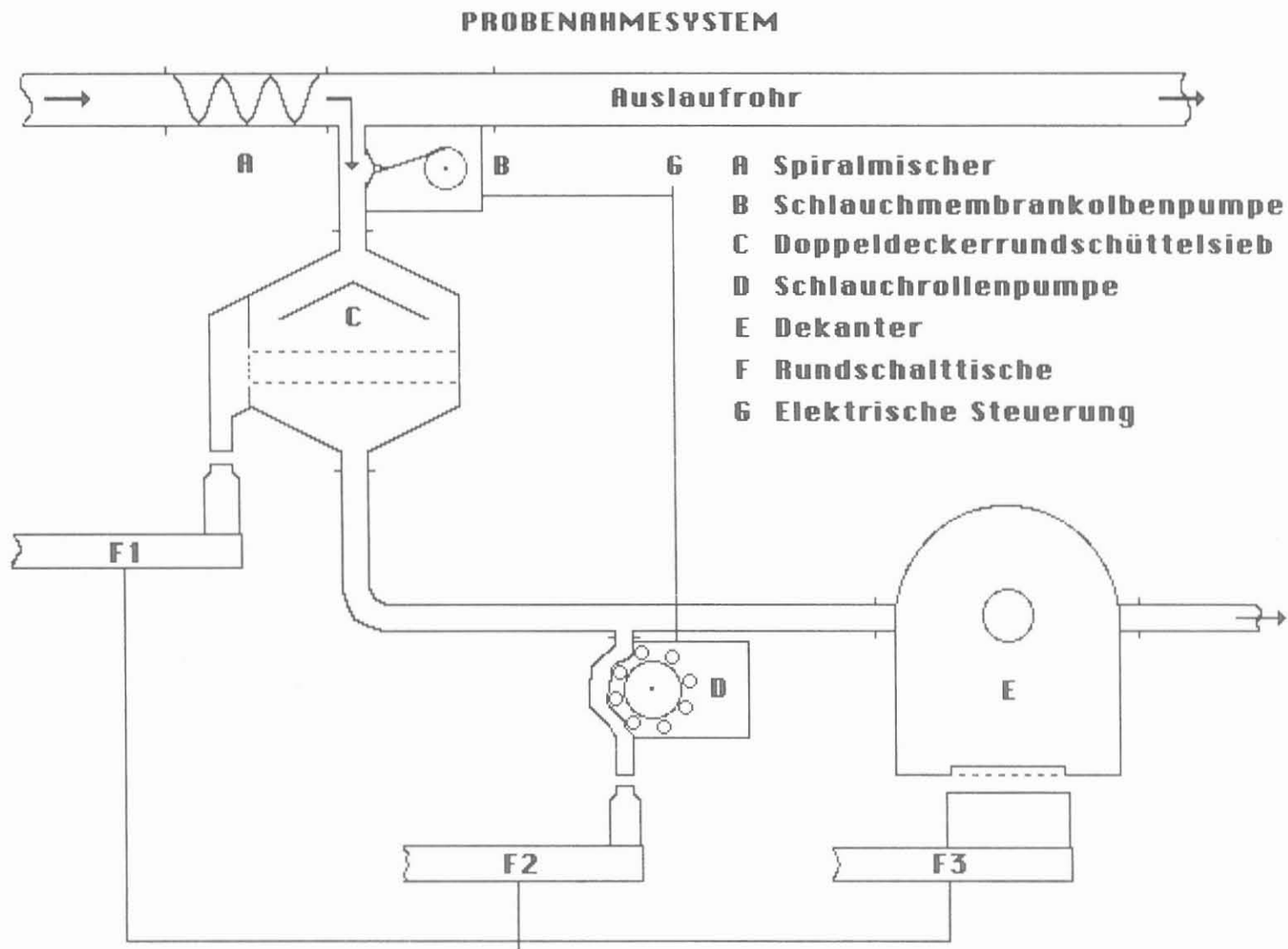


Abb. 1: Prinzipskizze des automatischen Probenahmesystems

zwischen den Beprobungsstellen keine unkontrollierbaren Spülvolumina, so daß die drei parallel gewonnenen Proben einer gemeinsamen Teufe zuzuordnen sind.

Während die Bohrspülung im Auslaufrohr von der Bohrung zur Spülsaufbereitungsanlage fließt, kommt es zwangsläufig zu einer Entmischung der unterschiedlichen Feststofffraktionen. Zur Homogenisierung des Feststoffs ist im Auslauf ein statischer Spiralmischer (Abb. 1) installiert. Hinter diesem Mischer zweigt ein variabler Probennehmer in Gestalt einer regelbaren Schlauchmembrankolbenpumpe einen Spülungsteilstrom mit konstanter Feststoffbeladung ab. Die Regelung der Pumpe erfolgt über ein kontinuierliches Signal der "Lag Depth", einer Größe, in die der Bohrfortschritt, der Bohrlochdurchmesser, die Pumprate und die Bohrstrangkonfiguration eingehen, so daß an den beiden Probenahmestellen Doppeldeckerrundsüttelsieb und Dekanter zusammen etwa 2 l unzerstörtes Gesteinsvolumen (ca. 4 l Schüttvolumen) pro m anfallen. Die Verteilung zwischen beiden Probenahmestellen kann in Abhängigkeit von den Spüleigenschaften über die Siebbespannung des Süttelsiebs geregelt werden.

Die Beprobung der Spülung selbst erfolgt über eine Schlauchrollenpumpe vor dem Dekanter, da durch saline Zuflüsse hervorgerufene Flockung durch diesen ausgeworfen und somit nicht detektierbar wäre.

Die Proben von Süttelsieb, Schlauchrollenpumpe und Dekanter werden von Probenbehältern auf Rundschalttischen aufgefangen, wobei letztere nach Ende des Probenahmeintervalls auf das nächste Probengefäß umschalten. Der nötige Steuerimpuls wird ebenfalls aus der "Lag Depth" abgeleitet und von der Mud Logging Unit (Bohrdatenerfassung und -verarbeitung) zur Verfügung gestellt.

Wartung und Bedienung des Probenahmesystems (Entleeren von Gefäßen, Beschicken der Schalttische mit frischen Gefäßen), Umfüllen und Behandeln der Proben erfolgt durch das Probenahmepersonal.

Anschrift des Verfassers:

KTB-Bohrlokation,
8486 Windischeschenbach

ISSN 0939-8732
ISBN 3-928559-02-8