

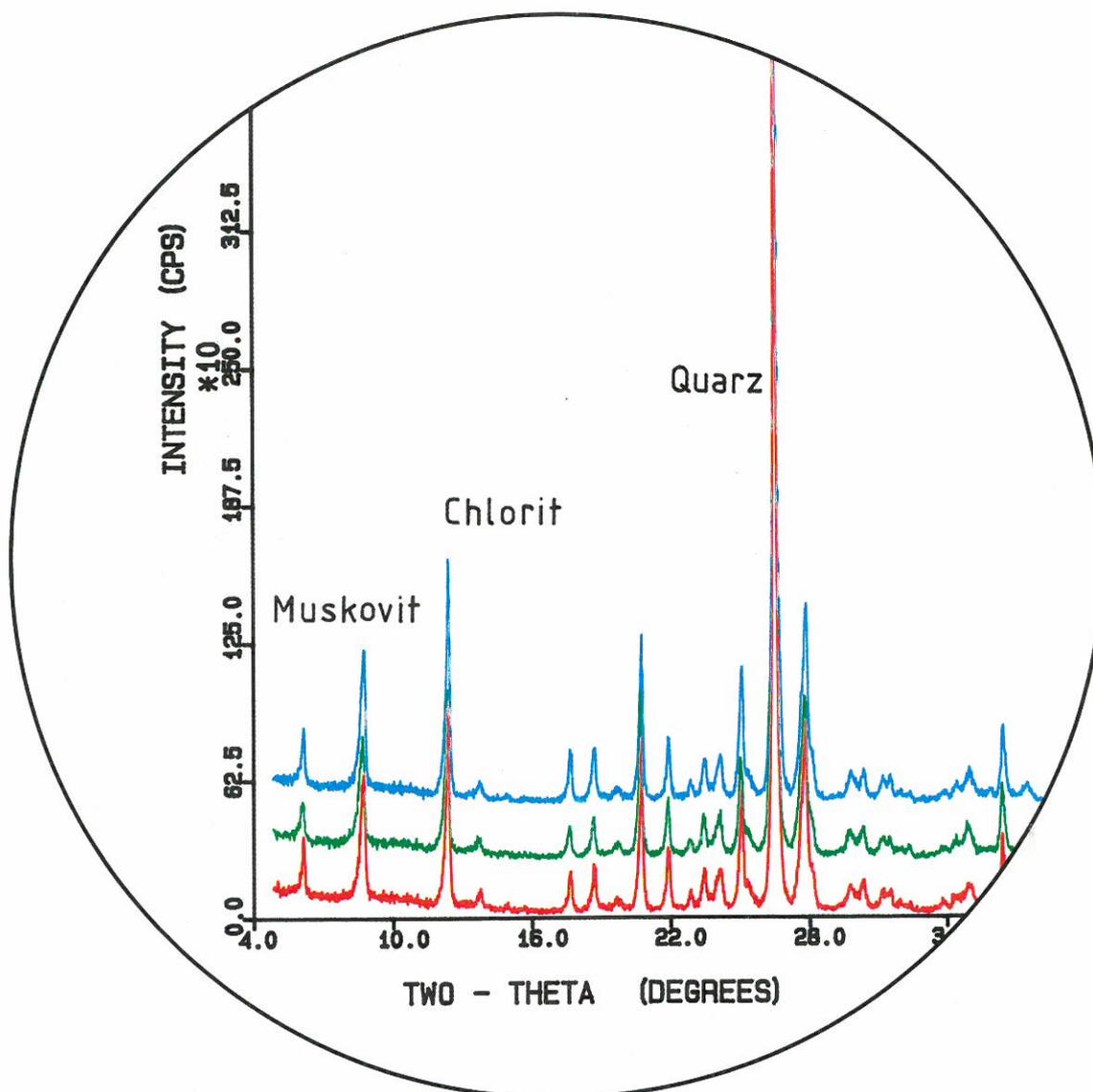
KTB REPORT 88-9

Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB

Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung
im KTB-Feldlabor

Bericht 4

Teufenbereich von 1530–1998 m



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

R. Emmermann, H.-G. Dietrich, M. Heinisch, Th. Wöhrli

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

Druck: Wittmann & Wäsch, 3007 Gehrden

Titelbild: Die Abbildung zeigt den Ausschnitt eines Röntgenbeugungsdiagrammes, aufgenommen mit dem im Feldlabor verwendeten Pulverdiffraktometer. Im Diagramm sind die Spektren von drei Proben einer Gneisabfolge dargestellt. Die Hauptbeugungsreflexe von Muskovit, Chlorit und Quarz sind bezeichnet.
(Tapfer, M.)

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

© Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Hannover 1988.

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

Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Anschrift des Herausgebers: Projektleitung KTB im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Postfach 51 03 53, D-3000 Hannover 51. Telefon: (05 11) 6 43-26 70.

VORWORT

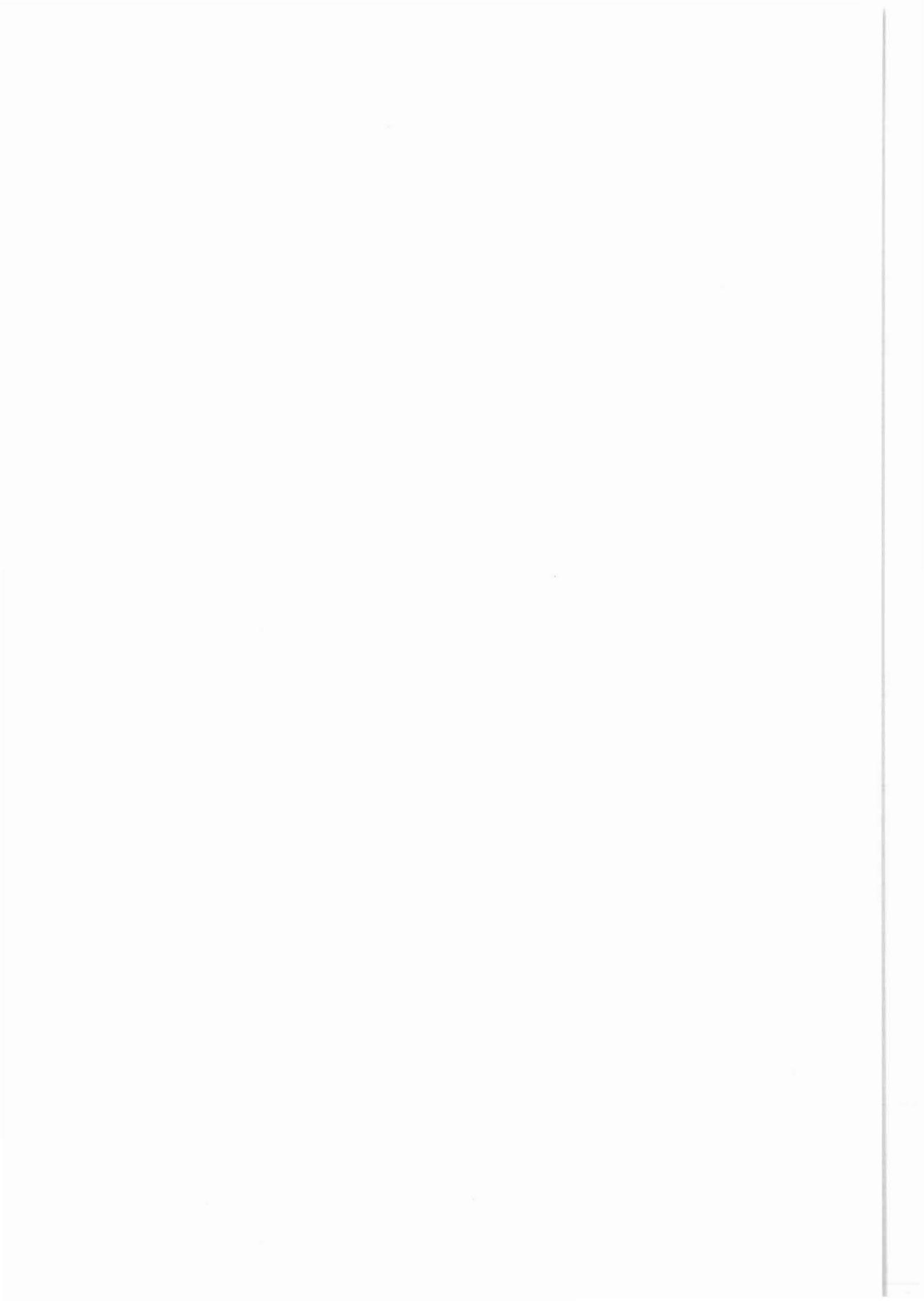
Das Feldlabor ist konzipiert als eine Gemeinschaftseinrichtung aller am KTB beteiligten Wissenschaftler und Wissenschaftlergruppen. Es soll sicherstellen, daß kontinuierliche Untersuchungen an Kernmaterial, Zentrifugenmaterial, Bohrspülung und Gesteinsfluiden durchgeführt und dabei alle Größen und Eigenschaften gemessen und dokumentiert werden die,

- für kurzfristige Entscheidungen über die Art des Bohrens, die Durchführung von Messungen und Tests im Bohrloch sowie die Probennahme erforderlich sind,
- zeitlichen Veränderungen unterliegen,
- in regelmäßigen Intervallen und als Funktion der Tiefe erfaßt werden müssen,
- für Korrelation mit anderen Untersuchungsergebnissen benötigt werden und
- die Grundlage für alle nachgeschalteten Forschungsprojekte darstellen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in regelmäßigen Abständen in den KTB-Reports dargestellt. Bisher sind folgende drei Berichte mit Ergebnissen aus dem Feldlabor veröffentlicht:

KTB-Report 88-1	Teufenbereich	0 - 480 m
KTB-Report 88-2	Teufenbereich	480 - 992 m
KTB-Report 88-6	Teufenbereich	992 - 1530 m

Das Feldlabor untersteht organisatorisch dem Fachbereich "Operative Geologie" der KTB-Projektleitung. Mit der Leitung vor Ort ist Dr. H.-G. Dietrich beauftragt; seine Stellvertreter sind Dipl.-Geophys. T. Wöhrle und Dr. M. Heinisch. Das wissenschaftliche und technische Personal wird im Rahmen des DFG-Projektes "Personelle Ausstattung KTB-Feldlabor" finanziert und ist über Privat-Arbeitsverträge bei Prof. Dr. R. Emmermann an der Universität Gießen angestellt. Antragsteller dieses DFG-Projektes sind Prof. Dr. R. Emmermann, Universität Gießen; Prof. Dr. H. Berckhemer, Universität Frankfurt; Prof. Dr. G. Friedrich, RWTH Aachen; Prof. Dr. K. von Gehlen, Universität Frankfurt; Prof. Dr. H. Soffel, Universität München; Prof. Dr. K. Weber und Prof. Dr. K. H. Wedepohl, Universität Göttingen.



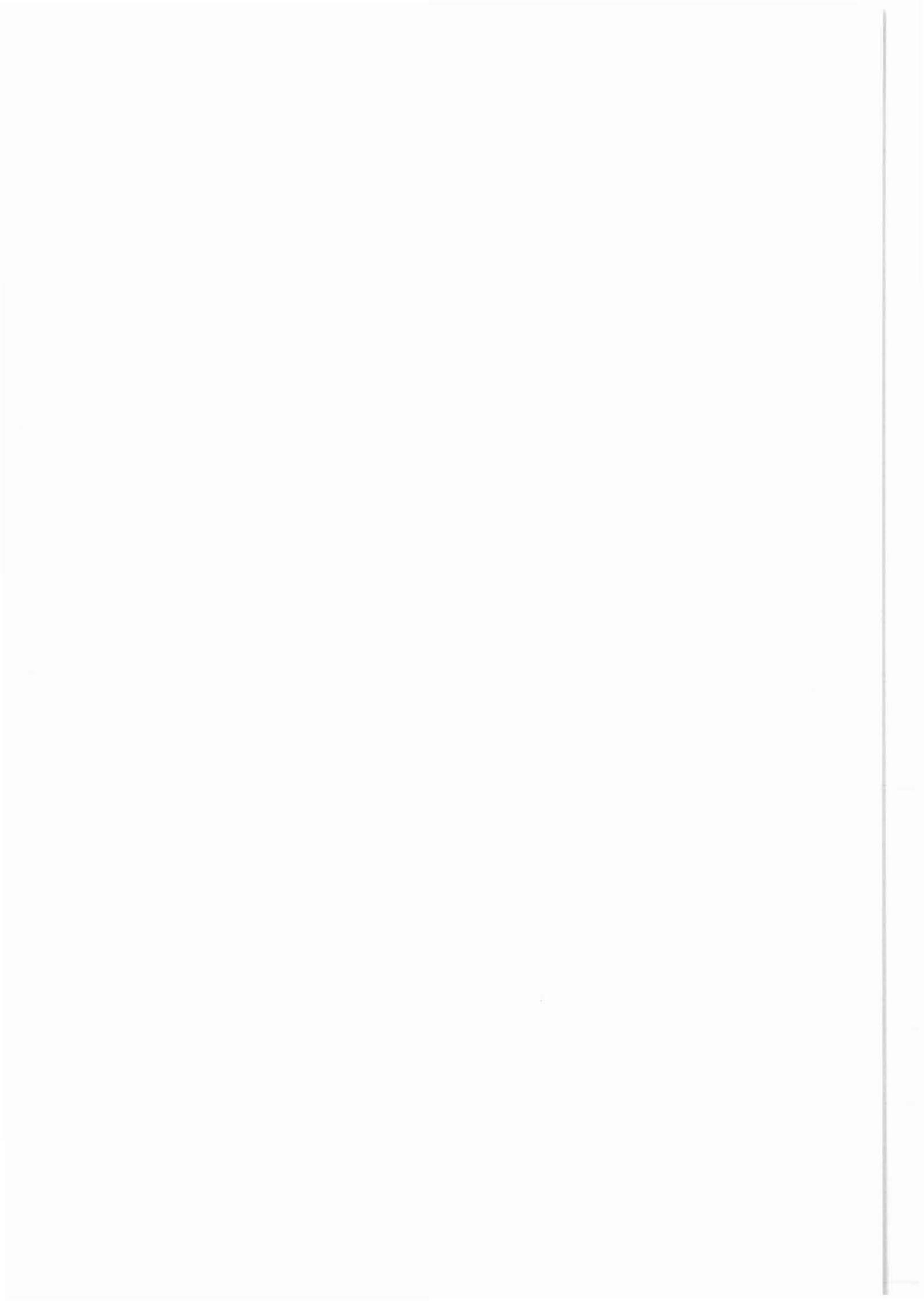
Tiefbohrung KTB OBERPFALZ VB
Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung
im KTB-Feldlabor
Bericht 4

Teufenbereich von 1530 - 1998 m

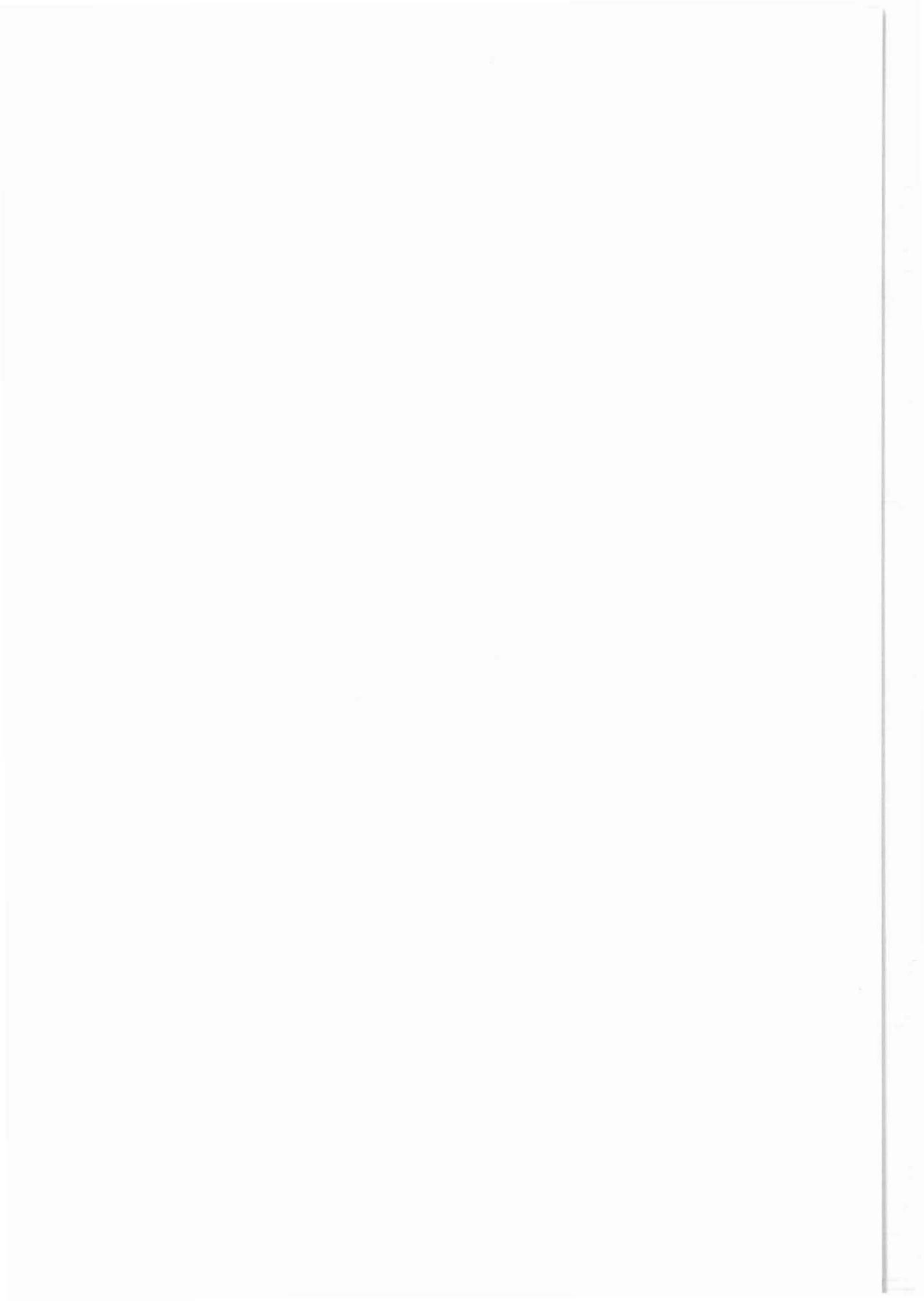
INHALTSVERZEICHNIS	SEITE
Vorwort	
A. Einleitung	A 1
A.1 Allgemeines	A 1
A.2 Bohrtechnik	A 2
A.3 Probennahme	A 3
B. Geologie	
Zusammenfassung/abstract	B 2/3
B.1 Einleitung	B 4
B.2 Petrographie	B 5
B.2.1 Metabasit-Abfolge	B 5
Metagabbros	B 5
Amphibolite	B 8
Meta-Ultramafitit	B 9
B.2.2 Paragneise	B 10
Richtbohrstrecke	B 21
B.3 Erzmineralisation	B 24
B.4 Strukturgeologie	B 34
B.4.1 Makrogefüge der Metabasit-Abfolge	B 34
B.4.2 Makrogefüge der Paragneise	B 34
B.4.3 Mikrogefüge der Paragneise	B 37
B.4.4 Kataklyse	B 38

B.4.5	Klassifizierung der Trenngefüge im Teufenabschnitt 1795.7 bis 1816.3 m	B 39
B.4.6	Faltenstrukturen	B 40
B.4.7	Knickzonen	B 43
B.5	Schriftenverzeichnis	B 45
B.6	Anhang	B 46
B.6.1	Geologisches Profil 1:200	B 49
B.6.2	Zur Orientierung der Referenzlinie auf den Bohrkernen des Teufenabschnitts 750-992 m	B 65
C.	Geochemie	
C.1	Einleitung	C 2
C.2	Probenahme und Probenaufbereitung	C 4
C.3	Röntgenanalytik	C 5
C.3.1	Allgemeines	C 5
C.3.2	RDA/RFA-Ergebnisse an Bohrmehl und Kern- stücken	C 8
C.3.3	Bestimmung der Gesteinsdichte aus röntgenographischen Daten	C 34
C.4	Spülungsanalytik	C 40
C.5	Gasanalytik	C 47
C.5.1	Allgemeines	C 47
C.5.2	Meßergebnisse	C 47
C.5.3	Fluidprobennehmer	C 58
C.6	Zusammenfassung	C 59
C.7	Schriftenverzeichnis	C 61
C.8	Danksagung	C 62
C.9	Anhang	C 63
D.	Geophysik	
D.1	Einleitung	D 2
D.2	Dichte	D 3
D.2.1	Allgemeines	D 3
D.2.2	Dichte der Bohrkerne	D 3
D.2.3	Dichte der Cuttings	D 3
D.2.4	Nachtrag: Dichte der Cuttings bis 480 m	D 5
D.3	Ultraschallseismik	D 8

D.3.1	Allgemeines	D 8
D.3.2	Ergebnisse	D 8
D.4	Wärmeleitfähigkeit	D 12
D.5	Natürliche remanente Magnetisierung (NRM)	D 15
D.5.1	Allgemeines	D 15
D.5.2	Beschreibung der Ergebnisse	D 15
D.6	Suszeptibilität	D 19
D.6.1	Allgemeines	D 19
D.6.2	Suszeptibilität der Bohrkerne	D 19
D.6.3	Suszeptibilität der Cuttings	D 20
D.6.4	Vergleich von Suszeptibilität und Dichte	D 20
D.7	Spannungs-Nachwirkungsmessungen	D 23
D.7.1	Allgemeines	D 23
D.7.2	Berechnung der Relaxationszeit	D 23
D.7.3	Meßergebnisse	D 24
D.8	Literaturverzeichnis	D 26
E.	Nachtrag zum KTB-Report 88-1: Makroskopische Bohrkerndetaillaufnahme des Teufenbereichs 800 - 992 m	
E.1	Einleitung	E 1
E.2	Textur	E 1
E.2.1	Foliation	E 1
E.2.2	Klasten	E 2
E.2.3	Migmatitische Textur	E 3
E.3	Faltenbau	E 4
E.3.1	Reliktfalten	E 4
E.3.2	Geschlossene Biegescherfalten	E 4
E.3.3	Offene Biegefalten	E 4
E.4	Knickzonen	E 6
E.5	Scherflächen und Lineare	E 7
E.5.1	Scherflächen mit duktiler Verformung	E 7
E.5.2	Scherflächen mit geschleppter Foliation	E 7
E.5.3	Kataklastische Scherflächen	E 8
E.6	Klüfte	E 10
E.7	Danksagung	E 10
E.8	Literaturverzeichnis	E 11



A. Einleitung



A. Einleitung

A.1 Allgemeines

Der nachfolgende Bericht stellt die Ergebnisse der Untersuchungen im KTB-Feldlabor für den Teufenbereich von 1530 m - 1998 m vor. Dieser Teufenbereich wurde nach Abschluß eines rund 5-tägigen Bohrlochmeßprogrammes in der Zeit vom 04.03.88 bis 03.04.88 erbohrt. Die zum o. g. Bohrlochabschnitt gehörenden GEO-LOGS mit einer Übersicht über das durchteufte geologische Profil finden sich ebenso wie Zusammenstellungen geowissenschaftlich relevanter Daten am Ende dieses Reports. Dabei handelt es sich um Verkleinerungen der im Originalmaßstab 1 : 200 dargestellten Ergebnisse, die in der Regel Teufenintervalle von 250 m umfassen.

Zusammen mit diesem vierten Bericht des Feldlabors können auch die ersten Ergebnisse zur Bohrkernnachorientierung vorgestellt werden, seit ab Juli 1988 Dr. Schmitz von der WBK (Bochum) im Rahmen eines entsprechenden Auftrages Auswertungen verschiedener Bohrlochmessungen und Bohrlochaufnahmen zur räumlichen Orientierung der Bohrkern durchzuführen kann. Die im Abschnitt B.2.6 zusammengestellten Daten betreffen zunächst den Teufenbereich von 750 - 992 m, der zur ersten Seilkernbohrphase (480 - 992 m) gehört. Auf das zur Nachorientierung zugrundegelegte Auswerteverfahren wird ausführlicher in einem der nächsten Berichte über Bohrlochmessungen in der Tiefbohrung KTB OBERPFALZ VB der Arbeitsgruppe Bohrlochgeophysik des Fachbereichs Operative Geologie eingegangen werden (vgl. KTB-Report 88-7).

Aufgrund der zwischenzeitlichen Fortschritte bei der Bohrkernnachorientierung konnten die Probenwünsche für externe Untersuchungen an den wissenschaftlichen Instituten / Institutionen (ca. 40 Arbeitsgruppen) rascher als zuvor erfüllt werden. Dabei handelt es sich pro Teufenabschnitt von rund 500 m (ungefähre Berichtsabschnitte des KTB-Feldlabors) um jeweils über 1000 Probenwünsche, die berücksichtigt werden müssen. Etwa 80% der Proben müssen im Feldlabor vor dem Versand präpariert werden. Die Auswahl der Proben und die präparativen Arbeiten geschehen unter der sachkundigen Aufsicht der Wissenschaftler des Feldlabors, die diese Aufgabe neben der laufenden geowissenschaftlichen Bearbeitung der Proben erledigen.

Zusammenstellungen über die bis 1998.3 m (VB 1) im Rahmen der Tiefbohrung KTB OBERPFALZ VB gewonnen Proben, d. h. Bohrkernmaterial sowie Bohrklein-, Zentrifugen- und Spülungsproben finden sich in den Tabellen A.1.1 und A.1.2. Demzufolge wurden von 0 - 1998.3 m rund 1556.5 m gekernt (77.9%), wobei der Kerngewinn 1281.0 m (82.3%) beträgt. Bei den Probennahmen durch den Sampler-Service wurden insgesamt 4181 Proben gewonnen, von denen 2851 getrocknet und gesiebt wurden. Von der zirkulierenden Spülung wurden 1922 Proben genommen.

Da ab Februar 1988 die Arbeiten im Feldlabor auf der Bohrlokation aufgenommen werden konnten, war es möglich, die im Teufenabschnitt von 1530 - 1998 m anfallenden Proben unmittelbar vor Ort zu bearbeiten. Das gilt insbesondere für die Arbeitsgruppe Geochemie, die bis zu diesem Zeitpunkt das anfallende Probenmaterial an der Universität Gießen untersuchen mußte. Einen Überblick über die Großgeräte dieser Arbeitsgruppe geben die Abb. A.1.1 - A.1.4.

A.2 Bohrtechnik

Im Teufenabschnitt von 1529.4 - 1816.4 m wurden die Kernmär-sche 320 - 408 mit dem Seilkernbohrverfahren erbohrt. Der Kerngewinn betrug ca. 98%. Aufgrund der auf 6° aufgebauten Bohrlochneigung wurde bei einer Teufe von 1816.4 m eine Ablenkungsgarnitur eingebaut, um die Neigung des Bohrloches zu korrigieren. Für die Richtbohrarbeiten, die vom 27.03. - 04.04.88 dauerten, wurde der 3 ½"-Rotary-Bohrstrang mit Bohrlochsohlenmotor (Navi Drill bzw. Dyna Drill), kombiniert mit Neigungsübergängen (Bent Sub) verwendet. Am 04.04.88 kam es in der Teufe von 1998.3 m, nachdem die Neigung auf 3.8° (1988 m) abgebaut war, zu einem Festgehen des Bohrstranges. Nach vergeblichen Versuchen den Bohrstrang freizubekommen, wurde das Gestänge schließlich bei ca. 1787.4 m entschraubt. Nach der Durchführung von Bohrlochmessungen (4-Arm-Kaliber, GR, und BHTV) wurde eine Zementbrücke gesetzt. Der Kopf der Zementbrücke wurde bei 1657 angetroffen (Abb. A.2.1) und aufgebohrt. Unter Verwendung einer Richtbohrungsgarnitur gelang es, das alte Bohrloch endgültig bei 1709.0 m zu verlassen.

Aufgrund dieser bohrtechnischen Probleme gibt es für den untersten Bohrlochabschnitt zwischen 1787.4 - 1998.3 m keine Bohrlochmessungen. Damit kann die lithologische und petrographische Beschreibung dieses Bohrlochabschnittes nicht durch Bohrlochmessungen abgesichert werden. Wegen dieser fehlenden Vergleiche mit Messungen können auch keine Angaben zur Struktur des Gebirges im untersten Berichtsabschnitt gemacht werden.

Eine Übersicht über den Verlauf der Bohrarbeiten im Berichtszeitraum gibt die Bohrfortschrittskurve der Abb. A.2.2.

A.3 Probennahme

Im Teufenbereich von 1530 - 1816.4 m wurden ca. 280 m Bohrkernmaterial gewonnen. Während der Richtbohrphase ab 1816.4 m konnten nur Bohrkleinproben am Schüttelsieb im Abstand von 0.5 Meter genommen werden.

Zentrifugenmaterial (Bohrmehl) sowie Bohrspülungsproben wurden während beider Bohrphasen im Abstand von 1 m genommen.

Gase wurden im gesamten Teufenbereich "on-line" in der Mud Logging Unit (C1 - C5, H₂S) und mit dem Prozeßgasmassen-

spektrometer im Feldlabor analysiert.

Unterlagen zur Bestellung von KTB-Probenmaterial können beim KTB-Feldlabor, Postfach 67, 8486 Windischeschenbach angefordert werden.

**Überblick über die Probennahmen von Bohrklein- und Spülungsproben der Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB
durch den Sampler - Service**

Monat / Jahr	Teufenbereich (m)	ANZAHL DER BOHRKLEINPROBEN				Spülungs- proben	Sonder- proben	Bemerkungen
		Naßproben		Trockenproben				
		Schüttelsieb	Zentrifuge	Schüttelsieb	Fein- u. Grobfraktion			
09.87	4-114.5	141	-	121	141	95	-	Naßproben v. Schüttelsieb 4.0-86.0 m 1.0 m Proben; v. 86.5 - 1231.5 m 0.5 m Proben
10.87	115-478.5	727	284	308	355	318	-	
11.87	481-758.0	intervall 72	271 Interv.19	-	-	272	-	
12.87	759-992	intervall 44	235	-	-	233	51	
01.88	944-1229	462	228	243	231	230	-	
02.88	1230-1529	344	292	268	292	306	62	Naßproben v. Schüttelsieb 1232 - 1286 m 1.0m-Proben; 1287.5-1343 m 0.5m-Proben
03.88	1529-1927	504	402	380	377	396	68	1343-1354 m 1.0 m-Proben; 1355.5-1393.5m 0.5m-Proben; 1394-1816m 1.0m-Proben; 1816.5-1998.5 m 0.5-Proben
04.88	1927-1998	85	71	71	71	72		
Summe	4-1998	2379	1802	1391	1467	1922	181	

Tab. A.1.1

VB 1

gebohrt (Rotary) 4.0 - 27.5 m = 23.5 m
gekernt m. Rollenkronen (Rot.) 27.5 - 478.5 m = 451.0 m Gew. 193.05 m = 42.8%; Verl. 257.95 m = 57.2%
Rohrschuh aufgebohrt 478.5 - 480.0 m = 1.5 m
Seilkernen 480.0 - 992.0 m = 512.0 m Gew. 504.5 m = 98.5%; Verl. 7.55 m = 1.5%
Bohrlochmessungen

4.0 - 992 m = 988 m; davon gekernt: 963.0 m; Kerngewinn 70.6%; Verlust 29.4%

gefräst 992.0 - 993.0 m = 1.0 m
Richtbohren 993.0 - 1177.0 m = 184.0 m
Kernmarsch 1177.0 - 1183.0 m = 6.0 m Gew. 5.95 m = 99.2%; Verl. 0.05 m = 0.8%
Richtbohren 1183.0 - 1228.8 m = 45.8 m
Kernmarsch 1228.8 - 1816.4 m = 587.6 m Gew. 577.58m = 98.3%; Verl. 10.02 m = 1.7%
Richtbohren 1816.4 - 1998.3 m = 181.9 m

Bohrstrang fest, Back Off, zementiert

992 - 1998.3 m = 1006.3 m; davon gekernt: 593.6 m; Kerngewinn 58%; Verl. 42.0%

KTB-Feldlabor
Elmar Nuber

Windischeschenbach, den 22.09.88
NU/RI

Tab. A.1.2: Bohrkerngewinn in der Tiefbohrung KTB OBERPFALZ VB

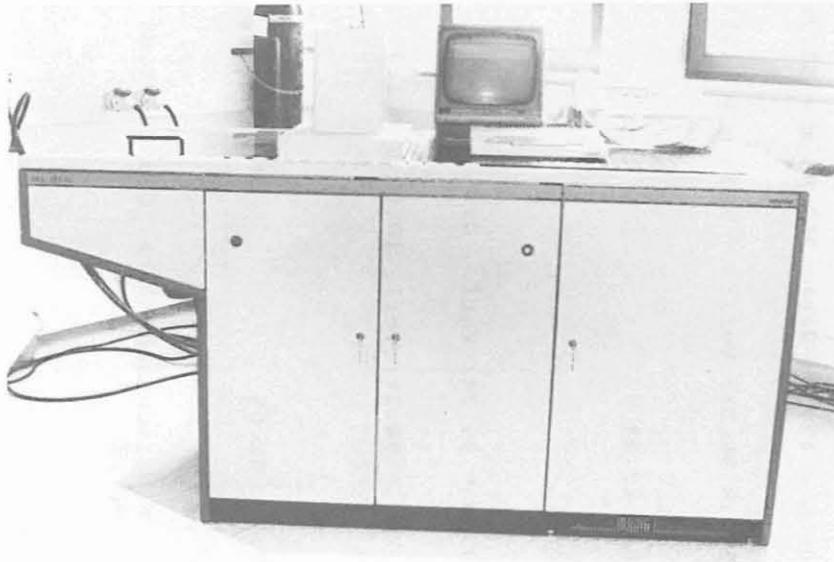


Abb. A.1.1: Röntgenfluoreszenzspektrometer



Abb. A.1.2: Röntgendiffraktometer

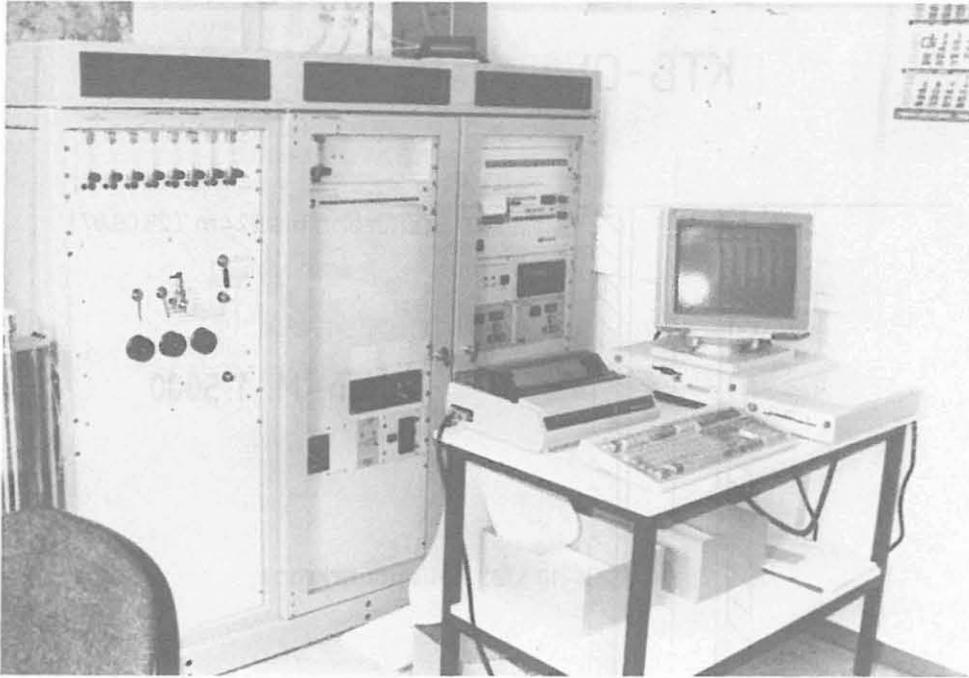


Abb. A.1.3: Prozeßgasmassenspektrometer

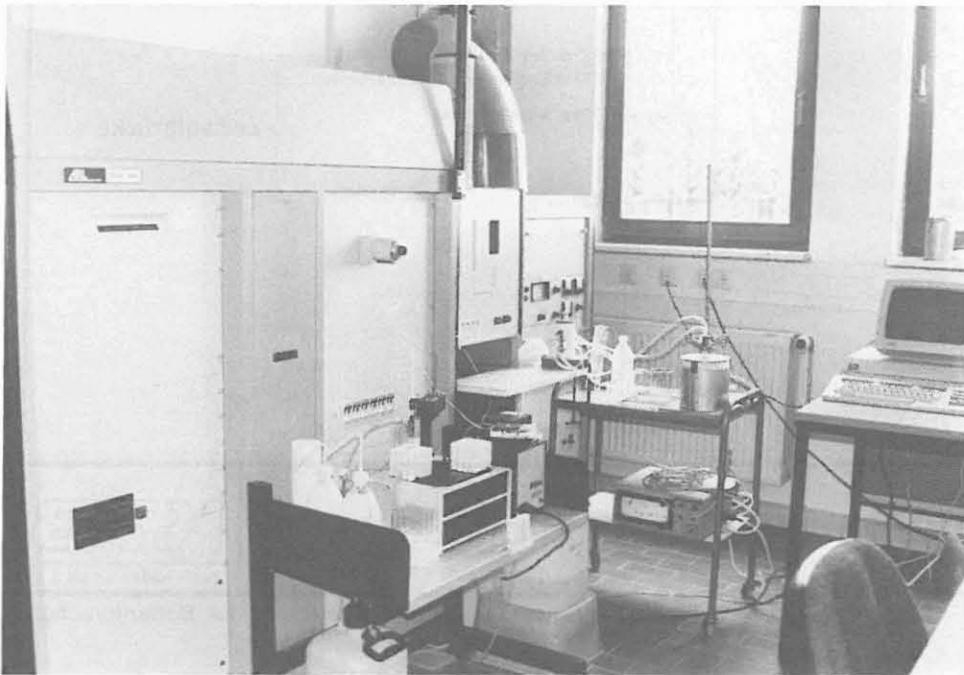
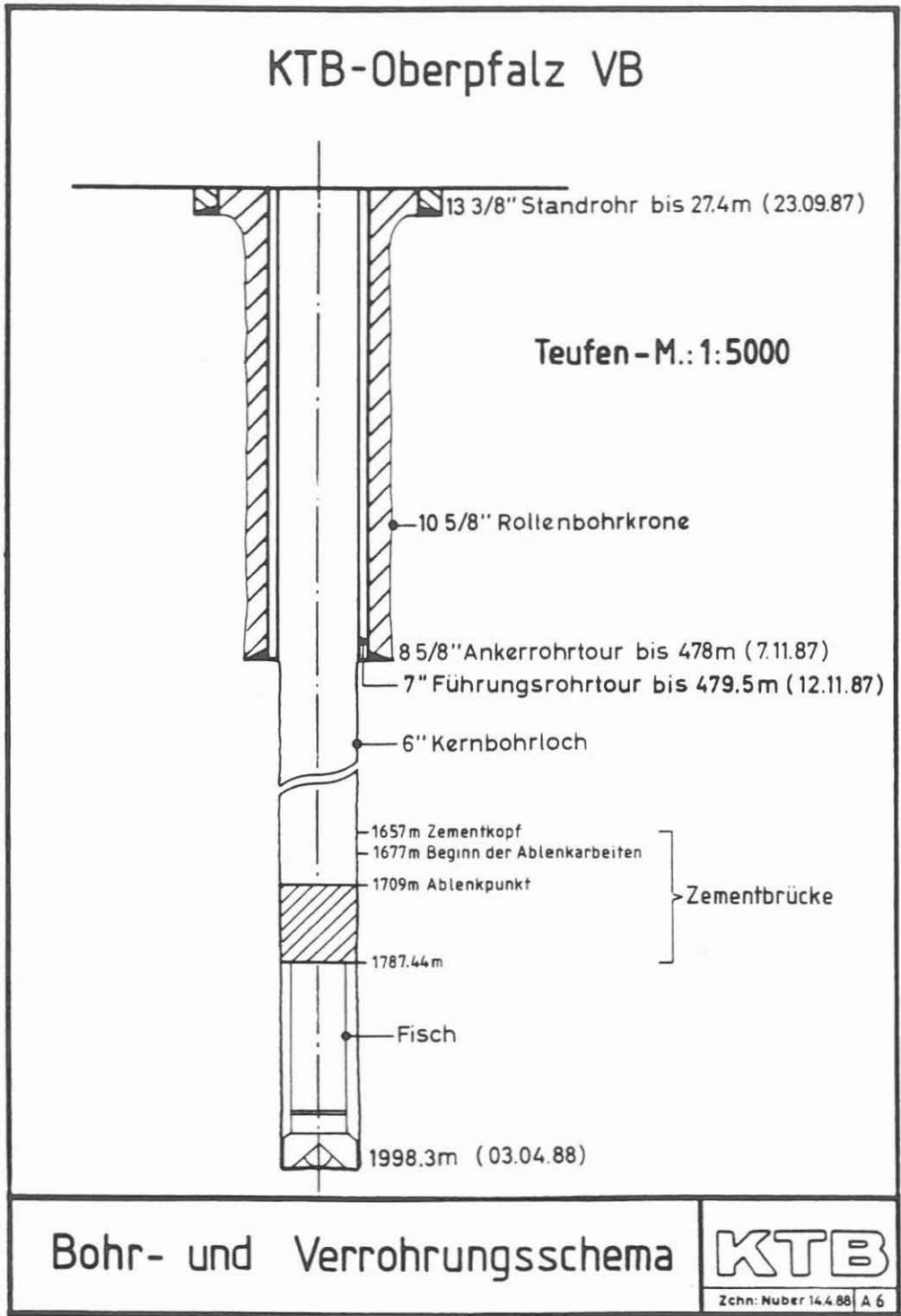


Abb. A.1.4: Atomemissionsspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma



KTB Feldlabor

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Abb. A.2.1

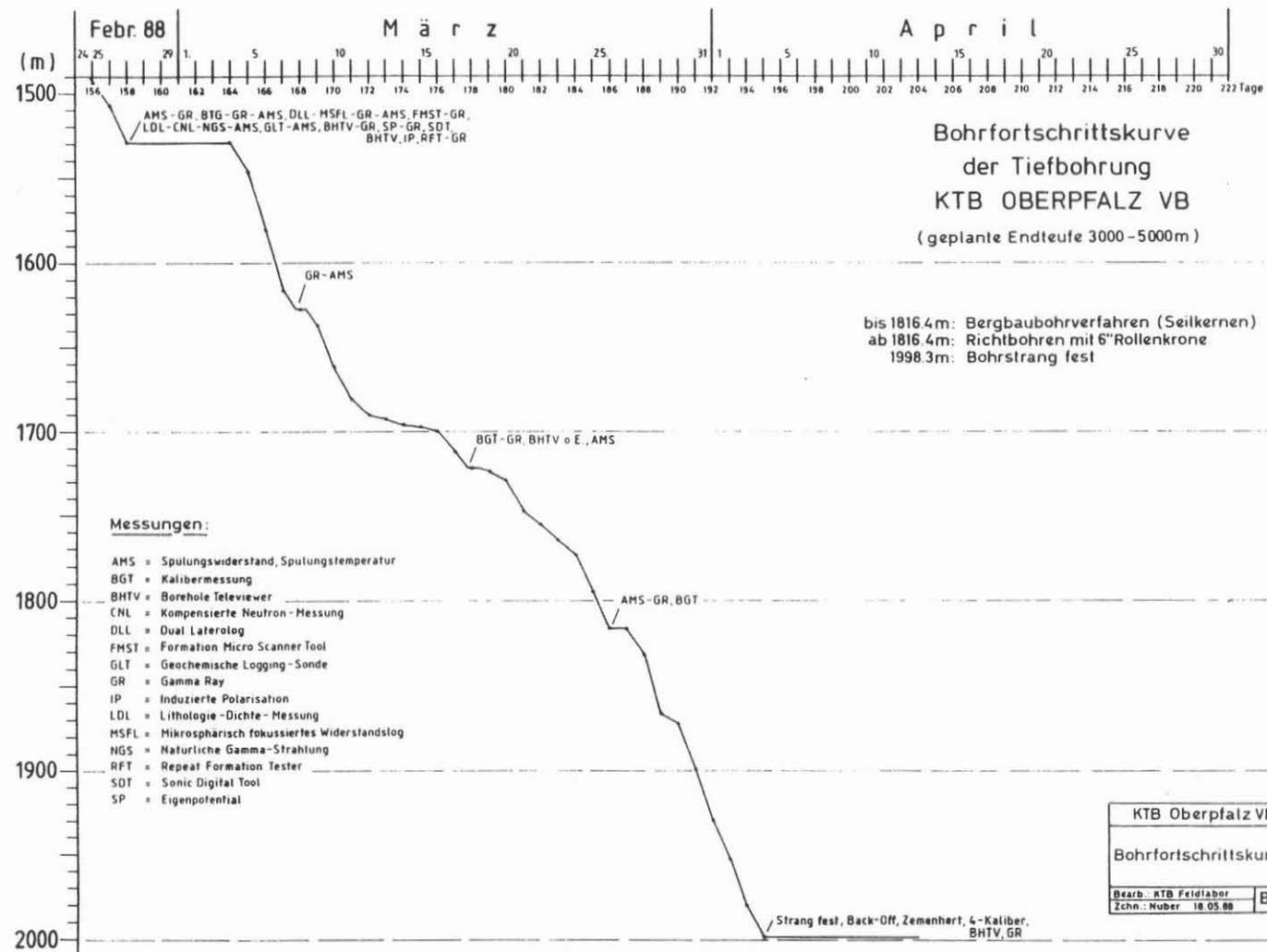
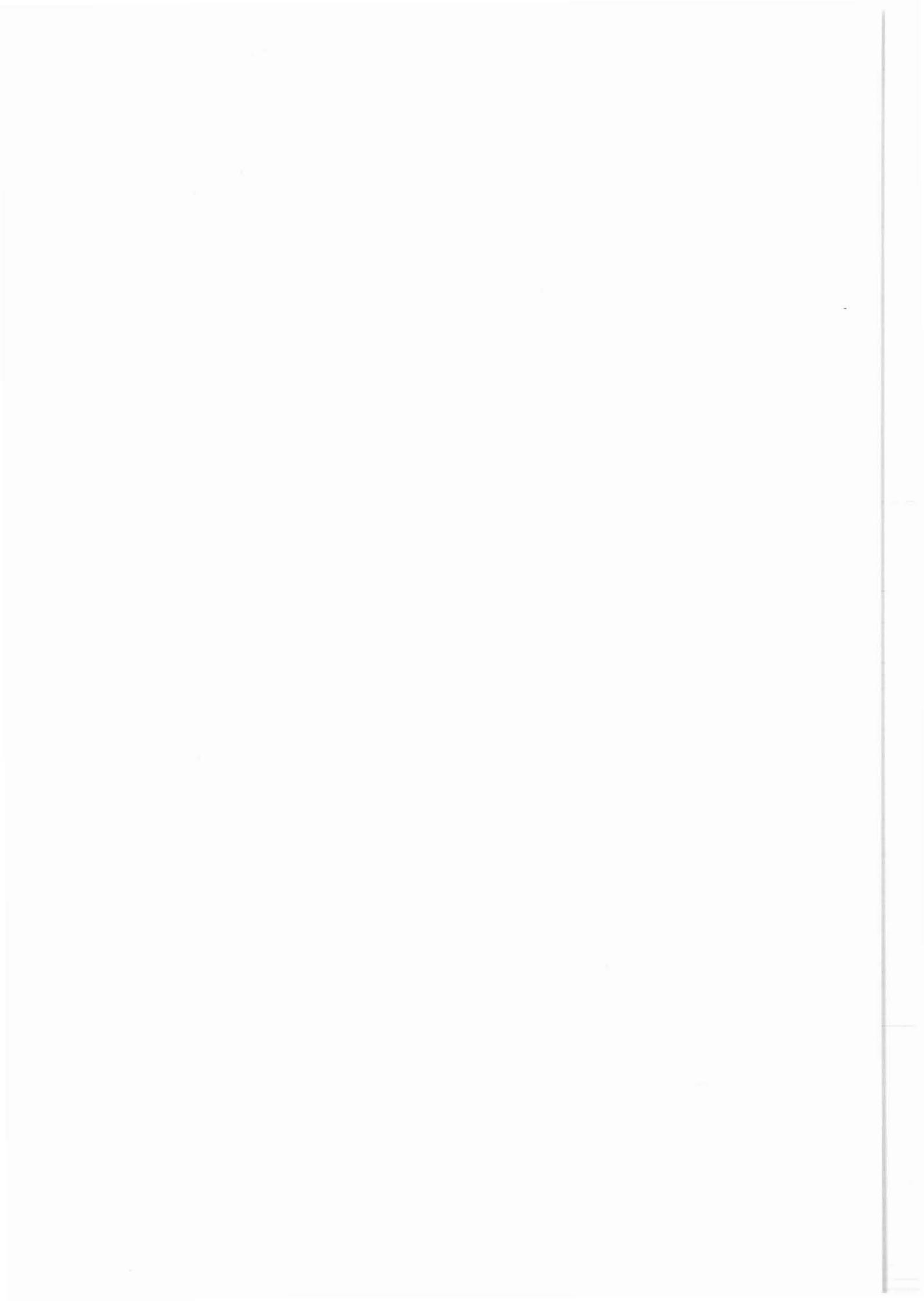


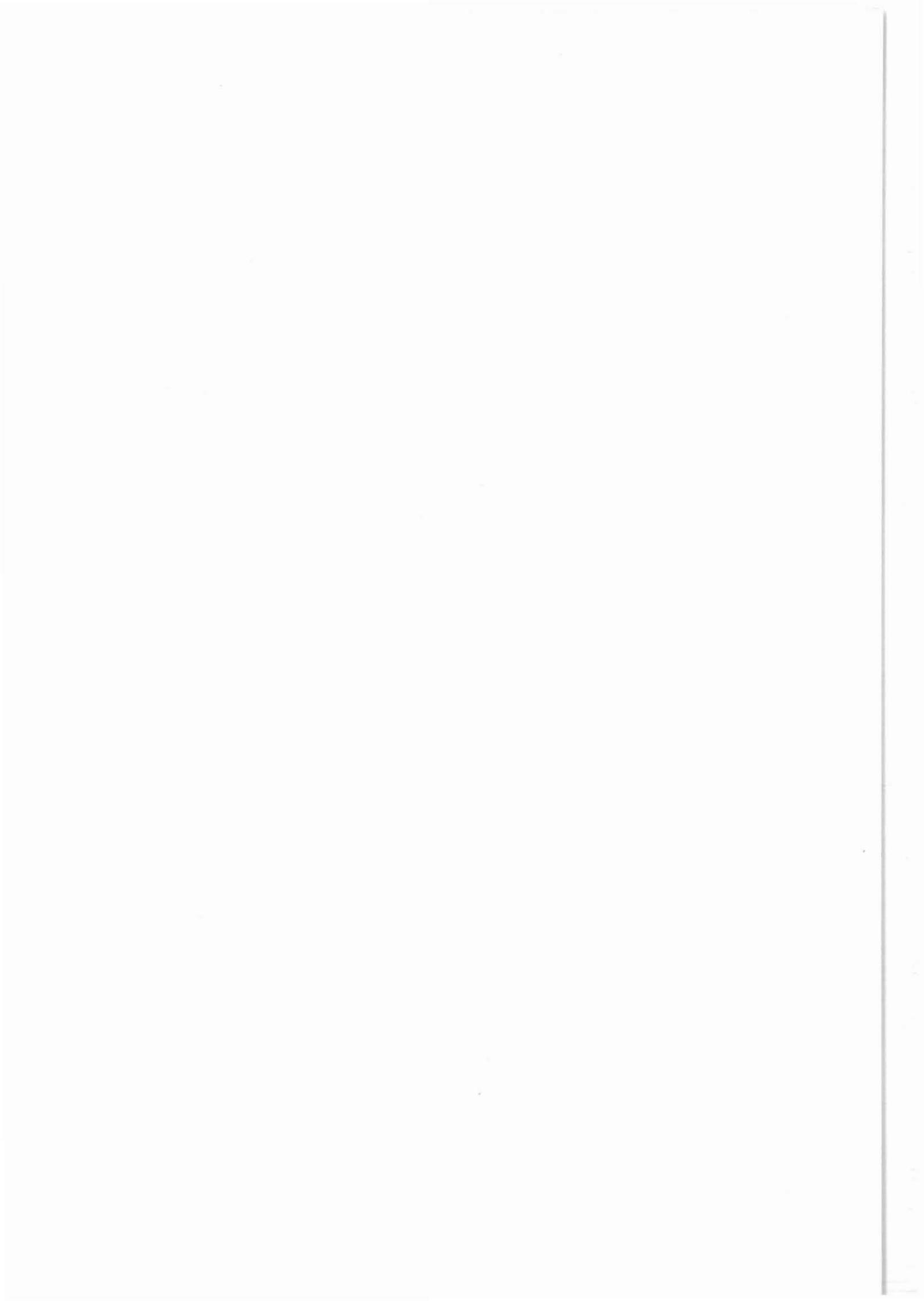
Abb. A.2.2



B. Geologie

KTB Oberpfalz VB - erste Ergebnisse der geologischen Aufnahme bis 1998 m

T. Massalsky
H. Müller
C. Röhr
G. Graup
W. Hacker
S. Keyssner
J. Kohl



KTB Report	88-9	B1 - B66	41 Abb.	Hannover 1988
------------	------	----------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 1998 m:

B. Geologie

T. Massalsky, H. Müller, C. Röhr, G. Graup, W. Hacker, S. Keyssner & J. Kohl *)

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>		Seite
	Zusammenfassung/abstract	B 2/3
B.1	Einleitung	B 4
B.2	Petrographie	B 5
B.2.1	Metabasit-Abfolge	B 5
	Metagabbros	B 5
	Amphibolite	B 8
	Meta-Ultramafitit	B 9
B.2.2	Paragneise	B 10
	Richtbohrstrecke	B 21
B.3	Erzmineralisation	B 24
B.4	Strukturgeologie	B 34
B.4.1	Makrogefüge der Metabasit-Abfolge	B 34
B.4.2	Makrogefüge der Paragneise	B 34
B.4.3	Mikrogefüge der Paragneise	B 37
B.4.4	Kataklaste	B 38
B.4.5	Klassifizierung der Trenngefüge im Teufenabschnitt 1795.7 bis 1816.3 m	B 39
B.4.6	Faltenstrukturen	B 40
B.4.7	Knickzonen	B 43
B.5	Schriftenverzeichnis	B 45
B.6	Anhang	B 46
B.6.1	Geologisches Profil 1:200	B 49
B.6.2	Zur Orientierung der Referenzlinie auf den Bohrkernen des Teufenabschnitts 750-992 m	B 65

*) Anschrift der Verfasser: KTB Feldlabor
8486 Windischeschenbach

Zusammenfassung

Der 4. Arbeitsbericht umfaßt die vorläufigen Ergebnisse der petrographischen und strukturgeologischen Bearbeitung des Bohrabschnittes 1530 - 1998 m der Tiefbohrung "KTB Oberpfalz VB". Von 1530 bis 1816 m standen zur Untersuchung Bohrkerne, darunter nur Cuttings zur Verfügung.

Bis 1610 m hat die Bohrung eine Abfolge aus Metagabbro, Amphibolit und Meta-Ultramafit durchteuft. Darunter folgen Sillimanit-Biotit-Paragneise. Bei 1920 m wurde die Grenze zu Disthen-Biotit-Paragneisen durchbohrt. Mehrfach treten in der Gneis-Strecke Graphit- und Pyrit-imprägnierte Kataklasten-Zonen auf.

Die Metagabbros zeigen stellenweise ein relikthch erhaltenes, magmatisches Ophitgefüge. Dominierend ist aber ein metamorphes Corona-Gefüge (Plagioklas-Coronen um Hornblende-Aggregate), bei dem es sich wahrscheinlich um Pseudomorphosen nach granulitfaziellen Granat-Coronen um Klinopyroxen handelt. Zusammen mit Omphacit-Pseudomorphosen zeigen sie eine ehemalige Hochdruck-Metamorphose dieser Gesteine an. Mit den Metagabbros sind Granat-Amphibolite mit migmatitischen Quarz-Plagioklas-Schlieren vergesellschaftet. Der Bereich der Liegendgrenze dieser Abfolge (1610 m) ist intensiv kataklastisch und grünschieferfaziell überprägt. An dieser Grenze springt das Einfallen der Foliation von durchschnittlich 50 Grad (Metabasit-Abfolge) auf durchschnittlich 75 Grad (Paragneise). Dies und die Tatsache, daß bislang keine analogen granulitfaziellen Relikte in den Paragneisen beobachtet wurden, sprechen dafür, daß der lithologische Wechsel tektonisch bedingt ist.

Die von 1610 - 1920 m anstehenden Sillimanit-Biotit-Gneise haben nur geringe Granat-Gehalte und führen häufig kleine Disthen-Relikte als Einschluß in Plagioklas. Sillimanit ist teils eng mit Biotit verwachsen, teils scheint Sillimanit den Kontakt zu Biotit zu vermeiden. Das Gefüge der Gneise wechselt zwischen grobkörnig-flaserig über alle Zwischenstufen bis zu feinkörnig-straflagig. Foliationsparallel treten migmatitische Quarz-Feldspat-Mobilisate auf. Unterhalb einer (vermuteten) Störung folgen ab ca. 1920 m Disthen-Biotit-Gneise. Disthen ist hier nicht relikthch sondern tritt in eng mit Biotit verwachsen, stabilen Körnern auf.

Graphit- und Pyrit-imprägnierte Kataklasten-Zonen sind in den Paragneisen verbreitet. Graphit bildet hierbei dünne Häutchen um andere Mineralkomponenten. Die Kohlenstoff-Gehalte in diesen Zonen liegen um 1%. Nachfall aus einer solchen graphitreichen Störungszone mit hohem Kohäsionsverlust (1980-1994 m) führte bei 1998.3 m zum Festwerden des Bohrstranges.

Abstract

This fourth KTB field laboratory report presents preliminary petrographic and structural results of the section from 1530 to 1998 m of the scientific well 'KTB Oberpfalz VB'. Cores were recovered from 1530 to 1816 m, whereas due to directional drilling only cuttings were available from 1816 to 1998 m.

Down to 1610 m the well intersected a sequence of metagabbro, amphibolite and subordinate meta-ultramafite which started at 1160 m. Underneath follows sillimanite-biotite-gneiss which eventually turns into kyanite-biotite-gneiss at 1920 m.

The metagabbro in some sections shows a relict ophitic fabric, but is mainly characterized by its metamorphic texture with prominent white plagioclase rims or coronas around hornblende aggregates. These plagioclase coronas are interpreted as pseudomorphs after granulite facies garnet coronas around clinopyroxene as they were observed in the upper section of this metabasitic sequence. These garnet coronas together with symplectitic pseudomorphs after omphacite are indications of a former high pressure metamorphic event. Amphibolite facies overprinting leads to the formation of plagioclase and hornblende.

Garnet-amphibolite with migmatitic quartz-plagioclase-schlieren alternates with the metagabbro. A foliation formed by small elongated feldspar flasers is widespread, the dip varying from between 40 to 50°. The footwall contact of this metabasitic succession (1610 m) shows intense greenschist facial and cataclastic overprinting. The dip of foliation changes abruptly to between 70 and 80° in the underlying paragneiss. This change in dip and missing granulite facial relicts in the gneisses argue for a tectonic contact between gneiss and metabasitic sequence.

Sillimanite-biotite-gneisses (1610 - 1920 m) have a low garnet content and contain small relict kyanite grains as inclusions in plagioclase. Sillimanite is partly intimately intergrown with biotite, whereas in gneiss with granoblastic texture sillimanite tends to keep clear of biotite. Gneiss texture ranges from coarse grained flaser type to fine grained strictly banded types. Migmatitic quartz-feldspar-mobilisates mostly parallel to the foliation are abundant. Following and presumably separated by a fault, are kyanite-biotite-gneisses (1920 - 1998 m) in which kyanite no longer occurs as a relict but stable phase. Graphite and pyrite bearing shear zones are very frequent in the gneisses. Graphite occurs as a thin coating around other mineral components and leads to loss of cohesion in these zones. This effect eventually resulted in the drill pipe getting stuck at 1998.3 m.

B.1 Einleitung

In diesem 4. Arbeitsbericht werden die vorläufigen Ergebnisse der petrographischen und strukturgeologischen Bearbeitung des Bohrabschnittes 1530 - 1998 m der Tiefbohrung "KTB Oberpfalz VB" dargestellt. Von 1530 bis 1816 m standen zur Untersuchung Bohrkerne, darunter bis 1998 m nur Cuttings zur Verfügung.

Infolge des Festwerdens vom Bohrgestänge in der Teufe von 1998 m und des nachfolgenden Rückzementierens des Bohrlochs konnten die geophysikalischen Logs nur bis 1788 m bzw. bis 1814 m (BGT: Gamma-Ray, Kaliber, Neigung etc.) gefahren werden, so daß vor allem für die Kontrolle der nur durch Cuttings belegten Strecke keine Logs zur Verfügung stehen. Entsprechend unsicher sind die Befunde aus diesem Teufenabschnitt, vor allem hinsichtlich der teufenmäßigen Einordnung und der Beurteilung von Nachfall. Von der Cuttingstrecke wurden im 1- bis 5-Meter-Abstand Streupräparat-Dünnschliffe angefertigt und das Log in Abstimmung mit den geophysikalischen Cuttingsuntersuchungen und geochemischen Z-Proben-Analysen erstellt.

Während die Dünnschliffpräparation inzwischen problemlos funktioniert, wurden die Erzanschliffe nach wie vor im Institut für Mineralogie und Lagerstättenkunde der RWTH Aachen hergestellt.

B.2. Petrographie

Der Teufenbereich 1530 - 1998 m gliedert sich in:

- (1) eine Metabasit-Abfolge aus Amphibolit, Metagabbro und Meta-Ultramafitit (1530 - 1610 m),
- (2) eine Sillimanit-Biotit-Paragneis-Abfolge (1610 - 1920 m),
- (3) eine Disthen-Biotit-Paragneis-Abfolge (1920 - 1998 m).

Abbildung B.2.1 zeigt das geologische Übersichtsprofil des Teufenabschnitts 0 - 2000 m. Das detaillierte Profil im Maßstab 1:200 befindet sich im Anhang (Abb. B.6).

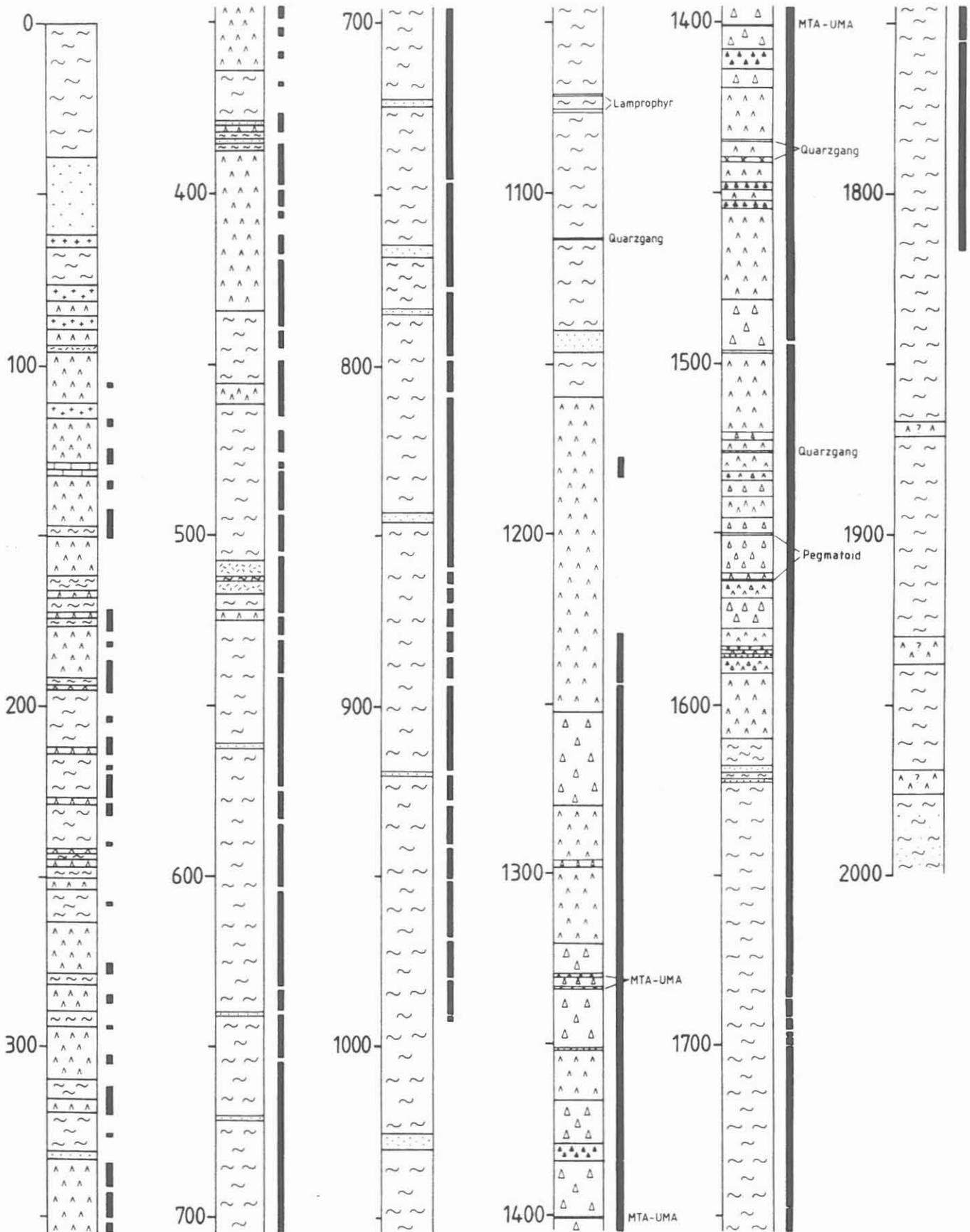
B.2.1 Metabasit-Abfolge (1530- 1610 m)

Bis 1610 m setzt sich die seit 1160 m anstehende Metabasit-Abfolge aus Amphibolit, Metagabbro und Meta-Ultramafitit fort. Es handelt sich hierbei im wesentlichen um eine metamorphe, basische Intrusion im Gegensatz zu den basischen Meta-Vulkaniten im Teufenbereich 0-460 m. Alle Gesteine wurden bereits im letzten Bericht (KEYSSNER et al. 1988) beschrieben. Mit zunehmender Annäherung an das Liegende dieser Einheit steigt jedoch die kataklastische und die damit verbundene grünschieferfazielle Überprägung der Metabasite.

Metagabbros

Die Metagabbros sind mittelkörnige, makroskopisch homogene, grün-weiß-gesprenkelte Gesteine mit einem charakteristischen Gefüge (Abb. B.2.2). Ihnen fehlen die migmatitischen, cm-großen Quarz-Plagioklas-Schlieren und der makroskopisch sichtbare Granat-Gehalt der Granat-Amphibolite. Es kommen lediglich einige cm-mächtige, gangartige Mobilisate oder dezimeter-mächtige Pegmatoide vor (324F bis 325E). Am Kontakt zu solch einer Pegmatoid-Linse kam es zur Blastese von bis zu 5 mm großen Biotit-Butzen (324Blf). Die Metagabbros sind in ihrer typischen Ausbildung massig, teilweise aber auch deutlich foliiert.

Unterhalb 1500 m fehlen Metagabbros mit dem im KTB-Report 88-6 (KEYSSNER et al. 1988) beschriebenen, makroskopisch deutlich sichtbaren, reliktschen Ophitgefüge. Die Metagabbros werden hier durch weiße Plagioklas-Coronen um Hornblende-Aggregate (pseudomorph nach Klinopyroxen, der teilweise noch reliktsch erhalten ist) gekennzeichnet (Abb. B.2.2), wobei die Klinopyroxene deutlich kleiner waren. Lediglich unter dem Mikroskop lassen sich kleine, reliktsche Plagioklas-Leisten in Hornblende-Aggregaten erkennen (Abb. B.2.3).



Lithologie:

- | | | |
|--|--|---|
|  Amphibolit |  Katakiasit (KKL) |  Metagabbro |
|  Abitgranitische Einschaltungen |  Lamprophyr |  Meta-Ultramafit (MTA-UMA) |
|  Biotitgneis |  Marmor |  Quarzgang |

Kerngewinn

KTB Oberpfalz VB	
Geologisches Profil 0m - 1998.3m	
Bearb. KTB Feldlabor Techn. E. Huber	20.10.88 B 6

Abb. B.2.1

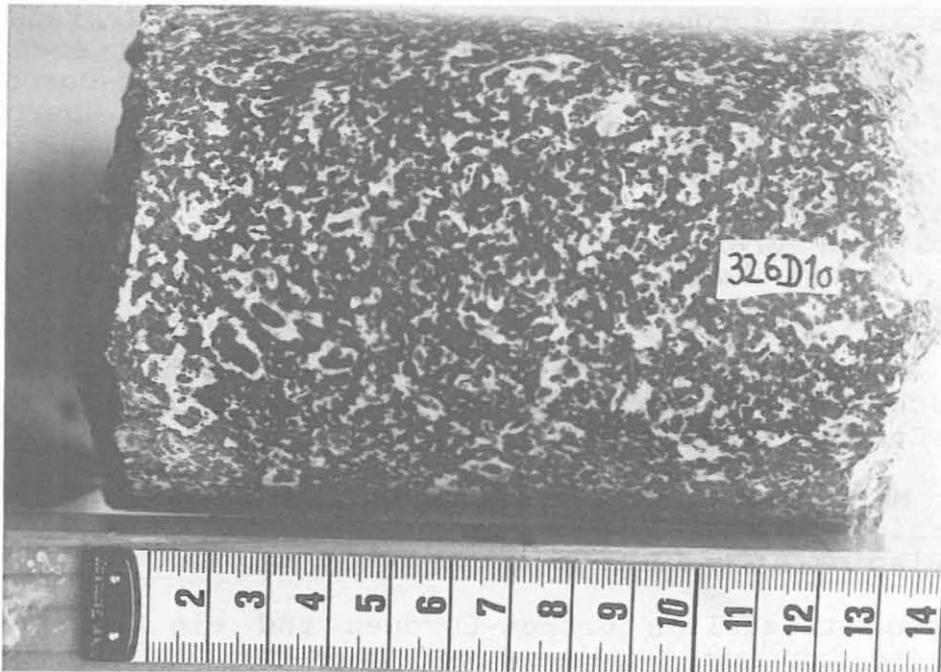


Abb. B.2.2: Metagabbro mit Plagioklas-Coronen um Hornblende-Aggregate. Hierbei handelt es sich wahrscheinlich um Pseudomorphosen nach granulitfaziellen Granat-Coronen um Klinopyroxene. In manchen Hornblende-Aggregaten sind noch winzige Plagioklas-Leisten des ophitischen, magmatischen Gefüges reliktsch erhalten.
(Makrofoto von Kernstück 326D10, 1559.8 m)

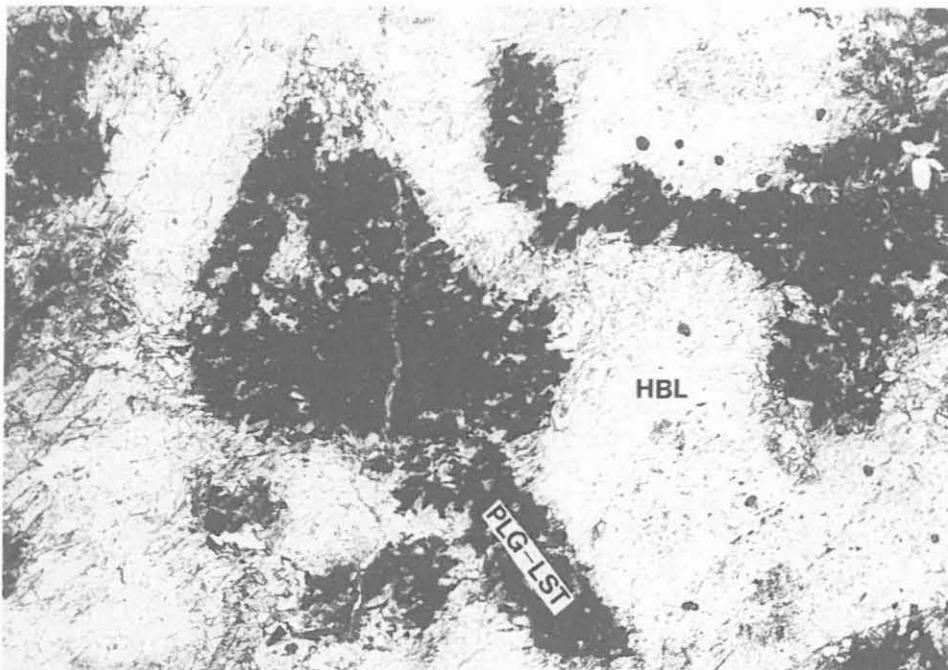


Abb. B.2.3: Reliktische, getrübe Plagioklas-Leisten (PLG-LST) in Hornblende-Aggregat (HBL), pseudomorph nach Klinopyroxen. Reliktisches, ophitisches Gefüge aus einem Metagabbro mit Plagioklas-Coronen.
(Schliff 326D1p, 1559.99 m, 1 Nicol, 20-fach).

Die Plagioklas-Coronen ersetzen die im oberen Teufenbereich beobachteten und schon im KTB-Report 88-6 beschriebenen und abgebildeten, granulitfaziell gebildeten Granat-Coronen um Klinopyroxen mit jüngerer amphibolitfazieller Überprägung (Plagioklas und Hornblende-Neubildung in der Corona). Die nun im Liegenden der Abfolge beobachteten breiten Plagioklas-Coronen um Hornblende-Aggregate können als Pseudomorphosen nach solchen Granat-Coronen um Klinopyroxen interpretiert werden. Damit lassen sich zwei Metagabbro-Typen unterscheiden:

Typ 1: Metagabbro mit grobkörnigem, reliktsch magmatischem, ophitischem Gefüge und sehr feinkörnigen, granulitfaziellen Granat-Coronen um Klinopyroxen

Typ 2: Metagabbro mit feinkörnigem, ophitischem Gefüge und grobkörnigen Granat-Coronen um Klinopyroxen, die weitgehend durch Plagioklas ersetzt sind.

Die granulitfaziellen Granat-Coronen und ein Klinopyroxen-Plagioklas-Symplektit (ehemaliger Omphacit, beschrieben und abgebildet in KEYSNER et al. 1988) zeigen eine ehemalige Hochdruck-Metamorphose dieser Metabasit-Abfolge an und untermauern die Ähnlichkeiten zwischen der Zone von Erbdorf - Vohenstrauß und der Münchberger Masse: MATTHES & SEIDEL (1977) beschreiben sehr ähnliche Hochdruckgefüge mit Granat-Coronen in Metagabbro vom Weißenstein.

Die Metagabbros zeigen unterschiedliche Stadien der Erhaltung der magmatischen und granulitfaziellen Merkmale. Sukzessive gehen durch amphibolitfazielle Überprägung in der folgenden Reihenfolge die charakteristischen Eigenschaften verloren:

- (1) Klinopyroxen-Relikte, Plagioklasleisten,
- (2) Granat-Coronen,
- (3) Rutil- und andere Einschlüsse in Pseudomorphosen nach Klinopyroxen,

so daß am Ende nur noch Pseudomorphosen aus Hornblende-Aggregaten nach Klinopyroxen-Großkristallen (mit Plagioklas ohne Granat) den ehemaligen Gabbro kenntlich machen. Solche, unterschiedlich stark überprägten Metagabbros kommen im Meterbereich nebeneinander vor, so daß sie im Profil nicht einzeln ausgehalten werden können.

Amphibolite

Mit den Metagabbros sind Amphibolite vergesellschaftet, die meist nicht mehr erkennen lassen, ob sie aus Basalten oder

Gabbros hervorgegangen sind. Ihr meist granoblastisches Gefüge, die migmatitischen Quarz-Plagioklas-Schlieren und der makroskopisch meist deutlich sichtbare Granat-Gehalt unterscheiden die Amphibolite von den Metagabbros (Abb. B.2.4). Die Korngröße erreicht in besonders Quarz-Plagioklas-reichen, massigen Abschnitten mehrere mm. In den Kernmärschen 332 und 333 treten mm-großen Titanit-Blasten und granatreiche Bänder im Amphibolit auf. Titanit kann von Ilmenit pseudomorph ersetzt werden (Abb. B.2.7). Insbesondere der 30 m umfassende Grenzbereich zum liegenden Paragneis (1580-1610 m) ist stark retrograd überprägt. Die Alteration und Kataklyse äußert sich makroskopisch durch

- (1) bis 5 cm mächtige, graugrüne Kalifeldspat-Prehnit-Epidot Scherbahnen (RDA, 330I1w, 330H1u),
- (2) grau-gelbgrüne, Epidot-verfüllte Klüfte und
- (3) Laumontit-verfüllte Klüfte (326A1b).

Die Kataklyse wird auch im mikroskopischen Bereich durch mm-mächtige, mineralisierte Haarrisse und Gängchen abgebildet (Abb. B.2.5, B.2.6). Die Amphibolit-Matrix wird durch die Neubildung von Prehnit, Epidot/Klinozoisit, Chlorit, Aktinolith, Karbonat, Titanit (und Zoisit, 335B2h) grünschieferfaziell überprägt (Abb. B.2.8).

Meta-Ultramafitit

Im Teufenbereich 1530 - 1610 m kommt nur ein 10 cm mächtiger, schlierig begrenzter, schwach foliierter Meta-Ultramafitit-Einschluß im Amphibolit vor (330F1u). Im Dünnschliff zeigt sich als Hauptgemengteil hellolivfarbene Hornblende (1 mm große, längliche Körner mit Rutil-Einschlüssen), um die teilweise ein Saum aus farbloser Hornblende entwickelt ist. Der reichlich vorkommende, sekundäre Chlorit schließt viele Titanit-Körnchen und Klinozoisit ein. Opakminerale sind in Leukoxen umgewandelt. Prehnit wächst auf Chlorit-Spaltflächen und bildet größere Aggregate. Apatit (0.2 mm) kommt akzessorisch vor.

B.2.2 Paragneise (1610 - 1998 m)

Unter der Metabasit-Abfolge treten monotone Sillimanit-Biotit-Gneise, wie sie auch im Teufenbereich 460 - 1160 m vorkommen und in vorhergehenden Berichten ausführlich beschrieben wurden. Der hangende Grenzbereich zur Metabasit-Abfolge (1610-1650 m) ist stark kataklastisch und grünschieferfaziell überprägt (Abb. B.2.9 bis B.2.11). Unterhalb 1817 m liegen nur Cutting-Proben vor.

Es sind fast ausschließlich Quarz- und Plagioklas-reiche, Biotit-, Sillimanit- und Granat-arme Gneise mit Grauwacken-Chemismus. Zwischen 1669.2 und 1670.3 m tritt ein feinkörnig-

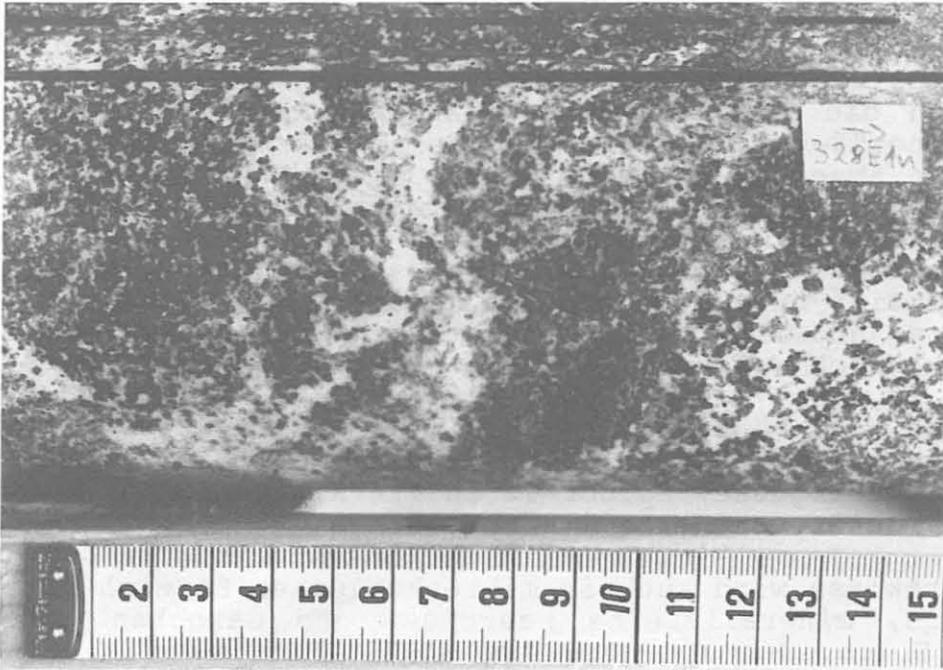


Abb. B.2.4: Typischer, migmatitischer Granat-Amphibolit.
(Makrofoto von Kernstück 328E1n, 1572.2 m)

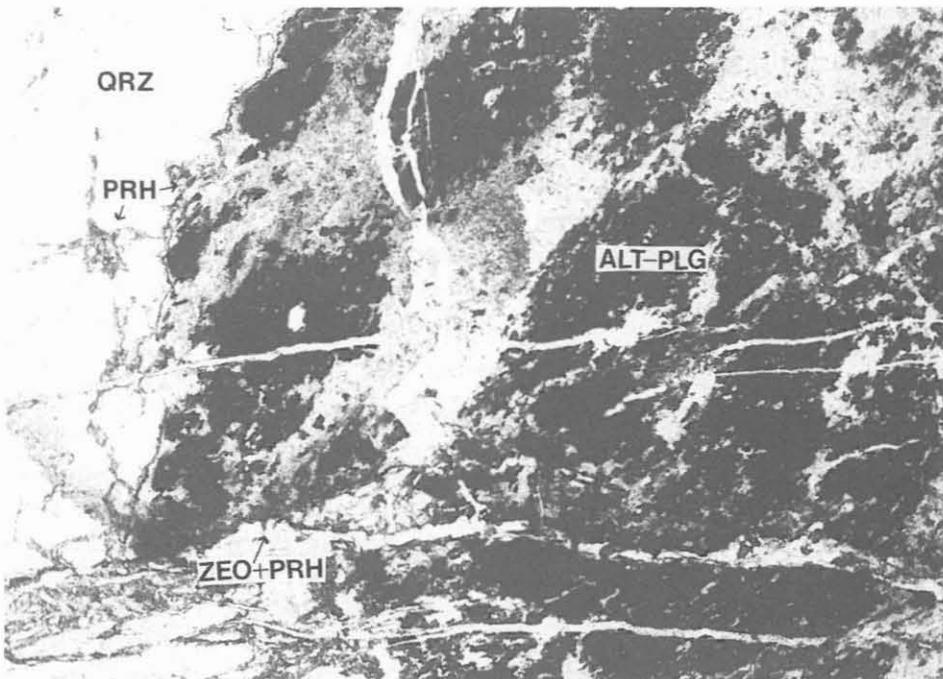


Abb. B.2.5: Mit Prehnit (PRH) und Zeolith (ZEO) mineralisier-
te Haarrisse in einem Quarz-Plagioklas Pegmatoid. QRZ =
Quarz, ALT-PLG = alterierter Plagioklas.
(Schliff 327A1kI, 1564.17 m, 1 Nicol, 20-fach).

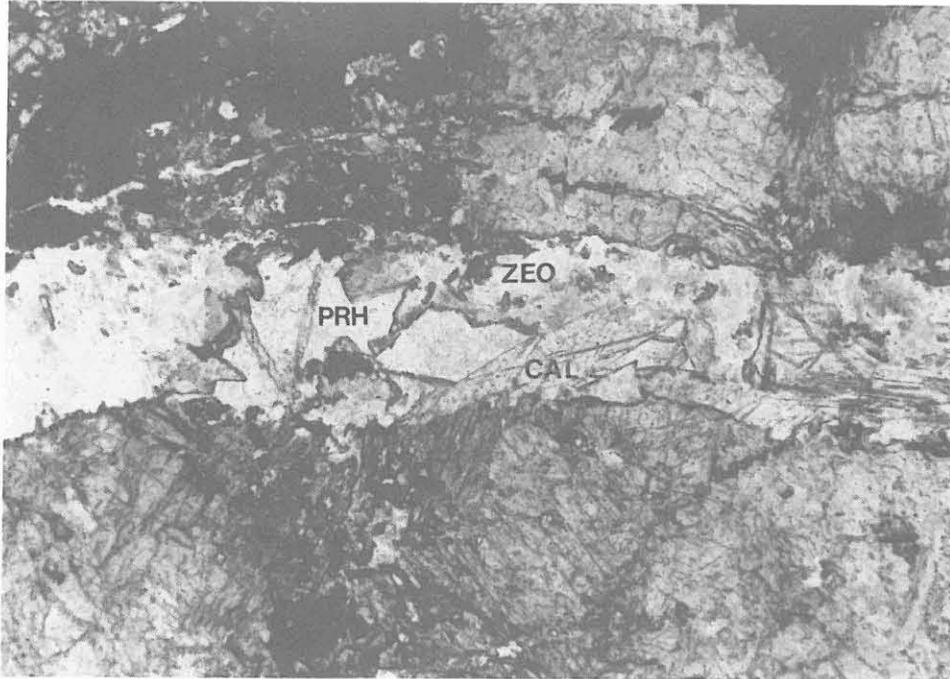


Abb. B.2.6: Niedriggradige, metamorphe Überprägung. Gängchen mit Zeolith (ZEO), Prehnit (PRH) und Calcit (CAL) in Metagabbro.
(Schliff 326D1p, 1559.99 m, 1 Nicol, 30-fach).

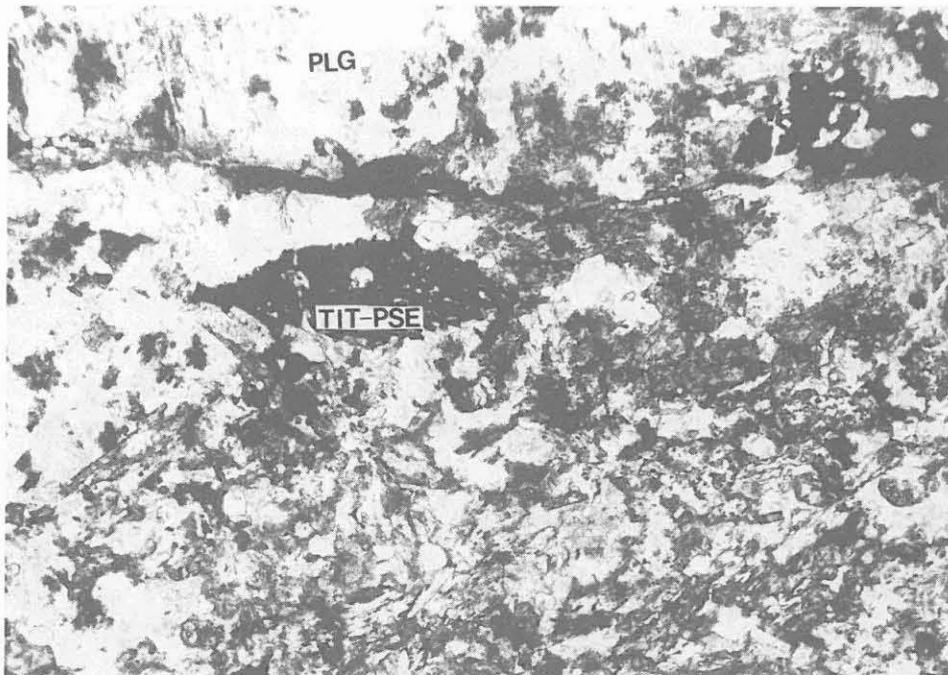


Abb. B.2.7: Alterierter Amphibolit (chloritisierte Hornblende, Kyanoisit, Plagioklas (PLG)) mit einer Pseudomorphose aus Ilmenit-Körnern nach Titanit (TIT-PSE). In der Mitte der Pseudomorphose ist noch etwas Titanit reliktsch erhalten.
(Schliff 331Elr, 1588.13 m, 1 Nicol, 25-fach).

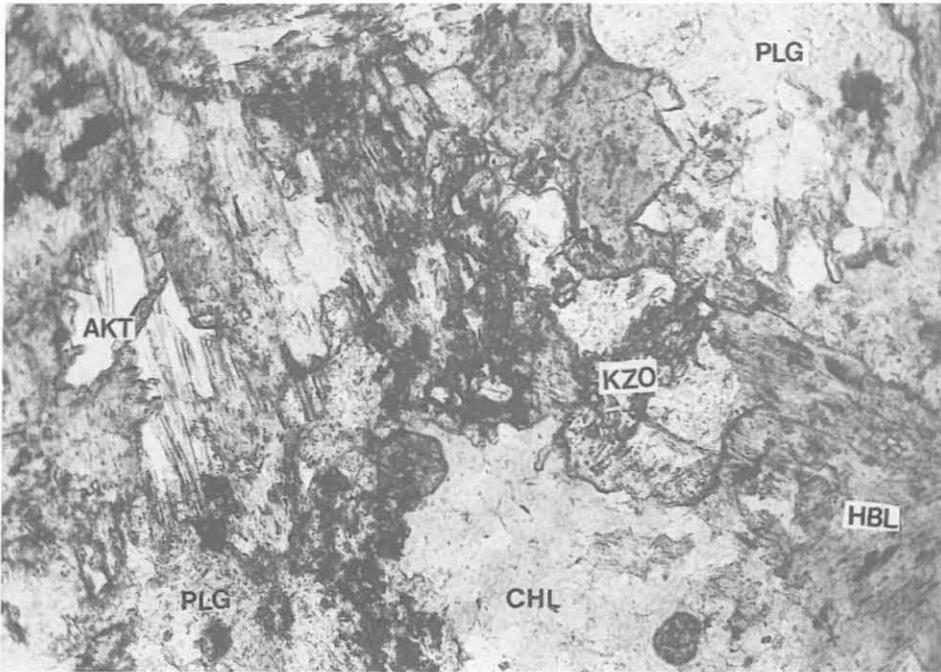


Abb. B.2.8: Alterierter Amphibolit mit Neubildung grünschieferfazieller Minerale. AKT = Aktinolith, KZO = Klinozoisit, CHL = Chlorit, HBL = Hornblende, PLG = Plagioklas. (Schliff 328C1k, 1570.62 m, 1 Nicol, 63-fach).

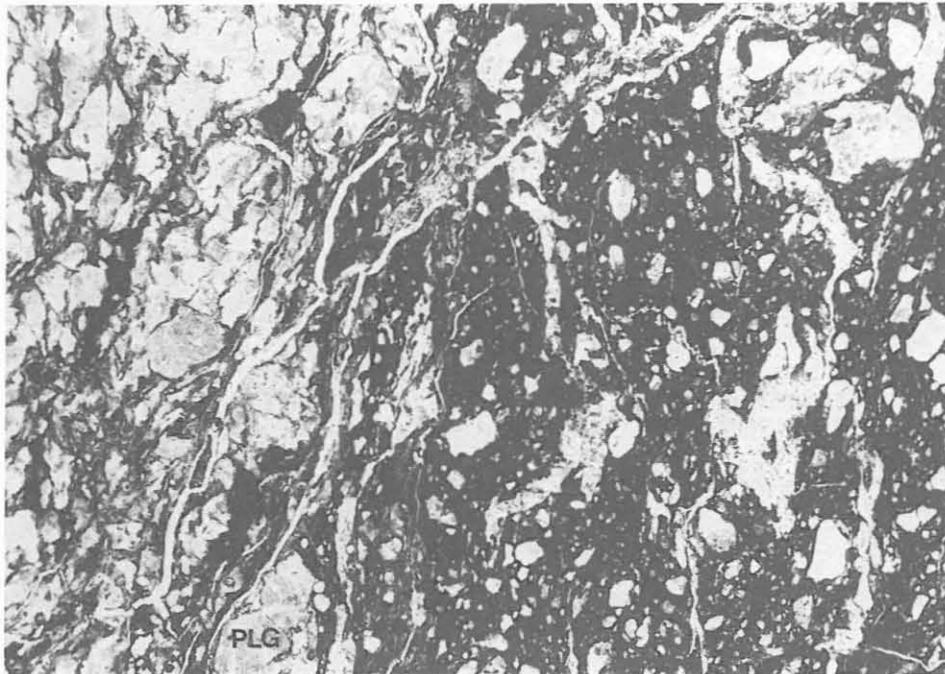


Abb. B.2.11: Kataklastit aus einem ehemaligen Paragneiss. PLG = Plagioklas. (Schliff 337A1dI, 1618.58 m, 1 Nicol, 20-fach).

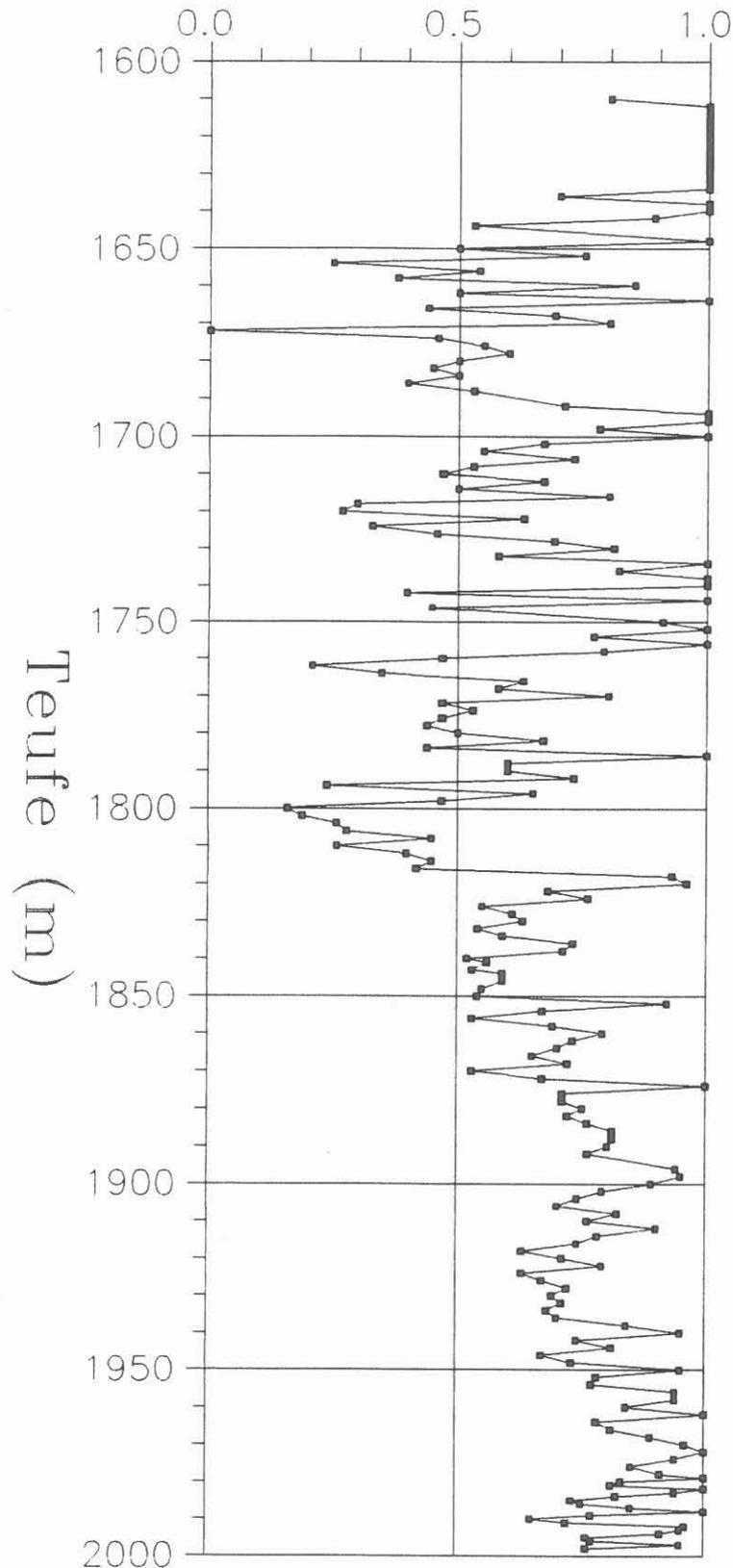


Abb. B.2.9: Chlorit/(Chlorit+Biotit)-Verhältnis aus RDA-Zentrifugen-Analysen als Maß für die Alteration der Paragneise. Im Grenzbereich zur Metabasitserie (1610-1640 m) ist die Alteration besonders stark. Mit dem Wechsel von Kernbohren mit Diamant-Krone auf Richtbohren mit Rollenmeißel (1817 m) kommt es zu einer grundsätzlichen Änderung dieses Parameters.

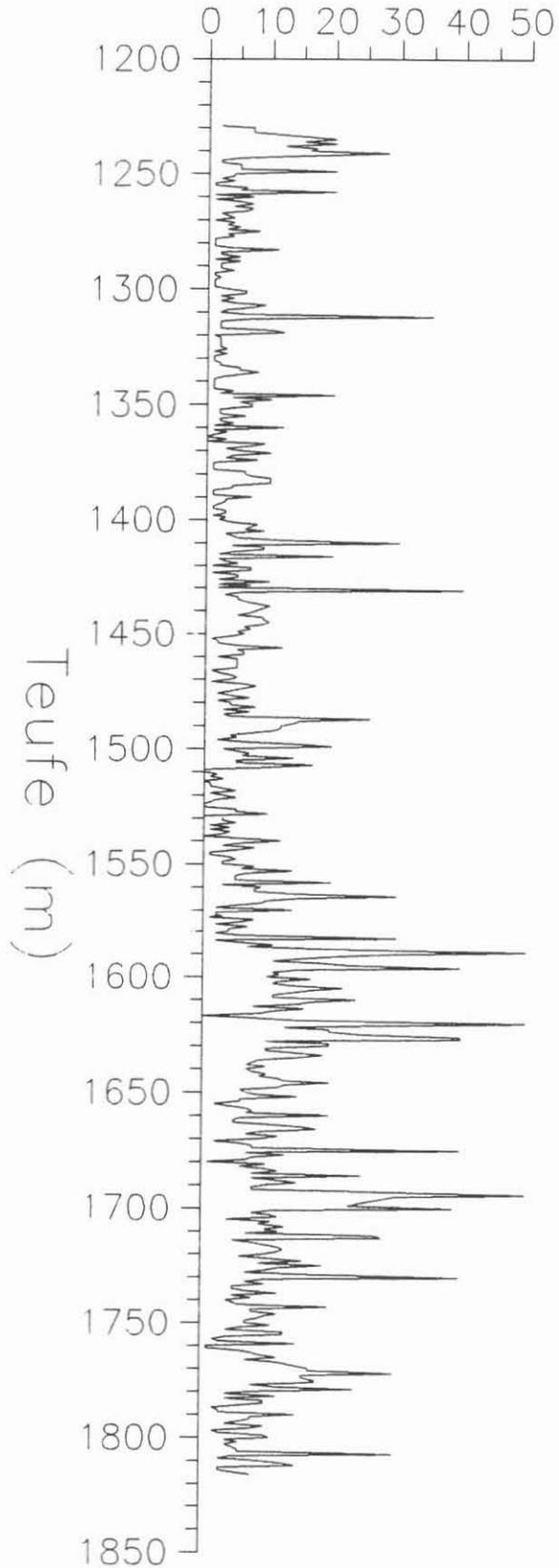


Abb. B.2.10: Klüftigkeitsziffer (Anzahl der offenen Klüfte pro Meter) der gekernten Strecken. Im Bereich der Grenze Metabasit-Abfolge - Paragneise (1610 m) zeigen erhöhte Klüftigkeitsziffern (1580 - 1650 m) die intensive, kataklastische Überprägung an.

ger, leukokrater, Sillimanit-reicher und Biotit-arme Gneistyp auf.

Makroskopisch erscheinen die Paragneise mittelgrau bis rötlichbraun (Biotit-reich). Das Gefüge ist wechselnd mittel- bis grobkörnig und flaserig bis lagig oder fein- bis mittelkörnig und strafflagig. Der Gefügetyp kann im Meterbereich wechseln. Helle Quarz-Feldspat-Mobilisate treten fast ausschließlich in foliationsparallelen Lagen auf. Diese bilden in den strafflagigen Typen 1 bis 5 mm mächtige, mehr oder weniger lang aushaltende Bändchen. In Kernstück 386B1f zeigen diese Bändchen an "pinch-and-swell"-Strukturen erinnernde Verdickungen. In den lagig-flaserigen Typen wird die Textur durch die, bis etwa 1 cm mächtigen, unregelmäßig lagigen bis flaserigen hellen Mobilisate dominiert. Sie sind oft schwach kataklastisch, linsig zerschert.

In den Sektionen 391B-392B, 399F, 400A1f und 403F-405F treten in grobkörnigen Quarz-Feldspat-Mobilisaten bis mehrere cm große idiomorphe, rotierte Plagioklase auf. Da diese Mobilisate meist von Biotitanreicherungen in Lagen und Zwickeln begleitet werden, scheint es sich um ehemalige migmatitische Bildungen zu handeln.

Größere, meist unregelmäßige Quarz-Feldspat-Mobilisate, oft mit erhöhter Hellglimmerführung, kommen bei 1650, 1651, 1672, 1718, 1800 und 1816.3 m vor. Vereinzelt treten scharf begrenzte, aber auch foliationsparallele Quarzgängchen (mit wenig Feldspat) von maximal 3 cm Mächtigkeit auf (1685 m (verfaltet), 1788.5 m und 1802.5 m (zerschert)). Bis zu 5 cm mächtige lagige Biotitanreicherungen finden sich bei 1682.5, 1761.0 und 1794.5 m.

Unter dem Mikroskop lassen sich drei Haupttexturtypen erkennen:

1. feinkörnige, gleichkörnige, fast massige Gneise mit offenem Biotit-Teilgefüge und vereinzelt Fibrolith-Knoten (Abb. B.2.14),
2. flaserige Gneise mit feinkörnigen Sillimanit-Biotit-Flasern, die durch grobkörnige Quarz-Plagioklas-Lagen getrennt werden,
3. feinkörnige, strafflagige Gneise mit lang ausgezogenen Sillimanit-Biotit-Flasern.

Insgesamt bestehen die Paragneise mineralogisch aus Plagioklas + Quarz + Biotit + Sillimanit + Muskovit + Granat + Disthen + Graphit + Ilmenit + Rutil + Turmalin + Apatit + Zirkon + Chlorit.

Bis zu einer Teufe von ca. 500 m führen die Paragneise reichlich Disthen. Darunter nimmt der Disthen-Gehalt bis ca.

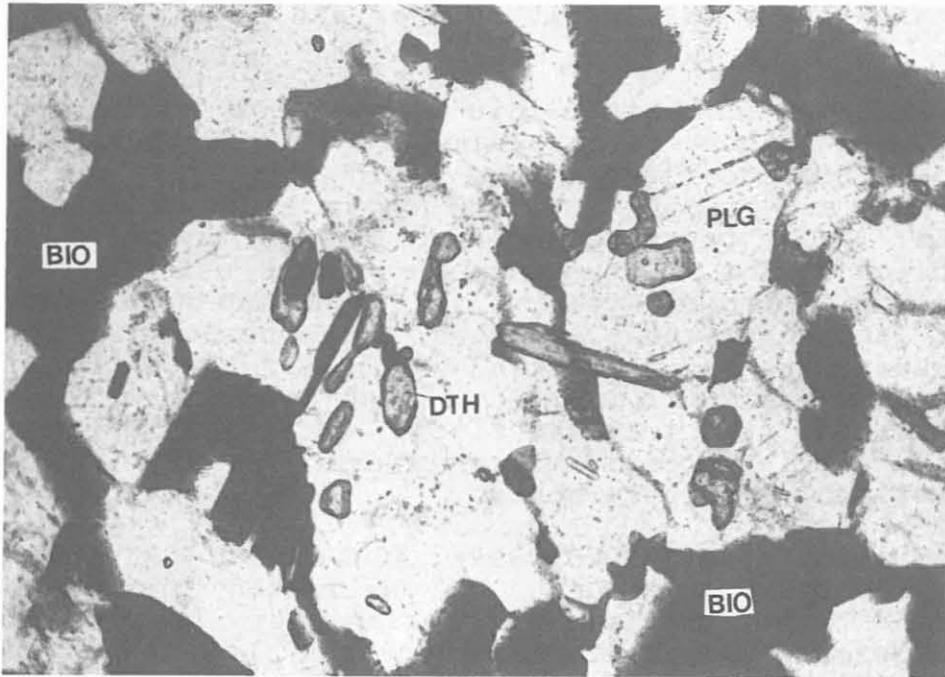


Abb. B.2.12: Reliktische Disthen-Kristalle als Einschlüsse in Plagioklas in einem Sillimanit-Biotit-Gneis. BIO = Biotit, PLG = Plagioklas, DTH = Disthen.
(Schliff 382B1e, 1730.21 m, 1 Nicol, 80-fach).

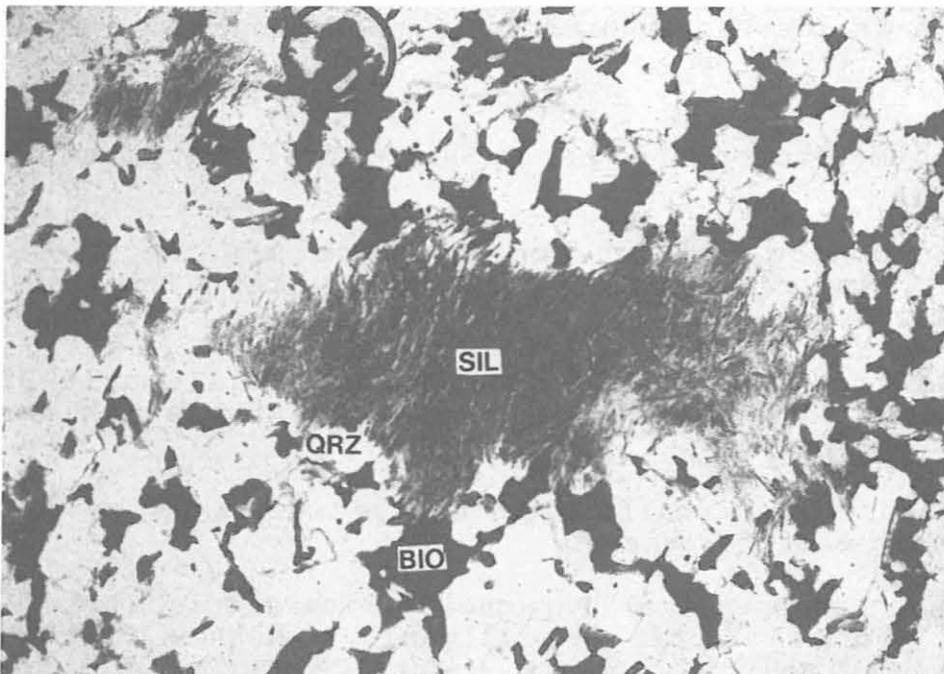


Abb. B.2.13: Das Sillimanit-Aggregat meidet den Kontakt zu Biotit. Schnitt parallel zur Foliation. Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis. SIL = Sillimanit, BIO = Biotit, QRZ = Quarz.
(Schliff 373C3d, 1711.05 m, 1 Nicol, 25-fach).

840 m zu Gunsten von Sillimanit auf null ab (siehe Report 88/2). Erst ab ca. 1680 m tritt Disthen wieder merklich auf, ist aber bis etwa 1920 m nur als Reliktphase erhalten. Pro Schliff kommen meist nur wenige, 0.1-0.5 mm große Disthen-Körnchen als Einschluß in Plagioklas (selten in Quarz) vor. Nie hat Disthen Kontakt zu Biotit, Granat oder Sillimanit (Abb. B.2.12).

Sillimanit liegt ganz überwiegend als Fibrolith vor, selten beobachtet man schmale, prismatische Stengel. Es treten zwei Arten von Biotit-Sillimanit-Kontakten auf:

- (1) Sillimanit und Biotit sind innig verwachsen,
- (2) Sillimanit meidet Biotit nach Art der Sillimanit-freien Höfe von Biotit-Cordierit-Kontakten (Abb. B.2.13).

Der zweite Kontakttyp ist in diesen Gesteinen nur tendenziell angedeutet, da sich immer noch Sillimanit-Biotit-Verwachsungen im Dünnschliff finden. Die Fibrolith-Nädelchen sind hier Einschlüsse in Quarz-Aggregaten und nicht Einschlüsse in Cordierit-Einkristallen wie in den Cordierit-Sillimanit-Gneisen des Moldanubikums. Es treten verschiedene Übergangsstadien auf (Abb. B.2.14).

Granat ist meist nur in geringen Gehalten unter 1% vorhanden (Abb. B.2.15). Er enthält häufig Quarz-, Feldspat- und Biotit-Einschlüsse. Die seltenen Rutileinschlüsse sind sehr klein (Ausnahme 368A2cI). Nur einmal wurde ein großer Rutil-Kristall mit Ilmenit-Saum in der Gneismatrix (373B3d) gefunden. Wir vermuten, daß die Ilmenit-Bildung durch die Reaktion



erklärt werden kann. Die Reaktion läuft fast unabhängig von der Temperatur bei Druckerniedrigung nach rechts ab (BOHLEN et al. 1983). Dies kann als Folge einer niederdruckmetamorphen Überprägung dieser Gesteine interpretiert werden.

Die migmatitischen Mobilisate bestehen aus Quarz und Plagioklas. Geringe Mengen Biotit und Fibrolith sind stets vorhanden. Turmalin, oft mit einem blaugrauen Kern und gelbbraunem Saum, findet sich stellenweise am Rand solcher Mobilisate, kommt aber auch in der Gneismatrix vor.

Die Intensität der grünschieferfaziellen Überprägung ist im wesentlichen an eine bruchhafte, tektonische Beanspruchung gebunden und kann im Meterbereich wechseln. Retrograd wurden Muskovit, Chlorit, Ilmenit und Titanit gebildet. Auf Haarrissen, größeren Klüften und Verschiebungsflächen wuchsen bei sehr niedrigen Temperaturen Laumontit und andere Zeolithe zusammen mit Calcit und Feldspäten (Abb. B.2.16 bis B.2.19).

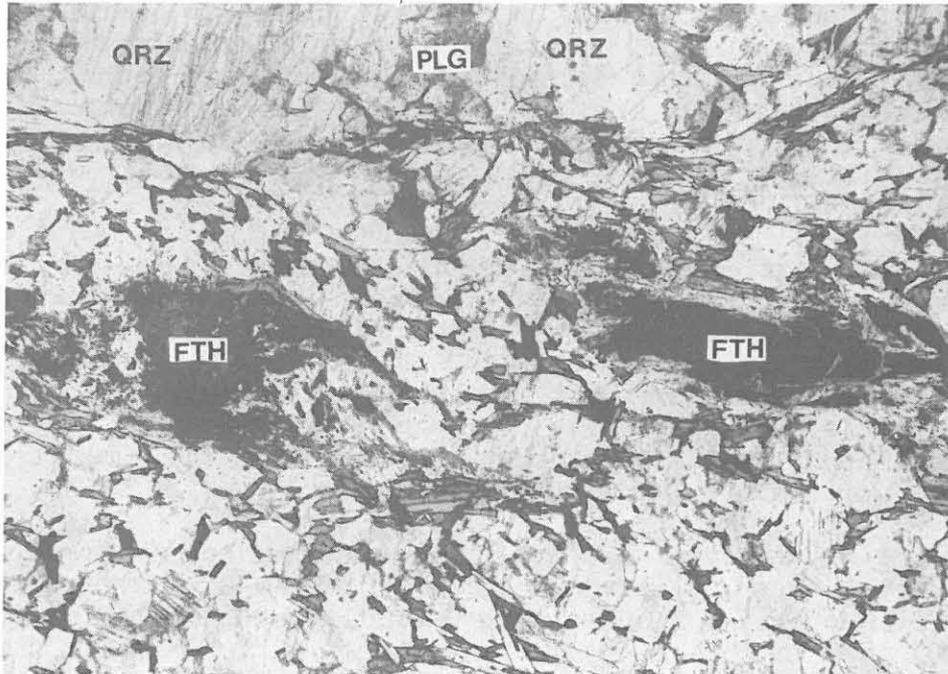


Abb. B.2.14: Leukokrater Sillimanit-Biotit-Gneis mit zwei Fibrolith-Aggregaten (FTH). Der linke ist knotenförmig, der rechte ist getreckt (pseudomorph nach Disthen?) ausgebildet. Beide werden von Hellglimmer umsäumt. Am oberen Bildrand grobkörnige Mobilisat-Linse mit Quarz (QRZ), reich an verheilten Mikrorissen, und Plagioklas (PLG). (Schliff 347B3d, 1651.03 m, 1 Nicol, 20-fach).

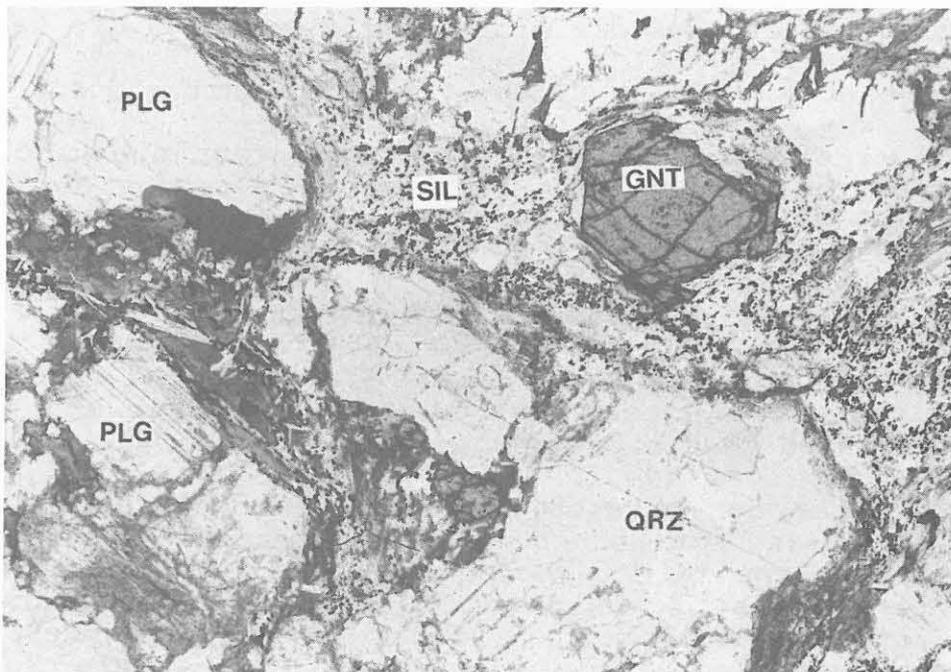


Abb. B.2.15: Idiomorpher Granat, umflossen von einem Hellglimmer-Ilmenit-Aggregat (SIL, Pseudomorphose nach einer Sillimanit-Biotit-Strähne), und Plagioklas-Blasten. Schnitt parallel zur Foliation. GNT = Granat, QRZ = Quarz, PLG = Plagioklas. (Schliff 347D3u, 1652.59 m, 1 Nicol, 20-fach).

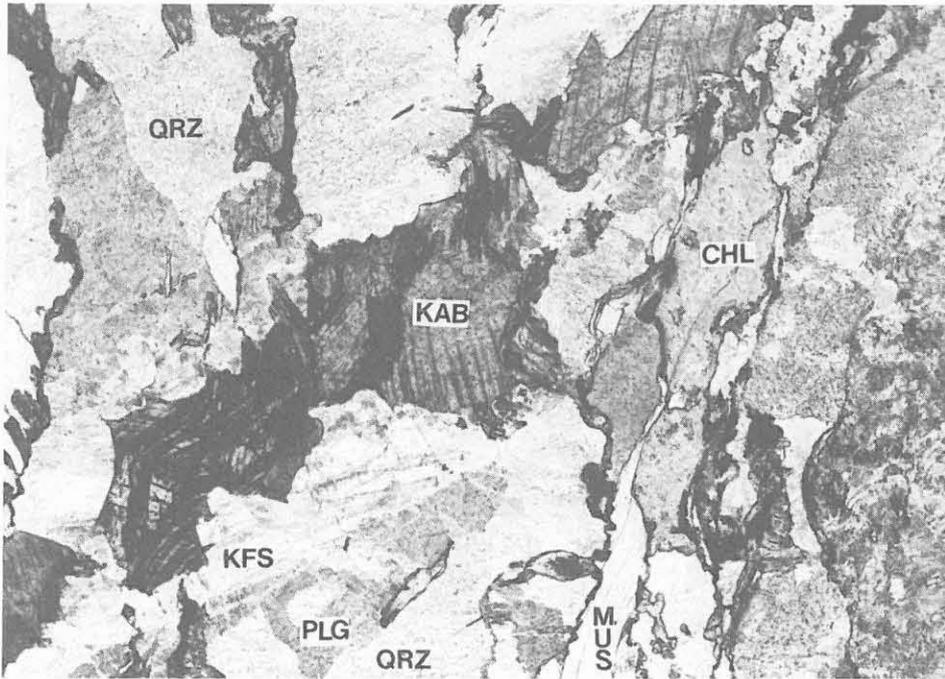


Abb. B.2.16: Alterierter, leukokrater Gneis mit Muskovit-Karbonat- und Chlorit-Neubildung entlang einer Scherbahn. QRZ = Quarz, PLG = Plagioklas, KFS = Kalifeldspat, KAB = Karbonat, CHL = Chlorit, MUS = Muskovit.
(Schliff 342C2a, 1634.71 m, 1 Nicol, 20-fach).

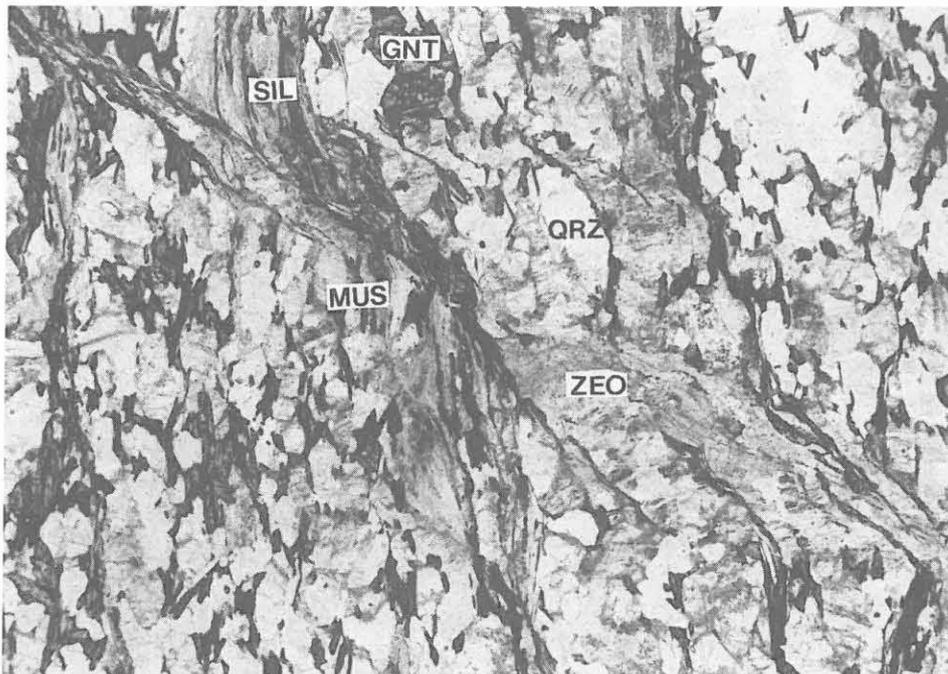


Abb. B.2.17: Scherbahn mit Schleppung der Foliation in Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis mit Zeolith-Neubildung (vgl. Abb. B.2.18). SIL = Sillimanit, GNT = Granat, MUS = Muskovit, QRZ = Quarz, ZEO = Zeolith.
(Schliff 345E2q, 1645.21 m, 1 Nicol, 20-fach).

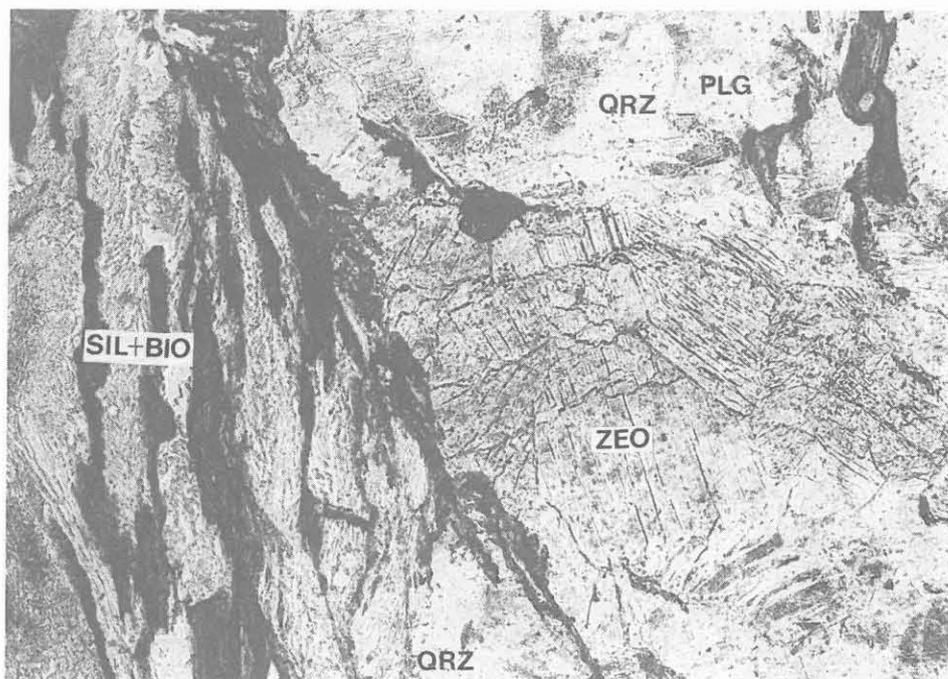


Abb. B.2.18: Zeolith-Neubildung in einer Scherbahn (vgl. Abb. B.2.17). SIL+BIO = alterierte Sillimanit-Biotit-Flaser, QRZ = Quarz, PLG = Plagioklas, ZEO = Zeolith.
(Schliff 345E2q, 1645.21 m, 1 Nicol, 90-fach).

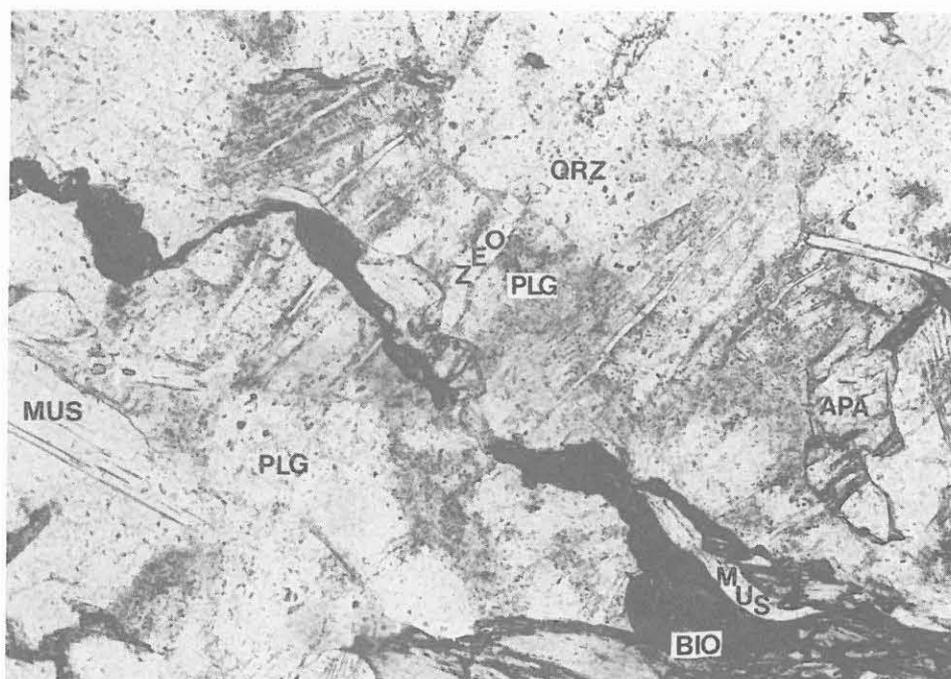


Abb. B.2.19: Zeolith-mineralisierte Haarrisse (ZEO) in getrübbtem Plagioklas (PLG). MUS = Muskovit, BIO = Biotit, QRZ = Quarz, APA = Apatit.
(Schliff 346Clp, 1647.82 m, 1 Nicol, 100-fach).

Richtbohrstrecke (1816-1998 m)

Granat-Sillimanit-Biotit-Gneise	1817-1920 m
Plagioklasreiche Gneise	1880-1886 m
(Granat-Sillimanit-)Disthen-Biotit-Gneise	1920-1998 m
kataklastische Scherzonen, graphit- und pyritreich	1817-1842 m 1980-1994 m

Ab 1817 m liegen keine Kerne, sondern nur noch Cuttings als Probenmaterial vor. Neben den schon oben beschriebenen Granat-Sillimanit-Biotit-Gneisen treten alterierte, Graphit- und Pyrit-imprägnierte Gneise in Störungszonen auf. Zwischen 1880 und 1886 m sind die Paragneise plagioklasreich.

Bei ca. 1920 m wurde die Grenze zu Paragneisen einer vermutlich anderen metamorphen Fazies durchteuft. Ab hier bis zur Graphit-Pyrit-Störungzone von 1981-1998 m stehen Disthen-Biotit-Gneise mit wechselnden Gehalten von Sillimanit und Granat an. Disthen ist im Gegensatz zu den reliktsch erhaltenen Körnchen im Teufenbereich von ca. 1680 - 1816 m hier eine stabile Phase (allenfalls mit schmalen Sericit-Saum) und in Form großer Körner eng mit Biotit verwachsen (Abb. B.2.20) oder er tritt in feinkörnigen Haufen in Sericit-Linsen oder -Lagen auf. Kontakte zu Sillimanit wurden nicht beobachtet; Kontakte zu Granat sind selten. Der abrupte Wechsel von Sillimanit-Biotit-Gneisen zu Disthen-Biotit-Gneisen muß durch eine Störung bedingt sein.

Bei 1867-1872, 1902, 1930-1938 und 1969-1976 m treten neben den Gneis-Cuttings gehäuft auch solche aus Klinopyroxen- oder Hornblende-Aggregaten auf. Da bei 1867, 1872, 1901, 1930 und 1980 m das Richtbohrgestänge aus- und eingebaut wurde, liegt mindestens für die oberen drei Abschnitte der Verdacht nahe, daß es sich um Nachfall handelt. In den Zentrifugenproben (vgl. Geochemie-Kapitel C.3.2) liegt außer bei 1897 und 1927 m, wo Hornblende nachgewiesen wurde, kein Hinweis auf Metabasiteinschübe vor.

Gesteinsbruchstücke von Graphit- und Pyrit-imprägnierten, kataklastischen Gneisen aus Störungszonen treten als untergeordneter Bestandteil durchgängig, gehäuft aber zwischen 1817 und 1842 (hier auch erhöhte Hellglimmergehalte in den Z-Proben, vgl. Kap. C.3.2) und unterhalb von 1980 m in den Cutting-Proben auf. Der Graphit bildet dünne Überzüge um Quarz- und andere Mineralkomponenten (Abb. B.2.21). Die schmierende Wirkung des Graphits bewirkt eine hohe Beweglichkeit dieser Bruchstücke (Graphit-Harnische) gegeneinander. Stichprobenartig wurde der Kohlenstoffgehalt dieser graphitreichen Kataklastite quantitativ im Institut für Geowissen-

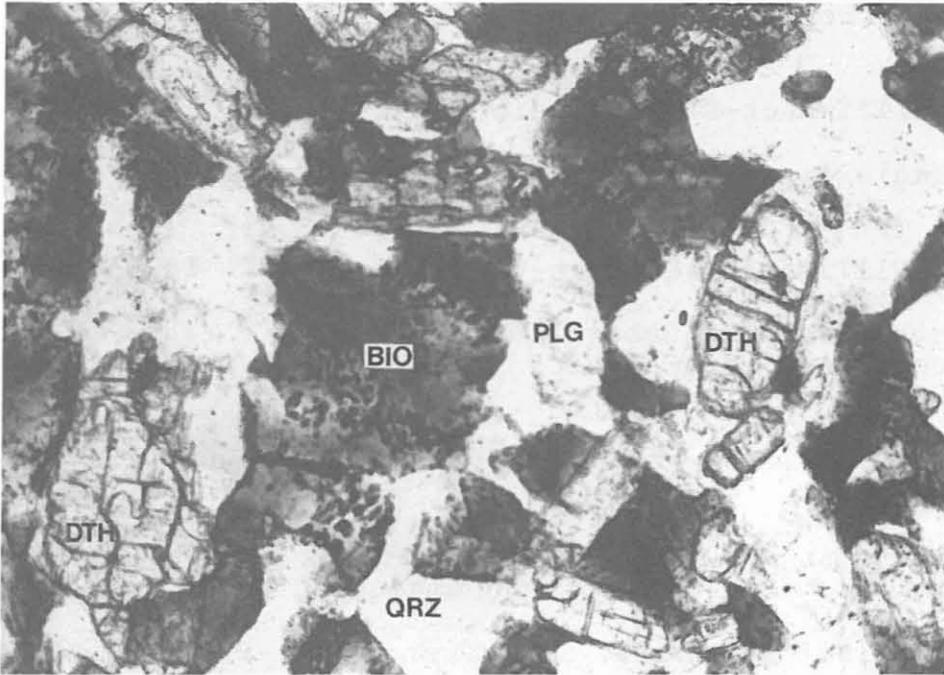


Abb. B.2.20: Disthen-Biotit-Gneis (Cutting). DTH = Disthen, BIO = Biotit mit Ilmenit-Entmischung, QRZ = Quarz, PLG = Plagioklas.
(Schliff CUT1972, 1972 m, 1 Nicol, 80-fach).

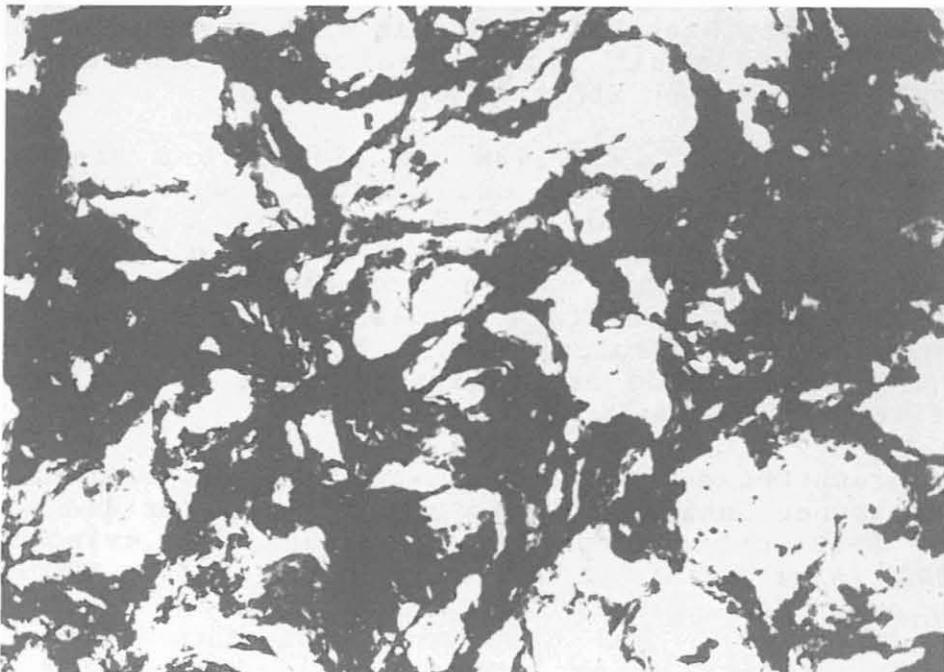


Abb. B.2.21: Cutting aus der Graphit-Pyrit-Kataklase-Zone. Graphit und Pyrit sind auf dem Bild schwarz, Quarz, Plagioklas und Hellglimmer weiß.
(Schliff CUT1997, 1997 m, 1 Nicol, 100-fach).

schaften und Lithosphärenforschung, Gießen, untersucht:

Probe	Gew.-% C
VC1818	1.6
VC1824	0.8
VC1840	0.6

Zwischen 1990 und 1994 m treten in den ausgetragenen Cuttings die größten Gehalte an Graphit-Harnischen auf (ca. 90 %). Darunter war die Kataklyse-Zone wahrscheinlich bereits durchteuft, da frischer Biotit in den Zentrifugen-Proben und Cutting-Dünnschliffen nachgewiesen wurde. Jedoch führte starker Nachfall aus dem Kataklyse-Horizont zum Festwerden des Bohrstrangs.

B.3 Erzmineralisationen

Für die erzpetrographischen Untersuchungen dieses Bohrabchnittes konnten bisher 14 Anschliffe herangezogen werden. Die Auswahl der Schliffproben erfolgte nach makroskopisch erkannten Anreicherungen von Erzmineralen sowie aus Teufenbereichen, die eine repräsentative Charakterisierung der Lithogien bezüglich ihrer Erzmineralparagenesen erlauben soll.

In dem Metagabbro bei 1549 m (Anschliff 3242D1r) findet sich ein deutlicher Anteil von bis zu 1 mm großen oxidischen und <1 mm großen sulfidischen Opakmineralen. Die dominierenden oxidischen Phasen sind regellos in der Grundmasse verteilt, die Sulfide treten nestförmig und in Einzelkörnern auf. Als Erzminerale wurden identifiziert: Ilmenit, Rutil, Leukoxen, Pyrit, Magnetkies, Kupferkies, Markasit, Pentlandit (?).

Ilmenit bildet große, tafelige Formen und Verwachsungen mit ausgeprägter Lamellierung. In Rissen und Hohlräumen finden sich kleine Pyritkörner oder -bänder, Rutil, Anatas und sehr feinkörniger Leukoxen eingelagert (Abb. B.3.1, B.3.2). Rutil bildet neben Einschlüssen in Ilmenit meist ovale Einzelkörner in der Grundmasse mit Zwillingslamellen und bräunlichen Innenreflexen.

Pyrit stellt zusammen mit Magnetkies die wesentliche sulfidische Opakphase dar. Beide Minerale sind oft miteinander verwachsen, wobei Magnetkies meist saumartig von Pyrit umgeben wird. Bei kleinen, xenomorphen Pyritkörnern finden sich randliche Anlagerungen von Ilmenit und Leukoxen. In Magnetkies, der hypidiomorphe Kornformen ausbildet, tritt Pentlandit (?) als helle, flammenförmige Entmischung auf (Abb. B.3.3). Kupferkies bildet fast ausschließlich kleine, xenomorphe Einzelkörner in der Gesteinsmatrix, stellenweise mit Magnetkies verwachsen. Markasit kommt selten in Form kleiner Einschlüsse in Pyrit vor.

Sulfide, die an die Randzone einer hellen Mobilisatlinse im Metagabbro gebunden sind (Anschliff 324F1m = 1550 m), bestehen ausschließlich aus Pyrit. Große Aggregate von stark zerbrochenem Pyrit-I werden von kleineren, homogenen, idio- bis hypidiomorphen Pyrit-II-Kristallen umgeben. Die einzelnen Aggregate von Pyrit-I sind durch mobilisiertes Gesteinsmaterial verkittet.

Im Granat-Amphibolit ist lokal eine disseminierte Sulfidführung makroskopisch erkennbar. Es handelt sich um sehr kleine Einzelkörner, die erratisch in der Grundmasse verteilt sind. Mikroskopisch wurden Pyrit, Kupferkies, Magnetkies, Ilmenit, Rutil, Anatas, Leukoxen und Graphit bestimmt.

Ilmenit stellt in diesem Gesteinstyp die dominierende Erzmineralphase in Form von tafeligen bis unregelmäßigen Aggrega-

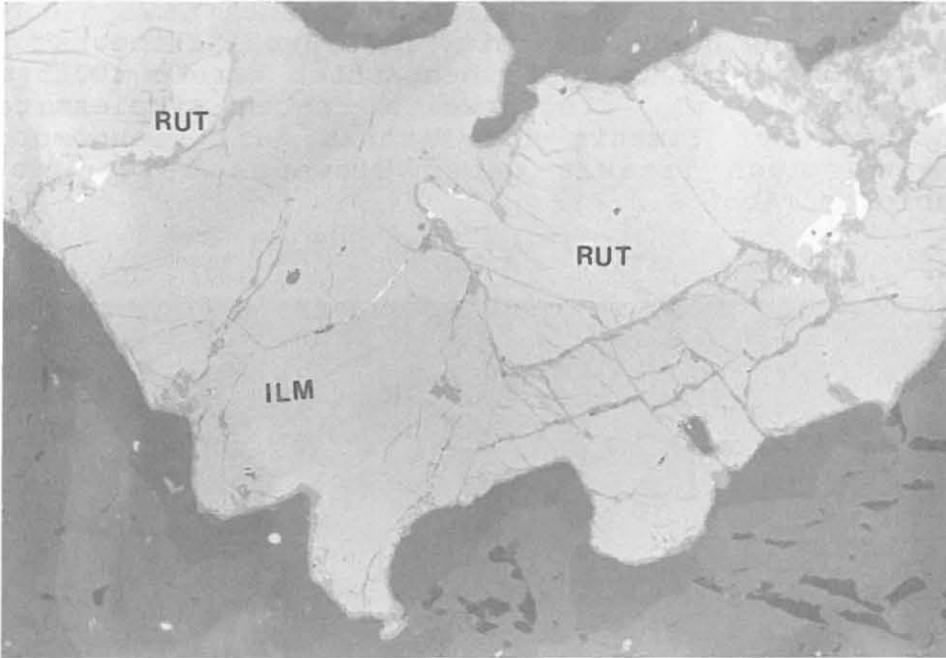


Abb. B.3.1: Ilmenittafel (mittelgrau) mit Einlagerungen von Rutil (hell-mittelgrau) in Metagabbro; die kleinen (weißgrauen) Sulfideinschlüsse im Randbereich zwischen Ilmenit und Rutil bestehen aus Pyrit und sehr wenig Magnetkies. Ilmenit weist leichte kataklastische Überprägung auf.
(Anschliff 324D1r, 1548.89 m, 1 Nicol, 140fach, Luft).

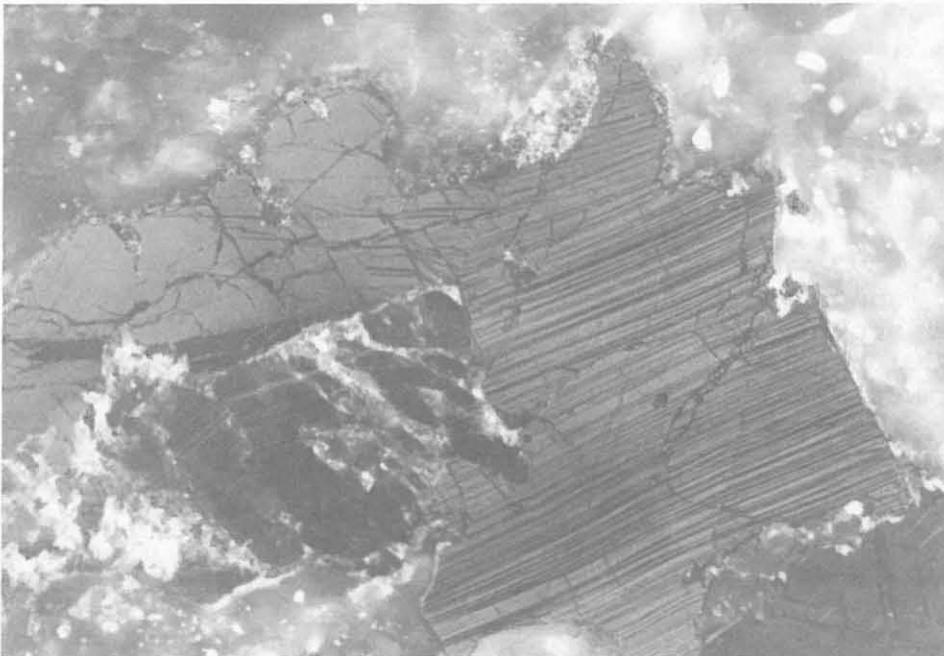


Abb. B.3.2: Gleicher Ausschnitt wie B.3.2; die lamellare Verzwillingung von Ilmenit und Rutil wird deutlich; um Ilmenit ist ein schmaler Saum aus Leukoxen ausgebildet.
(Anschliff 324D1r, 1548,89 m, 2 Nicol, 140fach, Luft).

ten dar. Randlich und in Hohlräumen fanden Umwandlungen zu Rutil, Anatas und Leukoxen statt. Bei Durchlichtbetrachtungen konnten Ilmenitsäume um Rutil beobachtet werden (Dünnschliff 321G1z = 1535.24 m). Stellenweise treten symplektitartige Verwachsungen von Ilmenit und Titanit auf. Pseudomorphosen von Ilmenit nach Titanit geben Hinweise zeigen auf die Altersabfolge (Abb. B.2.7).

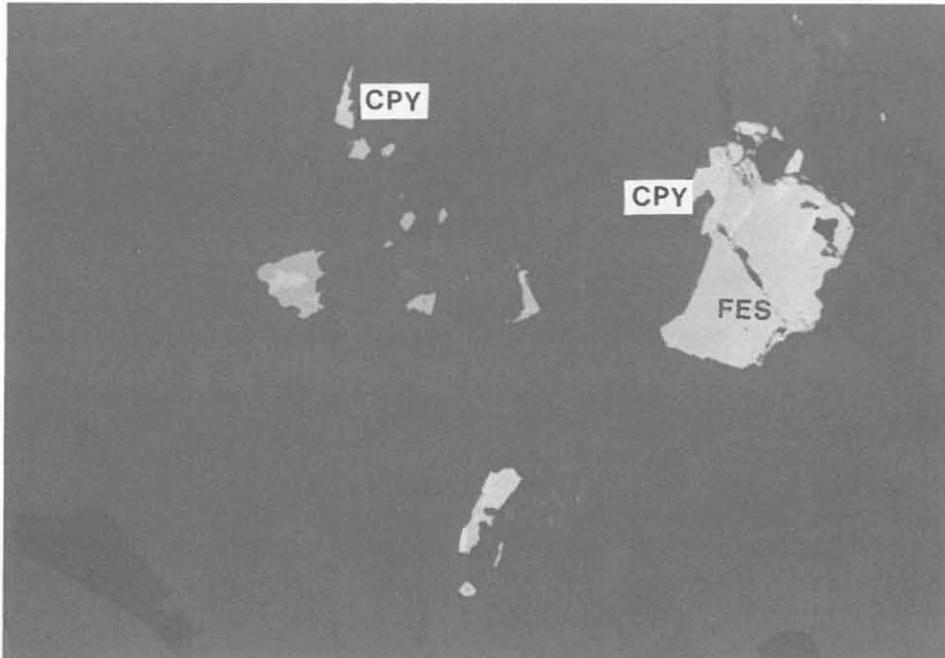


Abb. B.3.3: Magnetkieskörner (FES) mit flammenartigen Pentlandit(?) -Entmischungen (hellgrau) und Kupferkiesanlagerungen (CPY) in Metagabbro. (Anschliff 324D1r, 1548.89 m, 250fach, 1 Nicol, Luft).

Pyrit ist die dominierende sulfidische Phase; er tritt in hypidiomorphen bis xenomorphen Einzelkörnern, aber auch in Kornverwachsungen auf und enthält Einschlüsse von Kupferkies und Magnetkies. Kupferkies bildet kleine Einzelkörner in der Gesteinsmatrix sowie Anlagerungen und Einschlüsse in Pyrit. Magnetkies findet sich untergeordnet in Pyrit. Sehr selten bildet Graphit aufgefiederte Leisten.

Bei 1598 m (Anschliff 333C1o) sind Sulfide an eine Scherzone im Amphibolit gebunden. Die kataklastische Überprägung hat auch die Erzminerale entlang dieser Scherflächenschar in starkem Maße erfaßt (Abb. B.3.4, B.3.5). Größere, ehemals zusammenhängende Pyritaggregate (stellenweise schwach anisotrop) werden von einem Netzwerk von Rissen durchzogen. In den Rissen finden sich kleinste Pyritkörner als "Zerreißel". entlang von Rissen zeigen sich auch kleine und kleinste idiomorphe Pyritneubildungen. Kupferkies bildet kleine Körner

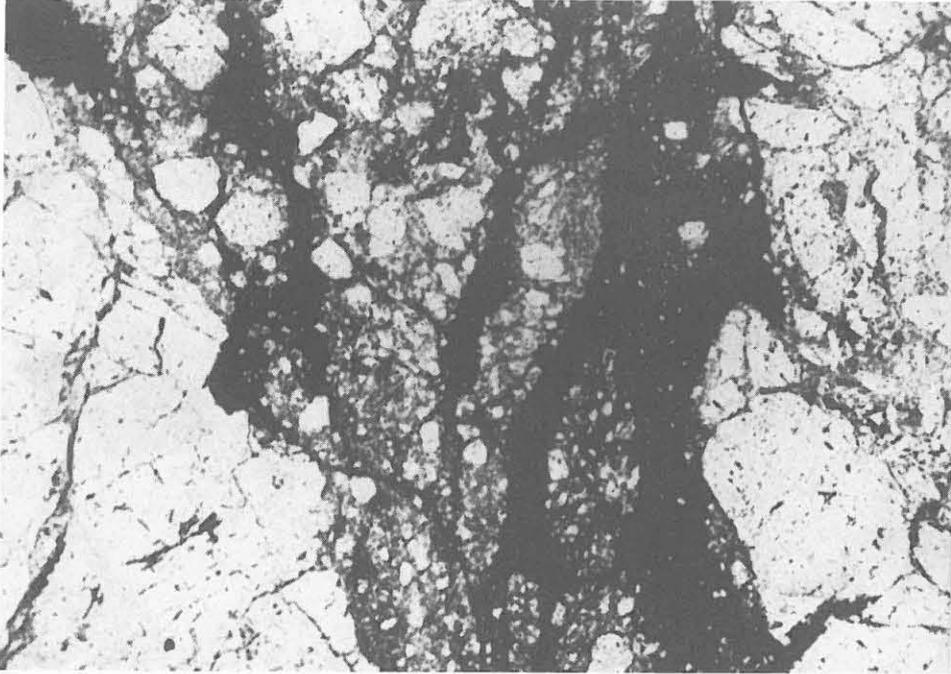


Abb. B.3.4: Kataklastisch überprägter Pyrit mit sehr feinen, abgerundeten Körnern in einer Scherbahn im Amphibolit.
(Anschliff 333C10, 1598.1 m, 12fach, 1 Nicol, Luft).

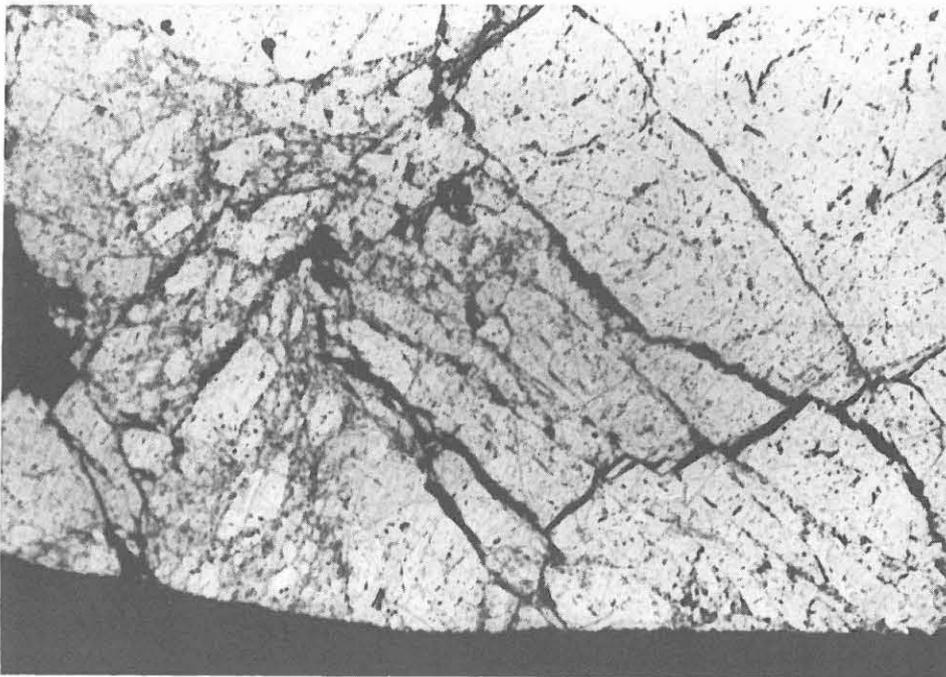


Abb. B.3.5: Durch kataklastische Überprägung gebildete, orientierte Staffelbrüche in Pyrit im Bereich einer Scherzone im Amphibolit.
(Anschliff 333C10, 1598.1 m, 12fach, 1 Nicol, Luft).

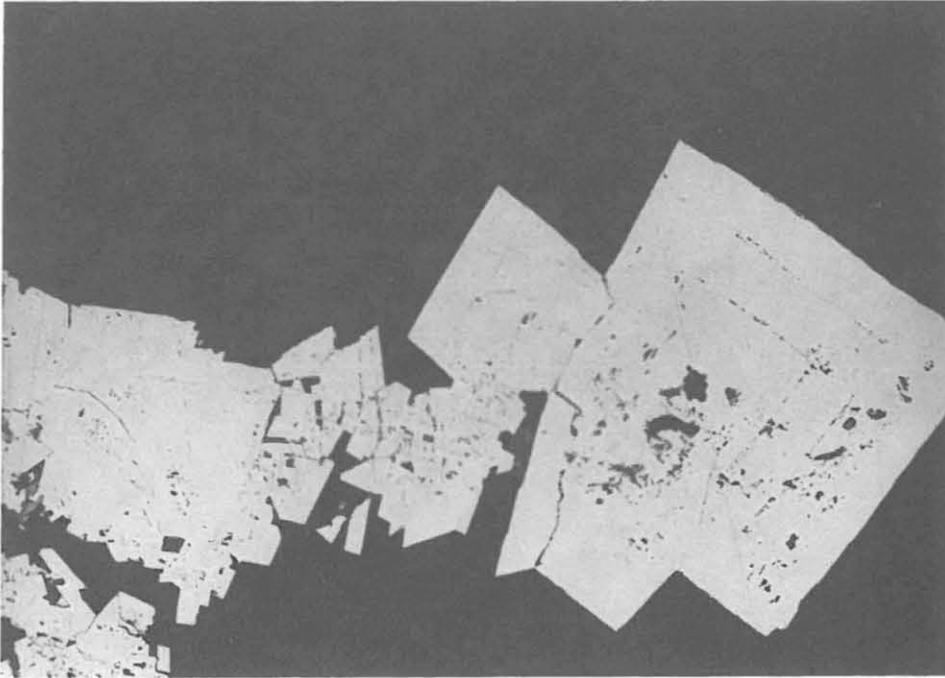


Abb. B.3.6: Kornhaufen aus idiomorphem, z.T. zoniertem Pyrit in Paragneis.
(Anschliff 403A1a, 1791.42 m, 220fach, 1 Nicol, Öl).

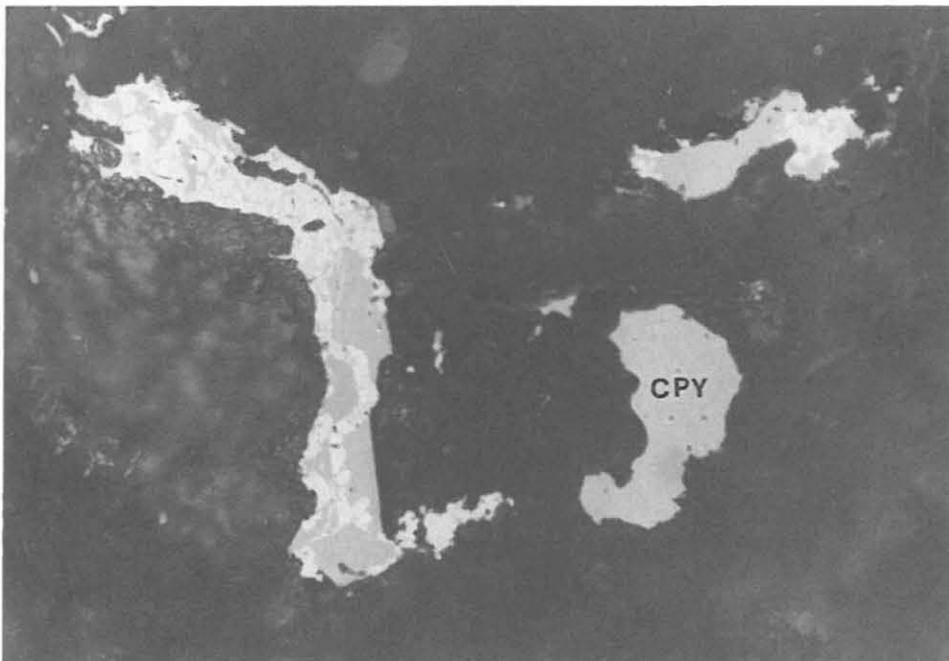


Abb. B.3.7: Innig verwachsener Pyrit (hellgrau) und Magnetkies (mittelgrau) in Paragneis; das größere, unregelmäßige Korn unten rechts stellt Kupferkies dar.
(Anschliff 336D1v, 1615.48 m, 550fach, 1 Nicol, Luft).

in der Matrix und jüngere, hypidiomorphe Hohlraum- und Kluftaufwachsungen und tritt in Pyrit auf.

In den Paragneis-Einheiten ist eine disseminierte Sulfidmineralisation oft an eine stärkere Vergrünung der Gesteine gebunden. Auch auf offenen Trennflächen und entlang von Scherbahnen finden sich ausgewalzte Sulfide ("Tapeten"), stellenweise mit Graphit. Im Auflicht wurden mikroskopisch Pyrit, Kupferkies, Magnetkies, Zinkblende (?), Ilmenit, Rutil, Anatas, Leukoxen, Zirkon und Graphit bestimmt.

In Anschliffen aus repräsentativen Bohrkernproben (Anschliffe 336D1v = 1615.48 m; 390B2b = 1756.42 m; 403A1a = 1791.42 m) finden sich opake Minerale nur untergeordnet und überwiegend als kleine Einzelkörner.

Pyrit, Magnetkies und Kupferkies sind in wechselnder Quantität Bestandteil jeder untersuchten Probe. Pyrit kann idiomorphe Kornformen ausbilden, die durch einen Zonarbau auffallen (Abb. B.3.6). Pyrit und Magnetkies finden sich manchmal in inniger Verwachsung, wobei nicht deutlich wird, welches der beiden Minerale als Verdrängungsphase auftritt (Abb. B.3.7). Pyrit ist auch in den Spaltflächen von Glimmermineralen eingelagert. Kupferkies bildet neben Verwachsungen mit Magnetkies und Pyrit zumeist hypidiomorphe bis xenomorphe Einzelkörner in der Grundmasse. Selten scheint Zinkblende in kleinen Aggregaten mit Kupferkies verknüpft zu sein.

Ilmenit tritt meist in Form kleiner Leisten und Tafeln in Spaltflächen von Glimmern auf und ist oft mit Leukoxen verwachsen. Rutil zeigt braunrote Innenreflexe und ist häufig verzwillingt und bildet Verwachsungen mit Anatas/Leukoxen. Häufiger finden sich Rutilleisten in Granat. Isometrischer bis ovaler Zirkon stellt eine weitere, fast stets präsenile Phase dar. Graphit findet sich nur untergeordnet in der Gesteinsmatrix.

Eine Kupferkiesmineralisation ist an ein helles Mobilisat bei 1693.08 m (Anschliff 362A3T) gebunden. Zwei große xenomorphe und buchtige Aggregate mit zahlreichen Gesteinseinschlüssen weisen geringe Bleiglanzanlagerungen und -spaltenfüllungen auf.

Aus der kernlosen Richtbohrstrecke unterhalb von 1816 m liegen bisher 6 Anschliffe aus Spülproben (Cuttings) vor. Verglichen mit den Anschliffen aus Bohrkernproben sind hier die opaken Phasen (technisch bedingt) vielseitiger. Auffällig ist der hohe Anteil an Metallspänen die aus dem Abrieb des Bohrwerkzeuges oder des Bohrstranges herführen. Im Anschliff fallen diese Späne, denen stets die Einbindung in Gesteinsbruchstücke fehlt, durch ihr hohes Reflexionsvermögen, ihre meist langgestreckte, zerlappte, kolloidomorphe Form und geringe Härte auf (Abb. B.3.8 und B.3.9). Eine andere Form von Spänen liegt in oxidischer Form (Magnetit, Hämatit, Goethit) meist als zonierte Krusten vor (Abb. B.3.10 und B.3.11).

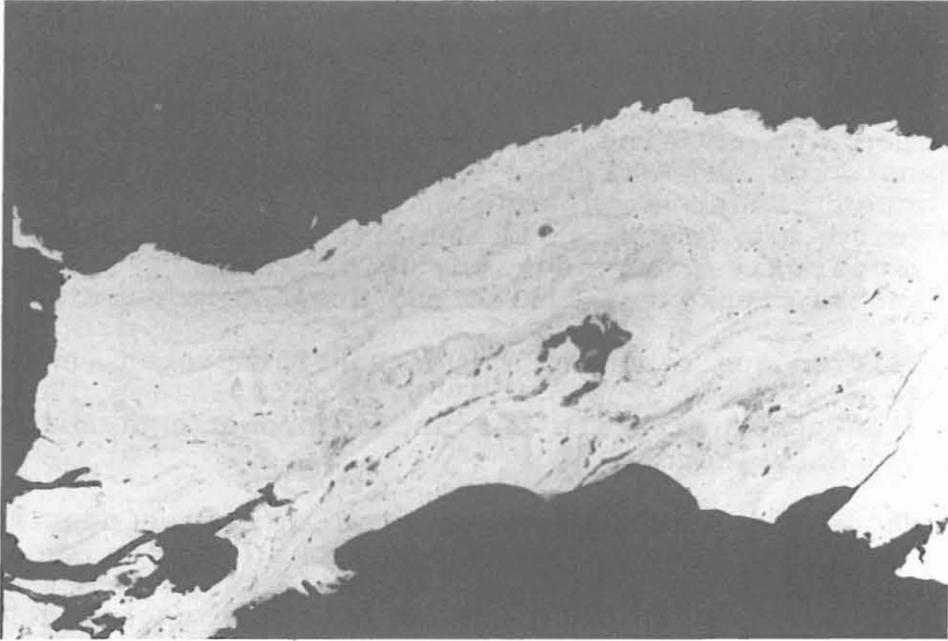


Abb. B.3.8: Sehr hell reflektierender Metallspan mit kollo-
morpher Textur in einer Cuttingprobe aus 1900 m.
(Anschliff CUT1900, 1900 m, 140fach, 1 Nicol, Öl).

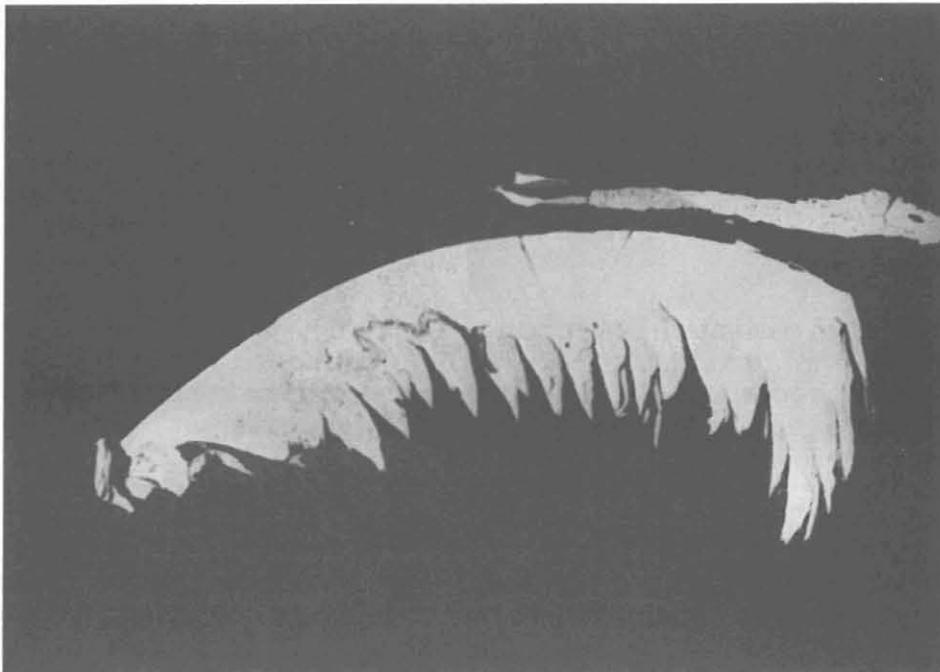


Abb. B.3.9: Heller, stark zerlappter, zahniger Metallspan in
einer Cuttingprobe aus 1900 m.
(Anschliff CUT1900, 1900 m, 160fach, 1 Nicol, Öl).

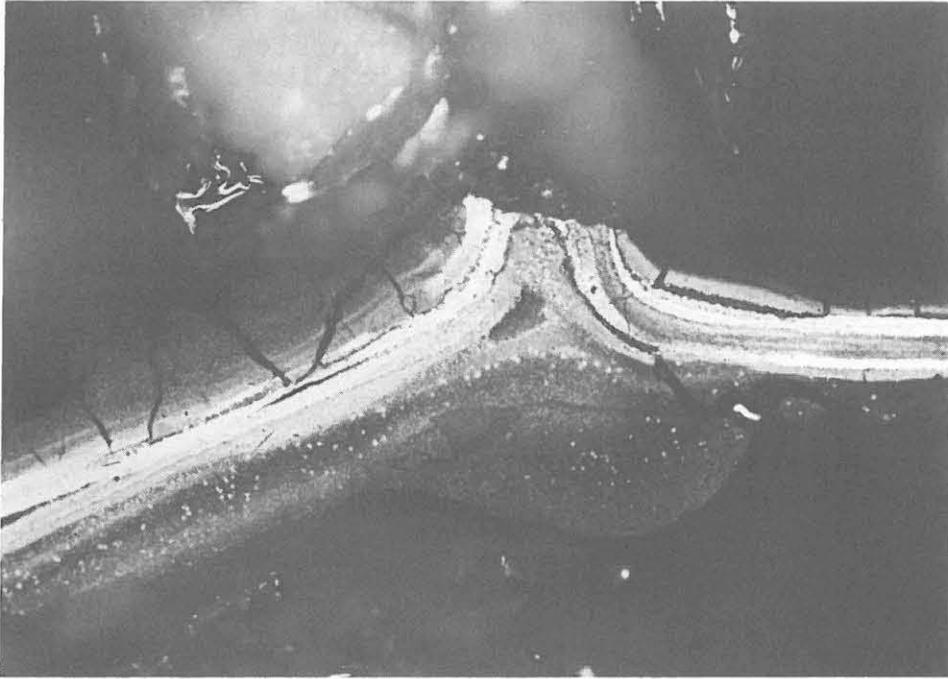


Abb. B.3.10: Aus weißgrauem Hämatit und grauem Goethit aufgebaute Krusten als Beispiel für "oxidischen" Gesteinsgeabrieb in einer Cuttingprobe aus 1971 m.
(Anschliff CUT1971, 1971 m, 290fach, 1 Nicol, Öl).

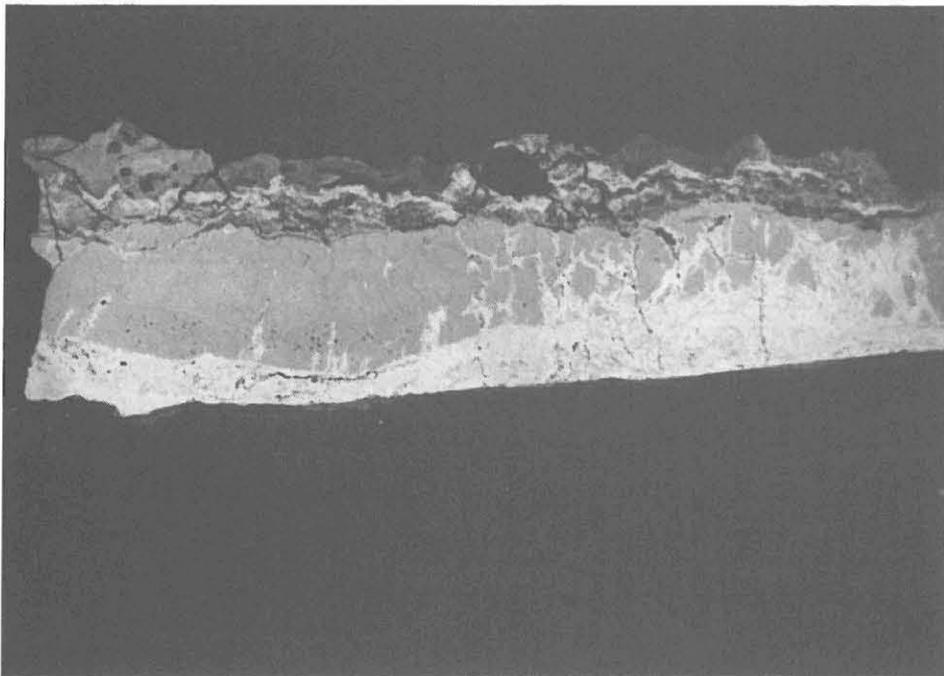


Abb. B.3.11: Magnetit (mittelgrau) wird von Hämatit (weißgrau) und am oberen, stärker zerlappten Rand des Aggregates von Goethit (dunkelgrau) in einem "oxidischen" Metallspan verdrängt.
(Anschliff CUT1971, 1971 m, 250fach, 1 Nicol, Öl).

In dem Sillimanit-Biotit-Gneis bei 1900 m (Anschliff CUT1900) wurden Pyrit, Magnetkies und Kupferkies als sulfidische Erzminerale bestimmt. Pyrit weist oft idiomorphe Einzelformen auf. Magnetkies bildet Einzelkörner in der Grundmasse, manchmal mit Aufwachsungen von Pyrit. Der Kupferkiesanteil liegt meist in Form von kleinen Einzelkörnern vor. Kupferkies ist auch mit Pyrit oder seltener mit Magnetkies verwachsen. Eine enge Verknüpfung dieser 3 Minerale aus dem Cu-Fe-S-System stellt die Voraussetzung für eine Abschätzung der Bildungstemperaturen von Kupferkies (nach SUGAKI et al. 1975 und KOJIMA & SUGAKI 1985 in FRIEDRICH et al. 1988) dar.



Abb. B.3.12: Idiomorpher bis hypidiomorpher Pyrit (weiß) und leistenförmige bis aufgerollte Graphitaggregate (wechselnd diffus-grau) in einer Cuttingprobe aus Paragneis aus 1950 m (Anschliff CUT1950, 1950 m, 160fach, 1 Nicol, Luft).

Rutil weist hypidiomorphe Kornformen mit gelblich- bis rötlich-braunen Innenreflexen auf; entlang von Rissen tritt stellenweise eine isotrope, graurosa-farbene Phase (evtl. Ti-Magnetit) auf.

Die Erzmineralführung in 1971 m Teufe (Anschliff CUT1971), wo vermutlich eine Amphibolit- oder Metagabbro-Einheit eingeschaltet ist, unterscheidet sich weder quantitativ noch qualitativ wesentlich von der aus der Teufe 1900 m beschriebenen. Zusätzlich zu den dort aufgeführten opaken Phasen tritt wenig tafeliger bis unregelmäßig geformter Ilmenit mit

randlichen Leukoxen-Neubildungen und Graphit als aufgefiederte Leisten und kugelige Aggregate hinzu. In einer mittelgrauen, isotropen, gelblichbraune Innenreflexe zeigenden Anlagerung an Magnetkies wird Zinkblende vermutet.

Der Anschliff aus 1994 m Teufe (AS CUT1994) stammt aus der metermächtigen Kataklysezone, in der die Bohrung fest wurde. Der Anteil an opaken Mineralen ist relativ niedrig. Die wesentliche Phase stellt hohlraumreicher Pyrit in größeren idiomorphen Aggregaten mit Einschlüssen von Kupferkies, Magnetkies und Nebengestein dar. Ilmenit bildet kleine leistenförmige Einzelkörner, die in den Spaltflächen von Glimmern eingeregelt sind. Der Graphitanteil ist nur untergeordnet. Die Aggregate sind leistenförmig bis kugelig-aufgerollt in die Gesteinsmatrix eingebettet.

B.4 Strukturgeologie

B.4.1 Makrogefüge der Metabasit-Abfolge

Die Metabasite sind zum größten Teil durch lagig-gestreckte Feldspatfasern foliiert. Nur untergeordnet tritt richtungslos-gleichkörniges Gefüge auf. Lagig intrudierte Mobilisate verstärken die präexistierende Foliation, die zum Teil später verfault wurde (Abb. B.4.6; Kernstück 331C1f). Besonders deutlich ist eine Foliation am Liegendkontakt der Metabasite zu den unterlagernden Paragneisen ausgebildet. Die Foliation fällt hier mit etwa 45° ein. Generell weist die Metabasitfoliation ein flacheres Einfallen (durchschnittlich 50°) als die Gneisfoliation (durchschnittlich 75°) auf (Abb. B.4.1). Kataklastische Deformation, entlang steilstehender Scherbahnen, ist besonders an der Liegendgrenze zu den Paragneisen ein verbreitetes Phänomen.

B.4.2 Makrogefüge der Paragneise

Das makroskopisch sichtbare Gefüge der Paragneise ist lagig-flaserig bis mylonitisch-straflagig ausgebildet. Lagig-flaserige Gneise dominieren zwischen 1610 m und 1623 m sowie unterhalb 1777 m. Höhere Quarz-Feldspatgehalte begünstigen die Ausbildung eines Flasergefüges, während Biotitreichum mehr lagige Gefüge begünstigt. Lagenparallele Quarz-Feldspatmobilisate und Exsudationsquarzlagen betonen das lagige Gefüge.

Mylonitisch-straflagige Gneise treten gehäuft zwischen 1623 m und 1777 m auf, wo sie bis zu mehrere Meter mächtige Horizonte bilden (Abb. B.4.2). Außerhalb dieser Strecke sind mylonitische Gneise nur geringmächtig (Ausnahme 1807 bis 1812 m). Die Verbreitung mylonitischer Verformungsgefüge ist im Detailprofil (Abb. B.6) in der graphischen Darstellung des Foliationseinfallens durch unterbrochene Striche wiedergegeben. Die lagig-flaserigen Paragneise sind mit den feinkörnigen, mylonitisch-straflagigen Gneisen durch graduelle Übergänge verbunden. Zum Teil erfolgt aber auch ein diskontinuierlicher Wechsel der genannten Gefügevarianten an kataklastischen Scherbahnen (1753.6 m). Soweit beobachtet, liegt die Foliation der mylonitischen Gneise stets konkordant zur Foliation der lagig-flaserigen Gneise.

Die mylonitisch-straflagigen Paragneise sind reich an Quarz-Feldspatmobilisaten, die überwiegend parallel zur Foliation liegen und das Gefüge akzentuieren. Die Mobilisatführung ist zum Teil auf einzelne horizontartige Lagen von wenigen cm Mächtigkeit beschränkt (z.B. bei 1738.5 m). Das Gefüge ist dann durch den Gegensatz von mylonitischen, feinkörnig-dichten und flaserigen, mittelkörnig-mobilisatreichen Lagen geprägt. Die Mobilisate sind zum Teil auch recht gleichmäßig über größere

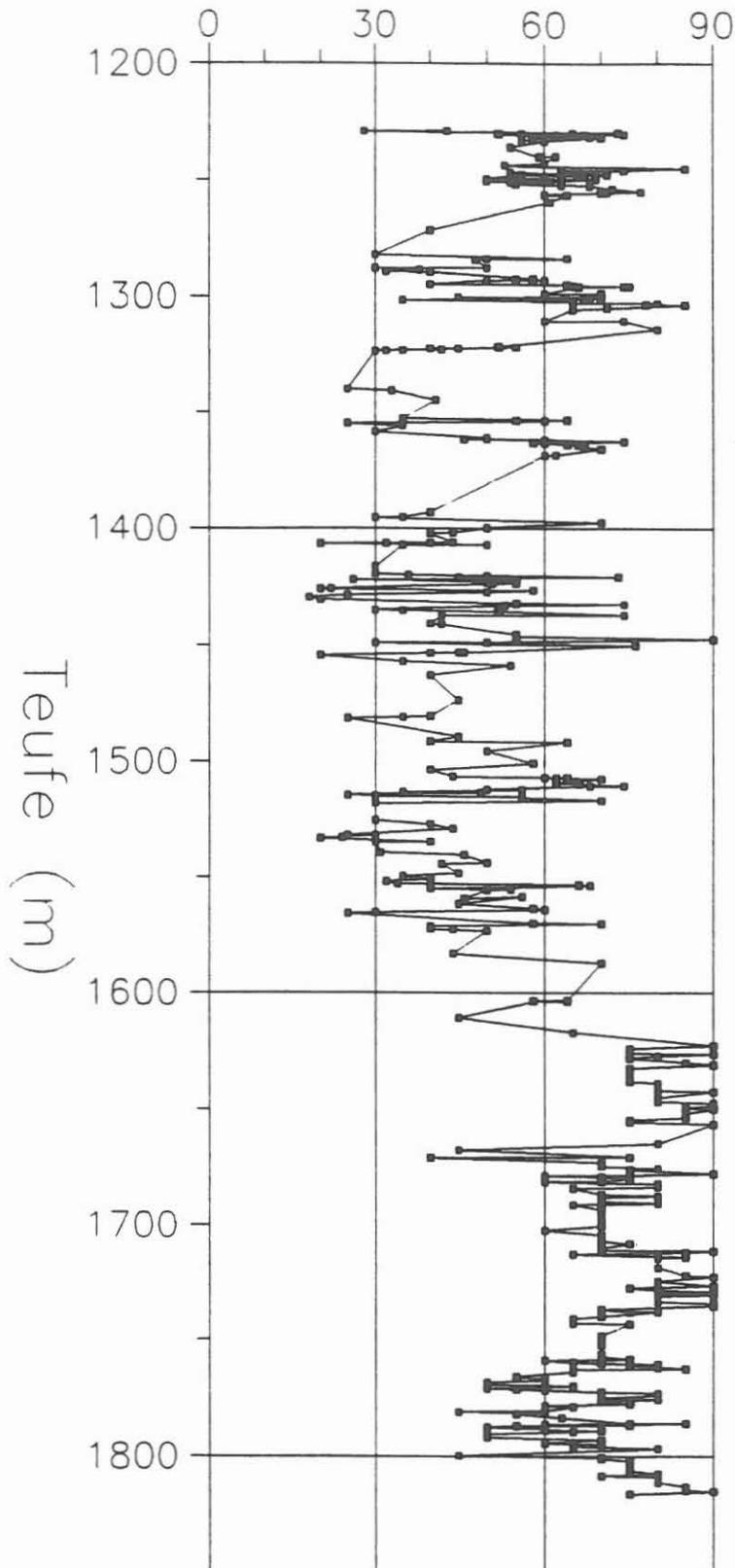


Abb. B.4.1: Fallwinkel der Foliation. An der Grenze Metabazit-Abfolge - Paragneise bei 1610 m wechselt das Einfallen von durchschnittlich 50° auf durchschnittlich 75°.

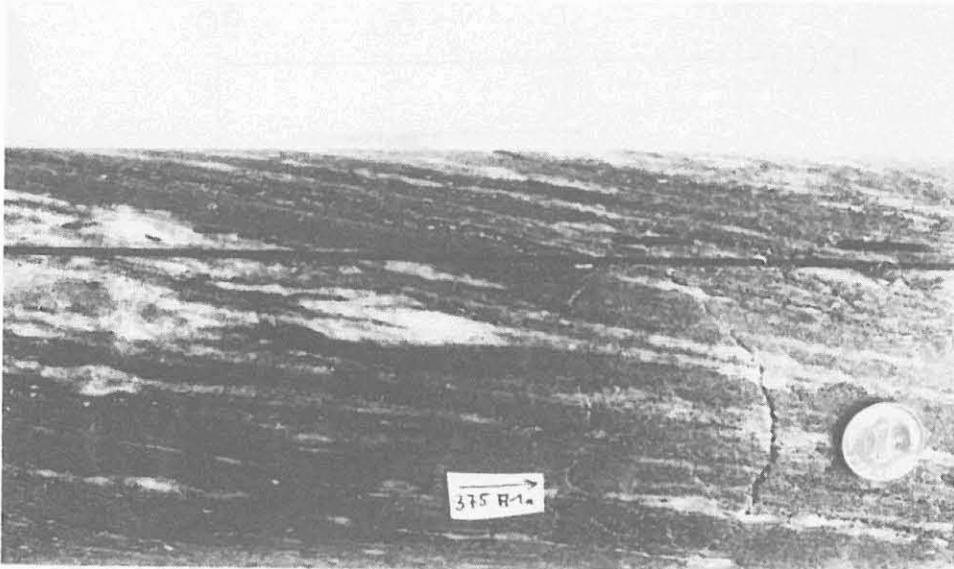


Abb. B.4.2: Mylonitischer Lagenbau im Paragneis mit eng verfaltetem Mobilisat (Kernstück 375A1a, 1713.80 m).

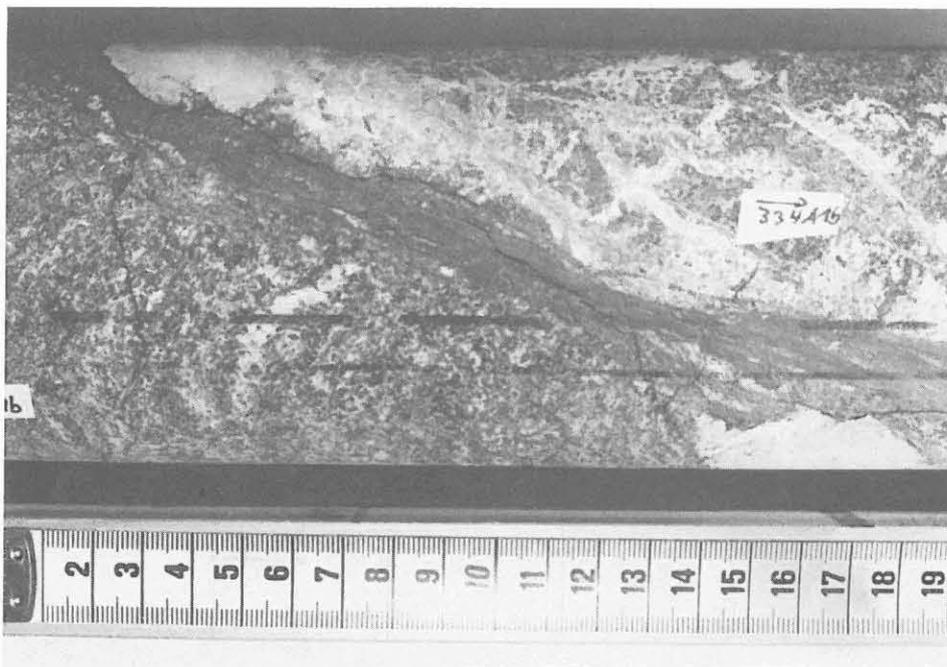


Abb. B.4.3: Steilstehende Kataklysebahn im Amphibolit mit flachliegender Foliation (Kernstück 334A1b, 1601.71 m).

Kernstrecken verteilt und lassen dann das Gefüge nur andeutungsweise mylonitisch erscheinen. Solche strafflagigen, streng bis nur andeutungsweise mylonitisch erscheinende Paragneise mit lagigen Quarz-Feldspatmobilisaten (charakteristisch für die Strecke von 1623 m - 1674 m) zeigen z.T. unter dem Mikroskop eine mylonitische Verformung der Mobilisate. Die Plagioklase sind zu augenförmigen Klasten deformiert, die Quarze zu länglichen Zeilen ausgezogen, die zum Teil die Klasten umfließen (Kernstück 348E2m; 1658.2 m).

Einen hohen Anteil an Mobilisaten weisen auch die mylonitisch-strafflagigen, saiger stehenden Gneise zwischen 1714 m und 1722 m auf. Möglicherweise handelt es sich bei den Mobilisaten dieser Teufe um Segregationsquarzlagen, wie sie von De Wall (1987) aus Myloniten der Zone von Tirschenreuth - Mähring beschrieben werden. In den mylonitischen Gneisen kommen Mobilisate in zwei verschiedenen Generationen vor. Eine Generation ist synkinematisch, da sie parallel zum präexistierenden Lagenbau liegt, aber noch verformt wurde. Die Kontakte zur mylonitischen Matrix sind relativ eben. Ehemals knauerige, gedrungene Mobilisate sind lang ausgezogen (Kernstück 375Ala). Diese synkinematischen Mobilisate zeigen einen internen stofflichen Lagenbau: In einer weißlichen Quarz-Feldspatmatrix treten langgestreckte mm-mächtige Quarzzeilen auf. Solche mylonitisch überprägten Mobilisate werden zwischen z.B. zwischen 1670.04 und 1670.44 m sowie 1713.8 und 1716.88 m beobachtet.

Die andere, postkinematische Mobilisatgeneration liegt konkordant bis diskordant zum mylonitischen Lagenbau. Die Grenzen zwischen Mobilisaten und Matrix sind relativ uneben ausgebildet. Die Quarz-Feldspat-Mobilisate zeigen ein richtungslos-gleichkörniges Interngefüge (Kernstück 372B2g, 1708.39 m).

Stärkere kataklastische Verformung solcher mylonitischer Paragneise wird zwischen 1772 m und 1777m beobachtet. Die kataklastisch erzeugten Makrogefüge der Sillimanit-Biotit-Gneise werden im Kapitel B.4.4 abgehandelt.

B.4.3 Mikrogefüge der Paragneise

Das Mikrogefüge der lagig bis flaserig ausgebildeten Paragneise ist durch granoblastische Quarz-Feldspatverwachsung gekennzeichnet. Abhängig vom Glimmerteilgefüge liegen hauptsächlich zwei Varianten vor.

(1) Ein offenes Glimmerteilgefüge ist häufig an polygonales Pflastergefüge von Quarz und Feldspat gebunden.

(2) Bei halboffenem bis geschlossenem Glimmerteilgefüge liegen lagige bis linsige Quarz-Feldspataggregate vor, die aus schwach gelängten Einzelkörnern, oft mit gebuchteten Korngrenzen (Implikationsgefüge), zusammengesetzt sind. In

solchen Gneisen zeichnen vereinzelt spitzwinklig zur Folia-tion eingeregelter Biotitscheiter und Sillimanitgarben ein zweites Schieferungssystem nach (Schliff 404AlaI, 1795.70 m). Das Mikrogefüge erlaubt keine Interpretation als Scherbandgefüge. Diese zweite Schieferung ist eher als weitspannige Runzelungsschieferung zu interpretieren.

Makroskopisch als mylonitisch-straflagig eingestufte Gneise weisen nur teilweise auch mikroskopisch ein typisch myloni-tisches Gefüge auf (z.B. bei 1688 oder 1753.4 m). Sekundäre Rekristallisation könnte bereichsweise das makroskopisch noch gut sichtbare, mylonitische Gefüge überprägt haben. Feinkörnigkeit der Paragneise verstärkt sicherlich den mylonitischen Habitus. Durch dynamische (primäre) Rekristallisation und die damit verbundene Kornverkleinerung (Kernstücke 359Ala und 388Dlk) entsteht lagenweise oder an Korngrenzen größerer Körner ein protomylonitisches, heteroblastisches Rekristallisationsgefüge des Quarzes.

Duktile Deformation ist ausschließlich an das Quarzgefüge gebunden. Die Plagioklase bildeten bei der gleichen Deforma-tion Kaltverformungsgefüge mit klastischen Spaltrissen und verbogenen Zwillingslamellen aus.

B.4.4 Kataklyse

Kataklastische Deformationsgefüge treten unregelmäßig ver-teilt über die gesamte Kernstrecke hinweg auf. Intensive kataklastische Deformation wird im Übergangsbereich zwischen der Metabasit-Abfolge und liegenden Paragneisen (1595 m - 1630 m) beobachtet. Die starke Zerschering führt zu weit-gehendem Kernzerfall im Bereich zwischen 1595 m bis 1610 m. Auch die Paragneise zwischen 1987 m und 1998 m ("Havarie-zone", nur durch Cuttings erschlossen) zeigen starke Kata-klase; in diesem Bereich steigt der Anteil der mit Graphit imprägnierten Cuttings bis auf 90%.

Die Kataklysebahnen in den zerscherten Amphiboliten und Paragneisen stehen überwiegend steil bis saiger und sind mm bis mehrere cm breit. Sofern sie in Scharen auftreten, durchädern sie dichtständig das Gestein, was sich bis in den mikroskopischen Bereich nachweisen läßt. Kataklysebahnen sind Bereiche intensiver Mineralisation. Meist wird eine starke Chloritführung in den Bahnen beobachtet. Die Scherbahnen werden zum Teil durch dichte, feinkörnige Substanz von schwarzer Farbe abgebildet und erinnern an Pseudotachylite (1619 m und 1622 m). Mikroskopisch sind die schwarzen Scher-bahnen durch eine feinstkörnige, mikroskopisch nicht mehr auflösbare Matrix mit brekziösen Einsprenglingen von Quarz und Feldspat mit stark unterschiedlichen Korngrößen gekenn-zeichnet (Abb. B.2.11).

Entlang kataklastischer Scherbahnen werden vereinzelt Gestei-ne unterschiedlicher Lithologie und unterschiedlichen Gefüges

gegeneinander versetzt. Bei 1585.5 m wird ein richtungslos-körniger Amphibolit gegen mobilisatreichen Amphibolit mit verfalteten Mobilisaten versetzt. Bei 1753.6 m erfolgt ein Versatz mylonitisch-straflagiger Gneise gegen lagig-flaserige Gneise. Die bruchhafte Verformung ist hier mit deutlichen Versätzen verbunden, deren Verschiebungsweiten jedoch nicht genauer bestimmt werden können.

Die intensive kataklastische Deformation im Bereich des lithologischen Wechsels zwischen Metabasit-Abfolge und unterlagernden Paragneisen läßt zwei Interpretationsmöglichkeiten zu:

(1) Der lithologische Wechsel entspricht den primären Verbandsverhältnissen zwischen Metabasiten und Metasedimenten. Das unterschiedliche rheologische Verhalten von Amphiboliten und Gneisen resultierte in einer kataklastischen Überarbeitung dieses Primärkontaktes bei nachfolgender tektonischer Deformation.

(2) Der lithologische Wechsel wurde durch Verschuppung rein tektonisch erzeugt. Die hangende Metabasit-Abfolge hätte danach allochthonen Charakter. Hierfür spricht zum einen, daß sich der Einfallwinkel der Foliation an der lithologischen Grenze Metabasit-Abfolge/unterlagernde Paragneise abrupt ändert und zum anderen, daß sich in den Metabasiten ein reliktsches Hochdruckstadium nachweisen läßt, während in den unterlagernden Paragneisen Hochdruck-Relikte bislang nicht beobachtet wurden.

B.4.5 Klassifizierung der Trenngefüge im Teufenabschnitt 1795.7 m bis 1816.3 m

Zur Erläuterung der auf makroskopischen Daten basierenden, strukturellen Übersicht sei hier der ausgewählte Bereich von 1795.7 bis 1816.5 m (KM 404 - 408) exemplarisch etwas detaillierter dargestellt.

In einer teufenbezogenen Übersicht, die größtenteils aus Kernabwicklungsdaten erstellt werden konnte, lassen sich Sprünge der Referenzlinie erkennen und (statistisch) korrigieren. Eine grobe Klassifizierung bruchhafter Elemente wird möglich und ergänzt die Detailaufnahme am Bohrkern.

Folgende Systeme konnten bisher abgegrenzt werden:

(1) Chloritbelegte Verschiebungsflächen mit Harnischlinearen, die vorwiegend aufschiebenden Bewegungssinn erkennen lassen. Zu diesem System gehören sowohl die foliationsparallelen Flächen als auch subparallel oder deutlich flacher einfallende Elemente. Die Aktivierung der foliationsparallelen Flächen ist auf präexistierende Anisotropien zurückzuführen, wobei besonders glimmerreiche Lagen bevorzugt betätigte

Verschiebungsflächen darstellen.

Die Versatzbeträge sind gering und liegen unter 1 cm. Nach der letzten verfügbaren Televiwer-Messung (bis 1788 m) streut die Fallrichtung der Foliation um 210° bei Fallwerten zwischen 30° und 75° .

(2) Ein anderes, in der Regel flach einfallendes ($5 - 40^\circ$) System von Verschiebungsflächen mit Harnischlineation fällt in südliche Richtung (ca. 190°) und kann als konjugiertes System zu einem weiteren, gegenfallenden System aufgefaßt werden. Knickbänder fallen in dieses System, so daß diese als relativ jung aufgefaßt werden können.

(3) Untergeordnet treten südostfallende Verschiebungsflächen auf, die durch flache bis subhorizontale Harnischlineare als Blattverschiebungen gekennzeichnet sind.

B.4.6 Faltenstrukturen

Die Faltengefüge des bearbeiteten Teufenabschnittes entsprechen den in vorhergegangenen KTB-Reports beschriebenen Faltenstrukturen (vgl. auch Abschnitt E im vorliegenden Band). Es wurden mindestens zwei unterschiedliche Faltengenerationen beobachtet.

Die älteren Falten entstanden im duktilen Faltungsregime und sind in der Regel an mobilisatreiche Gneise gebunden. Die durch metamorphe Differentiation entstandenen Quarz-Feldspatlagen werden von zwei unterschiedlichen Faltentypen verfaltet.

(1) Intrafoliale Falten, die zum Teil abgeschert sind. Das Faltenscharnier bleibt dann als Mobilisatlinse erhalten (z.B. bei 1705.6 m).

(2) Der häufigste Faltentyp in den Gneisen sind monokline, enge Falten in Mobilisatbändern (Abb. B.4.2, B.4.4, B.4.5). Die Faltung erstreckt sich - vermutlich materialbedingt - über etwa 20 cm mächtige, diskrete Bereiche. Auffällig ist eine Häufung solcher Bereiche zwischen 1723 m und 1734 m.

Im Kernstück 375A1a (1713 m), einem mylonitischen Paragneis, wurde ein prämylonitisch gebildetes Quarz-Feldspat-Mobilisat isoklinal verfaltet. Ehemalige Quarzkörner des Mobilisates wurden zu langgestreckten Zeilen ausgewalzt, die parallel zur mylonitischen Foliation liegen. Im Faltenscharnier erfolgt keine Umbiegung dieser Quarzzeilen: Die Verfaltung des Mobilisates erfolgte offensichtlich vor der Mylonitisierung.

Die einzige bisher beobachtete Faltenstruktur im Amphibolit liegt bei 1586.7 m. Eine mehrere cm mächtige Mobilisatlage wurde eng verfaltet und nachträglich an flachliegenden



Abb.B.4.4: Monokline Verfältelung von Mobilisatbändern im Paragneis (Kernstück 380A1a, 1727.50 m).

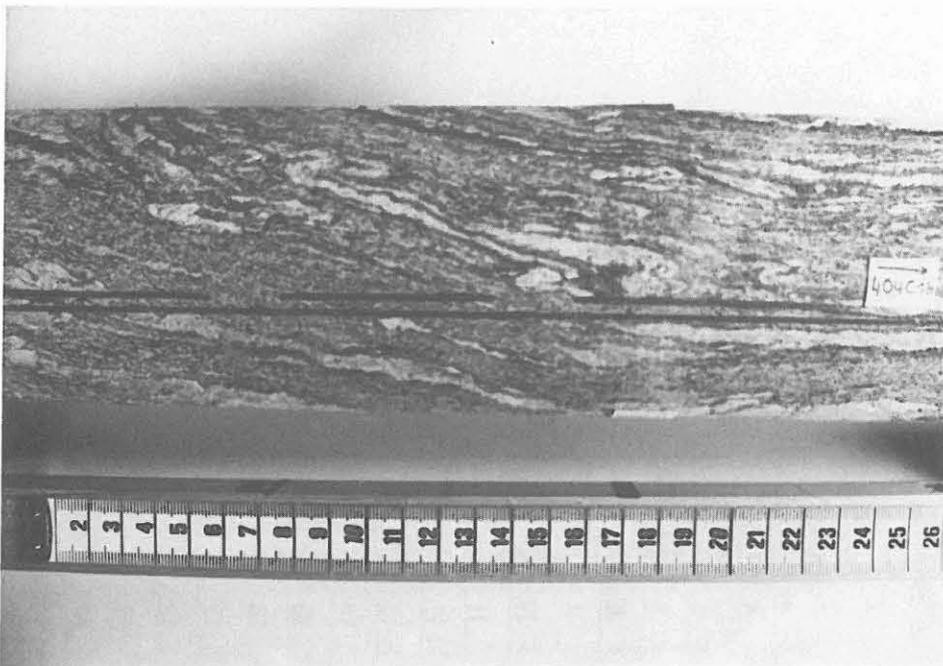


Abb. B.4.5: Monoklin verfaltete Mobilisatlagen im Paragneis (Kernstück 404C1n, 1796.70 m).

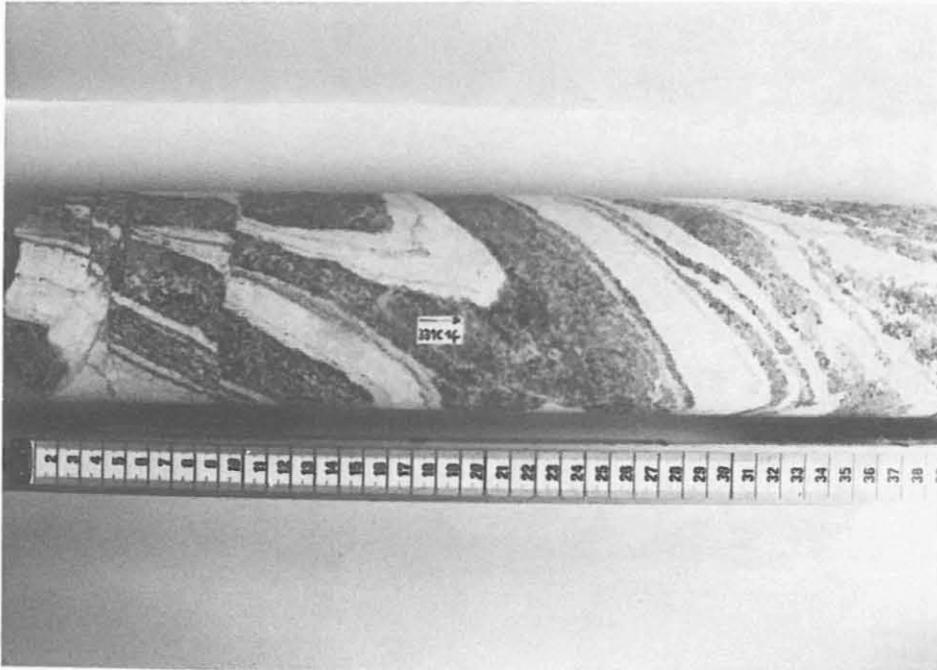


Abb. B.4.6: Mehrere cm mächtige, verfaltete Mobilisatlagen im Amphibolit. Nach der Verfaltung wurden die Mobilisate an kataklastischen Verschiebungsbahnen abschiebend zerschert (Kernstück 331C1f, 1586.57 m).

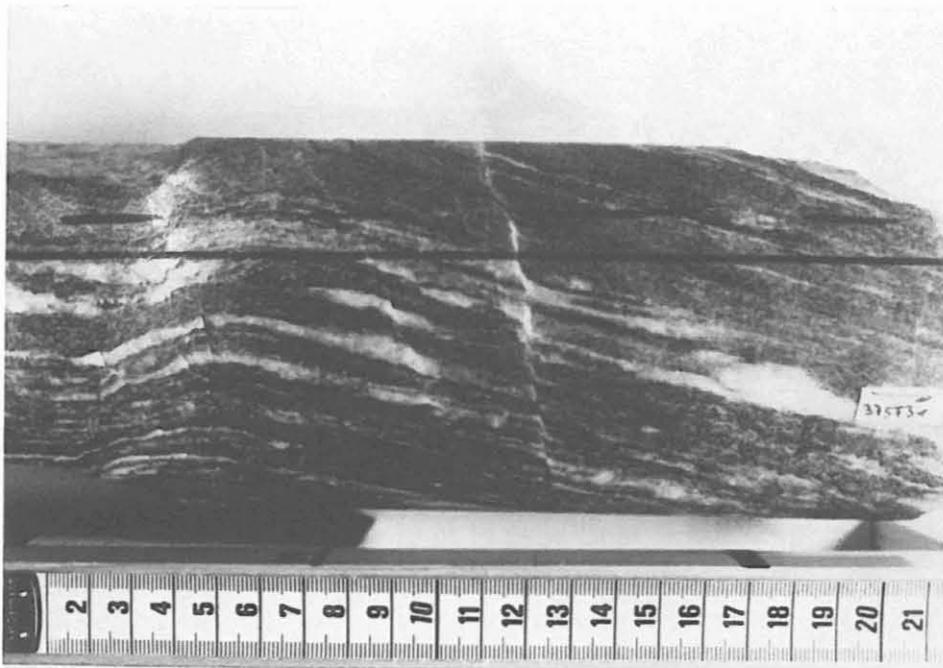


Abb. B.4.7: Flexurartige, aufschiebende Knickzone mit gebleichter Knickfläche. In der Bildmitte flach einfallende, kataklastische Scherfläche mit aufschiebendem Bewegungssinn. Knaueriges Mobilisat (rechts) stellt vermutlich abgeschertes Faltenscharnier einer Intrafolialfalte dar (Kernstück 375F3r, 1717.45 m).

Abschiebungen versetzt (Abb. B.4.6).

Die jüngeren Faltenstrukturen sind einer relativ spröden Deformation zuzuordnen. Dabei handelt es sich um weitspannige, offene Verfaltung der Foliation, teilweise flexurartig oder als Knickfalten ausgebildet. Die zugehörigen Faltenachsenflächen liegen flach oder horizontal (z.B. bei 1610 m oder 1764.6 - 1765.5 m).

B.4.7 Knickzonen

Mit den jüngeren Falten sind möglicherweise gelegentlich auftretende, kataklastische Knickzonen u. -bänder in genetische Verbindung zu bringen (z.B. 1765.5 m - 1771.5 m; 1782.5 m). Die Knickflächen liegen entweder horizontal oder flach aufschiebend (Abb. B.4.7) und sind häufig gebleicht.

Danksagung

Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes danken wir Prof. R. Emmermann, Prof. K. von Gehlen, Prof. K. Weber und Dr. H.-G. Dietrich.

Die Probenvorbereitung und Schliffanfertigung unterlag D. Lang, O. Leitner, P. Prători, X. Spies, D. Wagner und E. Wiendl. Für die Unterstützung bei den fotografischen und zeichnerischen Darstellungen danken wir M. Neuber und E. Nuber.

Die im Feldlabor für die mikroskopischen Untersuchungen vorbereiteten Anschliffe wurden am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen fertiggestellt.

Für die Textverarbeitung und graphische Darstellungen stellten die Arbeitsgruppe Geophysik im Feldlabor und die Arbeitsgruppe Datenverarbeitung der KTB-Projektleitung freundlicherweise Rechnersysteme zur Verfügung.

B.5 Schriftenverzeichnis

- BOHLEN, S.R., WALL, V.J. & BOETTCHER, A.L. (1983): Experimental investigation and geological applications of equilibria in the system FeO-TiO₂-Al₂O₃-SiO₂-H₂O.- Am. Min., **68**, 1049-1058.
- FRIEDRICH, G., KOTNIK, M., REDECKE, P., VAN DELDEN, S., VOGTMANN, J. & KEYSSNER, S. (1988): Erzpetrologisch-geochemische Untersuchungen an Bohrkernen des Kontinentalen Tiefbohrprogramms - Voruntersuchung der Lokation Oberpfalz.- Abschlußbericht DFG Fr 240/45-1/45-2, Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre, RWTH Aachen, 178 S. (unveröff.).
- GRAUP, G., HACKER, W., KEYSSNER, S., MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C. & UHLIG, S. (1988): KTB Oberpfalz VB - erste Ergebnisse der geologischen Aufnahme bis 480 m. - KTB Report **88-1**, B1-B104, Hannover.
- HACKER, W., KEYSSNER, S., MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C., UHLIG, S. & GRAUP, G. (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 480 bis 992 m. - KTB Report **88-2**, B1-B60, Hannover.
- KEYSSNER, S., MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C., GRAUP, G. & HACKER, W. (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530 m. - KTB Report **88-6**, B1-B88, Hannover.
- KOJIMA, S. & SUGAKI, A. (1985): Phase relations in the Cu-Fe-Zn-S-system between 500 °C and 300 °C under hydrothermal conditions.- Econ. Geol., **80**, 158-171.
- MATTHES, S. & SEIDEL, E. (1977): Die Eklogitvorkommen des kristallinen Grundgebirges in NE-Bayern, X. Bestehen genetische Beziehungen zwischen Eklogit und Meta-Gabbro innerhalb des Münchberger Gneisgebietes? - N. Jb. Min. Abh., **129**, 269-291.
- SUGAKI, A., SHIMA, H., KITAKAZE, A. & HARADA, H. (1975): Isothermal phase relations in the system Cu-Fe-S under hydrothermal conditions at 350 °C and 300 °C.- Econ. Geol., **61**, 806-823.
- WALL, H. de (1987): Mikrostrukturelle Untersuchungen und strukturgeologische Kartierung der Gesteine aus dem Übergangsbereich Moldanubikum/Saxothuringikum W'Mährlng, Oberpfalz. - Dipl.-Arb. Göttingen, 84 S.+Anh., (unveröff.).

B.6 Anhang

B.6.1 Erläuterungen zum geologischen Profil (Abb.B.6.1)

Spalte	Erläuterung
CUTTINGS	Die erbohrten Cuttings werden vor Ort naß gesiebt, getrocknet und die Fraktionen volumetrisch ausgewogen. Dargestellt sind die prozentualen Anteile der Fraktionen. Der Graph zeigt: links: grobe Fraktion = größer als 1 mm mitte: feine Fraktion = 0.063 - 1 mm rechts: feinste Fraktion = kleiner als 0.063 mm
GAMMA-RAY	In der Kurve GAMMA-RAY ist die natürliche Gamma-Strahlung der durchbohrten Gesteine in API-Einheiten angegeben. Sie ist ein Maß für den Gehalt an Kalium, Uran und Thorium im Gestein, den einzigen natürlich vorkommenden radioaktiven Elementen.
KALIBER	Die Kurve KALIBER zeigt den Bohrl Lochdurchmesser an. Der Außendurchmesser der Bohrkronen beträgt 152 mm (6"). GAMMA-RAY und KALIBER sind Bohrl Lochmessungen.
LITHOLOGIE	Gesteinsname und seine graphische Darstellung
FOLIATION	Das Einfallen der Foliation in Grad ist als Zahl und zur Veranschaulichung als Graph angegeben. Richtungslos-körniges Gefüge ist durch Punktsignatur gekennzeichnet. Gestrichelte Linien kennzeichnen ein mylonitisches Gefüge.
ALTERATION/ STÖRUNGEN	Nach der Cutting- und Dünnschliffanalyse wurde ein qualitativer Alterationsgrad nach folgendem Schema festgelegt: 1 = frisches Gestein 2 = schwach alteriertes Gestein 3 = deutlich alteriertes Gestein 4 = völlig alteriertes Gestein Die Grenze unterschiedlich alterierter Gesteine ist durch eine waagerechten Strich markiert. Über und unter ihr ist der entsprechende Alterationsgrad angegeben. Störungen, die am Kern beobachtet wurden, sind durch eine gerade Linie dargestellt.

KERNMARSCH Ein Kernmarsch ist ein maximal 6 m langer Bohrkern, der in einem Arbeitsgang abgebohrt und dann geborgen wird. Kommt weniger Kernmaterial zu Tage als abgebohrt wurde, wird der fehlende Teil als VERLUST bezeichnet. Die über Tage angekommene Kernstrecke heißt GEWINN. Der Kerngewinn wird schematisch nach oben an den Beginn des Kernmarsches geschoben.

KLÜFTIGKEITS-ZIFFER Für die Korrelation mit dem Bohrfortschritt, Auskesselungsbereichen oder sonstigen Bohrparametern wurden am Kern die Anzahl der Klüfte pro Meter (=Klüftigkeitsziffer) bestimmt. Gezählt wurden ebene Trennflächen, an denen der Kern bereits zerbrochen war oder an denen er in Kürze zerbrechen würde (latente Klüfte). Zur besseren Übersicht ist die Klüftigkeitsziffer in Abb. B.2.10 in komprimierter Form dargestellt.

PROBEN Hier sind die Beprobungspunkte des Feldlabors aufgelistet. Im Einzelnen bedeutet:

Zentrifuge RDA/RFA: An den markierten Stellen liegen Röntgen-Fluoreszenz-Analysen von Haupt- und Spurenelementen vor. Der modale Mineralbestand wurde durch quantitative Röntgen-Diffraktometer-Analysen ermittelt. Das Analysenmaterial ist eine Bohrmehlprobe. Sie wird durch zentrifugieren der Bohrspülung gewonnen.

Anschliffe: An diesen Stellen liegen polierte Anschliffe für die Erzmikroskopie vor. Teilweise wurden Kernstücke, teilweise Cuttings (Bohrklein) zur Schliffherstellung benutzt.

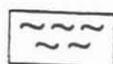
Kernstücke RDA/RFA: Wie Zentrifuge RDA/RFA nur wurden hier Kernstücke analysiert.

Dünnschliffe: An diesen Stellen liegen Gesteinsdünnschliffe für die Durchlicht-Polarisations-Mikroskopie vor. Sie wurden von Kernstücken hergestellt.

Abkürzungen:

MTA-UMA	=	Meta-Ultramafitit
GNT-AMP	=	Granat-Amphibolit
QRZ, PLG	=	Quarz, Plagioklas
GNT, DTH	=	Granat, Disthen
SIL, BIO	=	Sillimanit, Biotit
MUS, PLG	=	Muskovit, Plagioklas

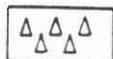
Signaturen:



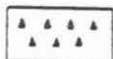
(Granat-Disthen-Sillimanit)-Biotit-Gneis



Granat-Amphibolit



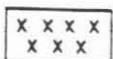
Metagabbro



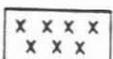
Meta-Ultramafitit



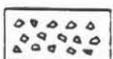
Lamprophyr



Quarzgang



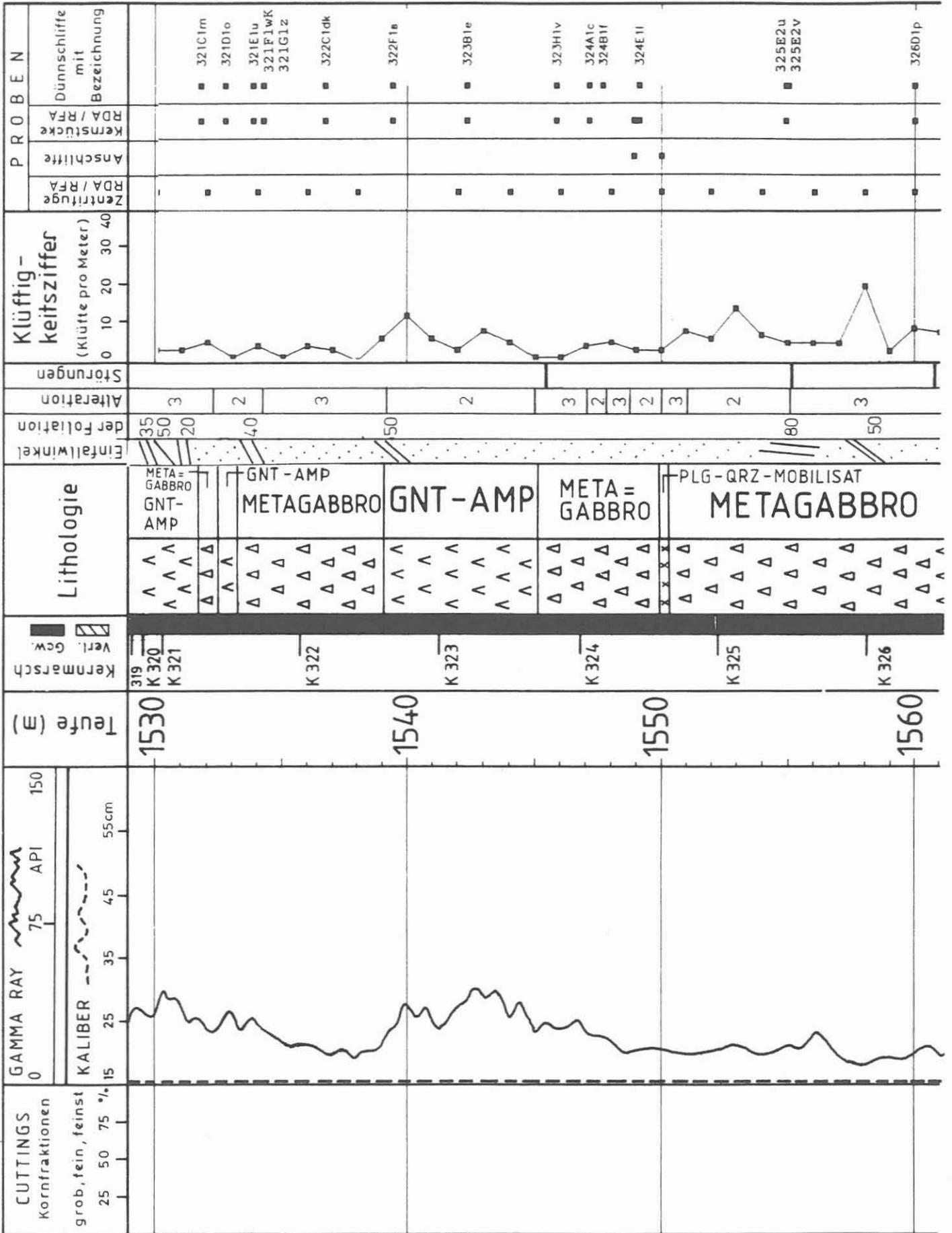
Quarz-Plagioklas-Mobilisat

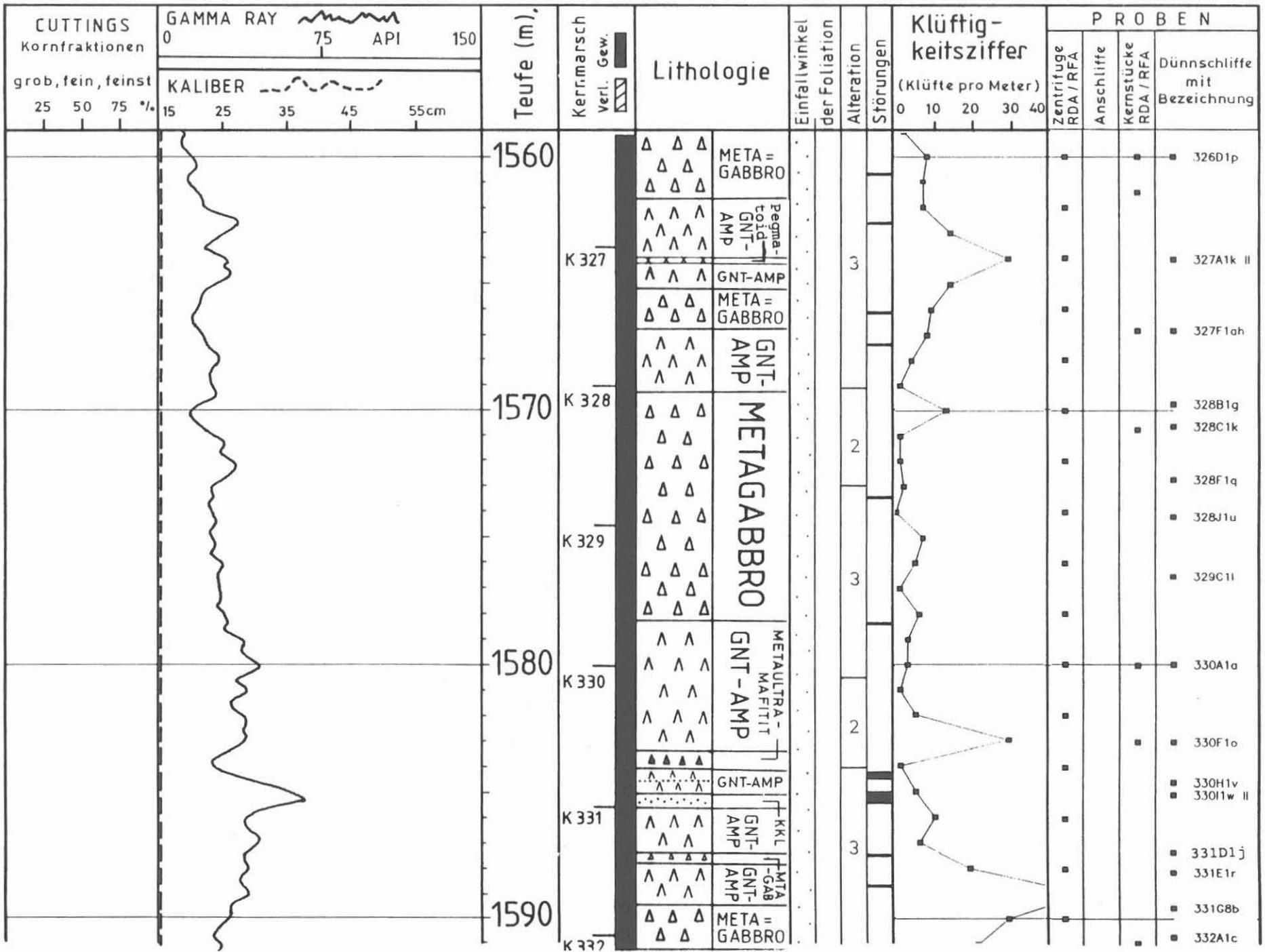


Störungsbreccie

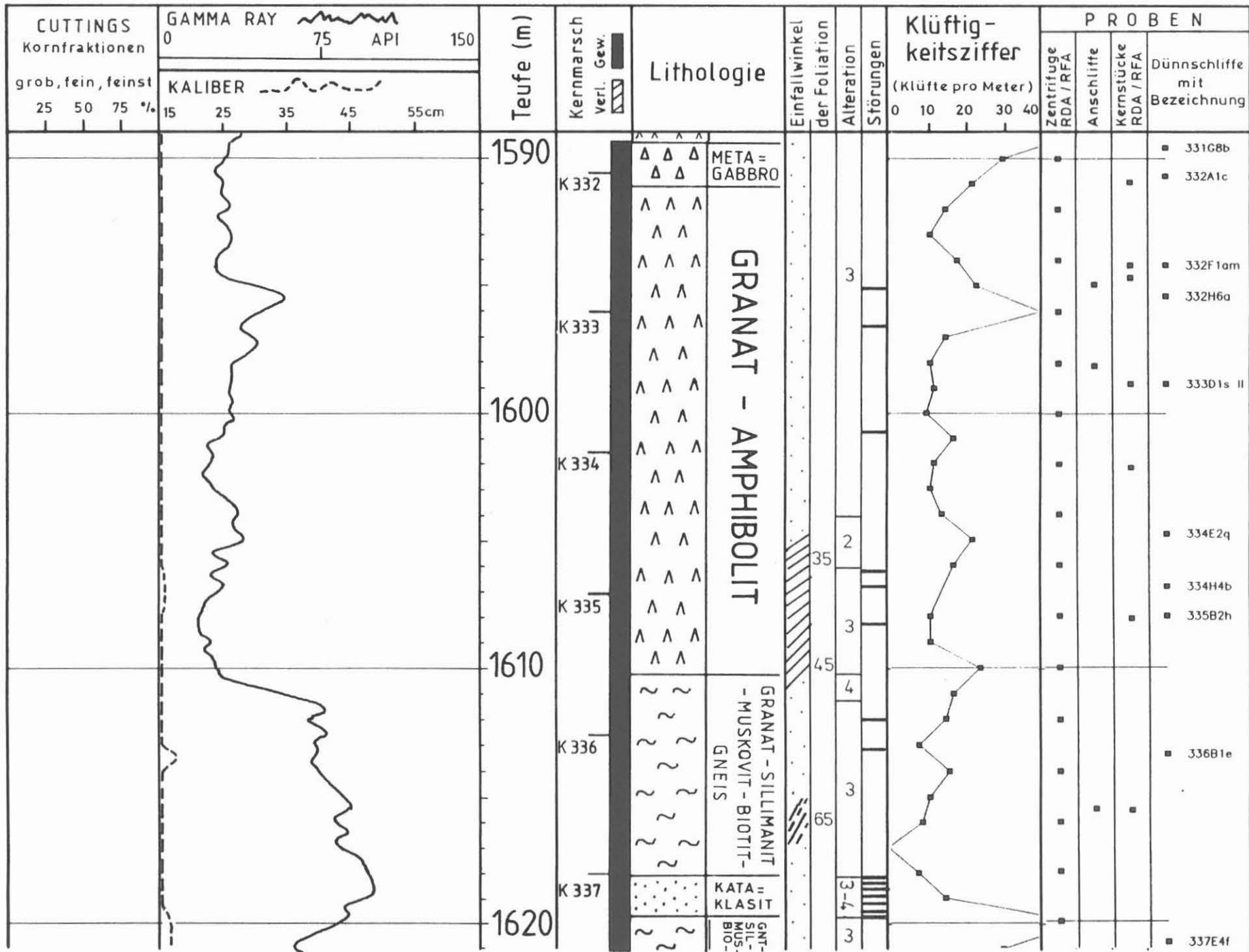
Folgende Seiten:

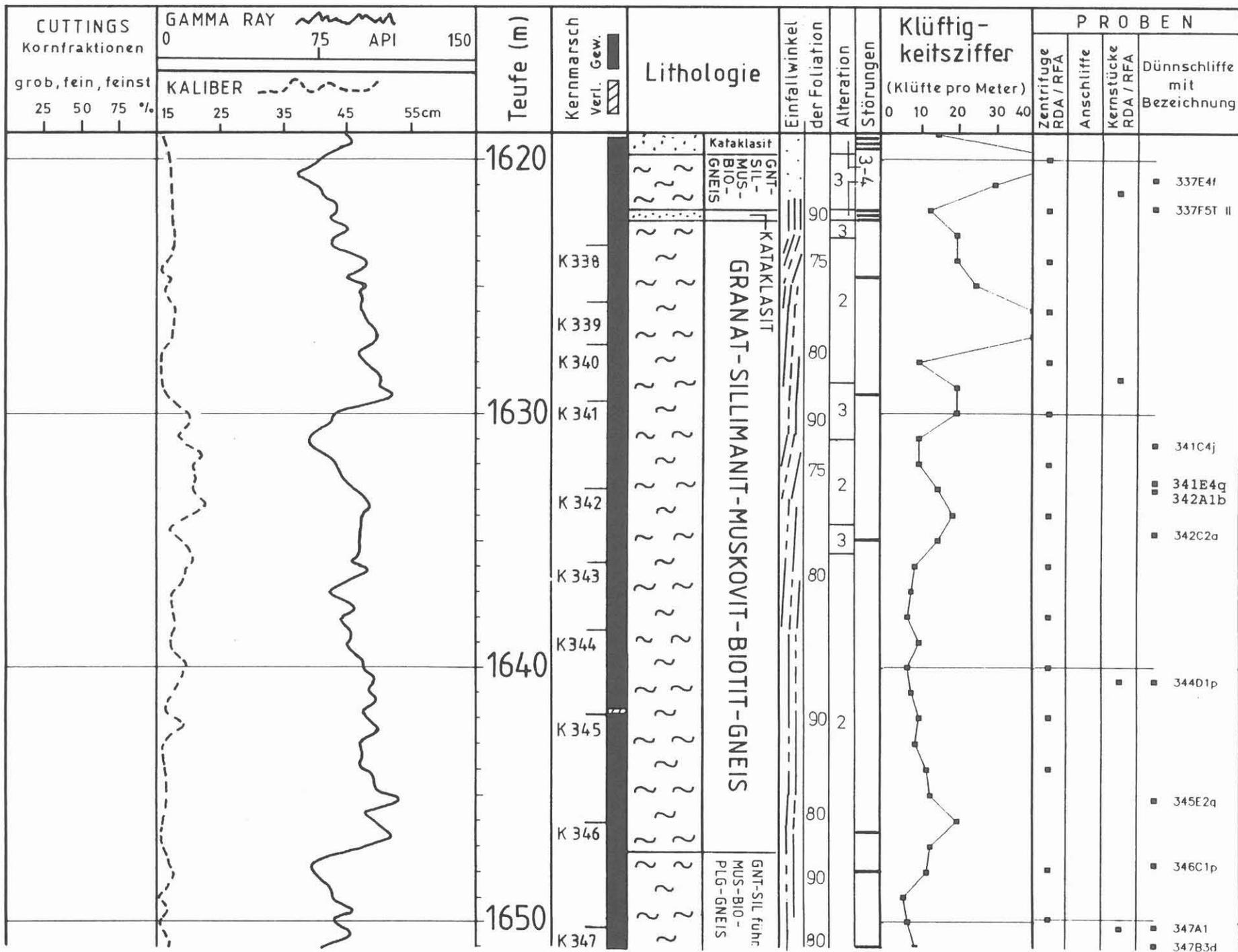
Abb. B.6 : Profildarstellung der geologischen Ergebnisse im Vergleich mit ausgewählten bohrtechnischen Daten und Bohrlochmessungen im Maßstab 1:200.

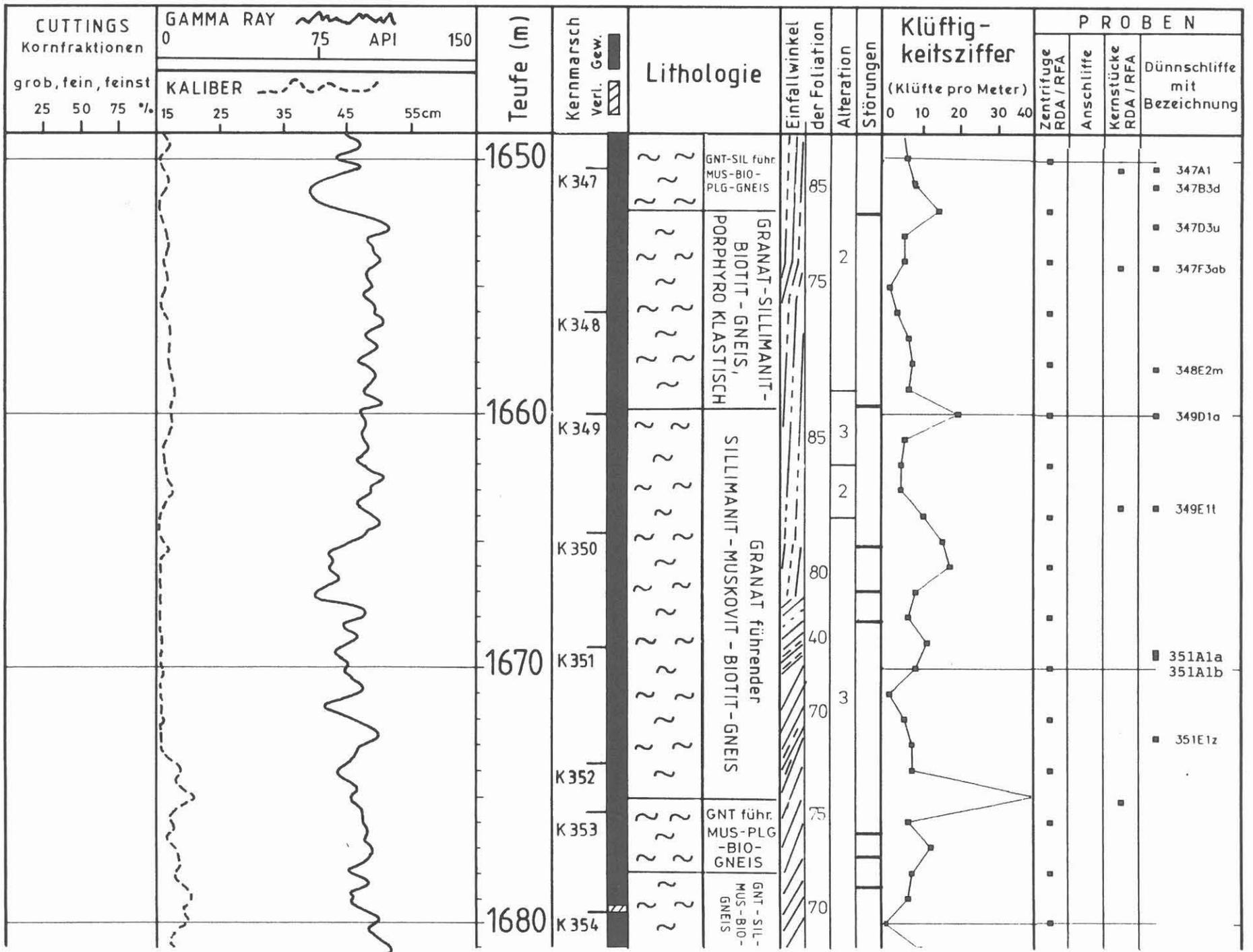


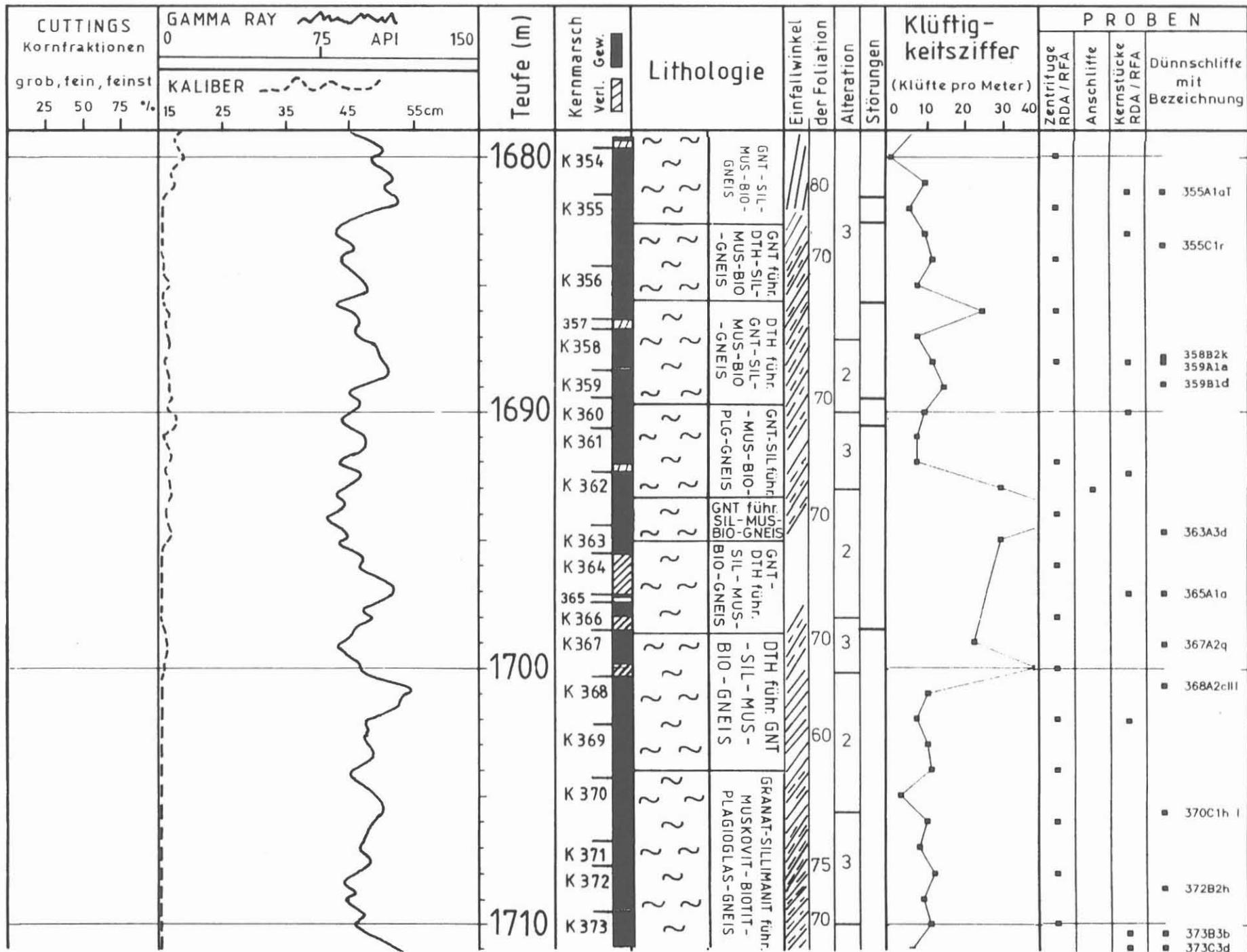


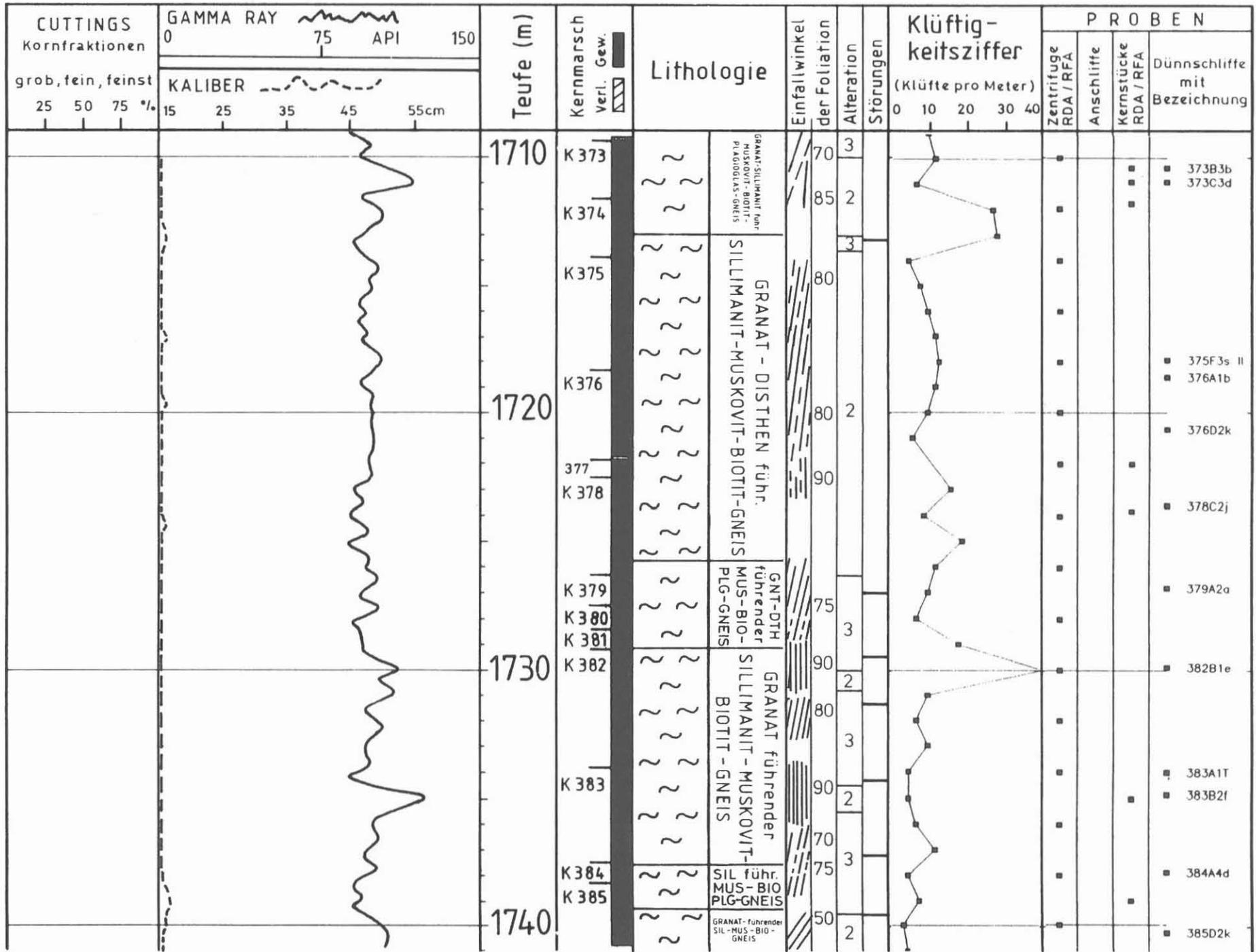
73

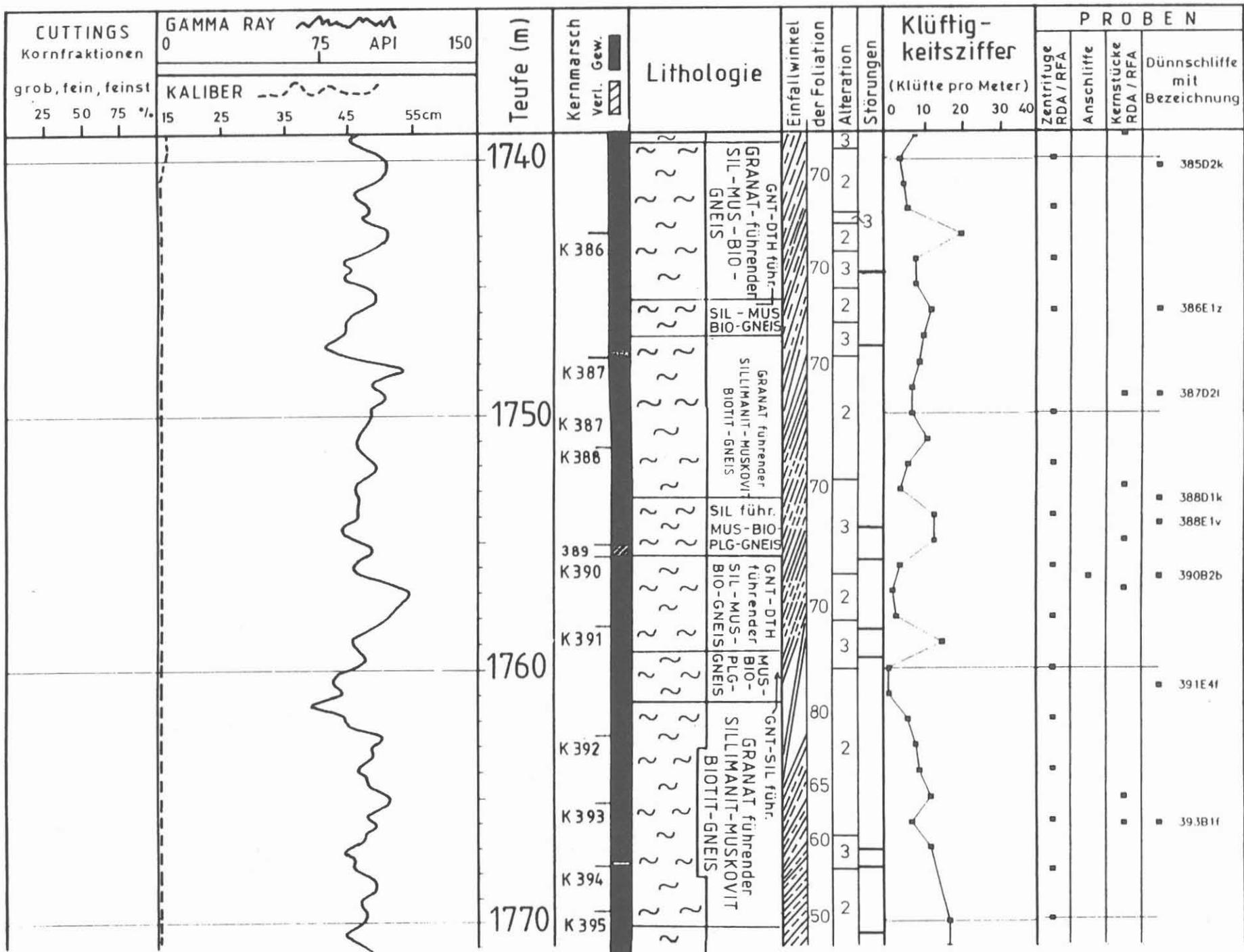


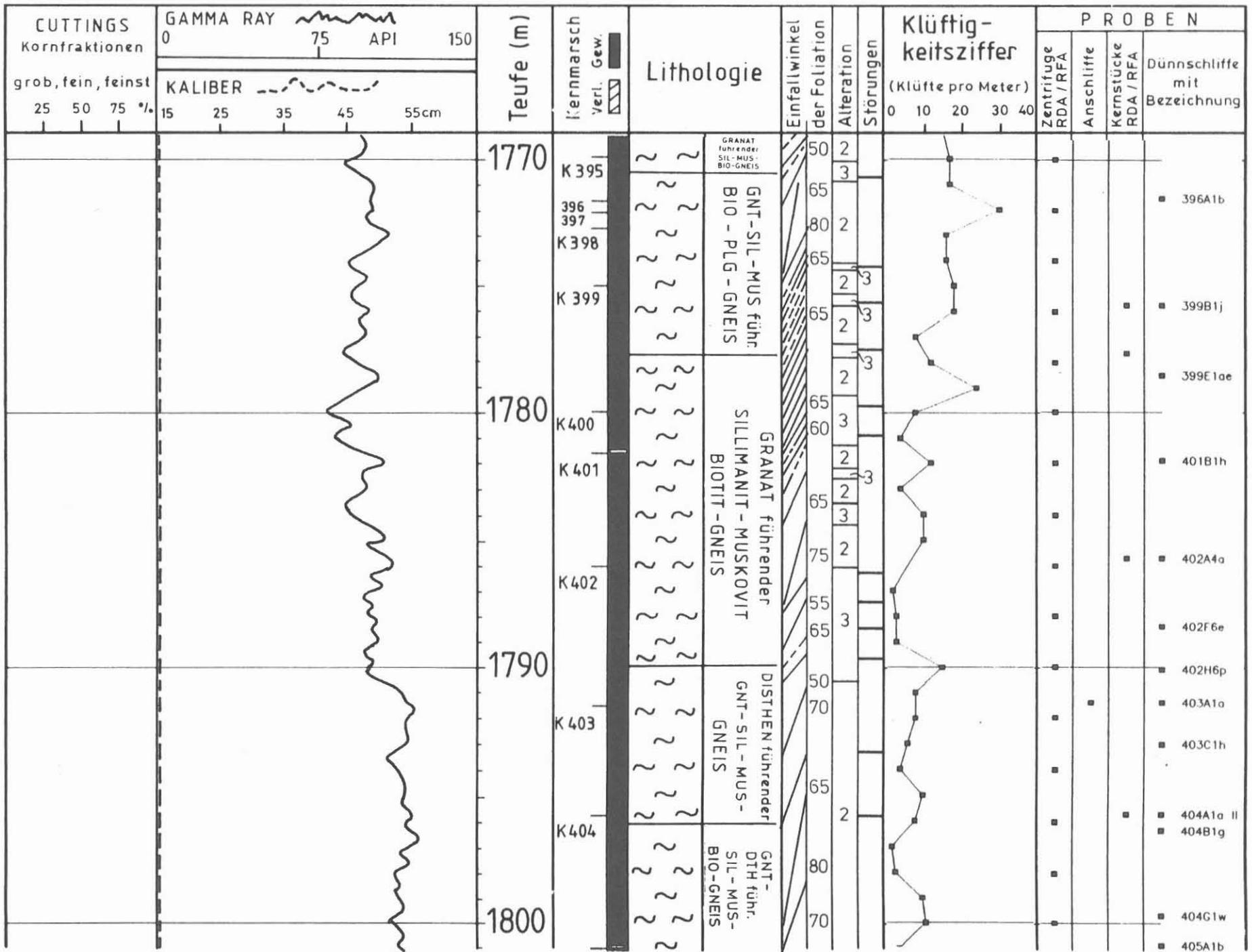


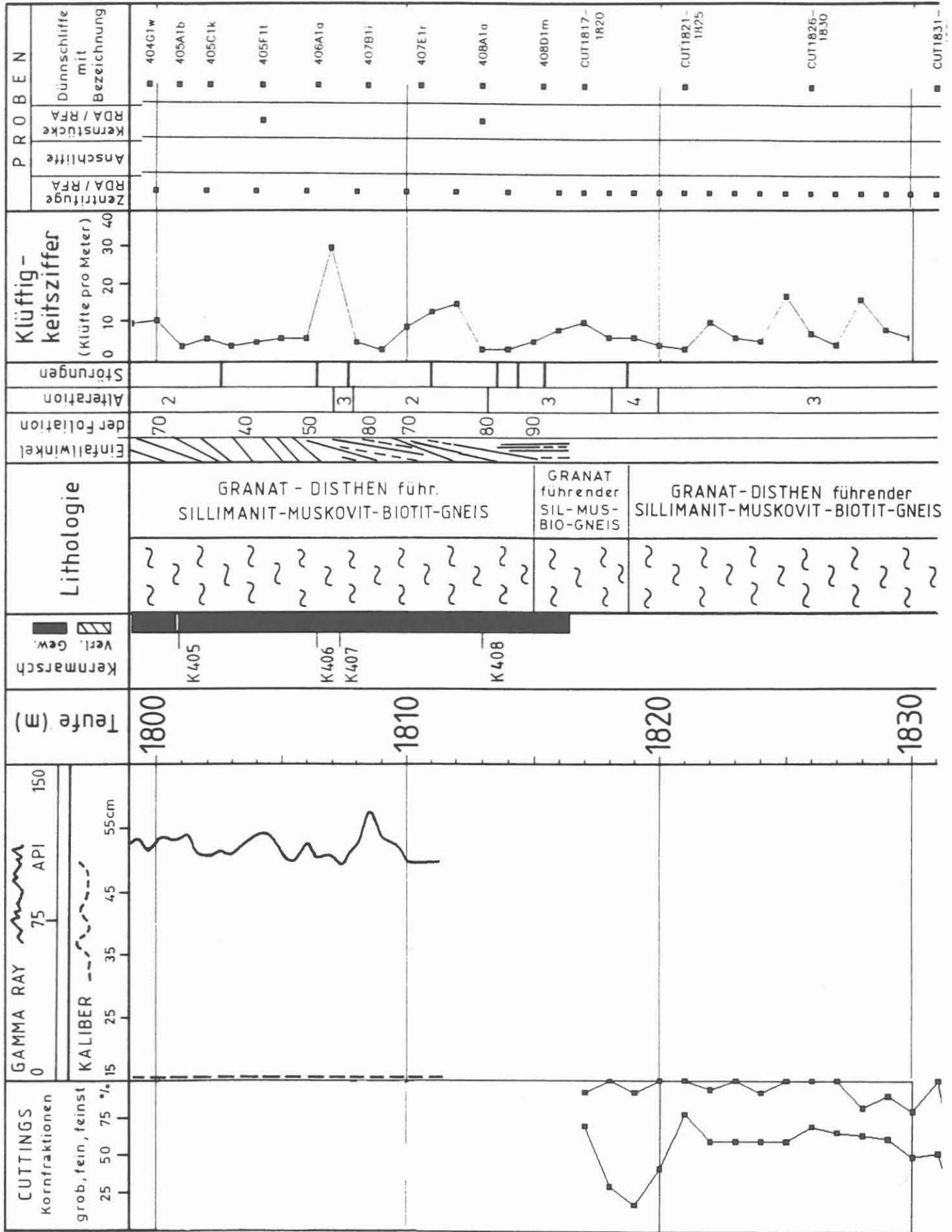


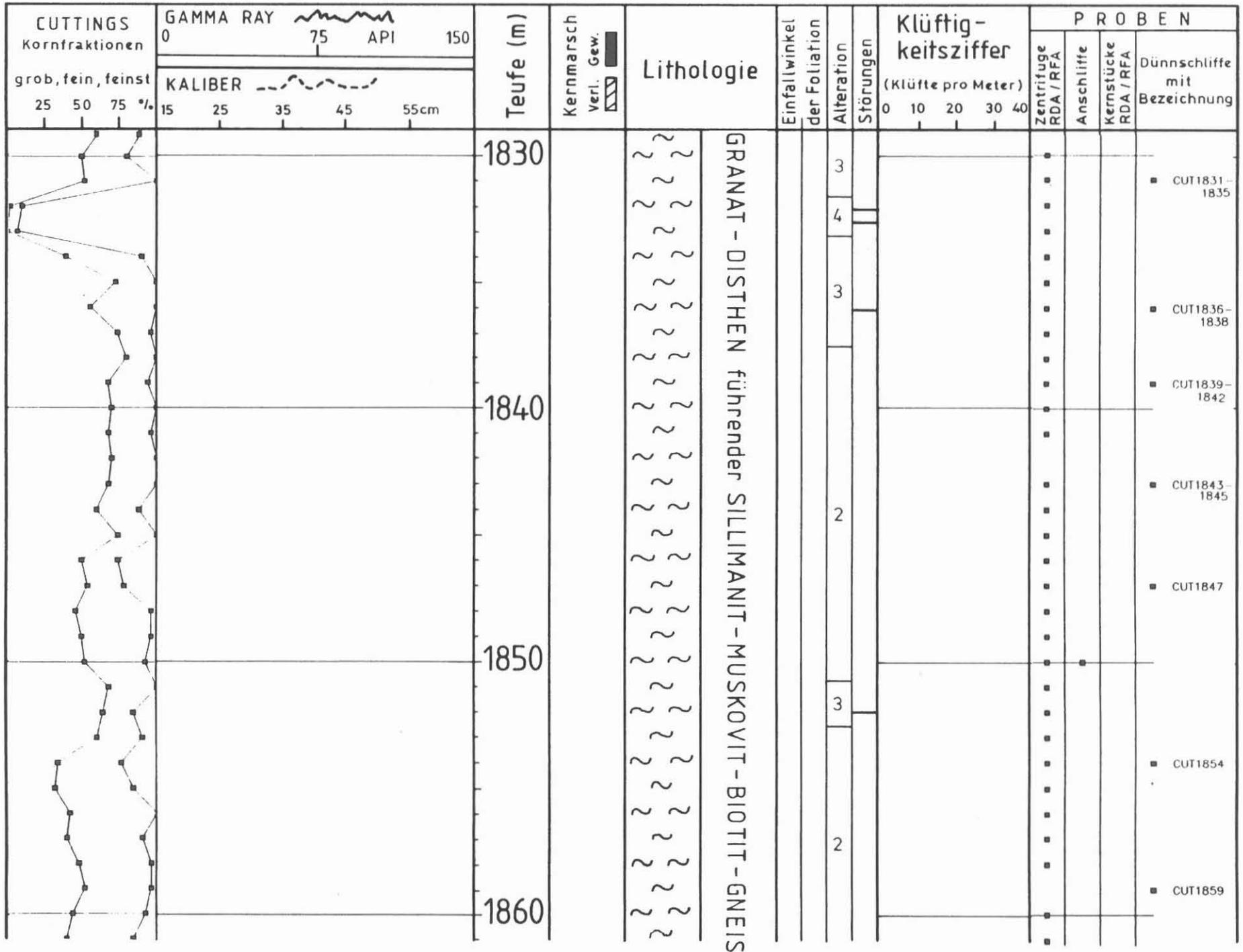


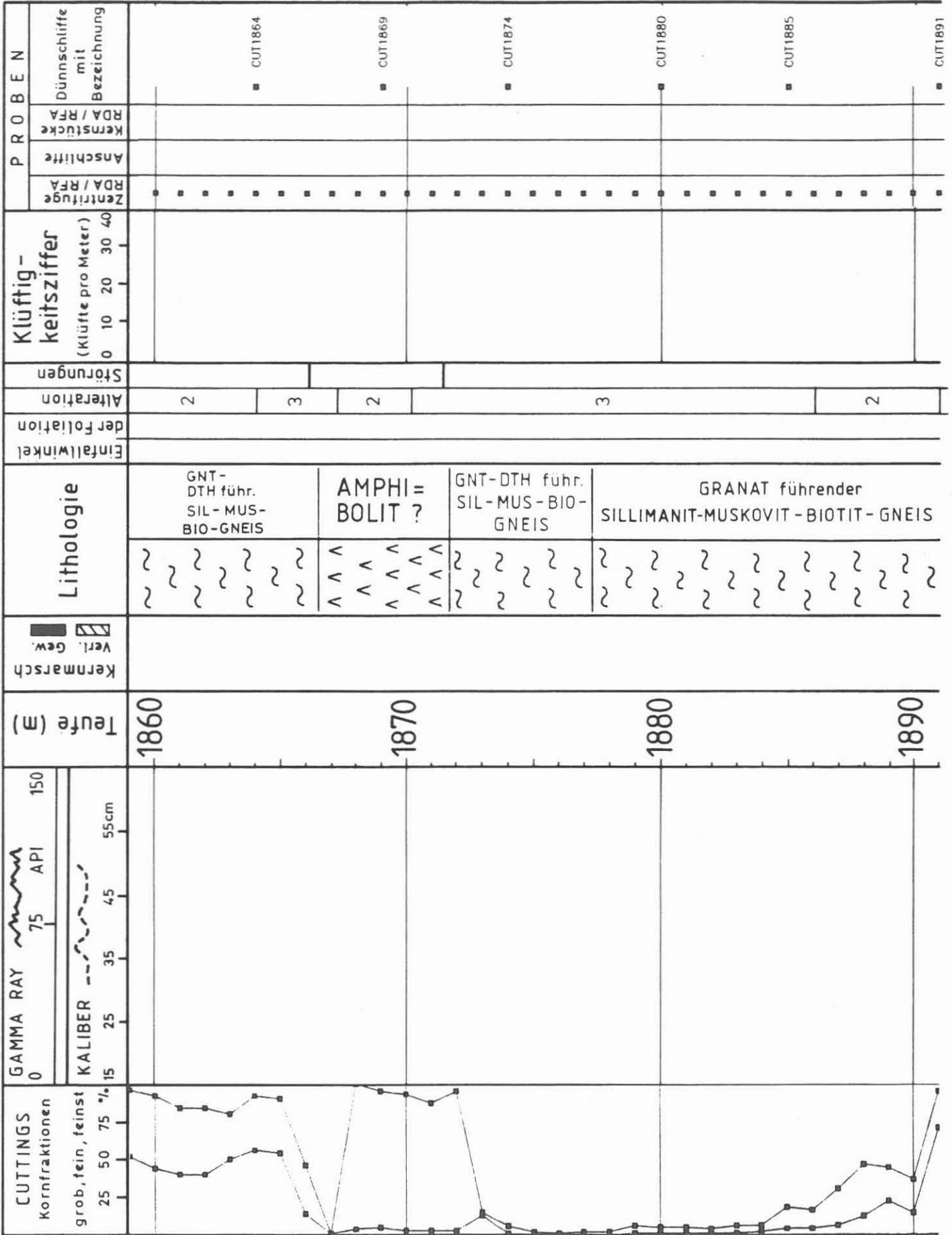


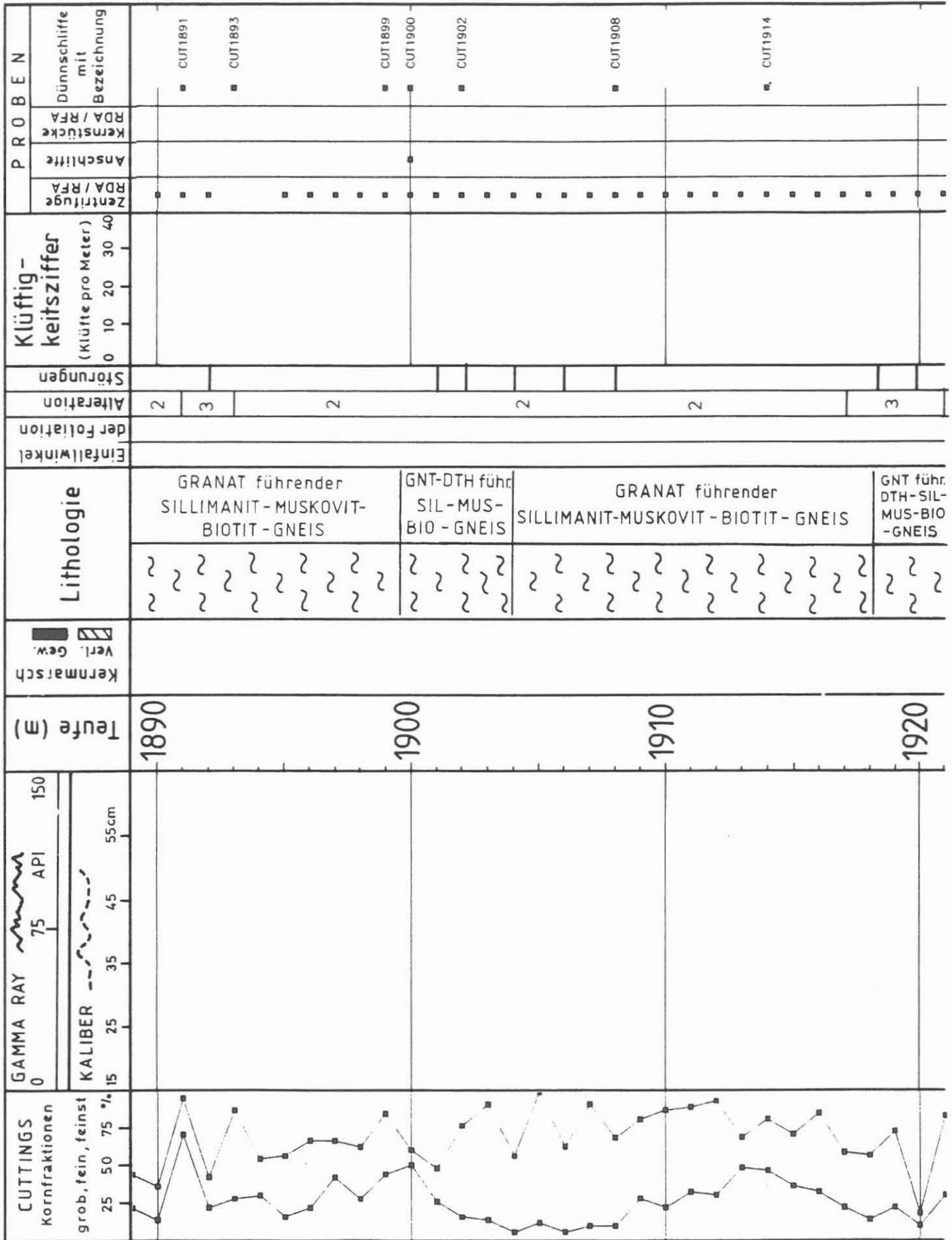




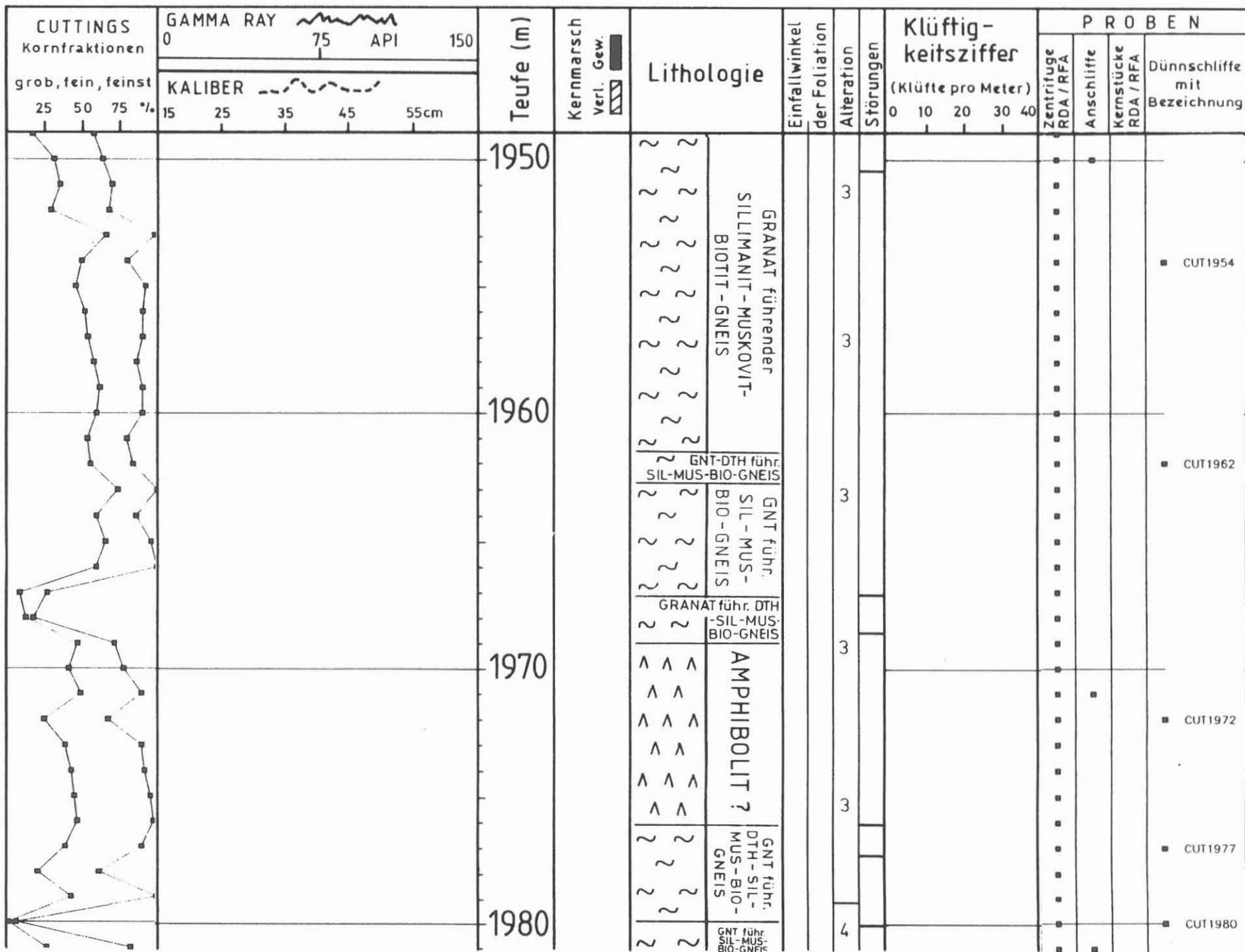


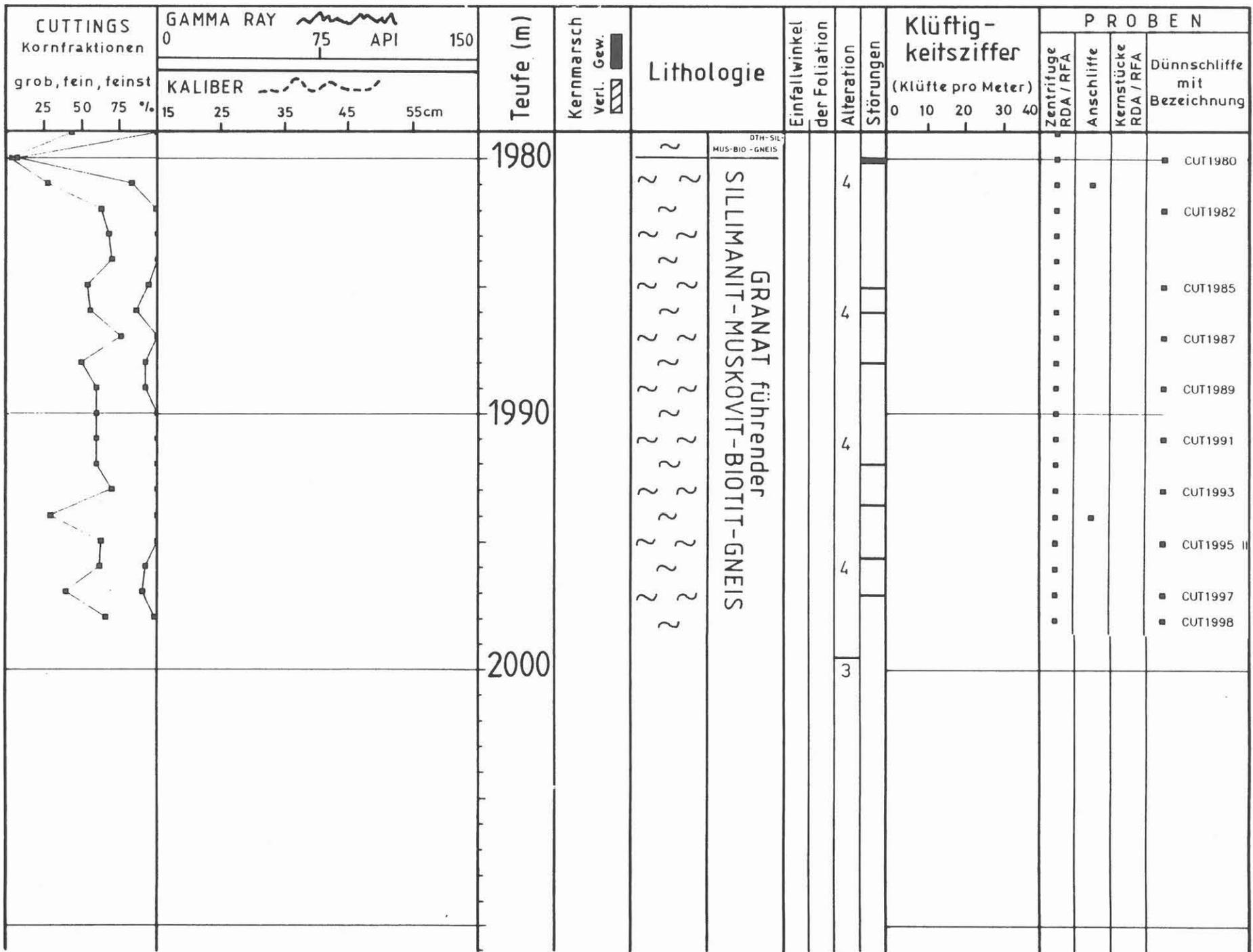






CUTTINGS Kornfraktionen grob, fein, feinst 25 50 75 %	GAMMA RAY 0 75 API 150		Teufe (m)	Kernmarsch Verl. Gew.	Lithologie	Einfallwinkel der Foliation	Alteration	Störungen	Klüftig- keitsziffer (Klüfte pro Meter) 0 10 20 30 40	P R O B E N									
	KALIBER 15 25 35 45 55cm									Zentrifuge RDA / RFA	Anschliffe	Kernstücke RDA / RFA	Dünnschliffe mit Bezeichnung						
			1920		GRANAT führender DISTHEN-SILLIMANIT-MUS- KOVIT-BIOTIT - GNEIS		3												
							2											■ CUT1922	
							3												
							2												■ CUT1927
				1930				3											■ CUT1930
						AMPHIBOLIT ?													■ CUT1932
								2											■ CUT1938
				1940		GNT-DTH führ. SIL-MUS- BIO-GNEIS													
						GNT führ. SIL-MUS- BIO-GNEIS		2											■ CUT1945
				1950		GRANAT - DISTHEN führ. SILLIMANIT-KOVIT-BIOTIT-GNEIS		3											





B.6.2 Zur Orientierung der Referenzlinie auf den Bohrkernen des Teufenabschnitts 750 - 992 m (D. Schmitz, WBK)

Für viele strukturgeologische und geophysikalische Untersuchungen ist die Orientierung der Bohrkern im Bezug auf die Nordrichtung unverzichtbare Voraussetzung. Deshalb wurden alle Kerne zunächst willkürlich mit einer Referenzlinie parallel zur Kernachse versehen (vgl. Graup et al. 1988), deren Azimut sich nachträglich mit Hilfe geophysikalischer Bohrlochmessungen oder eines direkten Verfahrens bestimmen läßt.

Die Referenzlinie sollte stets senkrecht zum Einfallen der Foliation auf den Bohrkern aufgetragen sein. Leider ist dies aus mancherlei Gründen nicht immer der Fall, so daß eine recht aufwendige Bearbeitung jedes Kernmarschs nötig erscheint.

Grundlage der Orientierung sind die Messungen des Borehole Televiewers (BHTV) und des Formation Micro Scanning Tools (FMST). Durch Vergleich der Einfallwinkel und deren Azimut der in diesen Meßverfahren erkennbaren strukturellen Elemente mit der am Bohrkern erkennbaren Foliation oder mit identischen Trennflächen kann der Azimut der Referenzlinie statistisch bestimmt werden.

Diese Arbeit wurde im Juli 1988 begonnen und setzte aus technischen Gründen bei Teufe 992 m an, um rückschreitend den Meßabschnitt bis 480 m zu erfassen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Azimut der Referenzlinie eines Meßabschnitts als statistischen Mittelwert und dessen Standardabweichung. Die Winkelangabe erfolgt in Bohrrichtung und im Uhrzeigersinn.

Im KTB-Report 88-7 wird ausführlicher auf Auswertemethodik und Fehlergrenzen eingegangen.

Azimet der Referenzlinie VB 1
 Kernmarsch 151 - 252
 Teufe: 749.75 - 992.0 m

Kernmarsch
 von - bis

Azimet* der Referenzlinie (mit Standard-
 abweichung)

	rel. zu weit nördlich	"normal"	rel. zu weit südlich
151 - 154 B	103 (± 11)		
154 C	80 (± 7)		
154 D - 156		115 (±6)	
157 - 160			129 (± 8)
161			304 (± 12)
162 A - C			138 (± 4)
162 D - 163		110 (±12)	
164			130 (± 4)
165 - 170	107 (± 11)		
171 - 172 B		112 (± 9)	
172 C - 173 A	92 (± 11)		
173 B	83 (± 6)		
173 C	50 (± 0)		
174 - 187 D		111 (± 9)	
187 E - 187 F	76 (± 9)		
188 - 195		111 (±11)	
196 - 199 A			127 (± 9)
199 B - 202		115 (±11)	
203 - 204			137 (± 12)
205 - 207	105 (± 10)		
208 - 209	Kernverlust		
210 - 216 A		118 (±11)	
216 B			132 (± 7)
216 C - 233		116 (±10)	
234 - 235			131 (±10)
236 - 238		120 (±13)	
239 A			135 (± 5)
239 B - 240		118 (±11)	
241 - 243 B			133 (±13)
243 B - 246		115 (±10)	
247			144 (± 6)
248 A		111 (± 5)	
248 B - 249			137 (± 6)
250 - 252		118 (± 6)	

* Die Azimetwerte sind nicht um die Bohrlochabweichung korrigiert.

C. Geochemie

KTB Oberpfalz VB -
Röntgenanalytik
Spülungsanalytik
Gasanalytik

K.D. Homann
H.-J. Heinschild
A. Stroh
M. Tapfer



KTB Report	88-9	C1-C88	25 Abb.	Hannover 1988
------------	------	--------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 1998 m:

C. Geochemie

Homann, K.D., Heinschild, H.-J., Stroh, A., Tapfer, M. *

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>	Seite
C.1 Einleitung	C 2
C.2 Probenahme und Probenaufbereitung	C 4
C.3 Röntgenanalytik	C 5
C.3.1 Allgemeines	C 5
C.3.2 RDA/RFA-Ergebnisse an Bohrmehl und Kernstücken	C 8
C.3.3 Bestimmung der Gesteinsdichte aus röntgenographischen Daten	C 34
C.4 Spülungsanalytik	C 40
C.5 Gasanalytik	C 47
C.5.1 Allgemeines	C 47
C.5.2 Meßergebnisse	C 47
C.5.3 Fluidprobenehmer	C 58
C.6 Zusammenfassung	C 59
C.7 Schriftenverzeichnis	C 61
C.8 Danksagung	C 62
C.9 Anhang	C 63

*Anschrift der Autoren:

KTB-Feldlabor, D-8486 Windischeschenbach

C.1 Einleitung

Nach Beendigung der Bohrloch-Meßphase wurden ab der Tiefe 1530m die Bohrarbeiten mit der Seilkerntechnik fortgesetzt. Infolge eines Neigungsaufbaus der Bohrung mußten ab 1816m Richtbohrarbeiten durchgeführt werden. Die Richtbohrung konnte nicht zu Ende geführt werden, da das Durchteufen einer 20m mächtigen Störungszone zwischen 1981 und 1998 m durch starken Nachfall zu einem "Festwerden" des Gestänges führte. Aus diesem Grund fehlen auch ab dem Teufenbereich 1816m sämtliche Bohrloch-Messungen (KTB- Logging, Temperatur, Gamma Ray,...), so daß Informationen über die durchteufte Gneissequenz aus Cuttings und Bohrmehl sowie aus der Bohrspülung und den Gasproben gewonnen werden mußten.

In den Teufenbereich des Berichtszeitraumes fällt ein lithologischer Wechsel von Amphiboliten zu Paragneisen (bei 1611m). Insgesamt können aufgrund der chemischen Daten drei Gesteinsgruppen auseinander gehalten werden, die sich z. B. in einem K_2O - CaO - SiO_2 -Dreiecksdiagramm deutlich voneinander absetzen (siehe Abb. C. 1.1). Dabei scheinen die HBL-Gneise (Gruppe 2), die von 1500-1530 m erbohrt wurden, eine Art "Übergangszusammensetzung" zwischen den Amphiboliten (Gruppe 3) und den Paragneisen (Gruppe 1) zu repräsentieren. Die Amphibolite und Paragneise selbst, die beiden Haupt-Gesteinstypen, die in dem beschriebenen Teufenabschnitt anstehen, lassen sich mineralogisch und chemisch noch weiter unterteilen.

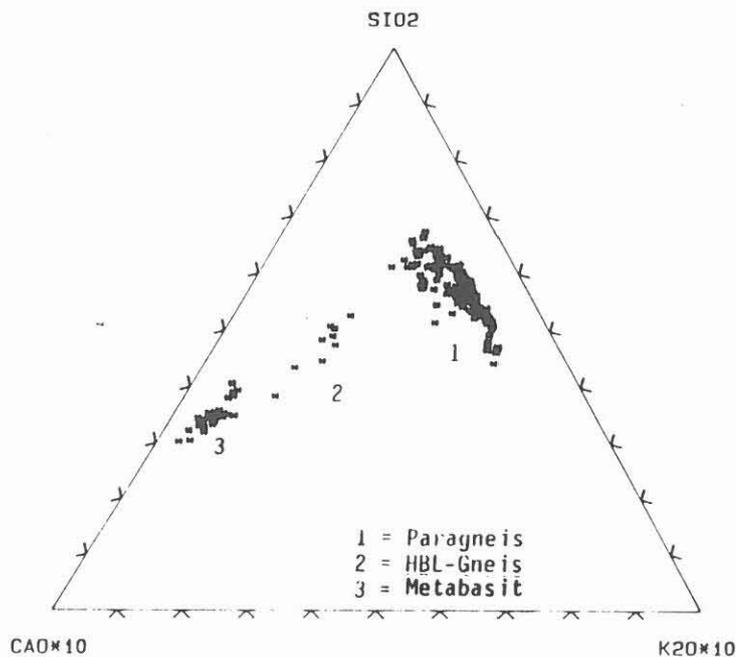


Abb.C.1.1: K_2O - CaO - SiO_2 -Dreiecksdiagramm

Im Berichtszeitraum wurde ein modifiziertes RFA-Programm entwickelt, daß es erlaubt, an Pulverpreßtabletten von Bohrmehl neben ausgewählten Spurenelementen auch die wichtigsten Hauptbestandteile zu bestimmen. Dadurch entfällt die zeitaufwendige Herstellung von Schmelztabletten. Außerdem ist die Möglichkeit gegeben, die chemische Zusammensetzung und den Mineralbestand an der gleichen Probe zu bestimmen.

Eine Neuerung ist auch die Berechnung der Dichte der erbohrten Gesteine aus der mineralogischen Zusammensetzung der Bohrmehlproben. Seit der Teufe von 1530 m steht somit ein zusätzliches, durchgehendes Dichteprofil mit einem Abstand der Meßpunkte von 1-2 m zur Verfügung, daß mit Dichteverteilungen korreliert werden kann, die mit anderen Methoden bestimmt wurden.

Die Spülungsanalytik wurde nach den schon in den vorherigen Reports beschriebenen Methoden durchgeführt. Dies gilt auch für die Gasanalytik, wobei erstmals auch Gase aus Fluidprobennehmern analysiert wurden.

Es hat sich gezeigt, daß die quasi-kontinuierliche mineralogische, chemische und gasanalytische Untersuchung von Bohrmehl bzw. in der Spülung gelösten Gasen in der Lage ist, Störungszonen zu erkennen und zu lokalisieren. Interessante Parameter sind z. B. das Auftreten von Chlorit, Hellglimmer und Pyrit, sowie Anreicherungen von Methan und Helium in der Gasphase.

C.2 Probenahme und Probenaufbereitung

Die Probennahme und Probenaufbereitung von Kernmaterial, Bohrmehl, Spülungsproben und Gasproben erfolgte nach den im KTB-Report 88-6 beschriebenen Verfahren. Der Untersuchungsabstand der Zentrifugenproben (Bohrmehl) betrug im allgemeinen 2 m wurde bei den Richtbohrarbeiten aber auf 1m verdichtet. Zur stofflichen Charakterisierung der durchteuften Gesteine wurden repräsentative Kernproben ausgewählt und mineralogisch und chemisch detaillierter analysiert. Gelegentlich wurden Kluftmineralisationen mit der RDA untersucht, sofern makroskopisch oder mikroskopisch keine eindeutige Ansprache möglich war.

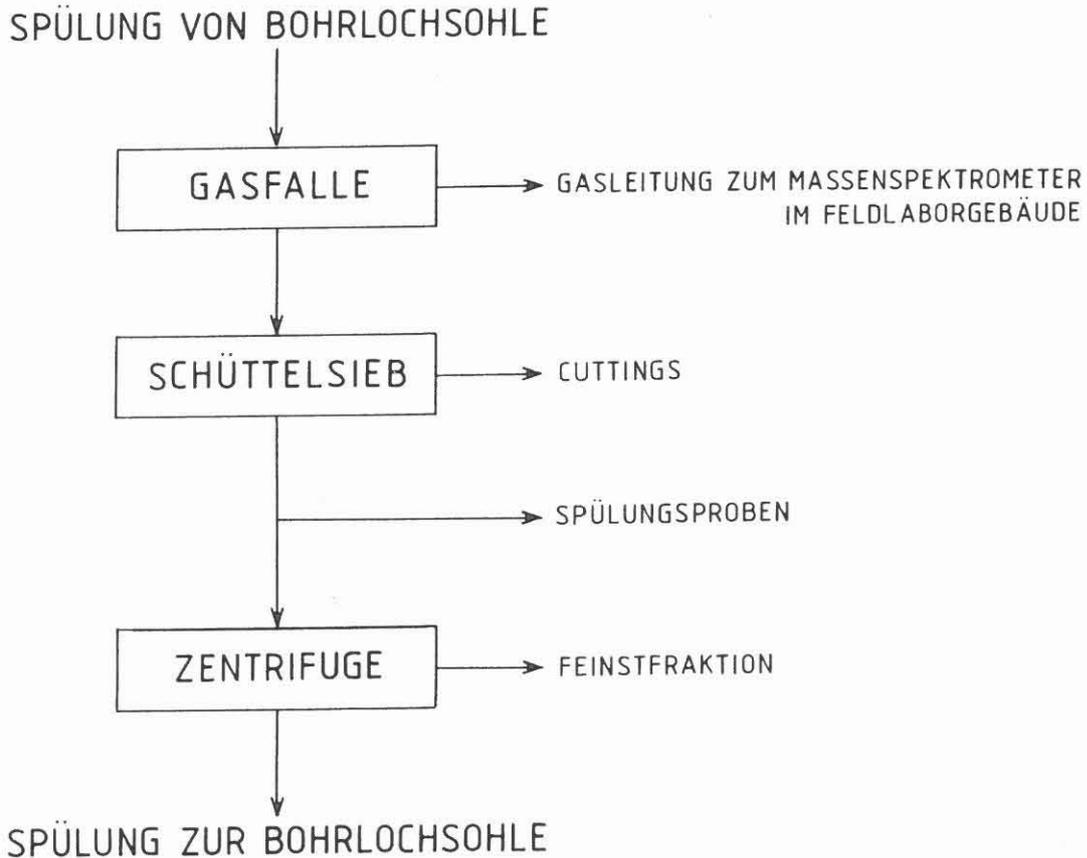


Abb. C.2.1: Schema der Probenarten

C.3 Röntgenanalytik

C.3.1 Allgemeines

Die an den Zentrifugen-Proben (Z-Proben) gewonnenen chemischen und mineralogischen Daten wurden benutzt, um ein grobes lithologisches Profil zu erstellen. Von den auf diese Weise stofflich charakterisierten Gesteinstypen wurden repräsentative Proben aus den entsprechenden Kernsektionen ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, das jeweils frischeste Material zu beproben. Aus diesem Grund ergeben sich gelegentlich auch Unterschiede zu den Z-Probenanalysen, die homogene Mischproben über einen dm-m - Bereich darstellen. Um den Probendurchsatz zu erhöhen und damit schneller auch für die Technik aktuelle Ergebnisse verfügbar zu haben, wurde ein RFA-Meßprogramm aufgebaut, daß es erlaubt, an Pulverpreßtabletten neben ausgewählten Spurenelementen auch die wichtigsten Hauptbestandteile zu bestimmen. Dieses Programm wurde zur Routineuntersuchung der Bohrmehl-Proben eingesetzt. Die reine Meßzeit beträgt 20 min., wobei derzeit folgende Hauptbestandteile und Spurenelemente erfaßt werden: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , K_2O sowie Rb, Sr, Y, Zr, Zn und Ni. Damit erfolgt die Bestimmung der mineralogischen und chemischen Zusammensetzung am gleichen Präparat. Die mit dieser vereinfachten chemischen "Übersichtsanalyse" gewonnenen Daten sind hinreichend zuverlässig und genau, wie die in Tab.C.3.1 zusammengestellten Ergebnisse an internationalen Referenzgesteinen zeigen.

Da im Feldlabor bisher noch nicht die Möglichkeit zur Herstellung von Lithiummetaborat-Glastabletten besteht, wurden aus dem untersuchten Probenspektrum repräsentative Proben von Kernstücken am Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung in Gießen entsprechend präpariert.

Tab. C.3.1: Ergebnisse von Referenzgesteinen, die mit dem RFA - Routinemessprogramm für Pulvertabletten analysiert wurden ($\pm s$ = absolute Standardabweichung des Istwertes).

Referenzgestein BCR-1 (N = 48)			
	SOLL	IST	$\pm s$
SiO ₂	54.35 %	53 %	0.3
TiO ₂	2.22 %	2.30 %	0.02
Al ₂ O ₃	13.63 %	14 %	0.4
Fe ₂ O _{3 g}	13.46 %	13.7 %	0.1
MgO	3.45 %	2.95 %	0.1
CaO	6.95 %	6.76 %	0.5
K ₂ O	1.69 %	2.10 %	0.1
Rb	47 ppm	44 ppm	1
Sr	330 ppm	323 ppm	2
Y	39 ppm	37 ppm	1
Zr	187 ppm	179 ppm	1
Zn	125 ppm	127 ppm	2
Ni	13 ppm	12 ppm	2

Referenzgestein GSR-1 (N = 27)			
	SOLL	IST	$\pm s$
SiO ₂	72.83 %	73 %	0.5
TiO ₂	0.29 %	0.27 %	0.01
Al ₂ O ₃	13.4 %	14 %	0.4
Fe ₂ O _{3 g}	2.14 %	2.5 %	0.01
MgO	0.42 %	0.50 %	0.02
CaO	1.55 %	1.41 %	0.1
K ₂ O	5.01 %	4.79 %	0.1
Rb	466 ppm	456 ppm	2
Sr	106 ppm	105 ppm	1
Y	62 ppm	63 ppm	1
Zr	167 ppm	174 ppm	1
Zn	28 ppm	29 ppm	1
Ni	2.3ppm	<5 ppm	

Tab. C.3.1 Fortsetzung:

Referenzgestein SY2 (N = 57)			
	SOLL	IST	± s
SiO ₂	60.10 %	61 %	0.3
TiO ₂	0.14 %	0.19 %	0.01
Al ₂ O ₃	12.12 %	13 %	0.4
Fe ₂ O _{3 g}	6.28 %	6.3 %	0.1
MgO	2.70 %	2.32 %	0.1
CaO	7.98 %	8.17 %	0.5
K ₂ O	4.48 %	4.34 %	0.2
Rb	220 ppm	226 ppm	3
Sr	275 ppm	278 ppm	3
Y	130 ppm	135 ppm	3
Zr	280 ppm	299 ppm	5
Zn	250 ppm	242 ppm	2
Ni	10 ppm	12 ppm	2

Referenzgestein JB1A (N = 14)			
	SOLL	IST	± s
SiO ₂	52.16 %	52 %	0.5
TiO ₂	1.3 %	1.20 %	0.01
Al ₂ O ₃	14.51 %	16 %	0.4
Fe ₂ O _{3 g}	9.10 %	8.6 %	0.06
MgO	7.75 %	7.71 %	0.4
CaO	9.23 %	10.01 %	0.6
K ₂ O	1.46 %	1.58 %	0.09
Rb	41 ppm	39 ppm	1
Sr	443 ppm	440 ppm	2
Y	25 ppm	24 ppm	1
Zr	144 ppm	136 ppm	1
Zn	82 ppm	83 ppm	1
Ni	140 ppm	133 ppm	2

C.3.2 RDA/RFA - Ergebnisse an Bohrmehl und Kernstücken

Die durchteufte Gesteinssequenz (1530- 1998m) läßt sich aufgrund der RDA/RFA-Daten in zwei lithologisch verschiedene Gesteinsgruppen unterteilen: Paragneise und Metabasite. Die Unterschiede und die Teufenabfolge gehen aus Abbildung C.3.1 hervor, in der einige ausgewählte mineralogische und chemische Parameter dargestellt sind. Von 1530-1612 m besteht das Profil aus Metabasiten, darunter folgen bis 1998 m Paragneise mit Variationen im Quarz/Biotit- Gehalt, Grad der Alteration und der Vererzung. Die in die Abbildung mit aufgenommenen HBL-Gneise von 1500-1530 m zeigen eine gewisse stoffliche Variation und scheinen eine Mittelstellung zwischen den Metabasiten und Paragneisen einzunehmen (siehe auch Abb.C.1.1). Sämtliche gemessenen Daten sind im Anhang in Form von Teufenlogs im Maßstab 1:1000 zusammengestellt und können auf Wunsch auch detaillierter (1:200) zur Verfügung gestellt werden.

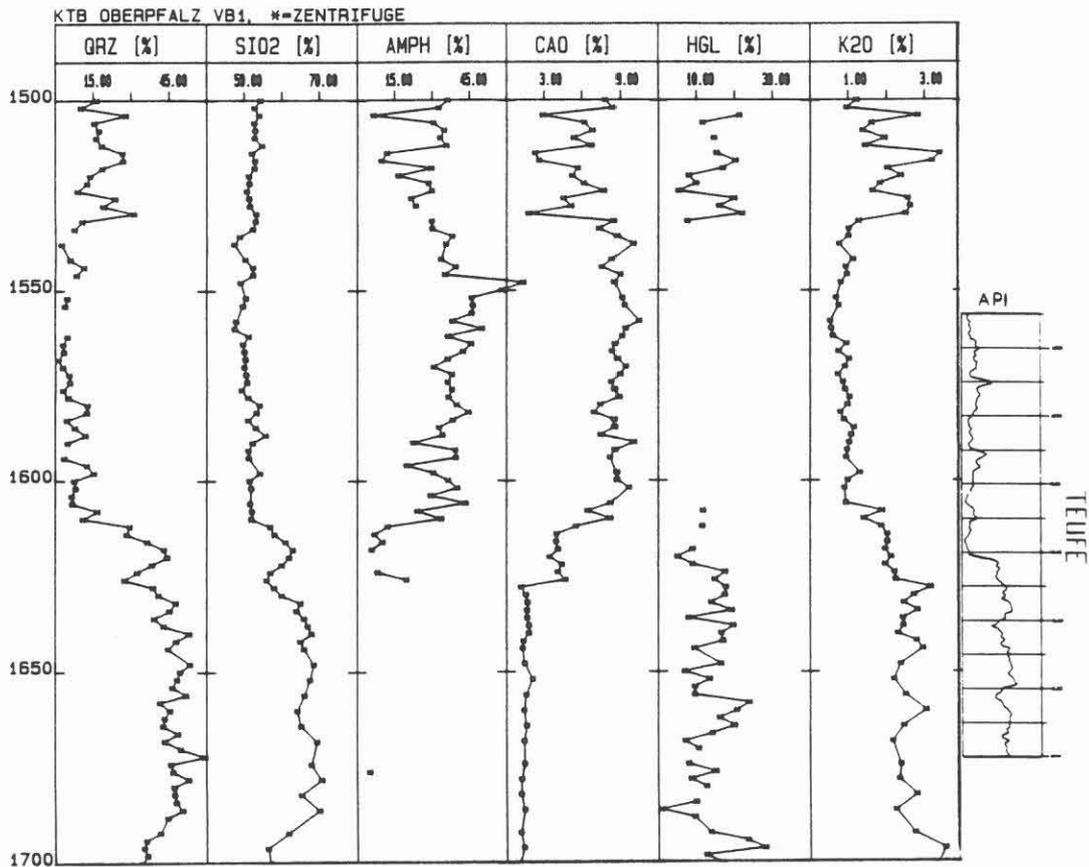


Abb. C.3.1: Übersichts- Profil von ausgewählten Z- Proben- daten im Bereich 1530 m - 1630 m (QRZ= Quarz, Amph = Amphibol, HGL = Hellglimmer; 1 : 200).Zu- sätzlich dargestellt ist das Gamma-Ray- Log in Api- Einheiten.

Bei beiden Hauptgesteinsgruppen, die das erbohrte Profil aufbauen, können mineralogisch und chemisch noch weiter untergliedert werden. Der bis zur Teufe 1530 m anstehende vererzte, biotit und granatführende Hbl-Gneis wird ab 1530 m von einer Metabasitserie abgelöst. Der Übergang wird durch eine kleinere, mit Pyrit vererzte Störungszone angezeigt. Eine Zentrifugenprobe aus dem Teufenbereich 1530 m zeigt erhöhte HGL, Chlorit, Fe₂O₃ und Ni-Gehalte. Die chemische und mineralogische Zusammensetzung einer Probe aus dieser Zone ist in Tab. C.3.2 zusammengestellt.

Tab. C.3.2: Chemische und mineralogische Zusammensetzung der Störungszone 1532 m

Z - 1532 m			
QRZ	31 %	SiO ₂	53 %
PLG	24 %	TiO ₂	1.14 %
HGL	22 %	Al ₂ O ₃	16 %
AMF	Sp	Fe ₂ O ₃	12.4 %
CHL	18 %	MgO	3.81 %
PYR	4 %	CaO	1.76 %
		K ₂ O	2.51 %
		Rb	59 ppm
		Sr	150 ppm
		Y	38 ppm
		Zr	182 ppm
		Ni	192 ppm

Die metabasitischen Gesteine von 1530-1612 m bestehen hauptsächlich aus PLG (25 - 60 Gew.%) und Amphibol (20 - 50 Gew.%) und enthalten in der Regel Granat, dessen Gehalte von <1 - 20 Gew.% variieren. Die durchschnittlichen Chloritgehalte liegen bei 4 Gew.%, das Gestein ist somit als frisch zu bezeichnen. Der stoffliche Variationsbereich, die mittlere Zusammensetzung des Gesteinstyps (ermittelt an den Z-Proben) ist in Tab. C.3.3 zusammengestellt. In dieser Metabasiteinheit läßt sich eine stofflich alternierende Sequenz feststellen. In "normalen" Metabasiten finden sich immer wieder Einschaltungen von metabasitischen Gesteinen (Metagabbros; nach Ansprache der Petrographie) mit deutlich erhöhten Gehalten an MgO und Ni sowie niedrigeren Zr-Gehalten (z. B. bei 1531, 1534, 1536, 1540 m, 1547-1552 m, 1556-1560 m, und 1580-1584 m).

Tab. C.3.3: Variationsbereich von Z-Proben sowie chemische und mineralogische Zusammensetzung ausgewählter Kernstücke des granatführenden Metabasits Teufenbereich 1532 - 1612 m (ohne Metagabbros)

Z - Proben	Mittel		Mittel				
QRZ	0 - 17 %	5 %	SiO ₂	49	- 54	%	52.05 %
PLG	25 - 56 %	40 %	TiO ₂	1.04	- 1.49	%	1.27 %
HGL	Sp	-	Al ₂ O ₃	15	- 16	%	15.8 %
AMF	20 - 48 %	35 %	Fe ₂ O ₃	8.2	- 12.4	%	9.39 %
CHL	3 - 7 %	4 %	MgO	3.81	- 7.69	%	6.03 %
GNT	Sp - 11 %	5 %	CaO	1.76	- 9.13	%	7.3 %
BIO	Sp	-	K ₂ O	<1	- 2.51	%	1.15 %
			Rb	17	- 60	ppm	28 ppm
			Sr	150	- 317	ppm	261 ppm
			Y	21	- 38	ppm	33 ppm
			Zr	111	- 208	ppm	179 ppm
			Ni	59	- 192	ppm	91 ppm

Akz.: Ilmenit, Prehnit, EPD - Gruppe

Tab. C.3.3 Fortsetzung: Granatführender Metabasit Teufenbereich 1532 - 1534 m (ohne Metagabbros)

321D1o 1532.71 m				312E1v 1533.81 m			
QRZ	4 %	SiO ₂	49 %	QRZ	-	SiO ₂	53 %
PLG	35 %	TiO ₂	1.46 %	PLG	59 %	TiO ₂	0.81 %
AMF	53 %	Al ₂ O ₃	16 %	AMF	28 %	Al ₂ O ₃	16 %
CHL	Sp	Fe ₂ O ₃	9.7 %	CHL	2 %	Fe ₂ O ₃	7.0 %
GNT	8 %	MgO	7.9 %	GNT	-	MgO	5.1 %
CPX	-	CaO	9.0 %	CPX	8 %	CaO	7.2 %
EPD	-	K ₂ O	0.95 %	EPD	-	K ₂ O	0.73 %
Sonst	-	Rb	18 ppm	Sonst	-	Rb	17 ppm
Erz	-	Sr	239 ppm	Erz	3 %	Sr	154 ppm
		Y	28 ppm			Y	21 ppm
		Zr	154 ppm			Zr	209 ppm
		Zn	98 ppm			Zn	63 ppm
		Ni	61 ppm			Ni	56 ppm

Tab. C.3.3 Fortsetzung: Granatreicher Metabasit 1540 - 1547 und 1552 - 1556 m. (ohne Metagabbros)

323B1e 1542.33 m				325E2n 1554.90 m			
QRZ	14 %	SiO ₂	51 %	QRZ	-	SiO ₂	49 %
PLG	25 %	TiO ₂	2.39 %	PLG	57 %	TiO ₂	1.04 %
AMF	36 %	Al ₂ O ₃	15 %	AMF	43 %	Al ₂ O ₃	15 %
CHL	-	Fe ₂ O ₃	13.0 %	CHL	-	Fe ₂ O ₃	8.7 %
GNT	21 %	MgO	5.6 %	GNT	-	MgO	8.2 %
CPX	-	CaO	9.0 %	CPX	-	CaO	7.8 %
EPD	-	K ₂ O	0.40 %	EPD	-	K ₂ O	0.62 %
Sonst	-	Rb	8 ppm	Sonst	-	Rb	14 ppm
Erz	3 %	Sr	233 ppm	Erz	-	Sr	336 ppm
		Y	52 ppm			Y	20 ppm
		Zr	333 ppm			Zr	91 ppm
		Zn	117 ppm			Zn	81 ppm
		Ni	23 ppm			Ni	62 ppm

Tab. C.3.3 Fortsetzung: Granatführender Metabasit 1560 - 1580 m (ohne Metagabbros)

327F1h 1566.85 m				328B1h 1570.75 m			
QRZ	-	SiO ₂	50 %	QRZ	6 %	SiO ₂	50 %
PLG	61 %	TiO ₂	1.46 %	PLG	38 %	TiO ₂	1.34 %
AMF	39 %	Al ₂ O ₃	16 %	AMF	45 %	Al ₂ O ₃	15 %
CHL	-	Fe ₂ O ₃	9.8 %	CHL	2 %	Fe ₂ O ₃	10.9 %
GNT	-	MgO	5.9 %	GNT	9 %	MgO	6.6 %
CPX	-	CaO	5.3 %	CPX	-	CaO	6.8 %
EPD	-	K ₂ O	0.75 %	EPD	-	K ₂ O	0.69 %
Sonst	-	Rb	19 ppm	Sonst	-	Rb	11 ppm
Erz	-	Sr	393 ppm	Erz	-	Sr	253 ppm
		Y	22 ppm			Y	32 ppm
		Zr	74 ppm			Zr	161 ppm
		Zn	89 ppm			Zn	88 ppm
		Ni	22 ppm			Ni	71 ppm

Tab. C.3.3 Fortsetzung: Granatreicher Metabasit 1584 - 1612m
(ohne Metagabbros)

334A1d 1602.14 m			
QRZ	14 %	SiO ₂	49 %
PLG	24 %	TiO ₂	2.45 %
AMF	28 %	Al ₂ O ₃	15 %
CHL	14 %	Fe ₂ O ₃	14.7 %
GNT	20 %	MgO	6.1 %
CPX	-	CaO	6.6 %
EPD	-	K ₂ O	0.58 %
Sonst	-	Rb	14 ppm
Erz	-	Sr	119 ppm
		Y	54 ppm
		Zr	176 ppm
		Zn	85 ppm
		Ni	27 ppm

Ein besonderes chemisches Kennzeichen der granatreichen Metabasite sind die z.T. stark erhöhten Y-Gehalte (bis 52 ppm). In Abb. C.3.2 ist der Granatgehalt gegen Y aufgetragen, wobei eine ausgeprägte Korrelation deutlich wird, die nahelegt, daß das Y bevorzugt im Granat fixiert ist. Da Y geochemisch mit den schweren Seltenen Erden vergleichbar ist, kann vermutet werden, daß sich diese Gesteine durch eine starke Anreicherung der schweren Seltenen Erden im Verteilungsmuster auszeichnen werden.

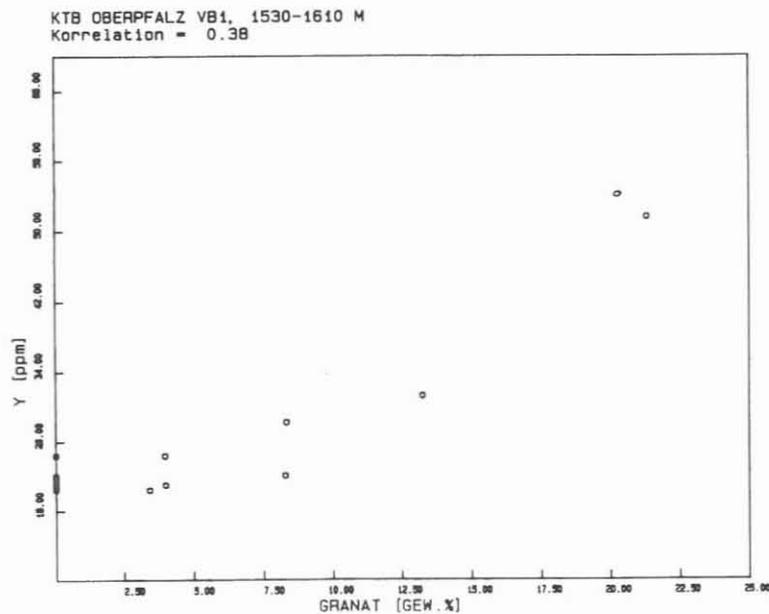


Abb. C.3.2: Variationsdiagramm Y/Granat. Deutlich wird eine selektive Anreicherung von Y (und damit vermutlich auch der schweren Seltenen Erden) mit steigenden Granatgehalten in den Metabasiten.

Da sich die Metabasite von den Amphiboliten durch erhöhte Ni- und MgO- Gehalte bzw. erniedrigte Rb- und Zr- Gehalte unterscheiden, wurde versucht mit den Zr- und Ni- Daten die Gesteine zu unterscheiden. Im Zr/Ni-Korrelationsdiagramm (Abb. C.3.3) sind diese unterschiedlichen Gesteinsgruppen deutlich voneinander abgegrenzt. Im Diagramm Zr/Ni gegen Ni (Abb. C.3.4) wird eine noch deutlichere Unterscheidung erreicht. Mineralogisch unterscheiden sich die Mg- und Ni-reicheren Metabasite von den "normalen" Metabasiten durch deutlich höhere Amphibolgehalte, das Vorkommen von reliktsischem Pyroxen und akzessorischem Ilmenit. Allerdings ist eine scharfe Trennung mit Hilfe mineralogischer Kriterien in der Regel nicht möglich. Bei den chemischen Daten bleibt abzuwarten, ob sich nach einer dichteren Beprobung systematische Beziehungen zwischen den beiden Metabasittypen erkennen lassen.

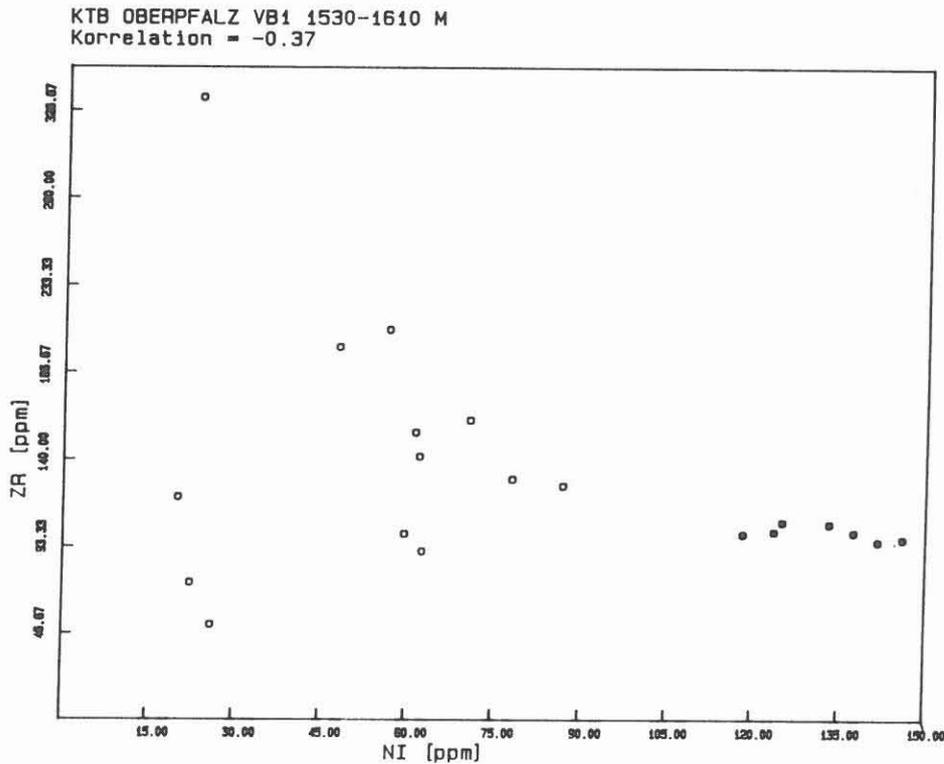


Abb. C.3.3 Zr-Ni-Korrelationsdiagramm zur chemischen Unterscheidung von "normalen" (o) und Ni-reichen Metabasiten (·).

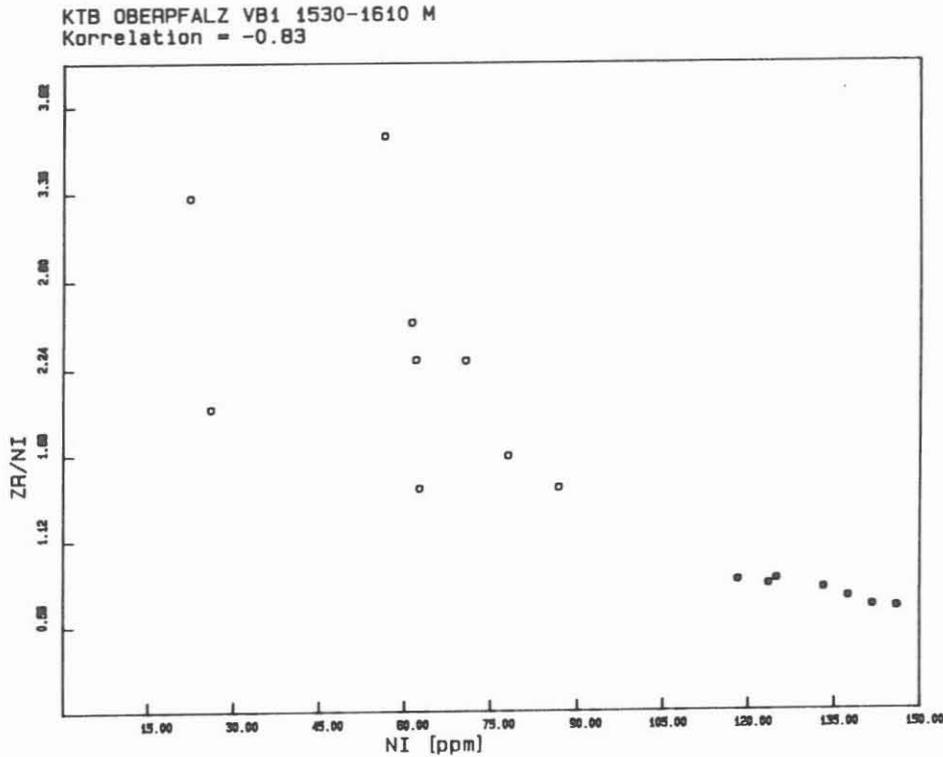


Abb. C.3.4: Zr/Ni-Ni - Korrelationsdiagramm zur chemischen Unterscheidung von "normalen" (o) und Ni-reichen Metabasiten (·).

Auf den nachfolgenden Seiten sind in Tab. C.3.4 die chemischen und mineralogischen Daten der Metagabbros aus dem zuvor am "Zentrifugenprofil" abgegrenzten Teufenbereichen zusammengestellt. Diese Werte vermitteln einen Überblick über die stoffliche Variation dieser Gesteine.

Tab. C.3.4: Metagabbros 1531, 1534 m

321C1m 1531.75 m				321G1z 1534.24 m			
QRZ	-	SiO ₂	47 %	QRZ	-	SiO ₂	47 %
PLG	24 %	TiO ₂	1.26 %	PLG	30 %	TiO ₂	1.04 %
AMF	61 %	Al ₂ O ₃	16 %	AMF	44 %	Al ₂ O ₃	16 %
CHL	2 %	Fe ₂ O ₃	9.5 %	CHL	13 %	Fe ₂ O ₃	8.7 %
GNT	-	MgO	9.3 %	GNT	4 %	MgO	9.9 %
CPX	3 %	CaO	8.4 %	CPX	-	CaO	9.8 %
EPD	10 %	K ₂ O	0.85 %	EPD	9 %	K ₂ O	0.49 %
Sonst	-	Rb	25 ppm	Sonst	-	Rb	20 ppm
Erz	-	Sr	323 ppm	Erz	-	Sr	360 ppm
		Y	24 ppm			Y	21 ppm
		Zr	126 ppm			Zr	107 ppm
		Zn	74 ppm			Zn	66 ppm
		Ni	87 ppm			Ni	125 ppm

Tab. C.3.4 Fortsetzung: Metagabbros 1536- 1540m, Variationsbereich der Z- Proben

Mittel			Mittel		
QRZ	0 - 2 %	1 %	SiO ₂	47 - 49 %	48 %
PLG	42 - 44 %	43 %	TiO ₂	1.20 - 1.22 %	1.21 %
AMF	36 - 38 %	37 %	Al ₂ O ₃	16 %	16 %
CHL	6 - 8 %	7 %	Fe ₂ O ₃	9.2 - 9.6 %	9.4 %
GNT	8 - 12 %	9 %	MgO	7.9 - 8.7 %	8.3 %
CPX	0 - 4 %	3 %	CaO	8.8 - 10.0 %	9.4 %
EPD	-	-	K ₂ O	0.77 - 1.02 %	0.89 %
			Rb	23 - 28 ppm	26 ppm
			Sr	307 - 323 ppm	315 ppm
			Y	24 - 27 ppm	25 ppm
			Zr	124 - 144 ppm	134 ppm
			Ni	127 - 138 ppm	129 ppm

Tab. C.3.4 Fortsetzung: Metagabbros 1536 - 1540 m

322C1d 1536.70 m				322F1r 1539.43 m			
QRZ	-	SiO ₂	48 %	QRZ	5 %	SiO ₂	51 %
PLG	29 %	TiO ₂	1.00 %	PLG	43 %	TiO ₂	0.82 %
AMF	41 %	Al ₂ O ₃	17 %	AMF	29 %	Al ₂ O ₃	16 %
CHL	8 %	Fe ₂ O ₃	8.0 %	CHL	2 %	Fe ₂ O ₃	8.9 %
GNT	3 %	MgO	9.5 %	GNT	13 %	MgO	7.3 %
CPX	-	CaO	9.1 %	CPX	5 %	CaO	6.1 %
KZO	7 %	K ₂ O	0.86 %	KZO	-	K ₂ O	0.92 %
Sonst	-	Rb	30 ppm	Sonst	-	Rb	21 ppm
TIT	4 %	Sr	248 ppm	TIT	-	Sr	299 ppm
Erz	-	Y	31 ppm	Erz	-	Y	20 ppm
ILM	-	Zr	100 ppm	ILM	3 %	Zr	141 ppm
		Zn	72 ppm			Zn	102 ppm
		Ni	118 ppm			Ni	62 ppm

Tab. C.3.4 Fortsetzung: Metagabbros im Teufenbereich 1547 - 1552 m, Variationsbereich der Z - Proben

Mittel			Mittel		
QRZ ¹⁾	0 - 5 %	- %	SiO ₂	49 - 51 %	50 %
PLG	8 - 42 %	25 %	TiO ₂	1.06 - 1.17 %	1.11 %
AMF	46 - 67 %	57 %	Al ₂ O ₃	16 %	16 %
CHL	3 - 4 %	4 %	Fe ₂ O ₃	8.3 - 9.1 %	8.7 %
GNT	Sp	Sp	MgO	7.6 - 7.9 %	7.8 %
CPX	-	-	CaO	8.6 - 9.2 %	8.9 %
EPD ¹⁾	0 - 17 %	- %	K ₂ O	0.68 - 0.81 %	0.74 %
Erz	-	-	Rb	20 - 21 ppm	21 ppm
			Sr	275 - 279 ppm	277 ppm
			Y	21 - 25 ppm	23 ppm
			Zr	113 - 131 ppm	122 ppm
			Ni	121 - 134 ppm	127 ppm
1) nur in einer Probe nachgewiesen					

Tab. C.3.4 Fortsetzung: Metagabbros im Teufenbereich 1547 - 1552 m

324A1e 1547.14 m				324E11 1549.11 m			
QRZ	-	SiO ₂	47 %	QRZ	-	SiO ₂	46 %
PLG	24 %	TiO ₂	1.09 %	PLG	25 %	TiO ₂	1.12 %
AMF	70 %	Al ₂ O ₃	16 %	AMF	73 %	Al ₂ O ₃	16 %
CHL	2 %	Fe ₂ O ₃	9.1 %	CHL	-	Fe ₂ O ₃	9.3 %
EPD	-	MgO	10.0 %	EPD	-	MgO	9.4 %
GNT	-	CaO	9.0 %	GNT	-	CaO	9.2 %
Erz	4 %	K ₂ O	0.58 %	Erz	2 %	K ₂ O	0.32 %
		Rb	18 ppm			Rb	12 ppm
		Sr	319 ppm			Sr	300 ppm
		Y	21 ppm			Y	22 ppm
		Zr	101 ppm			Zr	98 ppm
		Zn	71 ppm			Zn	67 ppm
		Ni	137 ppm			Ni	146 ppm

Tab C.3.4 Fortsetzung: Metagabbros im Teufenbereich 1556 - 1560m, Variationsbereich der Z-Proben

Mittel				Mittel					
QRZ	-	-	SiO ₂	48		%	48	%	
PLG	17 - 35 %	24 %	TiO ₂	1.15 -	1.16	%	1.15	%	
AMF	8 - 46 %	34 %	Al ₂ O ₃	15	-	16	%	16	%
CHL	6 - 13 %	9 %	Fe ₂ O ₃	9.5	-	9.7	%	9.6	%
GNT	4 - 11 %	8 %	MgO	8.8	-	8.9	%	8.8	%
EPD ¹⁾	0 - 12 %	- %	CaO	9.4	-	10.5	%	10.0	%
CPX ¹⁾	0	4 %	K ₂ O	0.52	-	0.56	%	0.54	%
			Rb	17		ppm	17	ppm	
			Sr	286	-	296	ppm	291	ppm
			Y	22		ppm	22	ppm	
			Zr	107	-	109	ppm	108	ppm
			Ni	104	-	118	ppm	111	ppm
1) nur in einer Probe nachgewiesen									

Tab. C.3.4 Fortsetzung: Metagabbros im Teufenbereich 1556 - 1560 m

326D1p 1560.00 m			
QRZ	-	SiO ₂	47 %
PLG	22 %	TiO ₂	1.10 %
AMF	68 %	Al ₂ O ₃	15 %
CHL	10 %	Fe ₂ O ₃	9.4 %
GNT	-	MgO	9.9 %
EPD	-	CaO	8.4 %
		K ₂ O	0.48 %
		Rb	16 ppm
		Sr	332 ppm
		Y	21 ppm
		Zr	96 ppm
		Zn	73 ppm
		Ni	99 ppm

Bei Teufe 1576 m ist eine gering mächtige " Störungszone " durchteuft worden, die durch erhöhte Gehalte an Fe_2O_3 , MgO und Ni sowie durch eine stärkere Vergrünung (Chloritisierung) gekennzeichnet ist.

Die chemischen und mineralogischen Daten einer Zentrifugenprobe aus dieser Zone sind in der folgenden Tab. C.3.5 zusammengestellt.

Tab C.3.5: Chemische und mineralogische Zusammensetzung der Störungszone bei 1576 m.

Z-1576 m			
QRZ	3 %	SiO ₂	49 %
PLG	43 %	TiO ₂	1.52 %
AMF	30 %	Al ₂ O ₃	17 %
CHL	10 %	Fe ₂ O ₃	10.4 %
GNT	6 %	MgO	7.1 %
CPX	Sp	CaO	8.6 %
		K ₂ O	0.93 %
		Rb	23 ppm
		Sr	284 ppm
		Y	32 ppm
		Zr	193 ppm
		Ni	87 ppm

Die chemisch auffallendsten Daten im Teufenbereich 1530-1612m liefert ein Meta - Ultrabasit, der in einer Teufe von 1580 -1584 m in die granatführenden Metabasite eingeschaltet ist. Mineralogisch ist dieses Gestein aus Amphibol (64 %), Chlorit (27 %) und diopsidischem Augit (9 %) zusammengesetzt.

Chemisch charakteristisch ist eine extreme Verarmung an Kalium, Rb und Sr; SiO₂ - Gehalte <45 Gew.% sowie eine Anreicherung an MgO und Ni. Chemisch ähnliche Gesteine traten schon im Teufenbereich 1230 - 1500 m auf (siehe STROH et.al, 1988 KTB - Report 88-6). Die chemische und mineralogische Zusammensetzung eines ausgewählten Kernstücks ist in Tab. C.3.6 aufgeführt. Auffallend an der Z - Probenzusammensetzung in diesem Bereich waren erhöhte Ni - Gehalte, Verarmung an Zr gegenüber den anstehenden Metabasiten sowie CPX im röntgenographisch ermittelten Modalbestand.

Tab. C.3.6: Chemische und mineralogische Zusammensetzung des Meta - Ultrabasits 1580 - 1584 m

330F1o 1583.03 m			
HBL	64 %	SiO ₂	41 %
CHL	27 %	TiO ₂	0.91 %
CPX	9 %	Al ₂ O ₃	9 %
(DPS)		Fe ₂ O ₃	12.0 %
		MgO	22.0 %
		CaO	7.5 %
		K ₂ O	0.1 %
		Rb	<3 ppm
		Sr	22 ppm
		Y	22 ppm
		Zr	104 ppm
		Zn	106 ppm
		Ni	636 ppm

In den Teufenbereichen 1586 m und 1598 - 1600 m wurde in den Zentrifugenproben KFS nachgewiesen. Chemisch zeichnen sich diese Proben durch leicht erhöhte K-, Rb- und Zr- Werte aus, die Sr - Gehalte sind leicht erniedrigt. In Abb. C.3.5 ist ein Ausschnitt aus dem Gamma-Ray-Log dargestellt. Deutlich sind drei kleine Maxima zu erkennen (1585, 1596 und 1598m) die mit den Kalifeldspatanreicherungen korrelieren.

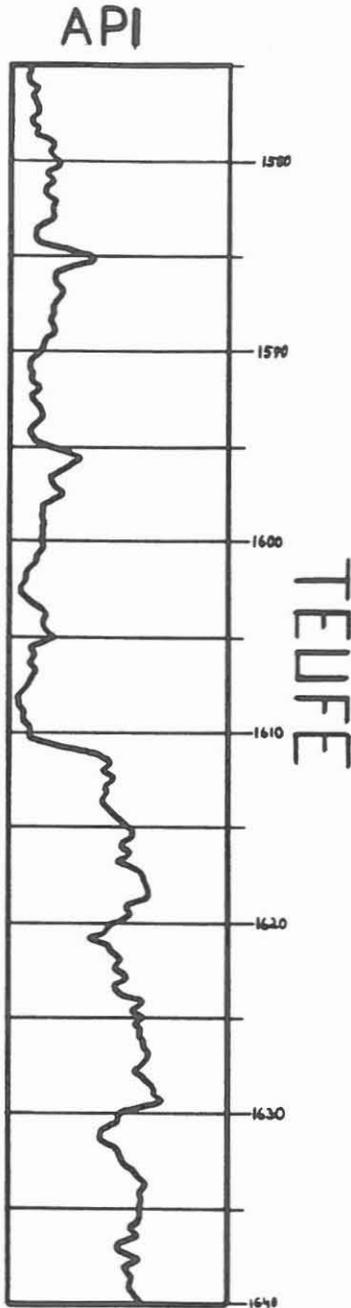


Abb. C.3.5 : Ausschnitt eines Gamma Ray Logs im Teufenbereich 1575 - 1640 m. Die relativ niedrigen API- Einheiten bis 1612m entsprechen basischen, an LIL - Elementen verarmten Gesteinen (Metabasit - Serien), während der Anstieg auf wesentlich höher API -Werte unterhalb 1612m charakteristisch für saure Gesteine (z. B. Gneise) ist. Signifikant erhöhte API- Werte werden in den Bereichen 1586 m und 1595 - 1598 m beobachtet. Diese Maxima korrelieren mit KFS- führenden Partien die durch Z-Proben bestimmt wurden. Die mineralogische und chemische Zusammensetzung der Zentrifugenproben sowie eines ausgewählten Kernstückes dieser Teufenbereiche sind in Tab. C.3.7 zusammengestellt. Ein Kernstück aus dem Bereich 1598 - 1600 m (bzw. 1595 - 1598m) konnte bisher leider noch nicht beprobt werden. Der Bereich 1586m wird als prehnit- und epidotführende Scherbahn angesprochen. Dabei muß über fluide Phasen ein stofflicher Transport stattgefunden haben, wodurch Ca-reicher PLG in Klinoziosit und Prehnit umgewandelt wurde und sich KFS, vermutlich als Adular bilden konnte.

Ab 1612 m wird die Metabasitserie von einer Paragneisabfolge abgelöst. Mit ihrem Hauptelementchemismus entsprechen diese Gesteine im wesentlichen Grauwacken bis tonigen Grauwacken, wie auch dem Eduktdiagramm für "Meta" - Sedimente von WIMMENAUER (1984) in Abb. C.3.6 hervorgeht. Nur einer der untersuchten Gneise liegt im Feld der Tonsteine. Die Gneisabfolge kann mineralogisch und chemisch noch in verschiedenen Typen unterteilt werden, die sich durch erhöhte Quarz- bzw. Biotitgehalte unterscheiden und in unterschiedlichem Maße vererzt und alteriert sind. In dieser Abfolge treten zwei größere Störungszonen auf, die deutlich stärker alteriert sind und als eigenständige Gesteinseinheiten im Text beschrieben werden.

Im folgenden werden die verschiedenen Gneistypen jeweils kurz

charakterisiert und durch ihre Mittelwerte und Variationsbereiche beschrieben.

Tab.C.3.7: Mineralogische und chemische Zusammensetzung von Zentrifugenproben im Teufenbereich 1586, 1598-1600m

kfs-führender Amphibolit Z - 1598m				kfs-führender Amphibolit Z - 1600m			
QRZ	15 %	SiO ₂	54 %	QRZ	7 %	SiO ₂	51 %
PLG	41 %	TiO ₂	1.09 %	PLG	30 %	TiO ₂	1.44 %
AMF	31 %	Al ₂ O ₃	15 %	AMF	37 %	Al ₂ O ₃	16 %
CHL	4 %	Fe ₂ O ₃	7.8 %	CHL	7 %	Fe ₂ O ₃	9.3 %
KFS	9 %	MgO	5.7 %	KFS	2 %	MgO	6.5 %
		CaO	8.8 %	GNT	9 %	CaO	8.8 %
		K ₂ O	1.31 %	CPX	8 %	K ₂ O	1.00 %
		Rb	33 ppm	EPD	-	Rb	25 ppm
		Sr	263 ppm	Erz	-	Sr	280 ppm
		Y	31 ppm			Y	35 ppm
		Zr	189 ppm			Zr	163 ppm
		Ni	ppm			Ni	56 ppm

Tab.C.3.7: Fortsetzung
Mineralogische und chemische Zusammensetzung des kfs-führenden Metabasits 330I1w (1585.06m)

330I1w 1585.06 m			
KFS	25 %	SiO ₂	48 %
KZO	57 %	TiO ₂	0.58 %
PRH	18 %	Al ₂ O ₃	20 %
		Fe ₂ O ₃	6.6 %
		MgO	4.5 %
		CaO	13.5 %
		K ₂ O	3.94 %
		Rb	90 ppm
		Sr	932 ppm
		Y	14 ppm
		Zr	51 ppm
		Zn	72 ppm
		Ni	26 ppm

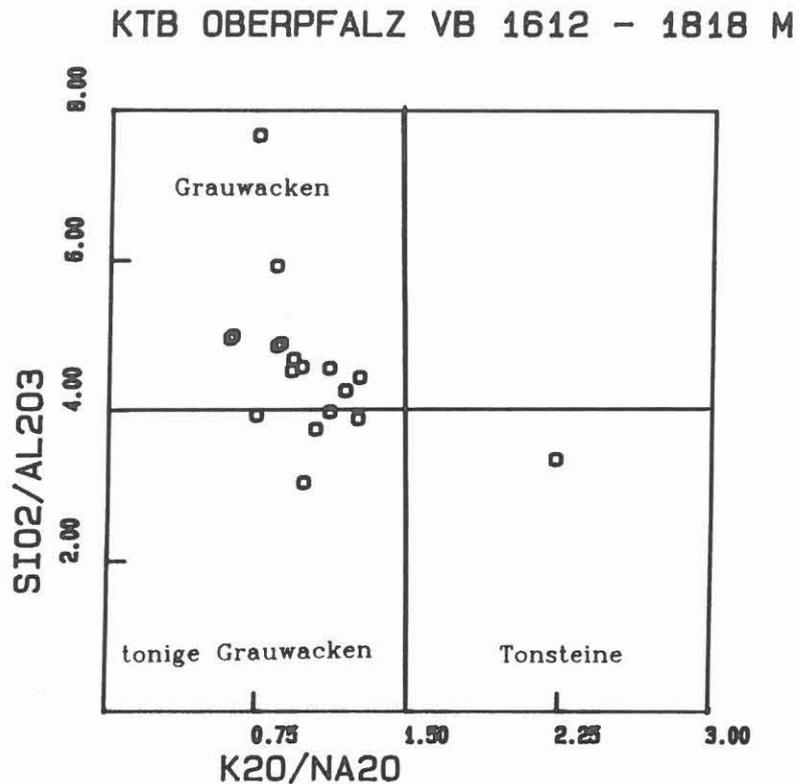


Abb.C.3.6: Eduktendiagramm für "Meta"-Sedimente nach WIMMENAUER (1984).

Durch wiederholten Ein- und Ausbau des Bohrwerkzeugs im Tiefenbereich von 1618 - 1630 m sind die dort entnommenen Z-Proben durch Nachfall aus im Hangenden anstehenden Metabasiten kontaminiert, so daß für diesen Bereich die Ergebnisse der Analysen von Kernproben präsentiert werden.

Von 1612 - 1691 m steht ein quarzreicher Gneistyp an, der aus Plagioklas, Quarz, Biotit, Hellglimmer und Chlorit besteht. Granat und Al-Silikate liegen unter der röntgenographischen Nachweisgrenze von 2-3% oder sind, wie im Falle des Al-Silikats, möglicherweise durch Alteration in Hellglimmer umgewandelt. Der mineralogische und chemische Variationsbereich sowie die mittlere Zusammensetzung der Z-Proben und Daten ausgewählter Kernstücke sind in Tab.C.3.8 zusammengestellt.

Tab.C.3.8: Variationsbereich der Z-Proben und mineralogische und chemische Zusammensetzung einiger ausgewählter Kernstücke des quarzreichen biotitführenden Paragneises im Teufenbereich 1612-1691m (Z-Proben 1630-1691m wegen Nachfall!)

	Mittel			Mittel		
QRZ	39 - 59 %	47 %	SiO ₂	60 - 71 %	66 %	
PLG	20 - 43 %	28 %	TiO ₂	0.57 - 0.79 %	0.68 %	
HGL	1 - 24 %	13 %	Al ₂ O ₃	14 - 16 %	15 %	
CHL	3.6- 10 %	7 %	Fe ₂ O ₃	4.9 - 7.5 %	6.0 %	
BIO	1 - 13 %	6 %	MgO	2.0 - 3.3 %	2.6 %	
PYR	2 %	2 %	CaO	1.2 - 2.1 %	1.5 %	
			K ₂ O	2.17 - 3.06 %	2.53 %	
			Rb	61 - 77 ppm	68 ppm	
			Sr	147 - 173 ppm	163 ppm	
			Y	30 - 35 ppm	32 ppm	
			Zr	195 - 259 ppm	231 ppm	
			Ni	43 - 76 ppm	58 ppm	

Tab.C.3.8: Fortsetzung
Quarzreiche und biotitführende Paragneise des Teufenbereichs 1612-1681m

336E1w 1615.54 m				341C4j 1631.29 m			
QRZ	42 %	SiO ₂	63 %	QRZ	46 %	SiO ₂	71 %
PLG	47 %	TiO ₂	0.94 %	PLG	38 %	TiO ₂	0.64 %
GNT	8 %	Al ₂ O ₃	16 %	HGL	11 %	Al ₂ O ₃	14 %
BIO	3 %	Fe ₂ O ₃	7.3 %	CHL	3 %	Fe ₂ O ₃	4.3 %
		MgO	3.8 %	BIO	2 %	MgO	1.5 %
		CaO	2.9 %			CaO	1.3 %
		K ₂ O	2.1 %			K ₂ O	1.97 %
		Rb	83 ppm			Rb	63 ppm
		Sr	219 ppm			Sr	187 ppm
		Y	28 ppm			Y	26 ppm
		Zr	160 ppm			Zr	186 ppm
		Zn	94 ppm			Zn	67 ppm
		Ni	— ppm			Ni	27 ppm

Tab.C.3.8: Fortsetzung
Quarzreiche und biotitführende Paragneise des
Teufenbereichs 1612-1691m

347A1a 1650.36 m			
QRZ	69 %	SiO ₂	77 %
PLG	16 %	TiO ₂	0.49 %
HGL	9 %	Al ₂ O ₃	11 %
BIO	6 %	Fe ₂ O ₃	4.0 %
		MgO	1.5 %
		CaO	1.2 %
		K ₂ O	2.23 %
		Rb	63 ppm
		Sr	132 ppm
		Y	23 ppm
		Zr	301 ppm
		Zn	58 ppm
		Ni	20 ppm

347F3ab 1654.22 m			
QRZ	55 %	SiO ₂	70 %
PLG	29 %	TiO ₂	0.60 %
HGL	9 %	Al ₂ O ₃	14 %
CHL	3 %	Fe ₂ O ₃	4.6 %
BIO	4 %	MgO	2.2 %
		CaO	1.0 %
		K ₂ O	2.39 %
		Rb	63 ppm
		Sr	144 ppm
		Y	26 ppm
		Zr	209 ppm
		Zn	97 ppm
		Ni	29 ppm

349A1a 1663.64 m			
QRZ	59 %	SiO ₂	72 %
PLG	26 %	TiO ₂	0.49 %
HGL	10 %	Al ₂ O ₃	13 %
CHL	3 %	Fe ₂ O ₃	4.6 %
BIO	2 %	MgO	1.8 %
		CaO	1.2 %
		K ₂ O	2.43 %
		Rb	62 ppm
		Sr	151 ppm
		Y	24 ppm
		Zr	180 ppm
		Zn	67 ppm
		Ni	28 ppm

358B2n 1688.02 m			
QRZ	44 %	SiO ₂	67 %
PLG	24 %	TiO ₂	0.80 %
HGL	18 %	Al ₂ O ₃	16 %
BIO	10 %	Fe ₂ O ₃	6.0 %
CHL	4 %	MgO	2.0 %
		CaO	1.1 %
		K ₂ O	2.89 %
		Rb	94 ppm
		Sr	148 ppm
		Y	30 ppm
		Zr	198 ppm
		Zn	92 ppm
		Ni	38 ppm

Auf diesen quarzreichen Paragneisen folgt zwischen 1692 und 1708 m eine stark vererzte Störungszone (mit bis zu 4 % Pyrit) in einem Paragneistyp, der deutlich niedrigere Quarz- und Biotitgehalte aufweist und sich von den darüberliegenden Gneisen durch eine starke Alteration unterscheidet. Hellglimmer ist bis zu 30 Gew.% angereichert und die Chloritgehalte steigen bis zu 15 Gew.% an. Verbunden damit ist auch eine deutliche Anreicherung der Elemente K und Rb (vermutlich im Hellglimmer) und Ni (im Chlorit). Diese Zone ist auch durch eine deutliche Vererzung, vor allem Pyrit und Zinkblende gekennzeichnet. Gelegentlich läßt sich in diesem stark alterierten Gneistyp röntgenographisch Sillimanit nachwei-

sen. Bemerkenswert ist der in einigen Proben auftretende Turmalin, der bis zu 5 Gew.% angereichert sein kann. In Tabelle C.3.9 ist die mittlere Zusammensetzung der Variationsbereich dieser Störungszone im Gneis zwischen 1692 - 1708 dargestellt.

Tab.C.3.9.: Variationsbereich der Z-Proben und die mineralogische und chemische Zusammensetzung ausgewählter "frischer" Kernstücke in der Störungszone 1692-1708m

	Mittel			Mittel	
QRZ	34 - 43 %	39 %	SiO ₂	56 - 65 %	60 %
PLG	20 - 29 %	23 %	TiO ₂	0.72 - 1.08 %	0.88 %
HGL	13 - 28 %	18 %	Al ₂ O ₃	15 - 17 %	16 %
CHL	8 - 14 %	12 %	Fe ₂ O ₃	6.6 - 8.8 %	7.5 %
BIO	3 - 11 %	6 %	MgO	2.4 - 2.9 %	2.7 %
PYR	2 - 4 %	3 %	CaO	1.1 - 1.4 %	1.2 %
			K ₂ O	2.76 - 3.56 %	3.17 %
			Rb	72 - 87 ppm	80 ppm
			Sr	137 - 157 ppm	146 ppm
			Y	34 - 44 ppm	38 ppm
			Zr	208 - 242 ppm	222 ppm
			Ni	68 - 101 ppm	80 ppm

Tab.C.3.9: Fortsetzung
Turmalinführende Biotit-Sillimanit-Gneise in der Störungszone 1692-1708m

363A3d 1694.7 m				365A1a 1697.1 m			
QRZ	50 %	SiO ₂	71 %	QRZ	48 %	SiO ₂	67 %
PLG	27 %	TiO ₂	0.63 %	PLG	30 %	TiO ₂	0.64 %
HGL	5 %	Al ₂ O ₃	13 %	HGL	3 %	Al ₂ O ₃	16 %
CHL	1 %	Fe ₂ O ₃	4.6 %	BIO	10 %	Fe ₂ O ₃	5 %
BIO	8 %	MgO	1.8 %	TUR	3 %	MgO	2.4 %
TUR	5 %	CaO	1.1 %	GNT	2 %	CaO	1.0 %
SIL	2 %	K ₂ O	2.53 %	SIL	4 %	K ₂ O	2.76 %
GNT	2 %	Rb	74 ppm			Rb	87 ppm
		Sr	166 ppm			Sr	153 ppm
		Y	27 ppm			Y	27 ppm
		Zr	245 ppm			Zr	213 ppm
		Zn	77 ppm			Zn	90 ppm
		Ni	29 ppm			Ni	31 ppm

Unterhalb dieser Störungszone treten zwischen 1708 und 1751 m wieder relativ quarzreiche Paragneise auf, die sich von den Gneisen im Teufenabschnitt 1612 - 1691 m nicht signifikant

unterscheiden. Gelegentlich werden höhere Gehalte an Chlorit gemessen, die auf eine lokal stärkere Alteration hinweisen. Die Daten für diesen Gneistyp sind in Tab.C.3.10 zusammengefaßt.

Tab. C.3.10: Variationsbereich der Z-Proben und mineralogische und chemische Zusammensetzung an ausgewählten Kernstücken der Paragneise im Teufenbereich 1708-1751m.

Mittel			Mittel		
QRZ	34 - 52 %	44 %	SiO ₂	65 - 69 %	66 %
PLG	26 - 42 %	30 %	TiO ₂	0.63 - 0.77 %	0.69 %
HGL	6 - 23 %	14 %	Al ₂ O ₃	14 - 15 %	15 %
CHL	4 - 13 %	7 %	Fe ₂ O ₃	5.3 - 6.5 %	5.9 %
BIO	1 - 14 %	6 %	MgO	2.1 - 2.6 %	2.3 %
PYR ¹⁾	1 %	—	CaO	1.1 - 1.5 %	1.3 %
			K ₂ O	2.40 - 2.86 %	2.63 %
			Rb	60 - 78 ppm	70 ppm
			Sr	152 - 205 ppm	173 ppm
			Y	31 - 36 ppm	33 ppm
			Zr	216 - 294 ppm	251 ppm
			Ni	47 - 64 ppm	57 ppm
1)=nur einmal gemessen					

Tab. C.3.10: Fortsetzung
Variationsbereich der Z-Proben und mineralogische und chemische Zusammensetzung an ausgewählten Kernstücken der Paragneise im Teufenbereich 1708-1751m.

377A2 1722.0 m				385F5 1739.0 m			
QRZ	41 %	SiO ₂	68 %	QRZ	41 %	SiO ₂	68 %
PLG	28 %	TiO ₂	0.81 %	PLG	22 %	TiO ₂	0.75 %
HGL	8 %	Al ₂ O ₃	15 %	HGL	18 %	Al ₂ O ₃	15 %
CHL	9 %	Fe ₂ O ₃	5.9 %	BIO	3 %	Fe ₂ O ₃	5.9 %
BIO	14 %	MgO	1.9 %	CHL	16 %	MgO	2.1 %
		CaO	1.3 %			CaO	1.2 %
		K ₂ O	2.48 %			K ₂ O	2.75 %
		Rb	82 ppm			Rb	87 ppm
		Sr	170 ppm			Sr	153 ppm
		Y	30 ppm			Y	28 ppm
		Zr	219 ppm			Zr	176 ppm
		Zn	89 ppm			Zn	- ppm
		Ni	32 ppm			Ni	38 ppm

Tab. C.3.10: Fortsetzung
Variationsbereich der Z-Proben und mineralogische und chemische Zusammensetzung an ausgewählten Kernstücken der Paragneise im Teufenbereich 1708-1751m.

373C3d 1710.95 m				387D21 1749.28 m			
QRZ	47 %	SiO ₂	60 %	QRZ	45 %	SiO ₂	67 %
PLG	38 %	TiO ₂	0.77 %	PLG	35 %	TiO ₂	0.64 %
HGL	6 %	Al ₂ O ₃	18 %	HGL	7 %	Al ₂ O ₃	15 %
CHL	Sp	Fe ₂ O ₃	6.3 %	BIO	3 %	Fe ₂ O ₃	5.0 %
BIO	9 %	MgO	3.4 %	CHL	5 %	MgO	2.2 %
		CaO	1.2 %	GNT	4 %	CaO	1.2 %
		K ₂ O	3.60 %	Erz	1 %	K ₂ O	2.77 %
		Rb	95 ppm	(ZnS)		Rb	76 ppm
		Sr	165 ppm			Sr	197 ppm
		Y	34 ppm			Y	28 ppm
		Zr	223 ppm			Zr	226 ppm
		Zn	113 ppm			Zn	83 ppm
		Ni	37 ppm			Ni	30 ppm

Im Teufenbereich 1752 bis 1772m tritt eine weitere **Störungszone** in den anstehenden Paragneisen auf, die durch erhöhte Chloritgehalte (bis 15 Gew.%) und damit einhergehende Ni-Anreicherungen sowie durch eine Pyrit- und Zinkblende-vererzung (bis 3 Gew.%) gekennzeichnet ist. Leichte Anreicherungen sind in den Elementgehalten von K, Sr und Zr zu erkennen. Die mittlere Zusammensetzung und der Variationsbereich von Gneisen aus Z-Proben und die Daten aus zwei Kernstücken dieser Störungszone sind in Tab. C.3.11 zusammengestellt.

Tab. C.3.11: Variationsbereich in Z-Proben und mineralogische und chemische Zusammensetzung an ausgewählten Kernstücken der vererzten Paragneise im Teufenbereich 1752-1772m.

	Mittel			Mittel		
QRZ	34 - 44 %	37 %	SiO ₂	59 - 67 %	63 %	
PLG	24 - 34 %	28 %	TiO ₂	0.66 - 0.89 %	0.77 %	
HGL	8 - 20 %	16 %	Al ₂ O ₃	15 - 17 %	16 %	
CHL	5 - 16 %	11 %	Fe ₂ O ₃	5.9 - 8.3 %	7.1 %	
BIO	3 - 19 %	8 %	MgO	2.3 - 2.4 %	2.3 %	
PYR	1 - 3 %	2 %	CaO	0.9 - 1.3 %	1.1 %	
			K ₂ O	2.71 - 3.47 %	3.21 %	
			Rb	72 - 86 ppm	80 ppm	
			Sr	141 - 225 ppm	164 ppm	
			Y	29 - 39 ppm	34 ppm	
			Zr	201 - 245 ppm	219 ppm	
			Ni	49 - 99 ppm	73 ppm	

Tab. C.3.11: Fortsetzung
Kernstücke "vererzter" Paragneis 1752-1772m

388E1w 1754.98 m				388B1g 1752.87 m			
QRZ	43 %	SiO ₂	68 %	QRZ	21 %	SiO ₂	58 %
PLG	20 %	TiO ₂	0.74 %	PLG	39 %	TiO ₂	0.95 %
HGL	20 %	Al ₂ O ₃	15 %	HGL	17 %	Al ₂ O ₃	19 %
CHL	17 %	Fe ₂ O ₃	5.6 %	BIO	5 %	Fe ₂ O ₃	7.7 %
		MgO	1.9 %	CHL	18 %	MgO	2.6 %
		CaO	1.2 %			CaO	1.3 %
		K ₂ O	2.56 %			K ₂ O	3.1 %
		Rb	84 ppm			Rb	107 ppm
		Sr	142 ppm			Sr	205 ppm
		Y	31 ppm			Y	45 ppm
		Zr	175 ppm			Zr	246 ppm
		Zn	- ppm			Zn	- ppm
		Ni	33 ppm			Ni	46 ppm

Der Paragneistyp im Teufenbereich von 1773 - 1817 m ist stellenweise sehr quarz- und biotitreich und kaum vererzt. Chemisch auffallend sind hier erhöhte K-, Rb- und Zr-Gehalte. Die mittleren Zr-Gehalte der Z-Proben liegen im Durchschnitt um 20 - 50 ppm höher als bei den anderen zuvor beschriebenen Paragneisen. Eine chlorisierte Zone im Teufenabschnitt 1780 - 1782 m macht sich chemisch mit einem Ni-Peak bemerkbar. Bei 1810 m konnte in den Zentrifugenproben röntgenographisch bis zu 3 Gew.% Sillimanit nachgewiesen werden. Bis zu 6 Gew.% Sillimanit wurden im Kernstück 405F1t aus einer Teufe von 1804 m gemessen. Die Sillimanit-haltigen Proben sind chemisch durch erhöhte Al₂O₃-Gehalte charakterisiert. Die mineralogischen und chemischen Daten für diesen Teufenabschnitt sind in Tab. C.3.12 zusammengefaßt.

Tab. C.3.12: Variationsbereich der Z-Proben sowie mineralogische und chemische Zusammensetzung des quarz- und biotitreichen Paragneises 1773-1817m

Mittel			Mittel		
QRZ	34 - 54 %	43 %	SiO ₂	53 - 71 %	65 %
PLG	24 - 31 %	27 %	TiO ₂	0.59 - 1.15 %	0.76 %
HGL	8 - 26 %	14 %	Al ₂ O ₃	13 - 19 %	15 %
CHL	3 - 16 %	7 %	Fe ₂ O ₃	5.0 - 9.4 %	6.4 %
BIO	2 - 17 %	9 %	MgO	2.0 - 2.5 %	2.3 %
PYR ¹⁾	4 %		CaO	0.9 - 1.2 %	1.0 %
SIL ¹⁾	3 %		K ₂ O	2.29 - 3.96 %	2.95 %
1) = nur in einer Probe nachgewiesen			Rb	62 - 110 ppm	79 ppm
			Sr	111 - 177 ppm	160 ppm
			Y	31 - 49 ppm	37 ppm
			Zr	231 - 318 ppm	274 ppm
			Ni	39 - 82 ppm	53 ppm

Tab. C.3.12: Fortsetzung
Kernstücke: Quarz- und biotitreiche Paragneise
1773-1817m

402A4a 1785.70 m				405F1t 1804.25 m			
QRZ	54 %	SiO ₂	68 %	QRZ	39 %	SiO ₂	56 %
PLG	37 %	TiO ₂	0.66 %	PLG	24 %	TiO ₂	1.12 %
BIO	6 %	Al ₂ O ₃	14 %	HGL	8 %	Al ₂ O ₃	19 %
CHL	3 %	Fe ₂ O ₃	5.3 %	BIO	15 %	Fe ₂ O ₃	8.4 %
		MgO	2.4 %	CHL	8 %	MgO	3.5 %
		CaO	1.3 %	SIL	6 %	CaO	0.7 %
		K ₂ O	2.2 %			K ₂ O	4.2 %
		Rb	64 ppm			Rb	123 ppm
		Sr	173 ppm			Sr	108 ppm
		Y	35 ppm			Y	40 ppm
		Zr	265 ppm			Zr	300 ppm
		Zn	96 ppm			Zn	145 ppm
		Ni	28 ppm			Ni	47 ppm

Zwischen 1818 und 1820 m folgt eine weitere Störungszone, in der die Paragneise stärker chloritisiert und vererzt sind (Tab.C.3.13). Auffällig ist hier eine starke Anreicherung an Hellglimmer (bis 39 Gew.%), die mit einer deutlichen Erhöhung der K₂O-Gehalte (bis 4.26 Gew.%) einhergeht. Auch in dieser Zone ist das Rb wieder deutlich angereichert.

Tab.C.3.13: Variationsbereich und Mittelwert der Z-Proben aus der Störungszone 1818-1820m

	Mittel			Mittel			Mittel
QRZ	28 - 33 %	30 %	SiO ₂	52 - 55 %		53 %	
PLG	18 - 20 %	19 %	TiO ₂	1.11 - 1.15 %		1.13 %	
HGL	27 - 39 %	32 %	Al ₂ O ₃	19 - 19 %		19 %	
CHL	13 - 22 %	18 %	Fe ₂ O ₃	8.5 - 8.7 %		8.6 %	
BIO ¹⁾	3 %		MgO	2.5 - 3.1 %		2.8 %	
			CaO	0.9 - 0.9 %		0.9 %	
			K ₂ O	4.25 - 4.26 %		4.26 %	
			Rb	107 - 107 ppm		107 ppm	
			Sr	115 - 115 ppm		115 ppm	
			Y	46 - 49 ppm		47 ppm	
			Zr	274 - 278 ppm		276 ppm	
			Ni	71 - 71 ppm		71 ppm	

1) = nur in einer Probe nachgewiesen

Ab dieser Störungszone setzten Richtbohrarbeiten ein, so daß bis zur Teufe von 1998 m keine Analysendaten von Kernproben mehr zur Verfügung stehen. Die Beschreibung des lithologischen Profils ist daher ausschließlich auf die Untersuchung von Zentrifugenmaterial angewiesen. Um hier eine bessere lithologische Auflösung zu erhalten, wurde die Probenahme auf

1 m verdichtet.

Der im Teufenbereich von 1821 - 1853 m durchbohrte Paragneis zeichnet sich mit der Tiefe zunehmenden Quarz- und Plagioklasgehalte aus, während parallel damit die Hellglimmerführung und insgesamt der Grad der Alteration abnehmen. Chemisch äußert sich diese Entwicklung, die im wesentlichen durch die abnehmende Alteration mit der Tiefe bedingt sein dürfte, durch eine Zunahme an SiO₂ und eine Abnahme von K und Rb. Lokal treten noch Pyritvererzungen mit Gehalten bis zu 3 Gew.% auf; vereinzelt sind die Gneise granatführend. Die Daten für diesen Teufenbereich sind in Tab.C.3.14 zusammengestellt.

Tab.C.3.14: Variationsbereich und Mittelwert der untersuchten Z-Proben des vererzten Paragneis im Teufenbereich 1821-1853m

Mittel			Mittel		
QRZ	29 - 47 %	37 %	SiO ₂	54 - 64 %	58 %
PLG	12 - 34 %	23 %	TiO ₂	0.74 - 1.10 %	0.91 %
HGL	10 - 27 %	19 %	Al ₂ O ₃	16 - 19 %	18 %
CHL	4 - 23 %	12 %	Fe ₂ O ₃	6.3 - 8.4 %	7.3 %
GNT ¹⁾	4 %	-	MgO	2.2 - 3.1 %	2.6 %
BIO	3 - 14 %	8 %	CaO	0.8 - 1.0 %	0.9 %
PYR	1 - 3 %	2 %	K ₂ O	3.11 - 4.39 %	3.72 %
1) = nur in einer Probe nachgewiesen			Rb	86 - 111 ppm	98 ppm
			Sr	110 - 149 ppm	130 ppm
			Y	35 - 48 ppm	42 ppm
			Zr	244 - 278 ppm	262 ppm
			Ni	54 - 79 ppm	65 ppm

Die Paragneisabfolge im Teufenbereich von 1853 - 1980 m zeigt mineralogische und chemische Variationen, die im wesentlichen alterationsbedingt sind. Stärker alterierte Partien sind jeweils durch eine Anreicherung an Hellglimmer und Chlorit sowie in der Regel auch eine leichte Sulfidvererzung gekennzeichnet. Insgesamt nimmt die Häufigkeit dieser Alterationszonen mit der Tiefe stark zu. Die mittleren Zusammensetzungen und Variationsbereiche der Gneise dieses Teufenbereichs sind in Tab.C.3.15 zusammengefaßt. Besonders intensiv ist die Alteration im Teufenbereich von 1981 - 1998 m (Tab.C.3.16). Die hier anstehenden Paragneise sind mineralogisch und chemisch stark verändert. Die Gehalte an Quarz und Plagioklas nehmen stark ab, während Hellglimmer und Chlorit beträchtlich angereichert werden. Der gesamte Abschnitt ist intensiv mit Pyrit (bis zu 4 Gew.%) vererzt. Die mineralogischen Veränderungen spiegeln sich auch im Gesteinschemismus wieder. Der SiO₂-Gehalt und die Gehalte an MgO und Sr nehmen stark ab, während die Gehalte an Fe, K, Rb, Ni und Zr beträchtlich angereichert werden.

Tab.C.3.15: Variation und Mittelwerte der Z-Proben der alterierten, überprägten Paragneise im Teufenbereich 1853-1980m.

	Mittel				Mittel	
QRZ	27 - 46 %	37 %	SiO ₂	56 - 64 %	59 %	
PLG	18 - 35 %	24 %	TiO ₂	0.76 - 1.04 %	0.90 %	
HGL	5 - 31 %	17 %	Al ₂ O ₃	16 - 18 %	17 %	
CHL	7 - 22 %	14 %	Fe ₂ O ₃	5.7 - 8.0 %	7.0 %	
GNT	2 - 7 %	4 %	MgO	2.3 - 4.8 %	3.5 %	
BIO	2 - 11 %	4 %	CaO	0.8 - 1.8 %	1.0 %	
			K ₂ O	2.61 - 3.85 %	3.37 %	
			Rb	69 - 93 ppm	87 ppm	
			Sr	113 - 165 ppm	139 ppm	
			Y	31 - 39 ppm	35 ppm	
			Zr	210 - 272 ppm	232 ppm	
			Ni	52 - 94 ppm	69 ppm	

Die deutliche Anreicherung der Fe-Gehalte und der gleichzeitige starke Rückgang MgO-Werte spricht dafür, daß die Chlorite sehr Fe-reich sind.

In dieser Zone können die chemischen und mineralogischen Effekte der Alteration am ausgeprägtesten studiert werden. Einige der Beobachtungen sind in den folgenden Diagrammen zusammengefaßt. Abb.C.3.7 zeigt die Korrelation der K-Gehalte der Paragneise mit ihrem Gehalt an Hellglimmer. Aus Abb.C.3.8 geht hervor, daß die Hellglimmerbildung durch Abbau von Plagioklas erfolgt (Serizitisierung).

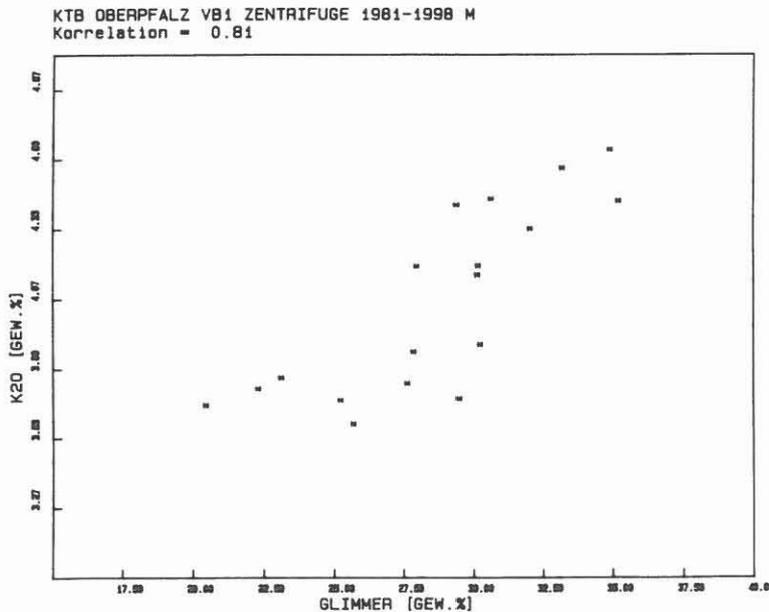


Abb.C.3.7: Glimmer (hauptsächlich Hellglimmer) / K Korrelationsdiagramm

KTB OBERPFALZ VB1 ZENTRIFUGE 1981-1998
Korrelation = -0.83

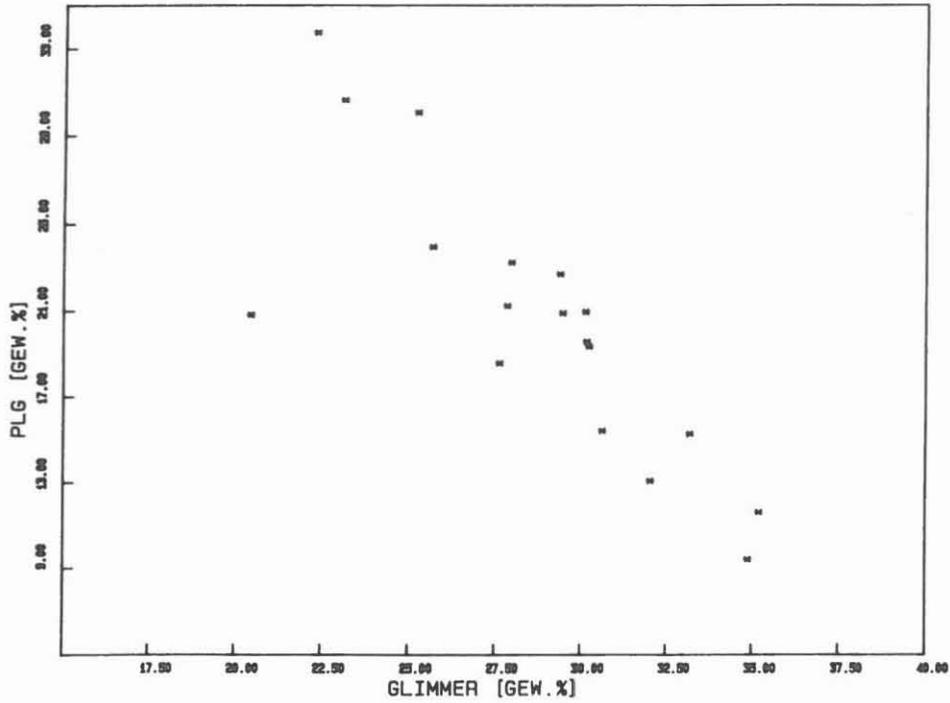


Abb.C.3.8: Plagioklas / Glimmer - Korrelationsdiagramm

Ein Hinweis darauf, daß die Chlorite vermutlich Fe-reich sind, ergibt sich aus der starken Zunahme der Fe-Gehalte der Gesteine mit zunehmendem Chlorit-Anteil (Abb.C.3.9).

KTB OBERPFALZ VB1 ZENTRIFUGE 1981-1998
Korrelation = 0.86

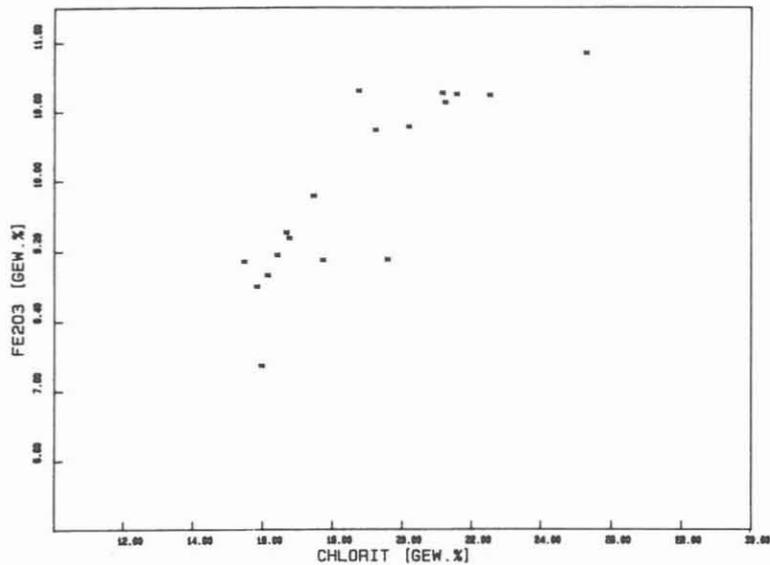


Abb.C.3.9: Chlorit/Fe₂O₃ - Korrelationsdiagramm

Chemisch auffallend ist, daß auch in stark serizitisierten Proben die CaO-Gehalte nahezu unverändert bleiben. Eine mögliche Erklärung dafür ist, daß das Ca in Kalzit und/oder in Mineralen der Epidotgruppe gebunden wird und somit im Gestein verbleibt. Bei mittleren CaO-Gehalten der Paragneise von 1 Gew.% sind die Gehalte dieser Ca-haltigen Minerale allerdings vermutlich so gering das sie unter der röntgenographischen Nachweisgrenze liegen.

Tab. C.3.16.: Variationsbereich der Z - Proben und Mittelwerte der hydrothermal überprägten Gneise im Teufenbereich 1981 - 1998 m.

	Mittel			Mittel		
QRZ	24 - 39 %	29 %	SiO ₂	46 - 57 %	51 %	
CHL	15 - 25 %	19 %	Al ₂ O ₃	17 - 20 %	19 %	
PYR	2 - 4 %	3 %	MgO	2.3 - 3.1 %	2.6 %	
PLG	9 - 34 %	20 %	Fe ₂ O	7.9 - 11 %	9.9 %	
MUS	17 - 35 %	25 %	TiO ₂	1.02 - 1.31 %	1.15 %	
BIO	2 - 9 %	6 %	CaO	0.9 - 1.2 %	1.0 %	
			K ₂ O	3.59 - 4.64 %	4.06 %	
			Rb	83 - 105 ppm	93 ppm	
			Sr	91 - 124 ppm	106 ppm	
			Y	46 - 77 ppm	64 ppm	
			Zr	244 - 304 ppm	270 ppm	
			Ni	77 - 99 ppm	92 ppm	

C.3.3. Bestimmung der Gesteinsdichte aus röntgenographischen Daten

Aus dem röntgenographisch ermittelten quantitativen Mineralbestand ist es möglich die Gesteinsdichte zu berechnen. Der so berechnete Dichtewert wird sich allerdings systematisch von den tatsächlichen Dichten der Gesteine unterscheiden da für die Porosität Null gilt. Für die Dichteberechnung gilt:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1)$$

dabei ist:

ρ = Dichte
V = Volumen
M = Masse

Es gilt:

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (2)$$

V setzt sich additiv aus den Einzelvolumina zusammen:

$$V = \sum_i V_i \quad (3)$$

bzw.

$$V = \sum_i V_i = \sum_i \frac{M_i}{\rho_i} = M \cdot \sum_i \frac{X_i}{\rho_i} \quad (4)$$

mit

V_i = Volumen der i'ten Phase
 M_i = Masse der i'ten Phase
 ρ_i = Dichte der i'ten Phase
 X_i = Gewichtsprozent der i'ten Phase

Durch Einsetzen von (4) in (1) ergibt sich dann

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{M \cdot \sum_i \frac{X_i}{\rho_i}} = \frac{1}{\sum_i \frac{X_i}{\rho_i}} \quad (5)$$

Die berechneten Dichtewerte sind natürlich nur so genau wie die ermittelte quantitative mineralogische Zusammensetzung der Proben. Das heißt, akzessorische Gemengteile ≈ 2 Gew.%, die durch die Methode nicht erfaßt werden, fehlen daher auch bei der Berechnung der Dichtewerte. Die in der Mineraldatei zur Berechnung des Mineralbestandes verfügbaren reinen Mineralphasen decken weitgehend die Mischkristallreihen der meisten gesteinsbildenden wichtigen Minerale ab. Größere Änderungen im Chemismus und damit auch der Dichtewerte der Minerale führen zu Veränderungen der Intensitätsverhältnisse und / oder Verschiebungen der d - Werte. Das wird von dem verwendeten Rechenalgorithmus berücksichtigt. Das bedeutet, daß die zur Berechnung des Mineralbestandes zu Grunde gelegten reinen Standardminerale denen des erbohrten Gesteins sehr nahe kommen, so daß die hier möglichen Fehler sehr gering sind. Der große Vorteil dieser neuen Berechnungsmöglichkeit ist die Erstellung eines lückenlosen Dichte-Profiles des Bohrloches, mit Dichtewerten im Abstand von 1 - 2 m. Dieses Profil ist durch die durchgeführten Bohrmehlanalysen mittlerweile von 1530 - 3350 m VB 1 und VB 1a vervollständigt worden. (Für die Initiierung und Programmierung dieses Programms sei an dieser Stelle Herrn Dr. Lauterjung (Gießen) gedankt.)

In den folgenden Abbildungen werden ein Ausschnitt aus dem Dichteprofil (komplett im Anhang 1 : 1000), einige Mineral / Dichte - Diagramme sowie, besonders wichtig für die Aussagekraft dieser Werte, ein Vergleich zwischen Röntgendichte und Dichtewerten, die mit geophysikalischen Methoden bestimmt wurden, vorgestellt.

Der Ausschnitt des Teufenlogs 1530-1680 m (Abb.C.3.10) zeigt den lithologischen Wechsel bei 1612 m auf. Die eingezeichnete Röntgendichte (XRHO) korreliert deutlich mit den absoluten Amphibol-, Granat- und Pyritgehalten (Abb.C.3.11-Abb.C.3.13). Mit dem Übergang in die Gneisserie erfolgt eine starke Verringerung der Dichtewerte von $2.9 - 3.05 \text{ g/cm}^3$ (Metabasitserie) auf Werte die um 2.7 g/cm^3 schwanken.

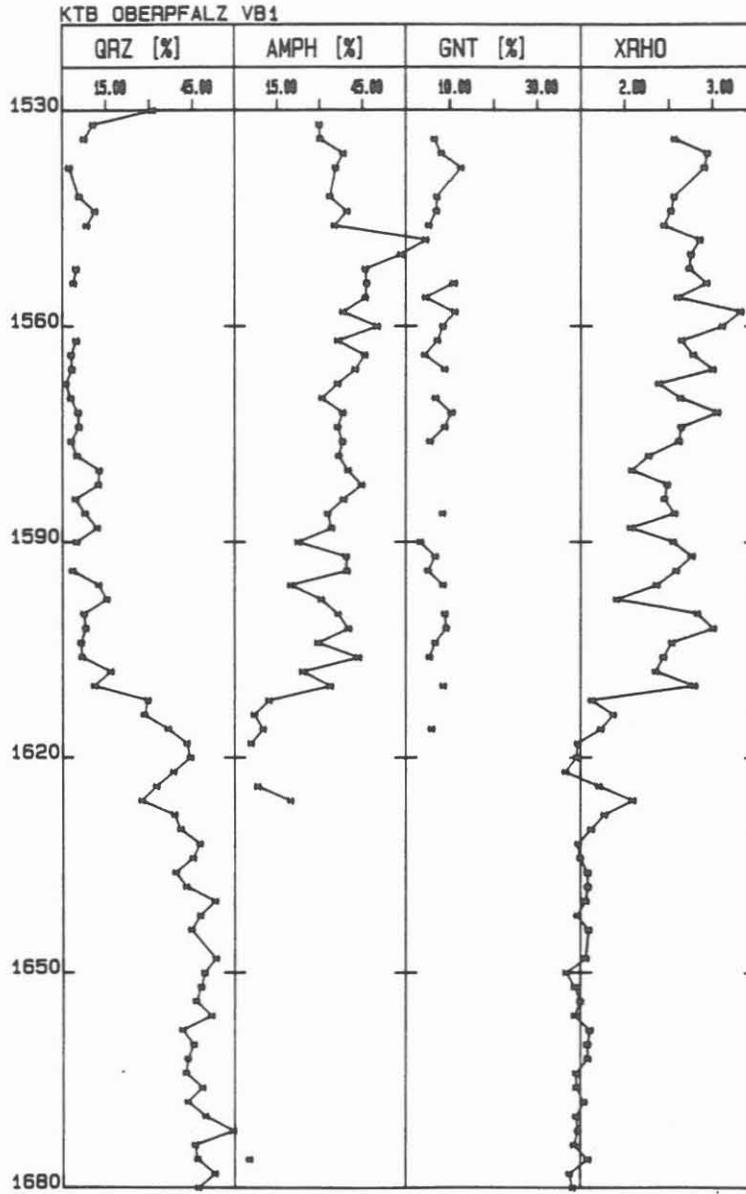


Abb.C.3.10: Ausschnitt eines Teufenlogs (1530 - 1680 m) mit den Mineralphasen Quarz (QRZ), Amphibol (AMPH) und Granat (GNT). Zusätzlich ist die berechnete Röntgendichte (XRHO) eingezeichnet.

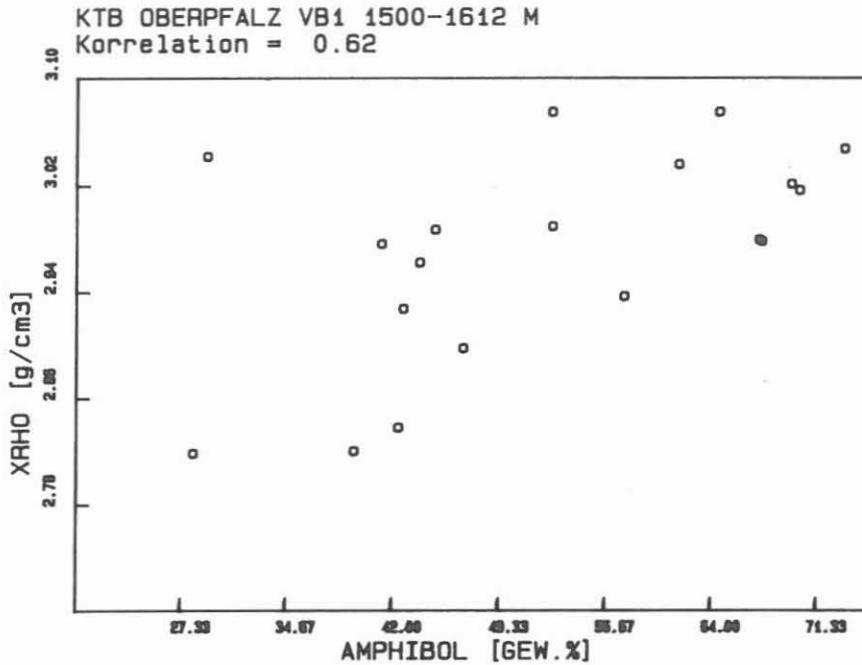


Abb.C.3.11: Amphibol/Dichte - Diagramm im Teufenbereich 1500 - 1612 m (Metabasitserie).

Bei einem Vergleich der Röntgendichte mit den durch die physikalischen Methoden bestimmten Dichtewerten an Kernstücken, wird eine gute Übereinstimmung der Daten erzielt (Abb.C.3.14). Partiiell beobachtete stärkere Abweichungen sind durch die unterschiedlichen Probenarten gegeben. Z-Proben stellen homogene Mischproben dar. Kernstücke werden meist aufgrund lithologischer oder makroskopischer Besonderheiten ausgewählt. Die methodisch bedingte Nachweisgrenze in der quantitativen Phasenanalyse liegt zwischen 1 und 3 Gew.%. Akzessorische Gemengteile unter ca. 2-3 Gew.% können daher nicht erfaßt werden. Gerade diese Gemengteile haben in der Regel eine sehr hohe Dichte (z. B. Magnetit, Zirkon, Pyrit, etc.). Nimmt man z. B. einen Amphibolit mit einer mittleren Dichte von 3.00 g/cm^3 , so würde sich unter Berücksichtigung von 2 Gew.% unbekannter Minerale mit einer durchschnittlichen Dichte von ca. 4.5 g/cm^3 der Dichtewert des Gesamtgesteins um 0.03 g/cm^3 auf 3.03 g/cm^3 erhöhen. Das entspricht einer Abweichung von 1 % absolut. Weitere, geringere Abweichungen der einzelnen Meßergebnisse werden durch das Porenvolumen der Kerne hervorgerufen.

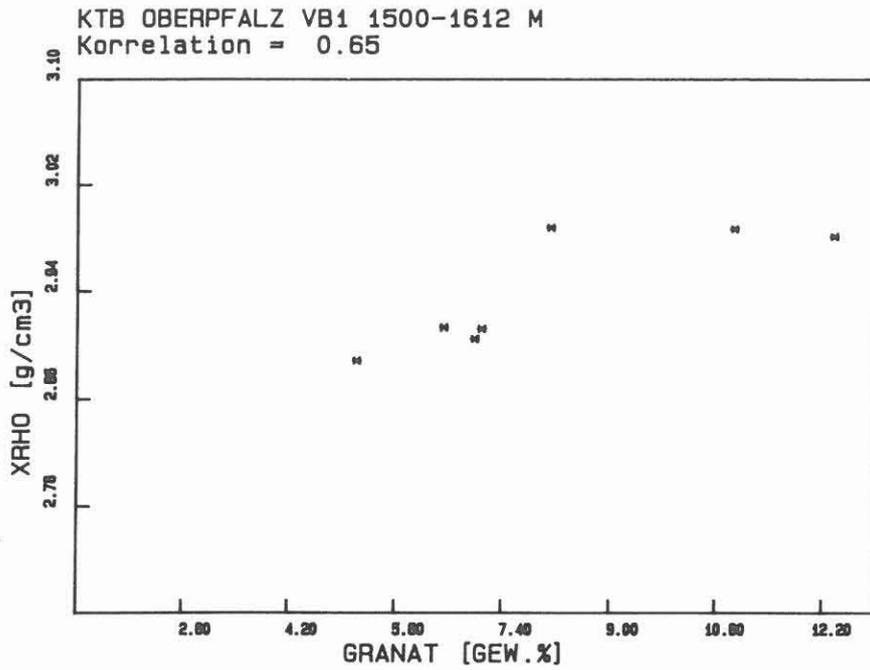


Abb.C.3.12: Granat/Dichte - Diagramm im Teufenbereich 1500 - 1612 m (Metabasitserie).

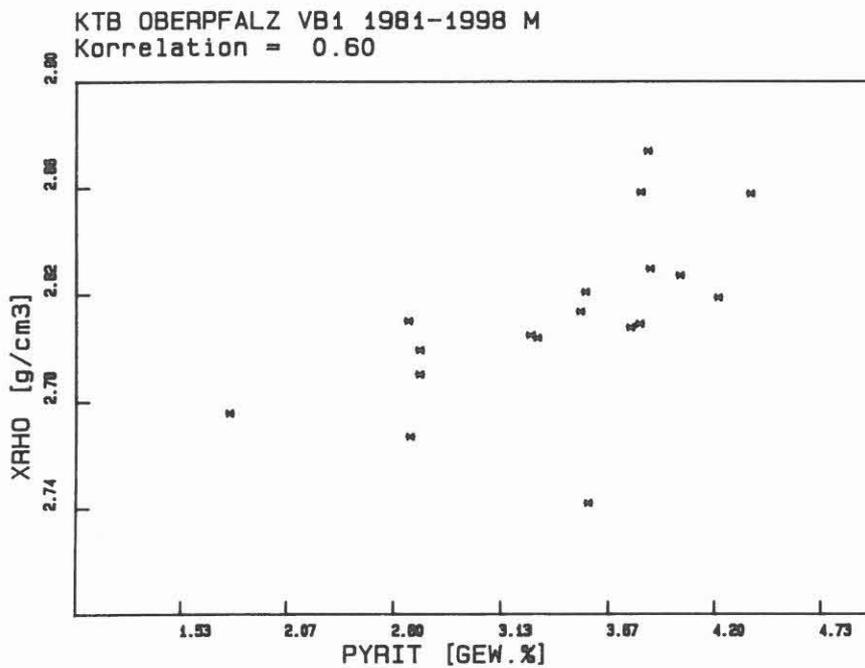


Abb.C.3.13: Pyrit/Dichte - Diagramm im Teufenbereich 1981-1998 m (überprägter, alterierter Paragneis).

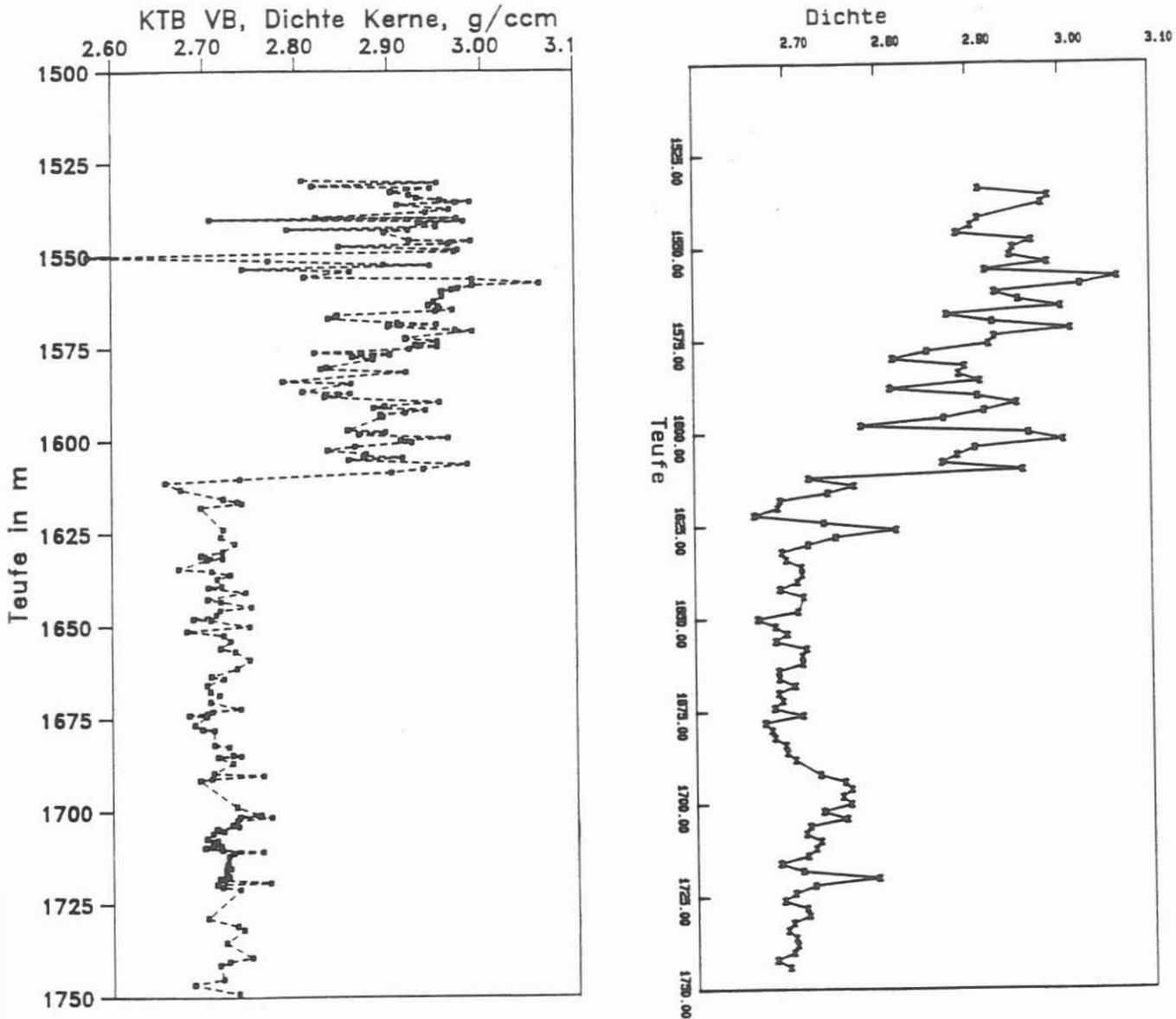


Abb.C.3.14: Vergleich der Röntgendichte (XRHO; rechte Seite) mit den geophysikalisch bestimmten Dichtewerten (linke Seite). Die mit geophysikalischen Methoden bestimmten Dichtewerte wurden uns freundlicherweise von der Feldlabor-Arbeitsgruppe Geophysik überlassen. Es wird, bis auf eine mit Nachfall kontaminierte Zone um 1620 m, eine sehr gute Übereinstimmung der Meßergebnisse beider Methoden erzielt. Der Meßwert des Kernstücks der Teufe 1550 m (linke Spalte) liegt deutlich unter $< 2.6 \text{ g/cm}^3$. Es handelt sich dabei um ein QRZ-FSP-Mobilisat. Durch den beschriebenen Mischprobencharakter der Zentrifugenproben und den Probenabstand von 2m, wird dies bei den röntgenographisch bestimmten Dichtewerten (rechte Spalte) nicht so stark beobachtet.

C.4 Spülungsanalytik

Im Teufenbereich 1530 bis 1998 m wurde die Bohrspülung kontinuierlich, d. h. im 1 bis 2 m Abstand auf ihre chemischen Bestandteile untersucht. Bestimmt wurden die Kationen Na, Ca, K, Li, Sr, Ba, Fe, Mg, Mn, Zn, Si und Al. Dabei wurden die bereits in HEINSCHILD et al., 1988 (KTB-Report 88-1, KTB-Report 88-2) und STROH et al., (KTB-Report 88-6) beschriebenen Aufbereitungs- und Analysenverfahren verwendet. Zusätzlich zu der bisher mit dem ICP-AES durchgeführten quantitativen Analyse der Kationen Na, Ca, K, Li, Sr, Ba, Fe, Mg, Mn und Zn wurden erstmals die Elementgehalte von Si und Al bestimmt.

Die Kationenanalysen sind im Anhang als Teufenlogs im Maßstab 1 : 2000 (Übersichtslog) und im Maßstab 1 : 1000 dargestellt. Die teufenbezogenen Elementgehalte der Anionen Cl^- und SO_4^{2-} in der Bohrspülung sind zusammen mit den Gasanalysen ebenfalls als Teufenlogs im Anhang aufgeführt.

Während des gesamten Bohrabschnittes zwischen 1530 bis 1998 m wurde als Zusatzstoff zur Dehydril-haltigen Bohrspülung ausschließlich NaOH zugegeben. NaOH dient zur Stabilisierung des pH-Wertes der Spülung. Der pH-Wert der Spülung variiert im Teufenbereich 1530 bis 1998 m zwischen 8.8 und 9.9. D-HT haltige Bohrspülung wird zur Volumenergänzung und/oder zur Viskositätsänderung der Spülung eingeleitet. In der Tabelle C.4.1. sind die technischen Einleitungen in das Spülungssystem zusammengestellt. In Abhängigkeit von den jeweils aus technischen Gründen durchgeführten Spülungseinleitungen ändert sich der Chemismus der Bohrspülung. STROH et al., 1988 (KTB-Report 88-6) konnten zeigen, daß diese Spülungseinleitungen aufgrund des sehr einheitlichen Chemismus des Spülungszusatzes Dehydril HT im ppm-Bereich bilanzierbar sind. Somit ist auch in Bohrphasen, in denen Spülungseinleitungen durchgeführt werden, gewährleistet, daß Zuflußhorizonte erkennbar bleiben.

Während der Bohrstrecke, die mit dem Seilkernverfahren (1530 - 1816 m) durchgeführt wurde, wurden bis in eine Teufe von 1697.1 m Spülungseinleitungen mit einem D-HT Gewichtsanteil von 1.25 % vorgenommen. Ab 1730 m betrug die D-HT Konzentration in den Einleitungen 1.5 bis 2.0 %. Zu Beginn der Richtbohrphase (ab 1816 m) wurde die Viskosität der Spülung durch Einleitungen von 2.5 % igem D-HT angehoben.

Das gesamte zirkulierende Spülungsvolumen variierte im Teufenbereich von 1530 bis 1998 m zwischen 56 und 72 m³.

Im Übersichtslog der Bohrspülungsanalysen (1 : 2000, s. Anhang) wird deutlich, daß die Spülung im Bereich der Metamphibolite und Metabasite (1530 bis 1611 m) die Elemente Ca,

Sr, Fe und Mn anreichert. Im Bereich der muskovitführenden Biotitgneise (ab 1611 m bis 1998 m) werden in der Spülung in stärkerem Maße die Elemente K, Ba, Al, Si und Cl⁻ angereichert.

Tab. C.4.1: Einleitungen in das Spülungssystem im Teufenabschnitt 1530 - 1998 m

Teufe (m)	technische Einleitungen	
	X %ige D-HT Spülung	X kg NaOH
1529.4	10 m ³ 1.25% D-HT	
1627.4		2.0 kg NaOH
1629.4	5 m ³ 1.25% D-HT	
1638.4		2.0 kg NaOH
1647.2		2.0 kg NaOH
1666.0	5 m ³ 1.25% D-HT	
1678.8		4.0 kg NaOH
1689.4	10 m ³ 1.25% D-HT	
1692.3	10 m ³ 1.25% D-HT	9.0 kg NaOH
1697.1	5 m ³ 1.25% D-HT	
1730	6 m ³ 2.0 % D-HT	
1740		5.0 kg NaOH
1765		5.0 kg NaOH
1768	5 m ³ 1.5 % D-HT	
1773		6.0 kg NaOH
1775	4 m ³ 1.5 % D-HT	
1798		6.0 kg NaOH
1804	6 m ³ 1.7 % D-HT	
1816		6.0 kg NaOH
Beginn der Richtbohrphase		
1824	3 m ³ 2.5 % D-HT	
1834	3 m ³ 2.5 % D-HT	
1867	4 m ³ 2.5 % D-HT	
1890	4 m ³ 1.5 % D-HT (Anteil ausgescherter Spülung)	
1897		2.0 kg NaOH
1930	5 m ³ 1.5 % D-HT (Anteil ausgescherter Spülung)	
1980	5 m ³ 1.5 % D-HT (Anteil ausgescherter Spülung)	
1982.0		2.0 kg NaOH

Durch Laborversuche konnten wir bereits zeigen, daß eine

Anreicherung von Ca, Sr, Fe und Mn auf Wechselwirkungen (Spülung/Feststoffe) der Bohrspülung mit der Hornblende und dem Plagioklas des erbohrten Gesteins zurückzuführen ist (HEINSCHILD et al., 1988 KTB-Report 88-2 ; STROH et al., 1988 KTB-Report 88-6). Die Anreicherung der Elemente K, Ba, Al und Si läßt sich damit erklären, daß feinkörnig zermahlene Schichtsilikate (vor allem Muskovit) im alkalischen Milieu der Bohrspülung in Kolloidform überführt werden und mit den kolloidalen Partikeln des Spülungszusatzes Dehydril "verwachsen". Ein derartiger "Einbauvorgang" wäre mit schichtparallelen Verwachsungen ("mixed - layer" Strukturen) vergleichbar, die vor allem für die Gruppe der Tonminerale bekannt sind (s. hierzu auch STROH et al., 1988).

Um die Auslaugungs- bzw. Einbauprozesse näher zu quantifizieren, wird in der Tabelle C. 4. 2. die Spülungszusammensetzung im Teufenbereich 1530 bis 1998 m jeweils kurz nach einer Spülungseinleitung mit dem Chemismus der Spülung kurz vor der nächsten Spülungseinleitung verglichen.

Gleich zu Beginn der Bohrphase dieses Berichtszeitraumes - zwischen 1532 bis einschließlich 1621 m - wurden über einen Teufenbereich von nahezu 100 m keine Spülungsmanipulationen vorgenommen. Derartige Bohrabschnitte sind besonders geeignet, um Wechselwirkungen der Bohrspülung mit dem erbohrten Gestein festzustellen. Vergleicht man die Spülungsanalysen der Teufenbereiche 1532 - 1536 m und 1617 - 1621 m miteinander (s. Tab. C. 4. 2.) so wird deutlich, daß der Nettobetrag der Anreicherung für Ca 90 ppm, für Fe 310 ppm und für Mn 4 ppm in der Spülung beträgt. Das reine Dehydril weist ein Mg/Li Verhältnis von 46 auf (s. hierzu D-HT synthetisch 1 % in Tab. C. 4. 2.) In dem hier diskutierten Teufenbereich zwischen 1532 und 1621 m wird in der Spülung ein mittleres Mg/Li Verhältnis von 54 gemessen. Dies bedeutet, daß Mg ebenfalls in der Bohrspülung angereichert wird. Eine Verarmung der Spülung an Li, die ebenfalls ursächlich für ein steigendes Mg/Li Verhältnis in der Bohrspülung sein könnte, wurde bisher noch nicht beobachtet.

Bezogen auf das gesamte Spülungsvolumen zwischen 1530 und 1621 m von im Mittel 61 m^3 berechnet sich eine Nettozufuhr von 5.5 Kg Ca in die Spülung auf einer Bohrstrecke von etwa 100 m. Im Hinblick auf Bohrlochwandausbrüche kann also die auslaugende Wirkung der Spülung nur von untergeordneter Bedeutung sein. Vielmehr ist es wahrscheinlich, daß die Wechselwirkung der Bohrspülung mit dem Bohrmehl bei Auslaugungsvorgängen in der Bilanz überwiegt. Ein weiteres Argument hierfür ist auch in der erhöhten Oberfläche zu sehen, die das feinkörnig zermahlene Bohrmehl der Bohrspülung für Auslaugungsvorgänge bietet. Aus der experimentellen Petrologie ist bekannt, daß Reaktionen zwischen Mineralen und fluiden Phasen um so schneller ablaufen je geringer die Korngröße der untersuchten Mineralphasen ist.

Tab. C.4.2: Spülungschemismus (Angaben in ppm) des Teufenbereichs 1530 - 1998m jeweils kurz nach einer Spülungseinleitung bzw. kurz vor der nächsten Spülungseinleitung.

	Na	Ca	K	Li	Sr	Ba	Fe	Mg	Mn	Zn	Al	Si	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	%D-HT
D-HT (synth.) 1%	170	13	1.8	30	<0.1	<0.1	4	1380	n.d.	n.d.	3.3	2400	1	23	1.0
Teufe															
Spülungseinleitung															
1525 - 1528 m	460	170	100	38	1.0	2.2	730	1960	8.9	15	-	-	17.6	103	1.34
10m ³ 1.25% D-HT															
1532 - 1536 m	480	160	110	40	1.0	2.8	750	2020	9.7	14	-	4370	18.9	114	1.40
1617 - 1621 m	490	250	140	36	1.4	3.2	1060	2040	13.1	15	-	-	20.2	118	1.48
2kg NaOH 5m ³ 1.25% D-HT															
1631 - 1638 m	490	220	160	34	1.3	3.6	1040	1950	12.7	16	-	-	27.2	114	1.27
2kg NaOH															
1639 - 1644 m	500	220	180	34	1.4	3.9	1090	1950	13.0	16	-	-	19.2	108	1.27
2kg NaOH															
1647 - 1657 m	540	200	170	35	1.3	3.6	990	1900	11.8	15	-	-	20.2	105	1.27
1663 - 1665 m	530	230	200	34	1.5	4.5	1180	1950	14.1	16	-	-	28.8	110	1.27
5m ³ 1.25% D-HT															
1669 - 1672 m	540	190	170	36	1.2	3.6	970	1970	11.5	16	-	-	23.8	109	1.31
1676 - 1678 m	550	200	190	36	1.3	4.1	1090	2000	12.9	16	-	-	18.4	121	1.32
4kg NaOH															
1679 - 1680 m	590	200	210	36	1.4	4.3	1130	1990	13.3	16	-	-	20.1	103	1.32
1686 - 1687 m	600	190	210	36	1.3	4.3	1110	2010	12.7	17	-	4570	20.4	115	1.33
10m ³ 1.25% D-HT 10m ³ 1.25% D-HT 9kg NaOH 5m ³ 1.25% D-HT															
1700 - 1705 m	560	140	180	34	1.2	3.9	850	1810	10.1	15	-	3970	16.1	90	1.20
1724 - 1729 m	530	120	190	33	1.1	3.9	870	1750	9.8	16	-	3870	17.0	87	1.18
6m ³ 2.0% D-HT															
1738 - 1739 m	520	120	190	36	1.0	4.0	830	1840	9.7	15	650	4070	16.8	88	1.27
1743 - 1746 m	530	120	190	36	1.1	4.1	860	1840	9.8	16	670	4120	16.6	89	1.27

Tab. C.4.2 Fortsetzung:

	Na	Ca	K	Li	Sr	Ba	Fe	Mg	Mn	Zn	Al	Si	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	%D-HT
Teufe															
Spülungseinleitung															
5kg NaOH															
1752 - 1755 m	570	110	180	36	1.0	3.6	790	1820	9.3	15	580	3900	17.1	88	1.26
1760 - 1764 m	600	110	200	37	1.1	3.9	830	1890	9.9	17	640	4090	16.0	88	1.30
5kg NaOH 5m ³ 1.5% D-HT 6kg NaOH 4m ³ 1.5% D-HT															
1785 - 1795 m	630	100	190	35	1.0	3.7	740	1820	8.8	15	570	3960	14.8	97	1.24
6kg NaOH 6m ³ 1.7% D-HT															
1809 - 1816 m	650	130	220	34	1.1	4.2	760	1780	8.5	13	630	3880	11.9	94	1.21
6kg NaOH															
1819 - 1823 m	680	120	210	34	1.1	4.3	770	1750	8.9	14	640	3940	19.4	100	1.27
3m ³ 2.5% D-HT 3m ³ 2.5% D-HT															
1843 - 1849 m	660	100	210	38	1.0	4.2	760	1930	8.7	14	650	4360	23.5	105	1.40
1855 - 1865 m	660	110	230	37	1.1	4.7	820	1920	9.3	13	730	4410	27.1	100	1.39
4m ³ 2.5% D-HT															
1869 - 1877 m	640	110	220	40	1.2	4.4	800	2020	9.3	12	700	4540	30.0	108	1.46
1883 - 1889 m	650	110	230	39	1.1	4.5	810	2000	9.5	12	700	4450	26.5	111	1.45
4m ³ 1.5% D-HT 2kg NaOH															
1903 - 1911 m	650	110	230	39	1.1	4.7	820	2010	9.7	12	700	4450	30.3	117	1.46
1923 - 1929 m	650	120	260	40	1.2	5.2	910	2070	10.6	13	830	4850	25.6	114	1.42
5m ³ 1.5% D-HT															
1935 - 1941 m	630	110	240	40	1.1	4.7	850	2040	10.1	12	740	4750	24.5	114	1.48
1969 - 1977 m	660	110	260	41	1.1	5.0	910	2150	10.5	13	780	5040	35.6	118	1.46
5m ³ 1.5% D-HT 2kg NaOH															
1987 - 1989 m	650	110	240	41	1.2	5.1	880	2100	10.2	14	760	4950	32.8	122	1.44
1993 - 1997 m	640	130	260	40	1.5	5.4	890	2030	10.4	12	760	4670	35.6	137	1.40

Ab 1611 m überwiegt dann offenbar der Prozeß der Schichtsilikat - Laugung. Trotz häufiger Spülungseinleitungen steigt der K-, Ba- und Al- Gehalt in der Bohrspülung stetig mit zunehmender Teufe an. Dies gilt ebenfalls für die Cl^- -Gehalte. Im reinen D-HT sind die Elemente K, Ba, Al und Cl^- nur im ppm-Bereich enthalten. Die Einleitung frischer Dehydril-Bohrspülung sollte also in einer Verringerung der Gehalte dieser Elemente in der Bohrspülung resultieren. Dies wird z. B. deutlich für die Elemente Ca und Mn, die ebenfalls nur im ppm-Bereich im reinen Dehydril enthalten sind. Ab 1611 m nehmen die Ca- und Mn- Gehalte kontinuierlich, bedingt durch den Verdünnungseffekt der eingeleiteten Spülung, ab. Für K werden maximale Gehalte von etwa 260 ppm, für Ba von etwa 5.4 ppm und für Al von etwa 830 ppm ermittelt. Auch Si wird angereichert. Eine Bilanzierung beim Element Si wird jedoch erschwert, da Si auch Hauptbestandteil des Dehydrils ist. Berechnet man jedoch z. B. im Teufenbereich 1935 - 1977 m (s. Tab. C. 4. 2.) über das Element Li den aktuellen Dehydrilgehalt in der Bohrspülung so ergeben sich 1.33 Gew. % D-HT. In einer 1 % igen synthetischen D-HT Spülung sind 2400 ppm Si enthalten. Wenn die Si- Gehalte der Bohrspülung nur aus dem Dehydrilanteil stammen sollten so müßten im Teufenbereich 1935 - 1977 m etwa 3200 ppm Si bestimmt werden. Der in der Bohrspülung gemessene Si- Gehalt liegt aber im Mittel um etwa 1700 ppm höher als der theoretische Wert. Im Teufenbereich 1935 - 1977 m werden im Mittel 250 ppm K und 760 ppm Al in der Bohrspülung bestimmt. Das K/Al Verhältnis von 0.34 in der Spülung entspricht dem K/Al Verhältnis im Muskovit. Um sicherzustellen, daß das für die Kationenanalytik entwickelte Aufbereitungsverfahren (Verdünnung, Ultraschall-Behandlung, Auszentrifugierung des Bohrmehls (s. HEINSCHILD et al., 1988 KTB-Report 88-1) nicht die Gefahr der Anregung von Feststoffen im Plasma des ICP-AES birgt, wurde als abschließender Präparationsschritt eine Filtration der aufbereiteten Bohrspülung mit 0.45 μm Filtern durchgeführt. Vergleichsmessungen zeigten, daß durch den abschließenden Schritt der Filtration keine Erniedrigungen in den Elementgehalten feststellbar sind. Wie bereits oben beschrieben läßt sich eine Anreicherung der Elemente K, Ba, Al und Si in der Bohrspülung am besten durch eine Überführung der feinkörnig zermahlene Schichtsilikate in eine kolloidale Form mit anschließendem Einbau der neugebildeten Kolloide in die Gel-Struktur des Dehydril erklären. Kolloidalen Systemen wird im allgemeinen eine Partikelgröße im Bereich 1 μm bis 1 nm zugeordnet.

Im Bereich der Havariezone bei 1998 m reichert die Spülung in geringem Maße Ca, Cl^- und SO_4^{2-} an. Die Sulfat-Anreicherung erklärt sich durch die Oxidationsreaktion der Bohrspülung mit dem in dieser Störungszone vorkommenden Pyrit. Die Ca und Cl^- - Anreicherungen in der Havariezone sind jedoch viel zu gering, um für den Teufenbereich 1993 - 1997 einen Zuflußbereich salinärer Formationswässer zu postulieren. Durch die kontinuierliche Spülungsanalytik im Teufenbereich zwischen 1530 bis 1998 m bestätigt sich die Erfahrung, daß die Gesteine, die bisher in der ZEV erbohrt wurden, durch

eine Abwesenheit zirkulierender Wässer gekennzeichnet sind.
Zuflußhorizonte ließen sich bisher nicht eingrenzen.

C.5 Gasanalytik

C.5.1 Allgemeines

Auch im Teufenbereich 1530 - 1998 m wurde quasi-kontinuierlich die in der Bohrspülung enthaltenen Gase bestimmt, die mit einem Quirlentgaser freigesetzt werden. Analysiert wurden die Gase N₂, O₂, Ar, He, CO₂, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, H₂S, SO₂, H₂, He und H₂O. Die Daten sind in Form von Teufenlogs im Anhang Abb.C.9.4 dargestellt.

Dargestellt wurden nur die aussagekräftigsten Parameter wie Helium, Methan, Wasserstoff und Sauerstoff sowie die Anionen Chlorid und Sulfat. Bohrtechnische Parameter und spülungsrelevante Daten wie Leitfähigkeit (der ein- und auslaufenden Bohrspülung), pH (der ein- und auslaufenden Bohrspülung), Redox (der ein- und auslaufenden Bohrspülung), sowie Bohrfortschritt, Meißellast, Pumprate und Aktivtankvolumen, die von der Mud Logging Unit (AG GEODATA, NL BAROID und PREUSSAG) gemessen werden, sind ebenfalls aufgeführt. Gemessene negative Eh-Werte konnten infolge fehlender Softwareanpassung nicht aufgezeichnet werden und sind durch 0-Werte dargestellt. Durch notwendige Umrüstungen am Gasmassenspektrometer konnten für die Teufenbereiche 1530 - 1628m, 1633 - 1651m, 1663 - 1673m und 1682 - 1687m keine Gasmessungen durchgeführt werden.

Die durch einen Quirlentgaser aus der Bohrspülung freigesetzte Gasmenge wird kontinuierlich mit einer konstanten Rate abgesaugt. Ist die freigesetzte Gasmenge zu gering, baut sich in der Gasfalle ein Unterdruck auf. Bei Unterschreitung eines Mindestdrucks wird Fremdluft angesaugt. Dies führt zu einer Veränderung der Stickstoff- und Sauerstoffgehalte in der Gasphase und läßt somit keine Aussagen mehr über z.B. Sauerstoffverbrauch beim Bohrprozeß zu.

C.5.2 Meßergebnisse

Je nach eingesetzten Bohrwerkzeugen lassen sich unterschiedlich zusammengesetzte Gasphasen in der Bohrspülung nachweisen (siehe STROH, 1988). In Tabelle C.5.1 ist für Methan und Wasserstoff eine Abhängigkeit vom verwendeten Bohrwerkzeug aufgeführt. Bei dieser Darstellung werden Teufenbereiche, die lithologiebedingt erhöhte "Gasgehalte" aufweisen, nicht berücksichtigt.

Tab. C.5.1: Methan und Wasserstoff in Abhängigkeit vom verwendeten Bohrwerkzeug (1000-3200m)

Gas	Rollenm.	Dia- Bohrkr.	Warzenm.	Dia-Vollkr.
CH ₄	wenig	viel	wenig	wenig
H ₂	kein	sehr viel	wenig	kein

Die Dia-Bohrkronen werden bei der KTB-Vorbohrung mit einem Kraftdrehkopf angetrieben. Während des Bohrbetriebs beträgt die Pumprate für die Bohrspülung circa 220 l/min. Dia-Vollkronen, Warzen- und Rollenmeißeln werden jedoch über Turbinen angetrieben. Dazu muß die Pumprate für die Bohrspülung auf 500-600 l/min erhöht werden.

Ein quantitativer Vergleich der Gaszusammensetzungen für unterschiedliche Bohrwerkzeuge ist durch die unterschiedliche Pumprate infolge von "Verdünnungseffekten" nicht möglich.

Für die Gase Methan und Wasserstoff lassen sich z.T. unterschiedliche Konzentrationsbereiche je nach eingesetztem Bohrwerkzeugtyp angeben. Beim Einsatz von Dia-Bohrkronen lassen sich in der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase deutlich höhere Wasserstoff- und Methangehalte nachweisen, als beim Bohren mit Dia-Vollkronen, Rollen- und Warzenmeißeln. Sauerstoff- und Stickstoffgehalte können durch Luftkontamination verfälscht sein und werden deshalb nicht berücksichtigt.

Neben dem Durchteufen von "gasführenden" Gesteinspartien können auch bohrtechnische Prozesse zu Gasanreicherungen führen. Die dabei auftretenden "Gastypen" werden wie folgt definiert:

- Gebirgs gas : im Gestein vorliegendes Gas
- Trip gas : bei Bohrwerkzeugwechsel auftretende Gasanreicherung
- Connection gas : bei Bohrkernentnahme auftretende Gasanreicherung

Die Abhängigkeit der Zusammensetzung der Gasphase von den verwendeten Bohrwerkzeugen ist auch in den Tripgasen feststellbar (Tab.C.5.2).

Tab.C.5.2 : Zusammenstellung der Helium-, Methan- und Wasserstoffgehalte in Tripgasen

Teufe (m)	He (ppm)	CH ₄ (ppm)	H ₂ (ppm)	
1698	21	2440	12200	K
1700	14	2440	8200	K
1722	22	960	11000	K
1729	41	1380	4300	K
1755	16	1990	8900	K
1816	12	2030	2300	K
1832	9	400	0	R
1867	-	-	-	R
1872	11	410	20	R
1901	9	360	10	R
1930	-	-	-	R
1980	17	710	260	R

R = Richtbohrarbeiten (Rollenmeißel, Warzenmeißel und Dia-Vollkrone)
 K = Seilkernverfahren (Dia-Krone)

In Abb.C.5.1 ist die Sauerstoffkonzentration in der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase aus dem Teufenbereich 1800 - 1900m dargestellt. Bis zur Teufe 1816m variieren die Meßwerte stark, was durch häufige Bohrkernentnahme (Seilkernverfahren) verursacht wurde. Beim erneuten Kernentnahmen treten dann je nach durchteufter Lithologie und bohrtechnischen Parametern (Bohrfortschritt, Pumprate...) mehr oder weniger deutlich Gasanreicherungen (Connexiongase) auf. Solche Gasanreicherungen zeichnen sich durch erhöhte Gehalte an Helium und Methan sowie Sauerstoffverarmungen aus (STROH, 1988). Eine Sauerstoffverarmung erfolgt durch Verbrauch des in der Bohrspülung gelösten Sauerstoffs infolge Oxidationsreaktionen. Bei einem Bohrstillstand kann der gesamte Sauerstoff verbraucht werden, während beim Bohren laufend mit Sauerstoff (Luft) beladene Spülung in das Bohrloch gepumpt wird. Die Sauerstoffkonzentrationserniedrigung ist dadurch geringer. Die im Teufenbereich 1800 - 1816m aufgeführten Sauerstoffminima werden durch "Connectiongase" hervorgerufen (Abb.C.5.1). Ab 1816m nimmt die Sauerstoffkonzentration deutlich zu (Rollenmeißel, eventuell Fremdluft). Die Sauerstoffminima bei 1832 und 1872m wurden durch Bohrwerkzeugwechsel (Tripgase) verursacht. In den Teufenlogs im Anhang sind sämtliche Bohrwerkzeugwechsel markiert (Symbol = <-).

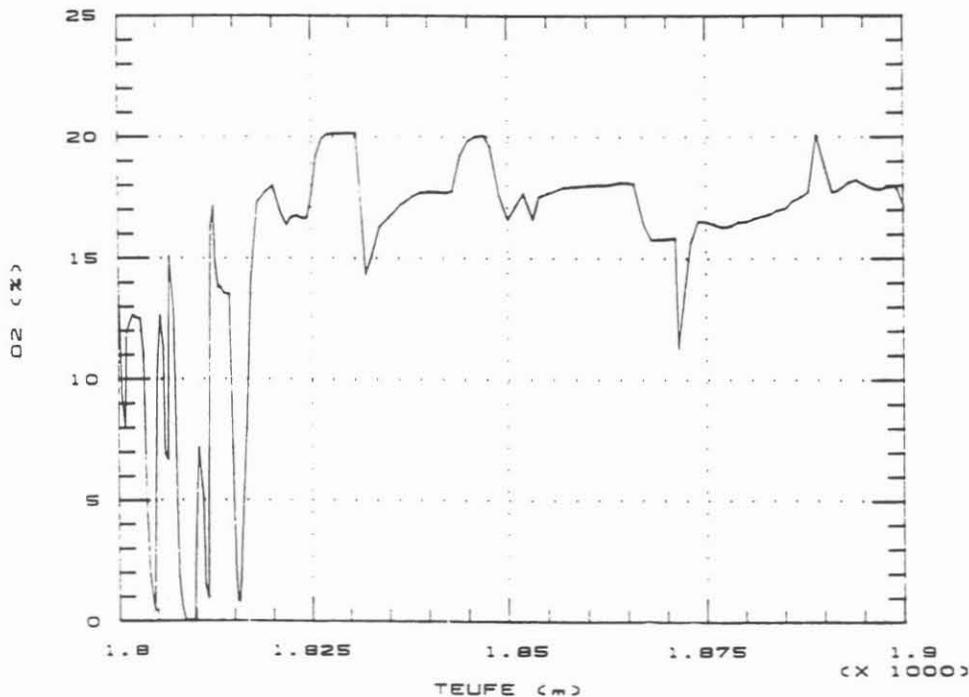


Abb.C.5.1: Sauerstoffgehalte der Bohrspülung des Teufenbereichs 1800 - 1900m

In Abb.C.5.2 sind die Wasserstoffgehalte im Teufenbereich 1800 - 1998 m dargestellt. Bis 1816 m wurden Dia-Bohrkronen eingesetzt. Danach folgte eine Richtbohrphase mit Rollenmeißeln und dem 3½"-Rotarybohrstrang. Signifikant ist der abrupte Wechsel in den Wasserstoffgehalten im Teufenbereich 1816/1817m. Dies ist ein Indiz dafür, daß beim Einsatz von Dia-Bohrkronen Wasserstoff bis in den Prozentbereich auftritt (KTB-Report 88-6). Im Teufenbereich 1867 - 1872m wurde der 3½"-Rotary-Bohrstrang zusätzlich stabilisiert. In diesem Teufenbereich wurden danach bis zu 400 ppm Wasserstoff beim Bohren registriert. Beim Bohren ohne Stabilisatoren wurden durchgängig Wasserstoffgehalte unter 20 ppm gemessen, d.h. je nach Bohrstrangzusammenstellung wird Wasserstoff nicht nur an der Bohrlochsohle durch die Wechselwirkung Dia-Bohrkrone Gestein Spülung produziert, sondern es kann offenbar auch durch Reibung des "Gestänges" (Wolframkarbid-Plättchen der Stabilisatoren) an der Bohrlochwand zu einer Wasserstoffbildung kommen. Bei einem "Nachräumen" des Bohrlochs wurden mit dieser Bohrstrangkombination sogar zwischen 1000 - 3000 ppm Wasserstoff gemessen.

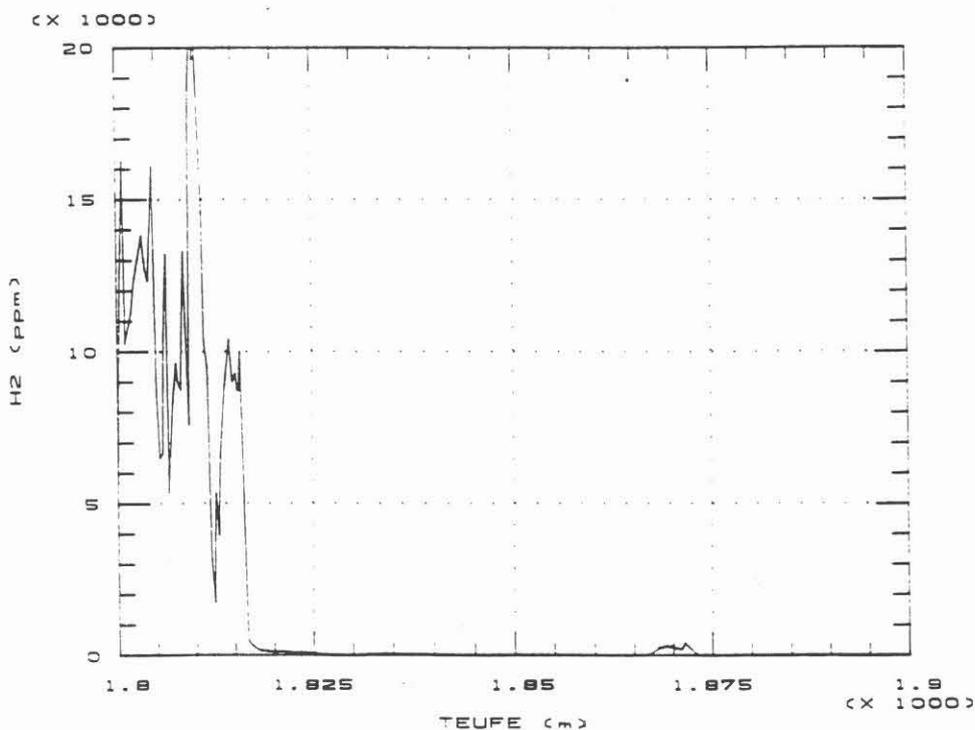


Abb.C.5.2: Wasserstoffgehalte der Bohrspülung des Teufenbereichs 1800 - 1998m

Die Wasserstoffbildung wird demnach durch bohrtechnische Parameter gesteuert. In Abb.C.5.3 ist eine Korrelation zwischen dem Drehmoment des Gestänges mit dem Wasserstoff dargestellt. Je mehr Kraft zum Drehen des Gestänges aufgewendet werden muß (höhere Reibung), umso mehr Wasserstoff wird gebildet.

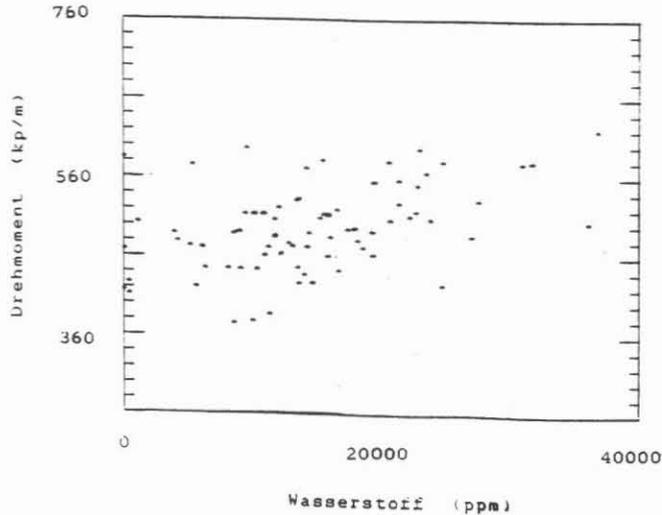


Abb.C.5.3: Korrelation zwischen Drehmoment beim Bohren und Wasserstoffgehalten der Bohrspülung

Bei Anwendung der Seilkerntechnik werden die Eh-Meßwerte der Bohrspülung durch die Wasserstoffkonzentration in der Bohrspülung gesteuert (Abb.C.5.4).

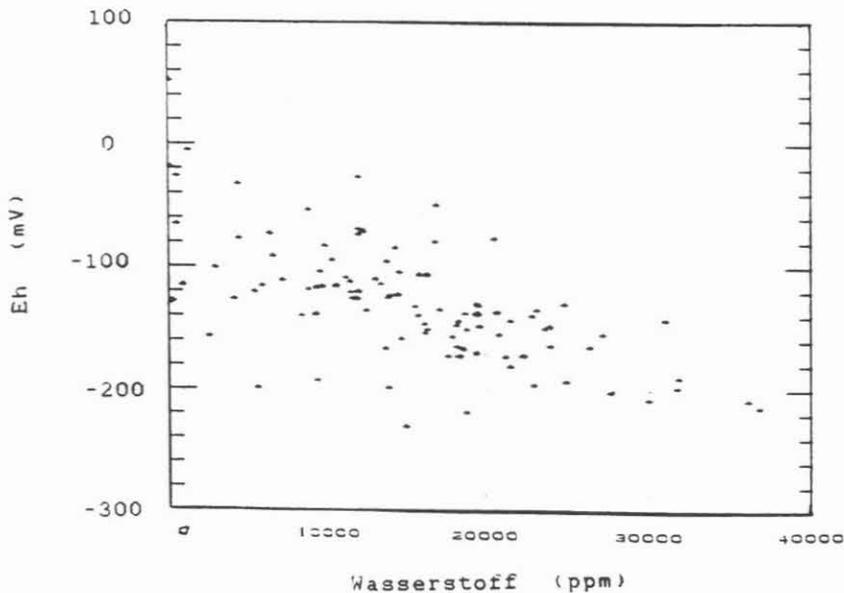


Abb.C.5.4: Abhängigkeit zwischen den Eh-Werten der Bohrspülung und der in der Bohrspülung gelösten Wasserstoffkonzentration

Die Methangehalte im Teufenbereich 1530 - 1998m zeigen in einigen Abschnitten deutliche Anreicherungen (1680-1720m, 1750-1770m, 1780-1830m, 1870-1890m, 1900m, 1920-1940m und 1978-1998m). Einzelne Maxima kommen auch durch Tripfgase oder Connectiongase zustande (Abb.C.5.5). In Tabelle C.5.2 sind die Helium-, Methan- und Wasserstoffgehalte in den während des des Berichtszeitraums aufgetretenen Tripfgasen aufgeführt. Durch das Seilkernverfahren treten wiederholt Connectiongase auf, die eine Interpretation der Methangehalte sehr erschweren. Deutlich tritt wieder der Übergang (1816/1817m) zwischen dem Seilkernverfahren mit Dia-Kronen und dem Rotary-Bohrverfahren mit Rollenmeißeln in Erscheinung. Im Teufenbereich 1816-2000m (Richtbohrstrecke) sind geringe Methananreicherungen in der Bohrspülung während des Bohrens zu erkennen, da Connectiongase bei dem Rotaryverfahren nicht auftreten. Bohrwerkzeugwechsel werden durch scharfe Peaks (Tripfgase, siehe auch Tab.C.5.2) markiert.

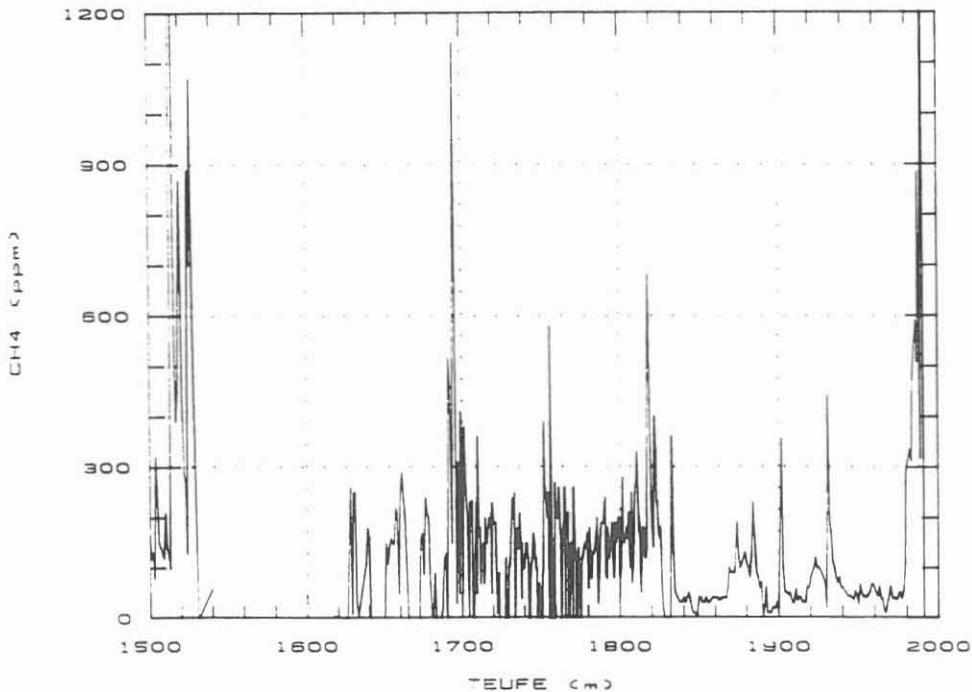


Abb.C.5.5: Methangehalte in der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase des Teufenbereichs 1500-2000m

Der gasanalytisch interessanteste Horizont war der Teufenbereich 1900 - 1998m. In Abb.C.5.6 und C.5.7 sind die hier auftretenden Gehalte für Methan und Helium aufgeführt.

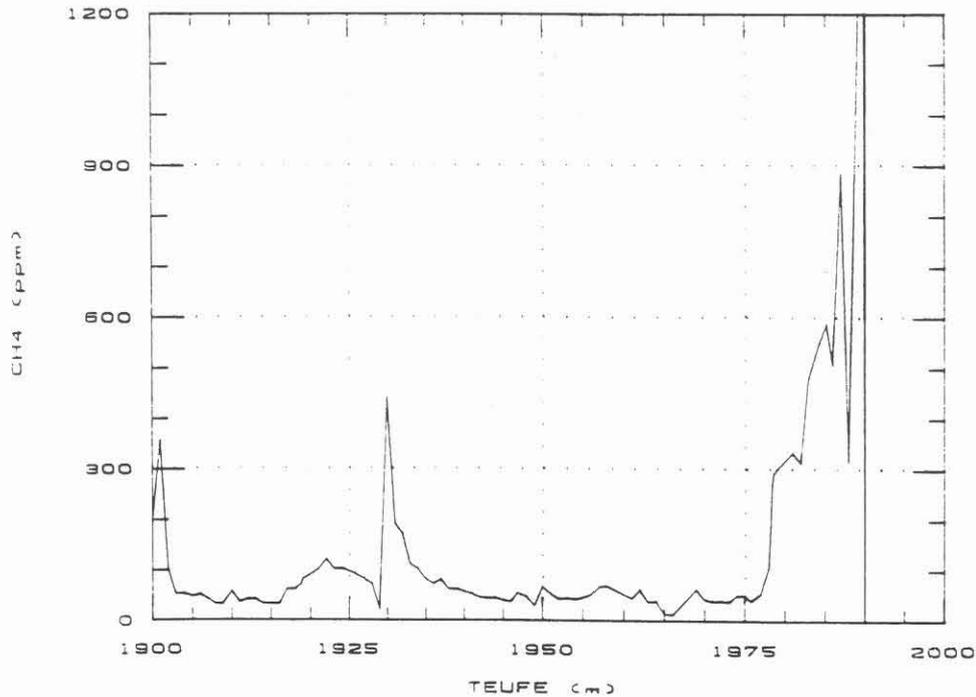


Abb.C.5.6 : Methangehalte der Bohrspülung im Teufenbereich 1900-2000m (um die Methananreicherungen besser erkennen zu können, wurde eine lineare Skalierung bis 1200 ppm gewählt)

In der Teufe 1901, 1930 und 1980m wurde das Bohrwerkzeug gewechselt (siehe Tabelle C.5.2). Im Teufenbereich 1916-1940m tritt eine leichte Methananreicherung auf, die auch bei den Cuttings durch graphitreiche Harnische dokumentiert wird. Ab der Teufe 1977m kam es während des Bohrens zu einer deutlichen Methananreicherung. Die ersten erhöhten Methangehalte bei Annäherung an die "Havariezone"(1998m) lassen sich ab Teufe 1977m (Tab.C.5.3) feststellen. Der Anstieg erfolgte relativ abrupt, konnte zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht einer graphitführenden Zone zugeordnet werden.

Tab.C.5.3: Methangehalte im Teufenbereich 1978-1998m

Teufe (m)	Methan (ppm)
1977	54
1978	110
1979	300
1980	-
1981	330
1982	320
1983	480
1984	550
1985	580
1986	510
1987	880
1988	320
1989	1200
1990	5300
1991	4600
1992	7100
1993	3100
1994	3400
1995	2400
1996	2300
1997	2300
1998	2200

Inwieweit das Methan als Gas schon im Gestein vorlag oder erst nachträglich durch den Bohrprozeß gebildet worden ist, kann nur eindeutig durch Kohlenstoff-Isotopenanalysen geklärt werden.

Anhand der erzielten Meßdaten lassen sich folgende Aussagen zur "Methanproblematik" machen:

1. Im Teufenbereich 1817 - 1978m wurden ähnliche Bohrfortschritte (2 - 3m) erreicht, wie beim Seilkernverfahren. Somit könnte, falls es sich nicht um überwiegend artifiziel gebildetes Gas handelt, dieser Konzentrationsunterschied nur durch den Aufmahlungsgrad (Korngröße) des durchteuften Gesteins zustande kommen. Beim Einsatz von Rollenmeißeln fallen als Feststoffproben überwiegend Cuttings an, während beim Bohren mit Dia-Kronen feinstes Bohrmehl entsteht. Beim Einsatz von Diamantbohrwerkzeugen wird pro erbohrtem m Gestein 0.024 m^3 Gestein "zerstört", während durch den Einsatz eines Rollenmeißels 0.036 m^3 Gestein aufgemahlen wird.
2. Eine am Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung in Gießen durchgeführte Cuttingsentgasung aus der Teufe 1998m belegt das Vorhandensein von Methan in den graphitführenden Gneisen des Teufenbereichs 1978-1998m.
3. Methan-Bildung könnte durch Wechselwirkungen zwischen dem durchteuften Gestein und den eingesetzten Bohrwerkzeugen

zustände kommen. Da aber Graphit in den durchteuften Gesteinen nicht homogen verteilt, sondern meist auf Scherflächen konzentriert vorkommt, könnte eine Methanbildung entsprechend

" Graphit + Reibungswärme + Wasserstoff => Methan "

nur begrenzt und lokal auftreten. Eine andere Möglichkeit ist ein sogenanntes "Nachgasen" von "methanführenden Horizonten". Doch dann müßten die Methangehalte in den Tripgasen beim Seilkernverfahren und beim Rotary-Bohren nicht so deutliche Unterschiede aufweisen (siehe Tab.C.5.2).

Für eine Methanbildung bleibt theoretisch noch die Bohrkronen selbst als "Gaslieferant" übrig. Untersuchungen haben ergeben, daß durch eine unzureichende Kühlung von Diamantbohrkronen die auftretende Hitze nicht schnell genug abgeleitet werden kann, so daß es zu einer Graphitisierung der Diamanten kommt. Selbst bei Temperaturen von 1200°C tritt diese Graphitisierung der Diamanten nach einigen Minuten bis Stunden in Erscheinung. Dabei steigt mit der Unreinheit (C-Verunreinigung) der Diamanten die Wahrscheinlichkeit der Graphitisierung (WEAVIND and DAUNCEY, 1961). Inwieweit dabei auch die Matrix der Bohrkronen und die zur Außenkalibrierhaltigkeit eingesetzten Wolframkarbidplättchen, sowie eingesetzte diverse Stabilisatoren eine Rolle spielen, kann noch nicht geklärt werden.

4. In Abb.C.5.7 ist die Beziehung zwischen den Methangehalten und der Wasserstoffkonzentration dargestellt. Für diesen Vergleich wurde der Teufenbereich 2200-2410m (Seilkernverfahren) ausgewählt. Zum Teil ist eine Korrelation der Wasserstoffgehalte mit Methangehalten feststellbar (siehe Abb.C.5.7), während die nicht korrelierbaren "Methangehalte" dann "Gebirgsmethan" bedeuten würden. Somit könnte analog der Wasserstoffbildung ebenfalls Methan z.T. beim Bohren gebildet werden.
5. Für die Existenz von "Gebirgsmethan" spricht allerdings die Anreicherung von Methan in Tripgasen.

Bis zur Teufe 1998m waren deutliche Methananreicherungen beim Bohren immer an graphitreiche "Störungszonen" gebunden. Dadurch können in kernlosen Bohrphasen C-führende Horizonte, die für die Bohrtechnik problematische Horizonte darstellen, sofort festgestellt werden.

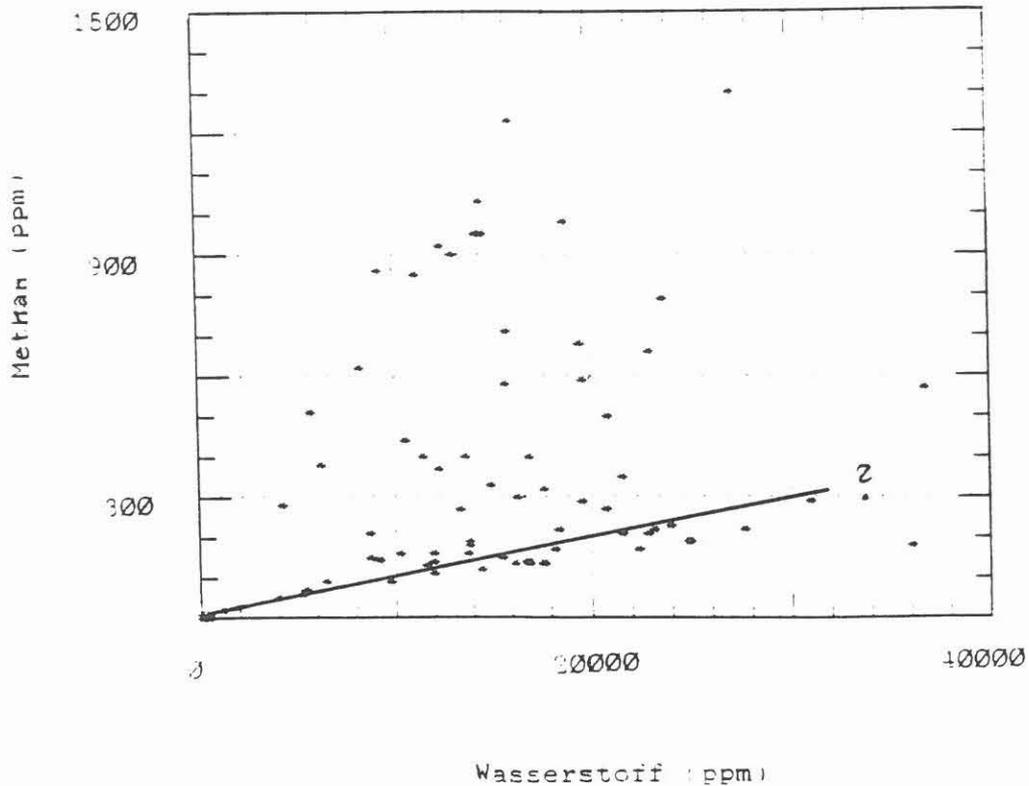


Abb.C.5.7: Vergleich zwischen den Methan- und Wasserstoffgehalten der Bohrspülung

Die **Heliumgehalte** im Teufenbereich 1978-1998m (Abb.C.5.8) steigen im Gegensatz zum Methan erst ab der Teufe 1989m deutlich an. Hier läßt sich ebenfalls ein Maximum bei 1992m feststellen (32 ppm). Die Graphitanreicherung der Störungszone bei 1978-1998m ist auch durch erhöhte U-Gehalte gekennzeichnet. Eine U- und Th-Bestimmung an einer graphitreichen Zentrifugenprobe ergab 18 bzw. 13ppm (STROH, 1988). Ein Teil des He kann deshalb durch radioaktiven Zerfall dieser Elemente gebildet sein.

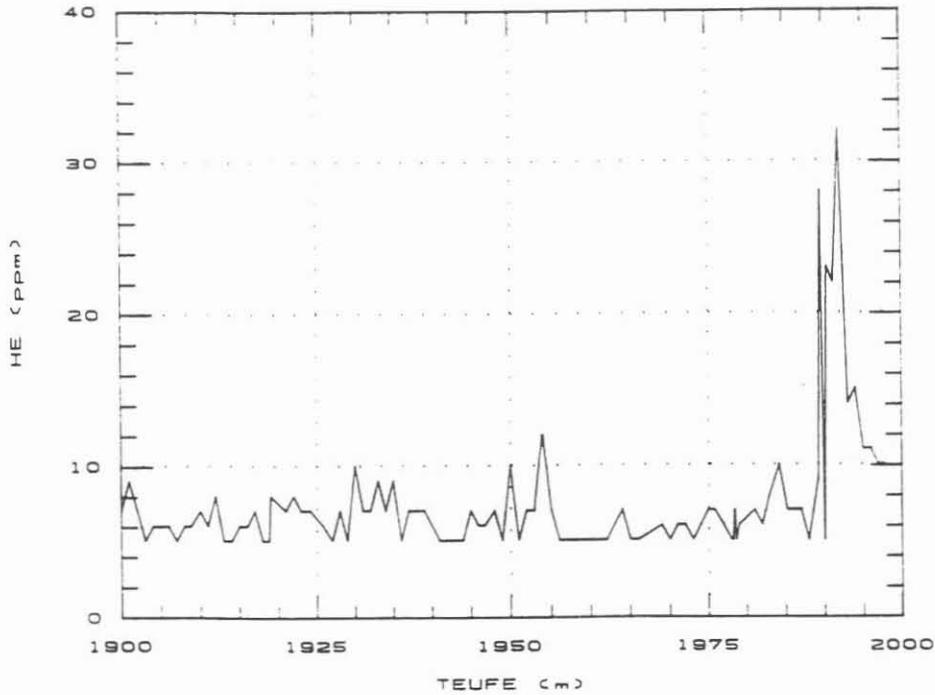


Abb.C.5.8: Heliumgehalte der Bohrspülung im Teufenbereich 1900-2000m

Im Gegensatz zu den Methan- und Heliumanreicherungen wird für die Sauerstoffkonzentration in diesem Teufenbereich ein Minimum (siehe Anhang) erreicht. In diesem Teufenbereich tritt neben hohen Graphitgehalten auch eine starke Vererzung auf. Durch Oxidation der Sulfide und Graphit könnte somit die Sauerstoffabnahme bedingt sein. Innerhalb dieses Horizontes konnte ebenfalls eine leichte Anreicherung von CO₂ gemessen werden. In Tabelle C.5.4 sind die Maximalgehalte beim Bohren und in Tabelle C.5.5 die Gehalte von einem Connectionsgaserignis aufgeführt. Nach einem kurzzeitigen Bohrstillstand kam es zu einer sehr starken Anreicherung von Methan und Helium.

Tabelle C.5.4: Gasgehalte beim Bohren (1992m)

Methan	7070 ppm
Helium	32 ppm
Kohlendioxid	0.07 %

Tabelle C.5.5: Gasgehalte (1998m) nach 1 Std. Bohrstillstand

Methan	30200 ppm
Helium	140 ppm
Kohlendioxid	0.19 %

Der Methananstieg ab 1978m geht parallel mit einer Eh-Erniedrigung beim Durchteufen des graphitführenden Horizontes (siehe Anhang). Die Eh-Abnahme ist bei Abwesenheit von Wasserstoff in der Bohrspülung durch das Durchteufen von graphit- und sulfidreichen Partien der Gneise bedingt.

5.3 Fluidprobennehmer

Der Einsatz der zur Verfügung stehenden Probennehmer (Salvamoser-Sampler und Geocom-Sampler) wurde durch Kriterien wie deutliche Gasanreicherungen während des Bohrens, "Störungszonen" und Änderungen der Temperatur- und Salinitäts-Meßwerte in der Bohrspülung während einer mehrtägigen geophysikalischen Meßphase gesteuert.

Die in den Probennehmern aufgefangenen Spülungsprobe wird gasdicht im Bohrloch auf der Einsatzteufe abgesperrt und im Feldlabor entgast (Abb.C.5.9). Der dabei angelegte Unterdruck ist <10 mbar.

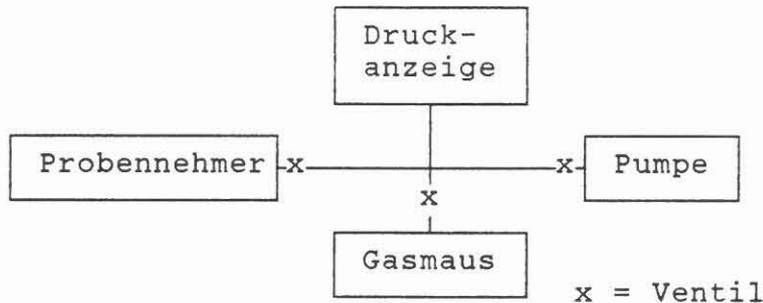


Abb.C.5.9: Schema der Entgasungsapparatur

In Tabelle C.5.6 sind sämtliche Einsatzteufen bis zur Teufe 1998 m und die durch eine Entgasung dieser gewonnenen Spülungsproben erzielten Meßergebnisse dargestellt.

Tabelle C.5.6: Einsatzteufen und gemessene Gasgehalte der entgasten Spülungsproben.

Teufe (m)	N ₂ (%)	O ₂ (%)	He (ppm)	CH ₄ (ppm)	H ₂ (ppm)	H ₂ O (%)
540	6.6	1.8	<1	<10	0	91.4
555	25.9	7.0	<1	<10	0	66.0
580	13.7	3.7	<1	<10	0	82.3
1230	55.1	11.9	<1	580	0	31.5
1246	66.2	12.3	4	800	0	20.2
1295	27.6	7.9	<1	320	0	64.1

Anhand der Ergebnisse läßt sich kein Horizont als "gashöfzig" ausweisen. Die hohen Wasserpartialdrucke in der Gasphase sprechen für extrem niedrige Gasgehalte in der Bohrspülung.

C.6 Zusammenfassung

Im Teufenbereich von 1530m-1998m wurden kontinuierlich chemisch-mineralogische Untersuchungen an Feststoffen (Zentrifugenproben, ausgewählte Kernstücke), Bohrspülungsproben und Gasproben durchgeführt. Der Bohrabchnitt 1530m-1816m wurde mit dem Seilkernbohrverfahren niedergebracht, wobei ein Kerngewinn von nahezu 100 % erzielt werden konnte. Von 1816m-1998m mussten Richtbohrarbeiten durchgeführt werden, bei denen keine Kerne gewonnen werden konnten. Zur geochemischen Bearbeitung der Feststoffe standen daher nur Bohrklein- und Zentrifugenmaterial zur Verfügung. Die Richtbohrung konnte nicht zu Ende geführt werden, weil beim Durchteufen einer Störungszone zwischen 1881m und 1998m das Bohrgestänge durch Nachfall fest wurde.

Anhand der chemisch-mineralogischen Untersuchungen an den Zentrifugenproben konnte ein grobes Litho-Profil erarbeitet werden.

Die Hauptgesteinstypen bilden Amphibolite und Paragneise. Der lithologische Wechsel von Amphiboliten zu Paragneisen liegt bei 1611 m. Neben den bereits genannten Litho-Einheiten wurden Hornblende-Gneise mit einer Art Übergangszusammensetzung erbohrt.

Die Hauptgesteinstypen können anhand der chemisch-mineralogischen Befunde weiter untergliedert werden.

Ab 1530 m wird eine Metabasitserie durchteuft. Hauptsächliche Mineralgemengteile dieser wenig alterierten Gesteinsserie sind Plagioklas (25-60 Gew%), Amphibol (20-50 Gew%) und stellenweise Granat (1-20 Gew%). In dieser Einheit von "normalen" Metabasiten treten Einschaltungen von Metagabbros auf. Die Metagabbros können von den "normalen" Metabasiten durch erhöhte MgO, Ni bzw. erniedrigte Rb und Zr Gehalte unterschieden werden. Die Metagabbros zeigen höhere Amphibolgehalte, reliktschen Pyroxen und akzessorischen Ilmenit. Ein chemisch sehr auffälliges Gestein ist ein Meta-Ultrabasit zwischen 1580m und 1584m. Dieses Gestein besteht aus Amphibol (64 Gew%), Chlorit (27 Gew%) und diopsidischem Augit (9 Gew%). Der Meta-Ultrabasit ist an K, Rb und Sr extrem verarmt, sowie an Mg und Ni angereichert. Bei 1586m und zwischen 1598m-1600m tritt in den Zentrifugenproben der erbohrten Metabasite Kalifeldspat auf. Diese Metabasite zeigen erhöhte K und Rb sowie Zr Gehalte.

Ab 1612 m wird eine Paragneisabfolge durchteuft. Die Paragneise bestehen aus verschiedenen Typen, die sich anhand ihrer Quarz- und Biotitgehalte unterscheiden. Sie sind außerdem in unterschiedlichem Maße alteriert und vererzt. In ihrem Hauptelementchemismus entsprechen die Edukte dieser Gesteine Grauwacken bis tonigen Grauwacken. Innerhalb dieser Para-

gneisabfolge treten mehrere deutlich stark alterierte Störungszonen auf. Die Störungszonen zeigen im allgemeinen erhöhte Hellglimmer- und Chloritgehalte sowie Sulfidvererzungen. Angereichert sind K, Rb und Ni. Gelegentlich konnte Turmalin nachgewiesen werden. Eine besonders intensive Alterationszone konnte im Teufenbereich 1981m-1998m eingegrenzt werden. In diesem Teufenbereich ("Havariezone") nehmen die Quarz- und Plagioklasgehalte stark ab; Hellglimmer und Chlorit werden stark angereichert. Die "Havariezone" ist weiterhin durch eine starke Graphitführung gekennzeichnet.

Die gasanalytische Untersuchung der Bohrspülung ergibt gerade im Bereich der "Havariezone" deutlich erhöhte Methan- und Heliumgehalte. Bereits bei 1977m erfolgte ein sprunghafter Methananstieg, der zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht eindeutig einer graphitführenden Zone zugeordnet werden konnte. Eine eindeutige Aussage darüber, ob das Methan schon als Gebirgs gas vorlag oder erst während des Bohrprozesses gebildet wurde, ist nur durch Kohlenstoffisotopenanalysen festzustellen.

Aus den Ergebnissen der Spülungsanalyse lassen sich Wechselwirkungen der Bohrspülung mit dem erbohrten Gesteinsmehl aufzeigen. Im Bereich der Metaamphibolite und Metagabbros reichert die Bohrspülung, durch Wechselwirkung mit Hornblende und Plagioklas Ca, Sr, Fe und Mn an. Im Bereich der muskovitführenden Gneise wurden in der Spülung die Elemente K, Ba, Al, Si und Cl⁻ angereichert. Zuflusshorizonte salinarer Formationswässer treten im Bohrschnitt 1530m-1998m nicht auf.

Mit Hilfe der in das Arbeitsprogramm neu aufgenommenen berechneten Röntgendichte (XRHO) läßt sich der Übergang von Metabasit- zu Gneisserie belegen. Während die Metabasite Dichtewerte von 2.9-3.05 g/cm³ aufweisen, zeigen die Gneise eine deutliche Verringerung der Dichtewerte. Die Werte schwanken hier um 2.7 g/cm³.

C.7 Schriftenverzeichnis

- HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., STROH, A., TAPFER, M. (1988):
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 0 - 480 m. KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover.
- HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., STROH, A., TAPFER, M. (1988):
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 480 bis 992 m. KTB-Report, 88-2: C1-C107, Hannover.
- STROH, A., HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., TAPFER, M. (1988):
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530m. KTB-Report, 88-6: C1-C109, Hannover.
- WEAVIND, R.G. and DAUNCEY, G.B. (1961): Factors affecting the behaviour of diamond drill bits. - The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Symposium on Diamond Drilling, Paper No.12.
- WIMMENAUER, W. (1984): Das prävaristische Kristallin im Schwarzwald. - Fortschr. Min., Bd. 2, 69-86

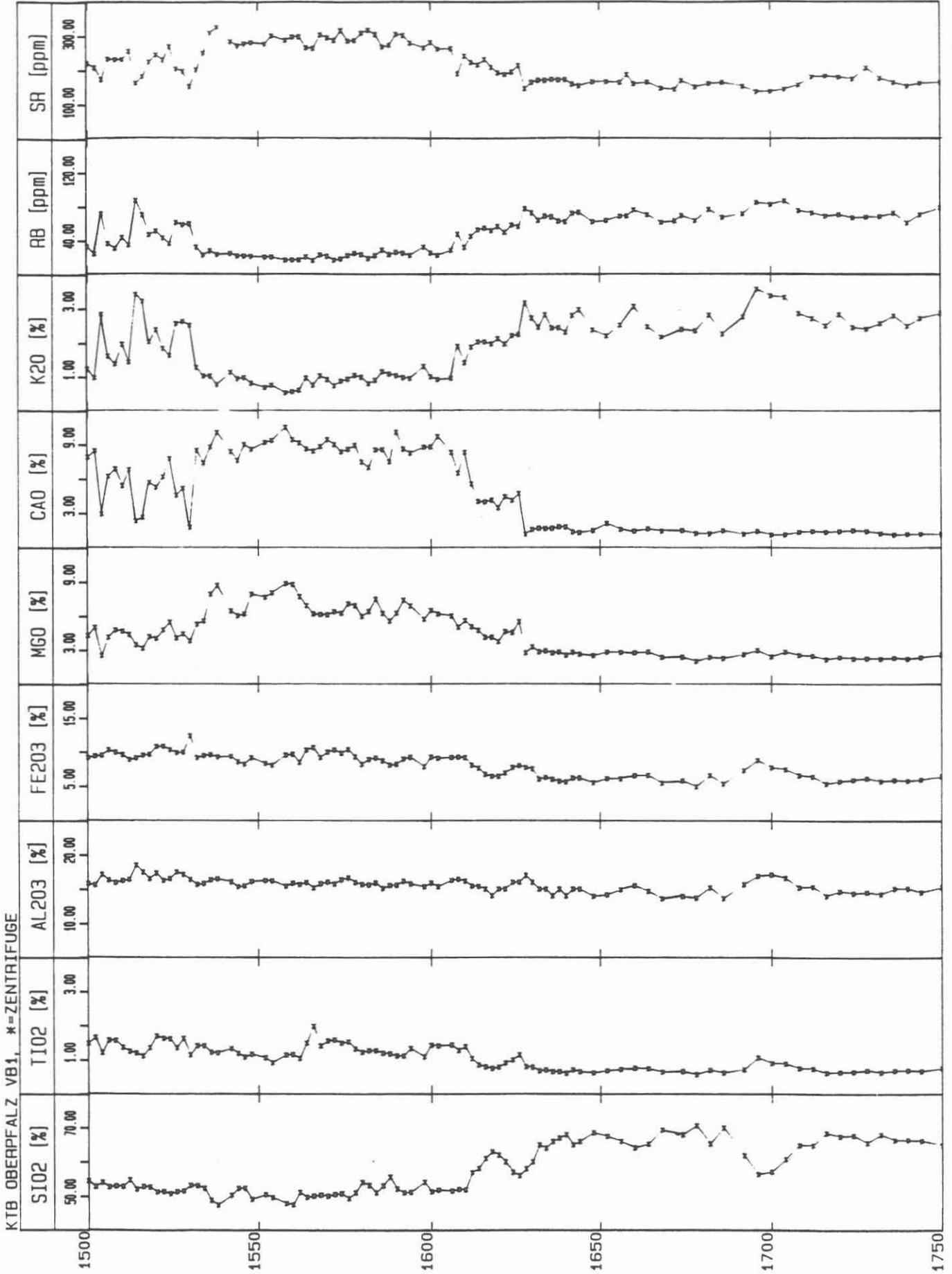
C.8 Danksagung

Die Schmelztabletten zur Bestimmung der chemischen Gesteinszusammensetzung wurden im Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung in Gießen hergestellt und dort auch gemessen. Unser Dank gilt dem Leiter des Instituts, Herrn Prof. Dr. Emmermann und seinen Mitarbeitern, insbesondere Frau M. Grünhäuser für die Durchführung der Messungen und Frau N. Hüttel, Frau A. Harjung sowie Herrn F. Naujoks für die Probenpräparation. Unser weiterer Dank gilt den technischen Mitarbeitern der Geochemiegruppe im Feldlabor, Herrn Kamm, Herrn Lippert, Frau Weber und Herrn Welker.

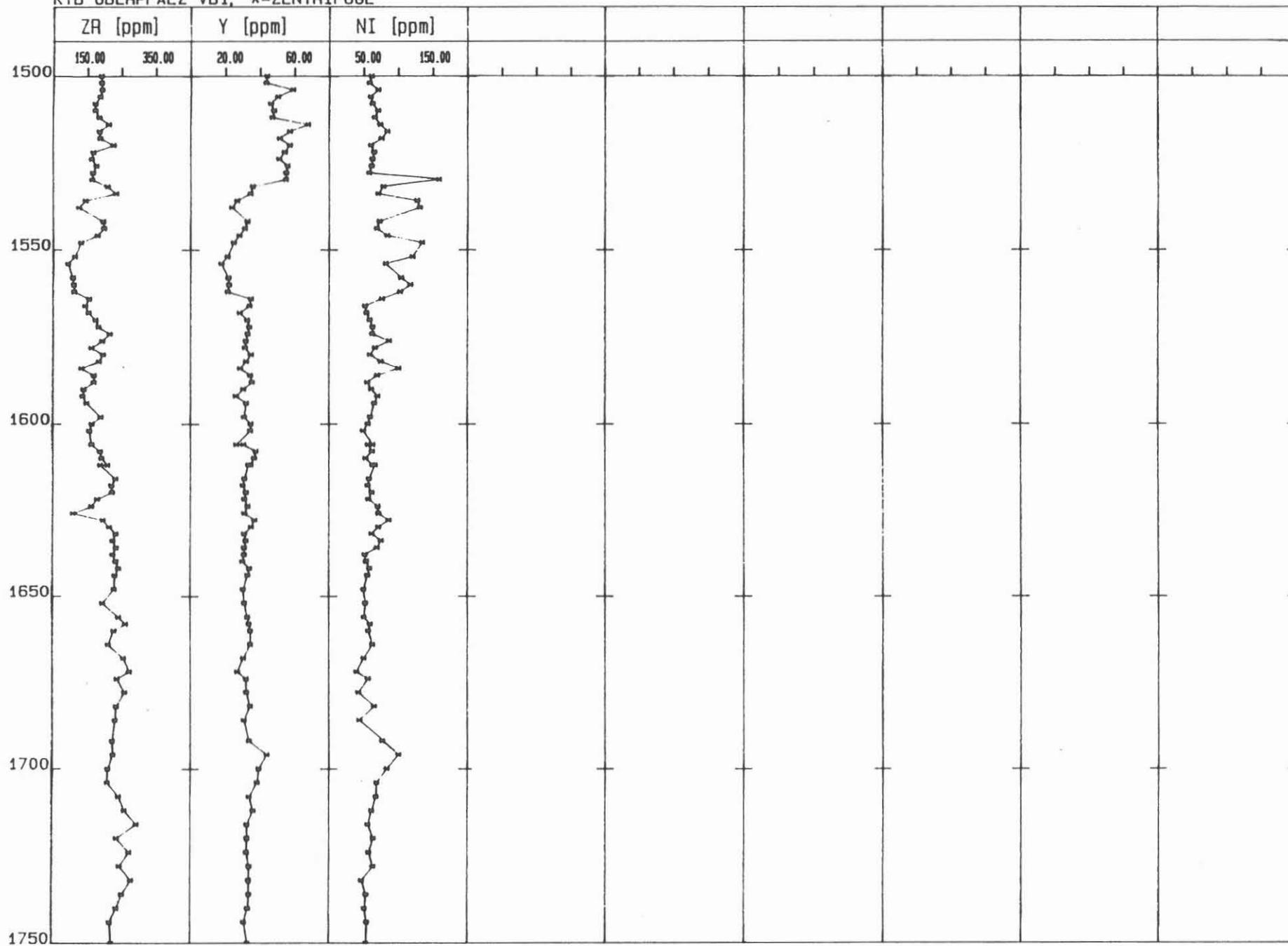
C.9 Anhang

- C.9.1 Tiefenlogs der RDA-RFA-Analysen
- C.9.2 Tiefenlogs der Kationenanalysen
- C.9.3 Tiefenlogs ausgewählter Gase, Chlorid- und Sulfatgehalte der Bohrspülung sowie bohrtechnische und spülungsrelevante Daten

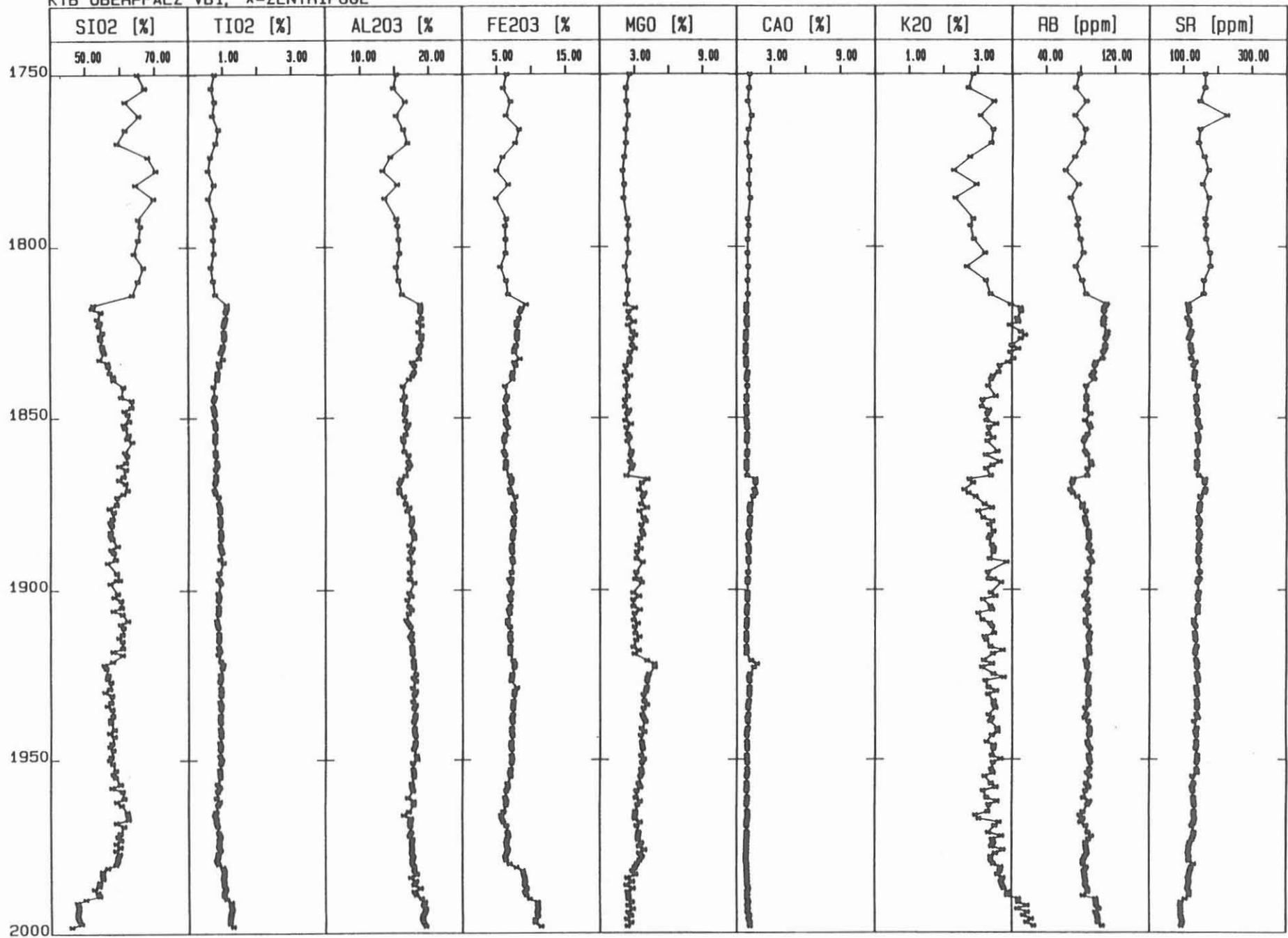
C.9.1 Tiefenlogs der RDA-RFA-Analysen (1:1000)

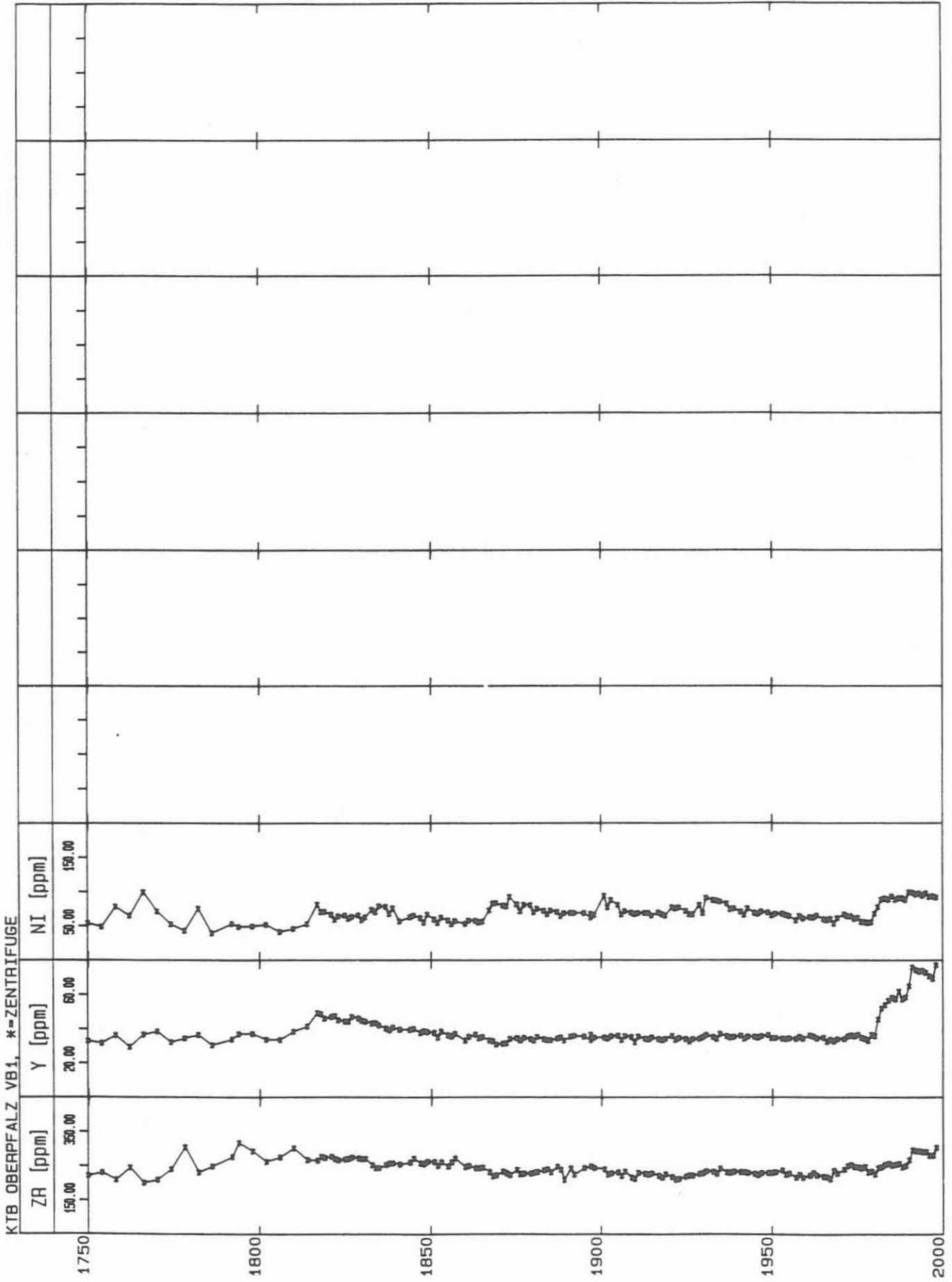


KTB OBERPFALZ VB1, *-ZENTRIFUGE

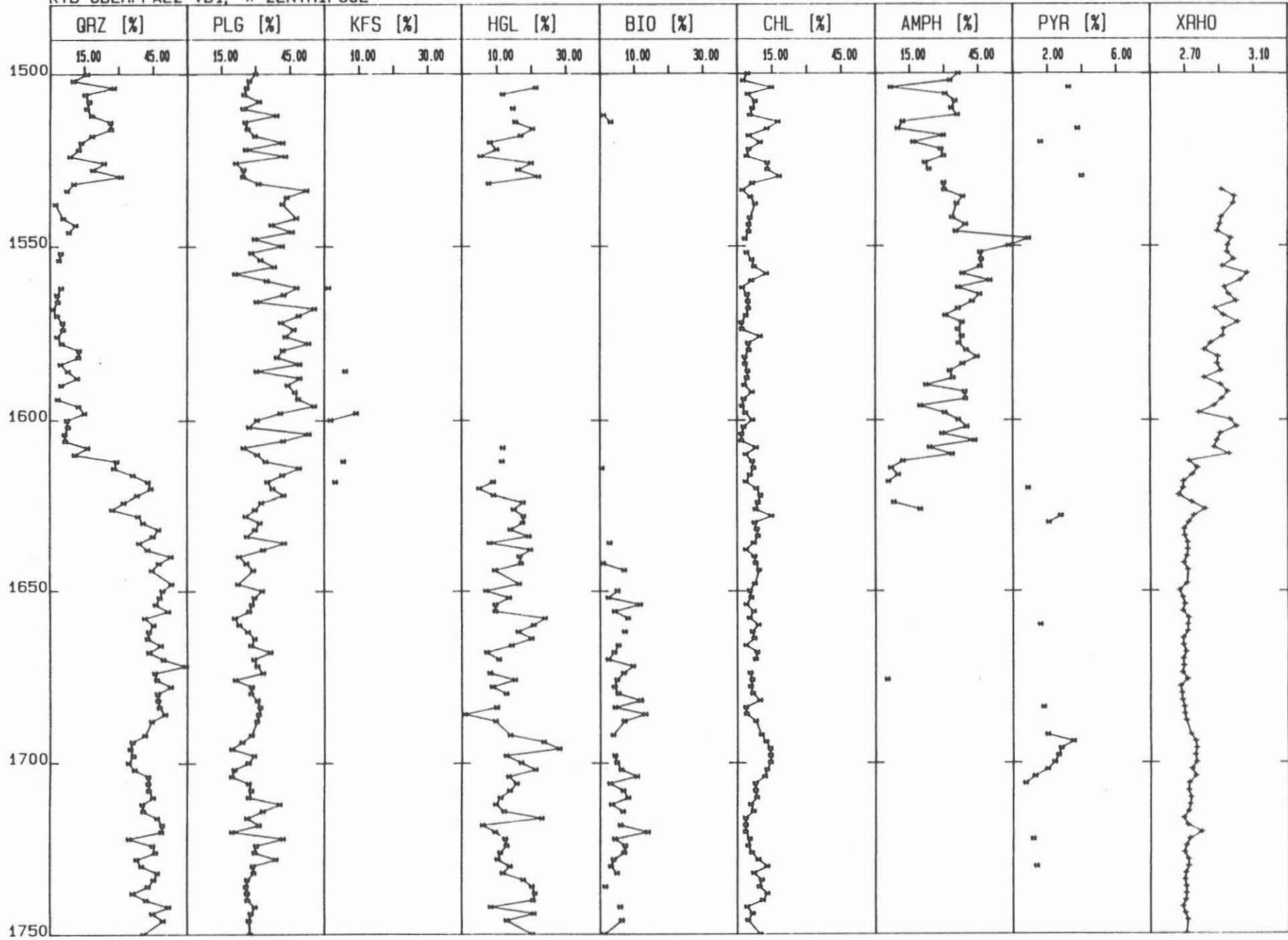


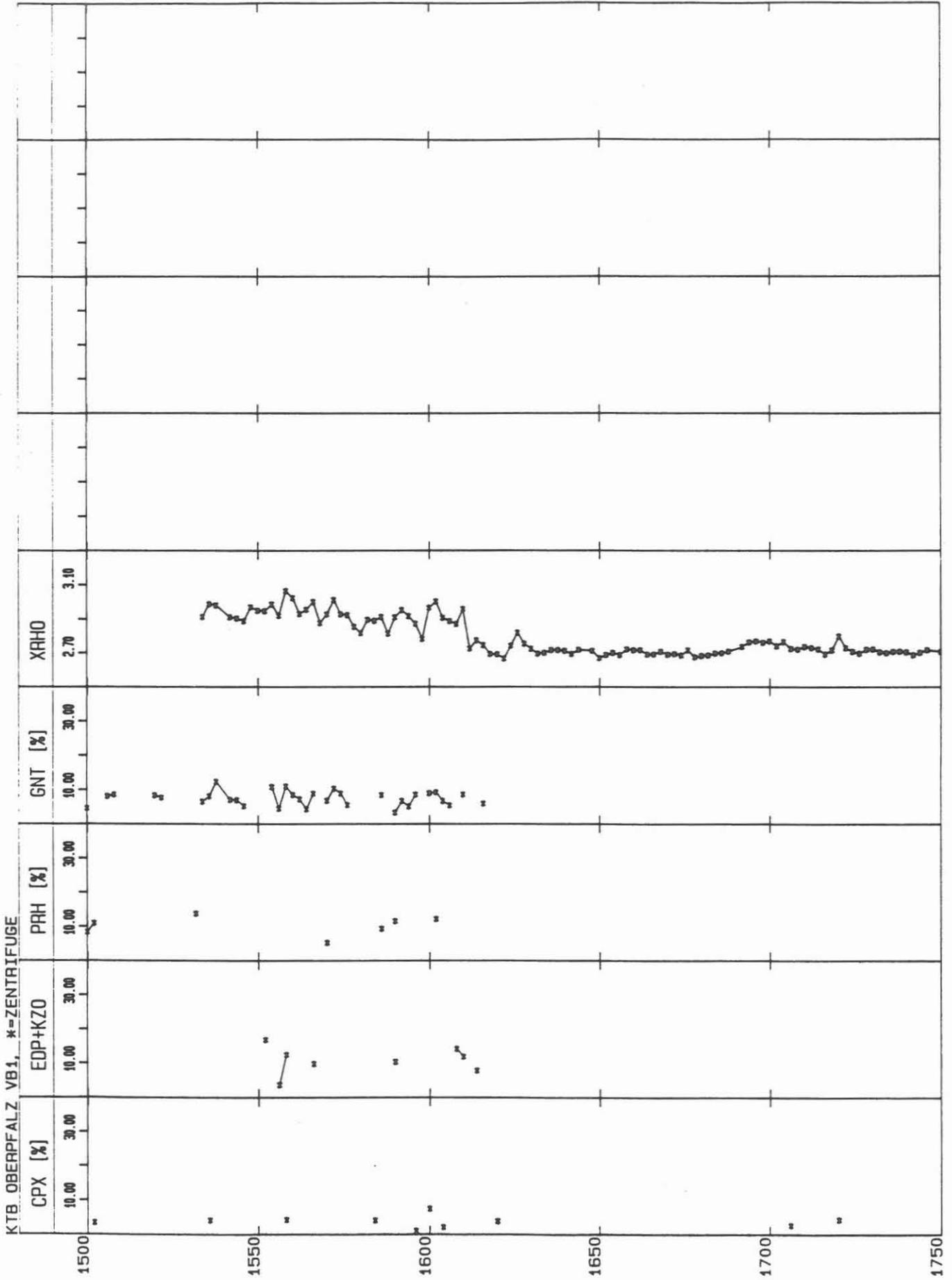
KTB OBERPFALZ VB1, *-ZENTRIFUGE

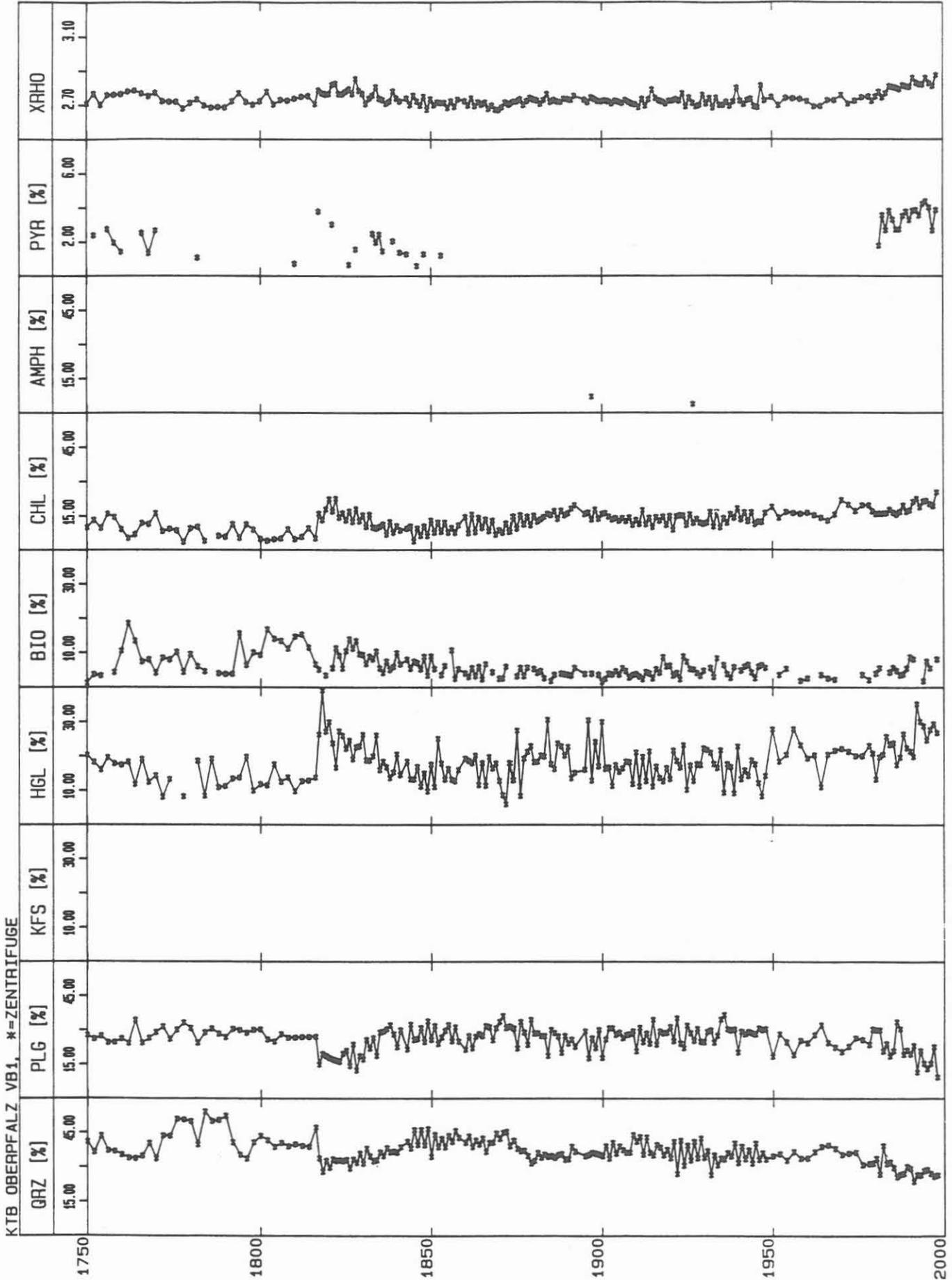


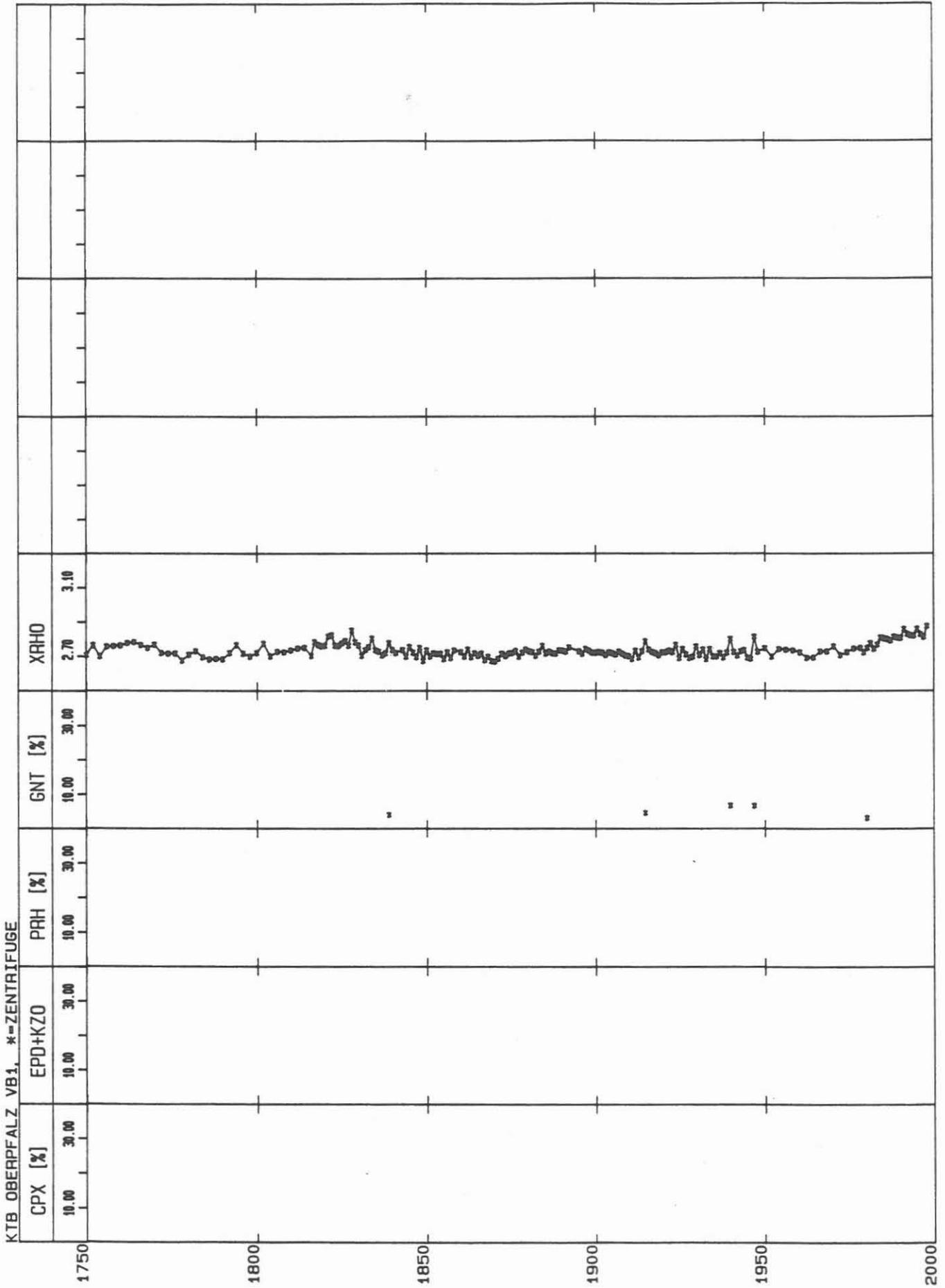


KTB OBERPFALZ VB1, *-ZENTRIFUGE



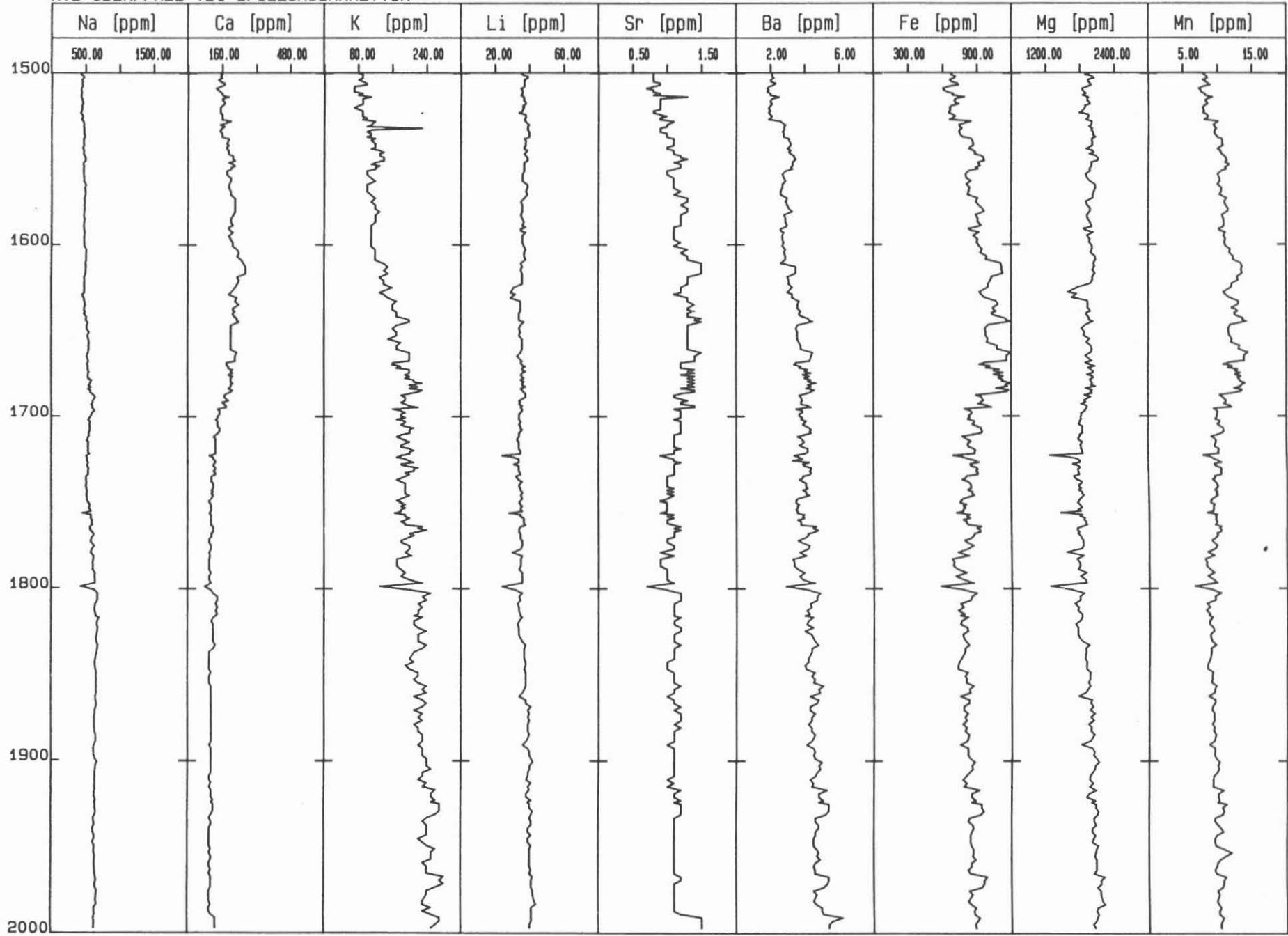


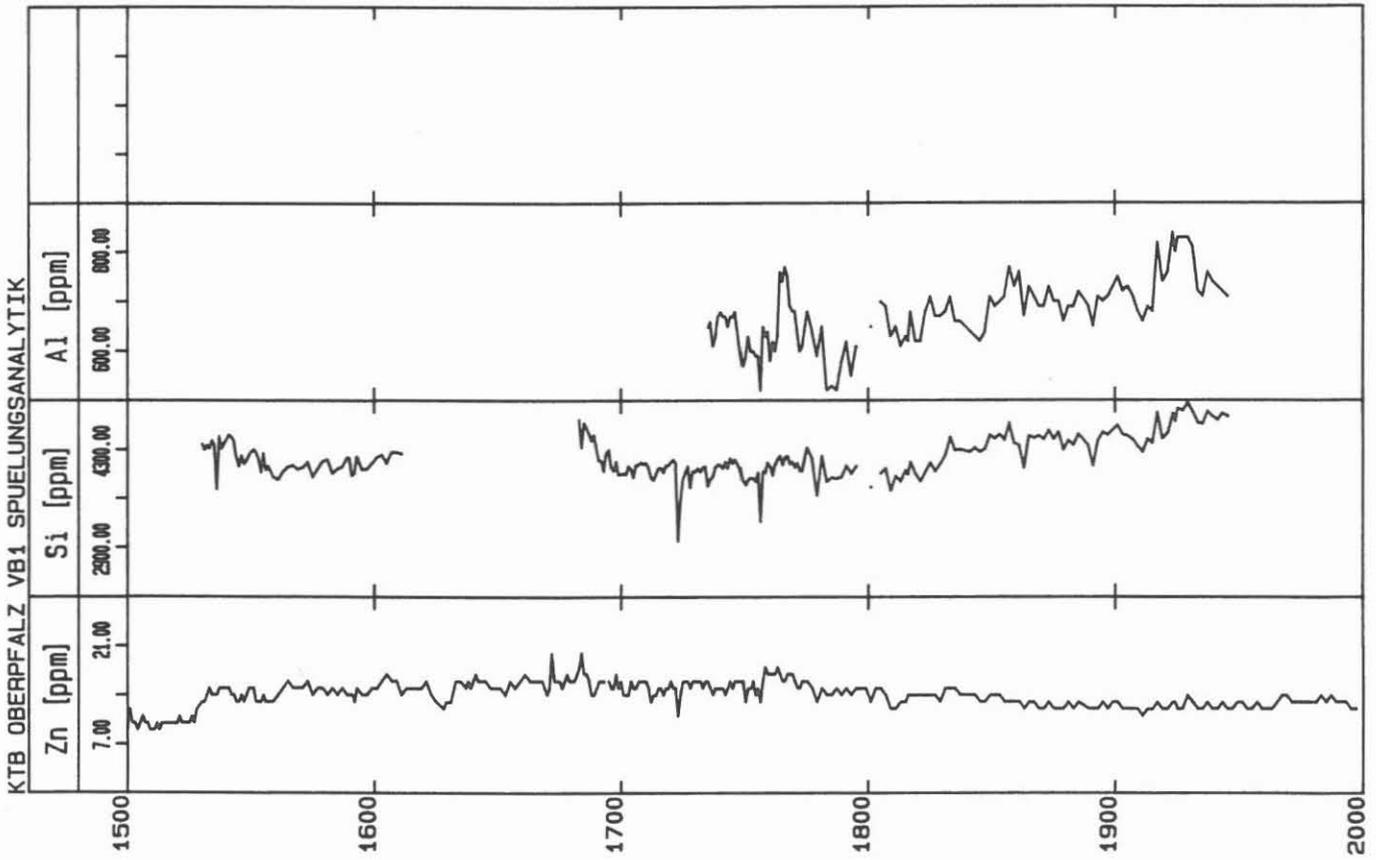




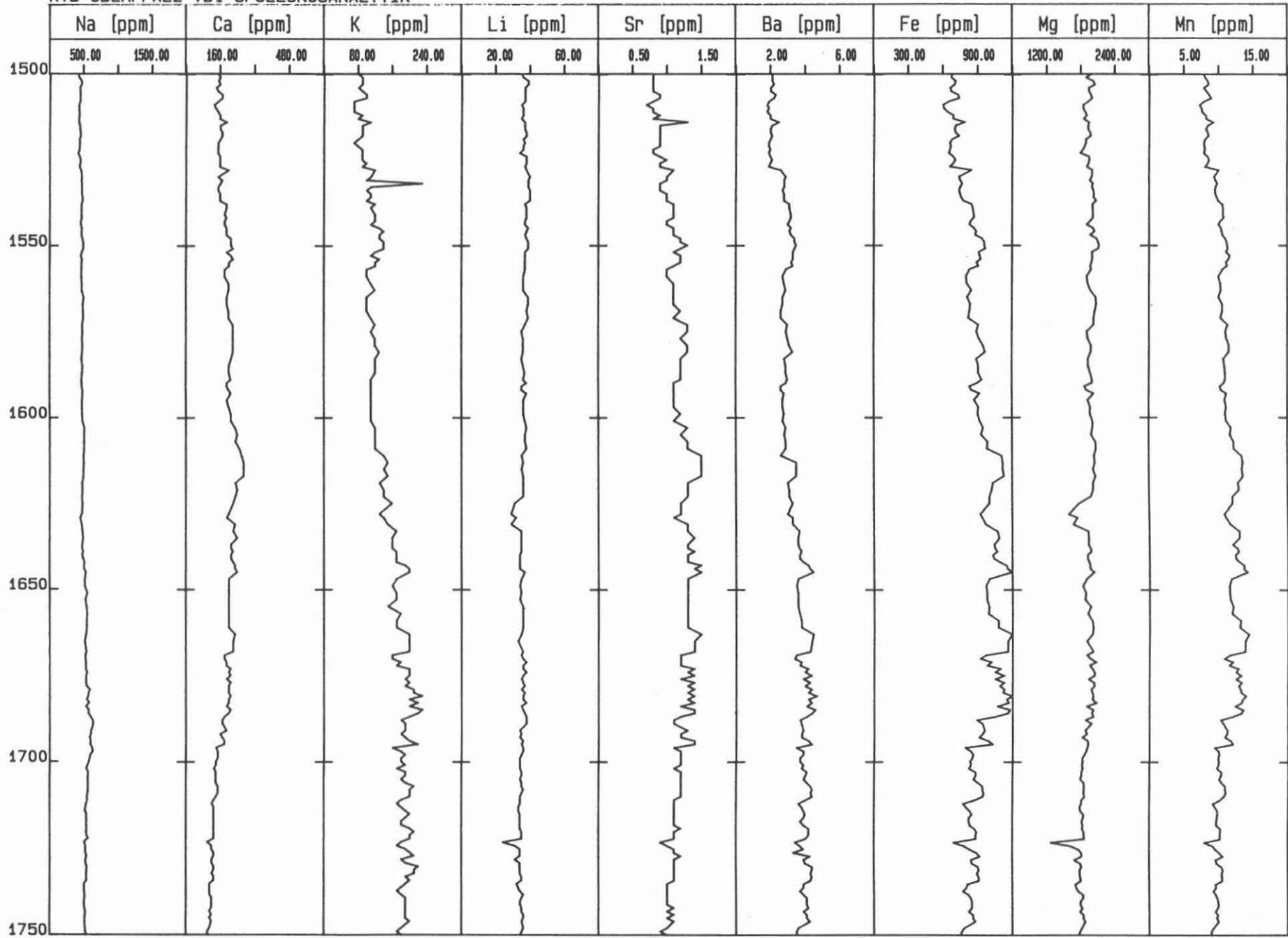
C.9.2 Tiefenlogs der Kationenanalyse (1:1000)

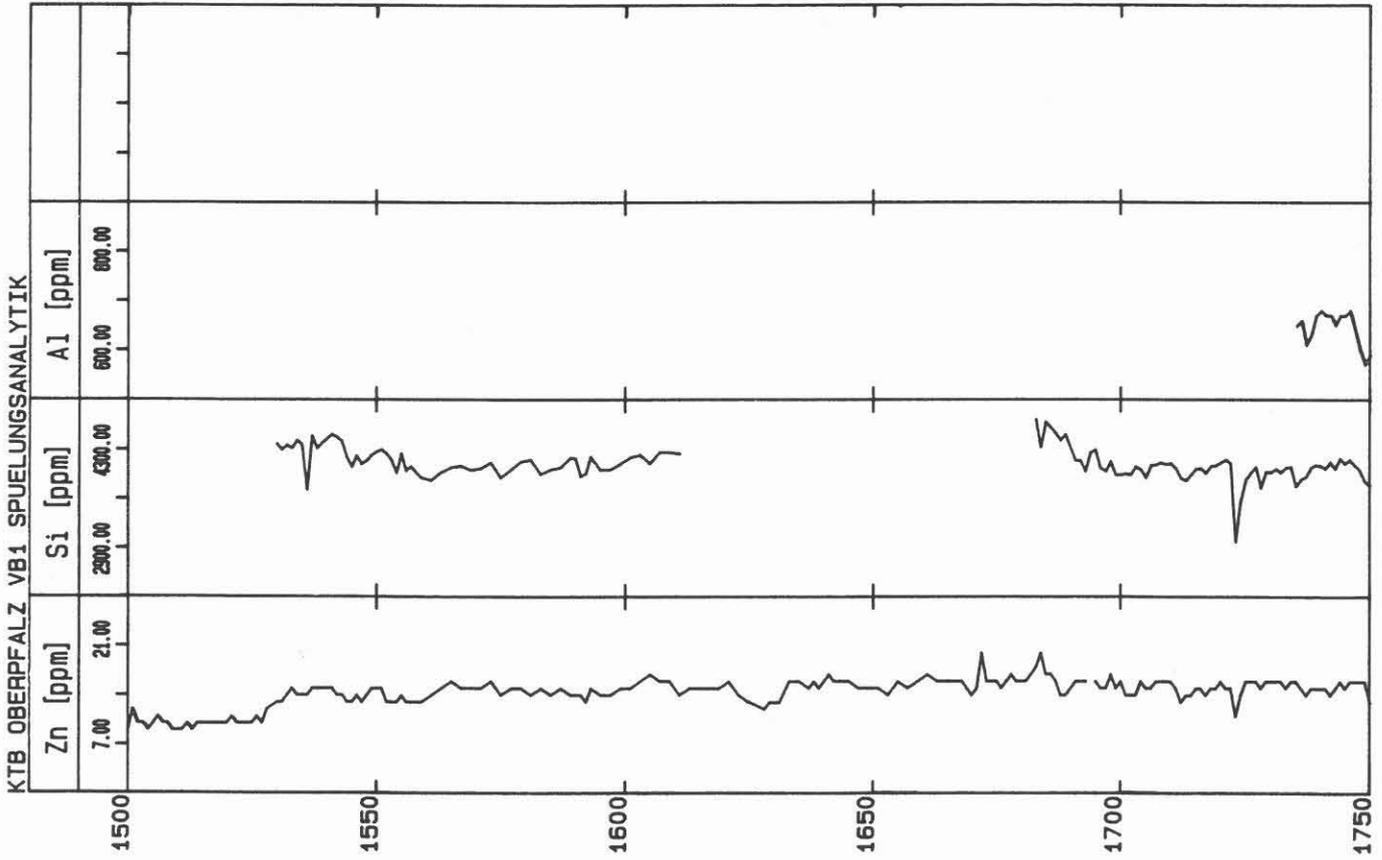
KTB OBERPFALZ VB1 SPUELUNGSANALYTIK



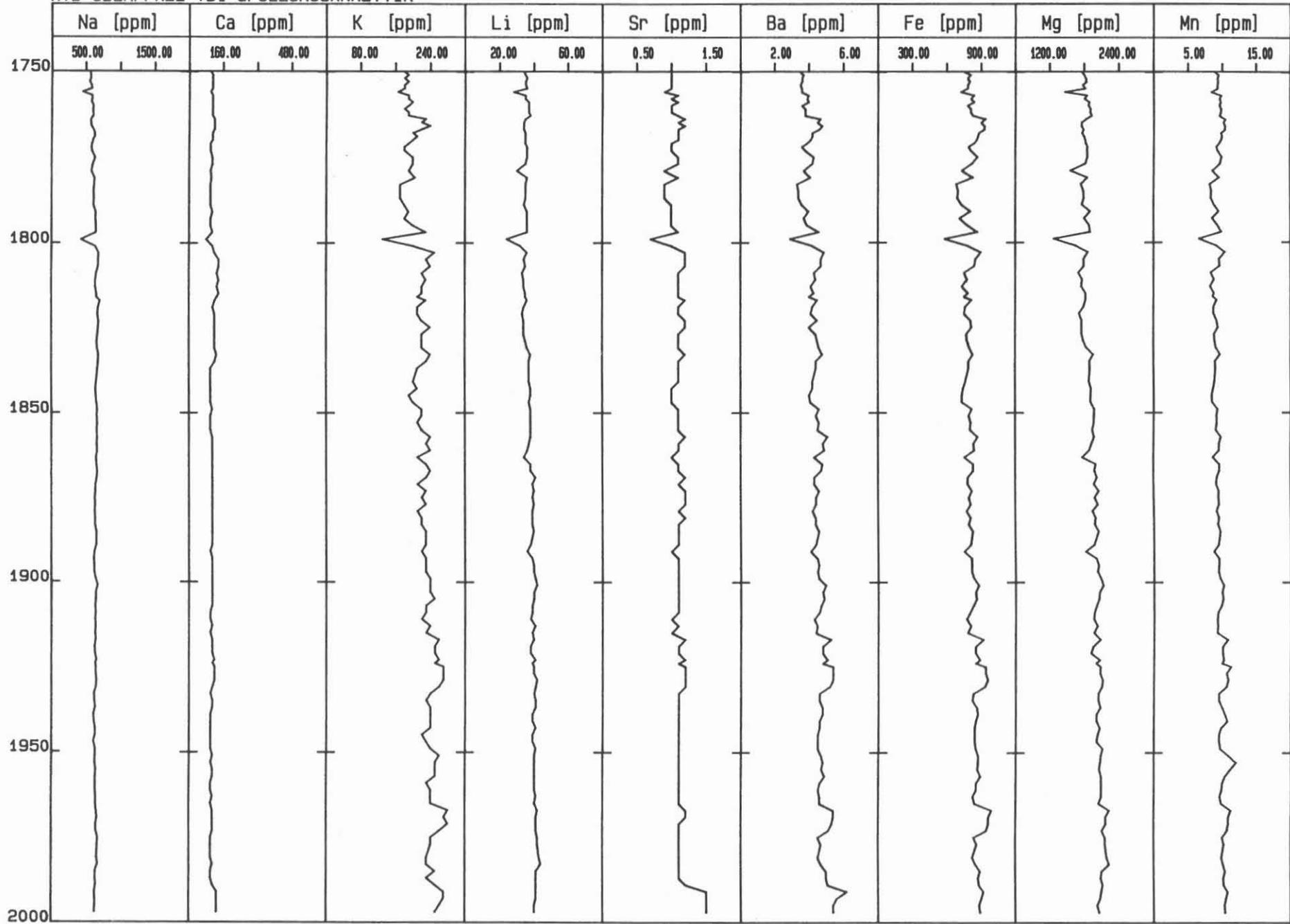


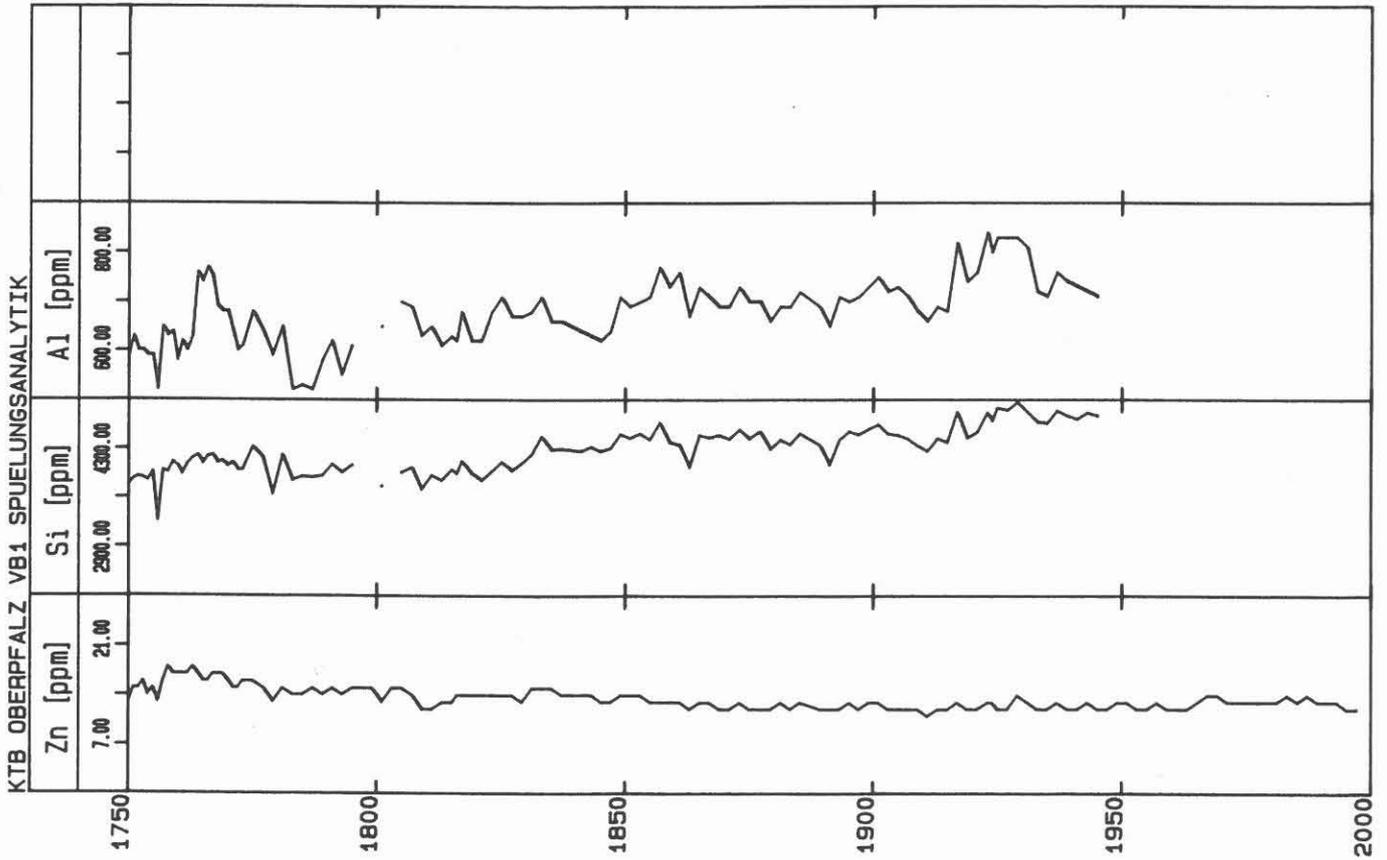
KTB OBERPFALZ VB1 SPUELUNGSANALYTIK





KTB OBERPFALZ VB1 SPUELUNGSANALYTIK





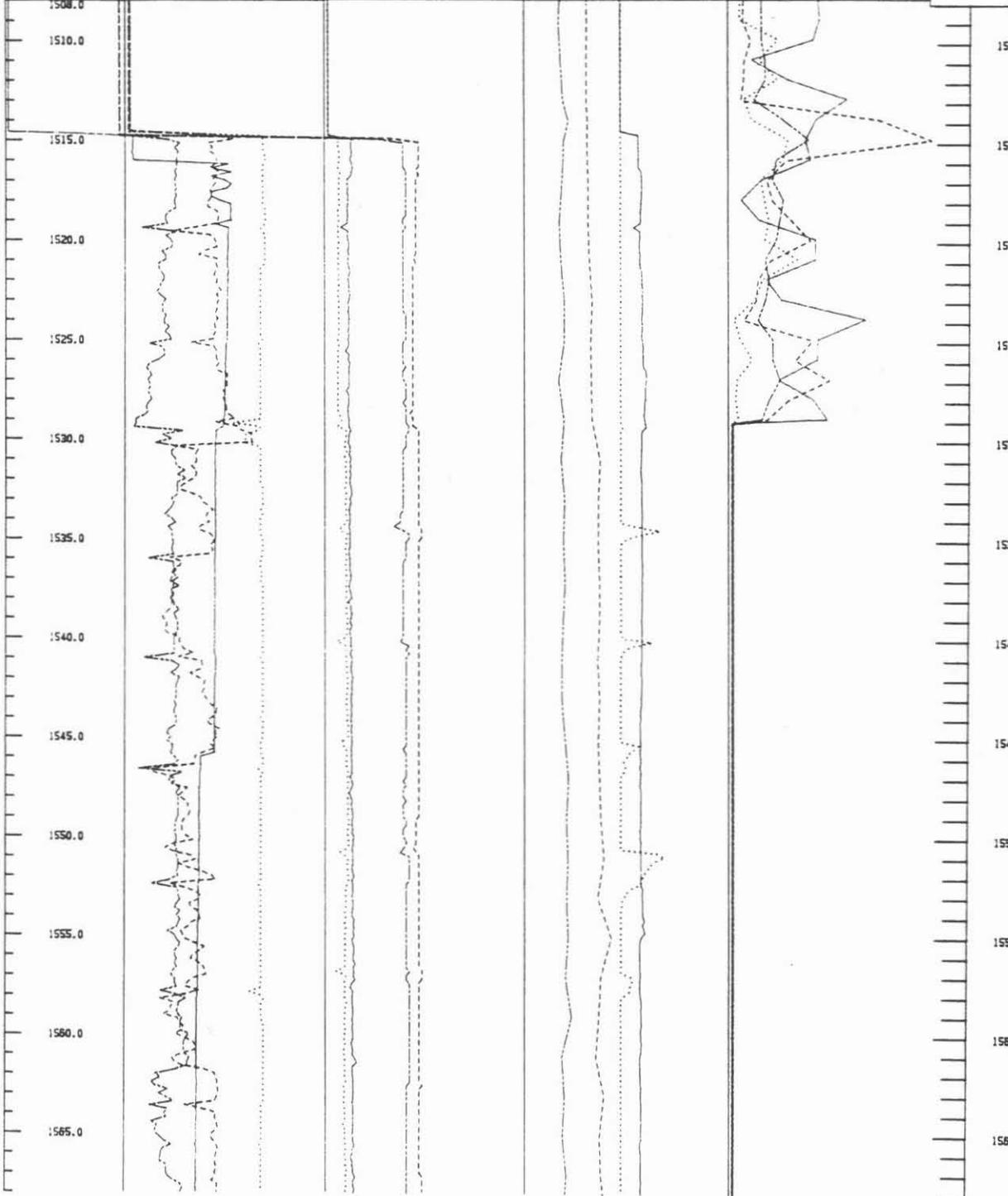
C.9.4 Tiefenlogs ausgewälter Gase, Chlorid- und Sulfatgehalte der Bohrspülung sowie bohrtechnische und spülungsrelevante Daten (1:200)

ARGE
GEO-data
NL Boreld
PREUSSAG

K T B Oberpfalz VB

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log 1508 - 1568m

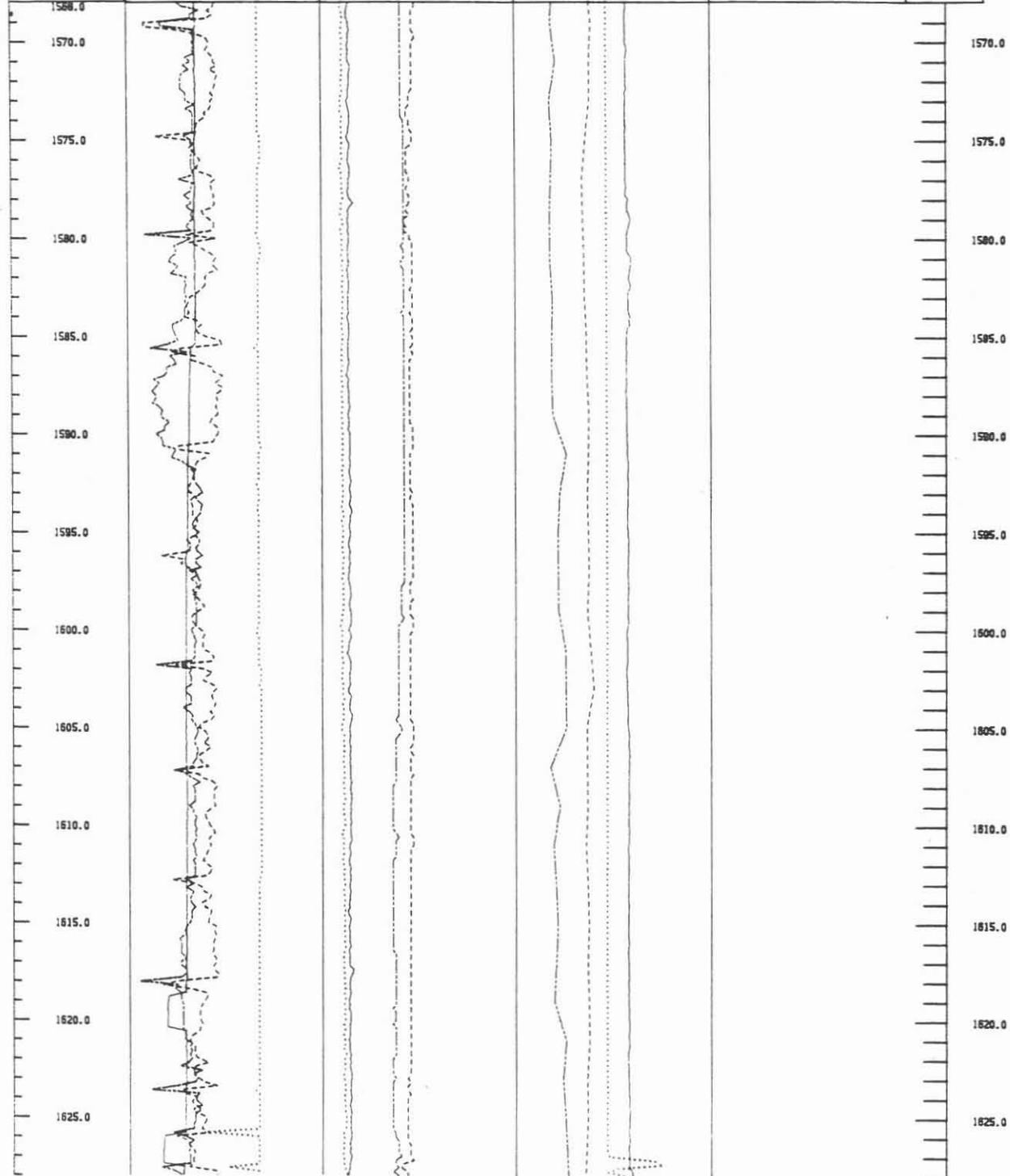
M 1 : 200 Teufe	Bohrfortschritt (m/h)	pH aus	Cl-(ppm) KA	He (ppm) MS
	Weisselast (kN)	pH ein	SO4(ppm) KA	CH4(ppm) MS
	Pumprate (dm3/min)	Leitf. aus (mS/cm)	Redox aus (mV)	H2 (ppm) MS
	Aktivtankvolumen (m3)	Leitf. ein (mS/cm)	Redox ein (mV)	O2 (ppm) MS



ARGE
 GEO-data
 NL Barend
 PREUSSAG

K T B Oberpfalz VB NLFB/KTB/
 Geotechnisches Log 1568 - 1628m

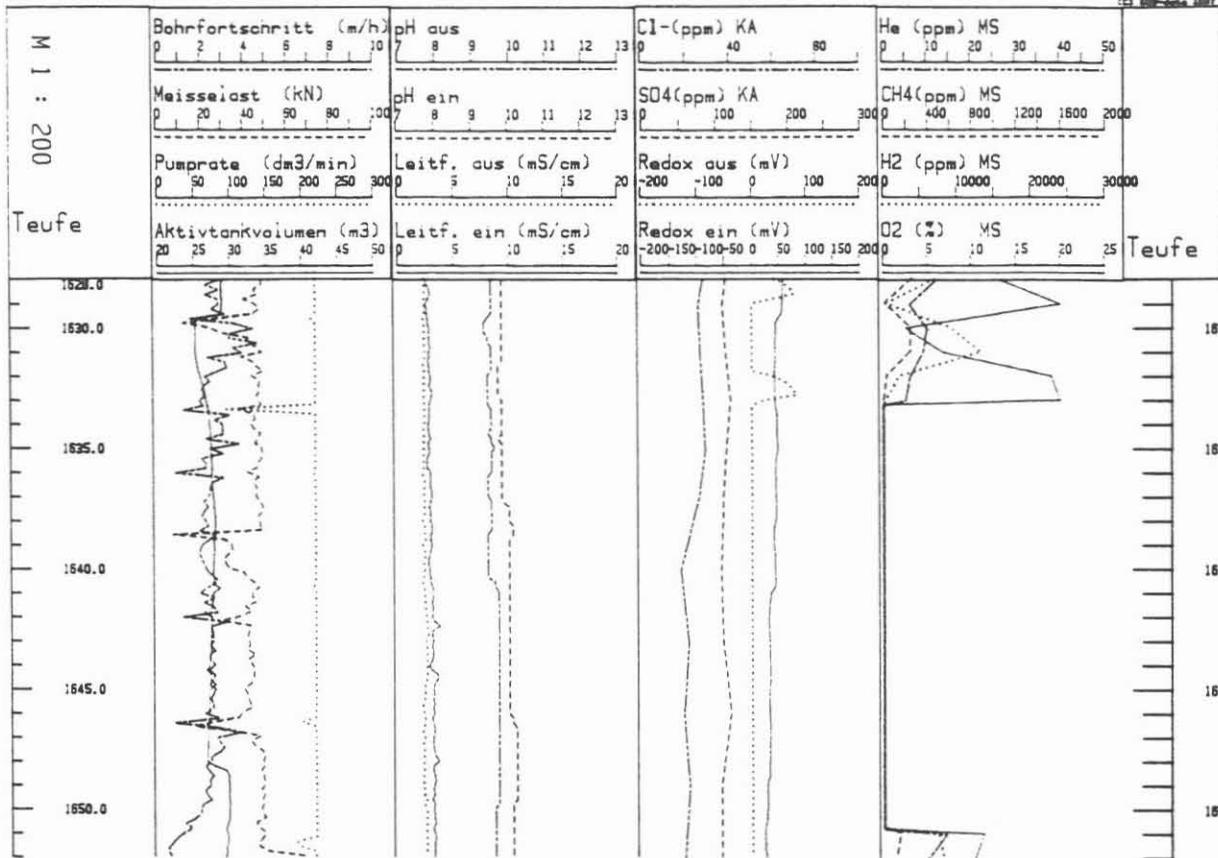
M 1 : 200 Teufe	Bohrfortschritt (m/h)	pH aus	Cl-(ppm) KA	He (ppm) MS
	Meisselast (kN)	pH ein	SO4(ppm) KA	CH4(ppm) MS
	Pumptrate (dm3/min)	Leitf. aus (mS/cm)	Redox aus (mV)	H2 (ppm) MS
	Aktivtankvolumen (m3)	Leitf. ein (mS/cm)	Redox ein (mV)	O2 (%) MS



ARGE
GEO-data
NL Boreid
PREUSSAG

K T B Oberpfalz VB

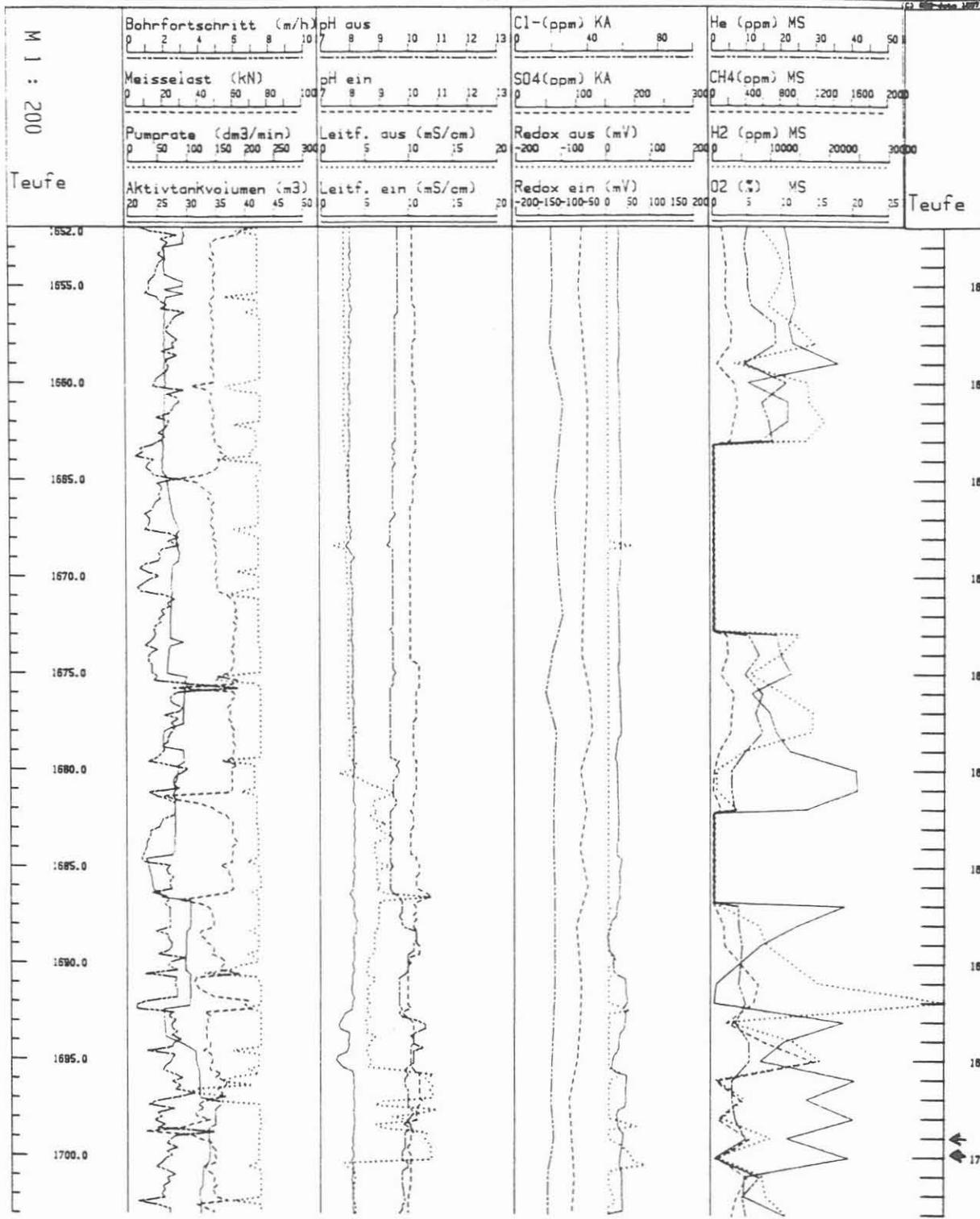
NLFB/KTB/
Geotechnisches Log 1628 - 1652 m



ARGE
GEO-data
NL Barold
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB

NLFB/KTB
Geotechnisches Log 1652 - 1703 m

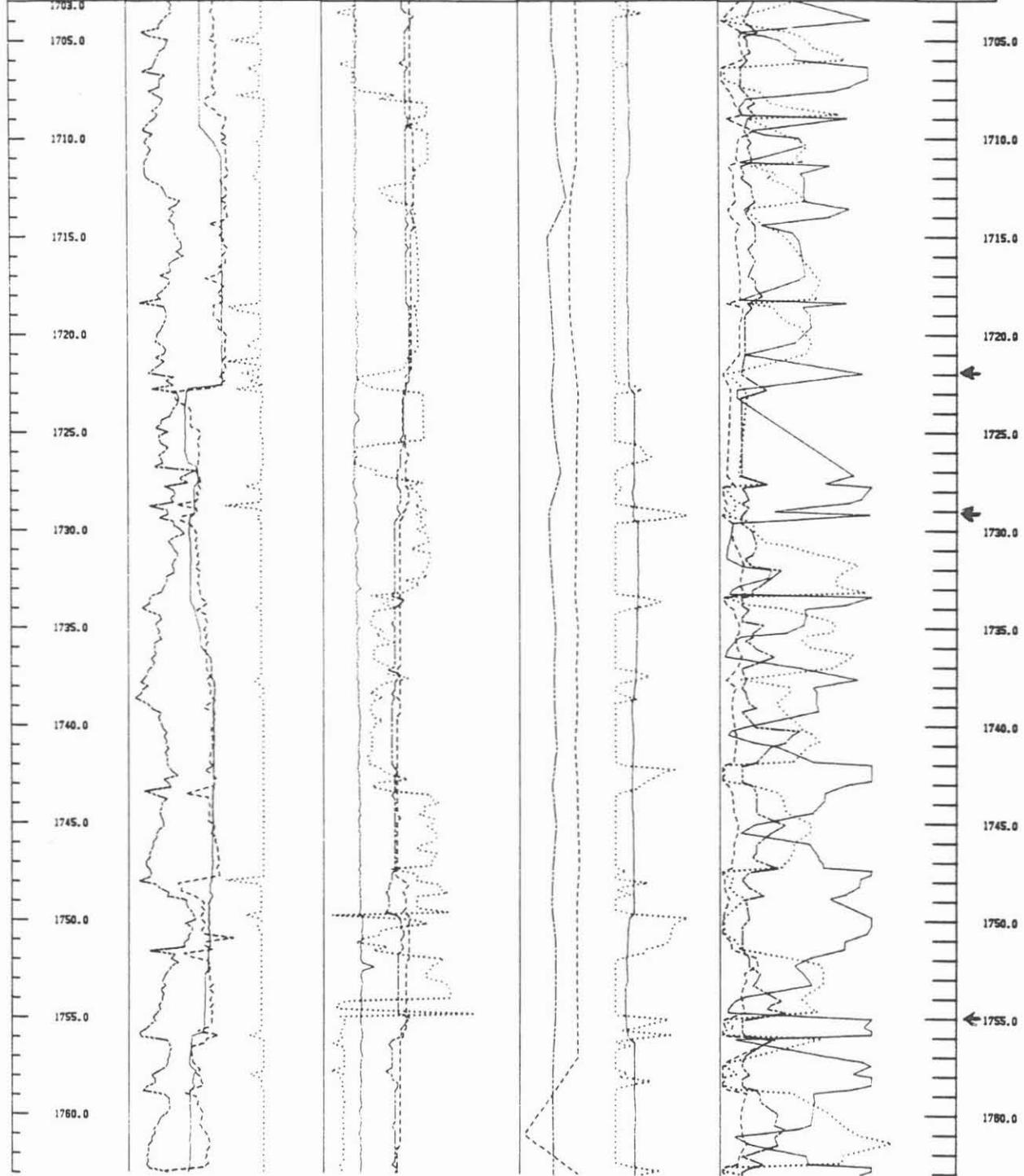


ARGE
GEO-data
Barold
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB

NLFB/KTB
Geotechnisches Log 1703 - 1763m

M : 1 : 200	Bohrfortschritt (m/h)	pH aus	Cl-(ppm) KA	He (ppm) MS
	Meißeelast (kN)	pH ein	SO4(ppm) KA	CH4(ppm) MS
	Pumprate (dm3/min)	Leitf. aus (mS/cm)	Redox aus (mV)	H2 (ppm) MS
	Aktivtankvolumen (m3)	Leitf. ein (mS/cm)	Redox ein (mV)	O2 (µg) MS

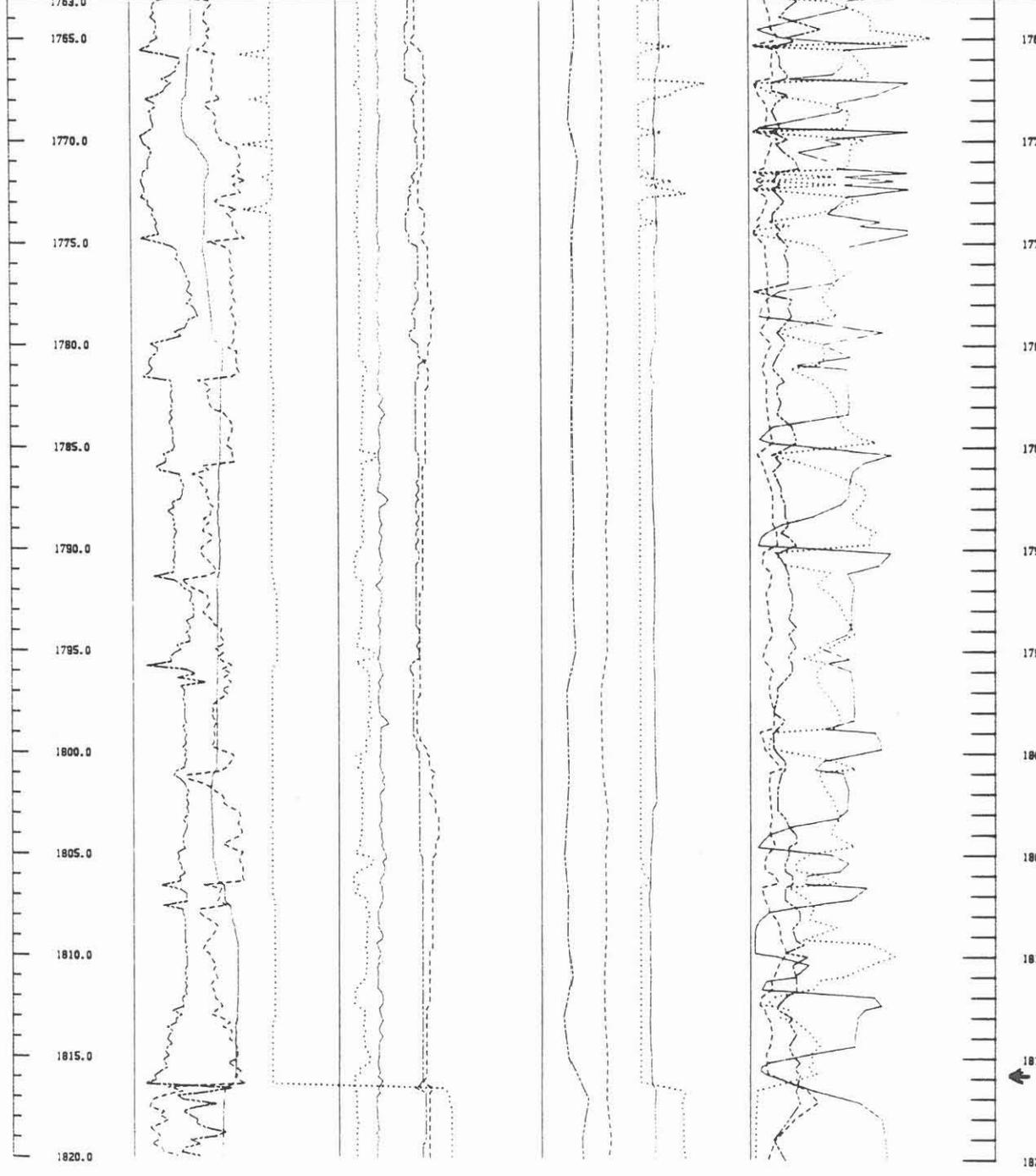


ARGE
 GEO-data
 NL Borehole
 PREUSSAG

K-B Oberpfalz VB

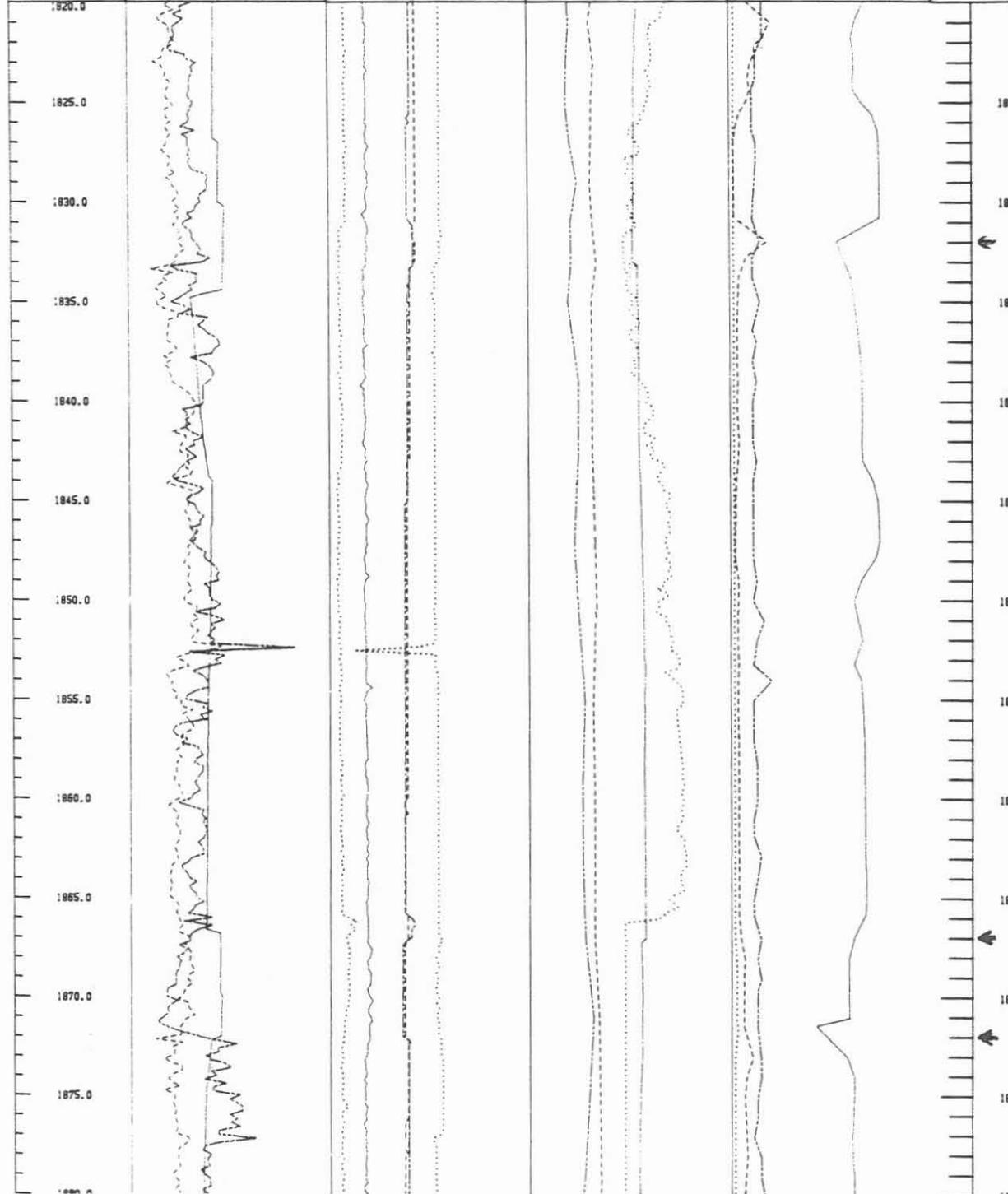
NLFB/KTB
 Geotechnisches Log 1763 - 1820 m

M 1 : 200	Bohrfortschritt (m/h)	pH aus	Cl-(ppm) KA	He (ppm) MS
	Meisseilast (kN)	pH ein	SO4(ppm) KA	CH4(ppm) MS
	Pumprate (dm3/min)	Leitf. aus (mS/cm)	Redox aus (mV)	H2 (ppm) MS
	Aktivtankvolumen (m3)	Leitf. ein (mS/cm)	Redox ein (mV)	O2 (%) MS
Teufe				Teufe



ARGE
GEO-data
Barold
PREUSSAG
K-B Oberpfalz VB
NLFB/KTB
Geotechnisches Log
1820 - 1880m

M 1 : 200 Tiefe	Bohrfortschritt (m/h) 0 2 4 6 8 10	pH aus 7 8 9 10 11 12 13	Cl-(ppm) KA 0 40 80	He (ppm) MS 0 10 20 30 40 50
	Meisselast (kN) 0 20 40 60 80 100	pH ein 7 8 9 10 11 12 13	SO4(ppm) KA 0 100 200 300	CH4(ppm) MS 0 400 800 1200 1600 2000
	Pumprate (dm3/min) 0 50 100 150 200 250 300	Leitf. aus (mS/cm) 0 5 10 15 20	Redox aus (mV) -200 -100 0 100 200	H2 (ppm) MS 0 10000 20000 30000
	Aktivtankvolumen (m3) 20 25 30 35 40 45 50	Leitf. ein (mS/cm) 0 5 10 15 20	Redox ein (mV) -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200	O2 (%) MS 0 5 10 15 20 25

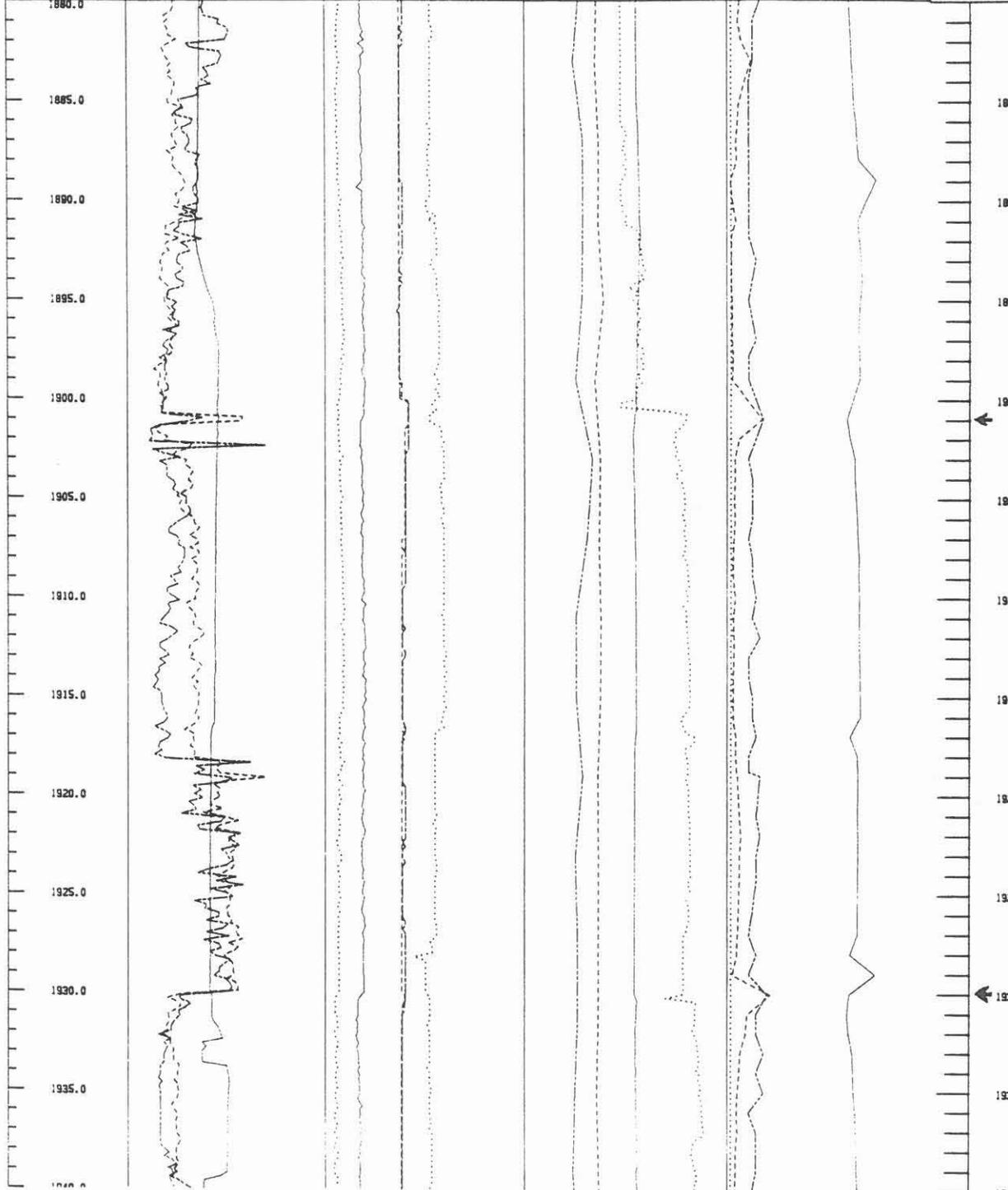


ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB

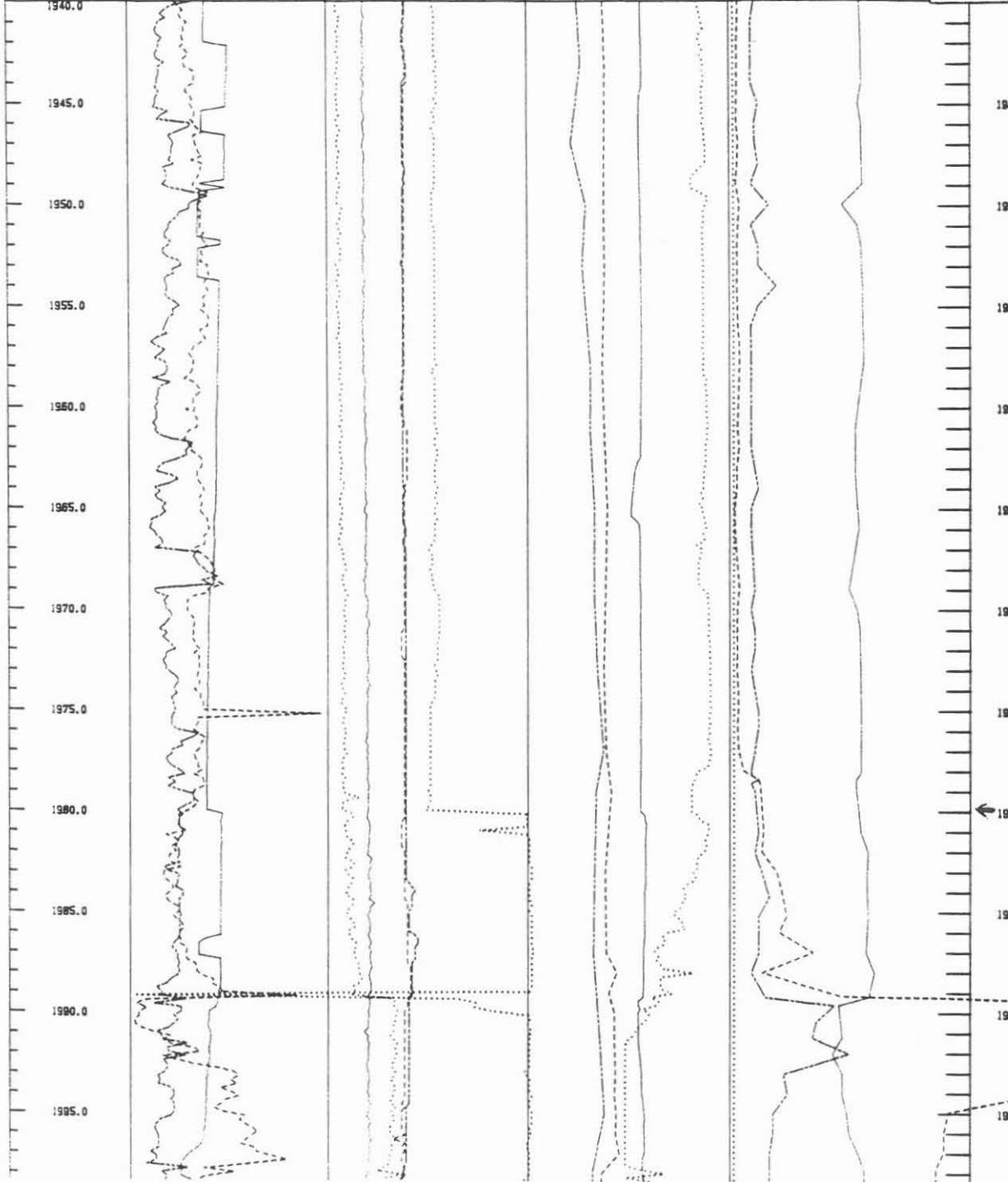
NLFB/KTB
Geotechnisches Log 1880 - 1940m

M 1 : 200 Teufe	Bohrfortschritt (m/h) 0 2 4 6 8 10	pH aus 7 8 9 10 11 12 13	Cl-(ppm) KA 0 40 80	He (ppm) MS 0 10 20 30 40 50
	Meisselast (kN) 0 20 40 60 80 100	pH ein 7 8 9 10 11 12 13	SO4(ppm) KA 0 100 200 300	CH4(ppm) MS 0 400 800 1200 1600 2000
	Pumprate (dm3/min) 0 50 100 150 200 250 300	Leitf. aus (mS/cm) 0 5 10 15 20	Redox aus (mV) -200 -100 0 100 200	H2 (ppm) MS 0 10000 20000 30000
	Aktivtankvolumen (m3) 20 25 30 35 40 45 50	Leitf. ein (mS/cm) 0 5 10 15 20	Redox ein (mV) -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200	O2 (‰) MS 0 5 10 15 20 25



ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG
KTB Oberpfalz VB NLFB/KTB
Geotechnisches Log 1940 - 1998.4 m

M 1 : 200 Teufe	Bohrfortschritt (m/h) 0 2 4 6 8 10	pH aus 7 8 9 10 11 12 13	Cl-(ppm) KA 0 40 80	He (ppm) MS 0 10 20 30 40 50
	Meisseilast (kN) 0 20 40 60 80 100	pH ein 7 8 9 10 11 12 13	SO4(ppm) KA 0 100 200 300	CH4(ppm) MS 0 400 800 1200 1600 2000
	Pumprate (dm3/min) 0 50 100 150 200 250 300	Leitf. aus (mS/cm) 0 5 10 15 20	Redox aus (mV) -200 -100 0 100 200	H2 (ppm) MS 0 10000 20000 30000
	Aktivtankvolumen (m3) 20 25 30 35 40 45 50	Leitf. ein (mS/cm) 0 5 10 15 20	Redox ein (mV) -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200	O2 (%) MS 0 5 10 15 20 25





D. Geophysik

KTB Oberpfalz VB -
Gesteinsphysikalische Untersuchungen

E. Lippmann
E. Huenges
Ch. Bücken
K. E. Wolter
J. Wienand
A. Rauen



KTB-Report	88-9	D1-D27	22 Abb.	Hannover 1988
------------	------	--------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 1998 m:

D. Geophysik

E. Lippmann, E. Huenges, Ch. Bücke, K.E. Wolter, J. Wienand & A. Rauen *)

Inhaltsverzeichnis:

D.1	Einleitung	D02
D.2	Dichte	D03
D.2.1	Allgemeines	D03
D.2.2	Dichte der Bohrkerne	D03
D.2.3	Dichte der Cuttings	D03
D.2.4	Nachtrag: Dichte der Cuttings bis 480 m	D05
D.3	Ultraschallseismik	D08
D.3.1	Allgemeines	D08
D.3.2	Ergebnisse	D08
D.4	Wärmeleitfähigkeit	D12
D.5	Natürliche remanente Magnetisierung (NRM)	D15
D.5.1	Allgemeines	D15
D.5.2	Beschreibung der Ergebnisse	D15
D.6	Suszeptibilität	D19
D.6.1	Allgemeines	D19
D.6.2	Suszeptibilität der Bohrkerne	D19
D.6.3	Suszeptibilität der Cuttings	D20
D.6.4	Vergleich von Suszeptibilität und Dichte ...	D20
D.7	Spannungs-Nachwirkungsmessungen	D23
D.7.1	Allgemeines	D23
D.7.2	Berechnung der Relaxationszeit	D23
D.7.3	Meßergebnisse	D24
D.8	Literaturverzeichnis	D26

*) Anschrift der Autoren : KTB-Feldlabor
8486 Windischeschenbach

D.1 Einleitung

Der beschriebene Bohrabschnitt von 1530 m bis 1998 m umfaßt eine Richtbohrstrecke im Teufenbereich 1813 - 1998 m. Wie im vorhergehenden Berichtsabschnitt konnten während der Richtbohrphase Dichte und Suszeptibilität von Cuttings gemessen werden. Es wurden an 87 Kernmärschen (KM 321 - 408) die Untersuchungen der gesteinsphysikalischen Parameter fortgesetzt.

D.2 Dichte

D.2.1 Allgemeines

Die Dichte der Bohrkerne (1530 -1816 m) wurde nach dem Archimedisches Prinzip bestimmt (siehe KTB-Report 88-1, BÜCKER et al., 1988). Die Messung der Dichte der Cuttings erfolgte mit dem Pyknometer nach dem im KTB-Report 88-6 (RAUEN et al., 1988) beschriebenen Verfahren.

D.2.2 Dichte der Bohrkerne

Im untersuchten Teufenbereich ist in den Dichtewerten bis 1610 m eine starke Heterogenität feststellbar mit Werten von 2.57 g/cm^3 bei 1550 m und 3.06 g/cm^3 bei 1557 m (Abb D.2.1). Die mittlere Dichte liegt in diesem Bereich bei ca. 2.9 g/cm^3 . Lithologisch besteht dieser Bereich aus verschieden ausgebildeten Metabasiten mit geringmächtigen Lagen von Hornblende-Gneisen und einigen Quarzgängen. Die Streubreite ist wahrscheinlich auf unterschiedliche Biotit- und Granat-Führungen zurückzuführen, wie dies auch im vorherigen Teufenbereich (1227 -1530 m) (siehe KTB-Report 88-6, RAUEN et al., 1988) der Fall war. Dem auffallend niedrigen Dichtewert bei 1550 m kann ein Quarz-Feldspat-Mobilisat zugeordnet werden.

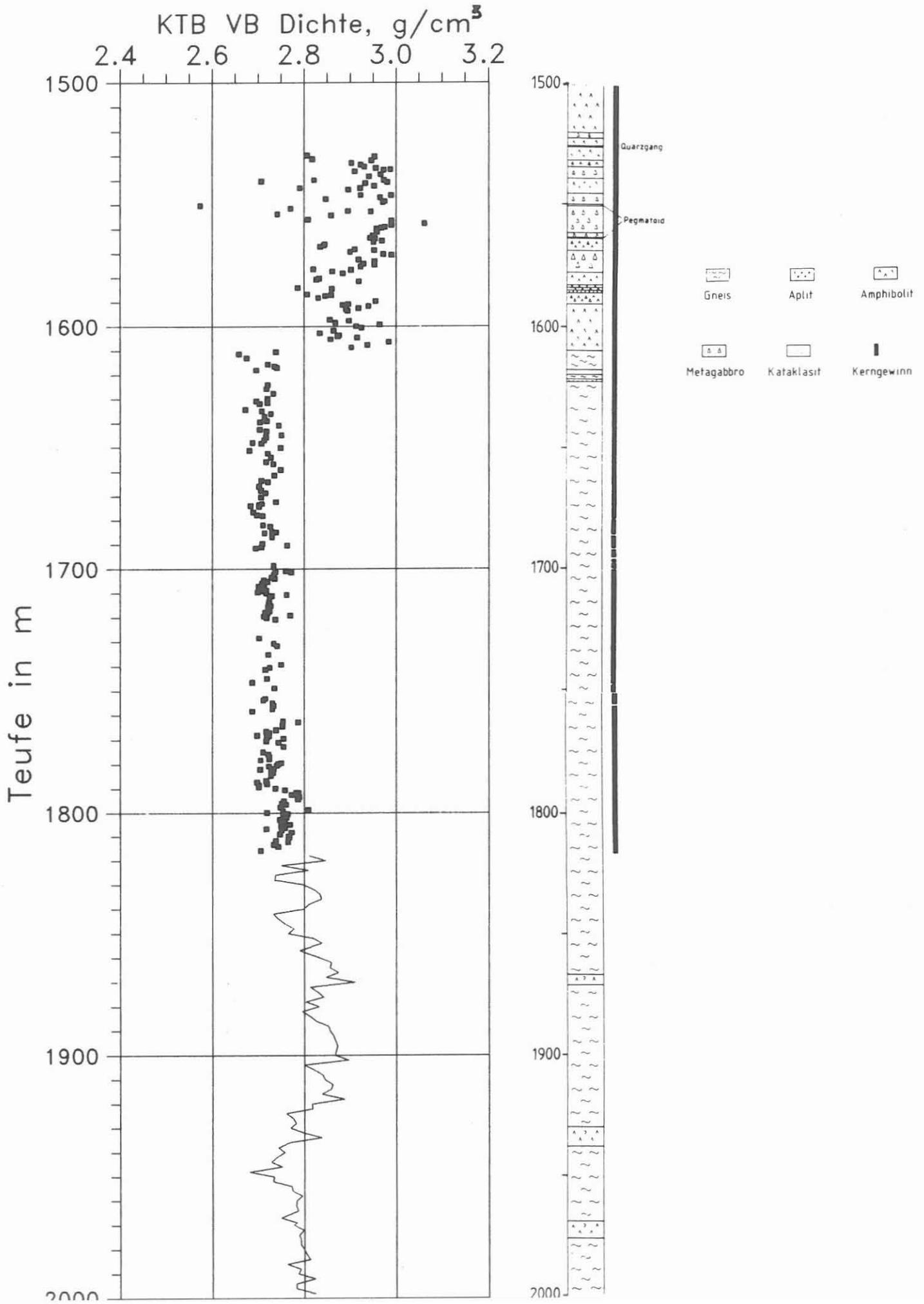
Unterhalb von 1610 m sind die Dichtewerte recht homogen mit einer mittleren Dichte vom 2.75 g/cm^3 und einem Streubereich von $2.66 - 2.86 \text{ g/cm}^3$. In diesem Abschnitt wurde eine monotone Biotit-Gneis-Serie angetroffen.

D.2.3 Dichte der Cuttings

Ab 1813 m wurde die Dichte an Cuttings kontinuierlich alle 2fm bestimmt. Es ergibt sich eine mittlere Dichte von 2.8 g/cm^3 mit einer Streubreite von 2.68 g/cm^3 bei 1948 m und 2.91 g/cm^3 bei 1870 m. Die monotone Biotit-Gneis-Serie ist hier durch einige Meta-Gabbro-Einschaltungen bei 1870, 1935 und 1970 m unterbrochen. Diese Meta-Gabbro-Einschaltungen lassen sich durch erhöhte Dichtewerte im Teufenlog erkennen. Im unteren Bereich ab ca. 1990 m ist eine leichte Dichtezunahme um 0.05 g/cm^3 feststellbar, die möglicherweise mit dem steigenden Anteil an Pyrit (vgl. Kap. C. Geochemie in diesem Report) erklärt werden kann. Der Pyrit-Anteil muß allerdings erheblich sein ($> 5\%$), da in dieser Kataklyse-Zone ab 1987 m eher mit einer Dichte-Abnahme durch Auflockerung des Materials gerechnet werden muß.

Ab der Teufe 1530 m wurde die Dichte auf Anregung der Geophysik und mittels eines Programms von Dr. J. Lauterjung

Abb.D.2.1: Teufenlog der Dichte von 1530-1998 m. Punkte: Messungen an Kernen, durchgezogene Linie: Messungen an Cuttings. Maßstab der Teufe: 1:2.000.



(Gießen) auch mit Hilfe der quantitativen RDA-Analytik bestimmt. (vgl. Kap. C. Geochemie in diesem Report). Hierzu wird die quantitative Bestimmung der Mineralphasen anhand der Zentrifugen-Proben verwendet. Die so bestimmte Dichte (XRHO) wird zur Unterscheidung von der Archimedischen und der Pyknometer-Methode "Röntgendichte" genannt.

Beide Arten der Dichtebestimmung zeigen in den Ergebnissen eine gute Übereinstimmung. Dies ist auch ein Hinweis darauf, daß die Porositäten in dem hier untersuchten Material nicht sehr groß sein können, da mit der RDA-Methode nur die Kristallgitter und -Volumina gesehen werden und daraus die Dichte berechnet wird.

Daß die Dichtezunahme ab 1990 m bei der RDA - Analyse deutlicher hervortritt als bei der Pyknometermethode, kann dadurch erklärt werden, daß bei der RDA - Analyse die reine Matrixdichte berechnet wird, wohingegen bei der Pyknometermethode die Totaldichte bestimmt wird und somit durch (vor allem im Bereich der Störungszone vermutlich erhöhten) Porositäten geringere Dichtewerte erhalten werden können. Die leicht erhöhten Dichtewerte in den Metagabbros werden mit der Röntgenanalytik infolge röntgenographisch unter der Nachweisgrenze liegender Gehalte an Mineralen höherer Dichte wie z. B. Eisen-Oxide und Sulfide nicht so deutlich erfaßt wie mit der Pyknometer-Methode.

In Abb.D.2.2 sind in einem Cross-Plot die mit der Auftriebsmethode gemessenen Dichten den Dichten aus der RDA-Analyse gegenübergestellt. Mit der Auftriebsmethode sind die Dichten am Kernmaterial bestimmt worden, mit der RDA-Methode am jeweiligen teufenmäßig äquivalenten Zentrifugen-Material. Die gemessenen Kerndichten wurden für diese Darstellung über ein Teufenintervall von 1 m gemittelt. Es errechnet sich ein linearer Korrelationskoeffizient von 0.84. Die Ausgleichsgerade (durchgezogene Linie) hat eine geringere Steigung als die 45°-Gerade, d.h., daß mit der RDA-Methode im Mittel etwas höhere Dichten als mit der Auftriebs-Methode bestimmt werden. Dies steht im Einklang mit der obigen Überlegung, daß mit der RDA-Methode Porositäten unberücksichtigt bleiben.

D.2.4 Nachtrag: Dichte der Cuttings bis 480 m

Die Dichte der Cuttings aus dem ersten Bohrabschnitt (0 - 480 m) wurde mit dem im KTB-Report 88-6 (RAUEN et al., 1988) beschriebenen modifizierten Verfahren nachgemessen. In Abb. D.2.3 sind die Dichtewerte der Bohrkerne und der Cuttings aus diesem Teufenabschnitt aufgetragen. Die Übereinstimmung zwischen Kern- und Cuttingsdichten ist hier deutlich besser als im KTB-Report 88-1. Vergleicht man die Cuttingsdichten mit den über 20 m gemittelten Kerndichten (Abb. D.2.3), so wird die Übereinstimmung noch deutlicher. Der erkennbare Versatz

einiger Extrema kann zum einen auf die gegenüber den Kernen unsicherere Teufenangabe der Cuttings sowie auf eventuelle Nachfall-Anteile zurückgeführt werden. Die Übereinstimmung zwischen Kern-Dichten und Cuttings-Dichten kann als gut bezeichnet werden.

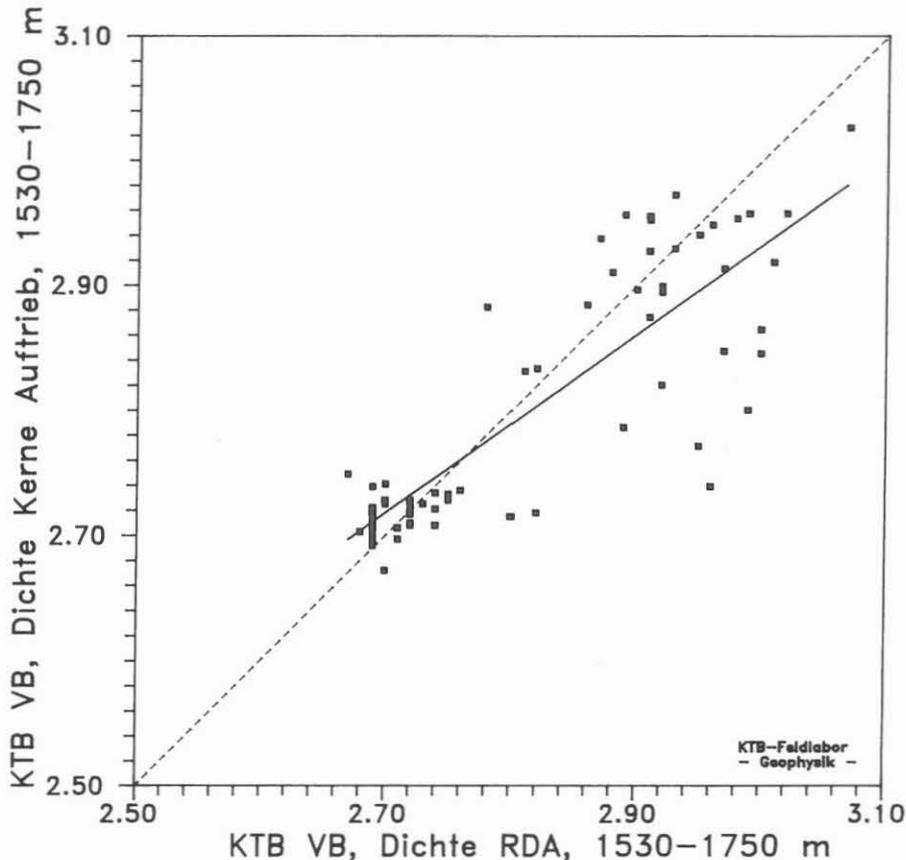
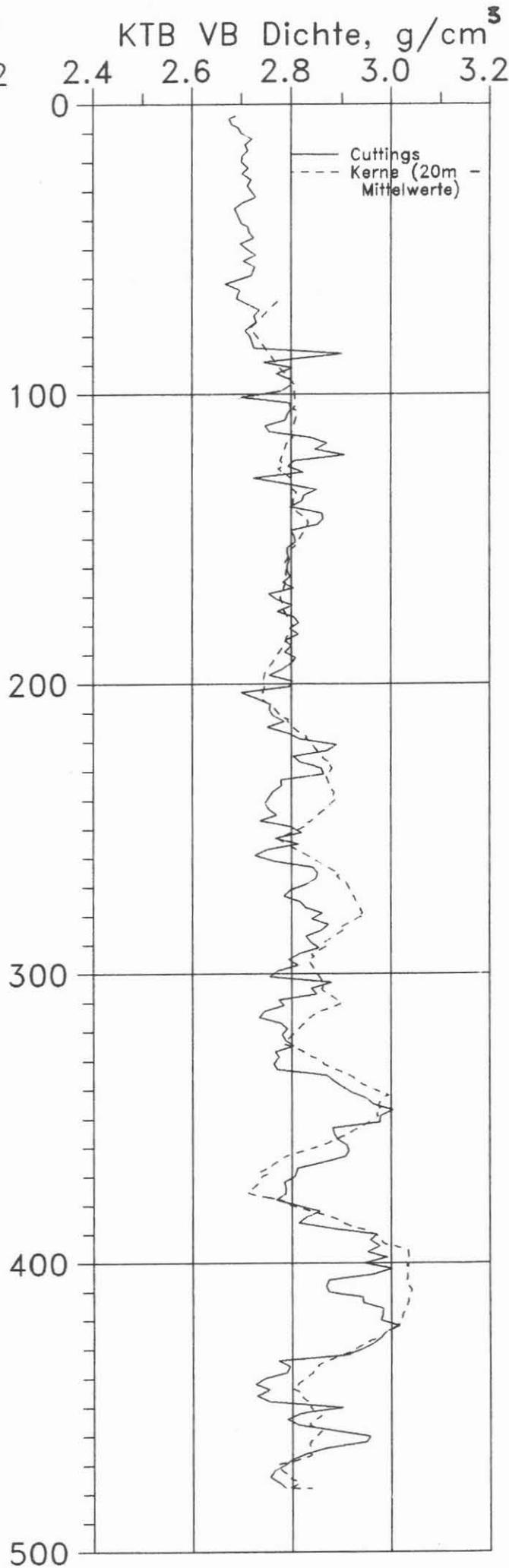
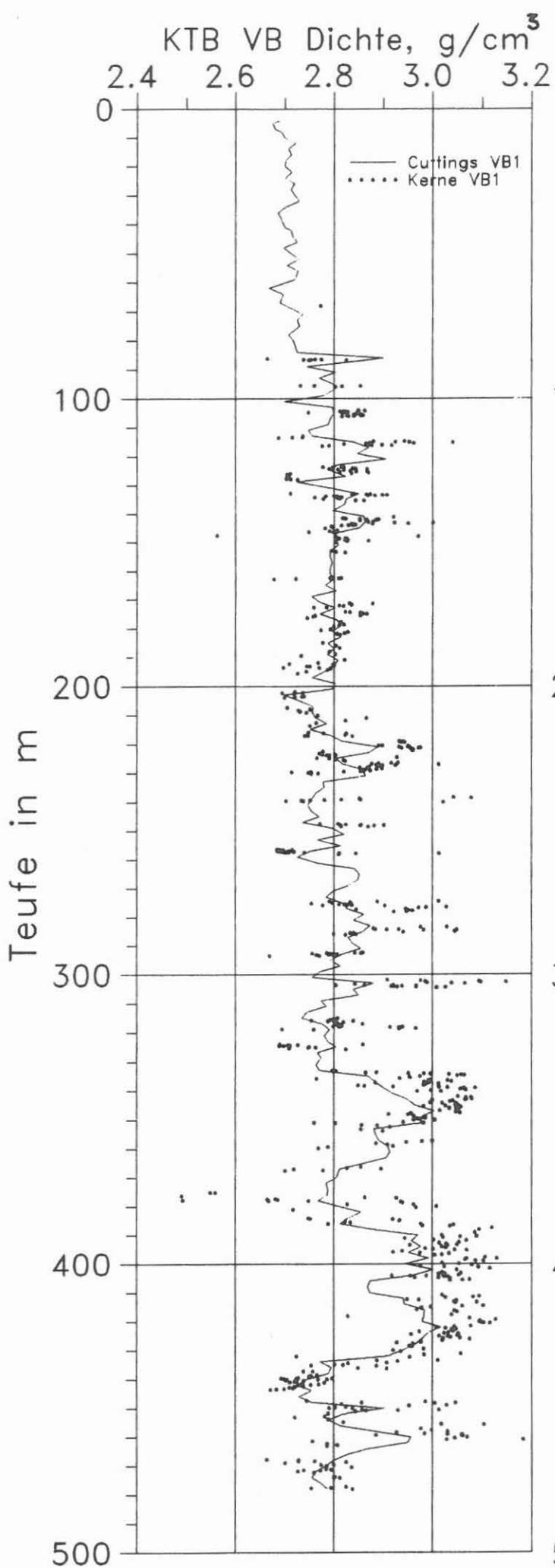


Abb.D.2.2: Cross-Plot von an Kernen mit der Auftriebsmethode gemessener Dichte gegen an Zentrifugen-Material mit der RDA-Analytik bestimmter Dichte. Durchgezogene Linie: Ausgleichsgerade, Korrelationskoeffizient: 0.84, gestrichelte Linie: 45°-Gerade.

Abb.D.2.3: Nachtrag: Teufenlog der Dichte von 0-480 m. Die Messungen an Cuttings (durchgezogene Linie) wurden mit der im KTB-Report 88-6 (RAUEN et al., 1988) beschriebenen Methode nachgemessen. Gestrichelte Linie im rechten Teil der Abbildung: über ein Teufenintervall von 20 m gemittelte Dichtewerte der Kerne. (s. nächste Seite)



D.3 Ultraschallseismik

D.3.1 Allgemeines

Durch Verzögerungen bei der Inbetriebnahme des neuen Ultraschall-Meßplatzes waren auch im Teufenbereich 1530 - 2000 m noch keine Messungen von axialen p- bzw. s- Wellen-Geschwindigkeiten möglich.

Im vorliegenden Bericht werden Messungen der radialen p-Wellen-Geschwindigkeiten an 150 Kernen vorgestellt. Zur benutzten Apparatur siehe KTB-Report 88-2 (Wienand et al., 1988).

D.3.2 Ergebnisse

Abb. D.3.1 zeigt die Ergebnisse der Radial-Durchschallungen. Im Unterschied zu den bisherigen Darstellungen in den KTB-Reports 88-2 und 88-1 wird nicht mehr der azimuthal gemittelte Wert der Geschwindigkeitsmessungen angegeben, sondern es werden die jeweils an einem Kernstück gemessenen maximalen und minimalen Geschwindigkeiten dargestellt. Die Maximalwerte der Geschwindigkeiten scheinen in sehr viel geringerem Maße von den Bedingungen der Messungen abzuhängen (z.B. Wassersättigung oder Zeit zwischen Kernentnahme und Messung), als dies bei den Minimalwerten und somit auch den Mittelwerten der Geschwindigkeiten der Fall ist. Deutlich erkennbar ist die wesentlich geringere Streuung der Maximalwerte gegenüber der Streuung der Minimalwerte der Geschwindigkeiten. So ergibt sich quantitativ für den Teufenbereich 1650 - 1700 m eine Standardabweichung von 104 m/sec für die maximalen v_p -Werte, während die minimalen Geschwindigkeiten in diesem Teufenbereich eine Standardabweichung von 402 m/sec zeigen.

Mit Hilfe der Messungen der Schallgeschwindigkeiten lassen sich im Teufenlog (Abb.D.3.1) drei Bereiche abgrenzen:

1. Innerhalb der Amphibolit-Serie von 1500 - 1609 m variieren sowohl Minimal- als auch Maximalwerte der Geschwindigkeiten in einer Bandbreite von 4500 - 7000 m/sec. Die relativen Unterschiede zwischen beiden Messwerten (Anisotropie) liegen meist unter 10 % .

2. Im Teufenbereich 1609 - 1650 m wurde ein stark kataklastisch überprägter Gneis erbohrt. Innerhalb dieser Strecke war der Kernerhalt schlecht, was sich in einer geringen Zahl von Meßpunkten ausdrückt; zudem waren bei keinem Kern Radialdurchschallungen über eine volle Kernrotation möglich.

3. Im Teufenbereich von 1650 - 1810 m wurde eine monotone Gneis-Serie durchbohrt. Hier lagen die Werte der maximalen

Geschwindigkeiten meist in dem Intervall zwischen 5900 und 6400 m/sec, während die minimal an den Proben gemessenen Geschwindigkeiten eine deutlich höhere Schwankungsbreite (4600 - 6000 m/sec) aufweisen. Allerdings war auch in diesem Teufenbereich nur in wenigen Fällen eine Meßreihe über eine volle Kernrotation möglich.

Abb. D.3.2 zeigt die ermittelten Werte der Anisotropien der radialen v_p -Geschwindigkeiten.

(Anisotropie = $(V_{pmax} - V_{pmin} / V_{pmit})$).

Für die Angabe eines sinnvollen Anisotropie-Wertes sind mindestens 11 Radialdurchschallungen pro Kern notwendig. Aus diesem Grund ist hier die Dichte der Meßpunkte deutlich geringer als der Meßpunktabstand der Geschwindigkeitsdaten. Auffällig sind hier vor allem die niedrigen Anisotropiewerte der Amphibolite im Teufenbereich 1500 - 1609 m.

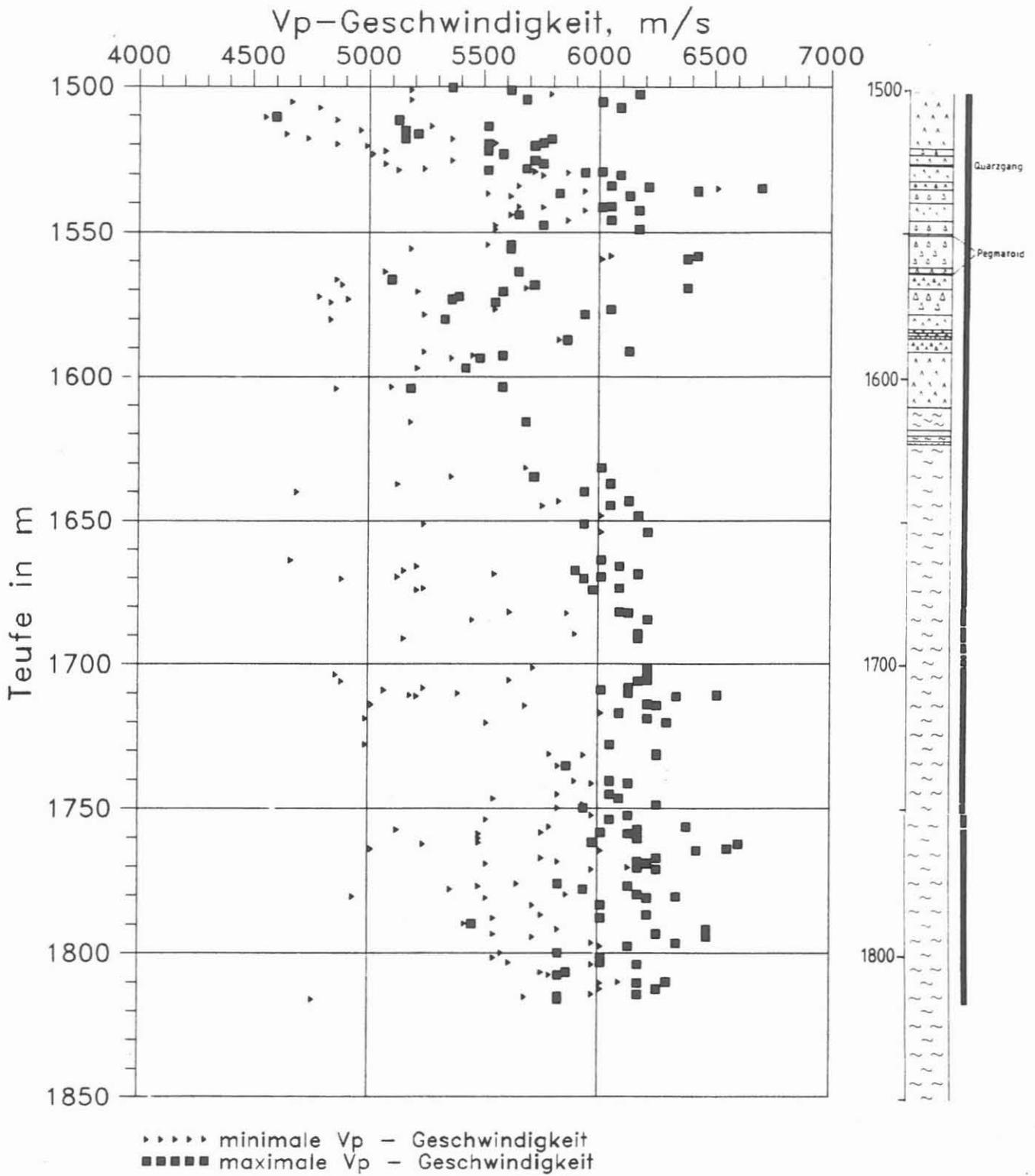


Abb. D.3.1: Teufenlog der Radialdurchschallungen von Bohrkernen

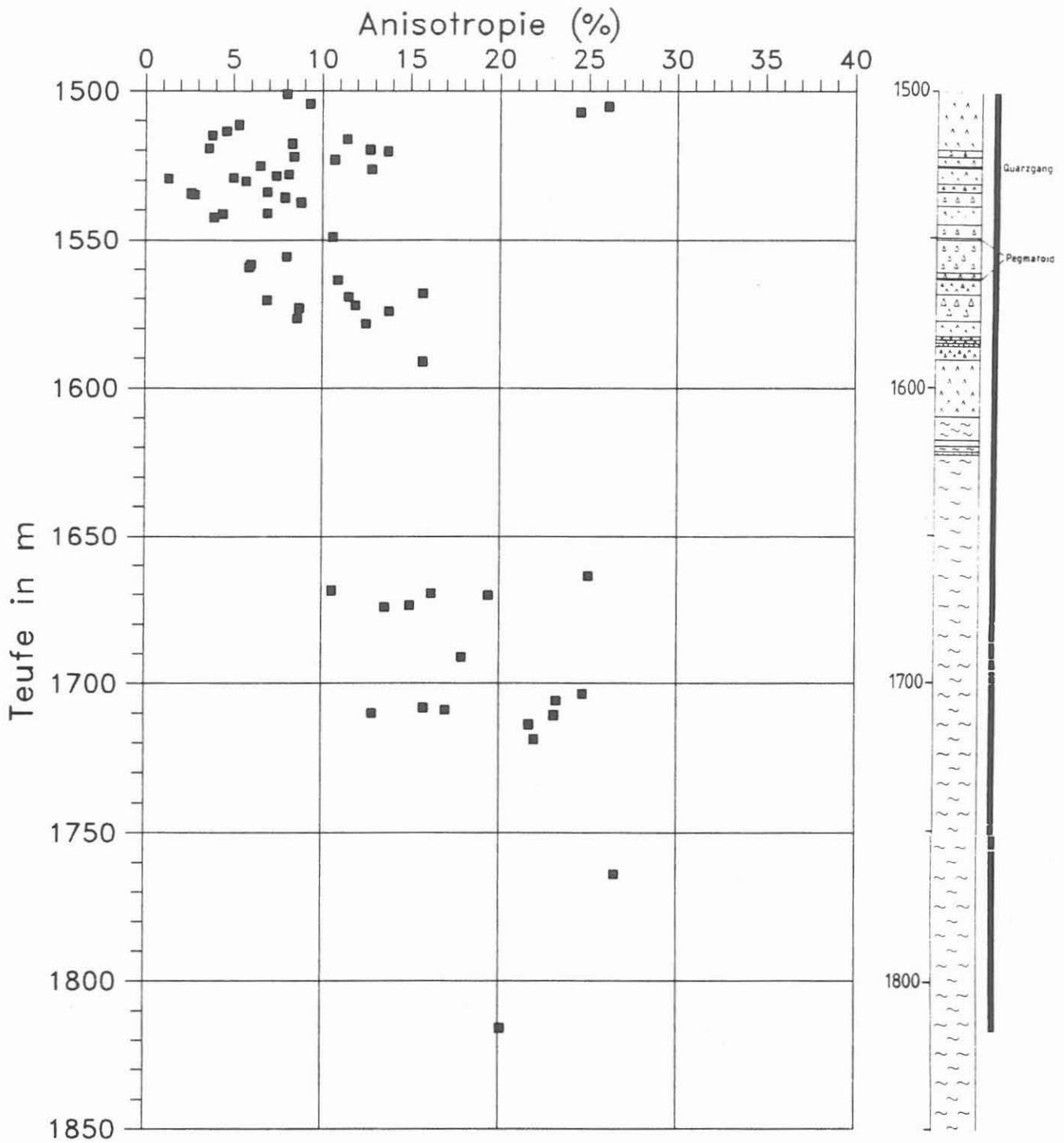


Abb. D.3.2: Anisotropie der p-Wellen-Geschwindigkeit

D.4 Wärmeleitfähigkeit

Mit der instationären Meßmethode (Halbraum-Linien-Quelle, siehe RAUEN et al., 1988) wurde im Teufenbereich 1500 m bis 1820 m alle 10 bis 20 m die Wärmeleitfähigkeit (WLF) von Bohrkernen bestimmt. Die Probenflächen auf den Stirnflächen der Kerne waren gesägt und mit 400er Körnung geschliffen.

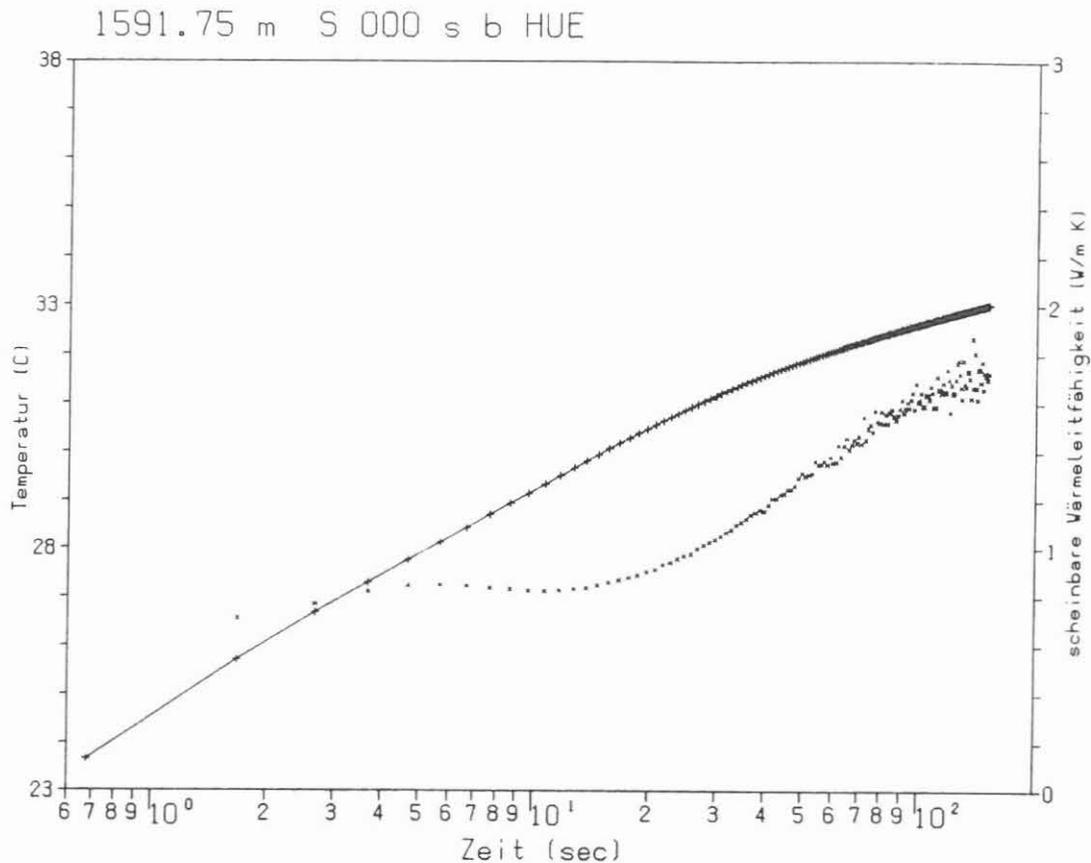


Abb. D.4.1: Aufheizkurve auf Bohrkern 1591.75 m . + = Temperaturen ; x = errechnete scheinbare WLF-Werte.

Abb. D.4.1 und D.4.2 zeigen exemplarisch je eine gemessene Aufheizkurve und den daraus errechneten Verlauf der scheinbaren WLF (siehe RAUEN et al., 1988) für einen Bohrkern aus 1591.75 m (=Probe A) und aus 1788.60 m Teufe (=Probe B). Im Gegensatz zur Aufheizkurve auf Probe A steigt zwar die Temperatur auf Probe B in den ersten 30 Sekunden stärker an, aber die Kurve wird bei höheren Zeiten stärker zu einer Abflachung hin gekrümmt. Der Auswertalgorithmus (siehe RAUEN et al., 1988) führt für diese beiden Messungen zu WLF-Werten von 2.23 W/m K bei Probe A, einem Amphibolit, und 3.01 W/m K bei Probe B, einem Gneis.

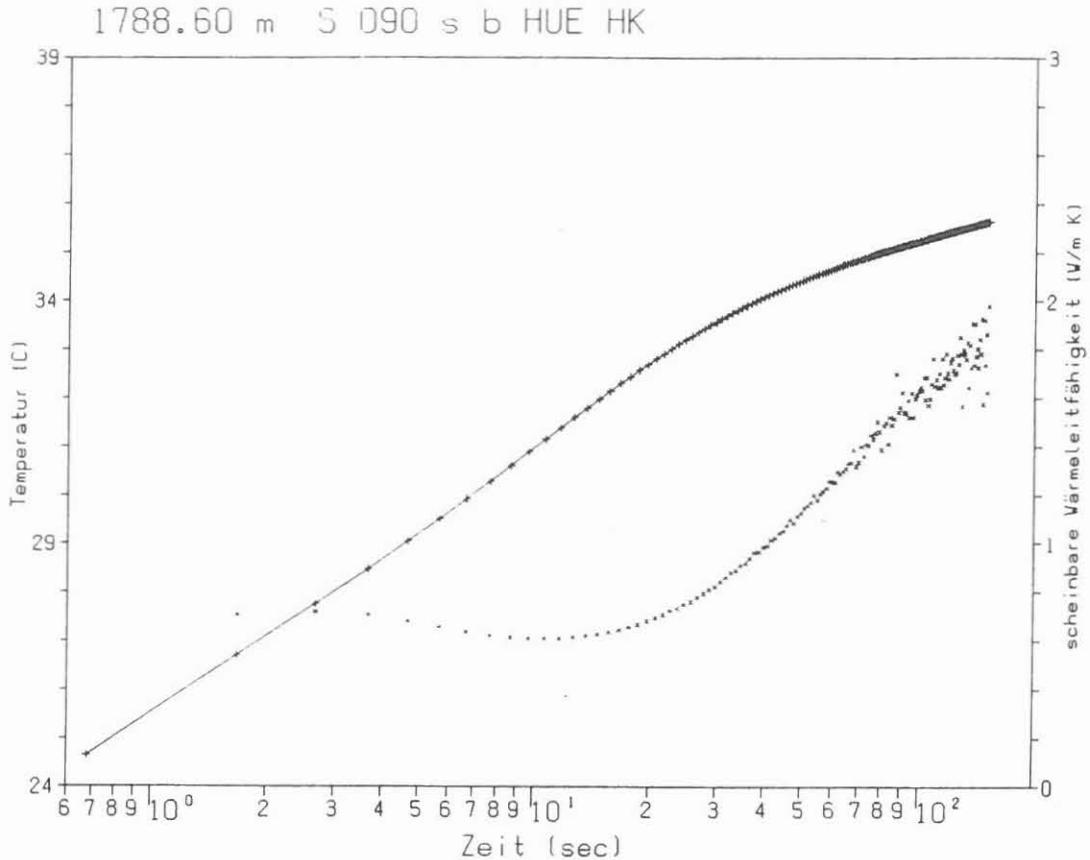
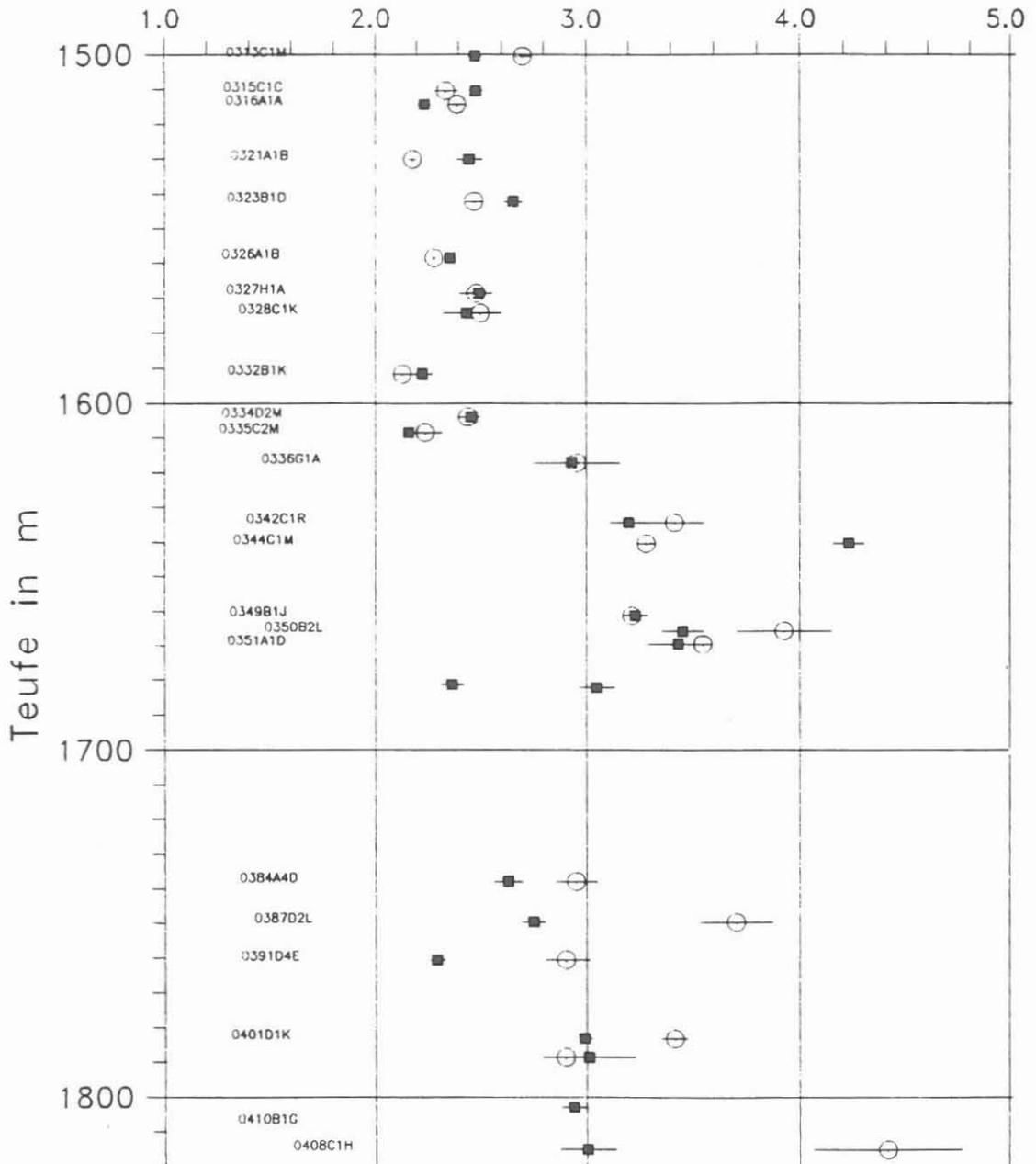


Abb. D.4.2: Aufheizkurve auf Bohrkern 1788.60 m . + = Temperaturen ; x = errechnete scheinbare WLF-Werte.

Es wurden jeweils in zwei senkrecht zueinander stehenden Ebenen, die orthogonal auf der Stirnfläche der Kerne stehen (die 0°/z-Ebene und die 90°/z-Ebene), je fünf Aufheizkurven auf dem Bohrkern gemessen. Abb. D.4.3 zeigt die WLF der Proben, die aus diesen je fünf Wiederholungsmessungen errechnet und statistisch ausgewertet wurden. Einhergehend mit dem Lithologiewechsel bei ca. 1609 m ist eine Änderung im WLF-Teufenlog. Während die Amphibolite (siehe z.B. Abb. D.4.1) WLF-Werte zwischen 2.2 und 2.6 W/m K ohne ausgeprägte Anisotropie besitzen, schwankt die WLF der Gneise (siehe z.B. Abb.D.4.2) zwischen 2.4 und 3.8 W/m K mit unterschiedlichen Werten senkrecht (i.a. 90°/z-Ebene) und parallel zur Folia-tion (i.a. 0°/z-Ebene).

Vergleicht man die WLF-Werte der Gneise in Abb.D.4.3 mit den WLF-Werten der Gneise des Teufenbereichs 500 bis 1000 m (RAU-EN et al., 1988), so erkennt man, daß die Werte in Abb.D.4.3 im Mittel niedriger liegen. Es ergibt sich damit einerseits, daß die lithologische Bestimmung nicht allein zur Abschätzung der WLF herangezogen werden kann. Andererseits sind die niedrigeren WLF-Werte Ursache für einen höheren Temperaturgradienten in diesem Teufenbereich als in den oberen Teufen.

Abb.D.4.3: Wlf in W/m K KTB VB1 1500 - 1820 m. ■ = in 90°/z-Ebene und o = in 0°/z-Ebene mit mittlerem quadratischen Fehler.



D.5 Natürliche remanente Magnetisierung (NRM)

D.5.1 Allgemeines

Die natürliche remanente Magnetisierung wurde im Teufenbereich von 1500 - 1813 m an 32 Bohrkernen bestimmt (KM 314 - 408). Im Mittel konnte nur etwa alle 10 m ein Kernstück vermessen werden. Dies ist deutlich weniger als in den oberen Teufenabschnitten und zum Teil auf eine relativ schlechte Kernqualität zurückzuführen. Zum anderen wurden innerhalb monotoner Gneisserien ohne erkennbare Erzmineralisationen die Meßpunktabstände vergrößert, da die durchteuften Gneise zum größten Teil kaum meßbare Magnetisierungen (≤ 5 mA/m) aufweisen.

Die Teufenlogs (Abb.D.5.1 und D.5.2) sind im Maßstab 1:2.000 dargestellt; andere Maßstäbe können auf Anforderung zur Verfügung gestellt werden. Dargestellt sind in den Teufenlogs nur die NRM-Werte > 10 mA/m, entsprechend der Genauigkeit der verwendeten Apparatur (vgl. RAUEN et al., 1988).

D.5.2 Beschreibung der Ergebnisse

Im Teufenlog der NRM (Abb. D.5.1) können in der Magnetisierung (ähnlich wie in der Suszeptibilität, vgl. Kap. D.6.2 in diesem Bericht) zwei Bereiche voneinander getrennt werden. Der erste Bereich bis 1532 m zeigt Magnetisierungswerte um 60 mA/m, dieser Bereich ist im Litholog (s. Kapitel "B" in diesem Report) durch Amphibolite charakterisiert. Die Amphibolite unterhalb von 1532 m zeigen, soweit sie vermessen werden konnten, noch geringere Magnetisierungswerte. Amphibolite in oberen Teufenabschnitten (z.B. um 1300 m, vgl. RAUEN et al., 1988; um 230 m, vgl. BÜCKER et al., 1988) besitzen dagegen deutlich höhere Magnetisierungen mit Spitzenwerten von über 10.000 mA/m. Inwieweit hier eine Teufenabhängigkeit der Magnetisierung vorliegt und welche Ursachen als Erklärung gegeben werden können (Erzgehalt, Art der Erzminerale, Art der Entstehung der Magnetisierung), wird noch näher untersucht werden. Unterschiedliche Magnetisierungen in den Amphiboliten bis hin zu völlig unmagnetischen Amphiboliten waren bereits bei Oberflächenuntersuchungen in der ZEV gefunden worden (vgl. z.B. BÜCKER, 1987; PUCHER & STETTNER, 1985). Auch die Gneise zeigen in dem hier betrachteten Teufenabschnitt geringere Magnetisierungswerte als in dem Abschnitt von 480 - 992 m. Hierfür sind möglicherweise unterschiedliche Magnetit- oder Magnetkiesvererzungen die Ursache.

In den Teufenbereichen 1574 - 1580 m und um 1680 m konnten Q-Faktoren mit Werten zwischen 1 und 3 ermittelt werden.

Der lithologische Wechsel von Metabasiten zu Gneisen bei 1609fm ist in dem Teufenlog der NRM nicht so deutlich zu

erkennen wie z.B. in dem Dichtelog (vgl. Abschnitt "Dichte" in diesem Report). Dies ist auch auf die höheren Meßpunktabstände bei der NRM zurückzuführen. Die Gneise unterhalb von 1609 m Teufe zeichnen sich durch eine kaum noch meßbare Magnetisierung von meist kleiner als 20 mA/m aus.

Im Gegensatz zur Amplitude der NRM ändert sich das Bild der Inklination (NRM) (Abb. D.5.1, rechter Teil) mit der Teufe nicht sehr. Wie in den früheren Berichten liegen die gemessenen Inklinationen steil zwischen 60° und 90° , negative Inklinationen mit Werten $< -50^\circ$ konnten ebenfalls wieder bestimmt werden. Der Cross-Plot (Abb. D.5.2) zeigt, daß negative Inklinationen hauptsächlich bei schwachen Magnetisierungen gemessen werden.

In Abb. D.5.3 sind die x-, y- und z-Komponenten der NRM gegen die Teufe aufgetragen. Die +x-Komponente der Magnetisierung zeigt dabei vom Kernmittelpunkt zur vorläufigen Orientierungslinie. Über den gesamten Teufenabschnitt zeigen die z-Komponenten die höchsten Magnetisierungswerte, insbesondere in den Amphiboliten bis 1532 m. Meßbare x- und y-Komponenten der Magnetisierung sind lediglich innerhalb der Amphibolite bis 1600 m feststellbar. In den Gneisen unterhalb 1609 m sind die horizontalen Komponenten der Magnetisierung praktisch gleich Null; hauptsächlich in diesem Bereich treten negative Werte der z-Komponente auf. Es liegt die Vermutung nahe, daß durch den Bohrprozeß vor allem die z-Komponente der Magnetisierung in den Bohrkernen beeinflußt und überprägt wird ("DIRM, Drilling Induced Remanent Magnetization", vgl. a. RAUEN et al., 1988).

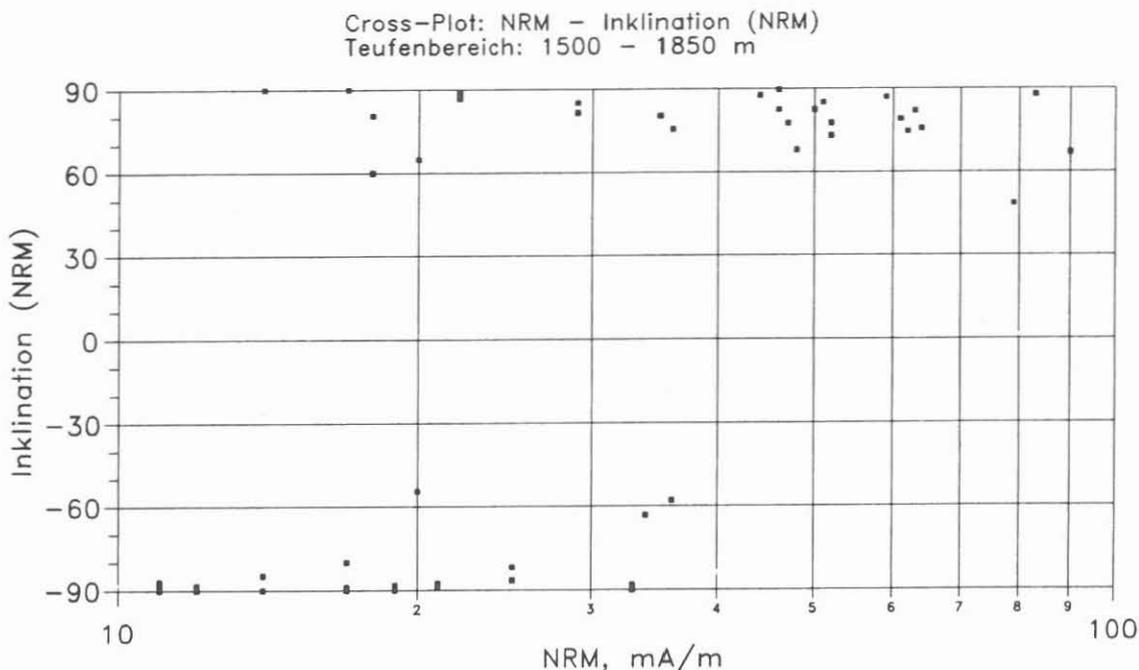


Abb. D.5.2 Cross-Plot von NRM zu Inklination (NRM).

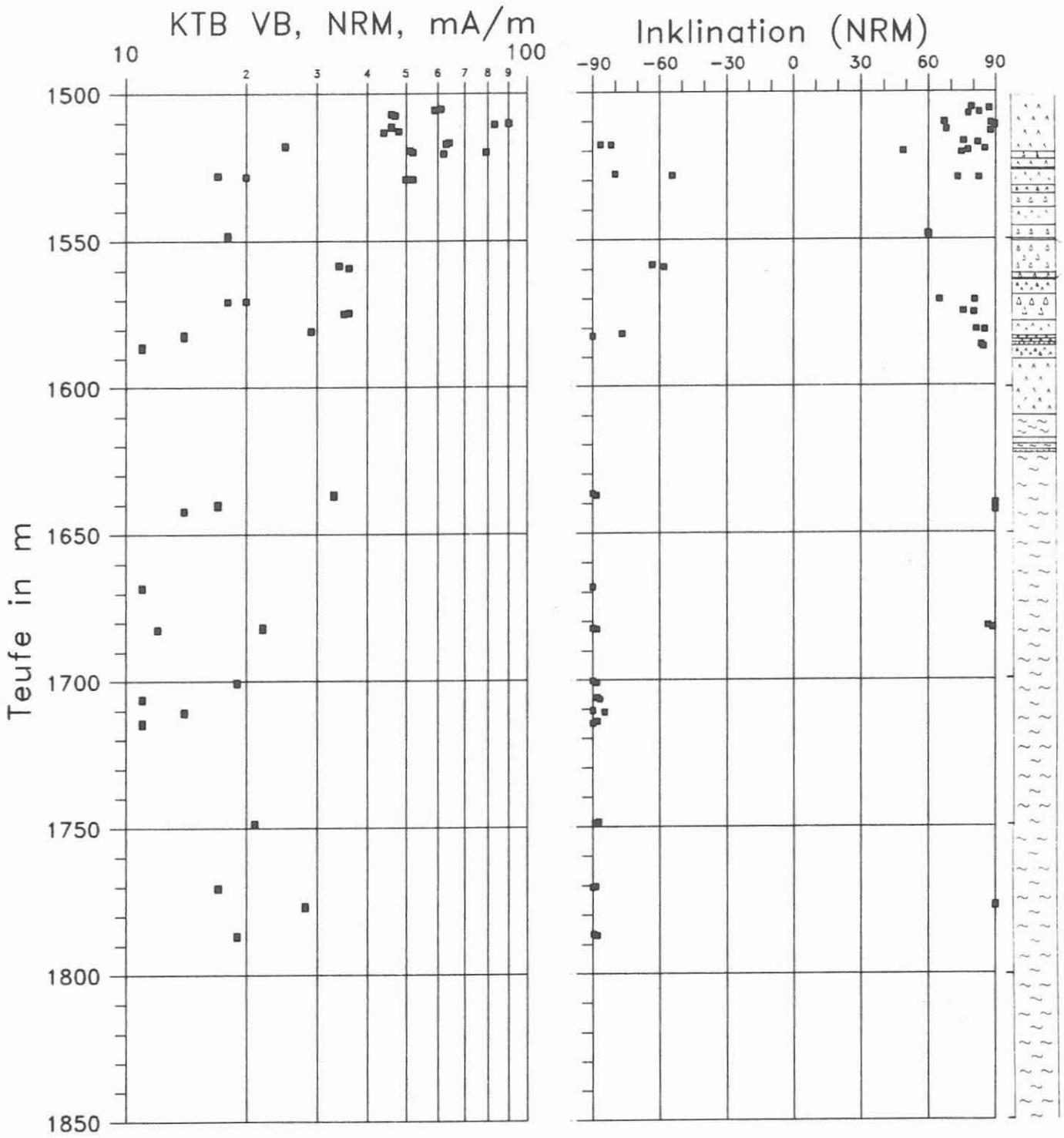


Abb. D.5.1 Teufenlog der natürlichen remanenten Magnetisierung (NRM, linke Seite). Rechte Seite: Inklination (NRM).

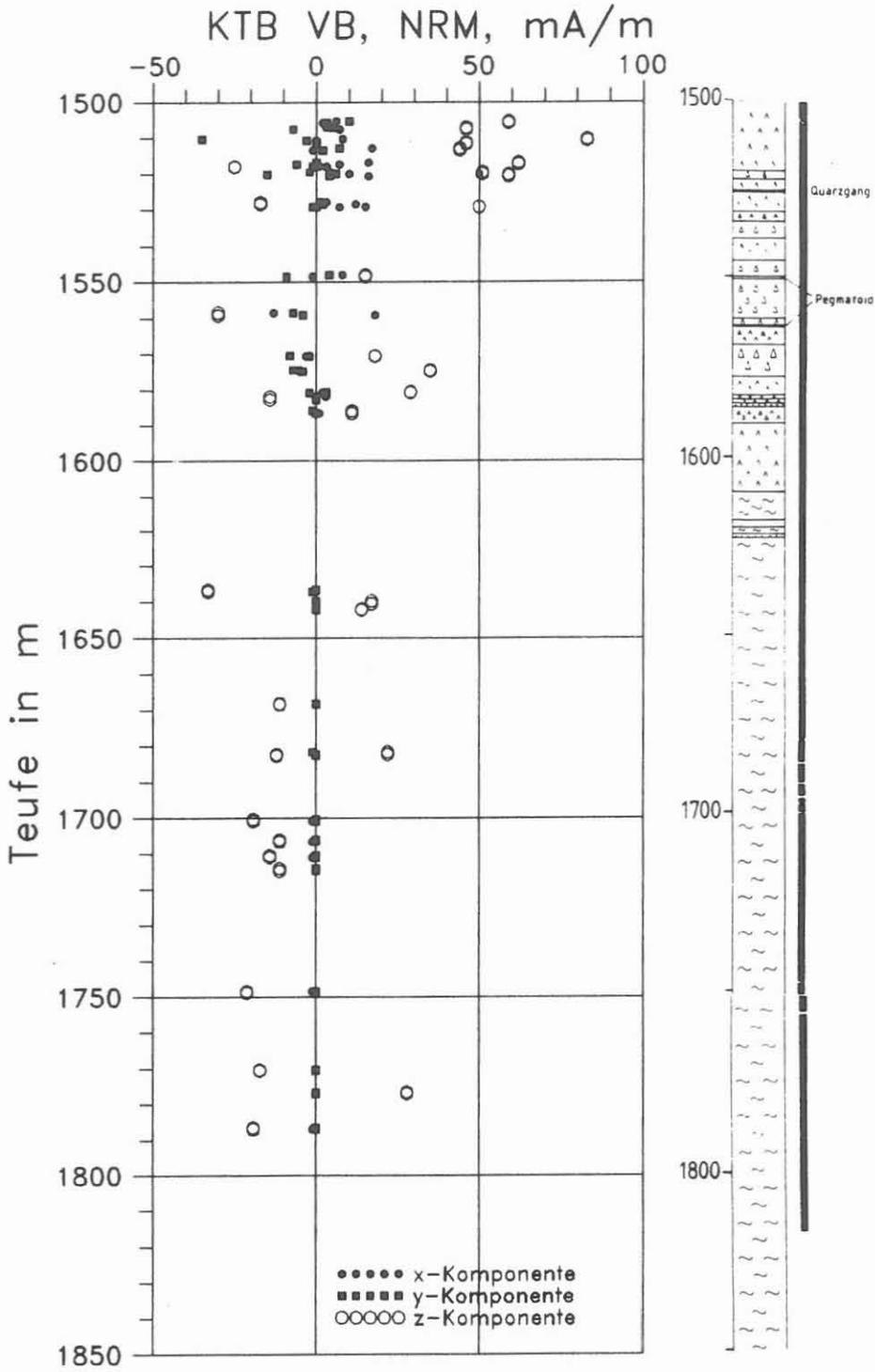


Abb. D.5.3 Teufenlog der x-, y- und z-Komponenten der natürlichen remanenten Magnetisierung.

D.6. Suszeptibilität

D.6.1. Allgemeines

Auf das Prinzip der Messung der magnetischen Suszeptibilität wurde im KTB-Report 88-1 (Bücker et al., 1988) näher eingegangen.

Für diesen Bericht konnten im Teufenintervall von 1530 - 1816fm Messungen an Bohrkernen durchgeführt werden, im daran anschließenden Bereich von 1816 m bis 1998 m erfolgten die Messungen an Bohrklein. Die Ergebnisse beider Messungen sind in den beiden folgenden Kapiteln erläutert. In einem weiteren Kapitel wird auf den Zusammenhang zwischen magnetischer Suszeptibilität und Dichte eingegangen.

D.6.2. Suszeptibilität der Bohrkern

In der Abbildung D.6.1. ist ein kombiniertes Log der Suszeptibilitäten von Bohrkernen und Cuttings dargestellt. In der linken Darstellung ist die Suszeptibilitäts-Achse in linearem Maßstab gezeichnet, um Maxima deutlicher hervortreten zu lassen, während in der logarithmischen Darstellung der rechten Seite die Auflösung der niedrigen Werte verbessert ist.

Das Teufen-Log ist im Maßstab von 1:2000 gezeichnet, andere Maßstäbe sind auf Anfrage zu erhalten.

Im Gegensatz zu den Messungen des vorhergehenden Teufenbereichs fallen die gemessenen Bohrkern-Suszeptibilitäten durch einen wesentlich gleichförmigeren Verlauf auf (siehe hierzu KTB-Report 88-6, Rauen et al., 1988). Deutlich erkennbar sind zwei charakteristische Bereiche : von 1530 m bis 1610 m sind die Meßwerte leicht erhöht mit einem Mittelwert von $0.6 \cdot 10^{-3}$ SI. Im tieferen Bereich bis etwa 1817 m liegt die Suszeptibilität mit einem Durchschnittswert von $0.3 \cdot 10^{-3}$ SI niedriger. Diese beiden Bereiche lassen sich lithologisch gut unterscheiden : bei etwa 1610 m Teufe wird der Amphibolit des Hangenden vom Gneis abgelöst.

Besonders im Amphibolit und Metagabbro fallen kleinere Bereiche mit lokal erhöhten Meßwerten auf; so liegt das Maximum der hier gemessenen Suszeptibilität (ca. $2 \cdot 10^{-3}$ SI) bei 1546 m Teufe. Weitere Hochlagen lassen sich bei den Teufen 1540 m bis 1547 m, 1555 m bis 1559 m und 1569 m bis 1572 m erkennen.

Ein lokales Maximum im Gneis befindet sich bei 1805 m. Bei dieser Teufe ist petrologisch eine verheilte Störung erkannt worden. (Zum Vergleich mit der Geologie siehe den Abschnitt "B" im diesem Band).

D.6.3. Suszeptibilität der Cuttings

Auffällig ist hier eine größere Streubreite gegenüber den Bohrkern-Messungen. Außerdem liegen die gemessenen Suszeptibilitäten mit einem Mittelwert von ca. $1 \cdot 10^{-3}$ SI höher als die Suszeptibilitäten der Kerne.

Bereiche mit lokal erhöhten Werten liegen bei 1832 m, von 1867 m bis 1891 m und bei 1937 m.

Das Log der Cuttings-Suszeptibilitäten in Kombination mit dem Dichte-Log war recht hilfreich bei der Erstellung des Litho-Profiles in diesem nur durch Cuttings belegten Bereich (siehe hierzu den entsprechenden Bericht im Abschnitt "B" in diesem Band). Offen bleibt allerdings die Frage, inwieweit das Cuttings-Material mit Nachfall behaftet ist.

D.6.4. Vergleich von Suszeptibilität und Dichte

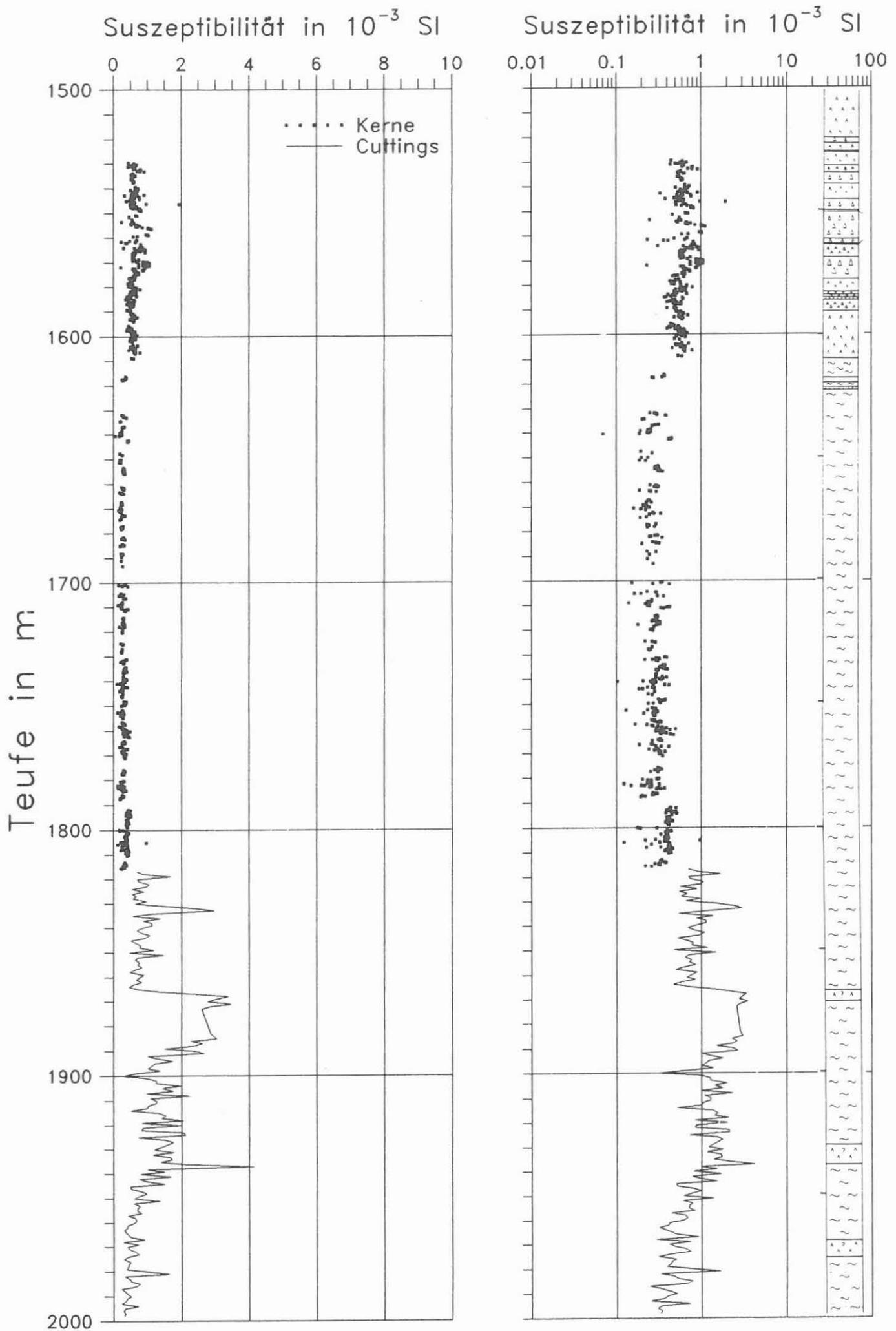
Die Abbildung D.6.2 zeigt einen Cross-Plot zwischen gemessener Suszeptibilität und Dichte. Die hier dargestellten Messungen wurden an Kern-Material durchgeführt. Zu den Teufen, die durch die Dichtemessungen belegt sind - den mittleren Teufen des gemessenen Kernstückes - wurden die vorhandenen Meßwerte der Suszeptibilität in einem Intervall von ± 15 cm gemittelt und der Teufe der Dichtemessung gegenübergestellt. Es wurde so ein Datensatz erstellt, der neben der Teufe auch die Werte der Dichte und der Suszeptibilität enthält. Mit eingezeichnet ist eine Ausgleichsgerade, die durch die Gauß'sche Methode der kleinsten Quadrate erhalten wurde. Es ergibt sich eine gute Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.88.

Im folgenden Cross-Plot (Abb. D.6.3) ist die Suszeptibilität gegen die Dichte (jeweils an Cuttings gemessen) aufgetragen. Hier lagen beide Messungen bereits in 1 m-Schritten vor, so daß kein Teufenangleich wie im Falle der Bohrkern-Messungen nötig war.

Die lineare Korrelation ist wesentlich schlechter als bei den Kern-Daten. Es errechnet sich ein Korrelationskoeffizient von 0.37. Auch hier ist aber erkennbar, daß hohe Dichten mit hohen Suszeptibilitäten zusammenhängen. Dies kann durch die im Mittel größere Dichte der magnetisierbaren Minerale erklärt werden. (siehe KTB-Report 88-6, Rauen et al, 1988)

Eine mögliche Erklärung für die schlechtere Korrelation liegt vermutlich darin, daß die Cuttings als Mischproben über einen gewissen, nicht genau bekannten Teufenbereich vorliegen. Zu den Messungen der Dichte und der Suszeptibilität wurden verschiedene Stichproben aus dem gesamten vorhandenen Material

Abb. D.6.1 : Log der magnetischen Suszeptibilität von Bohrkernen und Cuttings-Material.



genommen. Da die Cuttings aufgrund ihrer zum Teil mm-großen Mineral-Aggregate keine homogene Mischung darstellen, können Stichproben auch verschiedene Meßwerte liefern. Als Folge könnte der vermutete Zusammenhang verwischt worden sein.

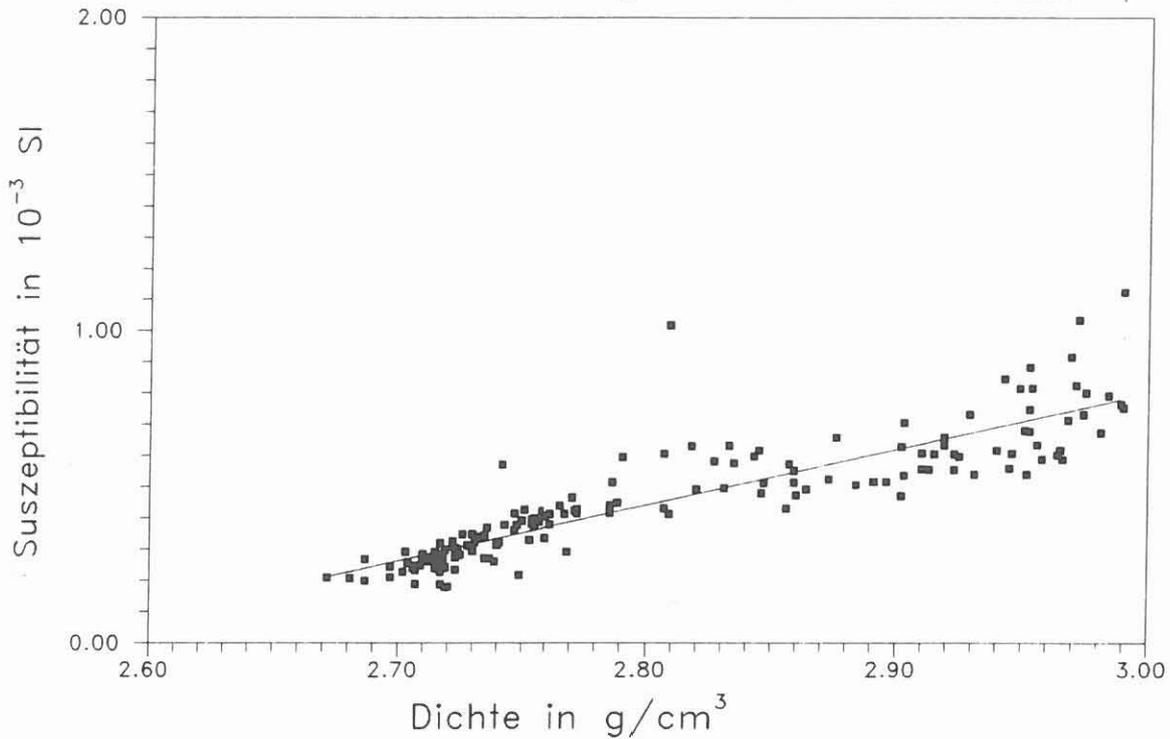


Abb. D.6.2 : Cross-Plot der Suszeptibilität gegenüber der Dichte. Messungen an Bohrkernen. (Messungen der gleichen Teufe sind gegenübergestellt, die Teufenangleichung der beiden Datensätze ist im Text erläutert).

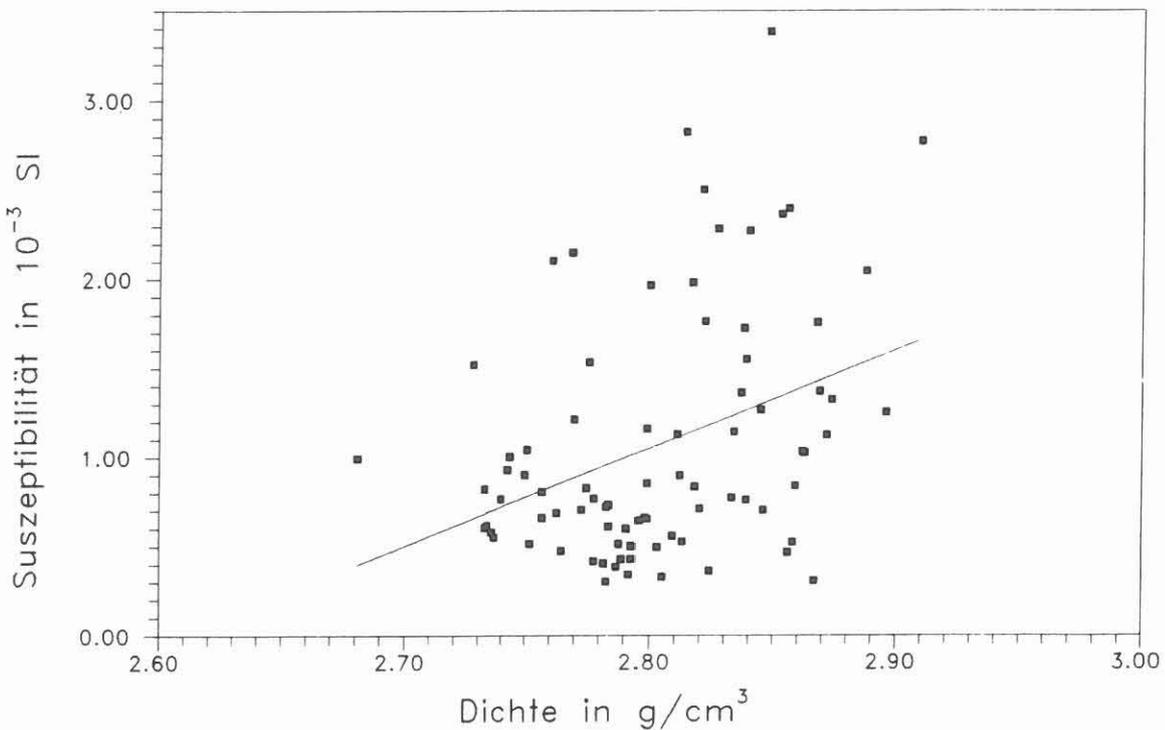


Abb. D.6.3 : Cross-Plot der Suszeptibilität gegenüber der Dichte. Messungen an Cuttings-Material. Die Messwerte lagen aus gleichen Teufen vor.

D.7 Spannungsnachwirkungsuntersuchungen - anelastische Retardation und Relaxationszeit

D.7.1 Allgemeines

An zwei Bohrkernproben (Teufe 1530 m und 1998 m) wurden Spannungsnachwirkungsuntersuchungen vorgenommen. Die Messung der akustischen Emission während des Retardationsprozesses war aus technischen Gründen nicht möglich. Sowohl die meßtechnischen und mathematischen Grundlagen als auch die Versuchsdurchführung sind im KTB-Report 88-6 (WOLTER et al. 1988) genau beschrieben.

D.7.2 Berechnung der Relaxationszeit

Das Ausdehnungsverhalten eines Bohrkerns nach erfolgter Spannungsentlastung kann in erster Näherung durch einen einfachen Relaxationsprozess beschrieben werden.

Wenn $A(t)$ der Deformationsbetrag zum Zeitpunkt t ist (Abb. D.7.1), dann gilt nach dem Relaxationsgesetz:

$$A(t) = A_{\infty}[1 - \exp(-t/\tau)]$$

A_{∞} ist der asymptotische Wert für $t \rightarrow \infty$ und τ ist die Relaxationszeit. Dies bedeutet, daß zur Zeit $t = \tau$ die Deformation $A(\tau) = 63\%$ von A_{∞} erreicht hat. Nach $t = 2.3\tau$ sind 90% von A_{∞} erreicht.

Wird $\Delta A = A_{\infty} - A(t) = A_{\infty} \cdot \exp(-t/\tau)$ halblogarithmisch gegen t aufgetragen dann ist $1/\tau$ die negative Steigung der Geraden (Abb. D.7.2).

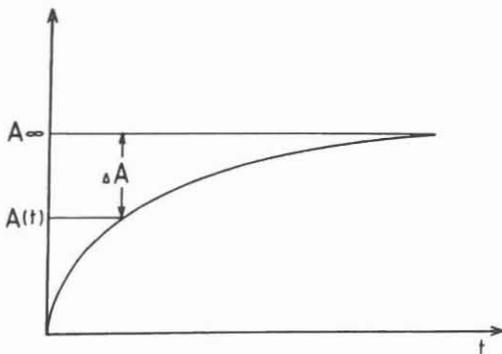


Abb. D.7.1:

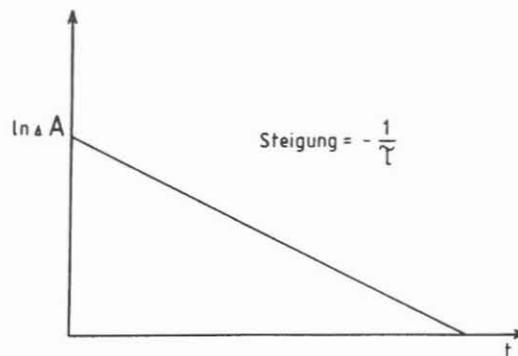


Abb. D.7.2:

D.7.3 Meßergebnisse

Aus den Kernmärschen 390 und 402 wurden jeweils an einem Bohrkern Retardationsmessungen durchgeführt. Bei beiden Proben handelt es sich um einen Sillimanit-Biotit-Gneis mit einem Einfallen der Foliation zwischen 70-80°. Die Meßergebnisse beinhalten die errechneten anelastischen Deformationsbeträge der maximalen und minimalen Hauptdeformation (e_1 und e_2) in der radialen Ebene und den der axialen Deformation (e_y). Außerdem ist die durchschnittliche Relaxationszeit (τ) angegeben, die sich aus den Relaxationszeiten für e_1 , e_2 und e_y zusammensetzt. Der Winkel α gibt die Orientierung der maximalen Hauptdeformation an, bezogen auf die Feldlabor-Referenzlinie (F-Referenzlinie).

Probe 390:

Kernstück-Nr.:	390C2c
obere Teufe:	1757.20 m
Axiale Deformation:	$e_y = 57 \mu\text{m/m}$
Maximale radiale Hauptdeformation:	$e_1 = 147 \mu\text{m/m}$
Minimale radiale Hauptdeformation:	$e_2 = 29 \mu\text{m/m}$
Relaxationszeit:	$\tau = 16 \text{ h}$
Orientierung von e_1 bezogen auf die F-Referenzlinie:	$\alpha = 93^\circ$

Probe 402:

Kernstück-Nr.:	402J6q
obere Teufe:	1790.50 m
Axiale Deformation:	$e_y = 130 \mu\text{m/m}$
Maximale radiale Hauptdeformation:	$e_1 = 172 \mu\text{m/m}$
Minimale radiale Hauptdeformation:	$e_2 = 47 \mu\text{m/m}$
Relaxationszeit:	$\tau = 24 \text{ h}$
Orientierung von e_1 bezogen auf die F-Referenzlinie:	$\alpha = 72^\circ$

Abb. D.7.3 und Abb. D.7.4 stellen den Zeit-Deformationsverlauf der beiden Messungen dar. Abb. D.7.5 und Abb. D.7.6 sind halblogarithmische Darstellungen der Retardationsprozesse zur Berechnung der Relaxationszeiten. Abb. D.7.7 und Abb. D.7.8 verdeutlichen das Deformationsverhalten der beiden Bohrkern hinsichtlich der Orientierung der maximalen radialen Hauptdeformation (e_1) bezogen auf die Deformations-Referenzlinie (D-Referenzlinie). Bei den Proben 390 und 402 stimmen die D-Referenzlinie und die F-Referenzlinie überein (vgl. WOLTER et al., 1988).

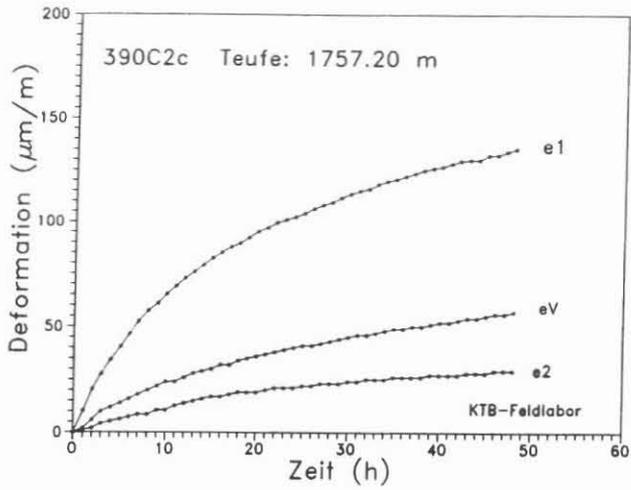


Abb. D.7.3:

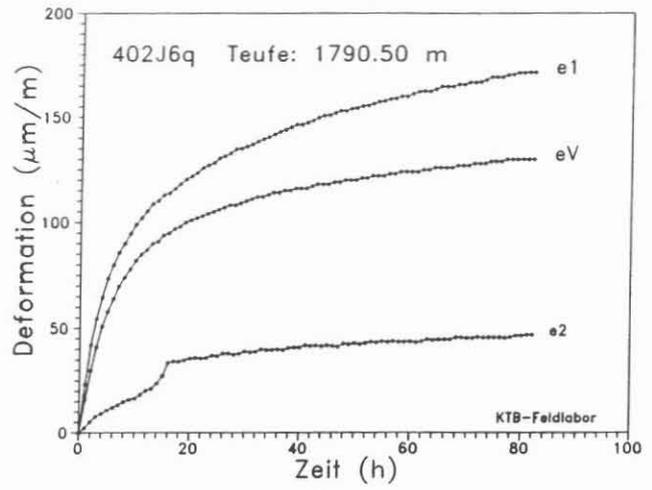


Abb. D.7.4:

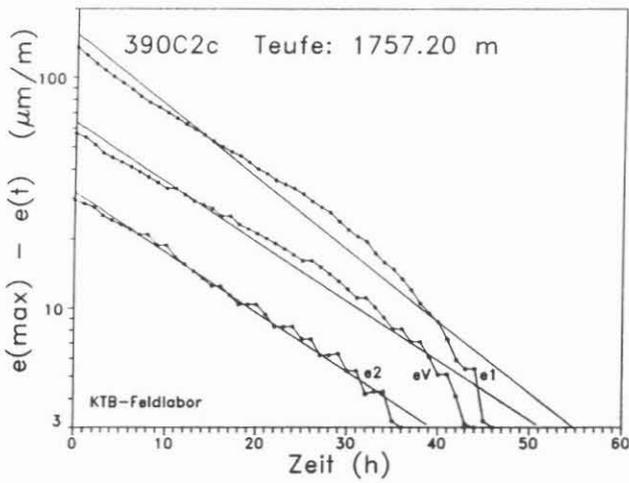


Abb. D.7.5:

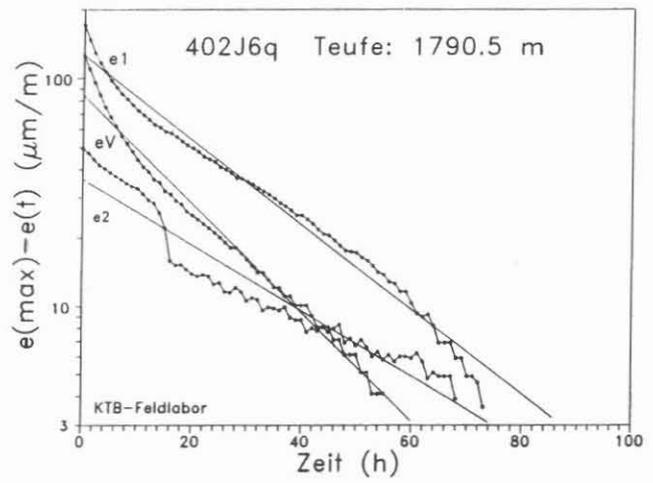


Abb. D.7.6:

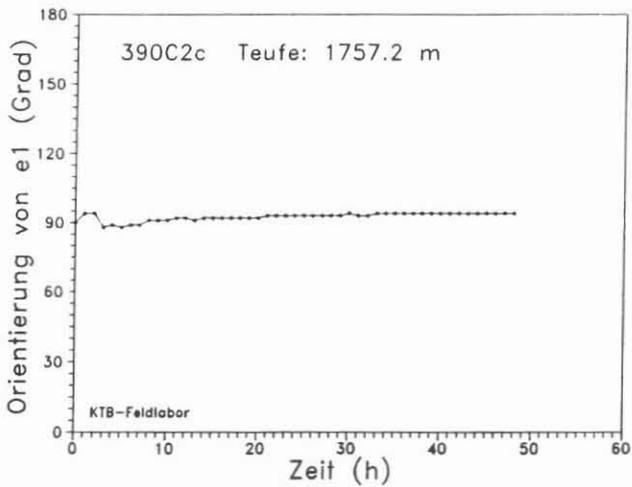


Abb. D.7.7:

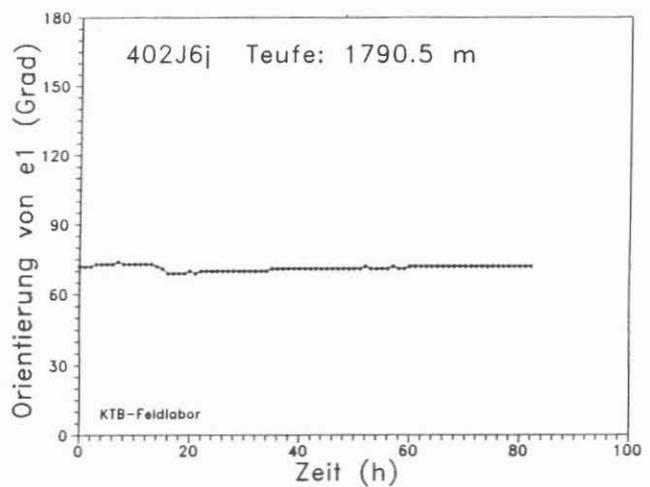


Abb. D.7.8:

D.8 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.- KTB-Report 88-1, : D1-D42, Hannover.
- BÜCKER, Ch., (1987): Die Anomalien der Schwere im Bereich der kontinentalen Tiefbohrlokation (KTB) Oberpfalz und ihre Interpretation. Dissertation, Inst. f. Allg. u. Ang. Geophysik, Fakultät für Geowissenschaften, LMU München.
- PUCHER, R. & G. STETTNER (1985): Die Interpretation der aeromagnetischen Anomalie bei Erbdorf/Oberpfalz in Verbindung mit magnetischen Untersuchungen am Boden.- Bericht, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, Archiv BGR/NLFB Nr. 97918.
- RAUEN, A., E. Lippmann, E. Huenges, Ch. Bücken, J. Wienand & K.E. Wolter (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530 m: D. Geophysik.- KTB-Report 88-6, :D1-D60, Hannover.
- WIENAND, J., K.E. Wolter, A.Rauen, K.-H. Eigner & Ch. Bücken, (1988) : Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich 480-992 m: D. Geophysik. - KTB-Report 88-2: D1 - D59, Hannover.
- WOLTER, K.E., AULBACH, E. & H. BERCKHEMER (1988): Spannungsnachwirkungsuntersuchungen: Messung der Retardation und der akustischen Emission: D. Geophysik.- KTB-Report 88-6, : D47-D60, Hannover.

E. Ergänzende Untersuchungen

KTB Oberpfalz VB -

Nachtrag zum KTB Report 88-2:
Makroskopische Bohrkerndetailaufnahme des
Teufenbereiches 800 - 992 m

J. Kohl



KTB Report	88-9	E 1 - E 11	8 Abb.	Hannover 1988
------------	------	------------	--------	---------------

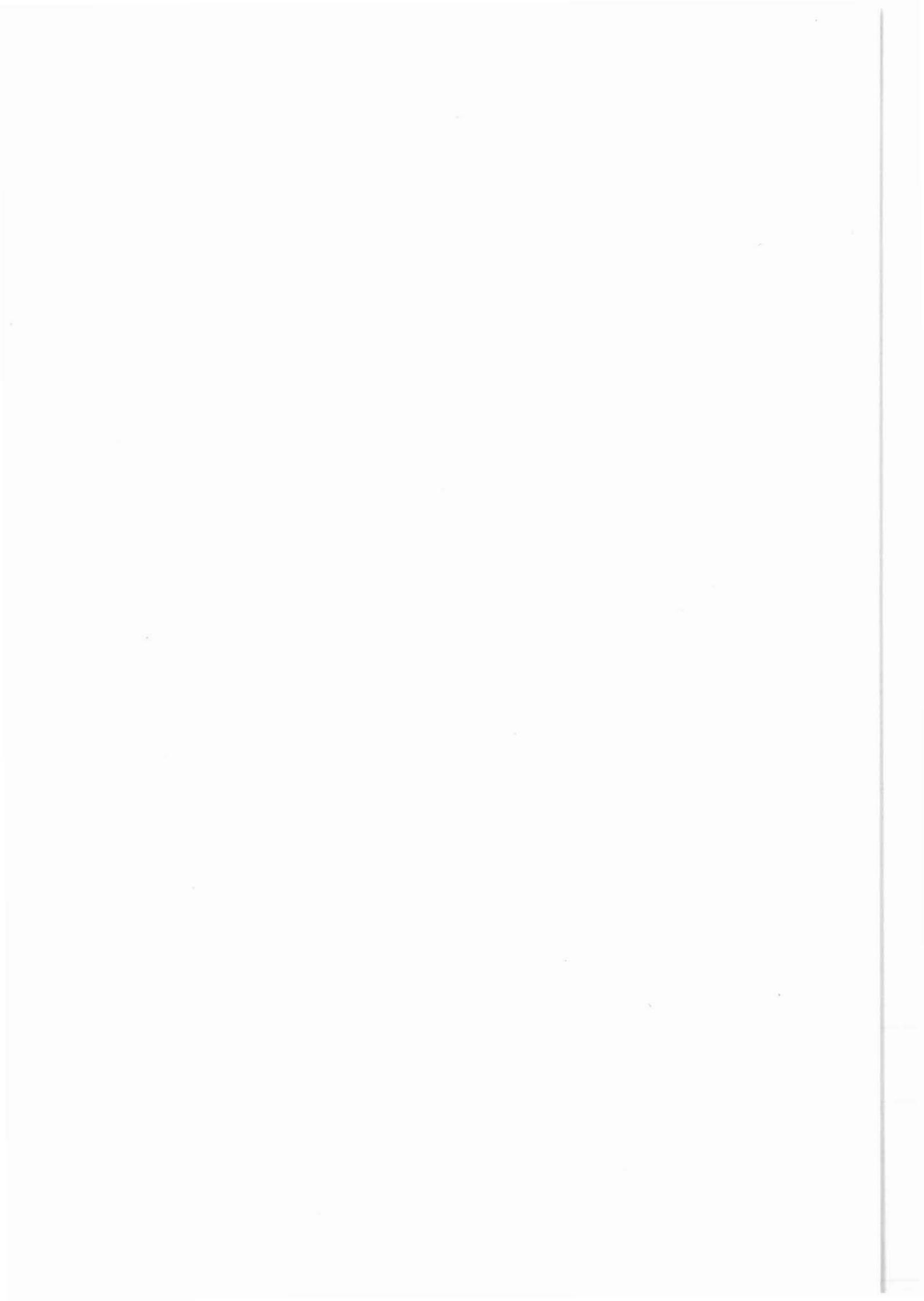
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach):

E: Nachtrag zum KTB Report 88-2: Makroskopische Bohrkern-detailaufnahme des Teufenbereiches 800 m - 992 m

Jürgen Kohl *)

Inhaltsverzeichnis:	Seite
E.1 Einleitung	E 1
E.2 Textur	E 1
E.2.1 Foliation	E 1
E.2.2 Klasten	E 2
E.2.3 Migmatitische Textur	E 3
E.3 Faltenbau	E 4
E.3.1 Reliktfalten	E 4
E.3.2 Geschlossene Biegescherfalten	E 4
E.3.3 Offene Biegefalten	E 4
E.4 Knickzonen	E 6
E.5 Scherflächen und Lineare	E 7
E.5.1 Scherflächen mit duktiler Verformung	E 7
E.5.2 Scherflächen mit geschleppter Foliation	E 7
E.5.3 Kataklastische Scherflächen	E 8
E.6 Klüfte	E 10
E.7 Danksagung	E 10
E.8 Literaturverzeichnis	E 11

*) Anschrift des Verfassers: KTB Feldlabor
8486 Windischeschenbach



E.1 Einleitung

Der nachgearbeitete Abschnitt liegt innerhalb der monotonen, granatführenden Sillimanit-Biotitgneisserie von 527 m - 1160 m.

Die Möglichkeit der kontinuierlichen, detaillierten Gefügeaufnahme einer lithologisch einheitlichen Abfolge am unzerstörten Bohrkern bringt eine gute Übersicht über das tektonische Inventar.

Dieser Nachtrag beinhaltet eine differenzierte, jedoch qualitativ betonte Auflistung dieses Inventars. Da die Rückorientierung im Abschnitt von 900 m bis 992 m bereits erfolgreich durchgeführt wurde, kann die absolute Orientierung einzelner Gefügeelemente bestimmt werden (für noch nicht orientierbare Strukturen wird eine aus dem vorhandenen Datenmaterial abschätzbare Richtung (kein Azimutwert) mit entsprechender Spannweite angegeben). Die absoluten Azimutwerte mit Angaben zur Schwankungsbreite basieren auf noch unveröffentlichten Rückorientierungsdaten von Dr. SCHMITZ, die im KTB-Feldlabor erstellt wurden. Es wurde noch keine statistische Auswertung durchgeführt, so daß die Fallwerte noch nicht um die Bohrlochabweichung von der Vertikalen korrigiert wurden.

Am Bohrkern wurden drei verschiedene Faltengenerationen unterschieden, denen aufgrund ihrer verschiedenen Ausbildung drei Deformationsphasen zuzuordnen sind. D_1 zeigt sich in reliktilen, isoklinalen Faltenstrukturen. Während D_2 wurde die Foliation s_2 angelegt und durch geschlossene bis isoklinale Biegescherfalten verfaltet. D_3 äußert sich in symmetrischen, offenen Biegegleitfalten, die wohl in einem etwas höheren Krustenstockwerk gebildet wurden.

Knickbänder und geschleppte Scherflächen könnten auf eine Deformation D_4 im Grenzbereich zwischen duktiler und spröder Verformung hinweisen.

Die dominierenden tektonischen Elemente des Kernmaterials entstanden durch relativ junge, kataklastische Deformation. Die polyphase Kataklastik ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

E.2 Textur

E.2.1 Foliation

Die Foliation ist das auffälligste Gefügeelement des granatführenden Sillimanit-Biotitgneises. Sie entstand während D_2 . Es lassen sich drei verschiedene Gefügetypen unterscheiden:

(1) flaserig: die mittelkörnigen Quarz- und Feldspatkristalle werden von feinkörnigen Biotitschüppchen flaserig umflossen.

In Übergangsbereichen zu den anders ausgebildeten Gefügedomänen wird die Struktur mitunter feinkörnig. Bereichsweise treten gehäuft Quarz-Feldspat-Mobilisate in Form von Linsen und Knauern auf, die nicht selten mehrere cm mächtig und wurzellos intrafolial oder isoklinal verfaltet sind.

(2) lagig: durch metamorphe Differentiation liegen mittelkörnige, quarz-/feldspatreiche helle sowie biotit-, sillimanit- und granatreiche, bis zu mehrere mm mächtige Bänder vor. Je feinkörniger der Gneis, umso straffer wird der Lagenbau und eine Differentiation ist makroskopisch nicht mehr auflösbar. Der Gneis erscheint homogen und enthält in der Regel mm-große Granat und/oder Feldspatklaster.

(3) mylonitisch: extrem straffer Lagenbau in Verbindung mit sehr langen Druckschatten von Klaster indizieren bereits makroskopisch einen duktil ausgewalzten Lagenbau. Mylonitische Gneiseinheiten werden mehrer dm bis m mächtig. Ein deutlich ausgeprägtes mylonitisches Gefüge kennzeichnet die Kernstrecke von 955 m - 964 m. Darüberhinaus zeigen die Quarze Erholungsgefüge in Form von Deformationsbändern (DS 230B1g).

Der mylonitische Lagenbau tritt auf der zylindrischen Oberfläche der Bohrkerne nicht immer zutage. Erst geeignete, plane Anschnitte offenbaren das ausgewalzte Gefüge. Beispielsweise erscheint die Textur des Kernstückes 240 D 1aa auf der Oberfläche flaserig, im Querschnitt eindeutig mylonitisch.

Das Einfallen der Foliation schwankt zwischen 35° und 70° mit Azimutwerten zwischen 145° und 220° im Teufenbereich zwischen 899.9 m und 946.4 m.

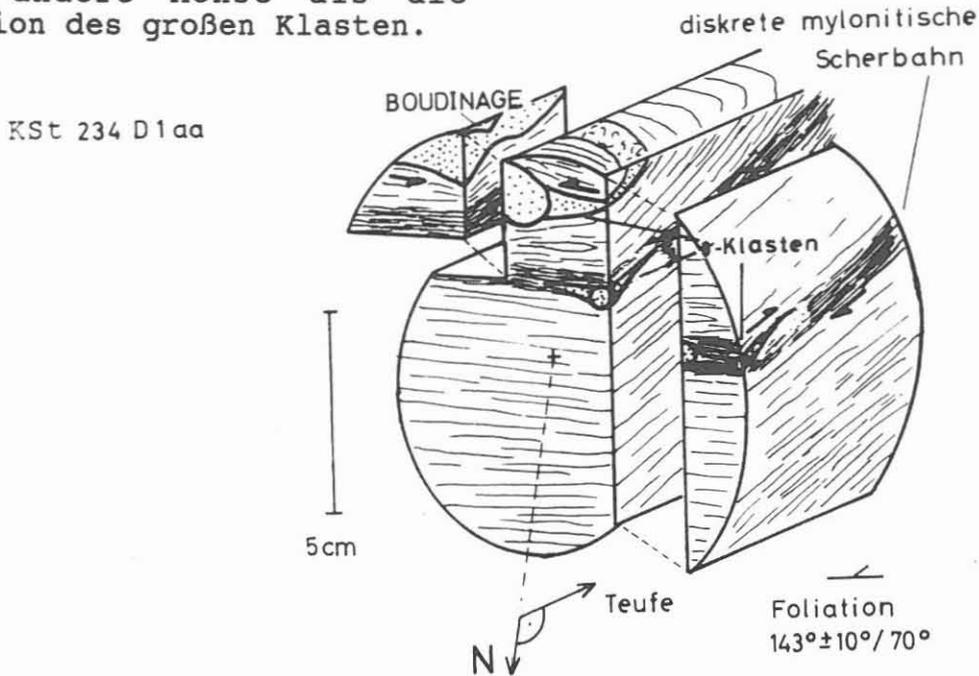
E.2.2 Klaster

Der Gneis weist häufig bis 0,5 cm große Granatklaster und bis 2 cm große Feldspatklaster auf. Von Feldspäten wurden stichprobenartig Dünnschliffe und orientierte Anschnitte angefertigt.

Der Schnitt senkrecht zum Einfallen der Foliation durch ein 1 cm großes Feldspatauge im Kernstück (= Dünnschliffnr.) 212B4e zeigt zwei 3 bzw. 5 mm lange, hypidiomorphe Oligoklaskristalle, leicht serizitisiert und mit der Längsachse in die Foliation eingeregelt. Im Druckschatten findet sich leicht undulierender Quarz, entweder mm groß mit gebuchteten Korngrenzen oder als feinkörniges, polygonales Rekristallisat. Diese ausgeschwänzte Augentextur zeigt auch im Schnitt parallel zum Foliationseinfallen keine Rotation.

Im Kernstück 234D1aa wurden zwei 1,5 bzw. 0,5 cm große Feldspatäugen um verschiedene Achsen leicht rotiert (Abb. E.2.1).

Abb. E.2.1: Die Rotation der Klasten innerhalb der mylonitischen Scherbahn erfolgte um eine andere Achse als die Rotation des großen Klasten.



Der größere Klast ist im Horizontalquerschnitt sinistral rotiert (Blickrichtung in zunehmende Teufe) und in Einfallsrichtung der Foliation boudiniert. Neben diesem Klast durchzieht eine cm-mächtige, foliationsparallele, mylonitische Scherbahn dieses Kernstück. Die in dieser Scherbahn liegenden 0,5 cm großen Klasten besitzen asymmetrisch geformte Druckschatten im Schnitt parallel zum Foliationseinfallen und symmetrische im Schnitt senkrecht dazu. Der Schersinn dieser Bewegungsbahn ist also "abschiebend".

E.2.3 Migmatitische Textur

Im Gegensatz zu den Bereichen mit erhöhtem Mobilisatanteil erfolgt in den migmatitischen Bereichen eine Auflösung der Textur. Die verschiedenen Teilgefüge erscheinen schlierig verteilt. In den migmatitischen Randbereichen treten butzenartige, unregelmäßige Körper aus mafischen Mineralen - vorwiegend Biotit - auf, die als Melanosom anzusprechen sind. Neben diesem texturellen Indiz für partielles Schmelzen (ASHWORTH, 1985) findet sich im Dünnschliff 212B4c mindestens 10% Kalifeldspat, der bisher mikroskopisch kaum beobachtet wurde. Nach ASHWORTH (1985) ist jedoch für K-arme Metapelite auch eine Quarz-Plagioklas-Schmelzentstehung unter Wassersättigung in der höhergradigen Amphibolitfazies möglich.

E.3 Faltenbau

E.3.1 Reliktfalten

Bei 938.5 m sind drei isoklinale Falten durch rötliche bis hellgrüne Ca-reiche Lagen abgebildet. Diese Falten werden von der parallelen, dichtständigen Foliation durchschlagen. Diese Ca-reichen Bändchen (DS 232Alb: Quarz, Epidot/Klinozoisit, Biotit/Chlorit, Granat) wurden während D_1 isoklinal verfalltet. Die Faltenachsebene liegt parallel der überprägenden Foliation s_2 . Die Ca-reichen Lagen könnten im Zuge von D_1 syngenetisch zu einem s_1 verfalltet worden sein und als sedimentäres s_0 angesehen werden.

E.3.2 Geschlossene Biegescherfalten

Die im KTB Report 88-2 beschriebenen kleinmaßstäblichen Falten sind in der Regel in mobilisatreichen Partien ausgebildet. Viele Mobilisatknauern und -linsen sind Scharniere von wurzellosen Intrafolialfalten. Ob dieser Typ z.T. Relikte der D_1 -Faltung darstellt oder während D_2 abgeschert wurde, läßt sich makroskopisch aufgrund des geringen räumlichen Ausschnittes am Bohrkern nicht endgültig entscheiden.

Daneben existiert eine monokline bis isoklinale Fältelung des Lagenbaues im cm-Bereich. Im Teufenbereich von 807.5 m bis 812 m konnten diese Parasitär-falten einem übergeordneten Faltenbau zugeordnet werden. Für die Rekonstruktion eines drei Kernmärsche übergreifenden Faltungspalles lieferten außerdem Hornblende-Biotit-reiche, dunkle Lagen und Veränderungen im Einfallen der Foliation wichtige Indizien (Abb. B.3.2). Ein bei 811 m erbohrter, mehrere dm großer Faltenkern weist Scharnierverdickung und Schenkelausdünnung auf.

Mit Hilfe des Schmidt'schen Netzes wurden B_2 -Achsen konstruiert; diese weisen keine Vorzugsrichtung auf. Es könnte sich hier somit um nichtzylindrische Falten handeln.

E.3.3. Offene Biegefalten

In unregelmäßigen Abständen treten symmetrische, offene Biegefalten auf, teilweise auch als Knickfalten ausgebildet. Im Faltungsstil unterscheidet sich dieser Typ deutlich von den o.g. Biegescherfalten und ist einer jüngeren Deformationsphase D_3 zuzuordnen (Abb. E.3.3).

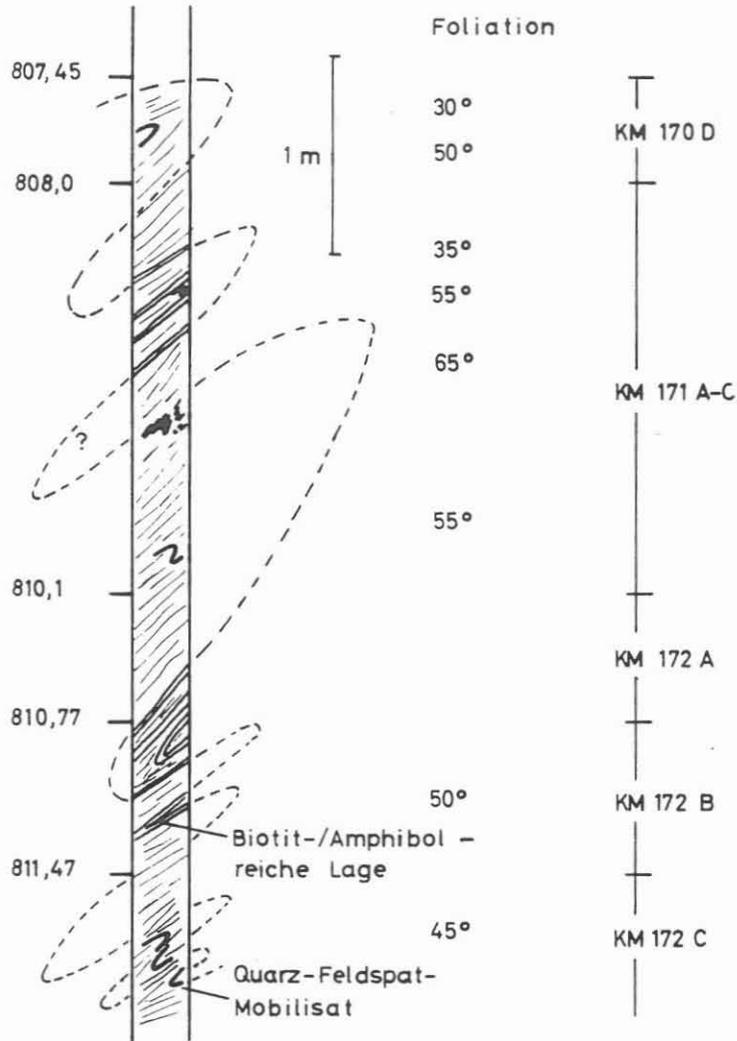
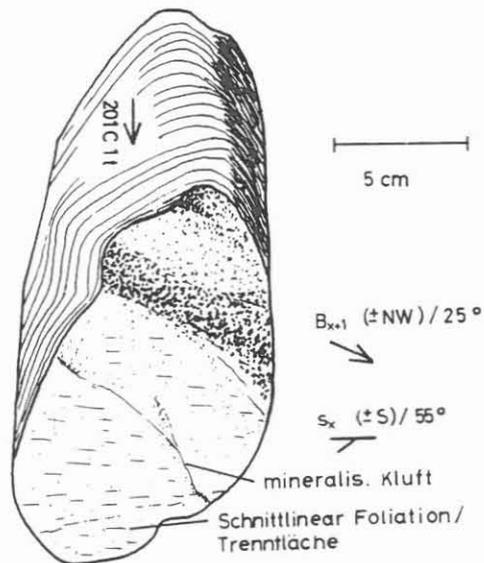


Abb. E.3.2: Rekonstruktion eines kernmarschübergreifenden D₂-Faltenplanes zwischen 807.5 m und 812.0 m Teufe.

Abb. E.3.3: Offene D₃-Biegefalte bei 875.3 m.



Eine in 875.3 m Teufe eingemessene B-Achse taucht mit 25° etwa nach NW ab. In keinem Fall wurden Transversal- oder Bruchschieferung beobachtet.

E.4 Knickzonen

In Abständen von mehreren m treten regelmäßig Knickzonen auf. Eine vorläufige statistische Auswertung über den bereits rückorientierten Bereich brachte keine befriedigende Abgrenzung von verschiedenen Scharen. Die Knickbandflächen fallen durchschnittlich etwa mit 35° von SW über NW bis N ein. Der Bewegungssinn der Knickzonen ist zwischen 800 m und 887 m aufschiebend, zwischen 887 m und 923 m abschiebend und im Teufenbereich von 923 m bis 992 m wechselweise auf- und abschiebend. Die Knickzone in der Teufe von 900 m fällt mit 75° nach NNW ein und stellt eine Schrägabschiebung mit dextraler Scherkomponente dar (Abb. E.4.4).

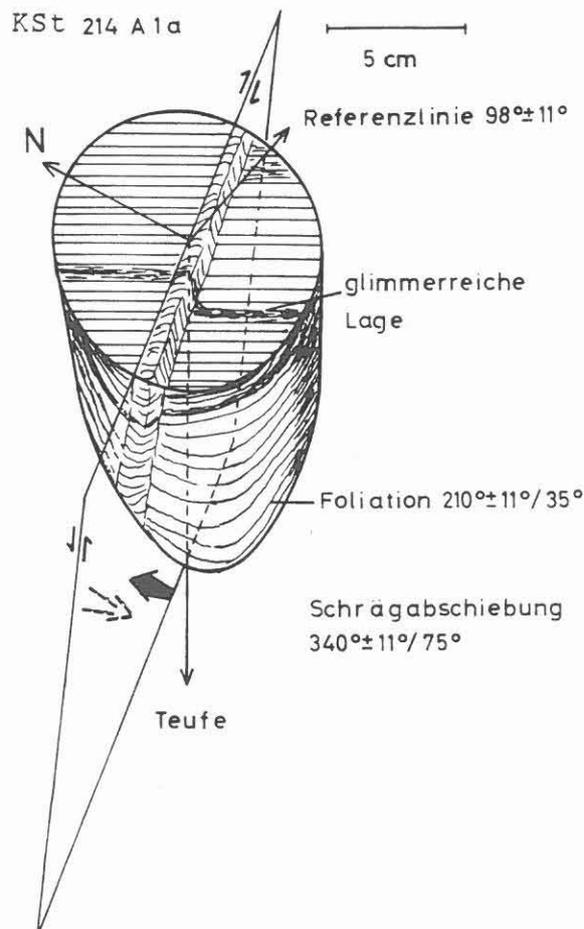


Abb. E.4.4: Schrägabschiebende Knickzone bei 900.0 m.

E.5 Scherflächen und Lineare

E.5.1 Scherflächen mit duktiler Verformung

Neben mylonitischem Lagenbau über mehrere dm - m wurden auch diskrete, cm-mächtige duktile Scherbahnen beobachtet.

In orientierten Dünnschliffen von Kernstück 207C4g beobachtet man in senkrecht aufeinander stehenden Schliffen deutlich ausgebildete Zeilenquarze. An der Grenze dieser Scherbahn zum granoblastischen Gneisgefüge zeichnen Hellglimmer abgescherte Intrafolialfalten nach.

Der von der Foliation verschiedene Schersinn dieser diskreten, duktilen Scherzonen könnte auf ein jüngeres Alter als s_2 hinweisen.

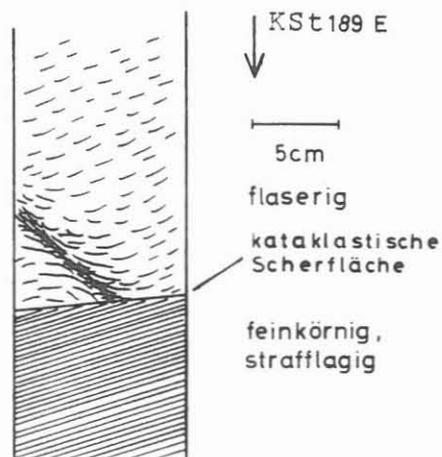
E.5.2 Scherflächen mit geschleppter Foliation

Gelegentlich existieren flach liegende Scherflächen, entlang derer die Foliation geschleppt ist (z.B. bei 835.7 m oder 850.1 m). Diese Scherflächen werden nicht selten von Fiederklüften begleitet (z.B. bei 926.7 m), die z.T. mit Calcit, Laumontit oder Quarz verheilt sind. Nach RAMSAY (1983) sind diese Phänomene typisch für den Grenzbereich zwischen duktiler und kataklastischer Verformung.

Diese Scherflächen lassen sich ebenso wie die Knickzonen noch nicht exakt altersmäßig einordnen.

In 850,1 m Teufe schneidet eine jüngere kataklastische Scherbahn eine geschleppte Scherbahn ab (Abb. E.5.5).

Abb. E.5.5: Eine jüngere, diskordante Scherfläche schneidet eine ältere, geschleppte Scherfläche ab und versetzt verschiedene Gefügedomänen des Gneises nebeneinander (Teufe: 850.1 m).



E.5.3 Kataklastische Scherflächen

Eine Übersicht über die Kataklastik und Harnischflächenmineralisation bis 992 m wurde von H. DE WALL & G. ZULAUF (1988) erstellt.

Diese kataklastischen Scherflächen sind häufig mineralisiert (Graphit, Pyrit, Calcit, Laumontit) und können in drei Typen untergliedert werden:

(1) Diskordante, steil einfallende Aufschiebungen sind selten. Die Ausbildung dieser Flächen ist unregelmäßig, gebogen oder höckerig. Sie sind nicht selten durch mm bis cm mächtige Mineralisationen verheilt. In 906 m Teufe versetzt eine Schar von mineralisierten (Quarz, K-Feldspat, Laumontit) Aufschiebungen ein Quarz-Feldspat-Mobilisatband. Diese Aufschiebungen werden von jüngeren, foliationsparallelen Abschiebungen mit geringen Versatzbeträgen treppenförmig versetzt und schließlich von einer Schar diskordanter, eben ausgebildeter, chloritisierter Scherflächen abgeschnitten (Abb. E.5.6). Bei 981.6 m hingegen versetzt eine gebogene Aufschiebung eine Schar ebener, diskordanter Scherflächen (Abb. E.5.7).

Abb. E.5.6: Eine steil einfallende, mineralisierte Aufschiebungsschar versetzt ein Mobilisatband und wird von foliationsparallelen Abschiebungen zunächst versetzt und dann von einer flachen Scherflächenschar abgeschnitten (Teufe: 906.0 m).

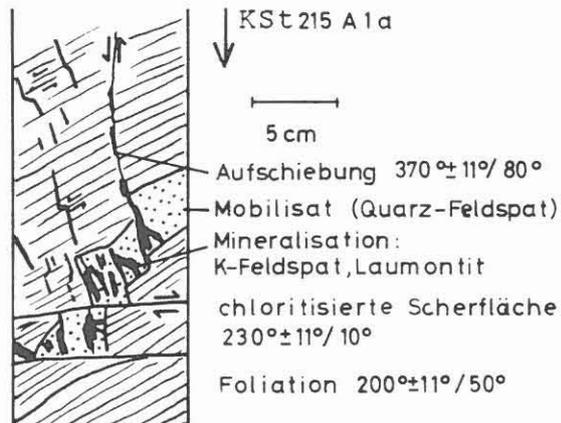
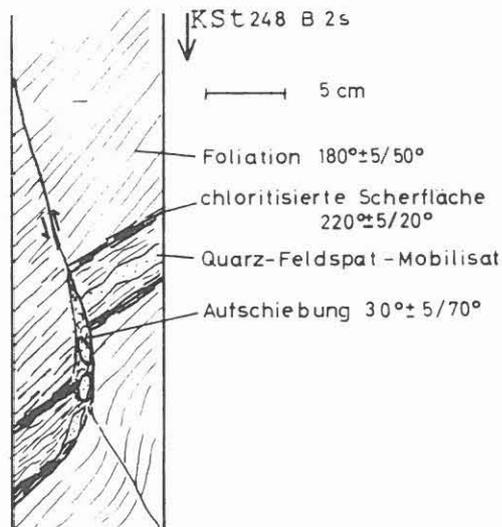


Abb. E.5.7: Eine flache Scherflächenschar wird von einer steilen Aufschiebung versetzt (Teufe: 981.6 m).



(2) Diese ebenen, chloritisierten Scherflächen treten regelmäßig einzeln oder in Scharen mit Abständen im cm bis dm-Bereich auf. Sie liegen überwiegend geschlossen vor und fallen in der Regel flacher als 20° ein. Der Versatzbetrag liegt mindestens im dm-Bereich, wenn völlig verschiedene Gefügetypen nebeneinander zu liegen kommen (Abb. E.5.5). Gelegentlich ist der Sillimanit-Biotitgneis auch zwischen scharenweise auftretenden Scherflächen kataklastisch deformiert. Diese Scherzonen sind in der Regel dm-mächtig.

(3) Die Hauptablösungsflächen stellen foliationsparallele Verschiebungsflächen dar, die den Bohrkern stellenweise in cm-dicke Scheiben, meist aber in dm-lange Stücke zerlegen. Bereichsweise fallen gegenläufig einfallende Trennflächenscharen auf, die möglicherweise mit den Verschiebungsflächen genetisch verknüpft sind (z.B. bei 834.0 m und 847.0 m). In der Teufe von 837.0 m sind beide Flächenscharen als Verschiebungsflächen mit Gleitstreifen ausgebildet (Abb. E.5.8).

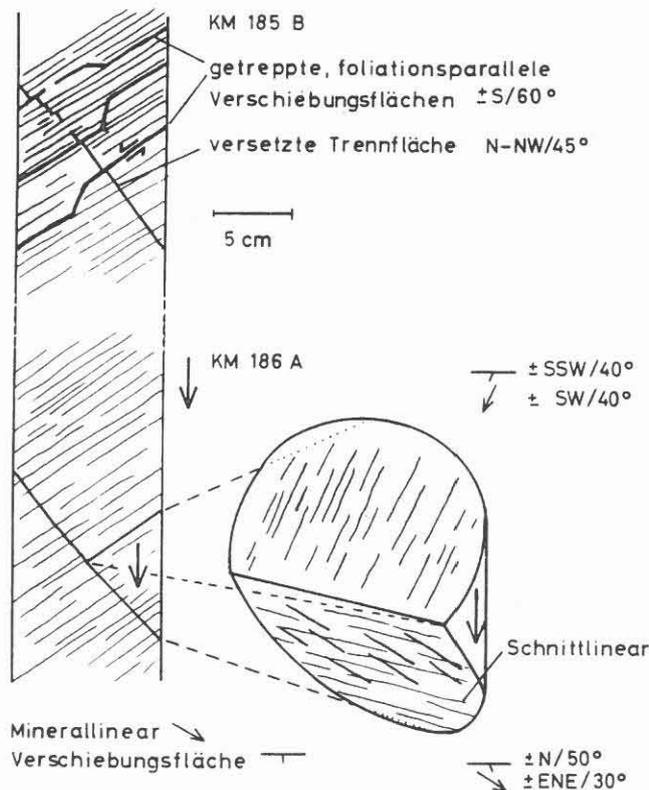


Abb. E.5.8: Konjugierte Verschiebungsflächenscharen mit Harnischlinear (Teufe: 837.0 m).

Dabei könnte es sich um konjugierte Scherflächenscharen handeln (RAMSAY, 1987). Die foliationsparallelen Trennflächen haben fast immer einen sekundären Chloritbelag, der oft ein deutliches Harnischlinear abbildet. Gelegentlich zeigen Abrißkanten einen abschiebenden Bewegungscharakter an. Die Bewegungsrichtung weicht in der Regel maximal 20° vom Einfallen der Verschiebungsflächen ab. In der Teufe zwischen 928.6 m und 955.0 m wurden einige Gleitstreifen beobachtet, die bis 60° vom Einfallen der zugehörigen Fläche abweichen. Dies könnte auf eine deutliche teufenabhängige Blattverschiebungskomponente hinweisen.

Bereichsweise sind diese Verschiebungsflächen graphitbelegt und als Spiegelharnische ausgebildet. Sie sind in der Regel meist eben, gelegentlich auch gebogen, seltener gewellt oder höckerig.

E.6 Klüfte

Neben dem beschriebenen tektonischen Inventar gibt es verschiedene Trennflächen, die nur teilweise mineralisiert bzw. verheilt sind und keine Bewegungsspuren aufweisen. Diese sind als Klüfte anzusprechen. Aussagen über Kluftsysteme bzw. richtungs- oder generationsabhängige Mineralisationen etc. sind derzeit noch nicht möglich.

E.7 Danksagung

Bei Herrn Dr. E. STEIN (Technische Hochschule Darmstadt) und Herrn Dipl.-Ing., Dipl. Geol. G. ZULAUF (Universität Frankfurt) möchte ich mich für die freundliche Kritik und die anregenden Diskussionen herzlich bedanken.

E.8 Literaturverzeichnis

- ASHWORTH, J.R. (1985): Migmatites.- Blackie & Son Ltd., London.
- HOBBS, B.E., MEANS, W.D., WILLIAMS, P.F. (1976): An Outline of Structural Geology.- Wiley & Sons; New York.
- GRAUP, G., HACKER, W., KEYSSNER, S., MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C. & UHLIG, S. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Forschungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 480 bis 992 m: B. Geologie.- KTB-Report 88-2: B 1 - B 60.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, I.M. (1983): The Techniques of Modern Structural Geology, Vol. 1 Strain Analysis.- Academic Press, Inc., London.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, I.M. (1987): The Techniques of Modern Structural Geology, Vol. 2 Folds & Fractures.- Academic Press, Inc., London.
- STEIN, E. (1987): Die strukturegeologische Entwicklung im Übergangsbereich Saxothuringikum/Moldanubikum in NE-Bayern.- Dissertation, Göttingen. Zugleich erschienen in: Geologica Bavarica 92; München 1988.
- DE WALL, H. & ZULAUF, G. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, E.: Ergänzende Untersuchungen. Die bruchhaften Verformungsgefüge im Teufenbereich 0 - 992 m.- KTB-Report 88-2: E 1 - E 19.

