

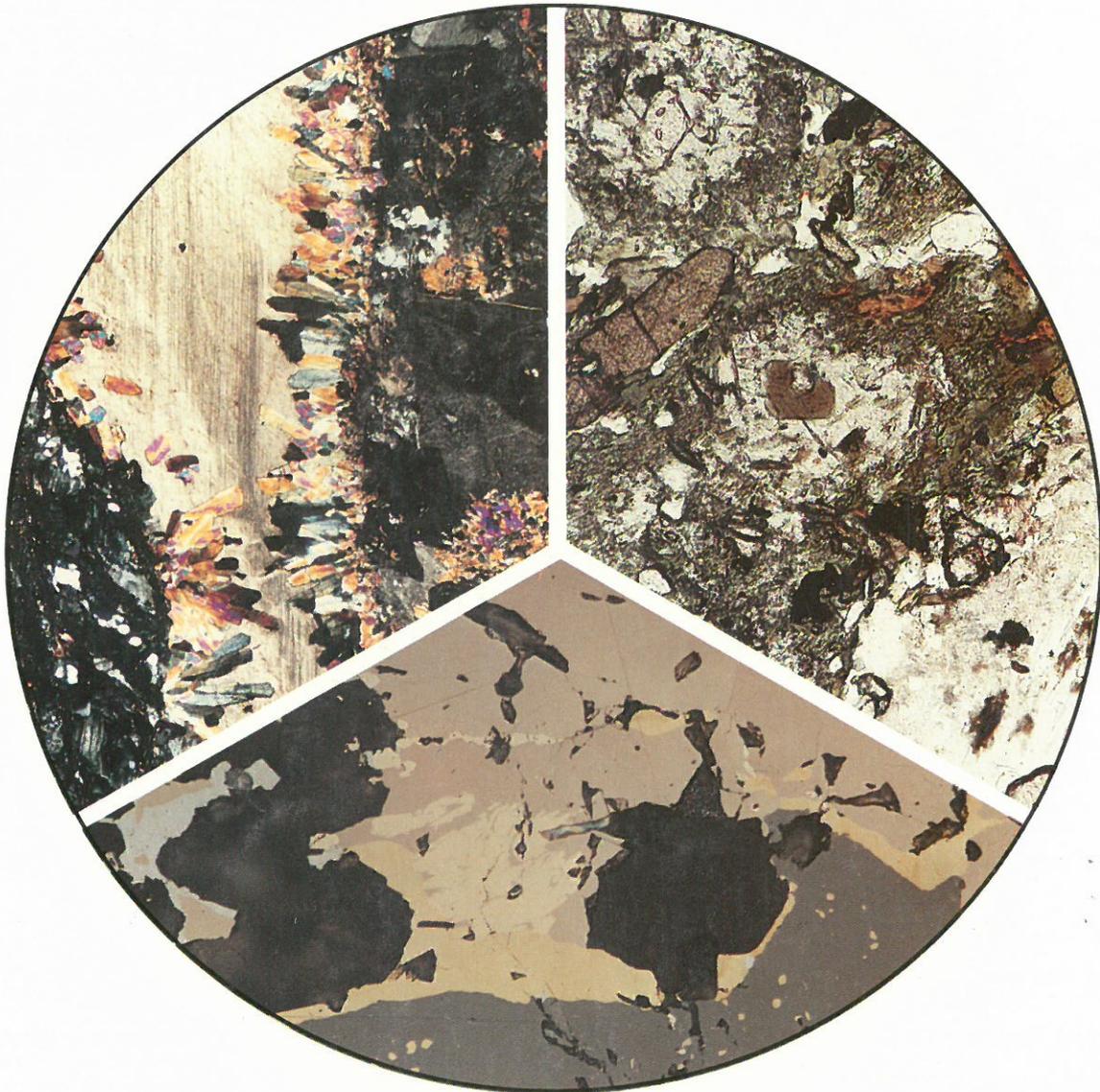
KTB REPORT 89-4

Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB

Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung
im KTB-Feldlabor

Bericht 6

Teufenbereich von 2500–3009,7 m



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

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

KTB REPORT 89-4

Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB

Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung
im KTB-Feldlabor

Bericht 6

Teufenbereich von 2500–3009,7 m

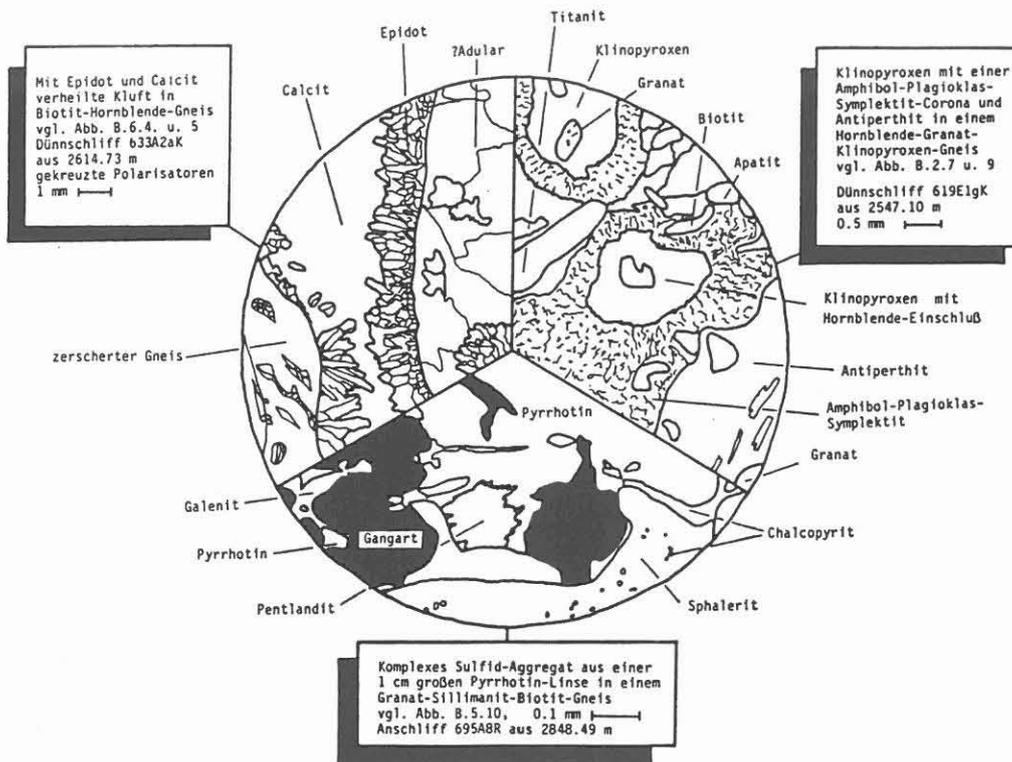
Herausgegeben von der
Projektleitung Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland
im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung

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

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

Druck: Wittmann & Wäsch, 3007 Gehrden

Titelbild: Mikrofotos von Gesteinen der Bohrung KTB VB



Die diesem Bericht zugrundeliegenden Vorhaben wurden 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 1989 -

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 01 53, D-3000 Hannover 51. Telefon: (05 11) 6 43-26 70

VORWORT

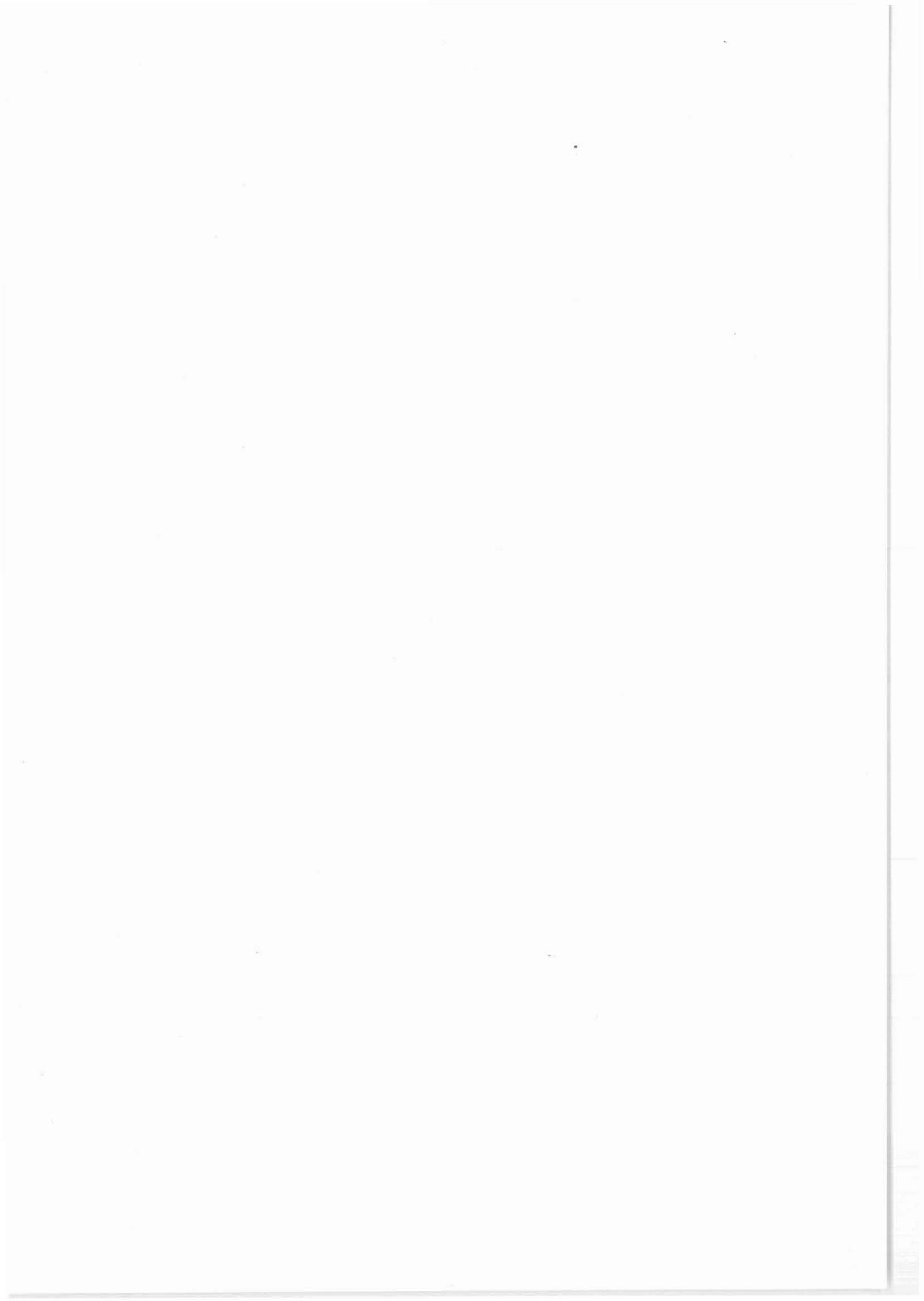
Das Feldlabor ist konzipiert als eine Gemeinschaftseinrichtung aller am KTB beteiligten Wissenschaftler und Wissenschaftlergruppen. Es soll sicherstellen, daß kontinuierliche Untersuchungen an Kernmaterial, Zentrifugenmaterial, Bohrspülung und Gesteinsfluiden durchgeführt und dabei alle Größen und Eigenschaften 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 fünf Berichte mit Ergebnissen aus dem Feldlabor veröffentlicht:

KTB-Report 88-1	Teufenbereich	0 - 480 m	VB 1
KTB-Report 88-2	Teufenbereich	480 - 992 m	VB 1
KTB-Report 88-6	Teufenbereich	992 - 1530 m	VB 1
KTB-Report 88-9	Teufenbereich	1530 - 1998 m	VB 1
KTB-Report 89-2	Teufenbereich	1709 - 2500 m	VB 1a

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. Wöhrl 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, Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung der Justus-Liebig-Universität Gießen; Prof. Dr. H. Berckhemer, Institut für Meteorologie und Geophysik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt; Prof. Dr. G. Friedrich, Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen; Prof. Dr. K. von Gehlen, Institut für Geochemie, Petrologie und Lagerstättenkunde der Universität Frankfurt; Prof. Dr. Ing. O. Natau, Institut für Boden- und Felsmechanik der Universität Karlsruhe; Prof. Dr. H. Soffel, Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München; Prof. Dr. B. Stöckhert, Institut für Geologie der Ruhr-Universität Bochum; Prof. Dr. K. Weber, Institut für Geologie und Dynamik der Lithosphäre der Universität Göttingen und Prof. Dr. K. H. Wedepohl, Geochemisches Institut der Universität Göttingen.



Tiefbohrung KTB OBERPFALZ VB
 Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung
 im KTB-Feldlabor
 Bericht 6

Teufenbereich von 2500 - 3009.7 m

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
Zusammenfassung	V
A. Einleitung	A 1
A.1 Allgemeines	A 1
A.2 Bohrtechnik	A 1
A.3 Probennahme	A 6
A.4 Sonstiges	A 8
B. Geologie	
Zusammenfassung	B 2
Abstract	B 3
B.1 Übersicht	B 5
B.2 Abschnitt 2500 - 2585.5 m	B 8
B.2.1 Biotit-Hornblende-Gneise und Amphibolite	B 8
B.2.2 Kalksilikatlagen	B 18
B.2.3 Chlorit-Hornblende-Schiefer	B 18
B.2.4 Leukokrate, kalifeldspatreiche Lagen	B 18
B.2.5 Sillimanit-Biotit-Gneis-Lagen	B 21
B.2.6 Chemische Zusammensetzung der Biotit-Hornblende-Gneise und Amphibolite, Diskussion	B 23
B.3 Abschnitt 2585.5 - 3009.7 m	B 30
B.3.1 Sillimanit-Biotit-Gneise	B 30
B.3.2 Biotit-Hornblende-Gneise	B 38
B.3.3 Amphibolite	B 38
B.4 Gänge	B 43
B.4.1 Lamprophyre	B 43
B.4.2 Adular-Quarz-Epidot-Gänge	B 47
B.4.3 Pegmatoid	B 47

II

B.5	Erzmineralisation	B 50
B.5.1	Sulfidische Erzminerale	B 53
B.5.2	Oxidische Erzminerale	B 60
B.5.3	Graphit	B 60
B.6	Kataklase und Kluftmineralisation	B 68
B.7	Deformationspfad	B 72
B.8	Core-Disking	B 76
B.9	Literaturverzeichnis	B 77
B.10	Danksagung	B 78
B.11	Anhang	B 78
	Geologisches Profil	
C.	Geochemie	
	Zusammenfassung	C 2
	Abstract	C 3
C.1	Einleitung	C 4
C.2	Probenahme und Probenaufbereitung	C 4
C.3	RFA- RDA- Analytik	C 5
C.3.1	Allgemeines	C 5
C.3.2	Ergebnisse von Bohrmehlproben	C 5
C.3.3	Kluft- und Harnischmineralisation	C 12
C.3.4	Bestimmung der Gesteinsdichte mit RDA	C 12
C.4	Spülungsanalytik	C 15
C.4.1	Allgemeines	C 15
C.4.2	Ergebnisse und Diskussion	C 15
C.5	Gasanalytik	C 17
C.5.1	Allgemeines	C 17
C.5.2	Ergebnisse	C 17
C.5.3	Fluidprobennehmer	C 24
C.6	Schriftenverzeichnis	C 26
C.7	Danksagung	C 27
C.8	Anhang	C 28
	Tiefenlogs aller Ergebnisse (1:2000)	
	Zusammenstellung sämtlicher Spülungseinleitungen	

III

D.	Geophysik	
D.1	Dichte	D 2
D.2	Ultraschallseismik	D 5
D.3	Wärmeleitfähigkeit	D 10
D.4	Natürliche remanente Magnetisierung (NRM)	D 13
D.5	Suszeptibilität	D 16
D.6	Elektrische Leitfähigkeit	D 20
D.7	Relaxation	D 24
D.8	Porosität	D 30
D.9	Permeabilität	D 32
D.10	Innere Oberfläche	D 35
D.11	Literatur	D 38

Ergänzende Untersuchungen

E.	Bruchtektonik im Teufenbereich 1530 bis 2500 m	
E.1	Einleitung	E 2
E.2	Ergebnisse der Untersuchungen	E 2
E.2.1	Vorläufige Statistik über die Kinematik und Raumlage der spröden Verschiebungs- flächen	E 2
E.2.2	Mineralisation auf den Verschiebungs- flächen	E 5
E.2.3	Altersabfolge der bruchhaften Gefüge	E 11
E.3	Schlußfolgerung	E 18
E.4	Schriftenverzeichnis	E 20
E.5	Danksagung	E 21

IV

F.	Ermittlung der Dispersion von Feststoff im Spülungsstrom	
F.1	Einleitung und Zielsetzung	F 2
F.2	Versuchsdurchführung	F 4
F.3	Ergebnisse	F 6
F.4	Diskussion	F 8
F.5	Weiteres Vorgehen	F 9
F.6	Literaturverzeichnis	F 10
G.	Makroskopische Beschreibung der Seitenkerne aus dem Teufenbereich 0 - 4000 m	
G.1	Einleitung	G 1
G.2	Kernzustand	G 2
G.3	Orientierung der Seitenkerne	G 2

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser 6. Arbeitsbericht stellt die vorläufigen Ergebnisse der Bearbeitung des Bohrungsabschnitts 2500.0 bis 3009.7 m im KTB-Feldlabor vor. In Nachträgen werden die Messungen der Permeabilität von Proben aus dem Teufenbereich 1970 - 2430 m, der inneren Oberfläche im Teufenbereich 95 bis 1300 m sowie die detaillierte Untersuchung der Bruchtektonik im Teufenbereich 1530 bis 2500 m dargestellt. Weiterhin wurde eine Untersuchung über die Dispersion von Feststoffen in der Bohrspülung mit einem Cristobalit-Tracer durchgeführt.

Teufenabschnitt 2500.0 bis 3009.7 m

Es wurden in diesem Bohrabschnitt vier Kerne orientiert gebohrt. Während der Richtbohrstrecke von 2635 bis 2687 m konnten keine Kerne gewonnen werden. Von den aus dem gesamten Teufenbereich erbohrten 17 Seitenkernen stammen 14 aus dieser Richtbohrstrecke und ermöglichen eine punktuelle Kontrolle der lithologischen Ansprache des Bohrkleins.

Es wurde ein sedimentär angelegter Lagenbau aus Biotit-Hornblende-Gneisen, Sillimanit-Biotit-Gneisen, Amphiboliten und Kalksilikatlagen durchteuft. Der Einfallwinkel der Foliation nimmt mit zunehmender Teufe von etwa 60° auf 40° ab. Die Assoziation ähnelt der Gneis-Amphibolit-Wechselfolge zwischen 0 und 460 m; allerdings sind die dort angetroffenen Metabasite deutlich basischer. Bruchhafte Deformationen sind seltener als oberhalb von 2500 m. Die Messungen von p- und s-Wellengeschwindigkeiten weisen auf erhöhte Mikroriß-Häufigkeit im Bereich 2687 bis 2870 m hin. In eher massig ausgebildeten Biotit-Hornblende-Gneisen wurde vereinzelt 'core discing' beobachtet.

Oberhalb 2585.5 m dominieren Biotit-Hornblende-Gneise, die möglicherweise auf ein pyroklastisches Edukt zurückgeführt werden können. Ihr Gefüge ist postmetablastisch deformiert unter Ausbildung eines Streckungslinears und Rekristallisation von Hornblende und Plagioklas.

Unterhalb von 2885.5 m überwiegen Sillimanit-Biotit-Gneise mit lagig-flaserigem, selten auch strafflagigem (HT-mylonitischem) Gefüge. Einschlüsse von Kyanit, Granat, Hellglimmer und Sillimanit in Plagioklasen werden als Relikte einer älteren Paragenese interpretiert. Interngefüge im Granat deuten eine ältere Foliation an. Die Gneise werden von einigen lamprophyrischen Gängen durchschlagen.

Oxidische und sulfidische Erzmineralphasen zeigen weder Lithologie- noch Teufenabhängigkeit. Harnisch- und Kluftmineralisation entspricht den aus geringeren Teufen bekannten Paragenesen.

Das anhand von RFA- und RDA-Analysen von Zentrifugenmehl konstruierte lithostratigraphische Profil stimmt mit dem Kernbefund gut überein. Zuflüsse salinärer Oberflächen- oder Formationswässer aus dem Gebirge konnten in der Bohrspülung nicht nachgewiesen werden. Durch eine Modifizierung der Gasanalytik ist eine Unterscheidung zwischen Fremdluft und aus der Spülung stammenden Gasen möglich. Es wurden nur wenige lithologiebedingte Schwankungen der Gasgehalte (z.B. in graphitführenden Störungszonen) registriert.

Geringmächtige Sillimanit-Biotit-Gneis-Einschaltungen in den Biotit-Hornblende-Gneisen verursachen im oberen Teil der Abfolge eine starke Streuung der meisten geophysikalischen Meßdaten am Kern. Die Dichte beträgt hier im Mittel $2.82 \pm 0.08 \text{ g/cm}^3$, während sie im unteren Teufenbereich bei $2.74 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ liegt. Die v_p -Geschwindigkeiten variieren dagegen weitgehend unabhängig von der Lithologie mit v_p/v_s zwischen 1.7 und 1.96. In den Biotit-Hornblende-Gneisen ist die Wärmeleitfähigkeit infolge geringerer Quarzgehalte deutlich niedriger als in den Sillimanit-Biotit-Gneisen, in denen sie parallel zur Foliation bei durchschnittlich 3.4 W/mK und senkrecht dazu bei 2.7 W/mK liegt. Die berechnete Wärmeleitfähigkeit parallel zur Bohrkernachse nimmt mit zunehmender Teufe ab. Da gleichzeitig der Einfallwinkel der Foliation verflacht, kann dies vermutlich durch die starke Anisotropie der Wärmeleitfähigkeit in straff foliierten Gneisen erklärt werden. In den Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten ist die natürliche remanente Magnetisierung mit bis zu 5000 mA/m wesentlich höher als in den Sillimanit-Biotit-Gneisen, in denen vor allem die strafflagig-mylonitischen Lagen durch besonders niedrige Werte auffallen. Die magnetische Suszeptibilität verhält sich ähnlich. Träger der Magnetisierung ist fast ausschließlich Pyrrhotin. Auch die elektrische Leitfähigkeit weist im oberen Teufenbereich stark schwankende, hohe Werte mit einem logarithmischen Mittelwert von $8550 \Omega\text{m}$, im unteren von nur $5010 \Omega\text{m}$ auf. Die Relaxationszeiten der retardierten Entspannungsdeformation liegen, weitgehend lithologieunabhängig, zwischen 11 und 33 Stunden, wobei die Deformationsbeträge mit 11 bis $133 \mu\text{m/m}$ deutlich hinter denen aus dem Teufenbereich oberhalb 2500 m zurückbleiben. Die mittlere Porosität wurde an Minikernen mit $0.7 \pm 0.2 \%$, an den Seitenkernen dagegen mit $1.1 \pm 0.4 \%$ bestimmt. Die Ursache für diese höheren Porositäten ist bisher noch unklar.

Nachträge

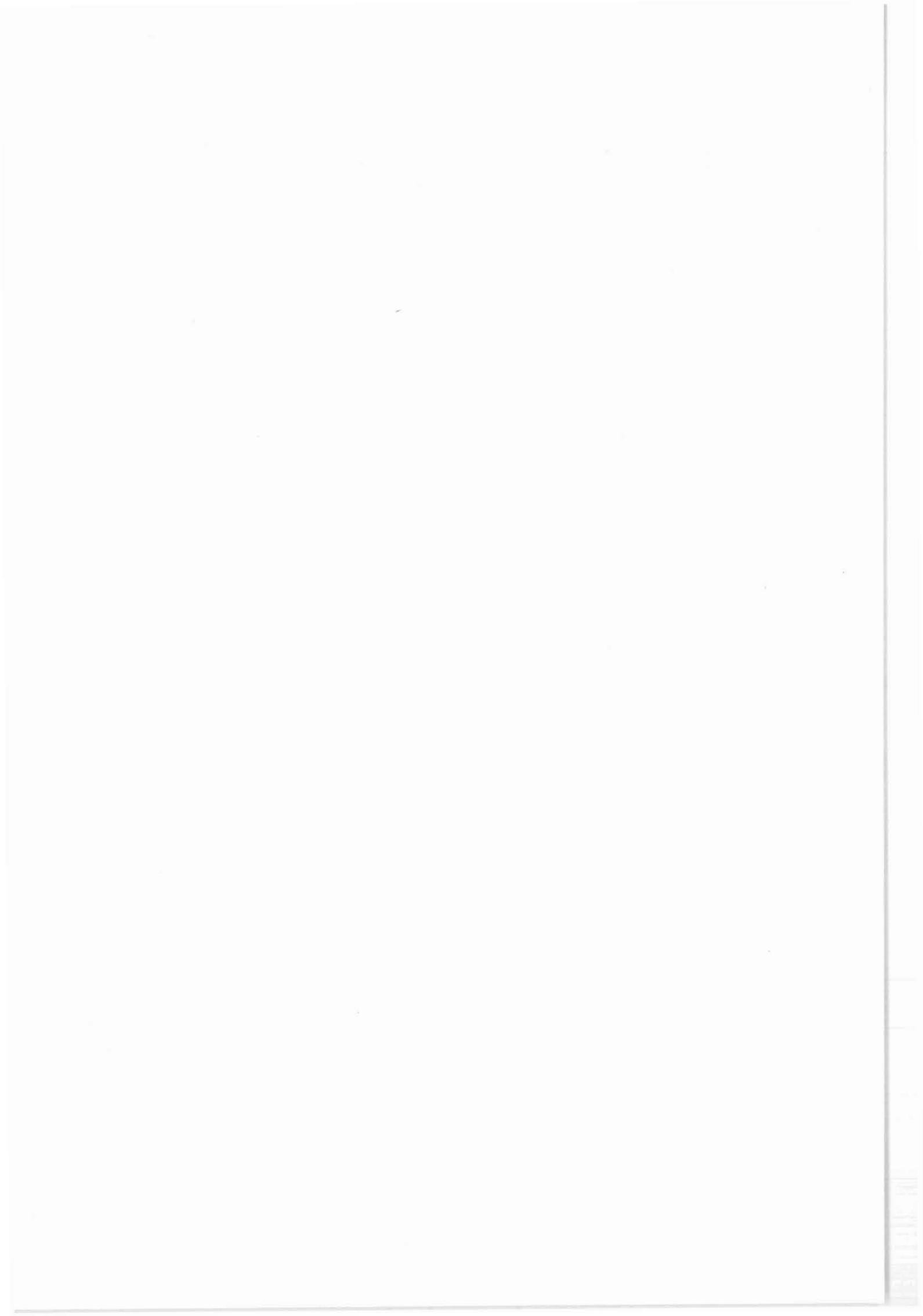
Die Auswertung von Permeabilitätsmessungen an Proben aus dem Teufenbereich 1970 - 2430 m (durchgeführt am Mineralogischen Institut Bonn) ergab über mehr als 4 Größenordnungen ($4 - 50000 \text{ nd}$) schwankende, stark vom Druck abhängige Permeabilitäten. Bei einer Probe wurde parallel zur Foliation eine deutlich höhere Permeabilität als senkrecht dazu gemessen.

Messungen der inneren Oberfläche an Minikernen aus dem Teufenbereich 95 - 1300 m ergaben stark streuende Werte ohne erkennbare Lithologieabhängigkeit, im Mittel 0.073 ± 0.058 m^2/g .

Die bruchhaften Deformationen im Teufenbereich 1530 - 2500 m lassen sich in das bereits aus geringeren Teufen beschriebene Zeitschema einordnen. Auf spätvariszische, graphitführende Aufschiebungen folgen postvariszische Aufschiebungen, Horizontalverschiebungen und Abschiebungen. Eine mit zunehmender Teufe zu beobachtende Diskretisierung von Scherzonen, Kornverkleinerung der Porphyroklasten und Abnahme der Häufigkeit von Abschiebungen wird auf den ansteigenden Umschließungsdruck zurückgeführt.

Eine erste Untersuchung über die Dispersion von Feststoffen in der aufsteigenden Spülung belegt, daß ein neuer lithologischer Horizont durch den Ersteinsatz eines neuen Minerals im Bereich von ca. 10 cm eingegrenzt werden kann. Andererseits wird eine Verschleppung von 1 - 2 m bei Verlassen eines solchen Horizontes beobachtet. Als Ursache dieses Effekts wird eine überirdische Verzögerung bis zur Probennahme vermutet.

Von den Seitenkernen, die bisher aus verschiedenen Teufen erbohrt wurden, liegt eine vorläufige makroskopische Beschreibung vor. Detaillierte Untersuchungen sind im Gang.



A. Einleitung



A. Einleitung

A.1 Allgemeines

In diesem KTB-Report werden die Ergebnisse der Untersuchungen im KTB-Feldlabor für den Teufenbereich von 2500.0 - 3009.7 m der Vorbohrung KTB OBERPFALZ VB dargestellt, der vom 02.07.88 bis 05.09.88 erbohrt worden ist. Dieser zweite Berichtsabschnitt der Ablenkbohrung VB 1a, die bei 1709.0 m beginnt, schließt ab mit einem 11-tägigen Bohrlochmeßprogramm (Abb. A.1.1).

Ergänzt werden die Darstellungen des Feldlabors durch einen Bericht von G. Zulauf über Kataklyse- und Kluftmineralisation im Teufenbereich von 1530.0 - 2500.0 m.

Die zum 6. Bericht des Feldlabors gehörende Zusammenstellung geologisch relevanter Daten (Blätter 13 und 14) finden sich am Ende des Reports.

Aus dem allgemeinen Betrieb des Feldlabors ist u. a. zu berichten, daß seit Aufnahme der Arbeiten im Feldlabor im Februar 1988 bis zum Meßprogramm nach Erreichen der 3009.7 m im September 1988 der Arbeitsbereich "Probenpräparation" weitgehend unabhängig wurde von externer Unterstützung. In dem genannten Zeitraum wurden neben zahlreichen Sägearbeiten am Kernmaterial ca. 1000 Minikerne (Plugs) aus den Bohrkernen gebohrt sowie 500 Dünn- und 75 Anschliffe aus Bohrkern- und Bohrkleinproben angefertigt (Abb. A.1.2 bis A.1.5).

Ergebnisse von Flüssigkeitseinschlußuntersuchungen aus diesem Berichtsabschnitt wurden von K. D. Homann bereits im vorangegangenen 5. Bericht vorgestellt (KTB-Report 89-2, Abschnitt G).

A.2 Bohrtechnik

Im Teufenbereich zwischen 2500.0 m und 3009.7 m wurden die Strecken von 2500.0 - 2635.0 und 2687.0 bis 3009.7 m im Seilkernverfahren erbohrt.

Im Bereich zwischen 2635.0 und 2687.0 m fand die dritte Richtbohrphase zum Neigungsabbau des Bohrloches statt, nachdem in 2635.0 m Tiefe eine Neigung von 3.18° erreicht worden war. Im Rahmen dieser Richtbohrarbeiten wurde die Neigung bis auf 0.55° in Teufe 2680.0 m reduziert und trotz eines leichten Neigungsaufbaus bis 0.83° auf den folgenden 7 m bei 2687.0 m beendet. Diese dritte Richtbohrphase dauerte vom 09. - 16.07.88.

Das gesamte Bohrloch ist auch weiterhin, wie vorgesehen, nur im Teufenabschnitt zwischen 0 und 479.5 m verrohrt (Abb. A.2.1).

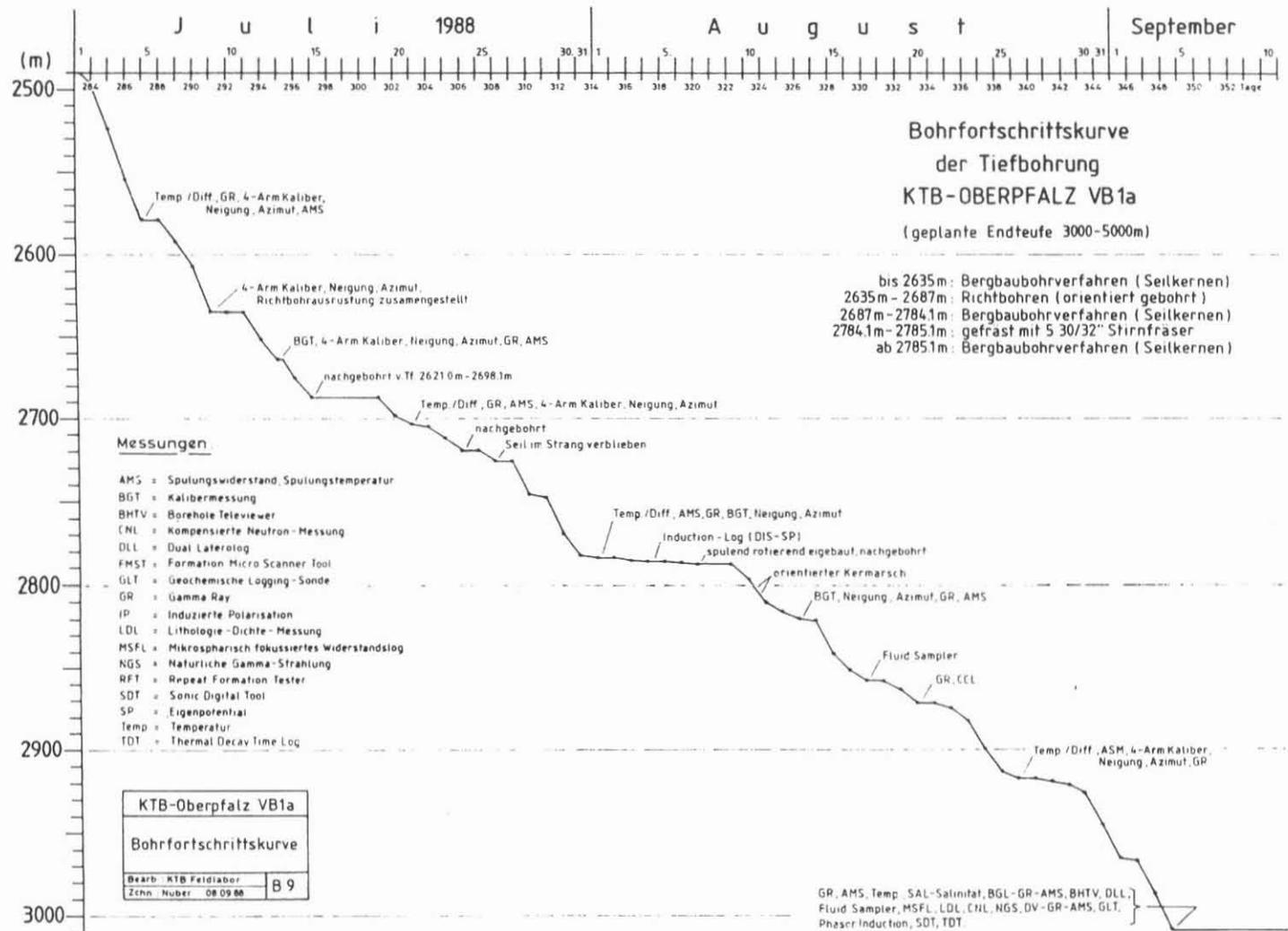


Abb. A.1.1: Bohrfortschrittskurve der Bohrung KTB Oberpfalz VB von 2500 - 3000 m (2. Abschnitt der Bohrung VB 1a)

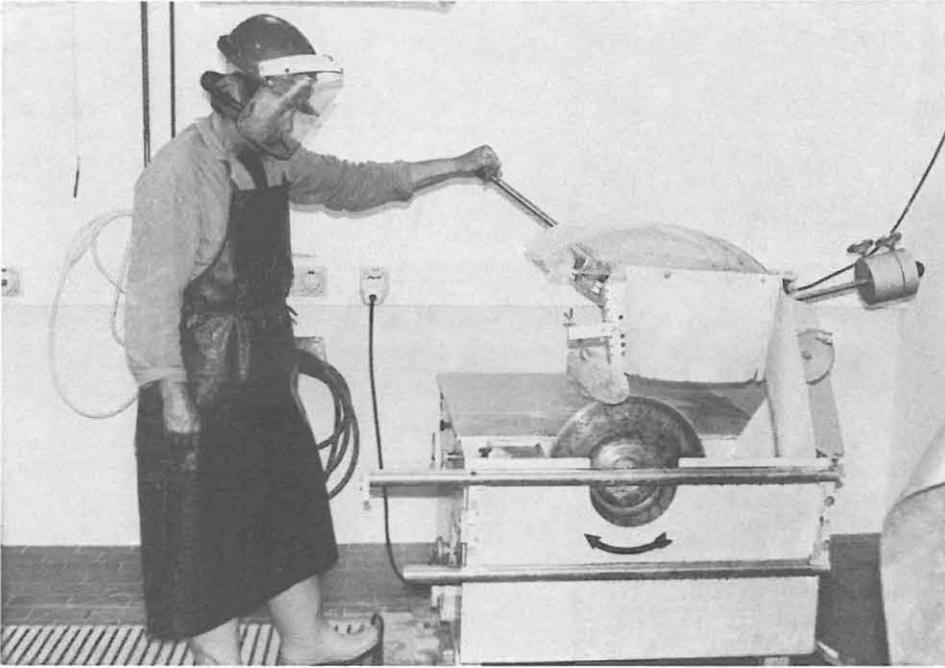


Abb. A.1.2: Sägen von Bohrkernmaterial



Abb. A.1.3: Bohren von Mini-
kernen

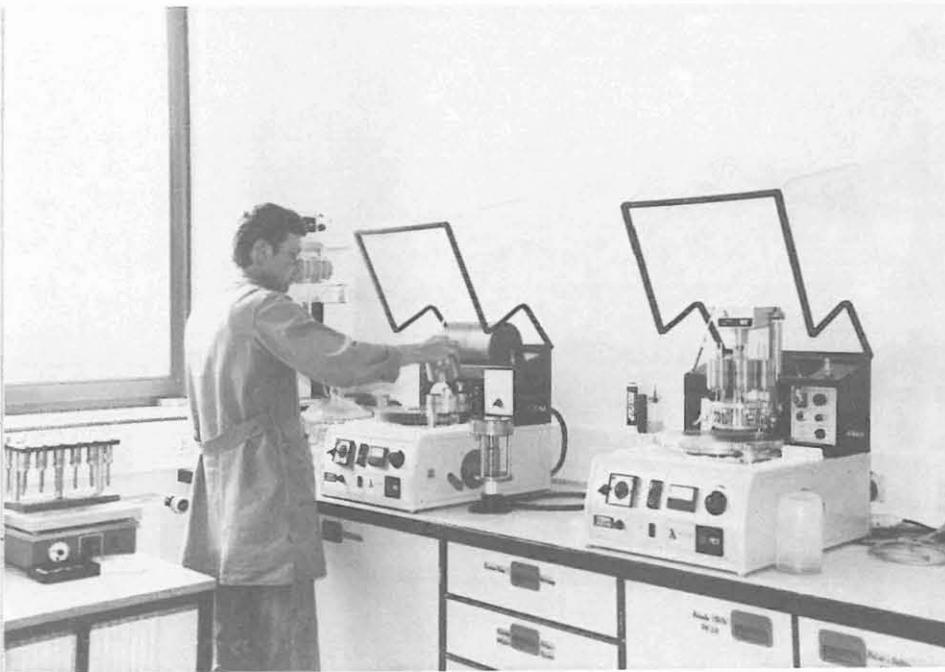


Abb. A.1.4: Anfertigen von Dünnschliffen

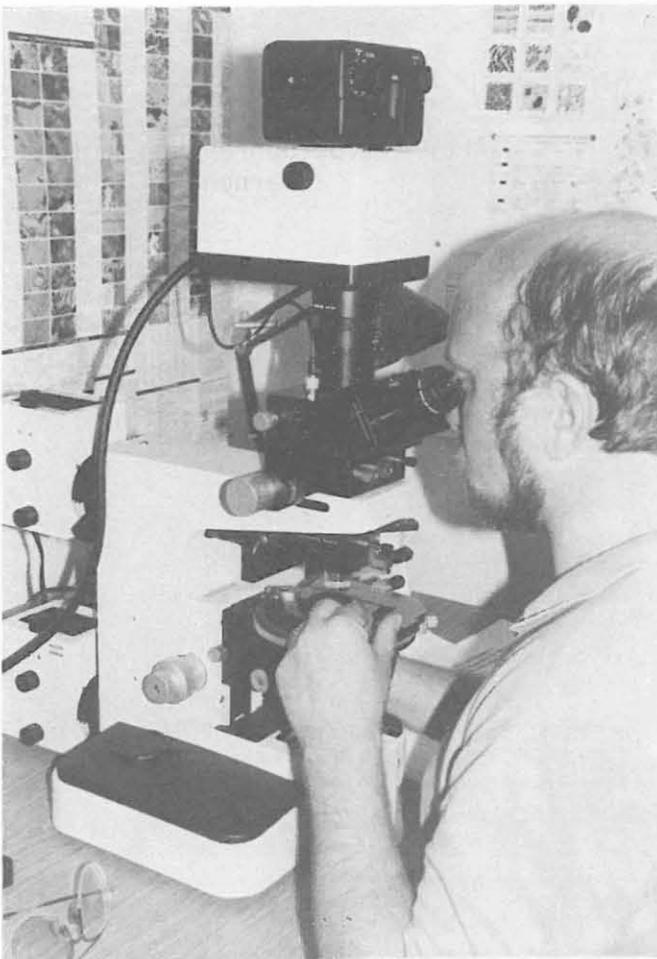
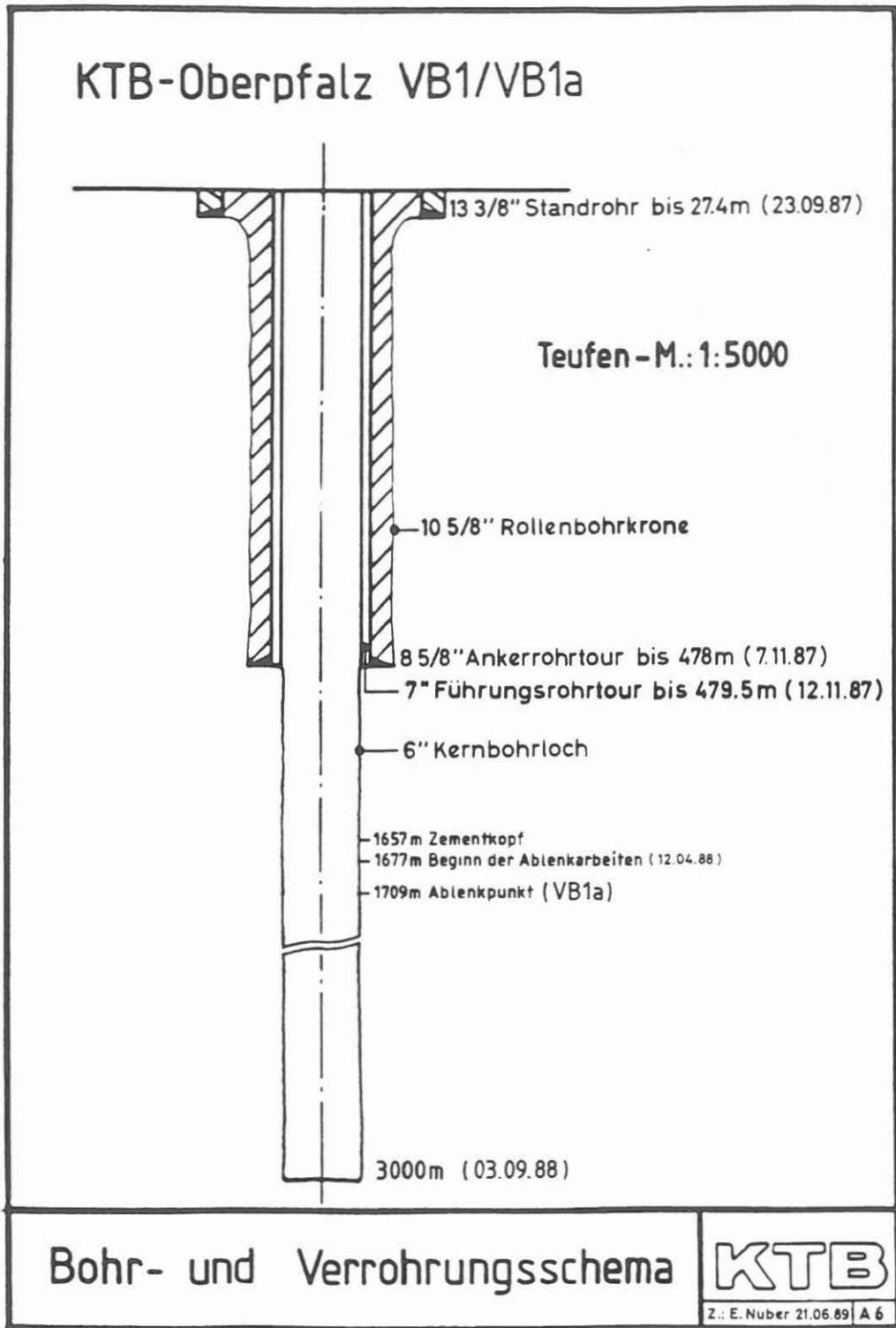


Abb. A.1.5: Anschliffmikroskopie



KTB Feldlabor

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

Abb. A.2.1: Bohr- und Verrohrungsschema der Bohrung KTB-Oberpfalz VB 1/VB 1a bis 3000 m

A.3 Probennahme

Über die oben genannten Seilkernstrecken wurden insgesamt 126 Kernmärsche (KM 611 teilweise, 612 - 736) durchgeführt. Der Kerngewinn betrug mit 456.7 m über eine Gesamtkernstrecke von 457.7 m 99.8 %, die durchschnittliche Kernlänge pro Marsch 3.62 m.

Im Berichtsabschnitt wurden vier orientierte Kerne entnommen (Tab. A.3.1). Hierbei wird der Kern unmittelbar beim Kernvorgang durch ein mit Messern versehenen Innenkernrohrschuh mehrfach geritzt. Durch Meßeinrichtungen kann die räumliche Lage eines Messers und damit die entsprechende Markierungslinie auf dem Kern erfaßt und der Bohrkern somit orientiert werden.

Tab. A.3.1: Übersicht der Auswertung orientierter Bohrkernmärsche (KM) in der Bohrung KTB OBERPFALZ VB

Datum	KM	Kernintervall (ohne anpaßbare Kernstrecken)	mittlere Einfallswerte der Foliation	
			Azimut	Einfallswinkel
11.06.1988	535	2250.8 - 2256.2	?	ca. 75 °
27.07.1988	656	2731.9 - 2737.9	ca. 220 °	ca. 60 °
10.08.1988	681	2802.5 - 2805.5	keine Auswertung möglich	
24.08.1988	712	2906.2 - 2911.1	ca. 210 °	ca. 45 °

Lediglich während der Richtbohrphase zwischen 2635.0 und 2687.0 m konnten Bohrkleinproben am Schüttelsieb im Abstand von 0.5 m gewonnen werden.

Zentrifugengmehl (Bohrmehl) wurde während beider Bohrphasen im Abstand von 1 m genommen.

Entsprechendes gilt für die Beprobung der Bohrspülung.

Gasbestandteile der Bohrspülung wurden über den gesamten Teufenbereich "on line" den Gasmeßgeräten in der Mud Logging Unit sowie dem Prozeßgasmassenspektrometer im Feldlabor zugeführt.

Mehrere Einsätze mit einem Seitenkerngerät (Sidewall Core-driller Tool) der Firma Schlumberger (Abb. A.3.2) ermöglichten es, nachträglich aus verschiedenen Teufen Minikerne (Durchmesser 0.91", max. Länge 2") zu gewinnen. Bis zur Beendigung der Vorbohrung wurden 72 Seitenkerne gewonnen.

Eine vorläufige lithologische Beschreibung dieser Seitenkerne findet sich unter F. dieses Reports.

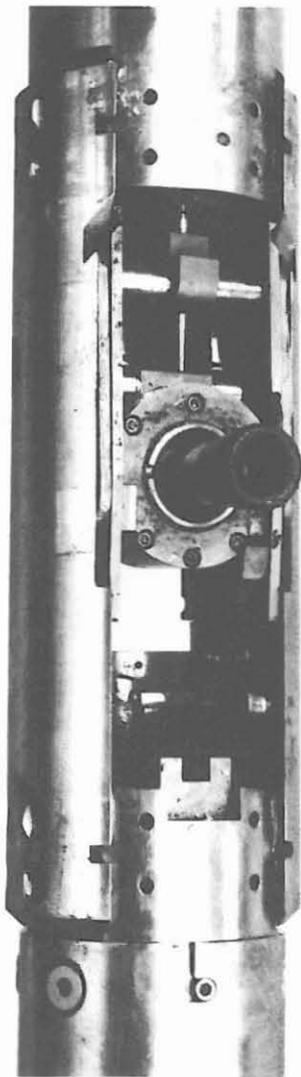


Abb. A.3.2: Mit dem Seitenkerngerät der Fa. SCHLUMBERGER (links) erbohrte Minikerne (rechts)

Neben den übertage gewonnenen Proben wurde im Berichtszeitraum nur eine erfolgreiche Probennahme mit dem Geocom Fluid Sampler am 07.09.88 in 2833.0 m Teufe in situ ausgeführt.

A.4 Sonstiges

Unterlagen für die Bestellung von KTB Probenmaterial können beim

NLFB
Betrieb KTB Oberpfalz
Wissenschaftliche Einrichtungen
Postfach 67
8486 Windischeschenbach
Telefon 09681 / 40014 (Sekretariat, Frau Ritter)
Telefax 09681 / 40038

angefordert werden.

B. Geologie

KTB Oberpfalz VB –
Ergebnisse der geowissenschaftlichen
Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor,
Teufenbereich von 2500–3009,7 m

J. Kohl
W. Hacker
S. Keyssner
H. Müller
C. Röhr
J. Sigmund
A. Stroh
M. Tapfer



KTB Report	89-4	B1 - B106	78 Abb.	Hannover 1989
------------	------	-----------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 2500 bis 3009.7 m:

B. Geologie

J. Kohl, W. Hacker, S. Keyssner, H. Müller, C. Röhr,
J. Sigmund, A. Stroh und M. Tapfer *)

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung.....	B 2
Abstract.....	B 3
B.1 Übersicht.....	B 5
B.2 Abschnitt 2500 - 2585.5 m.....	B 8
B.2.1 Biotit-Hornblende-Gneise und Amphibolite.....	B 8
B.2.2 Kalksilikatlagen.....	B 18
B.2.3 Chlorit-Hornblende-Schiefer.....	B 18
B.2.4 Leukokrate, kalifeldspatreiche Lagen.....	B 18
B.2.5 Sillimanit-Biotit-Gneis-Lagen.....	B 21
B.2.6 Chemische Zusammensetzung der Biotit-Hornblende-Gneise und Amphibolite, Diskussion	B 23
B.3 Abschnitt 2585.5 - 3009.7 m.....	B 30
B.3.1 Sillimanit-Biotit-Gneise.....	B 30
B.3.2 Biotit-Hornblende-Gneise.....	B 38
B.3.3 Amphibolite.....	B 38
B.4 Gänge.....	B 43
B.4.1 Lamprophyre.....	B 43
B.4.2 Adular-Quarz-Epidot-Gänge.....	B 47
B.4.3 Pegmatoid.....	B 47
B.5 Erzmineralisation.....	B 50
B.5.1 Sulfidische Erzminerale.....	B 53
B.5.2 Oxidische Erzminerale.....	B 60
B.5.3 Graphit.....	B 60

*) Anschrift der Verfasser: KTB-Feldlabor
8486 Windischeschenbach

B.6	Kataklase und Kluftmineralisation.....	B 68
B.7	Deformationspfad.....	B 72
B.8	Core-Disking.....	B 76
B.9	Literaturverzeichnis.....	B 77
B.10	Danksagung.....	B 78
B.11	Anhang.....	B 78

Zusammenfassung

Dieser Arbeitsbericht umfaßt die vorläufigen Ergebnisse der petrographisch-geochemischen und strukturgeologischen Bearbeitung des Bohrabschnitts 2500 bis 3009.7 m der Bohrung KTB Oberpfalz VB.

Bis 2585.5 m setzen sich die bereits ab 2469 m angetroffenen, lagigen Biotit-Hornblende-Gneise mit häufigen Einschaltungen von Amphiboliten, Kalksilikatlagen und granatführenden Sillimanit-Biotit-Gneisen fort. Ab 2585.5 m folgen mittelkörnig-lagige bis (selten) feinkörnig-mylonitische Sillimanit-Biotit-Gneise mit Einschaltungen von Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten. Die Foliation fällt monoton nach SW, der Einfallswinkel nimmt von 60° (2500 m) auf 40° (3000 m) ab.

In den Biotit-Hornblende-Gneisen wurde der sedimentäre, möglicherweise teilweise pyroklastische Lagenbau metamorph überprägt mit lagenbauparalleler Foliation. Granat-Einschlüsse in Klinopyroxen könnten auf ein Hochdruck-granulitfazielles Stadium hindeuten. Vereinzelt Antiperthite mit Klinozoisit-Entmischung lassen unter hohen Temperaturen gebildete, ursprünglich ternäre Feldspäte vermuten. Das metablastische Gefüge wurde unter Ausbildung eines Streckungsgefüges bei teilweiser Rekristallisation von Plagioklas und Hornblende deformiert. Die Assoziation der Biotit-Hornblende-Gneise mit Amphiboliten, Sillimanit-Biotit-Gneisen und Kalksilikatlagen ähnelt der Gneis-Amphibolit-Wechselfolge zwischen 0 und 460 m. Die Biotit-Hornblende-Gneise sind aber deutlich reicher an SiO₂, K₂O, Rb und Zr und ärmer an Fe₂O₃, MgO, CaO und Ni.

In den granatführenden Sillimanit-Biotit-Gneisen treten neben reliktischem Kyanit auch Hellglimmer, Granat und Sillimanit als Einschlüsse in Plagioklas auf. In Granaten wurde erstmalig ein planares Gefüge beobachtet, das auf eine ältere Foli-

ation schließen läßt. Die Hochtemperatur-mylonitische Deformation ist konkordant und damit vermutlich syngenetisch mit der post-metablastischen Deformation in den Biotit-Hornblende-Gneisen. Kleinfalten zeigen Quarz-Rekristallisation. Im Chemismus wurden keine Unterschiede zu Sillimanit-Biotit-Gneisen oberhalb 2500 m festgestellt.

Als akzessorische Erzphasen treten in beiden Gneisarten Ilmenit, Rutil und Magnetit sowie die, meist jüngeren, Sulfide Pyrit, Pyrrhotin, Chalkopyrit, Markasit, Pentlandit, Sphalerit und sehr selten Galenit, Arsenopyrit, Covellin und Molybdänit auf. Sphalerit kommt auch als Kluftmineralisation vor. Nur an einer Stelle ist Magnetit statt Pyrrhotin Hauptträger der Magnetisierung im Gestein.

Die Sillimanit-Biotit-Gneise werden von mehreren, meist geringmächtigen Lamprophyr-Gängen durchschlagen. Es handelt sich um vorwiegend stark alterierte Vogesite bis Spessartite.

In beiden Gneisarten treten vereinzelt Faltenstrukturen im Meterbereich auf. Jüngere, offene Falten und Knickzonen haben häufig flache Faltenachsenflächen. Die kataklastische Deformation ist weniger ausgeprägt als oberhalb 2500 m. Harnischbeläge werden von Chlorit oder Graphit gebildet. Als Kluftminerale treten Quarz, Calcit, Laumontit, Adular, Prehnit und Epidot auf. Bereichsweise wurden mm-weite, halboffene Klüfte beobachtet.

In Bereichen undeutlicher Foliation wurde erstmals 'core disking' bemerkt, das auf Druckentlastung des Gesteins durch den Bohrvorgang zurückzuführen ist.

Abstract

This report presents preliminary results of the petrographical, geochemical and structural investigations of the depth interval from 2500 to 3009.7 m of the scientific well 'KTB Oberpfalz VB'.

Layered biotite-hornblende-gneisses, which were intersected from 2469 m downwards, predominate down to 2585.5 m. They contain many intercalations of amphibolites, calc-silicate layers and garnet bearing sillimanite-biotite-gneisses. Below 2585.5 m, sillimanite-biotite-gneisses with only minor intercalations of biotite-hornblende-gneisses or amphibolites prevail. The foliation dips SW with angles gradually decreasing from about 60° at 2500 m to 40° at 3000 m.

The sedimentary, in part probably pyroclastic bedding of the

biotite-hornblende-gneisses is metamorphically overprinted. The metamorphic foliation is parallel to this bedding. Garnet inclusions in clinopyroxene possibly indicate a high pressure granulite facies metamorphic event. Few antiperthites with exsolution of clinozoisite possibly have developed from high temperature ternary feldspars. The early metablastic texture was deformed and a lineation defined by partly recrystallized, elongated feldspar and hornblende aggregates was developed. The association of biotite-hornblende-gneisses with amphibolites, sillimanite-biotite-gneisses and calc-silicate layers is very similar to the interlayering of amphibolites and gneisses in the depth interval from 0 to 460 m. The hornblende-gneisses, however, are distinctly richer in SiO_2 , K_2O , Rb and Zr and poorer in Fe_2O_3 , MgO, CaO and Ni than those of the section above.

Garnet bearing sillimanite-biotite-gneisses are mostly medium grained and layered. Fine grained mylonitic types are rare. Besides relictic kyanite white mica, garnet, and sillimanite occur as inclusions in plagioclase. For the first time, a plane internal fabric was observed in garnets indicating an older foliation. The high temperature mylonitic deformation of these gneisses lies concordantly to the post-metablastic deformation of the biotite-hornblende-gneisses implying that both are probably cogenetic. In small folds quartz is recrystallized. Chemically these gneisses do not differ from those above 2500 m.

Accessory ore minerals in both biotite-hornblende-gneisses and sillimanite-biotite-gneisses are ilmenite, rutile, magnetite, and the mostly younger sulfides pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, marcasite, pentlandite, sphalerite and, very rare, galenite, arsenopyrite, covellite, and molybdenite. Sphalerite also occurs as joint filling. In only one case magnetite instead of pyrrhotite causes magnetic anomalies.

The sillimanite-biotite-gneisses are cut by several thin lamprophyric dikes. These are mostly intensely altered vogesites or spessartites.

Sporadically both biotite-hornblende-gneisses and sillimanite-biotite-gneisses are folded on a m-scale. Younger open folds and kinkbands often show flat planes of fold axes. Brittle deformation is less abundant than above 2500 m. Slickensides are mostly mineralized by chlorite or graphite. Quartz, calcite, laumontite, adularia, prehnite, and epidote occur as joint fillings. In some sections, mm-wide half open joints were observed.

In sections with indistinct foliation 'Core-Disking' was observed for the first time. Core-Disking is mainly caused by the relief from the in situ stress field during the drilling process.

B.1 Übersicht

Der 6. Arbeitsbericht umfaßt die vorläufigen Ergebnisse der petrographisch-geochemischen und strukturgeologischen Bearbeitung des Bohrabschnitts 2500 bis 3009.7 m. Lediglich zwischen 2635 und 2687 m standen keine Kerne, sondern nur Bohrklein zur Untersuchung zur Verfügung. Eine lithologie- oder teufenabhängige Einordnung der Erzminerale ist nicht möglich, so daß diese zusammenfassend in Kap. B.5 beschrieben werden.

Lithologie

Zwischen 2500 m und und 2585.5 m wurden Biotit-Hornblende-Gneise mit geringmächtigen Sillimanit-Biotit-Gneis-Einschaltungen erbohrt. Lokal treten Amphibolite auf, die fließende Übergänge zu den Biotit-Hornblende-Gneisen zeigen. Weiterhin treten in den Biotit-Hornblende-Gneisen geringmächtige Einschaltungen von Kalksilikatlagen und kalifeldspatreichen, leukokraten Quarz-Feldspat-Lagen auf.

Zwischen 2585.5 m und 3009.7 m liegen Sillimanit-Biotit-Gneise mit geringmächtigen Einschaltungen (dm- bis m-Bereich) von Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten vor. Diese werden von Lamprophyren und einem Pegmatoidgang durchschlagen. Bei 2805 m treten einige cm-mächtige Adular-Quarz-Epidot-Gänge auf.

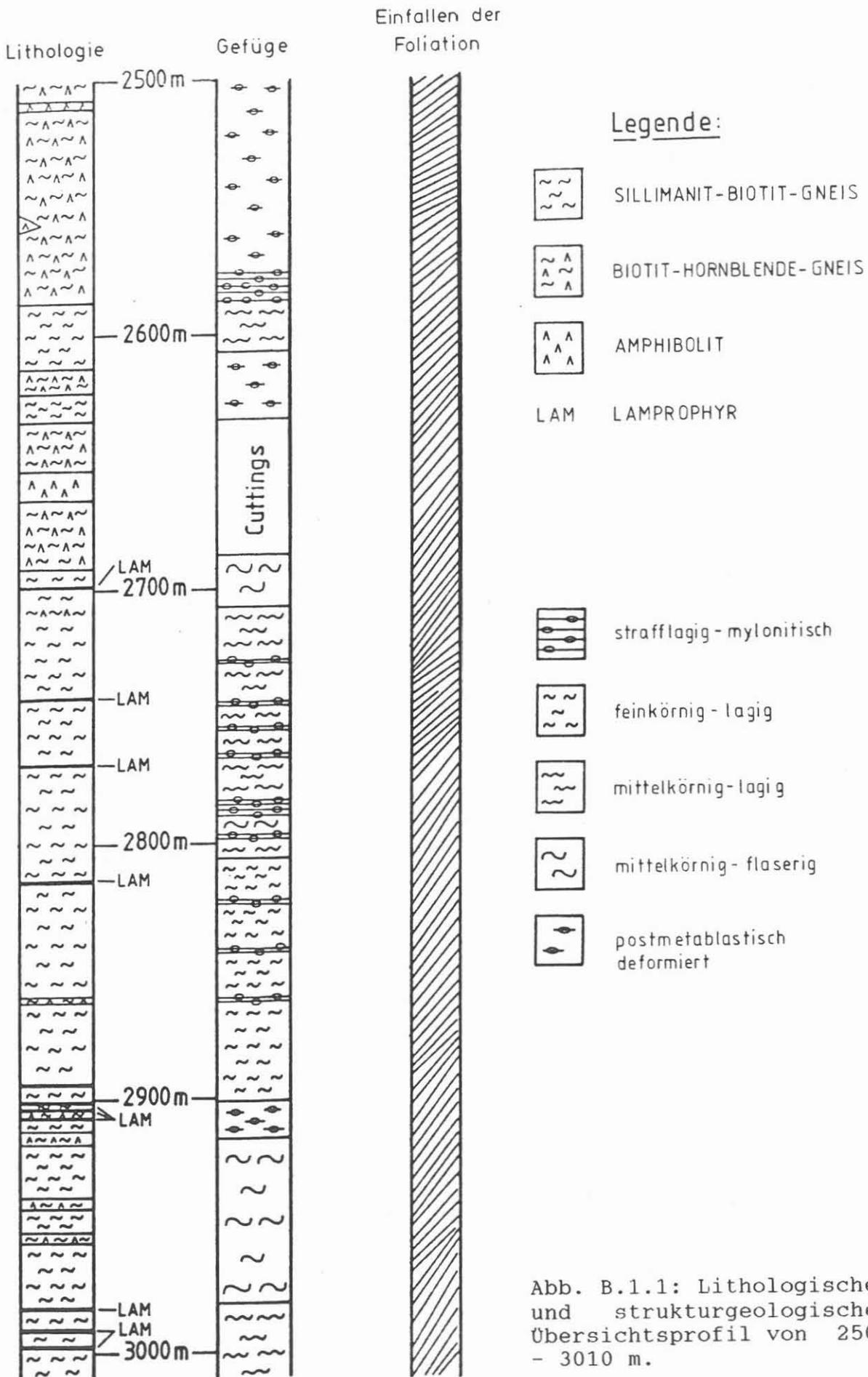
Das geologische Profil ist in Abb. B.1.1 in der Übersicht und im Anhang (Kap. B.11) detailliert dargestellt. Die Gesteine zeigen bereichsweise eine starke retrograde Metamorphose. Diese spiegelt sich auch im Chlorit/(Chlorit+Biotit)-Verhältnis (Abb. B.1.2) wieder.

Gefüge und Struktur

In den Biotit-Hornblende-Gneisen ist das ehemals metablastische Gefüge generell deformiert. Lagenbau und Foliation verlaufen parallel zum "s" der Granat-Sillimanit-Biotit-Gneise. In diesen ist die Foliation vorwiegend lagig oder flaserig entwickelt. Strafflagige bis mylonitische Gefüge sind im Gegensatz zum vorhergehenden Teufenbereich nur untergeordnet vorhanden (Abb. B.1.1).

Neben ältesten Isoklinalfalten sind in beiden Gneistypen gelegentlich cm-große, asymmetrische Falten vorhanden. Sie sind geschlossen und verfallen die Foliation. Halbgeschlossene Falten im m-Bereich wurden in zwei Fällen beobachtet. Die jüngsten Falten sind offen.

Nach Auswertungen des Formation Microscanner Logs (durch HIRSCHMANN, KTB-Projektleitung) fällt die Foliation im Teufenbereich 2500 - 3009.7 m recht konstant nach SSW ein. Nur zwischen 2550 m und 2650 m dreht der Azimut nach SW bis WSW.



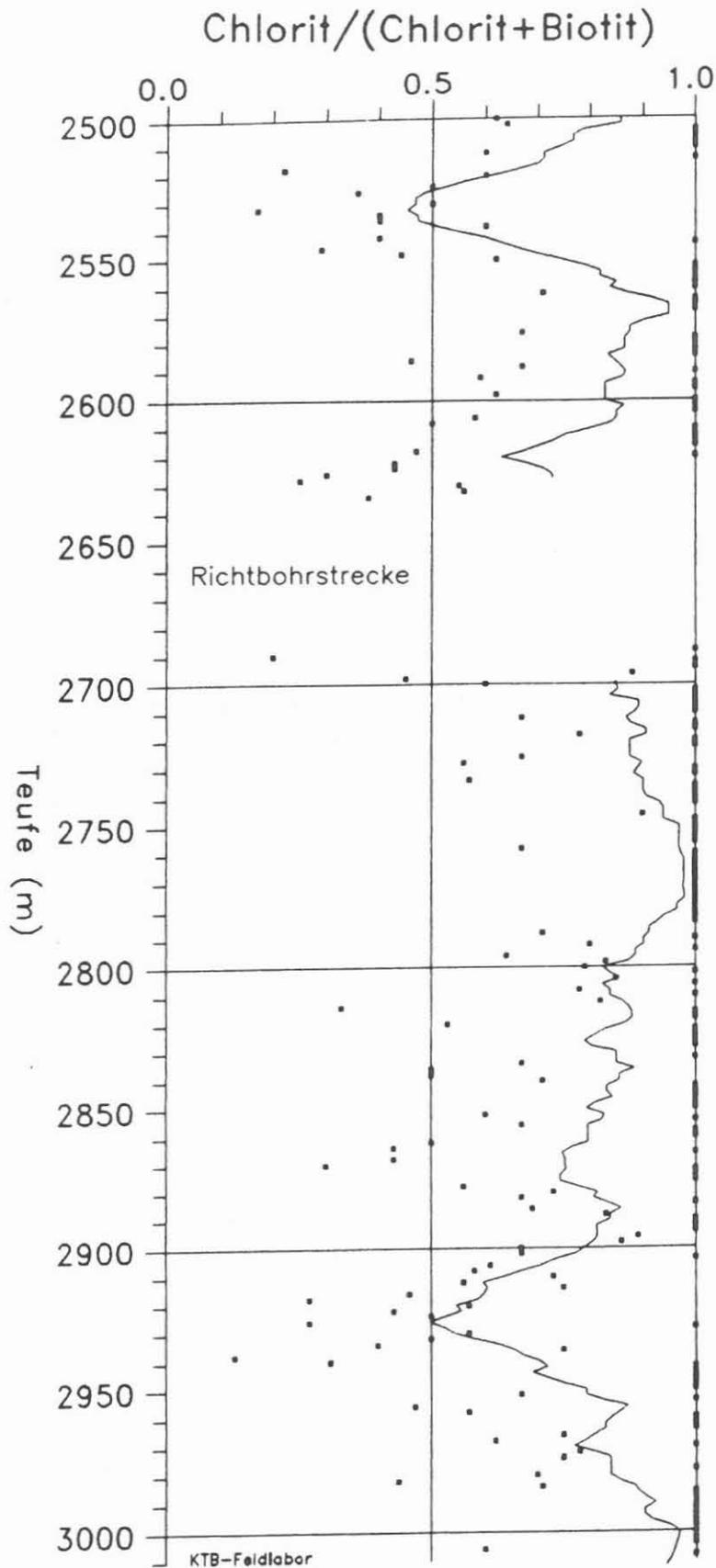


Abb. B.1.2: Das Chlorit/(Chlorit+Biotit)-Verhältnis ist auch in den Biotit-Hornblende-Gneisen ein Maß für die Alteration des Biotits, da die Chloritisierung der Hornblende geringfügig ist.

Der Einfallwinkel nimmt kontinuierlich von ca. 60° auf Werte unter 40° ab. Im Bereich des leicht drehenden Azimuts verflacht die Foliation abrupt, um bei 2650 m wieder geringfügig zu versteilen (Abb.B.1.3).

B.2 Abschnitt 2500 - 2585.5 m

B.2.1 Biotit-Hornblende-Gneise und Amphibolite

Wie aus dem Profil in Abb. B.1.1 hervorgeht, dominieren von 2500 m bis 2585.5 m Biotit-Hornblende-Gneise. Mit Amphibolitlagen und einigen cm-großen Hornblende-Linsen bilden diese somit eine kontinuierliche Fortsetzung der Abfolge zwischen 2469 und 2500 m (vgl. RÖHR et al. 1989: B27).

Als Hornblende-Gneise werden im folgenden Gesteine mit gneisigem Gefüge, weniger als etwa 40 % Hornblende und mehr als 5 - 10 % Quarz bezeichnet. Fast stets ist Biotit vorhanden, wobei das Biotit/Hornblende-Verhältnis stark schwankt. Die jeweils gewählte Gesteinsbezeichnung resultiert aus makroskopischem und mikroskopischem Befund, wodurch es im Einzelfall zu geringfügigen Diskrepanzen mit den durch RDA festgestellten Mineralanteilen kommen kann.

Makroskopisch erscheinen die Gesteine vorwiegend mittelkörnig. Charakteristisch ist ein Lagenbau, in dem cm- bis dm-mächtige, biotitreiche braune, durch Chloritisierung oft auch hellgrünliche Lagen mit dunklen, hornblendereichen Lagen wechseln. Dieser Lagenbau spricht für ein sedimentäres, eventuell pyroklastisches Edukt. Hinzu kommt der metamorphe Lagenbau mit mm-mächtigen hellen, plagioklasreichen Lagen. Der metamorphe Lagenbau liegt parallel zum sedimentären Lagenbau.

Der Gneis besaß ursprünglich ein metablastisches Gefüge. Charakteristisch sind gedrungene, mm-große Plagioklasblasten in einer feinkörnigen Biotit-Hornblendematrix. Dieses metablastische Gefüge ist oberhalb 2492 m gut erhalten. Unterhalb 2492 m ist es durch eine jüngere Verformung überprägt (s. RÖHR et al. 1989: B49). Unterhalb des Bereichs mit dominierendem Biotit-Hornblende-Gneis ist das metablastische Gefüge an geringmächtige Biotit-Hornblende-Gneis-Einschaltungen oder Amphibolite und deren unmittelbaren Sillimanit-Biotit-Gneis-Rahmen gebunden (2610 - 2628 m, 2900 - 2916 m, 2935 - 2940 m, 2950 - 2955 m).

Azimut der Foliation

Einfallen der Foliation

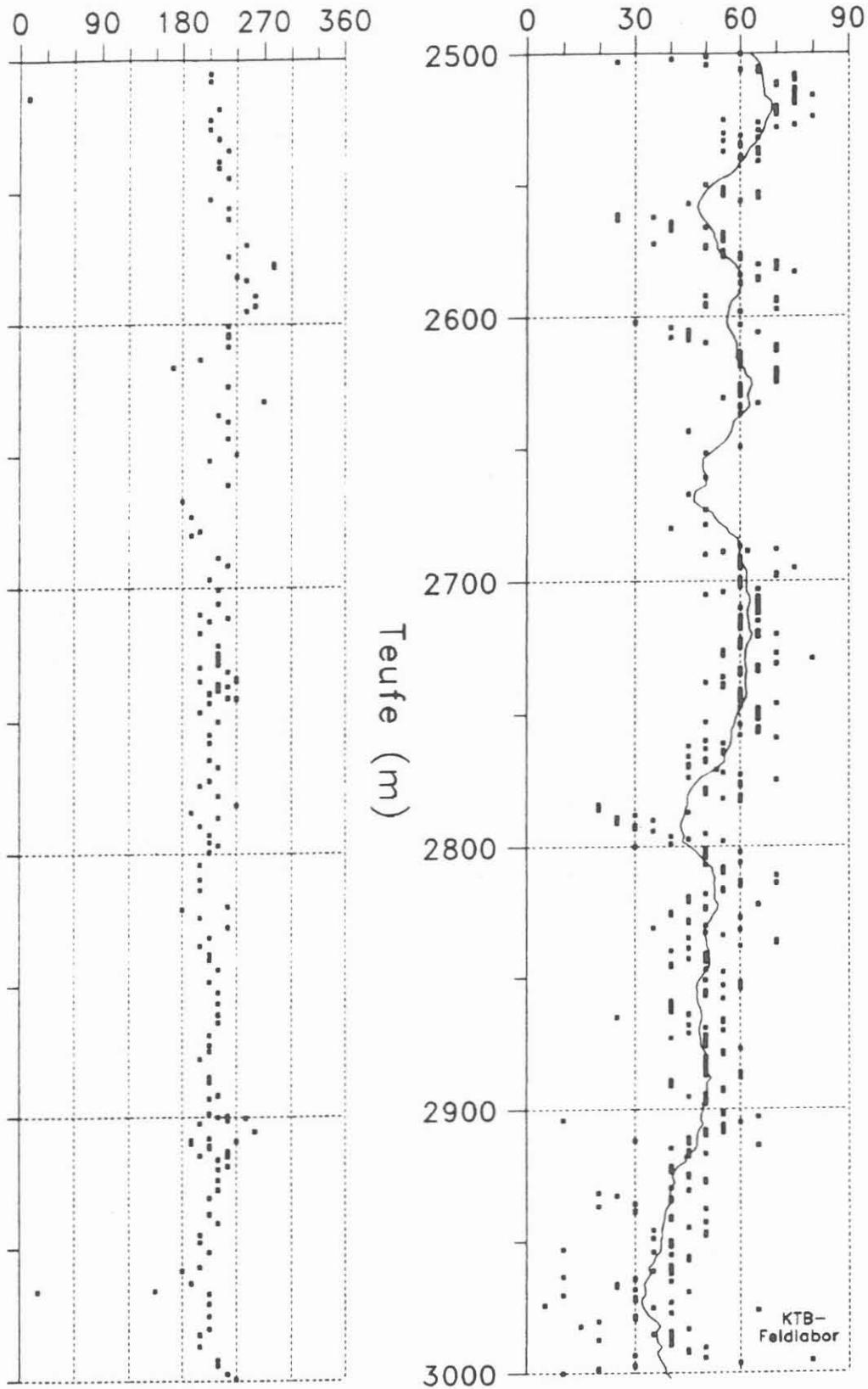


Abb. B.1.3: Azimut und Einfallswinkel der Gneisfoliation ($^{\circ}$). In der rechten Darstellung gibt ein gleitender Mittelwert (30 m Intervall, durchgezogene Linie) großräumigere Trends wieder.

Das post-metablastische Deformationsgefüge wird ab 2492 m in allen Biotit-Hornblende-Gneisen beobachtet. Die ehemals runden Plagioklasklasten sind geplättet (Abb. B.2.1). Die lange Achse dieser Aggregate definiert ein Streckungslinear (s. Mikrogefüge). Dieses liegt subhorizontal oder zeigt flaches Einfallen nach NW (300/20), während die Foliation nach SW (210/40 bis 210/75, 2502 m - 2507 m) einfällt.

Von 2504.4 m bis 2505.7 m tritt in den post-metablastisch deformierten Biotit-Hornblende-Gneisen eine mylonitisch-straflagige Sillimanit-Biotit-Gneis-Einschaltung auf. Hangend- und Liegendkontakt zum angrenzenden Biotit-Hornblende-Gneis sind tektonisch nicht gestört (Abb. B.2.2 bis B.2.5). Streckungsgefüge bzw. Raumlage des Streckungslinears sind identisch mit denen der umgebenden Biotit-Hornblende-Gneisen.

Unter dem Mikroskop zeigt das Hornblende-Teilgefüge im Schnitt senkrecht zum Streckungslinear linsige Aggregate aus rekristallisierten Hornblendekristallen mit ebenen Korngrenzflächen. In Schnitten parallel zur Streckungsfaser sind die Hornblendelagen boudiniert. Die Hornblende-Kristalle bilden in der Regel ein rekristallisiertes Gefüge (Kopfschnitte ca. 400 µm) und sind mit ihren c-Achsen bevorzugt parallel zum Streckungslinear eingeregelt. Gelegentlich findet man relik-tische, 1 bis mehrere mm große Großkristalle, die entweder ganz oder nur randlich rekristallisiert sind (Abb. B.2.6). Die sonst olivgrüne Hornblende weist ab und zu hellere, aktinolithische Säume auf.

Plagioklas ist meist durch Klinozoisit-Neubildung getrübt. Zum Teil sind Kornformen kaum noch erkennbar. Die geplätteten Plagioklasblasten liegen als längliche Aggregate vor. In Bereichen geringerer Plagioklas-Alteration werden vereinzelt in solchen Plagioklas-Aggregaten ebene Korngrenzflächen beobachtet (DS=Dünnschliff 613F1k, 2514.81 m), die für eine vollständige Rekristallisation der Blasten sprechen. Im Druckschatten kann rekristallisierter Quarz vorhanden sein. Ferner gibt es größere, nicht rekristallisierte Plagioklas-Einkristalle. Matrixquarze und -feldspäte treten in granoblastischer Verwachsung mit gebogenen Korngrenzen auf. Auffällig ist das Auftreten von Antiperthit. Er bildet sowohl kleine, granoblastische als auch ca. 2 mm große Körner (Abb. B.2.7). Möglicherweise gehören diese Antiperthite zum magmatischen Altbestand des Gneisedukts. In der Nachbarschaft kalksilikatischer Lagen wurde vereinzelt Mikroklin beobachtet.

Quarz kann in Lagen angereichert sein. Daneben tritt er in länglichen, fahnenartigen Kornaggregaten auf, deren Umrisse an Plattenquarze erinnern, die aber aus vielen Einzelkörnern bestehen. Biotit ist oft in Lagen angereichert und meist weitgehend oder völlig durch Chlorit oder Prehnit ersetzt.

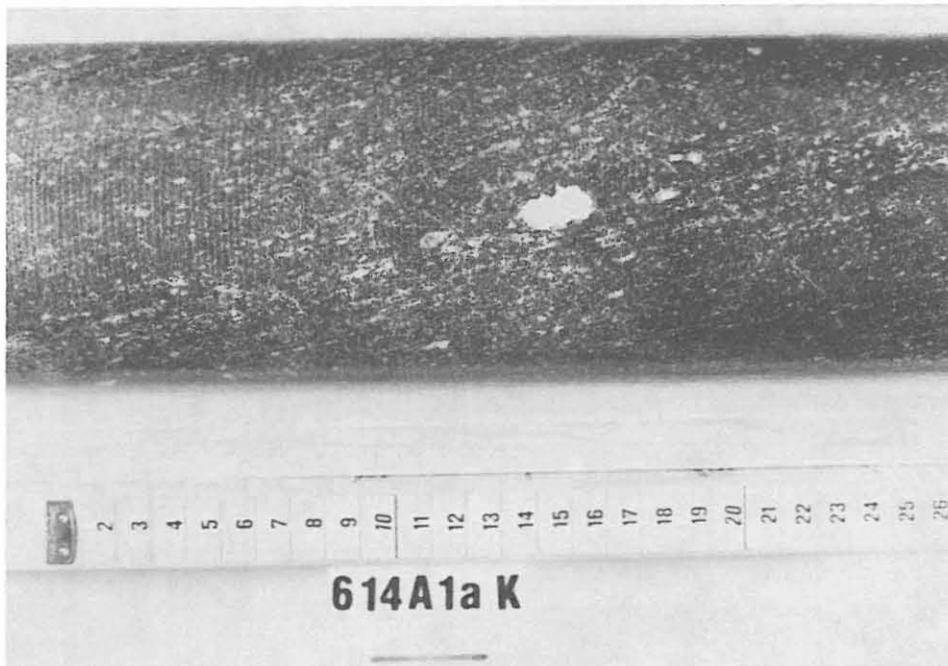


Abb. B.2.1: Postmetablastisch deformierter Biotit-Hornblende-Gneis. In der Mitte rundliches Quarz-Plagioklas-Aggregat. (Kernstück 614A1a, 2516.05 m).

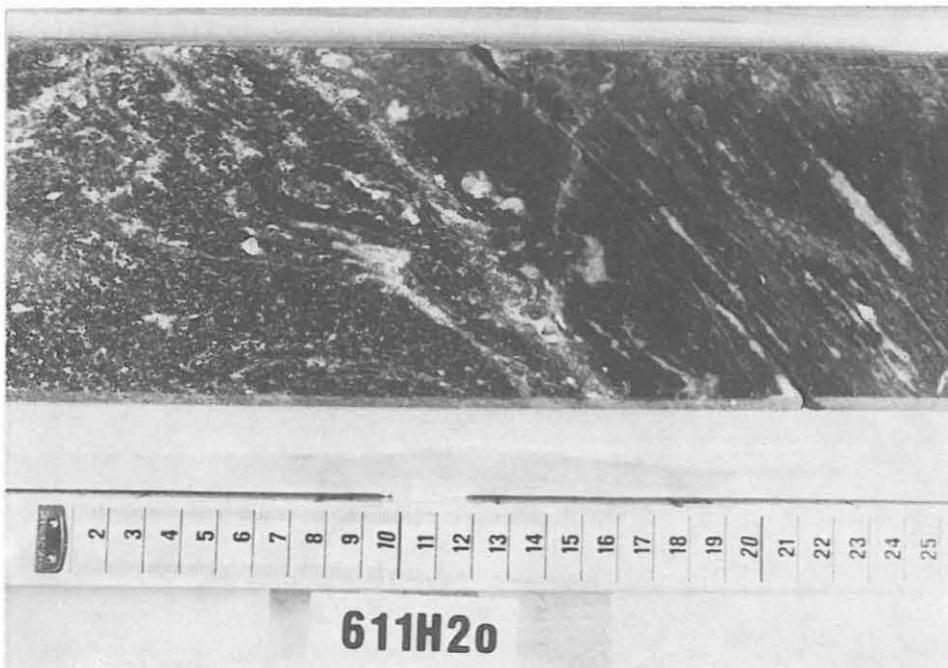


Abb. B.2.2: Kontakt zwischen Hochtemperatur-mylonitischem Sillimanit-Biotit-Gneis (rechts) und Biotit-Hornblende-Gneis (links). (Kernstück 611H2o, 2504.26 m).

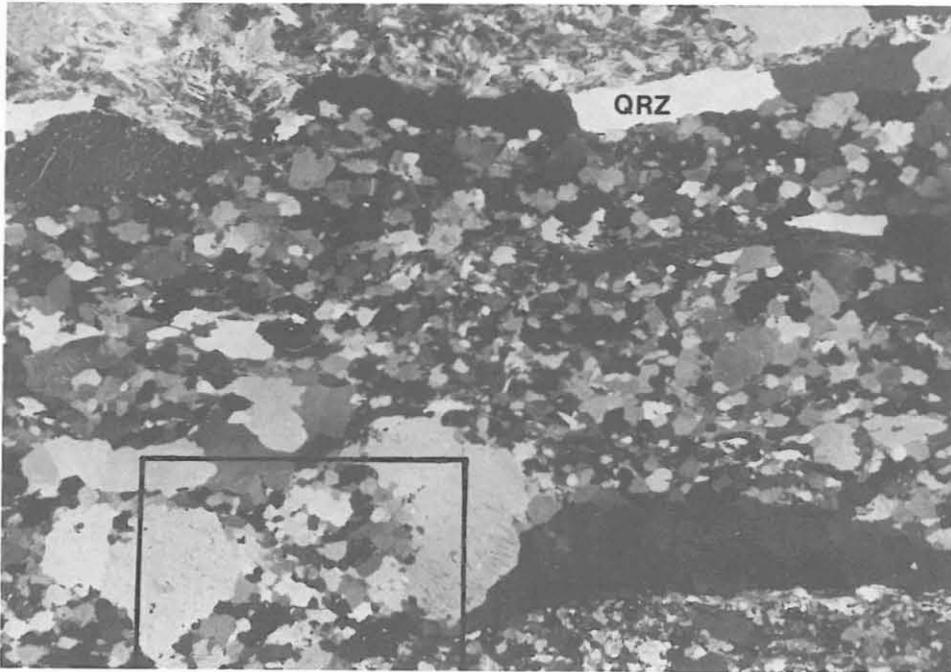


Abb. B.2.3: HT-mylonitische Sillimanit-Biotit-Gneis-Einschalung in Biotit-Hornblende-Gneis; zwischen den Plattenquarzzeilen (QRZ) bildet rekristallisierter Plagioklas ein polygonales Pflastergefüge. Links unten ist ein unvollständig, nur in der Mitte rekristallisierter Plagioklasklast erhalten. (vgl. Abb. B.2.4). Umrahmung: Bildausschnitt Abb. B.2.4. (DS 611H20 I, 2504.46 m, + Nicols, lange Bildk. ca. 17.8 mm).

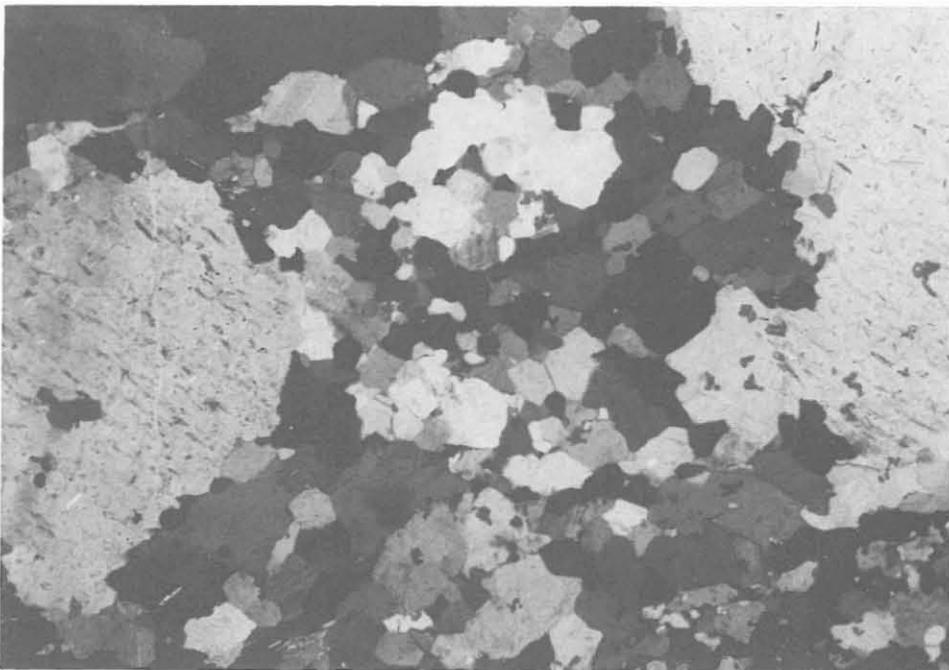


Abb. B.2.4: HT-mylonitische Sillimanit-Biotit-Gneis-Einschalung in Biotit-Hornblende-Gneis; vergrößerter Ausschnitt aus Abb. B.3.3. Rekristallisierter Plagioklas nimmt den Raum zwischen den Relikten des Altkornes ein. (DS 611H20 I, 2504.46 m, + Nicols, lange Bildk. ca. 6,3 mm).

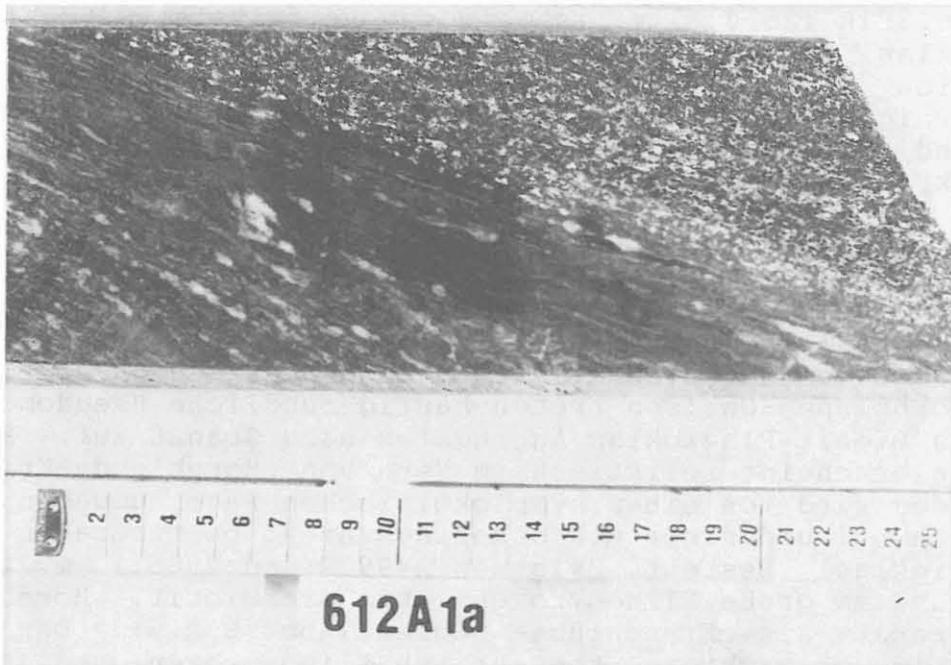


Abb. B.2.5: Konkordanter Kontakt an der Liegendgrenze zwischen HT-mylonitischer Sillimanit-Biotit-Gneis-Einschaltung (links) und post-metablastisch deformiertem Biotit-Hornblende-Gneis (rechts). Das Maßband zeigt in Richtung zunehmender Teufe. Die Foliation der Gneise fällt mit etwa 55° ein. Das Streckungslinear liegt annähernd senkrecht zur Bildebene und fällt mit ca. 20° ein. Die Verformung des Sillimanit-Biotit-Gneises ist im Bereich der Grenzfläche deutlich stärker als in den hangenden Bereichen.
(Kernstück 612A1a, 2506.60 m).

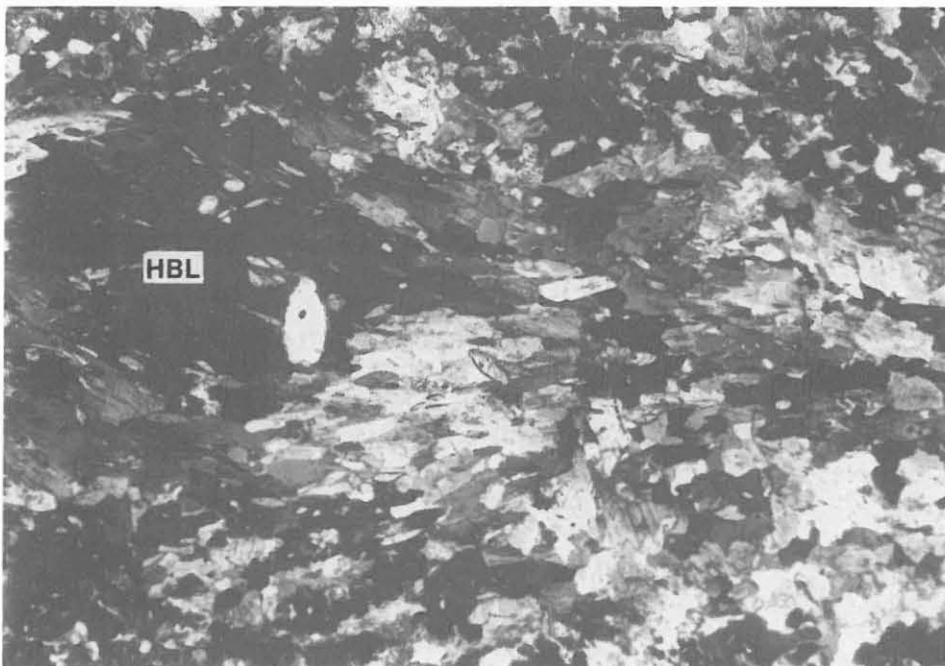


Abb. B.2.6: Hornblendeklast (HBL), randlich rekristallisiert (Bildmitte), in einer boudinierten hornblendereichen Lage.
(DS 626A1b, 2580.20 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 6.3 mm).

Im DS 613F1k (2514.81 m) ist ein eng verfaltetes Gängchen aus Plagioklas zu sehen, dessen Faltenachsebenen parallel zur Foliation liegen. Im Scharnierbereich sind die Hornblenden feinkörnig dynamisch rekristallisiert (Abb. B.2.8). Im Schenkel und in nicht gefalteten Bereichen sind auch präkinematisch kristallisierte, größere Kristalle erhalten.

Der Granatgehalt ist gering, aber durch das Auftreten von bis zu 1 cm großen, teilweise zonierten Kristallen mit rotbraunem Kern und farblosem Rand (DS 619E1gK, 2547.10m) makroskopisch auffallend. Die Granate werden durch Plagioklas-Reaktionssäume von Hornblende getrennt. In quarz- und biotitreichen Hornblende-Gneisen treten häufig rundliche Pseudomorphosen aus Biotit-Plagioklas-Aggregaten nach Granat auf. Klinopyroxen erscheint reliktsch im Kern von Hornblende-Kristallen oder wird von einem symplektitischen Saum umgeben, der aus Amphibol und einer mikroskopisch nicht bestimmbarer Phase (?Plagioklas) besteht. Zwischen 2499.2 und 2505.1 m treten bis zu 5 mm große Klinopyroxene auf, die Biotit, Hornblende und Granat als Einschlüsse führen (Abb. B.2.9). Der hier erstmalig beobachtete Kontakt von Klinopyroxen und Granat läßt bei geeigneter Zusammensetzung der Phasen ein frühes Hochdruck-granulitfazielles Stadium dieser Gesteine vermuten.

Titanit ist stets reichlich vertreten, häufig wird er von Ilmenit pseudomorph ersetzt (Abb. B.2.10, DS 722E2n, 2938.83 m aus Granat-Hornblende-Gneis-Einschaltung in Sillimanit-Biotit-Gneis). Titanit-Einschlüsse in Granat wurden zwischen 2519 und 2550 m erstmalig in der Bohrung beobachtet. Im Anschliff 622G1ad (2568.33 m) wurden Chalkopyrit-, Rutil- (Abb. B.2.11) und Ilmeniteinschlüsse im Titanit beobachtet. Die Mineralparagenese Plagioklas, Titanit, Ilmenit, Quarz und Granat in Metabasiten kann bei TiO_2 -Sättigung (Rutil) zur Abschätzung maximaler Bildungsdrücke herangezogen werden (GHENT & STOUT, 1984). Apatit und Allanit (DS 616F1hK) treten akzessorisch auf. Eine grünschieferfazielle Überprägung äußert sich durch die Neubildung von Epidot und Chlorit sowie gelegentlich Aktinolith. Prehnit ist auf Biotit-Spaltflächen und als Kluft- und Rißfüllung weitverbreitet. Er kann sogar als Kristallrasen auf noch offenen Klüften beobachtet werden (s. Kap. B.6).

Die Gehalte der Hauptminerale variieren in folgenden Bereichen (RDA, Gew.-%, vgl. Tab. B.2.1, unter Mitberücksichtigung von Biotit-Hornblende-Gneis- und Amphiboliteinschaltungen aus dem Teufenbereich 2585.5 - 3009.7 m):

	Biotit-Hornblende- Gneise	Amphibolite
Quarz	17-36	7-14
Plagioklas	24-48	8-44
Biotit+Chlorit	5-21	3-16
Amphibol	7-34	35-62
Granat	<3- 7	<3
Titanit	<3- 7	<3-12

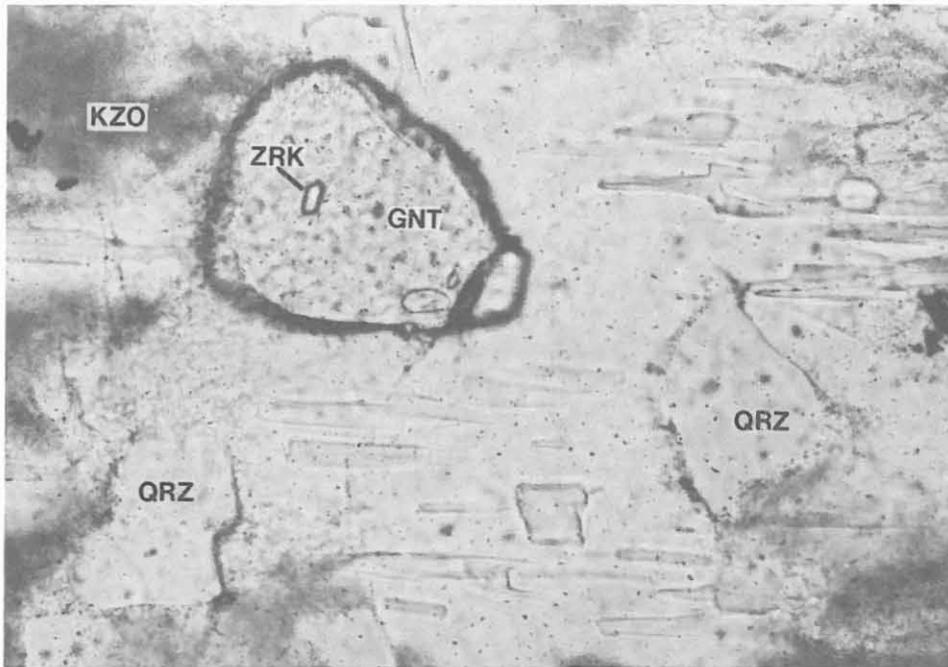


Abb. B.2.7: Antiperthit mit Quarz- und Granat-Einschlüssen in granat- und klinopyroxenreichem Hornblende-Biotit-Gneis. GNT = Granat, QRZ = Quarz, KZO = wolkige Klinozoisit-Einschlüsse, ZRK= Zirkon.
(DS 619E1gK, 2547.10 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 0.7mm).

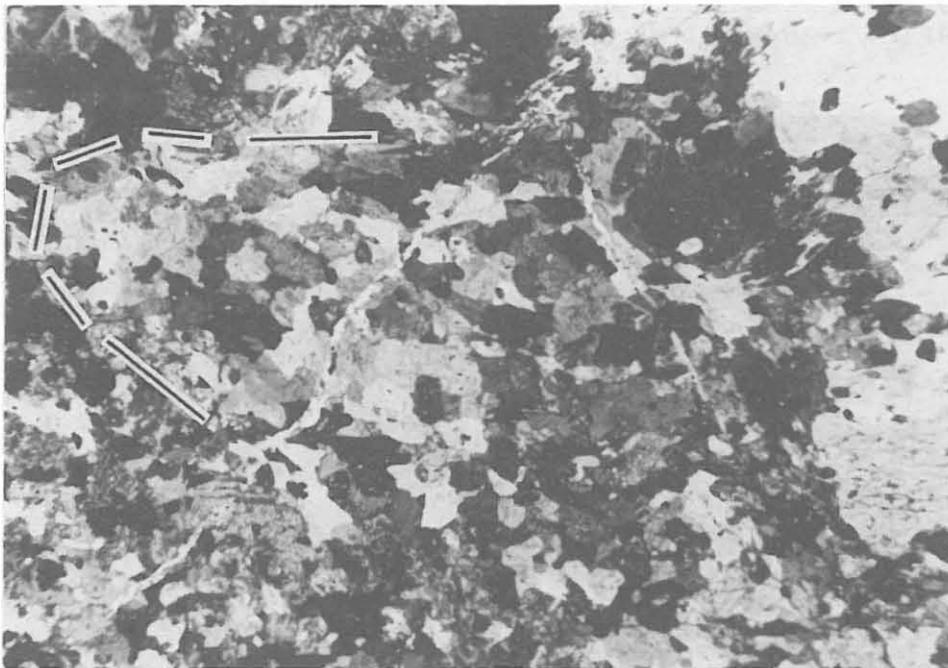


Abb. B.2.8: Bildmitte: feinkörnig rekristallisierte Hornblende im Scharnierbereich einer engen, symmetrischen Kleinfalte. Linker Bildrand, obere Hälfte: Umbiegungsbereich einer eng verfalteten feldspatreichen Lage. Rechter Bildrand (hell): Reliktischer Hornblende-Großkristall; Biotit-Hornblende-Gneis.
(DS 613F1k, 2514.81 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 7.1 mm).

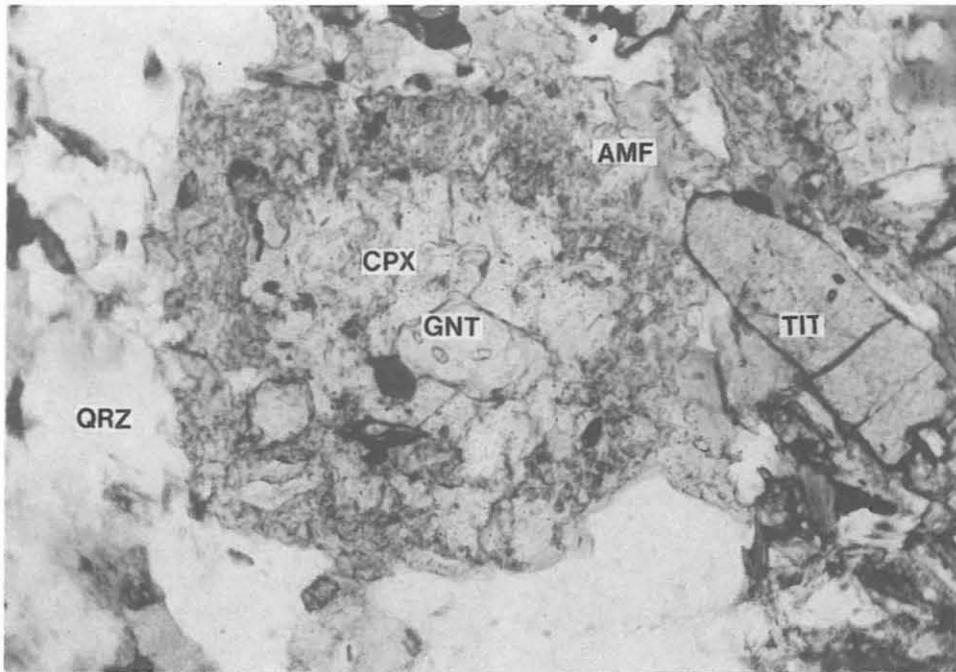


Abb. B.2.9: Klinopyroxen mit Granat-Einschluß und Amphibol-Plagioklas-Symplektit-Corona (AMF). Der Granat führt Zirkon-Einschlüsse. Der Antiperthit der Abb. B.2.7 befindet sich in unmittelbarer Nachbarschaft dieses Aggregats. QRZ = Quarz, CPX = Klinopyroxen, GNT = Granat, TIT = verzwillingter Titanit. Hornblende-Biotit-Gneis, granat- und klinopyroxenreich. (DS 619E1gk, 2547.10 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 1.1 mm).

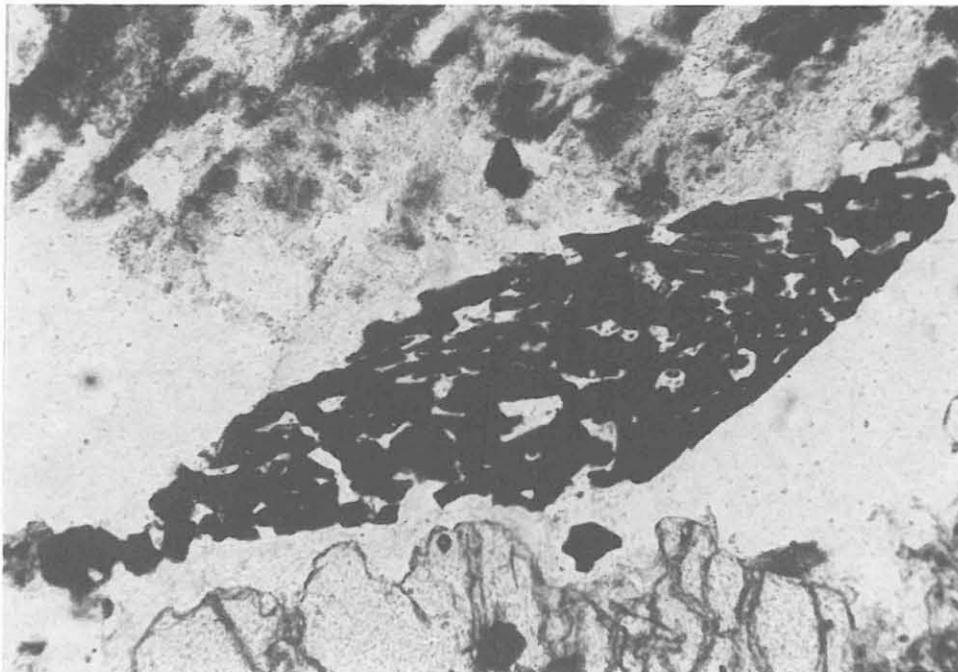


Abb. B.2.10: Ilmenit pseudomorph nach Titanit aus Granat-Hornblende-Gneis-Einschaltung in Sillimanit-Biotit-Gneis. (DS 722E2n, 2938.83 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 1.1 mm).

Biotit-Hornblende-Gneise

Kernstück	Teufe	QRZ	PLG	KPS	HGL	BIO	CHL	AMPH	GNT	EPD	PRH	TIT	Summe
611D2j	2501.25	28	44	-	-	9	3	16	-	-	-	-	100
614C1d	2517.45	20	39	-	-	6	4	30	-	-	-	-	99
614F1j	2519.45	17	31	-	-	-	5	31	6	-	6	5	101
616A1a	2526.20	23	34	5	4	14	7	12	-	-	-	-	99
616F1hK	2530.44	25	35	-	-	9	-	31	-	-	-	-	100
617E1m	2535.11	36	48	-	-	10	5	-1	-	-	-	-	99
618D1eKII	2540.29	31	42	-	-	-	5	16	6	-	-	-	100
618H1m	2543.81	25	43	-	-	-	7	26	-	-	-	-	101
619B1b	2544.71	34	46	-	-	13	-	-1	7	-	-	-	100
619C1c	2545.51	29	37	-	-	5	3	18	-	-	-	7	99
619E1gK	2547.10	21	40	-	-	1	17	14	-	-	-	7	100
619F1jK	2548.00	29	42	14	-	-	8	7	-	-	-	-	100
620C1c	2551.75	24	34	-	-	-	8	27	3	-	-	4	100
621A1aK	2556.30	20	32	-	-	-	16	27	-	-	-	5	100
685B3f	2811.73	20	24	-	12	-	15	30	-	-	-	-	101
713B1bK	2912.07	31	40	-	-	-	15	14	-	1	-	-	100
722E2m	2938.79	26	19	-	7	-	3	34	-	11	-	-	100

Amphibolit

Kernstück	Teufe	QRZ	PLG	KPS	HGL	BIO	CHL	AMPH	GNT	EPD	PRH	TIT	Summe
612C1d	2506.57	14	24	-	-	-	4	47	-	-	-	12	101
612D11K	2507.48	-	39	-	-	-	5	39	-	13	-	4	100
613E1hK	2514.10	7	44	-	-	-	3	39	-	-	-	7	100
614B1bK	2516.85	14	42	-	-	9	-	35	-	-	-	-	100
618D1eKI	2540.28	13	31	-	9	-	3	40	-	-	-	5	101
623B1b	2568.90	-	24	-	-	-	8	59	-	-	-	10	101
699B2d	2858.56	11	8	-	-	9	7	62	-	-	-	3	100
725A1a	2953.78	13	28	5	-	-	9	46	-	-	-	-	101

Tab. B.2.1: RDA-Analysen von Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten des Teufenabschnitts 2500 - 3009.7m (in Gew.-%).

Chlorit ist aus Biotit entstanden. Vereinzelt gemessene Prehnit- bzw. Kalifeldspat-Gehalte beruhen auf Kluftmineralisationen. Der hohe Epidot-Gehalt in Probe 722E2m (2938.5 m) ist überwiegend durch intensive Saussuritisierung von Plagioklas verursacht.

B.2.2 Kalksilikat-Lagen

Klinopyroxen bildet den charakteristischen Bestandteil von meist mm-mächtigen, hellen Kalksilikat-Lagen, die immer wieder konkordant in den Biotit-Hornblende-Gneisen auftreten. Nur zwischen 2572.4 m und 2573.0 m sowie zwischen 2573.6 und 2574.2 m ist der Bohrkern als buntes, feinlagiges Kalksilikatgestein anzusprechen. Dieses besteht neben Klinopyroxen und Plagioklas aus Mikroklin, pleochroitischem Titanit, Karbonat, Klinozoisit, Apatit, Pyrit und Chalkopyrit (RDA- und RFA-Analysen in Tab. B.2.2). Klinopyroxen ist gelegentlich von einem Amphibol-Saum umgeben.

Ein starkes Maximum im Summen-Gamma Ray Log (SGR) bei 2574.5 m (vgl. Profil im Anhang) korreliert mit dem Auftreten des Kalksilikatgesteins, wie Radiometriemessungen an den Kernstücken 623Flg (Meßteufe 2572.50 m), 624Ala/b (Meßteufe 2573.70 m und 624Bldk (Meßteufe 2574.95) belegen. Die Teufendifferenz zwischen Kernteufe und Logteufe beträgt in diesem Bereich zwischen 2 und 3 m (gamma-ray-Korrelation, mündl. Mitt. Bucker). Uran hat in den Bohrlochmessungen und im Kernstück 623Flg den größten Anteil an der Anomalie. Im Gamma-Spektrum der Kernstücke 624Ala/b und 624BldK sind zusätzlich erhöhte Kalium- und Thoriumgehalte zu erkennen (Abb. B.2.12). Mit Autoradiographie am Bohrkern wird versucht, den Uranträger zu lokalisieren. Er scheint nicht an Kluftmineralisationen gebunden zu sein. Erhöhte Thorium-Gehalte im Kern könnten durch das Mineral Allanit (DS 624Ala) verursacht werden.

B.2.3 Chlorit-Hornblende-Schiefer

Zwischen 2509.4 m und 2509.7 m tritt ein feinkörniger Chlorit-Hornblende-Schiefer auf, der von Scherflächen begrenzt wird. Im DS 612Glq ist neben Chlorit und Hornblende noch Cummingtonit sowie etwas Plagioklas enthalten (vgl. RDA- und RFA-Analysen in Tab. B.2.3).

B.2.4 Leukokrate, kalifeldspatreiche Lagen

Zwischen 2579 und 2585.4 m sind in die oben erwähnten jüngeren, mylonitischen, granatführenden Biotit-Hornblende-Gneise leukokrate, relativ glimmerarme Lagen von wenigen Zentimetern Mächtigkeit eingeschaltet. Sie enthalten viel Quarz und Mikroklin, daneben Plagioklas, Chlorit, etwas Hellglimmer und Granat.

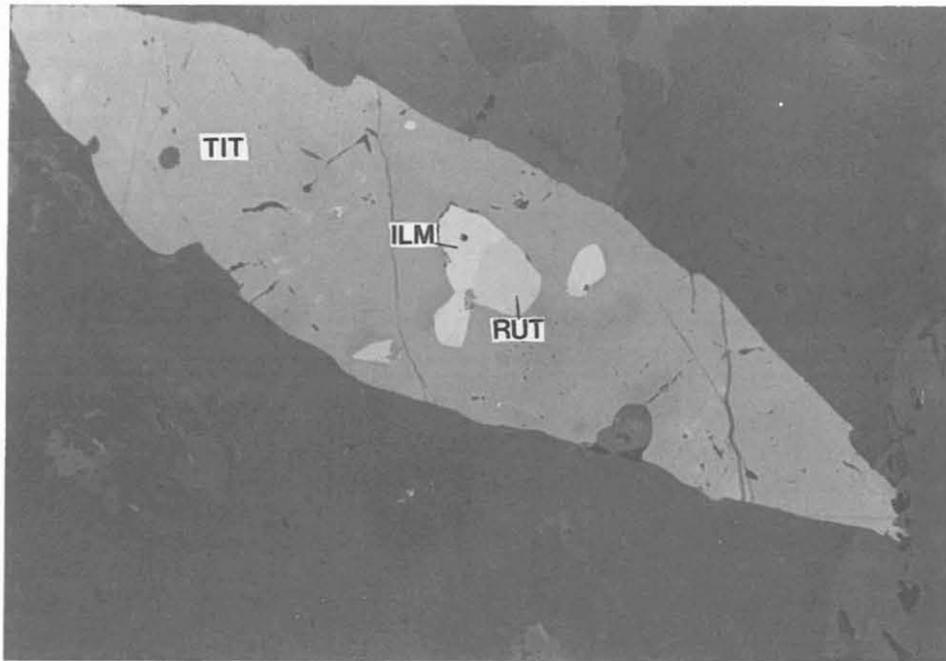


Abb. B.2.11: Ein idiomorpher Titanit schließt ein Rutil-Ilmenit-Aggregat ein. TIT = Titanit, ILM = Ilmenit, RUT = Rutil. Biotit-Hornblende-Gneis. (Anschliff 622G1ad, 2568.23 m, Luft, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 0.8 mm).

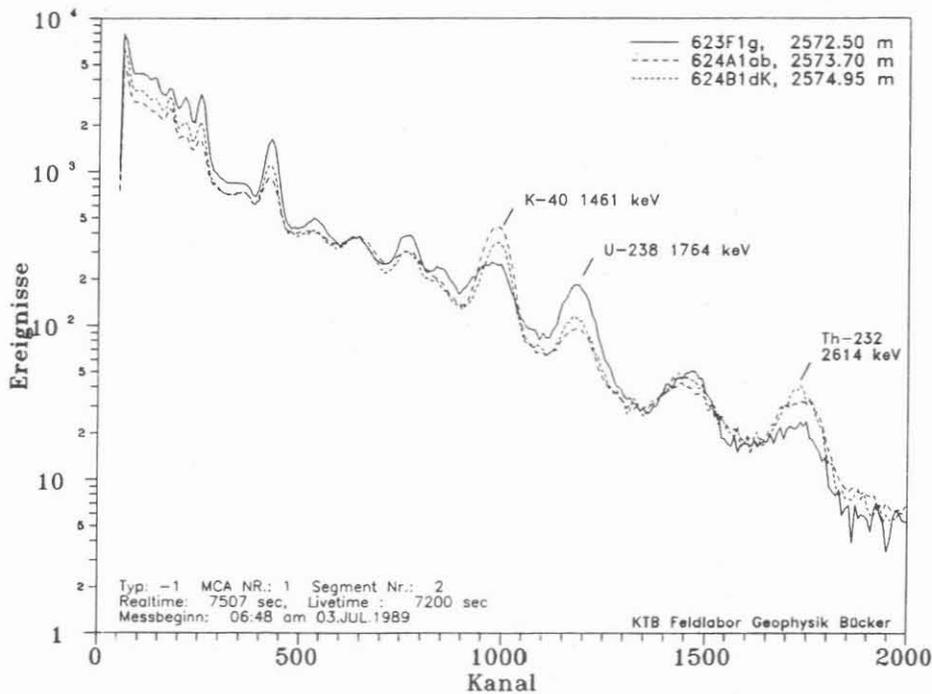


Abb. B.2.12: Gamma-Spektren der Kernstücke 623F1g, 624A1b und 624 Bld. An den verschiedenen Peakhöhen sind die unterschiedlichen Gehalte der Proben an Kalium, Uran und Thorium deutlich zu erkennen. Dargestellt sind die Originalspektren, geglättet über ein 10-Kanal Intervall. Die Spektren sind nicht Kernstücklängen-korrigiert; durch diese Korrektur könnten sich noch geringfügige Verschiebungen in den Peakhöhen ergeben.

Kern- stück	Teufe	QRZ	PLG	KFS	HGL	BIO	CHL	AMPH	GNT	EPD	PRH	TIT	Summe
623G1jI	2572.77	12	31	11	-	-	35	9	-	-	-	-	98
623G1jII	2572.76	-	31	7	6	-	3	14	4	35	-	-	100

Kern- stück	Teufe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Rb	Sr	Y	Zr	Ni
					Tot									
623G1jI	2572.77	52.3	1.15	17.4	11.70	3.37	4.45	3.01	2.70	93	196	61	492	12
623G1jII	2572.76	47.7	2.77	18.8	6.31	1.91	13.60	3.29	1.28	40	433	52	336	144

Tab. B.2.2: RDA- und RFA-Analysen eines Kalksilikatgesteins (in Gew.-% bzw. ppm).

Kern- stück	Teufe	QRZ	PLG	KFS	HGL	BIO	CHL	AMPH	GNT	EPD	PRH	TIT	Summe
612G1q	2509.54	-	10	-	-	-	17	64	-	-	-	9	100

Kern- stück	Teufe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Rb	Sr	Y	Zr	Ni
					Tot									
612G1q	2509.54	44.0	1.35	11.4	11.37	16.36	6.96	n.b.	1.57	45	78	18	136	323

Tab. B.2.3: RDA- und RFA-Analyse eines Chlorit-Hornblende-Schiefers (in Gew.-% bzw. ppm).

Mikroskopisch zeigt sich im Scharnierbereich einer asymmetrisch verfalteten, leukokraten Lage (vgl. Abb. B.2.13), daß der Biotit deformiert und weitgehend zu Chlorit umgewandelt ist (Abb. B.2.14). Quarz und Feldspat bilden ein sehr feinkörniges ($< 100 \mu\text{m}$), rekristallisiertes Korngefüge zwischen ca. $100 - 200 \mu\text{m}$ großen, statisch getemperten Körnern. Plagioklas ist meist serizitisiert (Abb. B.2.15). Mikroklin bildet zum Teil Porphyroklasten.

B.2.5 Sillimanit-Biotit-Gneis-Lagen

Die in die Biotit-Hornblende-Gneise eingeschalteten granatführenden Sillimanit-Biotit-Gneise unterscheiden sich nicht von denen des Teufenabschnitts 2585.5 bis 3009.7 m und werden daher in Kap. B.3.1 zusammenfassen beschrieben.



Abb. B.2.13: Mylonitischer Biotit-Hornblende-Gneis mit einer 2 cm mächtigen, kalifeldspatreichen, kompetenten Lage (x). Während der Granat-Biotit-Hornblende-Gneis die Scherbeanspruchung durch Rekristallisation des Quarzteilgefüges kompensierte, bildete die kompetentere Lage eine asymmetrische Falte (vgl. Abb. B.2.14 und 15). (Kernstück 625B1ck, 2579.41 m).

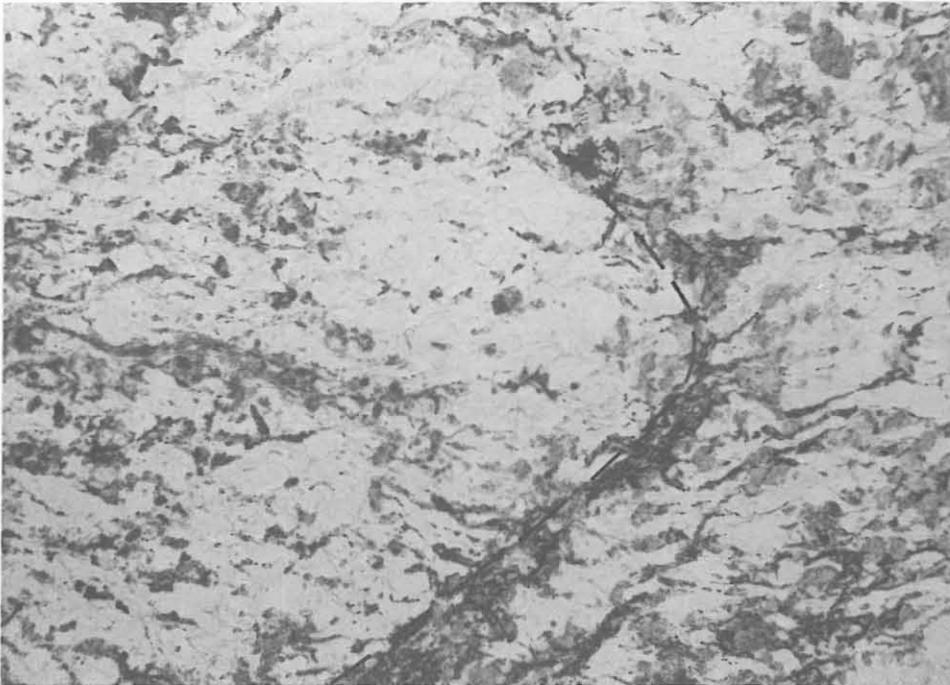


Abb. B.2.14: Spröde deformierter chloritisierter Biotit in einer asymmetrischen Schleppfalte (gestrichelt) mit achsen-ebenenparalleler Schieferung (parallel zur langen Bildkante, vgl. Abb. B.2.13 und 15). Leukokrate kalifeldspatreiche Lage. (DS 625B1cK, 2579.41 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 8 mm).

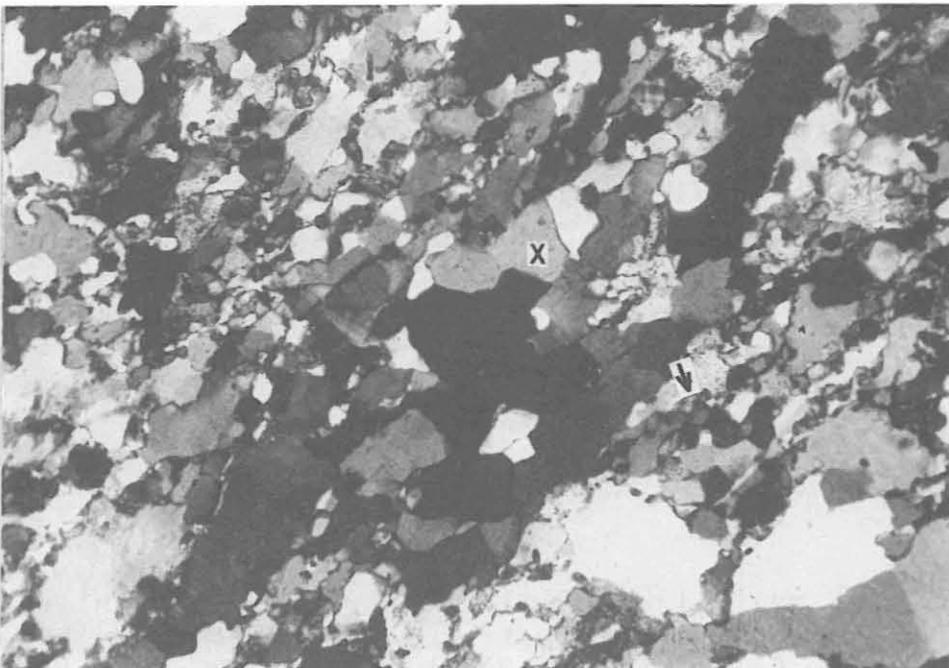


Abb. B.2.15: Feinkörnige Quarz- und Feldspat-Rekristallite (Pfeil) zwischen größeren, statisch getemperten Körnern (x). Vgl. Abb. B.2.13 und 14. Leukokrate kalifeldspatreiche Lage. (DS 625B1cK, 2579.41 m, + Nicols, lange Bildk. ca. 6.2 mm).

B.2.6 Chemische Zusammensetzung der Biotit-Hornblende-Gneise und Amphibolite, Diskussion

Der kleinräumige Wechsel von Biotit-Hornblende-Gneisen mit Kalksilikatlagen, Amphiboliten und Sillimanit-Biotit-Gneisen erinnert an die Abfolge zwischen 0 und 460 m. Die Lagigkeit spiegelt eine primäre Schichtung wider und ist nicht etwa durch metamorphe Differentiation entstanden. Es liegt nahe, auch hier wieder an eine Wechselfolge aus Sedimenten, möglicherweise Pyroklastika, mit einzelnen mergeligeren Lagen zu denken. Abgesehen von vereinzelt, idiomorphen Plagioklaskristallen, die oberhalb 2500 m beobachtet wurden, gibt es keine Hinweise auf ein primär magmatisches Gefüge.

Um zu testen, ob es sich bei den Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten tatsächlich um Orthogesteine handelt, wurden die Niggli-Werte c , mg und $al-alk$ der Analysen zusammen mit denen der Sillimanit-Biotit-Gneise in Diagrammen nach RIVALENTI & SIGHINOLFI (1969) dargestellt (Abb. B.2.16). Hierbei wurden auch 6 Analysen von Biotit-Hornblende-Gneisen aus dem Abschnitt 2469 - 2500 m mit einbezogen (vgl. KTB Report 89-2: C104). Während im Diagramm $c - mg$ fast alle Analysen im "Mischungsbereich" Calcit - Dolomit - Pelit liegen (allerdings unterhalb der Linie des "magmatischen Trends") und daher eine wesentliche Beteiligung von karbonatischem Material an der Sedimentation anhand dieses Diagramms nicht ausgeschlossen werden kann, liegen im Diagramm $al-alk - c$ alle Analysen von Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten im "Magmatit-Feld". Im Diagramm $MgO - K_2O - Na_2O$ (Abb. B.2.17) liegen einige, im Diagramm $Fe_2O_3 + TiO_2 + CaO - SiO_2 - Al_2O_3$ (Abb. B.2.18) fast alle Punkte weit außerhalb des Variationsfeldes für Grauwacken entlang der "magmatischen Trendlinie" (DE LA ROCHE 1965). Dies deutet auf einen vorwiegend orthogenen Charakter der hornblendereichen Gesteine hin, wobei aber vermutlich in einigen Lagen eine Vermischung mit pelitischem Material stattgefunden hat. Die hornblendereichen Lagen sind am einfachsten als Tufflagen im klastischen Sediment zu erklären, ohne daß geringmächtige Lavaströme ausgeschlossen werden können.

In Abb. B.2.19 sind die Analysen von Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten des gesamten Teufenabschnitts 2469 - 3009.7 m (Tab. B.2.4) zusammen mit solchen aus dem Abschnitt 0 - 460 m (Analysen von Biotit-Hornblende-Gneisen zwischen 0 und 460 m aus MÜLLER et al. 1989) und mit Amphiboliten, Metagabbros und Meta-Ultramafititen aus der Abfolge 1160 - 1610 m in Form von Variationsdiagrammen einiger Elemente gegen SiO_2 dargestellt. Biotit-Hornblende-Gneise und die meisten Amphibolite zwischen 2469 und 3009.7 m sind deutlich SiO_2 -, K_2O -, Rb - und Zr -reicher als alle Metabasite aus höheren Teufenbereichen. Sie liegen dagegen niedriger im Fe_2O_3 -, CaO -, MgO - und tendenziell auch im Ni -Gehalt. Die TiO_2 -Gehalte entsprechen denen der Metabasite zwischen 1160 und 1610 m und liegen deutlich unter denen der oberen Wechselfolge (0-460 m). Alle Gesteine mit Ausnahme der Meta-Ultramafitite weisen etwa gleiche Al_2O_3 -Gehalte um 16 Gew.-% auf.

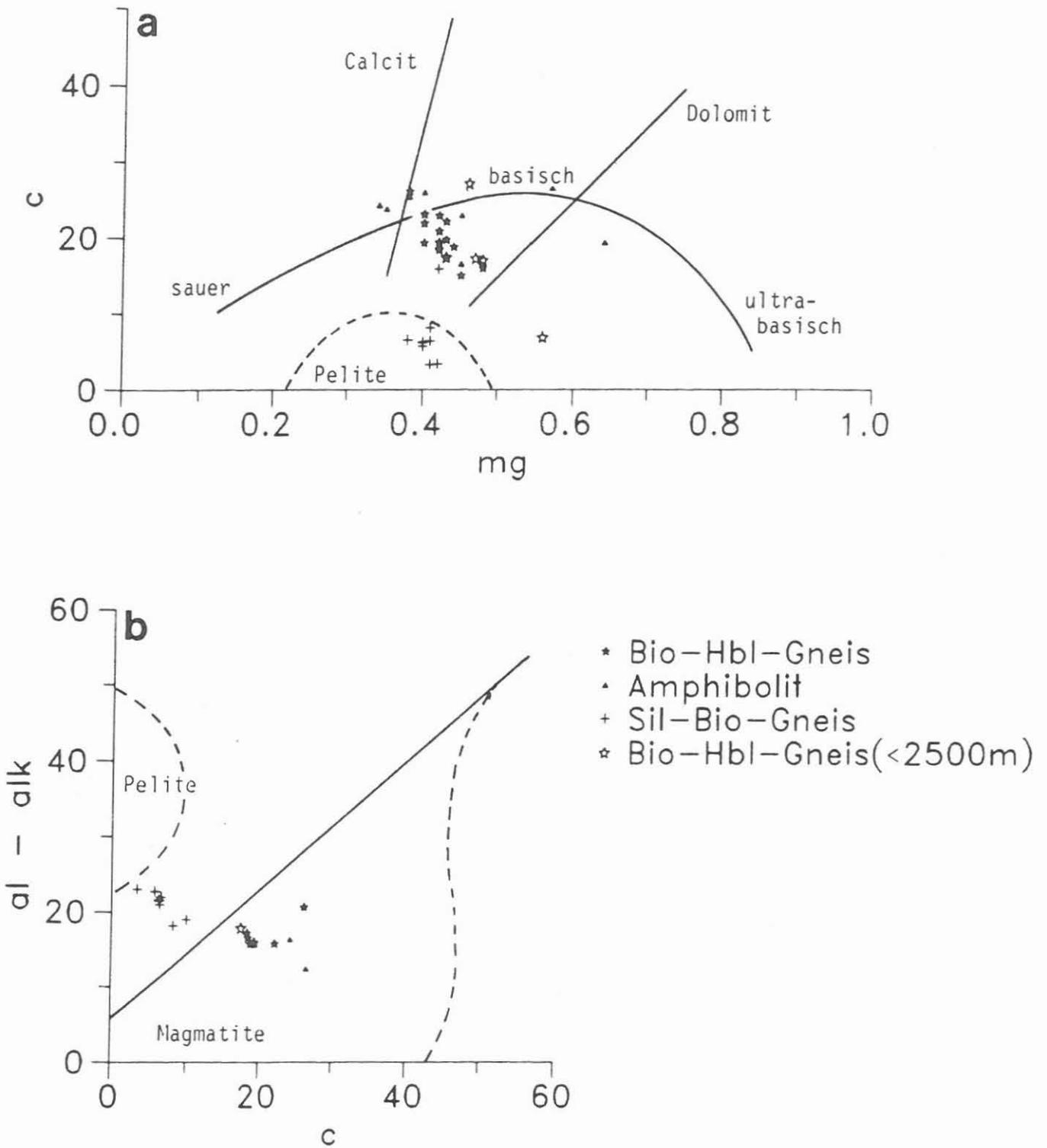


Abb. B.2.16: Diagramm $c - mg$ (a) und $al-alk - c$ (b) nach RIVALENTI & SIGHINOLFI (1969) für Biotit-Hornblende-Gneise, Amphibolite und Sillimanit-Biotit-Gneise zwischen 2469 und 3009.7 m.

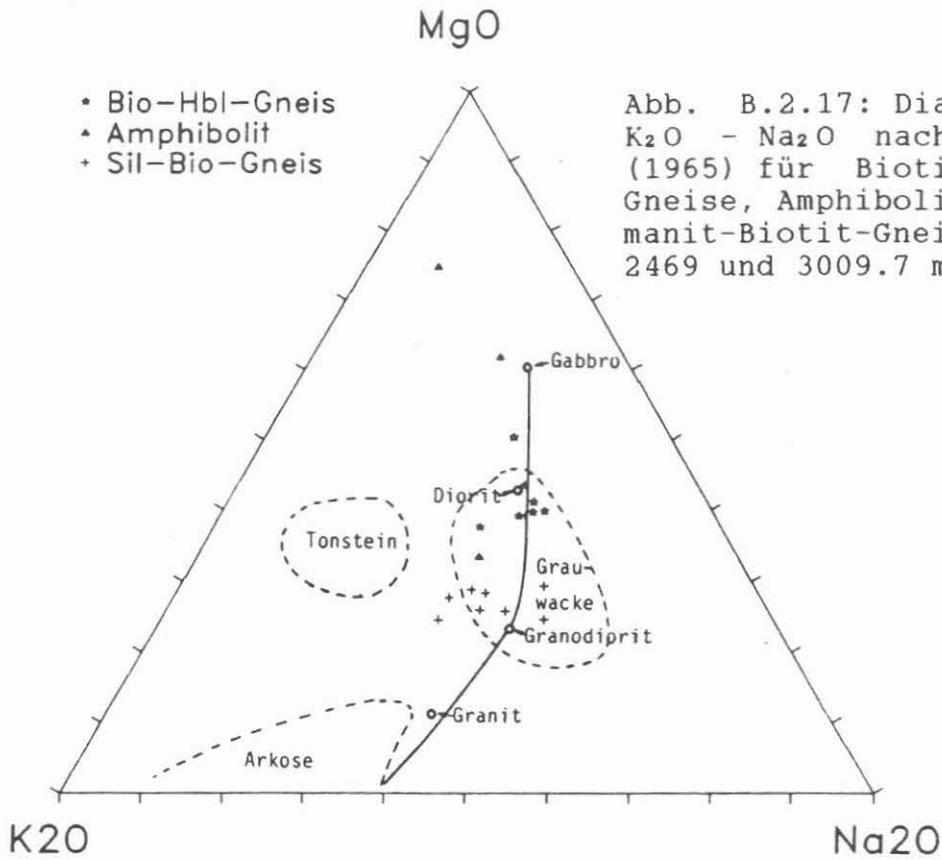


Abb. B.2.17: Diagramm MgO - K₂O - Na₂O nach DE LA ROCHE (1965) für Biotit-Hornblende-Gneise, Amphibolite und Sillimanit-Biotit-Gneise zwischen 2469 und 3009.7 m.

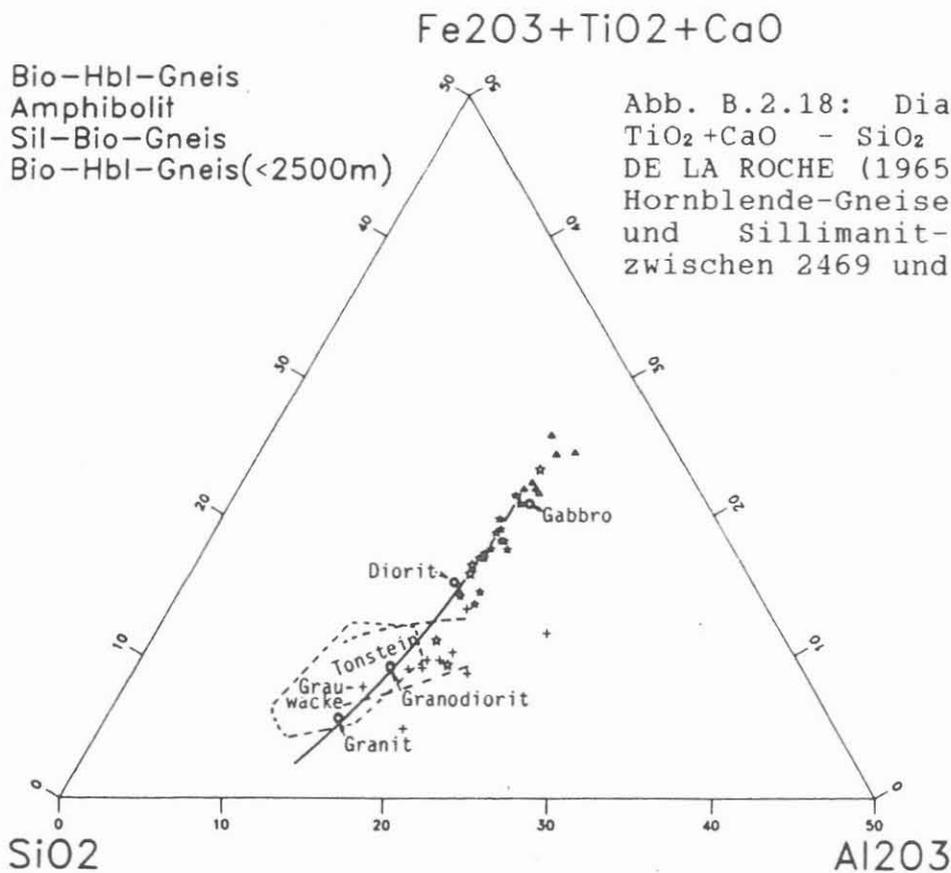


Abb. B.2.18: Diagramm Fe₂O₃ + TiO₂ + CaO - SiO₂ - Al₂O₃ nach DE LA ROCHE (1965) für Biotit-Hornblende-Gneise, Amphibolite und Sillimanit-Biotit-Gneise zwischen 2469 und 3009.7 m.

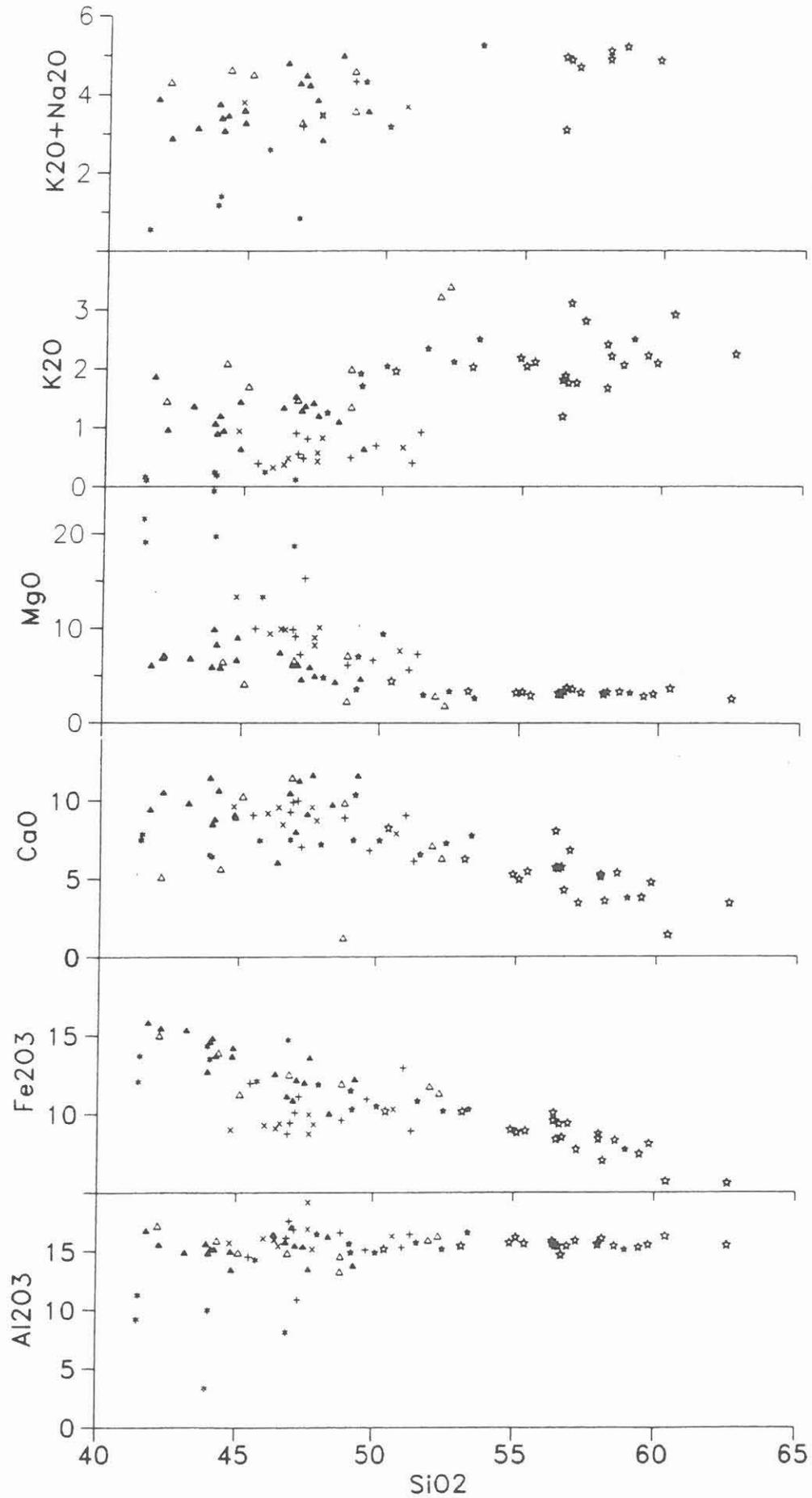


Abb. B.2.19: Variationsdiagramm verschiedener Elemente gegen SiO_2 für Metabasite zwischen 0 und 3009.7 m.

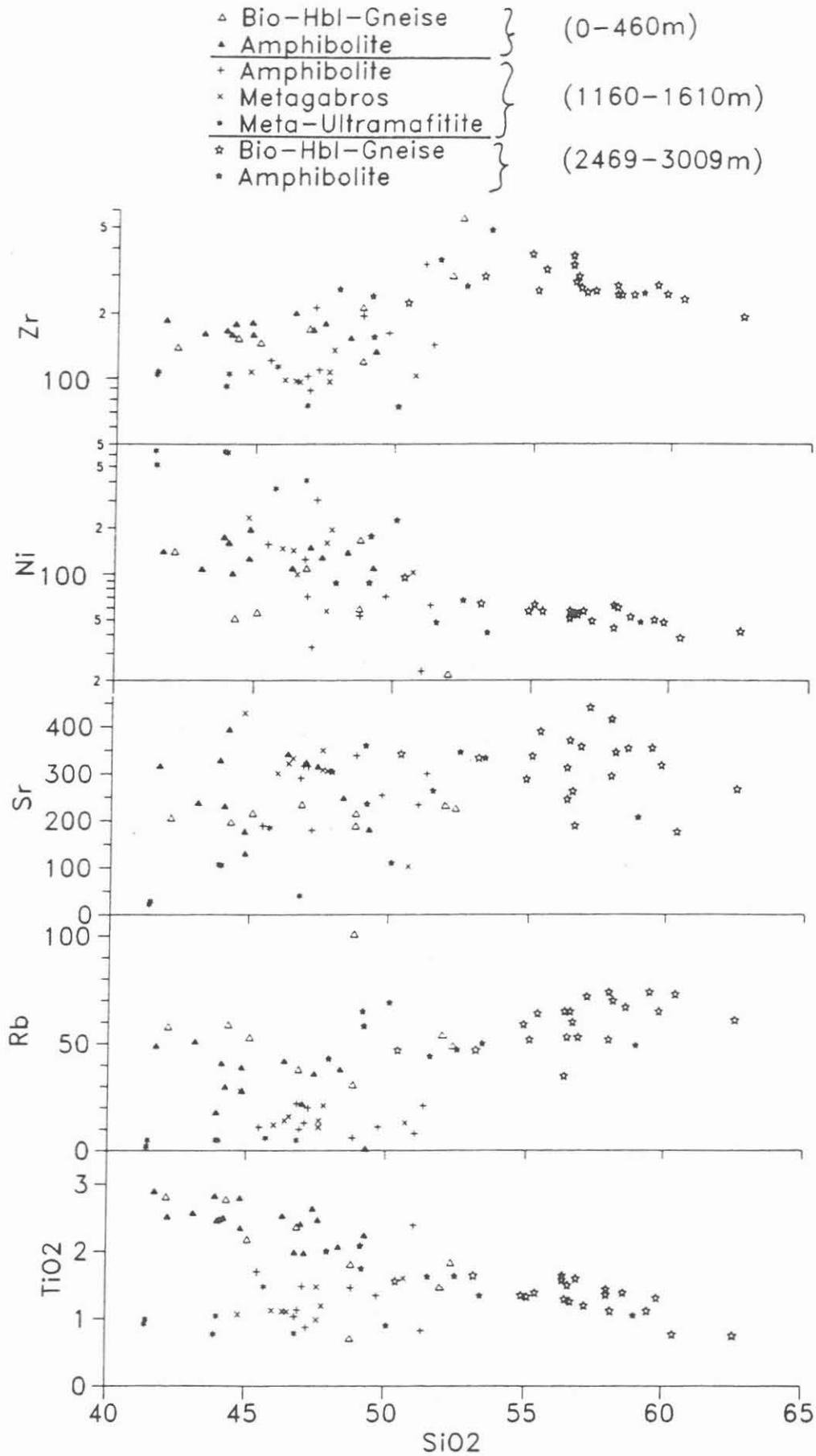


Abb. B.2.19: (Fortsetzung)

Biotit- Hornblende Gneise

Kern- stück	Teufe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Tot	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Rb	Sr	Y	Zr	Ni
611D2j	2501.25	55.1	1.33	16.2	8.86	3.34	4.94	n.b.	2.04	52	337	38	253	63
614C1d	2517.45	56.9	1.60	15.5	9.43	3.61	6.78	2.93	1.76	53	357	40	249	57
614P1j	2519.45	54.6	1.51	16.0	9.42	2.85	7.01	n.b.	2.28	59	187	39	246	57
616A1a	2526.20	58.6	1.39	15.5	8.36	3.35	5.35	3.14	2.06	67	353	36	242	52
616P1hK	2530.44	55.4	1.39	15.7	8.95	2.96	5.44	n.b.	2.11	64	389	43	317	57
617E1m	2535.11	58.1	1.12	16.1	7.07	3.31	3.57	n.b.	2.21	70	345	34	242	60
618D1eKII	2540.29	59.0	1.05	15.2	7.76	3.19	3.74	n.b.	2.49	49	206	32	246	48
618H1m	2543.81	54.9	1.35	15.8	9.05	3.26	5.26	n.b.	2.18	59	288	46	372	57
619B1b	2544.71	59.5	1.12	15.4	7.49	2.91	3.79	n.b.	2.22	74	354	35	268	50
619C1c	2545.51	56.5	1.29	15.5	8.42	3.09	5.64	n.b.	1.88	53	370	39	278	55
619E1gK	2547.10	58.0	1.36	15.6	8.77	3.23	5.25	3.21	1.67	52	415	35	267	62
619P1jK	2548.00	57.2	1.20	15.9	7.78	3.26	3.45	n.b.	2.81	72	440	35	253	49
620C1c	2551.75	56.4	1.58	15.7	9.60	3.25	5.70	3.13	1.81	65	312	42	332	51
621A1aK	2556.30	56.6	1.50	15.5	9.40	3.41	5.72	3.11	1.76	65	262	43	295	55
713B1bK	2912.07	58.0	1.44	15.7	8.45	3.07	5.11	2.68	2.41	74	294	34	242	44
722E2m	2938.79	56.4	1.64	15.9	10.10	3.14	8.00	1.90	1.19	35	245	55	367	57

Amphibolit

Kern- stück	Teufe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Tot	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Rb	Sr	Y	Zr	Ni
612C1d	2506.57	49.1	2.08	15.7	11.48	3.57	7.43	n.b.	1.91	65	359	41	238	87
612D11K	2507.48	47.9	2.00	16.5	11.87	4.82	7.15	n.b.	1.25	43	304	42	257	87
613E1hK	2514.10	51.6	1.62	15.8	10.81	2.98	6.51	n.b.	2.34	44	263	47	350	48
614B1bK	2516.85	52.5	1.63	15.2	10.20	3.37	7.22	n.b.	2.11	47	345	41	265	67
618D1eKI	2540.28	53.2	1.64	15.5	10.18	3.42	6.23	n.b.	2.03	47	333	43	295	64
623B1b	2568.90	49.2	1.74	14.9	10.30	7.01	10.30	2.61	1.70	58	235	29	154	176
699B2d	2858.56	50.1	0.90	14.9	10.50	9.40	7.40	1.12	2.04	69	110	25	74	224
725A1a	2953.78	53.4	1.34	16.6	10.30	2.64	7.70	2.74	2.49	50	332	55	478	41

Tab. B.2.4: RFA-Analysen von Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten des Teufenabschnitts 2500 - 3009.7 m (in Gew.-% bzw. ppm).

Im SiO_2 - Alkalien-Diagramm (Abb. B.2.20) fallen die Hornblende-Biotit-Gneise des Teufenabschnitts 2469 - 3009 m ins Andesitfeld, während die Amphibolite dieses Teufenabschnitts und die Metabasite aus den höheren Teufenbereichen eher basaltischen Chemismus zeigen.

Trotz der ähnlichen Gesteinsassoziation bestehen also deutliche Unterschiede im Chemismus zwischen der oberen Wechselfolge (0-460 m) und der in diesem Teufenabschnitt beobachteten. Es bleibt zu klären, ob die erhöhten Gehalte an SiO_2 , K_2O , Rb und Zr auf sedimentärer Zufuhr von Quarz, Tonmineralen und Schwermineralen beruhen oder ob es sich um ein primär anderes magmatisches Ausgangsmaterial gehandelt hat. Eine Teufenabhängigkeit dieser Elementgehalte besteht nicht.

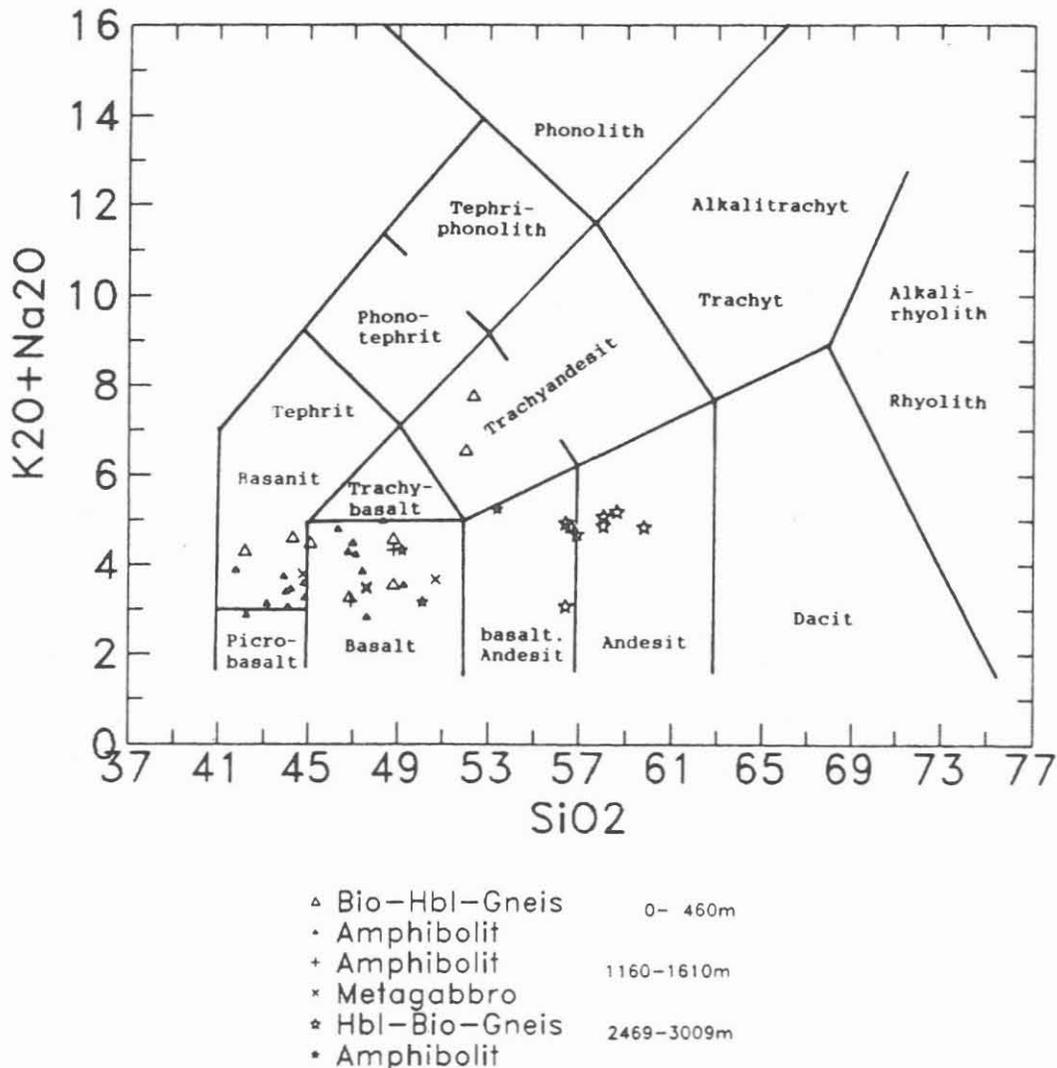


Abb. B.2.20: Alkalien - SiO_2 Diagramm mit Feldereinteilung nach LE MAITRE (1984). Die Hornblende-Biotit-Gneise des Teufenabschnitts 2469 - 3009.7 m unterscheiden sich durch ihren eher andesitischen Chemismus von den eher basaltischen Metabasiten aus den höheren Teufenbereichen.

B.3 Abschnitt 2585.5 - 3009.7

B.3.1 Sillimanit-Biotit-Gneise

Die granatführenden Sillimanit-Biotit-Gneise dieses Teufenabschnittes entsprechen den geringmächtigen Einschaltungen in den darüberliegenden Biotit-Hornblende-Gneisen. Die makroskopisch unterscheidbaren Gefügetypen sind in den Profilen in Abb. B.1.1 und B.11 ausgehalten.

Im mittelkörnigen Gneistyp ist der Lagenbau, der gelegentlich kleinmaßstäblich asymmetrisch verfaltet ist (Abb. B.3.1), deutlicher ausgebildet als in den entsprechenden Gneisen der vorangegangenen Berichtsstrecke (1709-2500 m). Auch treten die feinkörnig-straflagigen, Hochtemperatur-mylonitischen Gneise (vgl. RÖHR et al. 1989: B55) anteilmäßig stark zurück. Sie bilden selten mehr als 2 m mächtige, foliationsparallele Einschaltungen in überwiegend feinkörnigen, lagigen Gneisen. Im Gegensatz zur Kernstrecke von 1945 m - 2360 m fehlen in der mylonitischen Varietät der aktuellen Kernstrecke deformierte Mobilisate.

Plagioklas ist unterschiedlich stark serizitisiert und/oder durch feinstkörnigen Klinozoisit getrübt. Neben den bereits ab ca. 1920 m beobachteten Einschlüssen von reliktischem Kyanit treten unterhalb 2585 m zusätzlich Sillimanit- (Abb. B.3.2), Biotit-, Granat- und Muskovit-Einschlüsse im Plagioklas auf. Hier scheint eine frühe Paragenese durch Plagioklas-Blastese konserviert worden zu sein. Je nach Alterationsgrad ist der Biotit teilweise oder vollständig in Chlorit umgewandelt. Gelegentlich hat Biotit nadelige Einschlüsse von Graphit und Ilmenit, untergeordnet auch von Sulfiden, die oft parallel zur Spaltbarkeit eingeregelt sind (DS 653C2cKII, 2720,78 m; DS 654B1b, 2722.25 m).

Granat tritt untergeordnet auf, ist aber gelegentlich in Lagen angereichert. Siebartige Granatkerne mit vielen Quarz- und Plagioklas-Einschlüssen sind selten. Vereinzelt kommen Granatkörner mit lagig angeordneten Biotit-, Rutil- und ?Graphit- oder ?Ilmenit-Einschlüssen vor, die vermutlich Entmischungskörper früherer Biotite darstellen, aus denen der Granat statisch gewachsen ist. Die Einschlüsse zeichnen ein internes "s" nach, daß spitzwinkelig zur externen Foliation orientiert ist (Abb. B.3.3). Dabei zeigen verschiedene Körner im selben Dünnschliff ähnliche Orientierung des Interngefüges. Dies deutet auf eine ältere Foliation hin, in die die ehemaligen Biotite eingeregelt waren. In Granat-Biotit-Gneisen ohne Al_2SiO_5 -Mineral und Muskovit wird der Granat in Biotit-Plagioklas-Aggregate umgewandelt (Abb. B.3.4). In einigen Dünnschliffen aus dem Teufenbereich 2910 bis 2913 m wurden massenhaft auftretende Rutil-Ilmenit-Aggregate als Einschlüsse in Granat beobachtet.

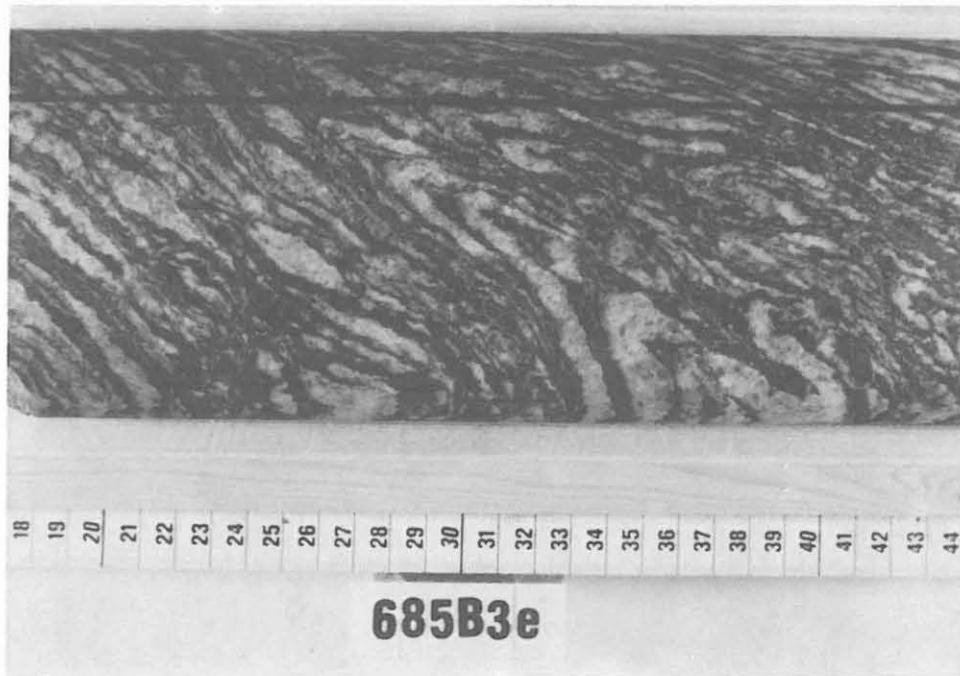


Abb. B.3.1: Asymmetrisch verfaltete Quarz-Feldspat-Lagen im Sillimanit-Biotit-Gneis.
(Kernstück 685B3e, 2811.15 m).

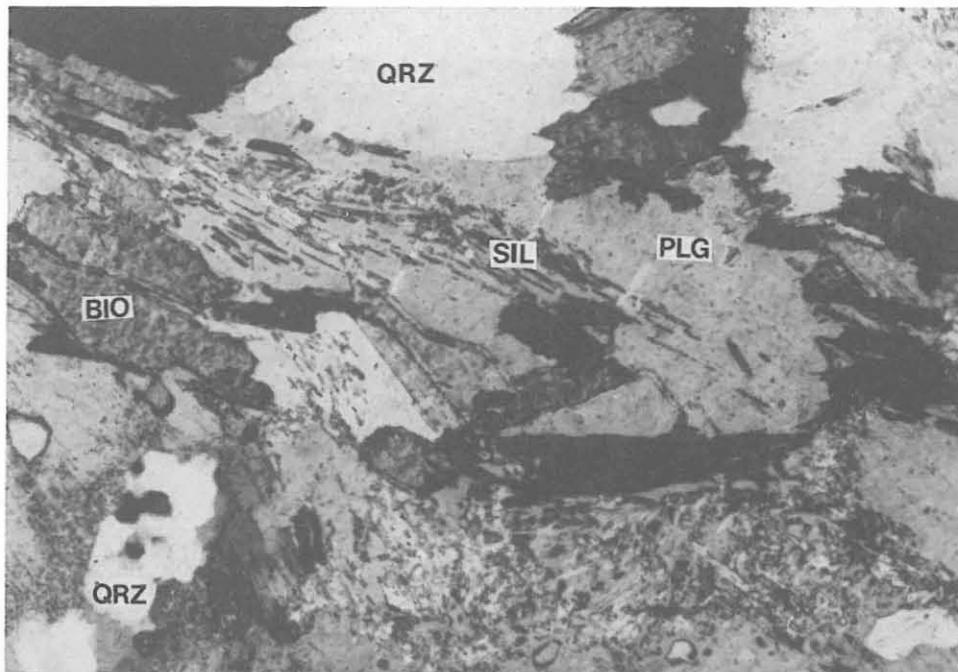


Abb. B.3.2: Schwarm aus Sillimanit-Nadeln als Einschluß in Plagioklas. Der Quarz unten rechts ist rekristallisiert. PLG = Plagioklas, SIL = Sillimanit, BIO = Biotit, QRZ = Quarz. Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis.
(DS 643A1aI, 2701.67 m, + Nicols, lange Bildkante ca 1.6 mm).

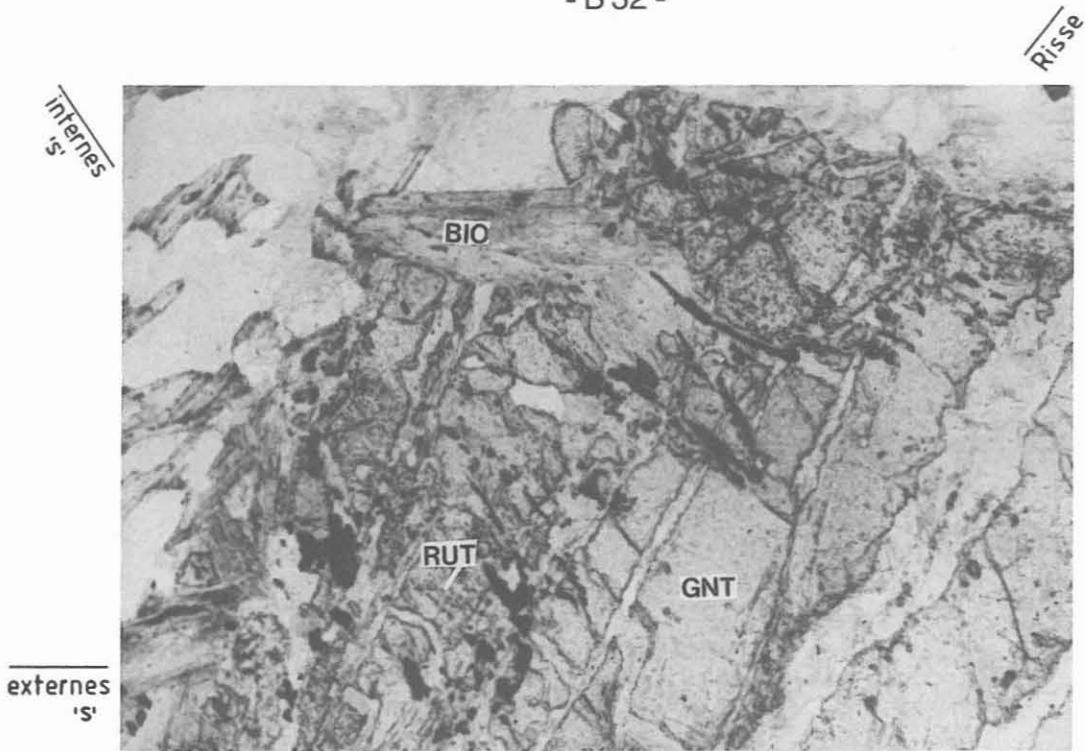


Abb. B.3.3: Granat mit eben orientierten Einschlüssen aus Rutil, Biotit und ?Ilmenit oder ?Graphit, die ein schiefwinklig zur externen Foliation orientiertes, internes "s" nachzeichnen. Risse im Granat sind mit Chlorit und etwas Hellglimmer verheilt. GNT = Granat, RUT = Rutil. Granat-Biotit-Gneis.
(DS 643A1b, 2701.82 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 2.5 mm).

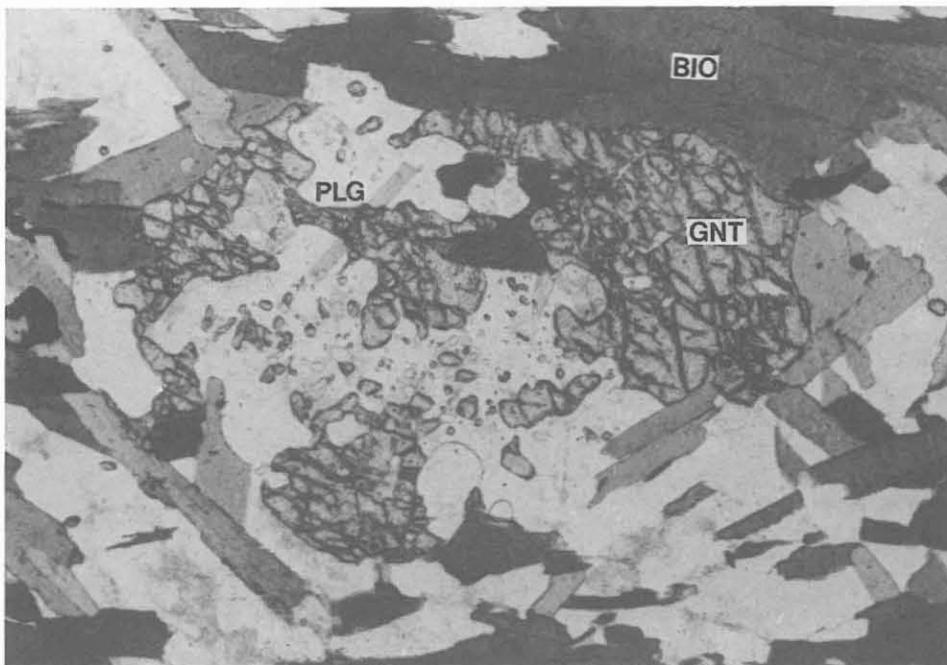


Abb. B.3.4: Pseudomorphose aus Biotit (BIO) und Plagioklas (PLG) nach Granat (GNT), der hier noch relictisch erhalten ist. Granat-Biotit-Gneis.
(DS 648B1d, 2709.32 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 1.6 mm).

Sillimanit tritt in der Regel als Fibrolith auf. Dieser ist meist stark serizitisiert. Sillimanit-Nadeln sind als Einschluß in Plagioklas konserviert. Neben dem Serizit aus Fibrolith gibt es undeformierte Einzelkörner und/oder Aggregate von Hellglimmer in Lagen mit deformierten Biotiten. Bei 2987.2 m bildet Muskovit eine etwa 2 mm dicke Lage aus 0.5 mm großen, regellos gewachsenen Körnern, die offensichtlich aus einer ehemaligen Fibrolithlage gesproßt sind (Abb. B.3.5).

Ein Schnitt durch das Scharnier einer kleinen asymmetrischen Falte (DS 640C2mK, 2693.80 m) zeigt postdeformative Kristallisation des Muskovits. Der größtenteils in Chlorit umgewandelte Biotit ist schwach deformiert. Eine monokline Verfäلتung des Lagenbaues bei 2603.0 m zeigt jedoch postdeformative Biotit-Rekristallisation (Abb. B.3.6). In beiden Faltenstrukturen ist der Quarz feinkörnig rekristallisiert. Schliffe von offenen Falten bei 2695.4 m und 2704.30 m zeigen verbogenen Hellglimmer (z.T. in Fischchenform) und geknit-
terten Biotit (Abb. B.3.7).

Kyanit ist fast ausschließlich reliktsch als Einschluß in Plagioklas erhalten. Hier bildet er maximal 0.2 mm große Körner, meist mit Serizit-Saum. Bei 2820.2 m tritt Kyanit in quarzreichen Lagen mit breiten Muskovitsäumen auf (Abb. B.3.8). Gelegentlich trennt noch ein schmaler Saum aus einem bisher noch nicht identifizierten, farblosen Mineral Kyanit und Muskovit.

In DS 676A3a erscheint gelbbrauner Turmalin mit Granat- und Sillimanit-Einschlüssen. Am Rand dieses Turmalins wird chloritisierter Biotit von einem jüngeren, grünen Turmalin überwachsen. (Abb. B.3.9).

Nach RDA-Analyse variieren die Hauptmineralgehalte folgendermaßen (in Gew.-%, Tab. B.3.1):

Quarz	24-52
Plagioklas	24-51
Muskovit/Sericit	<3-29
Biotit+Chlorit	8-19
Granat	≤3

Das Mikrogefüge der lagigen bis flaserigen Gneise ist in der Regel lepido-granoblastisch mit ebenen bis leicht gebogenen Phasengrenzflächen (Abb. B.3.10). Das Quarzteilgefüge bildet häufig jüngere Deformations- und Erholungsgefüge aus (vgl. RÖHR et al. 1989: B69). Neben vereinzelter Subkornbildung (DS 656B1cK, 2732.70 m, DS 657A1c, 2738.10 m) beobachtet man häufig Korngrenzenmigration im Quarz (z.B.: DS 635C1j, 2628.17 m; DS 640D4a, 2693.80 m) und/oder feinkörnige Rekristallisate. Beide Gefügetypen treten auch nebeneinander im gleichen Dünnschliff auf.

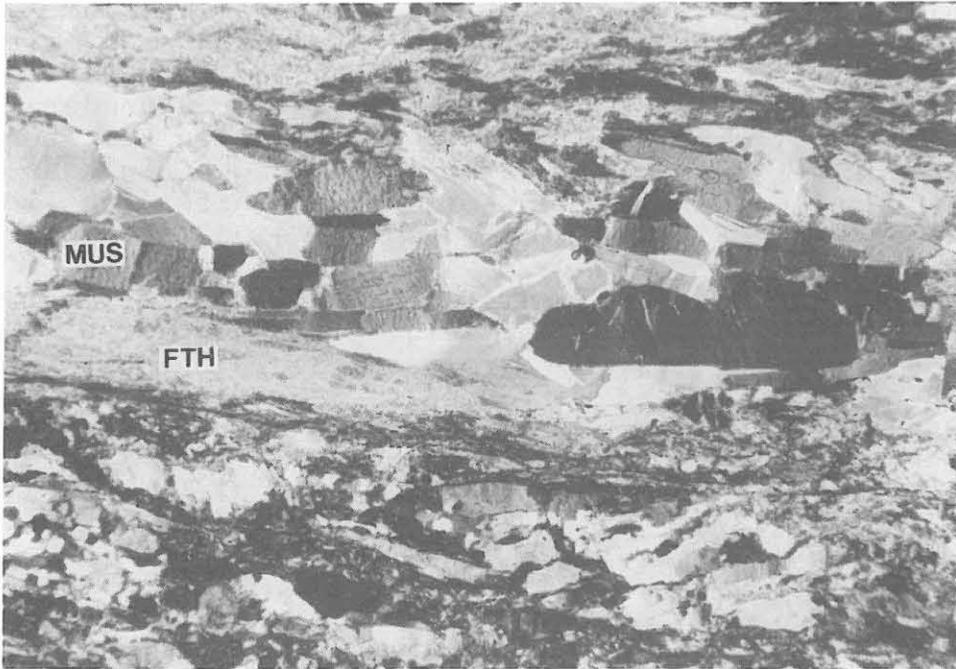


Abb. B.3.5: Lage aus durchschnittlich 0.5 mm großen, regellos gewachsenen Muskovit-Körnern (MUS). Viele Muskovite sind leicht geknickt. Einzelne Exemplare am Rand dieser Lage sind stärker deformiert. Die Lage wird von sericitisiertem Fibrolith (FTH) gesäumt. Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis. (DS 731E1q, 2987.20 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 5 mm).

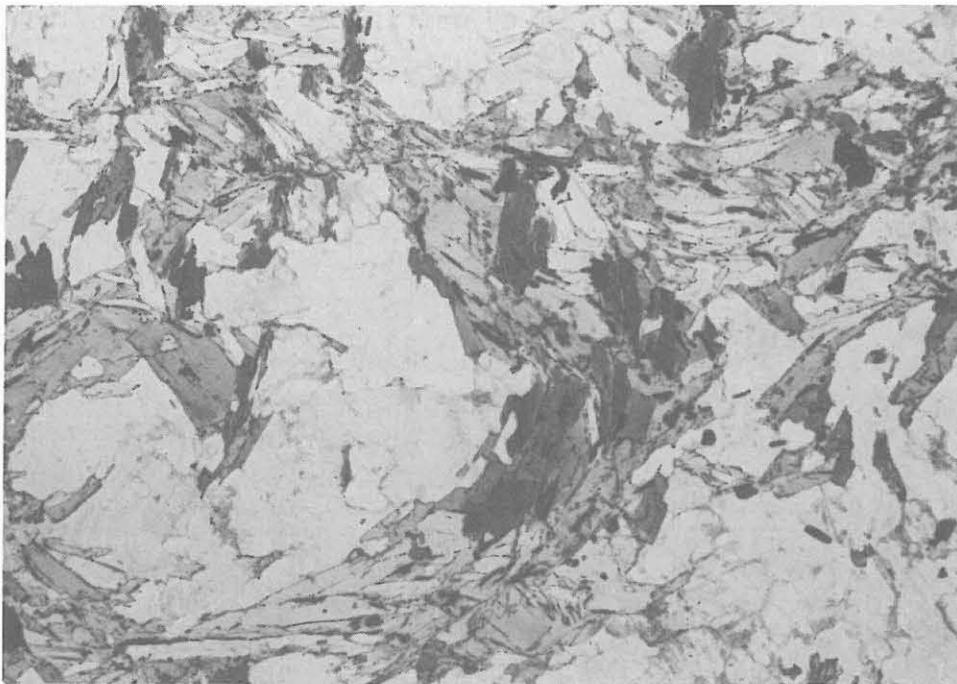


Abb. B.3.6: Postdeformativ kristallisierter Biotit in asymmetrischer Kleinfalte; Sillimanit-Biotit-Gneis. (DS 631A1a, 2603.00 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 6 mm).

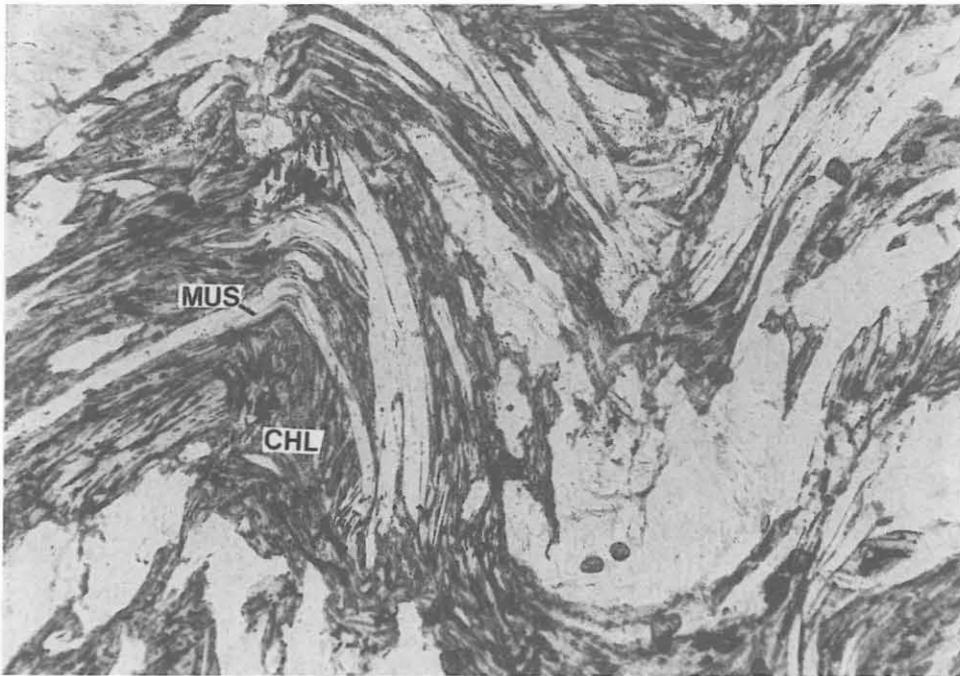


Abb. B.3.7: Im Scharnier offener Knickfalten deformierte Muskovite (MUS). CHL = chloritisierter Biotit. Alterierter Sillimanit-Muskovit-Biotit-Gneis. (DS 732D11, 2990.21 m, 1 Nicol, lange Bildkante 2.5 mm).

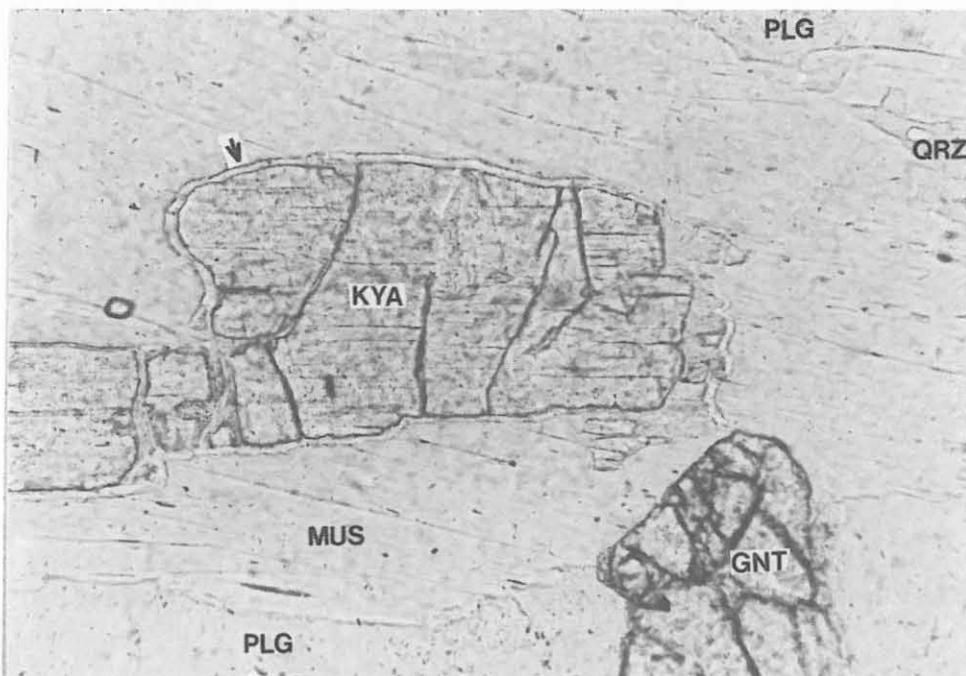


Abb. B.3.8: Kyanit wird von einem schmalen Saum eines unbekanntes Minerals (Lichtbrechung zwischen der von Kyanit und Muskovit, Pfeil) und einem breitem Muskovit-Saum umgeben. GNT = Granat, PLG = Plagioklas, QRZ = Quarz, KYA = Kyanit, MUS = Muskovit. Leukokrater Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis. (DS 688A4a, 2820.19 m, 1 Nicols, lange Bildkante ca. 0.7 mm).

Kern- stück	Teufe	QRZ	PLG	KFS	HGL	BIO	CHL	GNT	Summe
611H2p	2504.70	35	24	-	22	9	9	-	99
615E1fK	2523.45	38	53	-	-	9	-	-	100
624D1jK	2576.87	24	35	19	10	-	12	-	100
632E1uk	2612.52	36	43	-	14	-	8	-	101
644A1f	2703.03	45	30	-	14	1	8	2	100
652C1j	2717.50	29	28	-	29	-	14	-	100
655H1u	2731.66	32	42	-	14	6	6	-	100
659B2e	2746.45	39	30	-	19	3	7	-	98
661D1m	2754.78	52	30	-	10	-	8	-	100
662A1a	2758.12	49	27	-	12	-	12	-	100
663P1y	2762.50	39	35	-	15	-	11	-	100
672A1b	2782.10	36	26	-	23	7	8	-	100
674A6	2785.29	30	29	-	22	-	19	-	100
679B2f	2797.20	41	25	-	18	-	16	-	100
681A6T	2801.80	44	39	-	8	2	7	-	100
683C1g	2807.35	44	30	-	14	4	9	-	101
685E3r	2814.12	42	40	-	-	8	9	-	99
686C1o	2815.85	49	36	-	6	4	4	-	99
687A1b	2816.10	51	31	-	7	4	7	-	100
687C1g	2817.50	32	38	-	12	-	18	-	100
688A1R	2820.00	42	32	-	8	11	4	3	100
688B4g	2821.15	30	51	-	-	-	19	-	100
691A1R	2833.15	52	33	-	7	3	5	-	100
692A1a	2835.40	28	37	-	14	7	14	-	100
696C4l	2852.43	48	41	-	-	4	7	-	100
704A3aT	2872.65	37	33	-	14	4	12	-	100
708A1bK	2885.76	48	37	-	-	7	8	-	100
710D1p	2896.37	35	35	-	14	8	9	-	101
711H1a1T	2905.60	35	35	-	17	9	5	-	101
717A6aR	2918.18	45	36	-	10	6	4	-	101
726B1c	2960.44	36	38	-	16	-	11	-	101
727P2a	2968.05	42	30	-	16	6	6	-	100
730B1i	2978.60	31	31	-	19	-	19	-	100
733B1g	2991.82	40	26	-	22	-	12	-	100
735B1b	3002.92	39	39	-	10	3	10	-	101
Mittelwerte		39	34	-	12	3	10	-	

Tab. B.3.1: RDA-Analysen von granatführenden Sillimanit-Biotit-Gneisen des Teufenabschnitts 2500 - 3009.7 m (in Gew.-%).

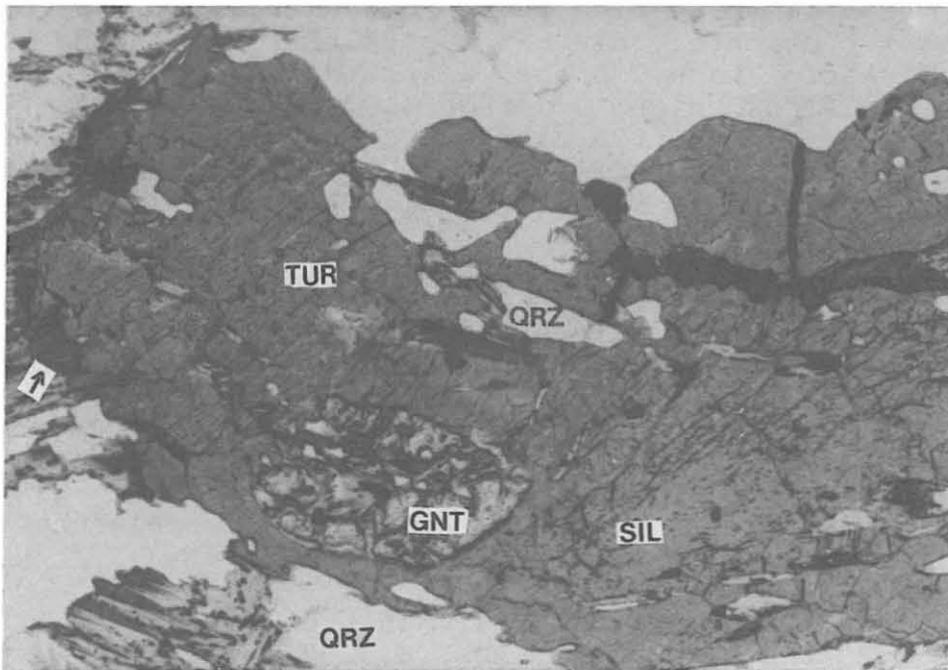


Abb. B.3.9: Gelbbrauner Turmalin schließt Quarz, Granat, Sillimanit und chloritisierten Biotit ein. Am linken Rand überwächst ein jüngerer, grüner Turmalinsaum chloritisierten Biotit (Pfeil). TUR=Turmalin, GNT=Granat mit chloritisiertem Biotit, QRZ= Quarz, SIL=Sillimanit-Einschlüsse. Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis.
(DS 676A3a, 2787.06 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 2.9 mm).

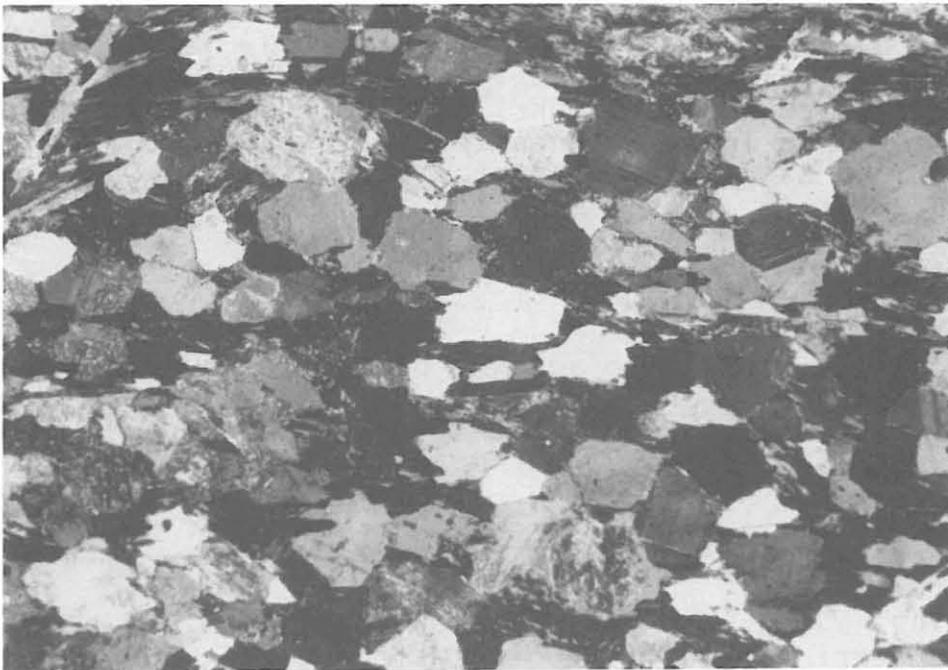


Abb. B.3.10: Rekrystallisiertes Quarz-Plagioklas-Gefüge im Sillimanit-Biotit-Gneis.
(DS 663Fly, 2762.50 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 6.2 mm).

Weniger häufig wurde eine feinkörnige Rekristallisation von Plagioklas beobachtet, die mit Myrmekitbildung (Abb. B.3.11) gekoppelt sein kann. Diese Rekristallisation führt zu einem ungleichkörnigen Gefüge (100-2000 μm) aus kleinen Rekristallisaten mit verzahnten Korngrenzflächen um wenige große Altkörner (DS 612B1c; 2506.05 m; Sillimanit-Biotit-Gneis-Einschaltung in Biotit-Hornblende-Gneis).

Die unterschiedliche Anisotropie von mittelkörnig-lagig-flaserigen bzw. feinkörnig-straflagigen Sillimanit-Biotit-Gneisen macht sich in den physikalischen Eigenschaften bemerkbar (s. Diskussion zu Abb. D.3.2). Es ist zu vermuten, daß manche physikalischen Eigenschaften auch innerhalb der Foliations-ebene in Abhängigkeit vom Winkel zur Lineation variieren. Detaillierte Untersuchungen, ob die beobachteten Streckungs-lineationen (vgl. Kap. B.2) einen Einfluß auf die gesteins-physikalischen Eigenschaften haben, werden durchgeführt.

Die chemischen Analysen der Sillimanit-Biotit-Gneise sind in Tab. B.3.2 zusammengefaßt. Abb. B.3.12 zeigt, daß sie in Bezug auf die Hauptelement-Verhältnisse $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ und $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ im gleichen Bereich variieren wie die Sillimanit-Biotit-Gneise der höheren Teufenbereiche. CaO und Sr liegen dagegen tendenziell etwas höher als im Bereich 1709 - 2469 m.

B.3.2 Biotit-Hornblende-Gneise

Mit Ausnahme der Biotit-Hornblende-Gneis-Einschaltungen zwischen 2635 und 2651 m sowie zwischen 2664 und 2681 m treten Biotit-Hornblende-Gneise und hornblendeführende Biotit-Gneise immer wieder als nur wenige m-mächtige Einschaltungen in den Sillimanit-Biotit-Gneisen auf. Petrographie und Gefüge wurden im Kap. B.2 bereits ausführlich beschrieben. Bei 2951.1 m beobachtet man in Quarzlagen innerhalb einer cm-mächtigen, feinkörnigen Lage Korngrenzenmigration und Rekristallisation (Abb. B.3.13).

B.3.3 Amphibolite

Amphibolit tritt in Form von cm- bis wenige m-mächtigen Einschaltungen sowohl in den Hornblende- als auch in den Sillimanit-Biotit-Gneisen auf. Neben konkordanten Lagen gibt es einen Amphibolitkörper in einer gefalteten Gneislage (vgl. Kap. B.7) sowie Boudins (Abb. B.3.14). Der Amphibolit ist in der Regel foliiert, grobkörnige Partien oder migmatitische Abschnitte sind richtungslos texturiert.

Bei 2709 m enthält ein grobkörniger Amphibolit mm-große Hornblendekristalle mit poikilitischem Interngefüge (Abb. B.3.15). Die gedrungenen Hornblenden führen Einschlüsse von gebleichtem Biotit, Granat, Quarz, einer Opakphase und saussuritisiertem Plagioklas mit Quarzeinschlüssen. Bei

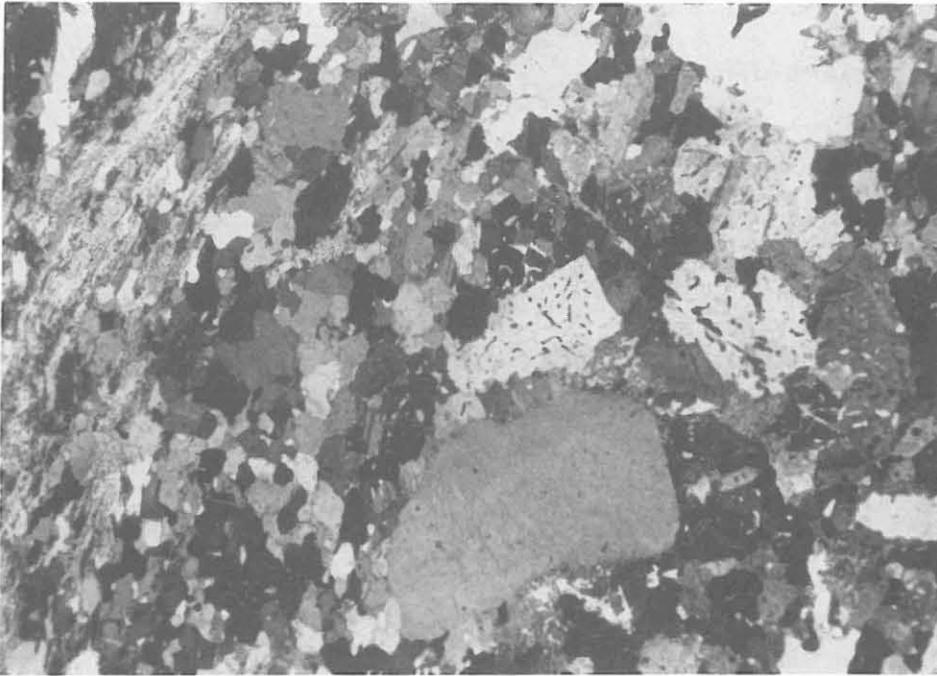


Abb. B.3.11: Plagioklas-Rekristallisate um ein größeres Altkorn (unten, Mitte), mit Myrmekitbildung. Sillimanit-Biotit-Gneis.
(DS 671B2d, 2781.18 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 6.2 mm).

Kernstück	Teufe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Tot	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Rb	Sr	Y	Zr	Ni
611H2p	2504.70	53.3	1.08	20.0	7.80	2.73	0.73	n.b.	3.53	80	142	37	225	42
615E1fK	2523.45	59.2	1.09	16.0	7.13	2.56	3.36	n.b.	2.17	69	329	31	247	45
624D1jK	2576.87	63.6	0.80	15.7	6.10	2.18	1.94	3.05	3.66	104	222	28	213	35
632E1uK	2612.52	61.4	0.86	16.3	6.34	2.46	2.35	n.b.	2.29	73	223	27	188	39
681A6T	2801.80	70.8	0.72	13.6	4.86	1.68	1.53	3.22	1.93	71	214	25	226	30
688A1R	2820.00	67.3	0.83	15.5	6.10	2.08	1.30	2.79	2.45	81	180	29	229	36
704A3aT	2872.65	62.0	0.79	18.3	6.13	2.21	0.77	3.30	3.01	90	119	30	259	36
710D1p	2896.37	64.6	0.83	16.8	6.60	2.24	1.28	2.81	2.70	82	182	30	206	40
711H1a1T	2905.60	62.9	0.86	17.1	6.76	2.33	1.50	2.86	3.21	77	220	32	213	41
726B1c	2960.44	66.3	0.82	16.2	6.05	1.90	1.40	3.09	2.38	74	150	30	231	30
735B1b	3002.92	65.4	0.91	16.1	6.44	2.18	1.38	3.32	1.92	55	162	31	242	44
Mittelwerte		63.5	0.87	16.5	5.92	2.21	1.54	3.06	2.70	78	192	30	229	38

Tab. B.3.2: RFA-Analysen von granatführenden Sillimanit-Biotit-Gneisen des Teufenabschnitts 2500 - 3009.7 m (in Gew.-% bzw. ppm).

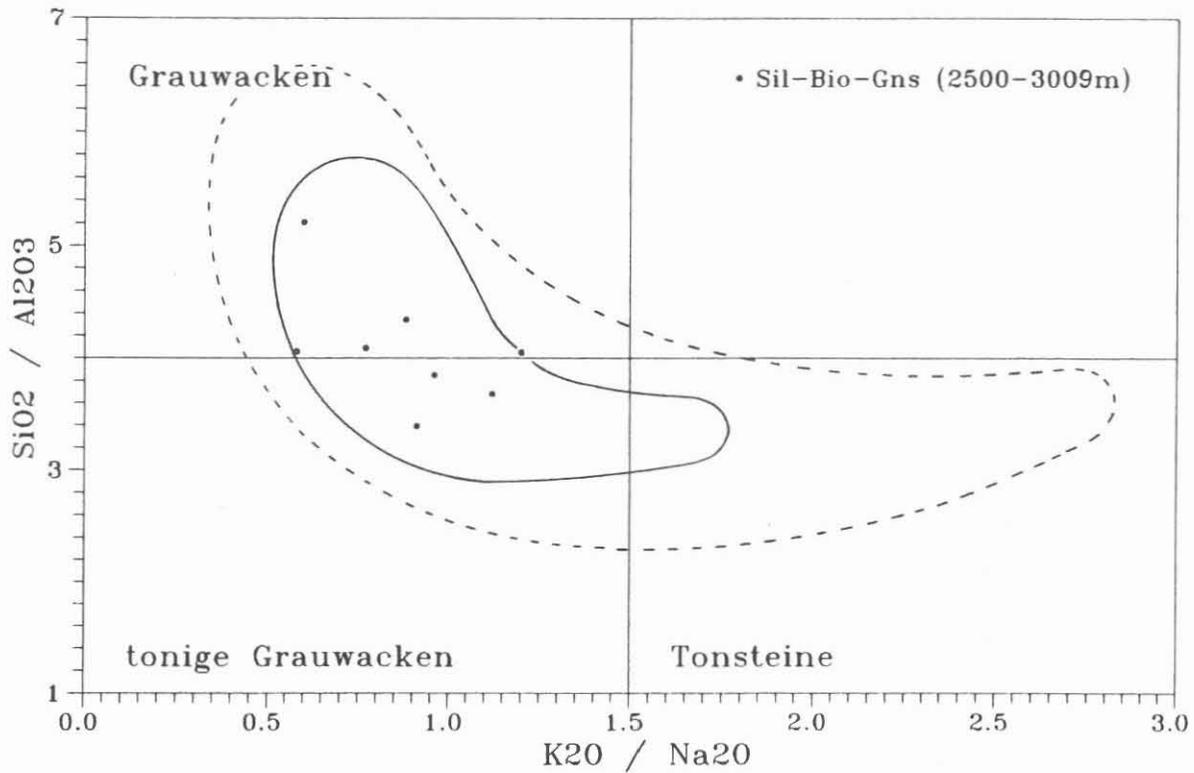


Abb. B.3.12: Sillimanit-Biotit-Gneise im Eduktdiagramm nach WIMMENAUER (1984); Variationsfeld aller zwischen 0 und 2500 m angetroffenen Sillimanit-Biotit-Gneise (gestrichelt); 85 % aller Analysen liegen im inneren Variationsfeld (durchgezogen).

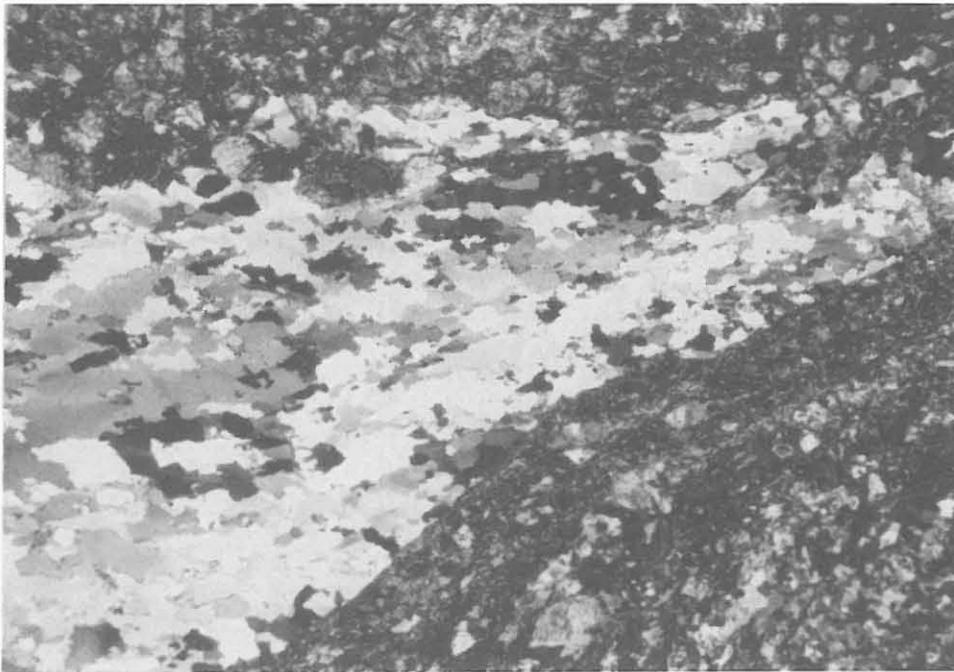


Abb. B.3.13: Deformierte Quarzlage mit Korngrenzenmigration und dynamischer Rekristallisation in einer cm-mächtigen Scherbahn in granatführendem Biotit-Hornblende-Gneis. (DS 724Flu, 2951.07 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 6 mm).

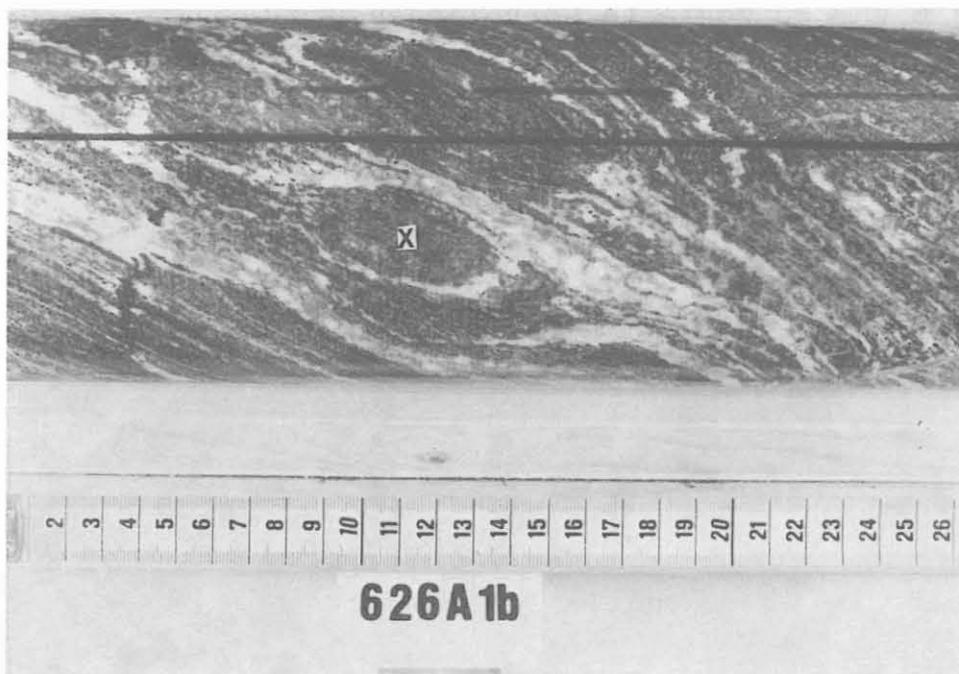


Abb. B.3.14: Amphibolitlinse (x) im Biotit-Hornblende-Gneis.
(Kernstück 626A1b, 2580.20 m).

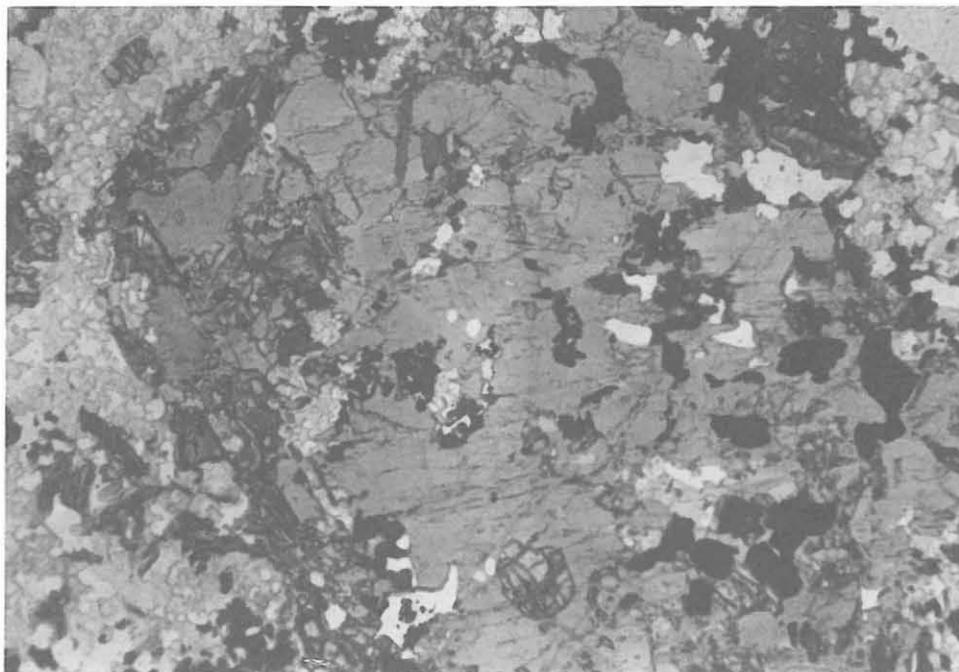


Abb. B.3.15: Poikiloblastischer Hornblende-Kristall mit Ein-
schlüssen von Biotit, Granat, Plagioklas, Quarz und einer
Opakphase. Amphibolit.
(DS 648A1bII, 2708.27 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 8 mm).

2916.90 m wurden zonierte Hornblenden und Granate beobachtet (Abb. B.3.16). Die Diskussion der chemischen Zusammensetzung erfolgt in Kap. B.2.

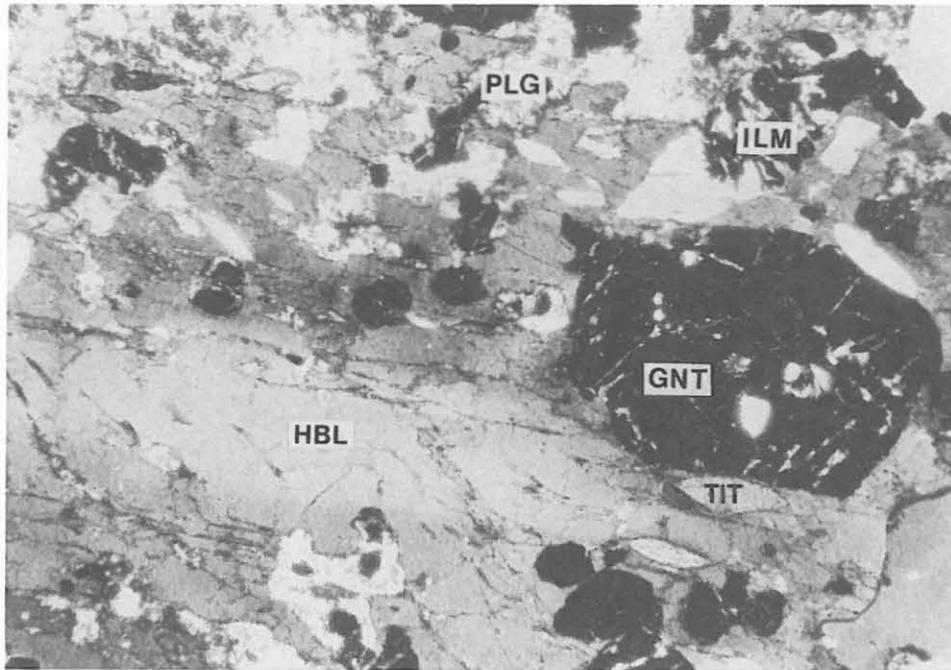


Abb. B.3.16: Zonierte Hornblende (HBL) überwächst Granate (GNT), vollständig saussuritisierte Plagioklase (PLG) und rautenförmige Titanite (TIT - oben links viele kleine Körner), großer Titanit rechts oben teilweise zu Ilmenit (ILM) umgewandelt. Granat-Amphibolit.
(DS 715B1b, 2916.9 m, 2 Nicol, lange Bildkante ca. 2 mm).

B.4 Gänge

B.4.1 Lamprophyre

Bei folgenden Teufen durchschlagen lamprophyrische Gänge die erbohrten Gesteine (KM=Kernmarsch):

2631.9-2632.6 m (KM 635-636)	2894.5 m	(KM 710A)
2695.7-2697.0 m (KM 641)	2898.6 m	(KM 710G)
2712.6-2712.7 m (KM 650)	2899.6-2900.6 m	(KM 710-711)
2740.8-2741.2 m (KM 658)	2902.2-2902.6 m	(KM 711C-D)
2767.3-2767.5 m (KM 664)	2905.4-2905.8 m	(KM 711G-H)
2812.0-2812.8 m (KM 685)	2980.4-2981.7 m	(KM 730)
2892.5-2893.3 m (KM 709)	2989.2-2989.5 m	(KM 732)
	2995.2-2995.6 m	(KM 733)

Bei mehreren geringmächtigen, in kurzen Teufenabständen das Gestein durchschlagenden Gängen (KM 709-711) handelt es sich vermutlich um Apophysen ein und desselben Ganges.

Die feinkörnig massigen Gänge sind durchweg diskordant zur Foliation des Nebengesteines und haben meistens flache bis mittelsteile, ebene Kontakte. Diese Kontaktflächen haben häufig als Scherflächen gedient. Vereinzelt treten geringmächtige Apophysen auf, die einen gebuchteten bzw. zerlappten Kontakt zum Nebengestein haben. Das Nebengestein sind stets Sillimanit-Biotit-Gneise und nie Biotit-Hornblende-Gneise oder Amphibolite, da diese vermutlich eine höhere Zugfestigkeit als die Sillimanit-Biotit-Gneise senkrecht zur Foliation aufweisen (vgl. RÖCKEL & NATAU 1989: H15). Geringmächtige Gänge sind vollständig vergrünt, bei Mächtigkeiten über 0.5 m beschränkt sich die Vergrünung auf das Salband. Die Anlage von salbandparallelen Klüften und kataklastischen Scherbahnen hängt von der Mächtigkeit eines Ganges ab, d.h. geringmächtige Gänge (KM 664, 2767.3 - 2767.5 m) sind vollständig von Scherbahnen durchzogen. Die gangparallelen Klüfte sind mit Quarz, Calcit, Adular, Epidot, Prehnit und Chlorit mineralisiert. Sie könnten als Folge der postmagmatischen Abkühlung entstanden sein (Abb. B.4.1).

Das Mikrogefüge der Lamprophyre ist regellos bis schwach fluidal. Hornblende und Biotit sind die vorherrschenden mafischen Minerale. Sie zeigen vorwiegend serial porphyrische Korngrößenverteilung und können in der häufig grobkörnigeren Gangmitte Korngrößen bis 250 µm erreichen, vereinzelt bis 500 µm. Beide Minerale zeigen eine sehr ähnliche rotbraune Farbe. Meist sind die Hornblendens geringfügig größer und haben Anwachssäume aus farblosem bis schwach grünlichem Aktinolith (Abb. B.4.2). Häufig sind kleine, im Querschnitt leistenförmige Anhäufungen von Leukoxen, bei denen es sich vermutlich um gänzlich zersetzte Biotite handelt. Generell sind idiomorphe, hexagonale Korn-Umriss von Biotit sehr selten. In solchen Schnitten senkrecht zur c-Achse können dann oft Sagenit-

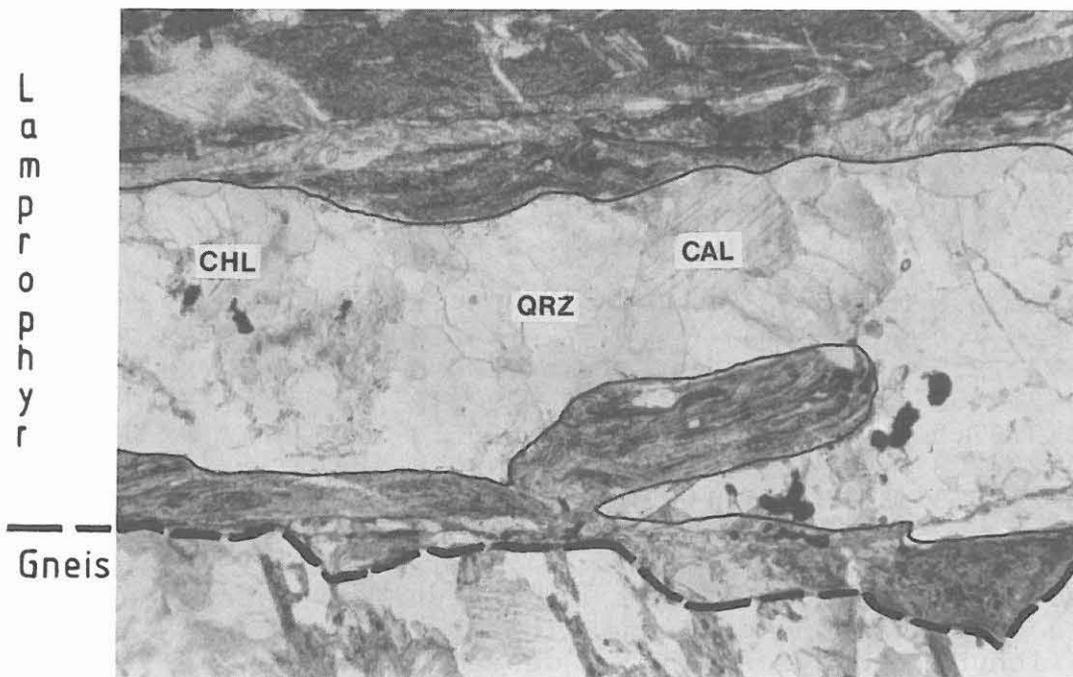


Abb. B.4.1: Primärer Kontakt (gestrichelt) zwischen Lamprophyr (oben) und Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis (unten). Die kontaktparallele Kluft (hell) im Lamprophyr - möglicherweise bei Abkühlung des Ganges entstanden - ist mit Quarz, Chlorit, Calcit und Sulfiden mineralisiert.
(DS 730D1y, 2980.48 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 5.2 mm).

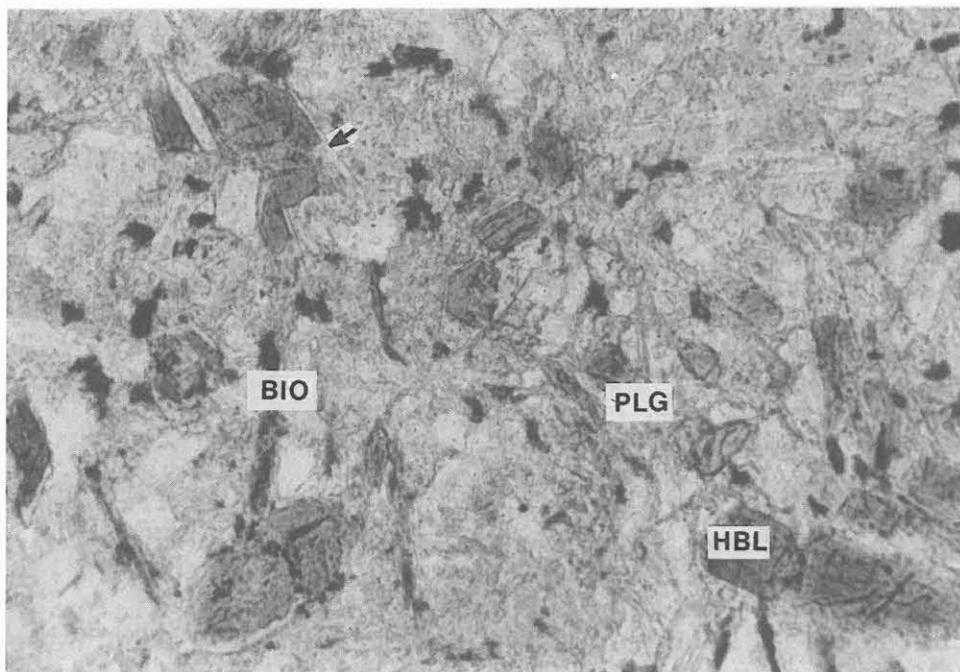


Abb. B.4.2: Braune Hornblende-Kristalle (Kopfschnitte in der Bildmitte) mit farblosem aktinolitischem Anwachsraum (Pfeil), zonierte Plagioklas-Leisten; die leistenförmigen Biotite sind teilweise in Leukoxen umgewandelt. Lamprophyr.
(DS 730D1aa, 2980.77 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 1.1 mm).

Gitter beobachtet werden. Neben Hornblende und Biotit gehört Plagioklas zur Grundmasse. Die meist leistenförmigen Kristalle sind frisch bis geringfügig alteriert und haben Durchmesser bis 300 μm , in plagioklasreicheren Lamprophyren (DS 641B1j, 2696.2 m) liegt die durchschnittliche Korngröße bei 400-500 μm . Häufig sind Zonarbau und/oder Verzwillingung sichtbar. Als Einsprenglingsphase können bis zu 2 mm lange Plagioklas-Leisten beobachtet werden (DS 658B1l, 2740.86 m), die vollständig in Chlorit und Quarz umgewandelt sind. Im Lamprophyr von 2695.7 - 2697.0 m treten bis zu 1 mm große Pseudomorphosen von Biotit und Chlorit möglicherweise nach Plagioklas auf. Olivin pseudomorphosen, wie sie zwischen 1709 m und 2500 m beschrieben wurden (RÖHR et al. 1989: B30), konnten nicht identifiziert werden.

Die durchteuften Lamprophyre weisen einen sehr geringen Anteil an Opakmineralen auf. Es handelt sich um sehr feinkörnige (meist < 0.01 mm), erratisch verteilte Einzelkörner aus Pyrit und weniger Chalkopyrit. Im Kontaktbereich zwischen Lamprophyr und Gneis treten im Gneis vermehrt Sulfide (Pyrit, Chalkopyrit) und Graphit auf. Neben Leukoxen, meist nach Biotit (evtl. Hornblende), sind xenomorphe Titanite, Epidot (häufig in chloritreichen Pseudomorphosen nach Feldspat oder ?Olivin), Calcit und Chlorit die häufigsten Alterationsminerale.

Anhand der RDA-Analysen (Tab. B.4.1) lassen sich zwei Typen von Lamprophyren unterscheiden: solche (nahezu) ohne Kalifeldspat und solche mit etwa gleichen Anteilen Plagioklas und Kalifeldspat. In den ersteren sind leistenförmige Plagioklas deutlich als häufige Grundmasserkristalle zu erkennen, während sie in letzteren wesentlich seltener sind. Dort tritt Kalifeldspat vermutlich als sehr feinkristalliner Grundmassenbestandteil auf und ist mikroskopisch nicht ohne weiteres zu erkennen. Der höhere Plagioklas-Anteil in dem ersteren Lamprophyrtyp korrespondiert mit deutlich erhöhten CaO-, Na₂O- und Sr-Gehalten sowie wesentlich niedrigeren Ni-Gehalten (Tab. B.4.1). Die K₂O-Gehalte sind für Lamprophyre recht niedrig, was vielleicht auf die intensive Chloritisierung des Biotits, die möglicherweise unter gänzlicher Abfuhr des Kaliums stattgefunden hat, zurückzuführen ist.

Die Lamprophyre dieses Teufenbereiches (2500-3009 m) sind nach Mineralbestand und Chemismus kalkalkalisch und können als Spessartite bis Vogesite bezeichnet werden, da neben den wechselnden Plagioklas- und Kalifeldspat-Anteilen die Hornblende im Vergleich zu Biotit überwiegt.

Mitunter sind chloritisierte Pseudomorphosen im Kontaktbereich zum Gneis (DS 730D1y) im Vergleich zur Gangmitte (DS 730D1aa) häufiger. Andererseits ist eine Tendenz zu erkennen, daß die Korngröße in der Grundmasse zum Salband hin abnimmt (chilled margin). Undeformierte Plagioklas-Einsprenglinge können eine Fließregelung zeigen. Ebenso sind in einigen grobkörnigen Lamprophyren die Grundmasseminerale, insbesondere der Biotit, eingeregelt (DS 711H1ab).

Kernstück	Teufe	QRZ	PLG	KFS	HGL	BIO	CHL	Summe
636Ala	2631.95	-	41	6	9	10	8	100
641Alg	2695.95	15	36	-	2	10	18	100
641BljT	2696.10	22	51	-	-	4	8	100
650Bld	2712.41	10	18	17	-	-	54	99
658Cln	2741.06	34	14	23	-	-	29	100

Kernstück	Teufe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Tot	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Rb	Sr	Y	Zr	Ni
636Ala	2631.95	50.0	1.55	16.4	9.11	7.96	7.51	2.03	2.46	90	451	26	234	144
641Alg	2695.95	54.0	1.25	16.1	8.20	7.93	5.36	2.40	1.91	85	476	23	223	179
641BljT	2696.10	51.7	1.03	14.7	7.61	11.24	5.96	n.b.	2.15	84	446	23	211	172
650Bld	2712.41	44.0	1.40	18.0	10.60	11.30	2.65	1.73	2.45	83	199	28	313	340
658Cln	2741.06	54.7	1.05	15.3	9.00	8.40	2.42	1.32	2.04	73	183	21	236	234

Tab. B.4.1: RDA- und RFA-Analysen von Lamprophyren (in Gew.-% bzw. ppm).

Die Lamprophyre sind während und nach der Platznahme deformiert worden. Die Deformation beschränkt sich bei mächtigeren Gängen auf den Salbandbereich. Pseudomorphosen sind mit Annäherung zum Salband hin eingeregelt und z.T. deutlich ausgelängt (DS 658 B11, 2740.86m). Die in der feinkörnigen Grundmasse häufigen Leukoxen-Aggregate (ehemalige Biotite und Hornblenden) sind geplättet und bilden eine meist salbandparallele Schieferung ab.

B.4.2 Adular-Quarz-Epidot-Gänge

Vier diskordante, bis 2.5 cm mächtige Gänge treten in Kernmarsch 681 (2804 m - 2806 m) auf. Sie bestehen aus Adular (Kalifeldspat), Quarz und Epidot, wobei Adular den Gängen eine charakteristische rosa Färbung verleiht. Der Kontakt zum Nebengestein ist buchtig (Abb. B.4.3), das Salband wird häufig von Adular gebildet. Als Folge einer späteren Deformation der Gänge sind die Minerale kataklastisch zerbrochen, Adular und insbesondere Quarz löschen undulös aus.

B.4.3 Pegmatoid

Bei 2856.1 m tritt zwischen hangendem Sillimanit-Biotit-Gneis und liegendem Amphibolit ein insgesamt 40 cm mächtiger grobkörniger Pegmatoid auf (Abb. B.4.4). Er wird von einer 10 cm mächtigen Amphibolit-Scholle oder -Lage unterbrochen. Die Randbereiche des Pegmatoids scheinen schwach deformiert worden zu sein. Er besteht aus Plagioklas, Quarz und wenig Biotit. Ein Teil des Plagioklases ist myrmekitartig von Quarz durchsiebt. Die nach ihrer Lichtbrechung intermediären bis albitreichen Plagioklase zeigen beginnende Serizitisierung. Größere Kristalle neigen randlich zur Ausbildung von Myrmekit. Es gibt große Plagioklas-Quarz-Aggregate, in denen beide Mineralphasen jeweils Vorzugsorientierungen zeigen (Abb. B.4.5). Hierbei könnte es sich um ehemaligen Schachbrett-Albit oder -Oligoklas nach Mikroklin gehandelt haben. Die Plagioklase sind z.T. leicht deformiert und verbogen. Der in feinen Lagen am Rand von großen Plagioklasen oder Plagioklas-Quarz-Verwachsungen angeordnete Biotit ist weitgehend zu Chlorit umgewandelt. Quarz tritt zwischen Plagioklaskörnern, als tropfenförmige Einschlüsse in Plagioklas sowie in monomineralischen Lagen besonders am Kontakt zum Nebengestein auf. Den Kontakt zum liegenden Amphibolit bildet eine mm mächtige Biotit-Lage (DS 699A2bII, 2858.39 m). Diskordante Klüftchen im Pegmatoid sind mit Calcit und Adular mineralisiert.

Eine weitere, etwa 10 cm mächtige pegmatoide Schliere tritt bei 2836.1 m auf. Auffällig sind Quarzeinschlüsse in schwach deformierten Plagioklasen (Abb. B.4.6).

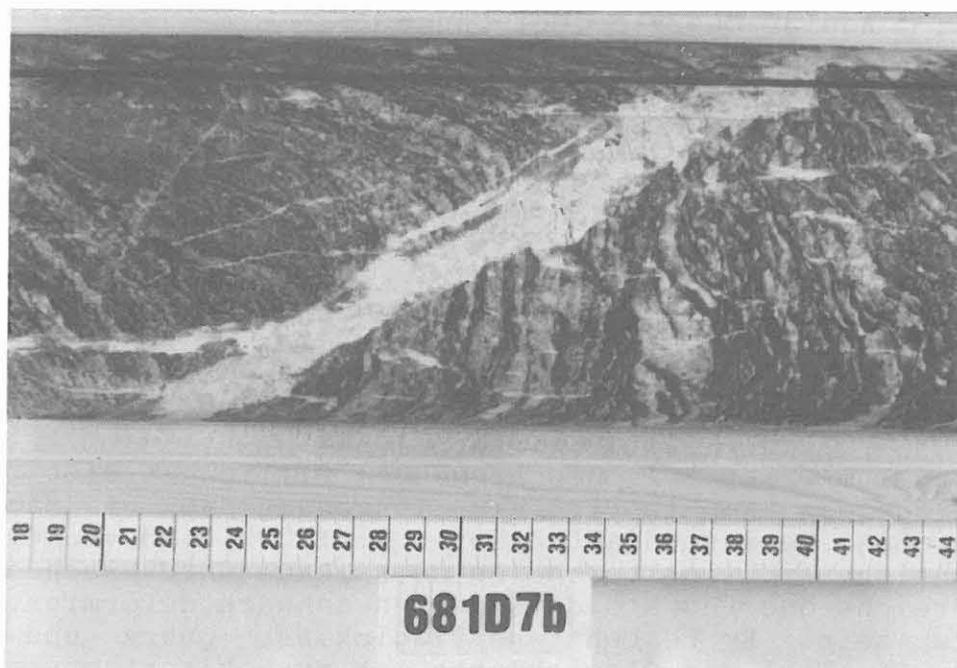


Abb. B.4.3: Diskordanter Adular-Quarz-Epidot-Gang. Das Salband besteht hauptsächlich aus rosa gefärbtem Adular. Sillimanit-Biotit-Gneis.
(Kernstück 681D7b, 2803.73 m).



Abb. B.4.4: Gangförmiger Quarz-Plagioklas-Pegmatoid mit Kontakt zu Amphibolit (rechts), in der Mitte Biotit-Linsen.
(Kernstück 699A2b, 2858.09 m).

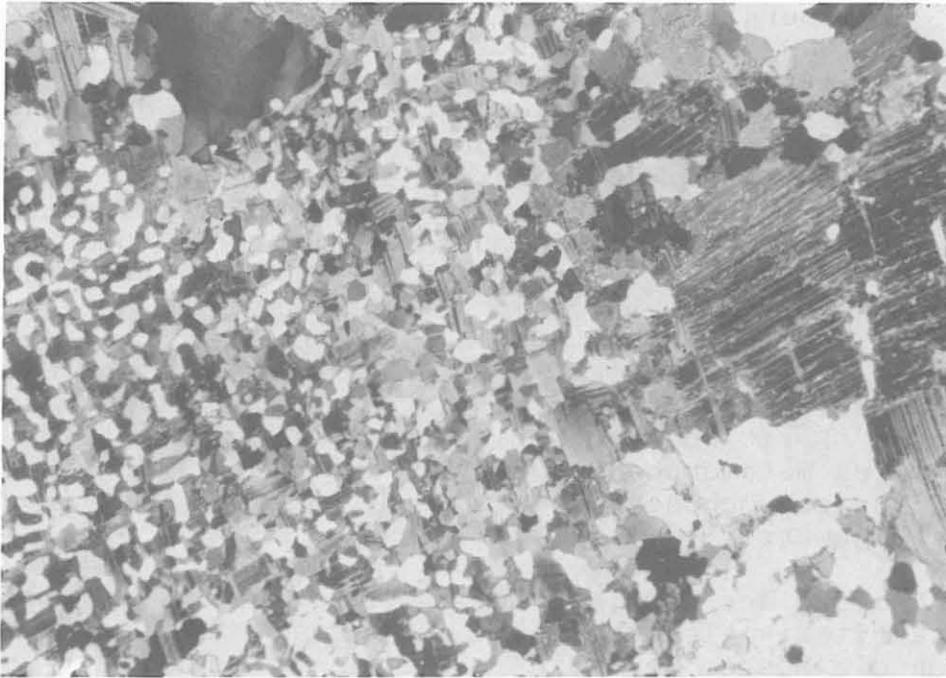


Abb. B.4.5: Graphische Verwachsung von Plagioklas und Quarz (hell) in Pegmatoid-Gang.
(DS 699A2bII, 2858.39 m, + Nicols, lange Bildk. ca. 5.6 mm).

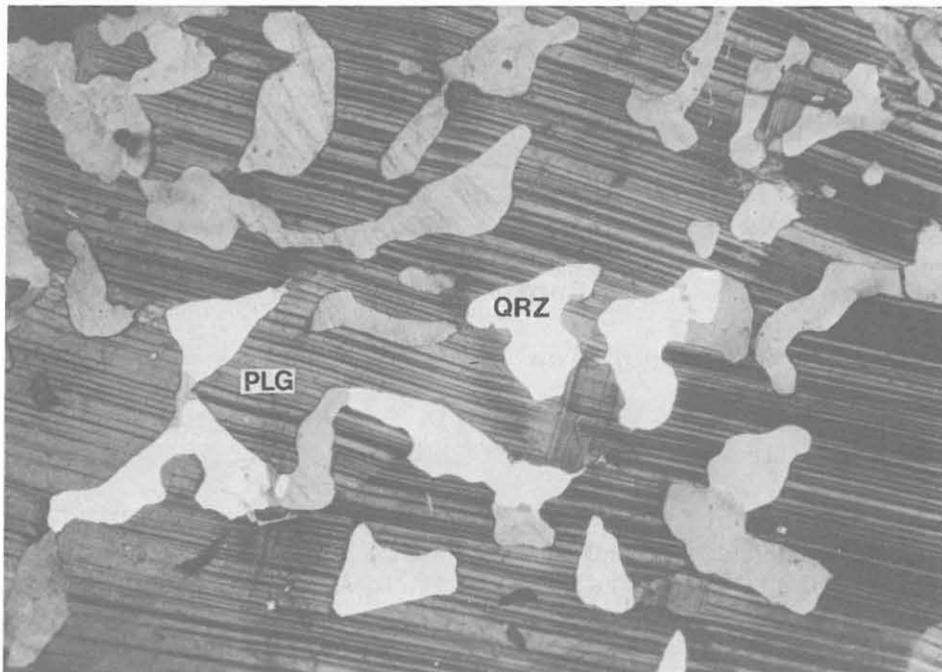


Abb. B.4.6: Schwach deformierter Plagioklas mit vielen Quarz-Einschlüssen. PLG = Plagioklas, QRZ = Quarz. 10 cm mächtiger Pegmatoid in Biotit-Sillimanit-Gneis.
(DS 692A1b, 2836.11 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 6 mm).

B.5 Erzmineralisation

Für die erzpetrographischen Untersuchungen wurden Anschliffe speziell von makroskopisch erkannten Anreicherungen von Erzmineralen im Bohrkern sowie repräsentativ zur Charakterisierung der lithologischen Einheiten bezüglich ihrer Opakmineral-Paragenesen ausgewählt. Weitere Hinweise auf Erzmineralisationen ergaben sich aus der Dünnschliffmikroskopie und aus Anomalien der Suszeptibilität und der natürlichen magnetischen Remanenz (NRM, siehe Kap. D).

Generell ist der Erzmineral-Anteil der durchteuften Gesteine gering. Makroskopisch sichtbare Erzmineralisationen (im wesentlichen Pyrit und Pyrrhotin) bestehen aus regellos oder parallel zum metamorphen Lagenbau orientierten Einzelkörnern, dünnen, unterbrochenen Lagen oder aus kleinen Erzlinsen in der Gesteinsmatrix.

Die Verteilung der Erzminerale im Gestein ist meist erratisch und quantitativ wie qualitativ inhomogen. Analog dazu treten auch die Muster der meist räumlich eng begrenzten magnetischen Anomalien regellos auf. Diese Anomalien werden bis auf ein einzelnes Vorkommen von Magnetit ausschließlich durch Pyrrhotin verursacht (siehe Kap. D - Suszeptibilitäten und natürliche magnetische Remanenz).

Mitunter sind Erzminerale in einzelnen cm-großen sulfidischen Linsen oder in leukokraten Mobilisaten angereichert; in den kalksilikatischen Einschaltungen treten mm-mächtige, lagige Sulfid-Anreicherungen auf.

Der opake Mineralbestand der durchteuften Gneise setzt sich aus den Sulfiden

Pyrit (PYR)	Pyrrhotin (FES)	Chalkopyrit (CPY)
Sphalerit (ZNS)	Galenit (PBS)	Pentlandit (PNT)
Markasit (FEK)	Arsenopyrit (ASS)	Molybdänit (MOS)
Covellin (CUV)	? Cuprit (CUP)	

und den oxidischen Mineralen

Ilmenit (ILM)	Rutil (RUT)	Anatas (ATS)
"Leukoxen" (LEX)	Magnetit (MGN)	

zusammen. Das Auftreten von Ag-Pentlandit und Cuprit (Cu_2O) wird vermutet; Molybdänit, Arsenopyrit und Covellin (CuS) treten nur lokal auf (siehe Tab. B.5.1, B.5.2).

Bisher kann in diesem Berichtsabschnitt aus der Art und der Verteilung der Opakminerale keine Lithologie- oder Teufenabhängigkeit abgeleitet werden.

Kernst.	Teufe (m)	Lithologie	PYR	FES	CPY	ZNS	PNT	FEK	PBS	Sonst.
612E1mK	2508.81	Amphibolit	++	+	+	+	(-)			
612F1nK I,II	2509.00	Amphibolit, Mobilis.	++	+	+		(-)			
612H1t	2510.96	KLK-Band, STÖ	++	+	+	(-)				
613C1e	2512.59	QRZ-Linse, HBL-Gneis	+	(+)	+		(+)			
613D1gK	2513.90	BIO-HBL-Gneis	+	++	(+)					
613F1k	2514.81	Amphibolit	+	++	+	(+)		+		
615D1e	2522.99	BIO-HBL-Gneis	+	++	+					
616C1e	2528.08	BIO-HBL-Gneis	+	(+)	+	+				
617A1a	2531.98	BIO-HBL-Gneis	+	++	(+)	(+)				
617B1h	2533.21	BIO-HBL-Gneis, QRZ-MOB	+	++	+			+		
617G1sK	2537.33	BIO-HBL-Gneis, QRZ-MOB	--	+	+	+				+
617H1zT I,II	2537.89	BIO-HBL-Gneis, KLK	+	++	+	(+)	+			
621B1bK	2557.19	BIO-HBL-Gneis	+	+	+	+				
621C1d	2557.80	BIO-HBL-Gneis	+	(+)	+					
622G1ad	2568.23	BIO-HBL-Gneis, MOB	++	+	+					MOS
623G1j I,II	2572.90	Kalksilik., Amphibolit	+	+	+	+			+	
624A1cK	2574.30	BIO-HBL-Gneis, KLK/MOB	+	++	+					
624B1dK	2574.78	GNT-BIO-Gneis	++	+	+					
626A1b	2580.20	GNT-BIO-Gneis	+	+	+		+			
626G1jK	2585.19	GNT-BIO-HBL-Gneis	++	++	+	+				
628B1h	2593.12	GNT-SIL-BIO-Gneis	+	+	+	+				
632E1nK I,II	2612.79	GNT-BIO-Gneis	+	+	+	+		+	+	ASS
633A2aK	2614.73	HBL-BIO-Gneis	+	+	+				+	ASS
633G2z I,II	2619.94	GNT-BIO-HBL-Gneis	+	+	+				+	?ASS
634G1w	2625.72	GNT-HBL-BIO-Gneis	+	+	+					
CUT	2664.00	Amphibolit	+	+	+		+			
CUT	2668.00	BIO-HBL-Gneis	+	+	+		+			
CUT	2670.00	BIO-HBL-Gneis	+	+	+	+	+		+	
648A1b I,II	2708.36	BIO-Gneis/AMP-Kontakt								
653C2eK	2720.84	HGL-SIL-BIO-Gneis	+		+	+				?
658F1u	2743.75	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+	+				
664B1d I,II	2765.38	SIL-BIO-Gneis, alt.	+		+					
666C1j I,II	2771.74	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+					
676E3o	2790.32	GNT-SIL-BIO-Gneis	+							
683D1n	2808.09	GNT-SIL-BIO-Gneis, ZnS	+		+	++			+	
685B3e	2811.68	SIL-BIO-Gneis/Lampr.	+	+	+	+				
685B3f	2811.86	Lamprophyr	+		+					
687D1k	2818.86	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+					
695A8R	2848.49	GNT-SIL-BIO-Gneis, FeS	+	++	+	+	+		+	
705B1g	2873.67	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+	+			+	
711C1j	2902.18	GNT-SIL-BIO-Gneis	+	+	+	+				
711D1e	2903.05	GNT-SIL-BIO-Gneis	+	+	+	+	+			
711E1m I,II	2903.19	HBL-BIO-Gneis, STÖ	++	++	+	+			+	
713A1aK I,II	2911.14	GNT-HBL-BIO-Gneis, MOB	+	++	+	?	+			
722F2o	2939.71	GNT-BIO-HBL-Gneis, MOB		+						
722F2p	2940.27	GNT-BIO-HBL-Gneis		++	+					
722G2r	2940.85	GNT-SIL-BIO-Gneis	+	+	+	+	+			
724A1c	2948.36	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		++	+			+	
724F1n I,II	2951.54	GNT-BIO-HBL-Gneis	+	+	+	+			+	
724G1s	2952.00	GNT-BIO-HBL-Gneis	++		+					
725B1k	2955.20	GNT-SIL-BIO-Gneis	++	+	+					CUV/CUP
728B1g	2969.49	GNT-SIL-BIO-Gneis, FeS	+		+	+				
729D1w	2977.47	GNT-SIL-BIO-Gneis	++							
736G1q	3008.13	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+	+				
736H1s	3009.05	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+					

Tab. B.5.1: Qualitative und semiquantitative Verteilung von sulfidischen Erzmineralen in der Bohrung "KTB-Oberpfalz VB", 2508 - 3009 m;

(++ = häufig, + = vorhanden, (+) = wenig, ? = fraglich).

Kernst.	Teufe (m)	Lithologie	ILM	RUT	ATS	LEX	MGN	CCC
612E1mK	2508.81	Amphibolit						
612F1nK I,II	2509.00	Amphibolit, Mobilis.	+	+				
612H1t	2510.96	KLK-Band, STÖ		(+)				
613C1e	2512.59	QRZ-Linse, HBL-Gneis						+
613D1gK	2513.90	BIO-HBL-Gneis			+			
613F1k	2514.81	Amphibolit	+	+				
615D1e	2522.99	BIO-HBL-Gneis						+
616C1e	2528.08	BIO-HBL-Gneis			+			
617A1a	2531.98	BIO-HBL-Gneis	+	+				+
617B1h	2533.21	BIO-HBL-Gneis, QRZ-MOB	+	+				
617G1sK	2537.33	BIO-HBL-Gneis, QRZ-MOB	+	+				+
617H1zT I,II	2537.89	BIO-HBL-Gneis, KLK	+	+				+
618C1d	2540.22	BIO-HBL-Gneis, Katakkl.						
621C1d	2557.80	BIO-HBL-Gneis						
622G1ad	2568.23	BIO-HBL-Gneis, MOB	+	+		+		+
623G1j I,II	2572.90	Kalksilik., Amphibolit						
624A1cK	2574.30	BIO-HBL-Gneis, KLK/MOB						
624B1dK	2574.78	GNT-BIO-Gneis		(+)		(?)		
626A1b	2580.20	GNT-BIO-Gneis	+					
626G1jK	2585.19	GNT-BIO-HBL-Gneis	+	+				
628B1h	2593.12	GNT-SIL-BIO-Gneis	+					+
632E1nK I,II	2612.79	GNT-BIO-Gneis	++	+		+		+
633A2aK	2614.73	HBL-BIO-Gneis	+	+		(-)		+
633G2z I,II	2619.94	GNT-BIO-HBL-Gneis	+					+
634G1w	2625.72	GNT-HBL-BIO-Gneis	+			+		+
CUT	2664.00	Amphibolit	+					+
CUT	2668.00	BIO-HBL-Gneis	-					+
CUT	2670.00	BIO-HBL-Gneis	+					+
648A1b I,II	2708.36	BIO-Gneis/AMP-Kontakt	+	+	+	-		
653C2eK	2720.84	HGL-SIL-BIO-Gneis	++					++
658F1u	2743.75	GNT-SIL-BIO-Gneis						+
664B1d I,II	2765.38	SIL-BIO-Gneis, alt.						+
666C1j I,II	2771.74	GNT-SIL-BIO-Gneis						
676E3o	2790.32	GNT-SIL-BIO-Gneis						+
683D1n	2808.09	GNT-SIL-BIO-Gneis, ZnS						
685B3e	2811.68	SIL-BIO-Gneis/Lampr.	+					+
685B3f	2811.86	Lamprophyr						
687D1k	2818.86	GNT-SIL-BIO-Gneis	+	+				
695A8R	2848.49	GNT-SIL-BIO-Gneis, FeS	+		+	+		(+)
705B1g	2873.67	GNT-SIL-BIO-Gneis						+
711C1j	2902.18	GNT-SIL-BIO-Gneis	+					
711D1e	2903.05	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+	+		
711G1m I,II	2903.19	HBL-BIO-Gneis, STÖ	++	+	+	+		
713A1aK I,II	2911.14	GNT-HBL-BIO-Gneis, MOB	+	+	+	+		
722F2o	2939.71	GNT-BIO-HBL-Gneis, MOB	+	+	+	+		
722F2p	2940.27	GNT-BIO-HBL-Gneis	++	+	+	+		
722G2r	2940.85	GNT-SIL-BIO-Gneis	+					+
724A1c	2948.36	GNT-SIL-BIO-Gneis	-		+	+		+
724F1n I,II	2951.54	GNT-BIO-HBL-Gneis			+			
724G1s	2952.00	GNT-BIO-HBL-Gneis			+			
725B1k	2955.20	GNT-SIL-BIO-Gneis					++	+
728B1g	2969.49	GNT-SIL-BIO-Gneis, FeS	-		+	+		
729D1w	2977.47	GNT-SIL-BIO-Gneis			+	+		+
736G1q	3008.13	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+	+		+
736H1s	3009.05	GNT-SIL-BIO-Gneis	+		+	+		+

Tab. B.5.2: Qualitative und semiquantitative Verteilung von oxidischen Erzmineralen und Graphit in der Bohrung "KTB-Oberpfalz VB", 2508 - 3009 m;
 (++ = häufig, + = vorhanden, (+) = wenig, ? = fraglich).

B.5.1 Sulfidische Erzminerale

Pyrit und Pyrrhotin sind abwechselnd die dominierenden, häufig miteinander verwachsenen sulfidischen Phasen. Idio- bis hypidiomorpher Pyrit kann Pyrrhotin entlang von Deformationslamellen durchdringen oder wird von unregelmäßigen, buchtigen Pyrrhotin-Aggregaten umsäumt (Abb. B.5.1 bis Abb. B.5.4). Neben gesteinsbildenden Mineralen bilden Chalkopyrit, Pyrrhotin, Sphalerit und Galenit Einschlüsse bzw. Rißfüllungen in Pyrit (Abb. B.5.3 bis B.5.6).

Buchtiger Pyrrhotin zeigt lokal eine deformationsbedingte Lamellierung (Abb. B.5.1, B.5.2). Zwischen benachbarten bzw. miteinander verwachsenen Pyrrhotin- und Pyritkörnern kann auch Chalkopyrit als Verdränger einen schmalen Trennungsaum bilden (Abb. B.5.3, B.5.4, B.5.6 - B.5.8). Ebenso findet sich Chalkopyrit in Form kleiner Linsen im Randbereich von seltenen, bis 0.05 mm mächtigen Markasit-Gängchen in Pyrrhotin. Chalkopyrit bildet Einzelkörner in der Grundmasse und auch Rißfüllungen in Titanit. Bei 2948.36 m (Anschliff 724A1c) ist eine verstärkte Chalkopyrit-Führung an ein leukokrates Mobilisatband gebunden. Perlschnurartiger Markasit zeichnet manchmal Domänengrenzen in Pyrrhotin nach. Pentlandit entmischt häufig flammenförmig aus Pyrrhotin (Abb. B.5.8).

Sphalerit tritt in der Gesteinsgrundmasse in kleinen Einzelkörnern auf und kommt häufig aufgewachsen auf andere Sulfide (meist auf Pyrit) oder seltener als Einschluß in Pyrit vor (Abb. B.5.5, B.5.9). Er zeigt überwiegend rotbraune, im liegenden Teil des Berichtabschnittes aber auch vermehrt gelbliche Innenreflexe, was möglicherweise auf einen unterschiedlichen Fe-Gehalt des Minerals zurückzuführen ist. Sphalerit tritt fast stets zusammen mit Chalkopyrit, seltener mit Galenit auf. In einer 1 cm großen Pyrrhotinlinse (Abb. B.5.10) findet sich als Einlagerung Sphalerit mit Einschlüssen bzw. Entmischungen aus Chalkopyrit.

Sphalerit ist auch vermehrt an Kluftmineralisationen oder an Mobilisate gebunden (vgl. Kap. B.5.4). In Sphalerit sind Chalkopyrit, Pyrrhotin und bei 2808.09 m (AS 683D1n) Pyrit eingeschlossen bzw. entmischt.

Galenit bildet selten Einzelkörner in der Gesteinsgrundmasse und Einschlüsse und Spalten- bzw. Zwickelfüllungen in Pyrit, Arsenopyrit (siehe auch Kap. B.5.5) und Sphalerit (Abb. B.5.10, B.5.11).

Arsenopyrit wurde in einem Quarz-Feldspat-Gang bei 2612.70 m (Abb. B.5.12) durch RDA bestimmt. In Anschliffen aus diesem Bereich treten aus zusammengewachsenen Einzelkörnern aufgebaute Arsenopyrit-Aggregate auf. Pyrit scheint saumartig aufzuwachsen bzw. Arsenopyrit zu verdrängen (Abb. B.5.13) und wie auch Galenit Zwickel zwischen Einzelkörnern zu füllen. In der Grundmasse tritt selten idiomorpher, rautenförmiger Arsenopyrit auf.

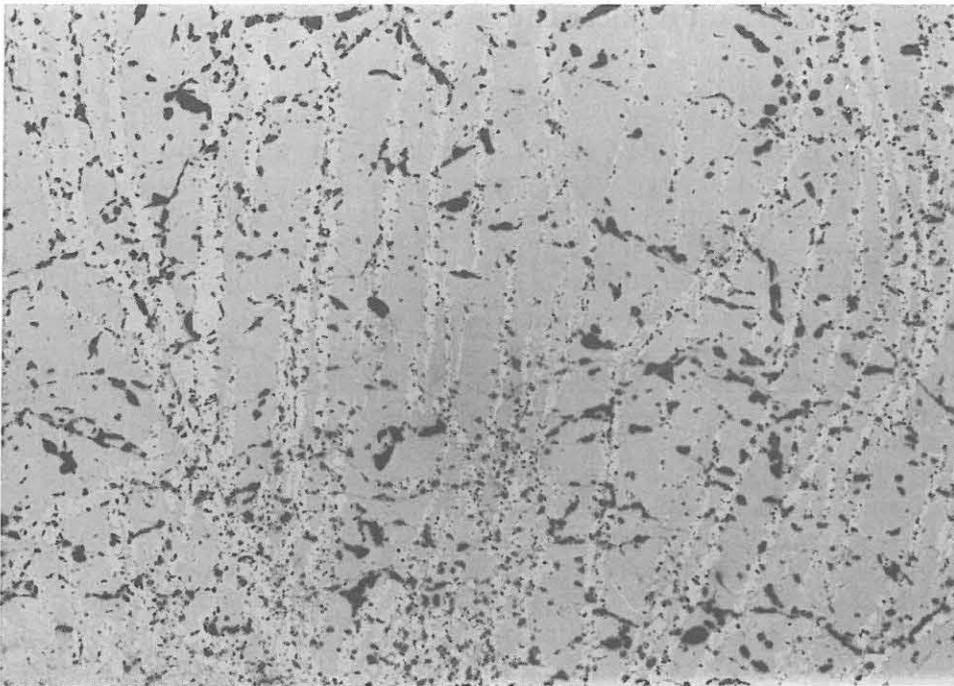


Abb. B.5.1: Entlang von Lamellengrenzen in Pyrrhotin schnurartig aufgewachsener, idiomorpher Pyrit (hellgrau) in einer Pyrrhotinlinse. Vergrünter Biotit-Hornblende-Gneis. (AS 711ElmII, 2903.33 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 1.7 mm).

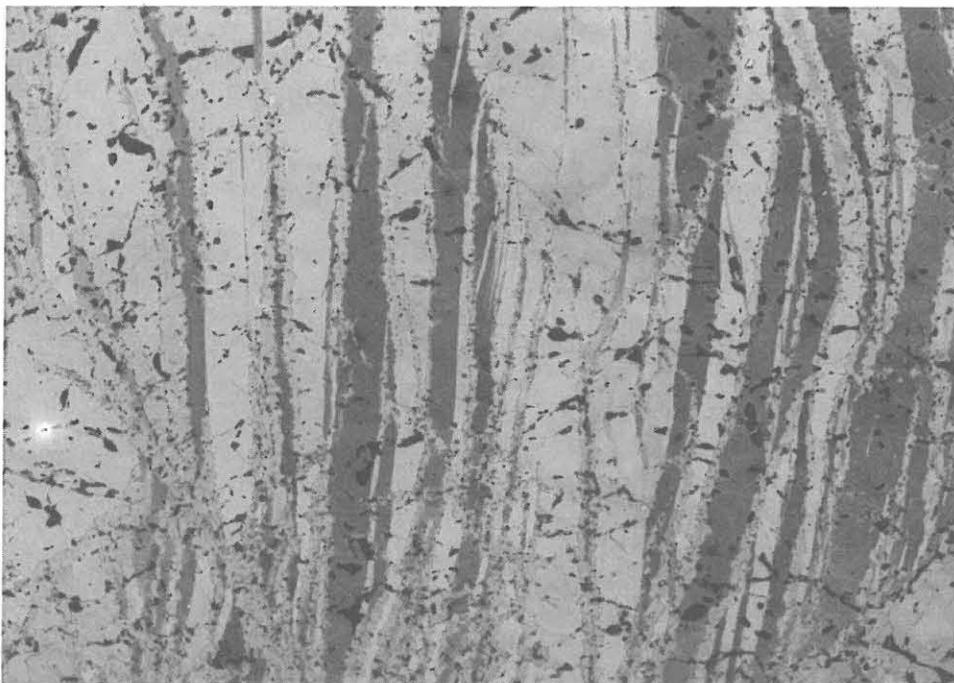


Abb. B.5.2: Wie Abb. B.5.1, jedoch mit nicht ganz gekreuzten Nicols; die Lamellierung des Pyrrhotins wird sehr deutlich.

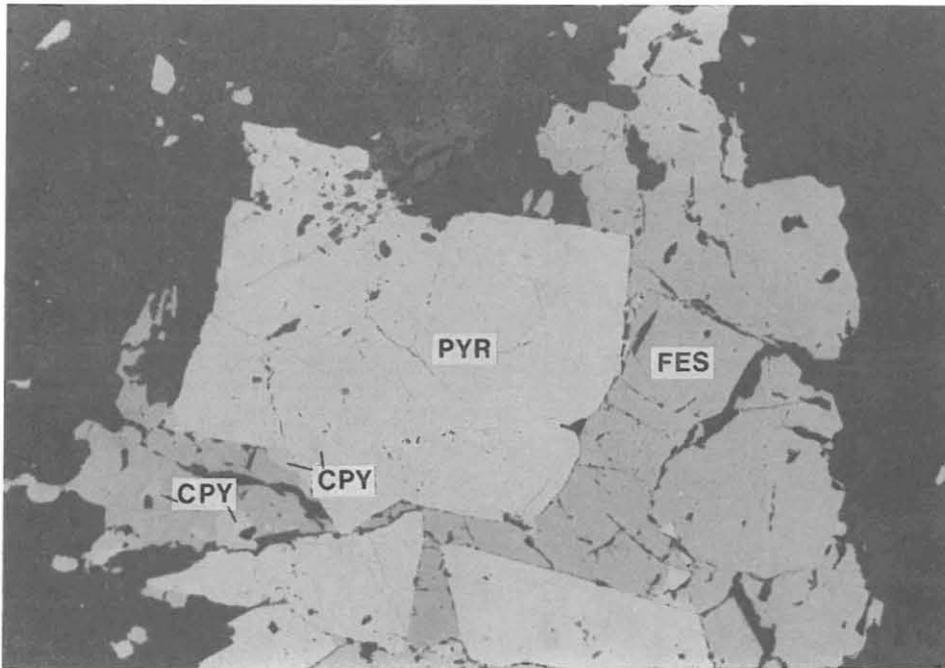


Abb. B.5.3: Idiomorpher Pyrit (PYR) wird von Pyrrhotin (FES) in einem feinlagigen Biotit-Hornblende-Gneis mit Amphiboliteinschaltungen umsäumt. Als Anlagerung zwischen Pyrit und Pyrrhotin und eingeschlossen in Pyrit findet sich Chalkopyrit (CPY).
(AS 613F1k, 2514.81 m, Luft, 1 Nic., lange Bildk. ca. 3.6 mm).

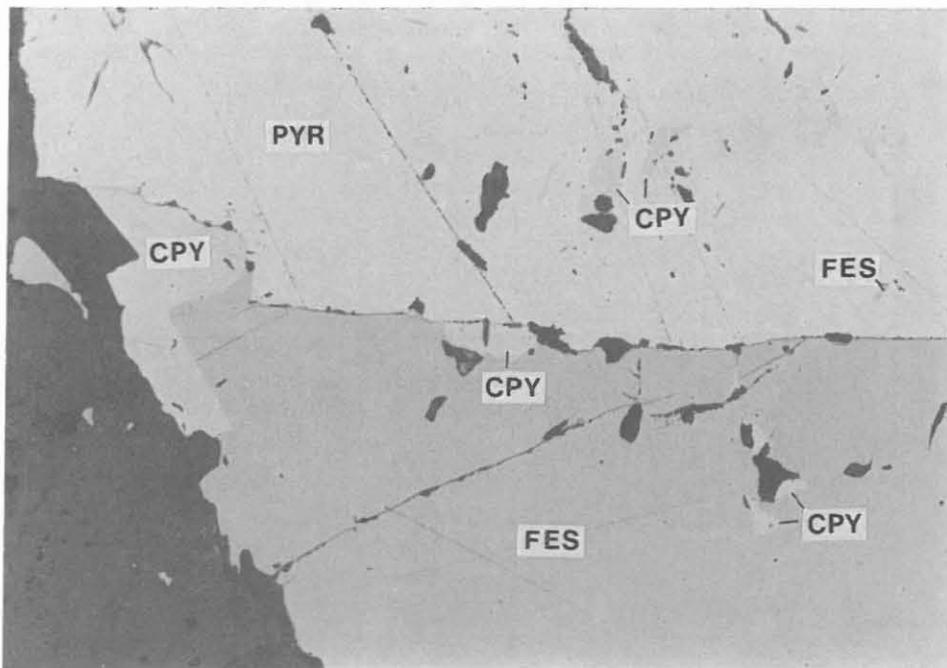


Abb. B.5.4: Idiomorpher Pyrit (PYR) mit Pyrrhotitanlagerung (FES); Chalkopyrit (CPY) bildet Einschlüsse in sowie Anlagerungen an Pyrit und Pyrrhotin. In Pyrit finden sich untergeordnet Pyrrhotin-Einschlüsse.
(AS 613F1k, 2514.81 m Luft, 1 Nic., lange Bildk. ca 0.9 mm).

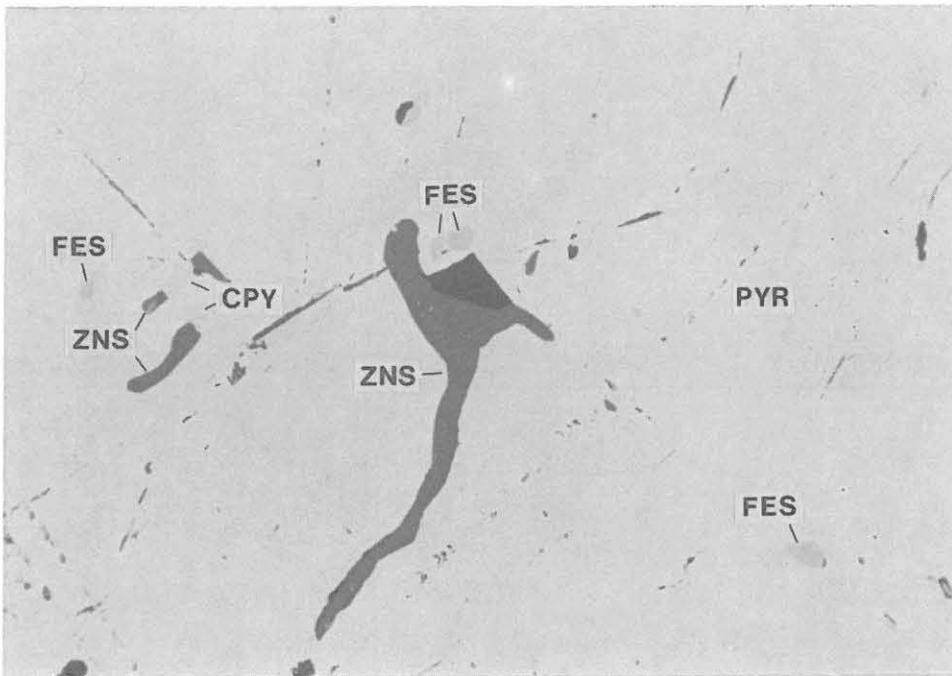


Abb. B.5.5: Sphalerit (ZNS)-, Chalkopyrit (CPY)- und Pyrrhotin-Einschlüsse (FES), stellenweise kombiniert, in Pyrit (PYR) in einem sulfidvererzten Quarzmobilisat in Biotit-Hornblende-Gneis.
(AS 617G1sK, 2537.33 m, Öl, 1 Nic., lange Bildk. ca. 0.36 mm).

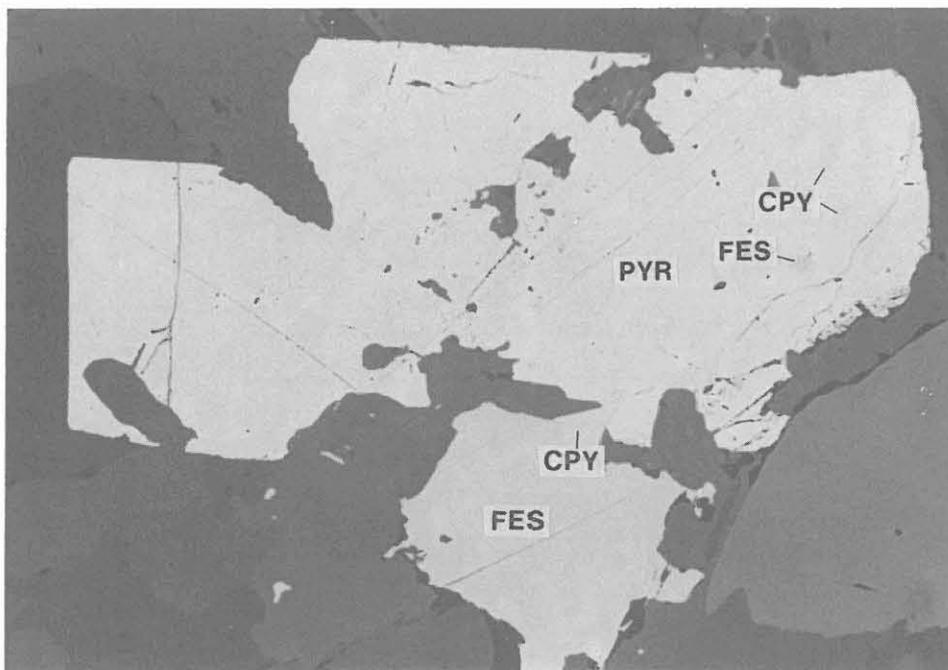


Abb. B.5.6: Idiomorpher Pyrit (PYR) mit Chalkopyrit (CPY)- und Pyrrhotin-Einschlüssen (FES); unten Chalkopyrit als Anlagerung an Pyrrhotin und als Verdränger von Pyrit (PYR).
(AS 617B1h, 2533.21 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.6 mm).

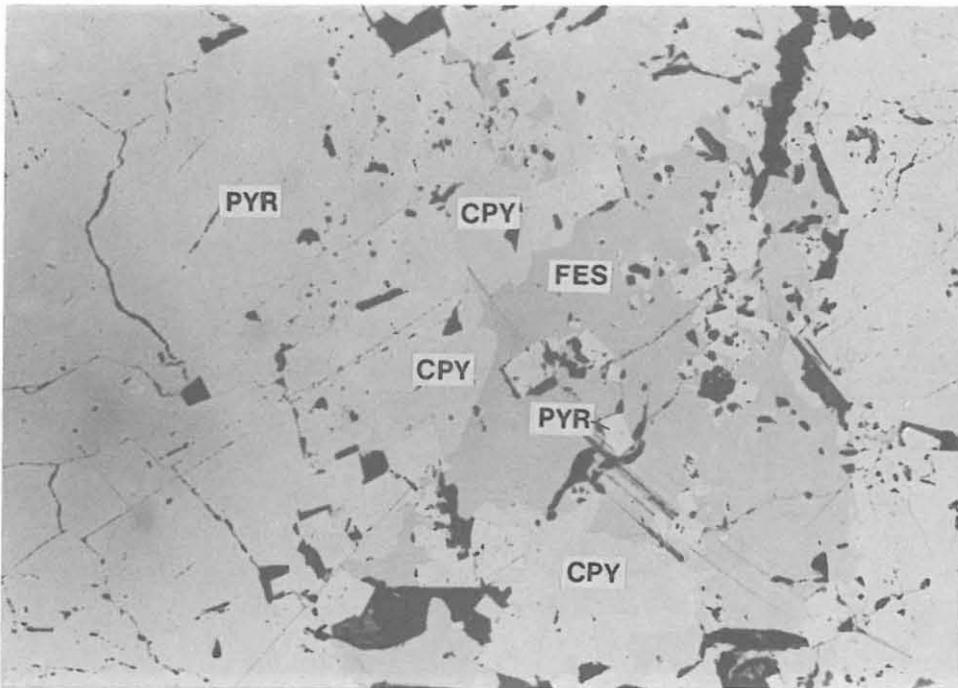


Abb. B.5.7: Pyrrhotin (FES) mit Chalkopyritsaum (CPY) wird von überwiegend idiomorphem Pyrit (PYR) umgeben. Auch im Pyrrhotin befinden sich idiomorphe Pyrit-Körner. Verheilte Störung.

(AS 711E1mI, 2903.19 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.6 mm).

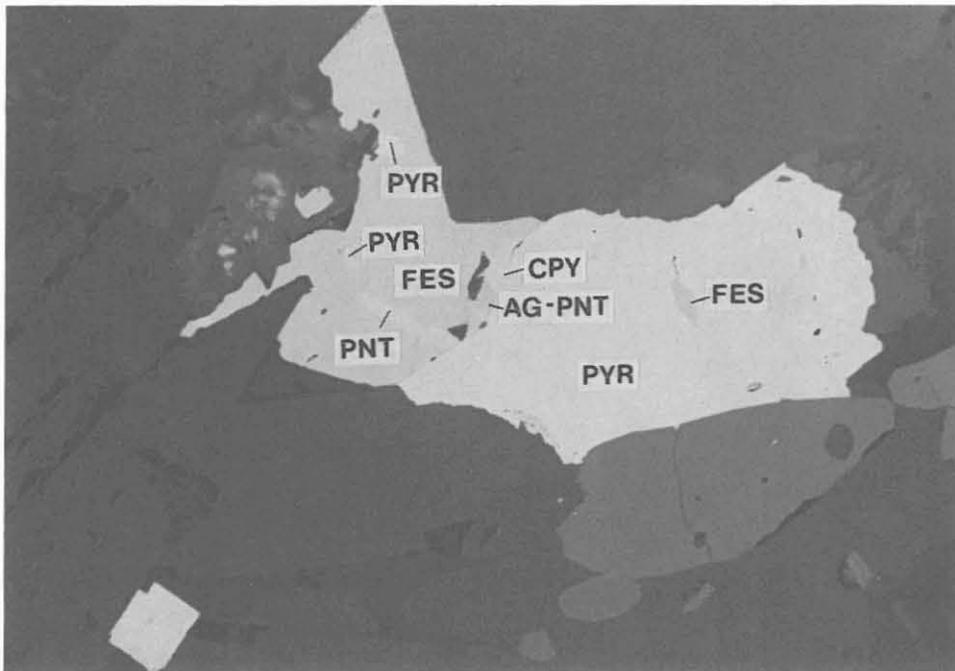


Abb. B.5.8: Pyrit (PYR) mit Anlagerungen von Chalkopyrit (CPY) und eventuell Ag-Pentlandit (AG-PNT) sowie Pyrrhotin-Einschlüssen (FES); angelagerter Pyrrhotin mit flammenförmigen Pentlanditentmischungen (PNT) und helleren, idiomorphen Pyriteinlagerungen. Biotit-Hornblende-Gneis mit sulfidführenden Quarzmobilisaten.

(AS 617B1h, 2533.21 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.5 mm).

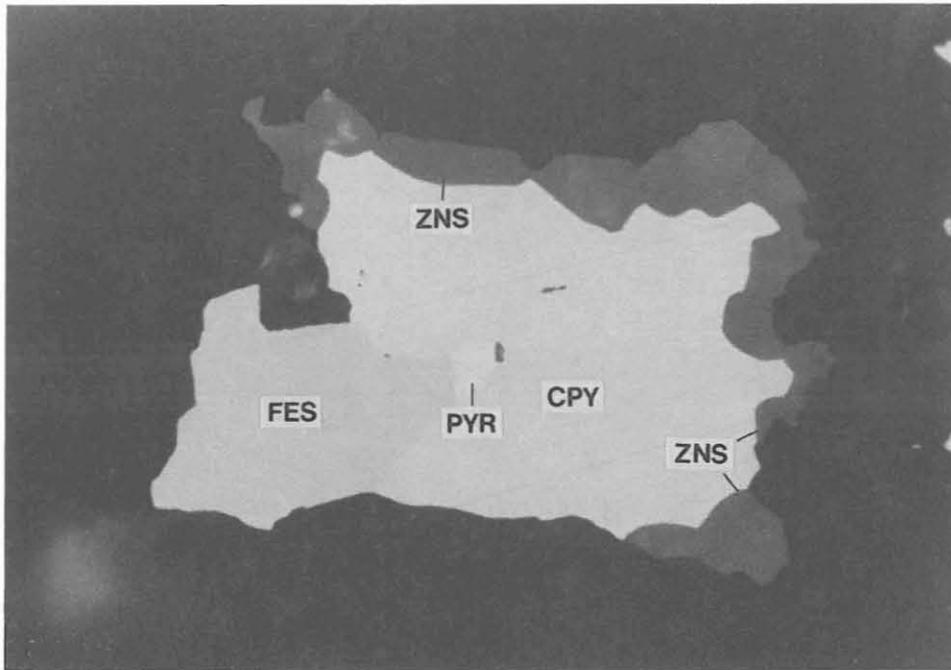


Abb. B.5.9: Chalkopyrit-Pyrrhotin-Verwachsung (CPY, FES) mit saumartig auf Chalkopyrit aufgewachsenem Sphalerit; zwischen Chalkopyrit und Sphalerit idiomorpher Pyrit (PYR). Lagiger Biotit-Hornblende-Gneis.
(AS 616C1e, 2528.08 m, Öl, 1 N., lange Bildkante ca. 0.2 mm).

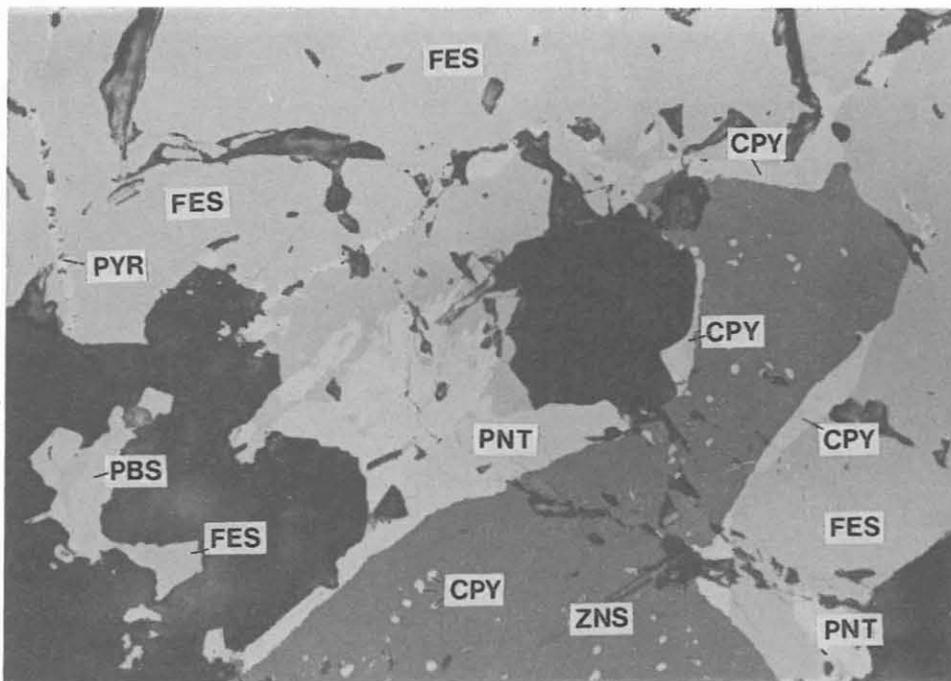


Abb. B.5.10: Komplexes Sulfid-Aggregat aus einer 1 cm großen Pyrrhotinlinse in Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis: Pyrrhotin (FES) mit flammenförmigen Pentlandit-Entmischungen (PNT), Chalkopyrit-Einschlüssen bzw. -Entmischungen und -Säumen (CPY) sowie mit schnurartig aufgereihtem idiomorphen Pyrit (PYR) entlang von Rissen; Verdrängung durch Sphalerit (ZNS) mit Chalkopyrit und durch Galenit (PBS).
(AS 695A8R, 2848.49 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.36 mm).

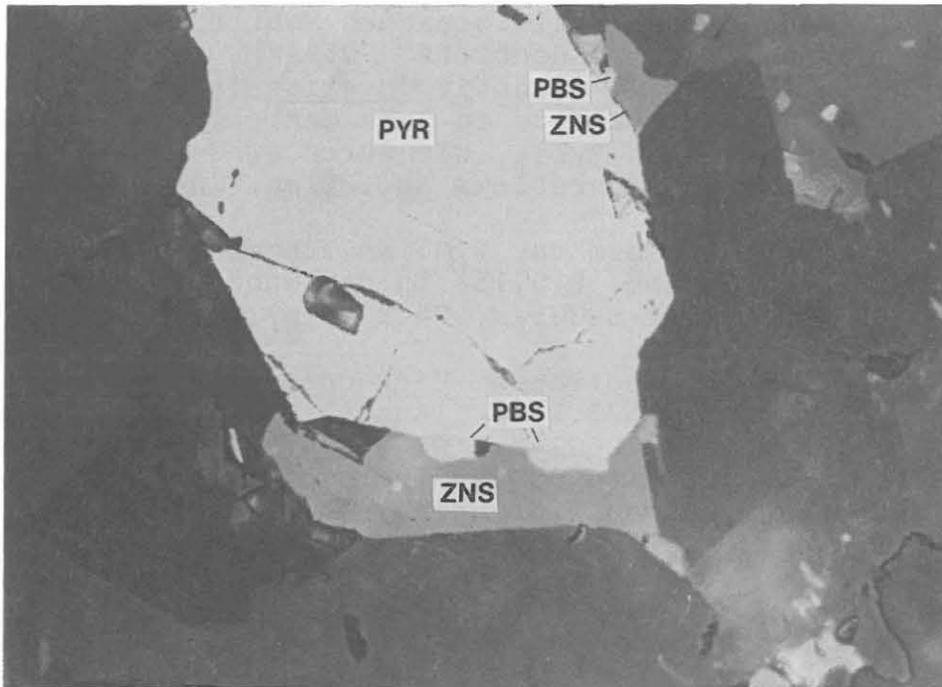


Abb. B.5.11: Pyrit (PYR) mit Galenit- (PBS) und Sphalerit-Anlagerung (ZNS). Amphibolitknolle in feinkörnigem Biotit-Hornblende-Gneis.
(AS 724FlnI, 2951.54 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.24 mm).

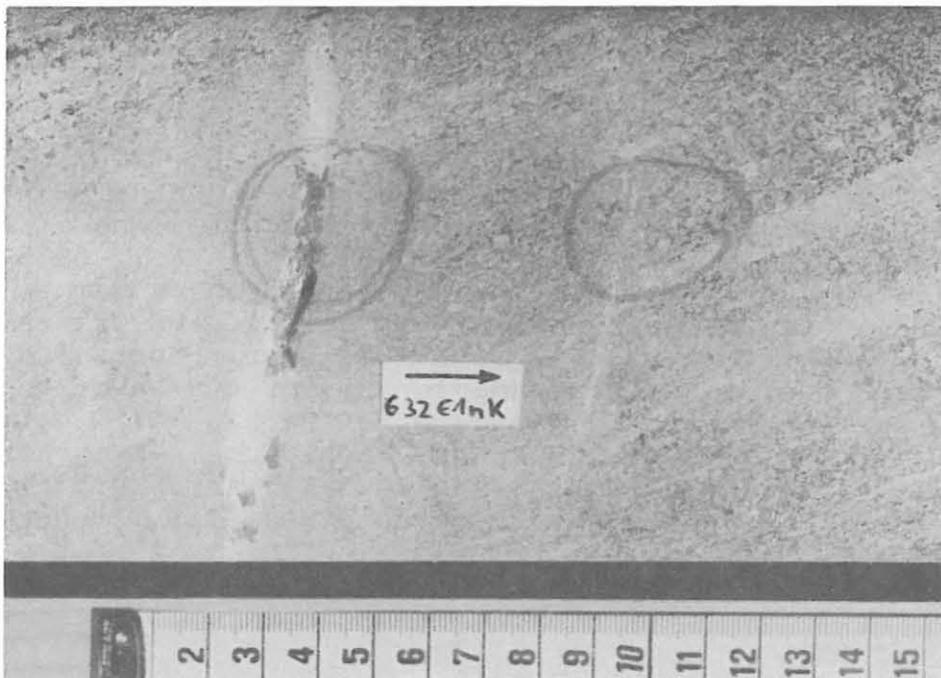


Abb. B.5.12: Arsenopyrit (dunkelgrau) führender Gang in metablastischem, stark vergrünem Granat-Biotit-Gneis.
(Kernstück 632E1nK, 2612.79 m).

In einem linsenförmigen, sulfidreichen Mobilisat findet sich bei 2955.20 m Teufe (Anschliff 725B1k) in Buchten und Zwickeln von Pyrit bzw. Magnetit Covellin (Abb. B.5.14). In dem gleichen Anschliff wird in wenigen, leicht bläulich-grauen Einschlüssen in Pyrit, die durch eine starke Anisotropie und tiefrote Innenreflexe auffallen, Cuprit vermutet.

Molybdänit tritt in Form ca. 0.05 mm langer Leisten in der Gesteinsgrundmasse (Abb. B.5.15) in der Nähe eines Quarzmobilisates auf (Anschliff 622G1ad, 2568.23 m).

In einer rötlichen, isotropen Verwachsung mit Chalkopyrit und Pyrrhotin bei 2533.21 m (Anschliff 617B1h) und bei 2585.19 m (Anschliff 626G1jK) wird Ag-Pentlandit vermutet (Abb. B.5.8), der bereits durch mineralchemische Untersuchungen an Probenmaterial aus geringerer Teufe der KTB Vorbohrung nachgewiesen wurde (FRIEDRICH et al. 1989a).

B.5.2 Oxidische Erzminerale

Das dominierende oxidische Erzmineral ist Ilmenit, der in wechselnden Anteilen fast in jedem untersuchten Schliff vorhanden ist. Ilmenit kann bis 1 mm große Tafeln und Körner mit z.T. unregelmäßig buchtigen Formen sowie Leisten ausbilden (Abb. B.5.16). Randliche oder stärkere, auch das Kornzentrum erfassende Umwandlungen zu Titanit und Anatas/Leukoxen sind charakteristisch. Als Rißfüllung und eingeschlossen findet sich Pyrrhotin. Mitunter ist Ilmenit mit Rutil verwachsen. Bis 2620 m wurden Ilmenit und Rutil als Einschlüsse in Titanit beobachtet (vgl. Kap. B.2., Abb. B.2.9). Seltener tritt Ilmenit in Granat auf (2619.94 m, AS 633G2z II).

Unterhalb von 2550 m (Anschliff 621B1bK, 2557.19 m) bildet Magnetit wenige, kleine Einschlüsse in Pyrit (Abb. B.5.15, B.5.17). Durch sein fast stets untergeordnetes Auftreten bewirkt er im Gegensatz zu Pyrrhotin bis auf eine Ausnahme keine ausgeprägten magnetischen Anomalien. Bei 2955.20 m (Anschliff 725B1k) tritt Magnetit jedoch zusammen mit Covellin in einem Quarz-Feldspat-Mobilisat im Grenzbereich zwischen flaserigem Granat-Biotit-Sillimanit-Gneis und einer körneligen Gneislinse mengenmäßig hervor und bewirkt eine eng begrenzte magnetische Anomalie (siehe Kap. D); "streifiger" Magnetit füllt hier Buchten, Hohlräume, Zwischenlagen und Zwickel in und um Pyrit (Abb. B.5.14, Abb. D.5.6). Die relative Altersstellung von Pyrit und Magnetit ist noch unklar.

B.5.3 Graphit

Graphit ist akzessorischer Bestandteil fast aller untersuchten Ancliffe. Er bildet knäuelartige oder sternförmige Aggregate oder auch mehr oder weniger stark verbogene oder zerknitterte Leisten in der Grundmasse sowohl der Sillima-

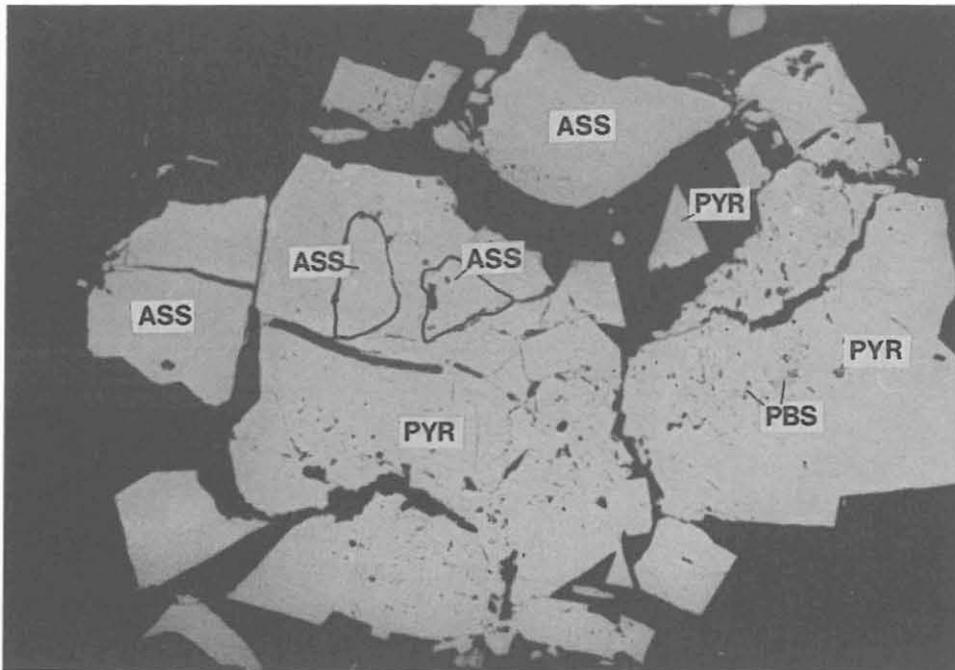


Abb. B.5.13: Kataklastisch überprägter Pyrit (PYR) mit ein- und angelagertem Arsenopyrit (ASS) sowie Galenit-Einschlüssen (PBS) in einer kleinen, gangförmigen Vererzung. Stark vergrüner, metablastischer Granat-Biotit-Gneis. (AS 632E1nKI, 2612.79 m, Öl, 1 N., lange Bildk. ca. 0.71 mm).

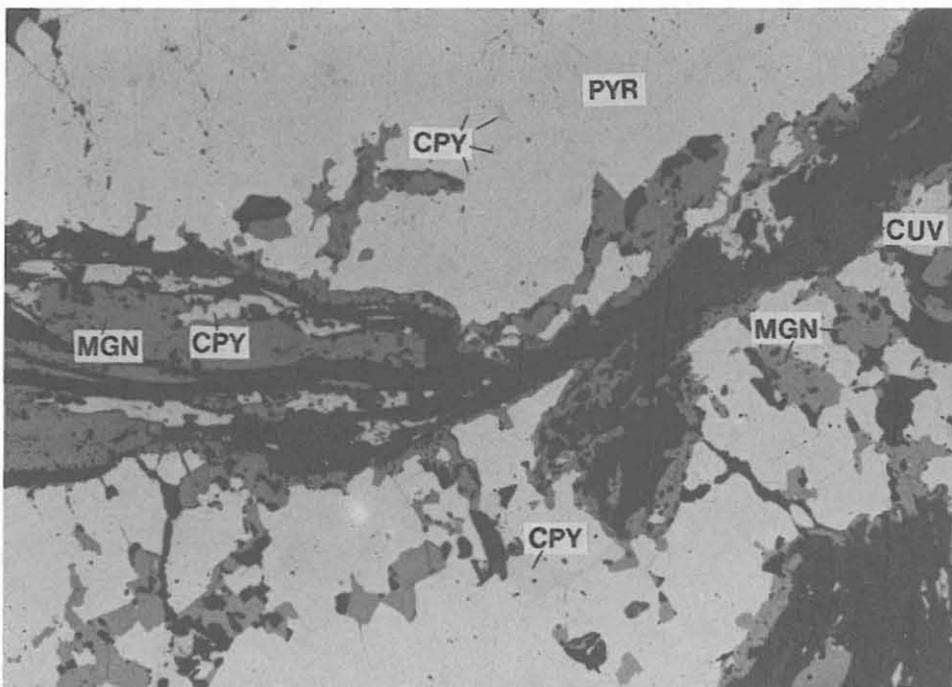


Abb. B.5.14: Pyrit (PYR) mit Chalkopyrit-Einschlüssen (CPY) und Magnetitein- und -anlagerungen (MGN); in Zwischenräumen lokal Covellin-Einlagerungen (CUV - wegen starker Bireflexion diffus grau) im Kontakt zwischen flaserigem und metablastischem Gneis (siehe auch Abb. D.5.6). (AS 725B1k, 2955.20 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca 0.8 mm).

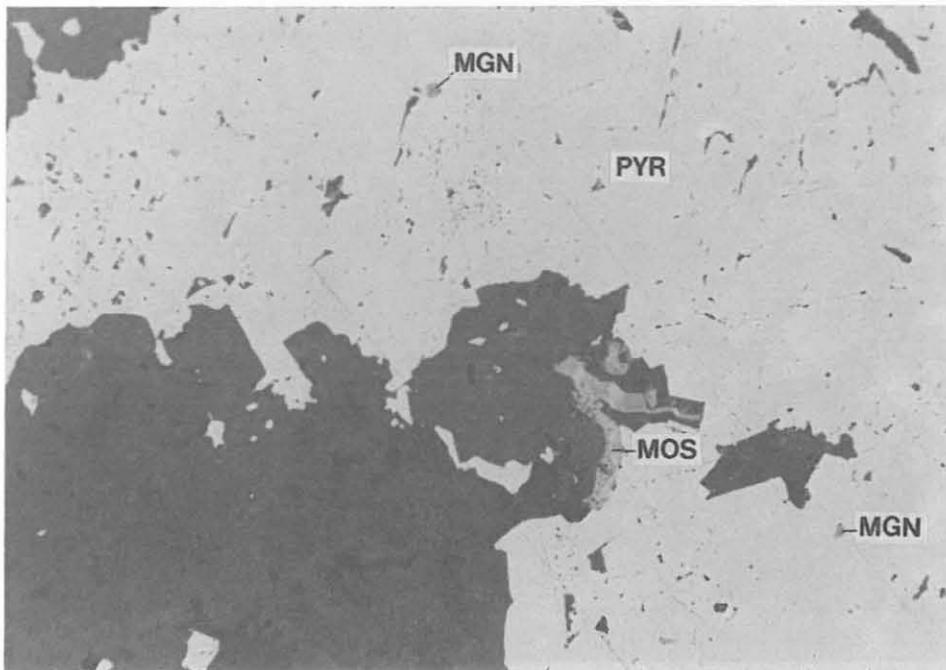


Abb. B.5.15: Molybdänit (MOS) in geknitterten Leisten an Pyrit (PYR); in Pyrit Magnetiteinschlüsse (MGN); am Rand einer 1 cm mächtigen Quarz-Plagioklas-Mobilisatlinse in Biotit-Hornblende-Gneis. (AS 622G1ad, 2568.23 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.6 mm).

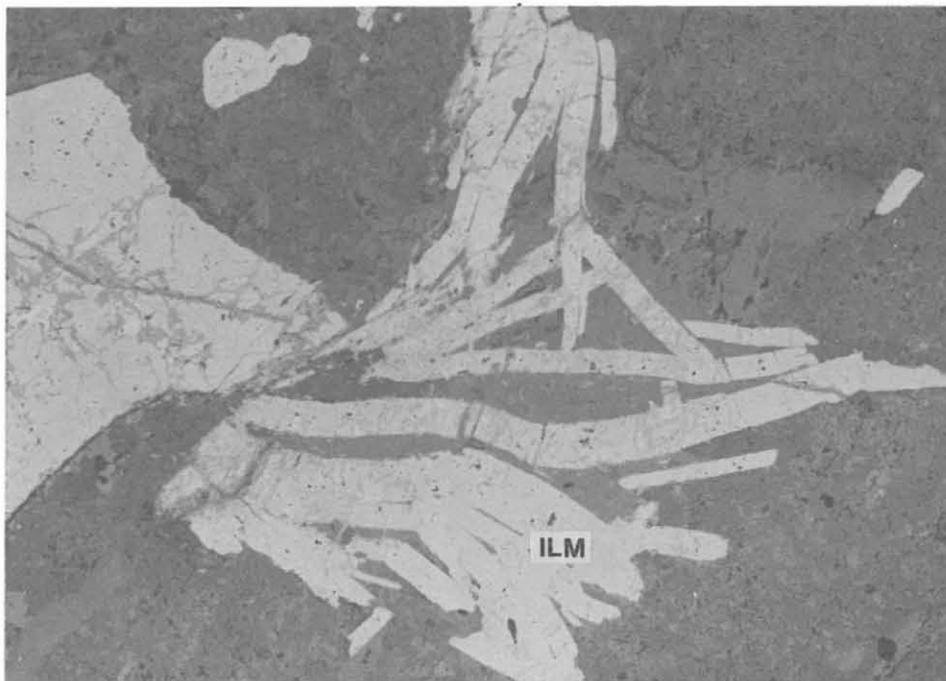


Abb. B.5.16: Bis 2 mm lange Ilmenitleisten (ILM) mit Anatas- und "Leukoxen"-Umwandlung (grau); in einer 10 cm mächtigen, pegmatoiden Einschaltung in einem metablastischen Biotit-Gneis. (AS 722F2o, 2939.71 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 3.6 mm).

nit-Biotit-Gneise als auch der Biotit-Hornblende-Gneise. Leistenförmiger Graphit ist fast stets parallel zum metamorphen Lagenbau oder zu Scherbahnen orientiert. Mitunter ist er an sulfidische oder oxidische Erzminerale angelagert. In einer Kataklysezone bei 2593.12 m (Anschliff 628B1n) ist Graphit das dominierende Opakmineral in Form von z.T. verbogenen Leisten und Häutchen um Mineralkörner. Abb. B.5.17 zeigt Graphiteinlagerungen in Titanit. Bei 2811.68 m wurden ein ca. 1 mm großes Graphitknäuel und Graphit-Anlagerungen an Pyrit beobachtet (Abb. B.5.18).

B.5.4 Sphalerit als Gang- und Kluftmineralisation

Bei 2508.81 m (AS 612E1mK) und 2808.09 m (AS 683D1n) wurden mm- bis cm-mächtige, quarzreiche, sulfidvererzte Gangmineralisationen untersucht. Auf bis zu 0.5 mm großen Sphalerit-Aggregaten mit stellenweise schnurartigen Chalkopyrit-, Pyrit- und Pyrrhotin-Einschlüssen sind Pyrrhotin und Chalkopyrit meist saumartig aufgewachsen (Abb. B.5.19). Im Nebengestein findet sich im Anschliff 612E1mK eine mit der Gangmineralisation identische Sulfidparagenese. Hier bilden Sphalerit und Chalkopyrit auch Einschlüsse in Titanit. Bis zu 1 mm großer Pyrrhotin mit Deformationslamellen wird von Chalkopyrit umsäumt. Zwischen Pyrrhotin und Chalkopyrit kann Pyrit eingeschaltet sein.

Bei 2808.09 m tritt eine ganggebundene, fast reine Sphalerit-Mineralisation auf (Abb. B.5.20), die nur sehr kleine, zum Teil aufgereichte Chalkopyrit- und Pyriteinschlüsse sowie Rißfüllungen und Einlagerungen aus Galenit aufweist (Abb. B.5.21).

B.5.5 Altersbeziehungen

Aus den Verwachsungsphänomenen von Pyrit und Pyrrhotin geht hervor, daß Pyrrhotin sowohl jünger als auch älter als Pyrit sein kann. Im Anschliff 711E1mII (2903.33 m) erscheint spät gebildeter, idiomorpher Pyrit girlandenförmig entlang netzartiger Gängchen in Pyrrhotin (Abb. B.5.1, B.5.2). In AS 613F1k (2537.33 m) wird dagegen idiomorpher Pyrit von jüngerem Pyrrhotin umsäumt (Abb. B.5.3). In Anschliff 612H1t (2510.96 m) gibt es Hinweise auf zwei verschiedene Pyritgenerationen: auf größeren Aggregaten aus hypidio- bis xenomorphem, buchtigen Einzelkörnern aus Pyrit I ist saumartig "Sägeblatt"-ähnlicher Pyrit II aufgewachsen. Chalkopyrit, der an Pyrit II angelagert ist und in Pyrit I Zwickel füllt, stellt hier eine noch jüngere Phase dar. Chalkopyrit ist auch auf benachbartem Pyrit und Pyrrhotin aufgewachsen (Abb. B.5.4) oder tritt als Verdränger an ihren gemeinsamen Korngrenzen auf (Abb. B.5.3, B.5.6, B.5.7, B.5.8). Obwohl Chalkopyrit auch an Sphalerit angelagert ist (Abb. B.5.10), scheint dieser meist jünger als Chalkopyrit zu sein; Anschliff 616C1e bei 2528.08 m zeigt einen Sphalerit-Saum um Chalkopyrit (Abb. B.5.9). Galenit stellt in Form von Zwickel- und Rißfüllungen

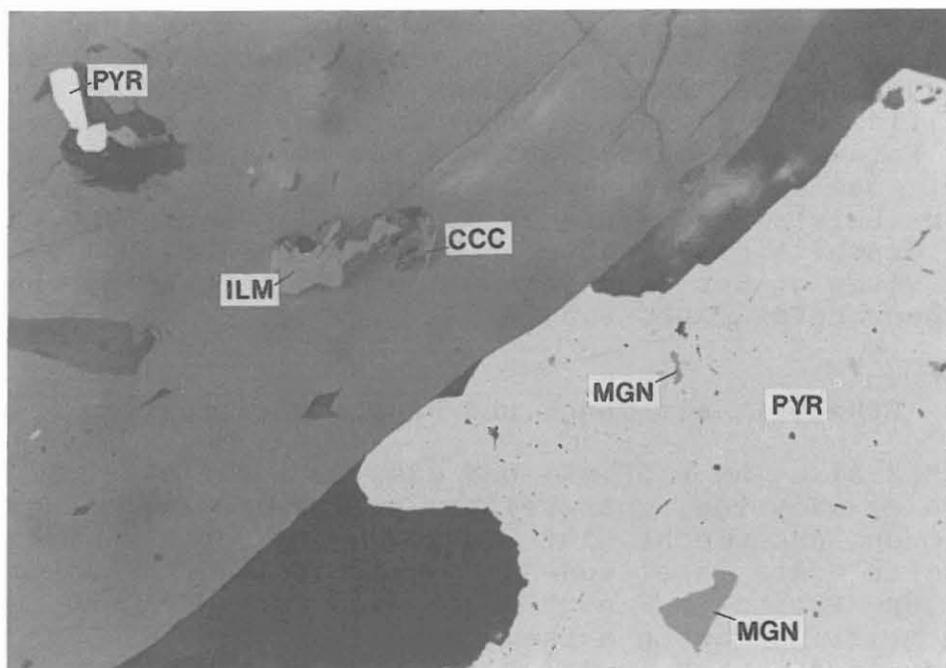


Abb. B.5.17: Titanit (grau) mit Pyrit (PYR), Ilmenit (ILM) und Graphit (CCC) neben Pyrit mit Magnetiteinschlüssen (MGN) in mobilisatreichem Biotit-Hornblende-Gneis. (AS 622Glad, 2568.23 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.36 mm).

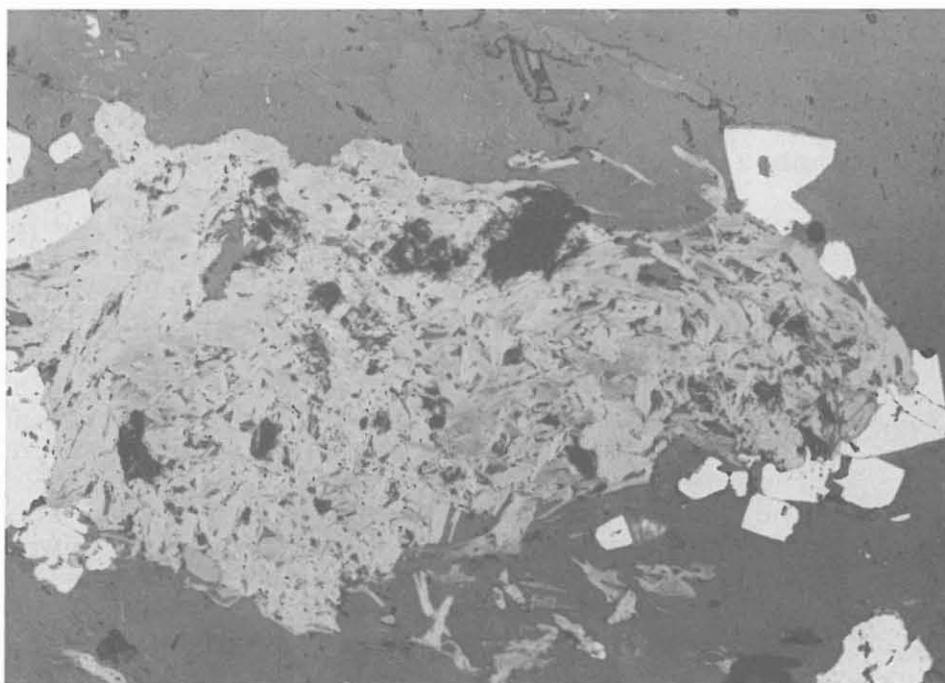


Abb. B.5.18: Knäuelartige Ansammlung von überwiegend leistenförmigem Graphit mit Pyrit (weiß) in Biotit-Gneis nahe des Hangendkontaktes einer Lamprophyr-Einschaltung. (AS 685B3e, 2811.68 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 1.6 mm).

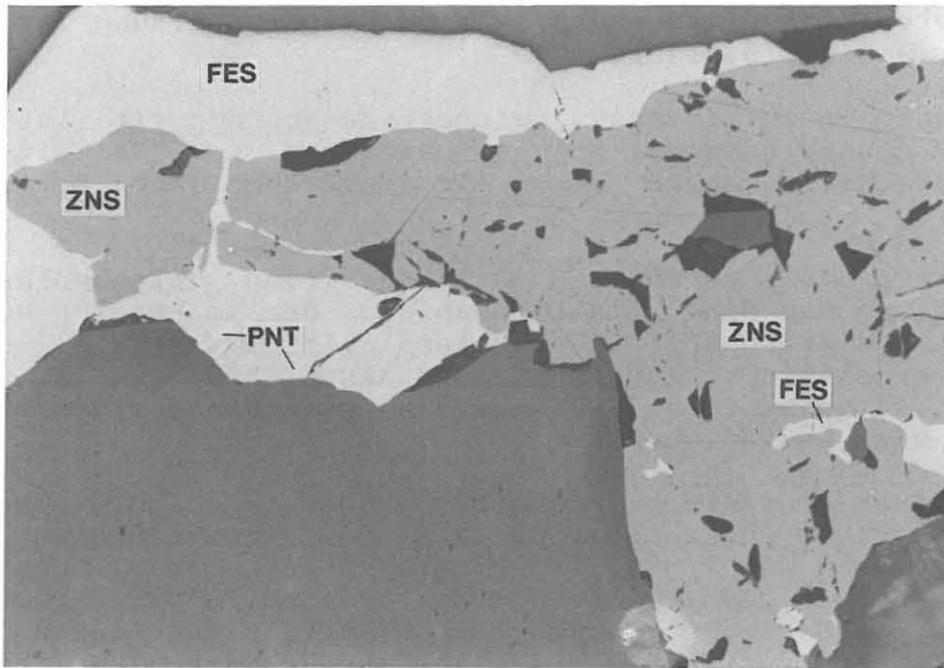


Abb. B.5.19: Sphalerit (ZNS) wird von Pyrrhotin (FES) mit flammenförmigen Pentlandit-Entmischungen (PNT) verdrängt; feinkörniger, lagiger, schwach vergrüner Amphibolit. (AS 612E1mK, 2508.81 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.9 mm).

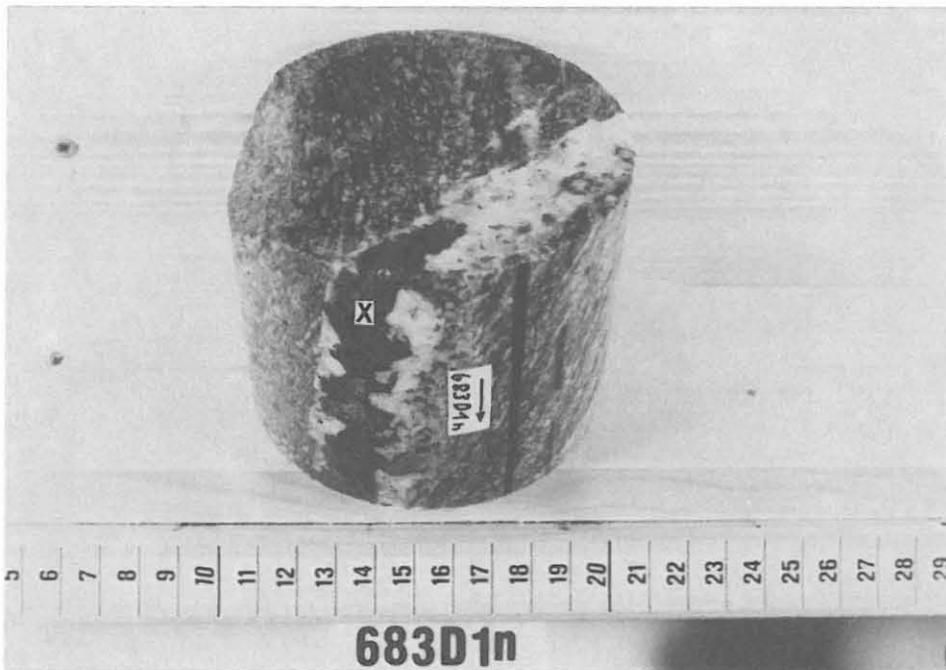


Abb. B.5.20: Gangförmige, hydrothermale Sphaleritvererzung (x) in granatführendem Sillimanit-Biotit-Gneis. (Kernstück 683D1n, 2808.09 m).

in anderen Mineralen ebenfalls eine spätere Bildung dar (Abb. B.5.13, B.5.21, B.5.22).

Auch der in Sulfidlinen auftretende Arsenopyrit ist eine relativ junge Bildung, muß aber aufgrund von Galenit- und Pyrit-Zwickelfüllungen älter als diese sein (Abb. B.5.13 und B.5.22).

Eine nach Temperatur und Bildungsmilieu aufgeschlüsselte Darstellung der Mineralisationsabfolge der im Bereich 0 - 540 m identifizierten Sulfide erläutern FRIEDRICH et al. (1989b). Die mikroskopische Auswertung der Anschliffe scheint diese Mineralisationsabfolge auch für den Teufenabschnitt 2500 bis 3009.7 m zu bestätigen.

Fast immer sind die sulfidischen Minerale jünger als die oxidischen. So füllt Chalkopyrit Risse in zerbrochenen Titanitkristallen oder in Ilmenit; er bildet aber auch Einschlüsse in Ilmenit. An anderen Stellen umgibt Pyrrhotin Titanit saumartig. Bei 2903.19 m (AS 711E1mI) durchschlägt ein kleiner Pyrit-Gang aus einer benachbarten Sulfidlinse tafelige Ilmenit (Abb. B.5.23).

Magnetit bildet Einschlüsse und Zwickelfüllungen in Pyrit (Abb. B.5.14, B.5.15, B.5.17, D.5.6).

Titanit bildet zwei unterschiedliche Generationen aus. Eine ältere besteht aus idiomorphen Einzelkristallen, eine jüngere ist als Umwandlungsprodukt häufig zusammen mit Anatas/Leukoxen Verdränger von Ilmenit.

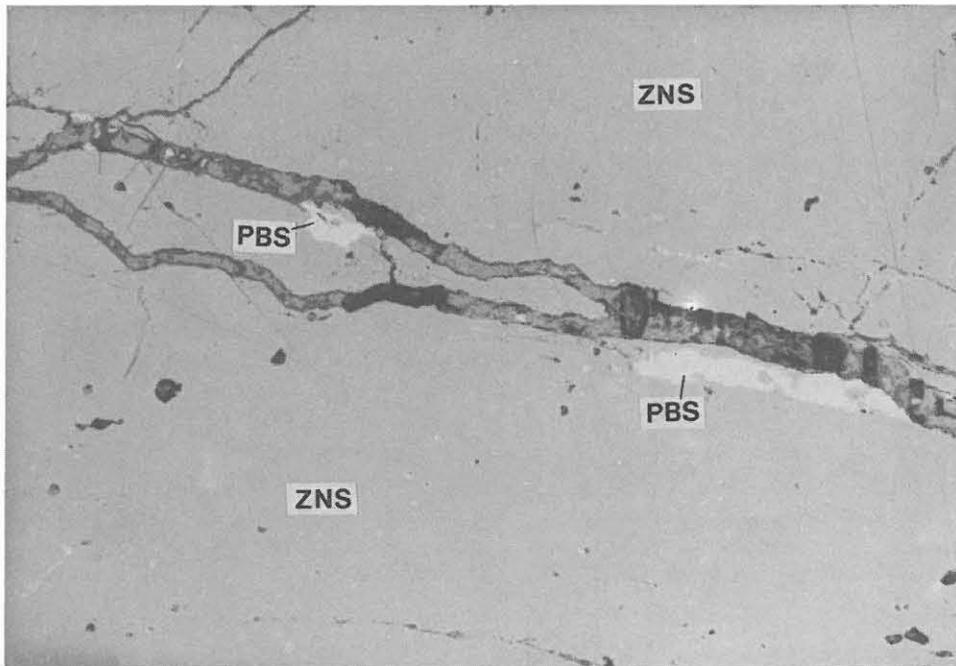


Abb. B.5.21: Sphalerit (ZNS) mit Galeniteinlagerungen (PBS) entlang von Rissen und sehr kleinen, helleren Chalkopyrit-Einschlüssen in der Grundmasse. Gestein wie Abb. B.5.20. (AS 683D1n, 2808.09 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 0.67 mm).

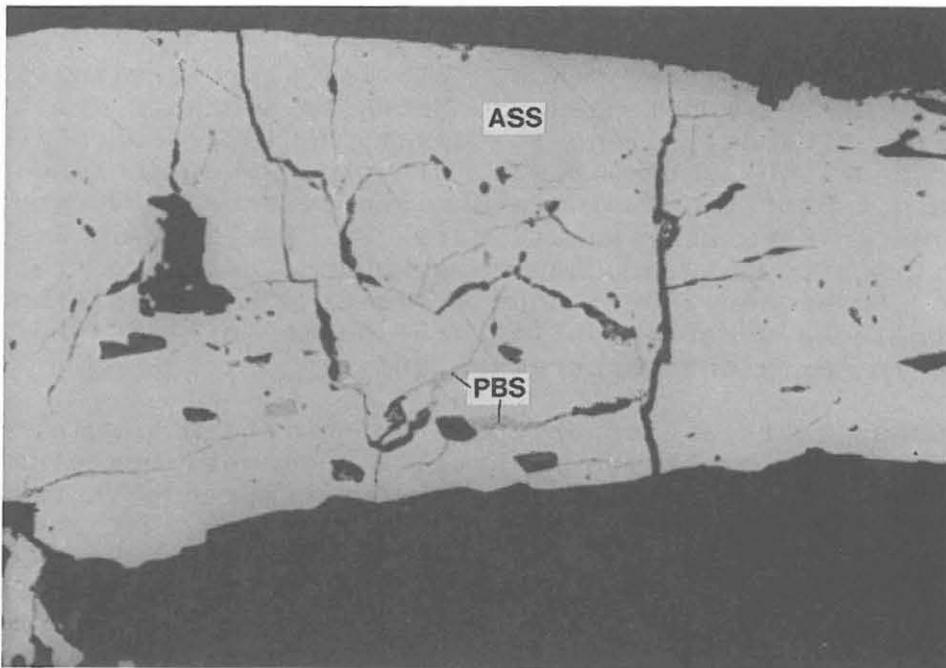


Abb. B.5.22: Galenit-Rißfüllungen (PBS) in Arsenopyrit (ASS) in einer kleinen, gangförmigen Mineralisation in stark vergrünem, metablastischem Granat-Biotit-Gneis. (AS 632E1nKI, 2612.79 m, Öl, 1 N., lange Bildk. ca. 0.32 mm).

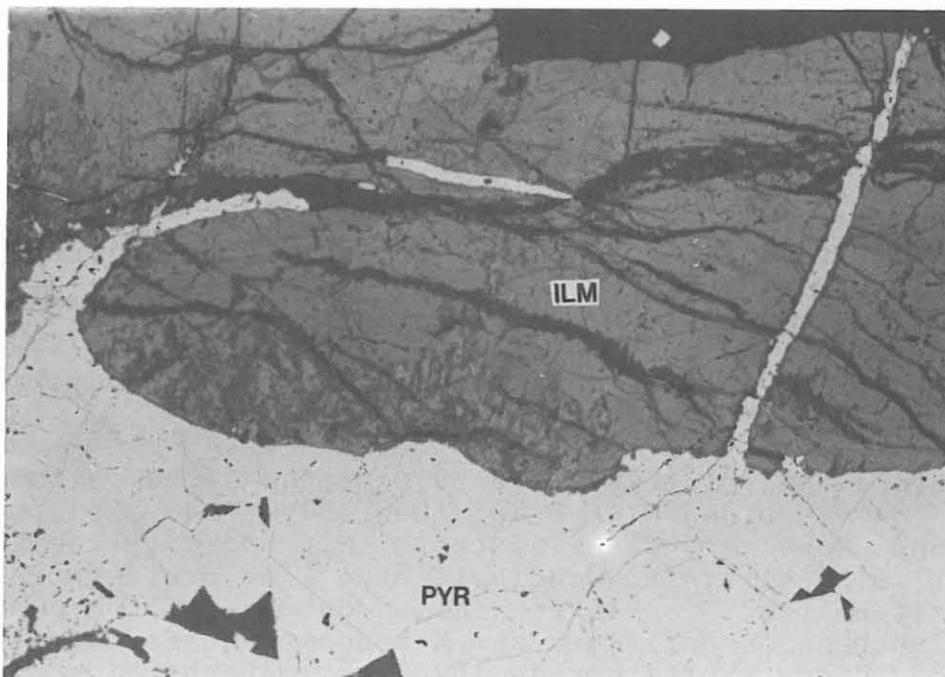


Abb. B.5.23: Ilmenit mit Anatas-"Leukoxen"-Umwandlungen (ILM) wird von Pyrit (PYR) entlang von Rissen verdrängt. Verheilte, erzmineralreiche Störung in Biotit-Hornblende-Gneis. (AS 711E1mI, 2903.19 m, Luft, 1 N., lange Bildk. ca. 3.2 mm).

B.6 Kataklastose und Kluftmineralisation

Die Klüftigkeitsziffer (Abb. B.6.1, Klüftigkeitsziffer = Anzahl offener Trennflächen pro Meter im Bohrkern unmittelbar nach Kernentnahme) liegt im gesamten Teufenabschnitt mit Werten deutlich unter 10 sehr niedrig, wobei besonders im Bereich mit Biotit-Hornblende-Gneisen zwischen 2500 und 2550 m sehr guter Kernzusammenhalt auffällt. Es ist kein Zusammenhang mit Bohrloch-Ausbrüchen zu erkennen. Letztere treten nur in den Bereichen 2590 - 2600 m (hier Chloritisierung und graphitbelegte Scherbahnen im Kern) sowie bei 2650 und 2668 m (beides in der Richtbohrstrecke) auf.

Das Ausmaß kataklastischer Überprägung ist im Vergleich zur hangenden Gesteinsabfolge wesentlich geringer. Der einzige im Profil ausgrenzbare, graphit- und pyritführende Kataklastit-horizont liegt zwischen 2775.4 m und 2776.8 m, hat aber keine Bohrloch-Auskesselung zur Folge. Die Kataklastose äußert sich in meist mm bis dm mächtigen, vergrüntem oder schwarzen Scherbahnen, an denen der Kern häufig seine Kohäsion behält. Minima im Gamma Ray Log, die durch starke Alteration des Biotits und damit einhergehende Kaliumverarmung hervorgerufen werden, und Bohrlochausbrüche, die im Kaliber-Log sichtbar sind, dienen zur Festlegung von Störungen innerhalb der Richtbohr-Strecke im detaillierten Litho-Profil (s. Anhang).

Einzelne, foliationsparallele Verschiebungsflächen treten im gesamten Teufenbereich auf. Diskordante, mittelsteile kataklastische Verschiebungsflächen lassen häufig einen auf-schiebenden Charakter erkennen (Abb. B.6.2). Jüngere Auf-schiebungen versetzen die älteren. Abschiebungen wurden kaum beobachtet. Die jüngsten kataklastischen Phänomene sind flache, mm-mächtige chloritisierte Diskontinuitätsflächen, an denen häufig ein geringer Versatz stattgefunden hat.

In unregelmäßigen Abständen sind steile bis saigere Klüfte vorhanden, die meist mit Quarz, Calcit oder Laumontit mineralisiert sind. Gelegentlich wurden auch mit Adular gefüllte Klüfte beobachtet (Abb. B.6.3). Zwischen 2563.0 m und 2566.5 m sowie bei 2615 m weisen mit Calcit verheilte Klüfte ein Salband aus frei in die Kluft gewachsenen Epidotkristallen auf (Abb. B.6.4 und B.6.5).

Im Teufenabschnitt 2500 bis 2554 m treten sechs halboffene, wenige mm mächtige Klüfte auf (bei 2509, 2532, 2542, 2545, 2546 und 2554 m). Sie sind teils mit Calcit, teils mit Prehnit mineralisiert, wobei ein etwa 1 mm breiter Spaltenraum offenblieb. Die Klüfte fallen durchweg flach ein und haben unebene Grenzflächen zum Nebengestein. Es ist auffällig, daß diese Klüfte gerade in einem Teufenbereich mit besonders niedrigen Klüftigkeitsziffern in den Biotit-Hornblende-Gneisen auftreten. Zuflüsse aus diesen Klüften wurden jedoch nicht beobachtet (vgl. Kapitel C.)

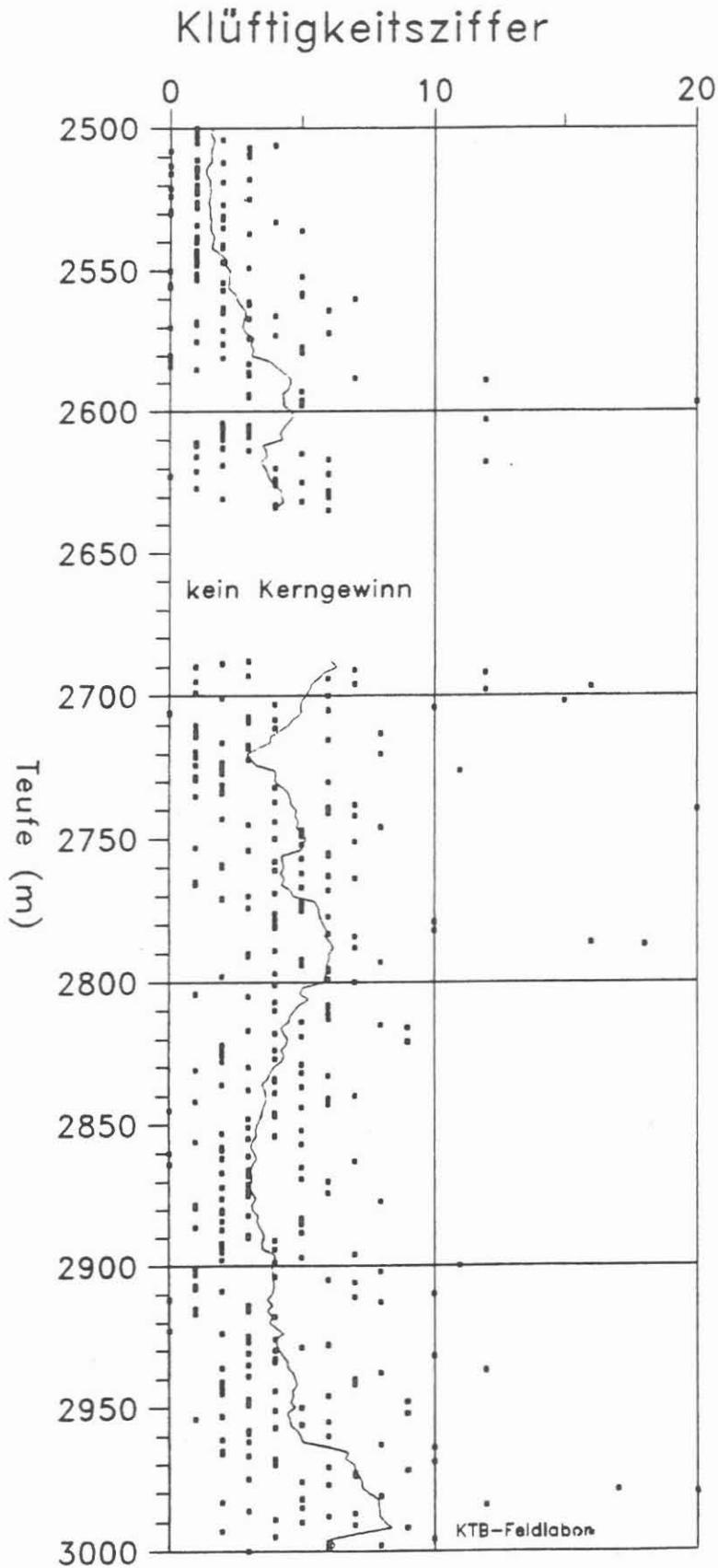


Abb. B.6.1: Klüftigkeitsziffer (Anzahl der Trennflächen, an denen der Kern zerbrochen ist pro Meter) in Abhängigkeit von der Teufe. Die Darstellung zeigt sowohl die einzelnen Werte als auch einen gleitenden Mittelwert über ein 30 m-Intervall.

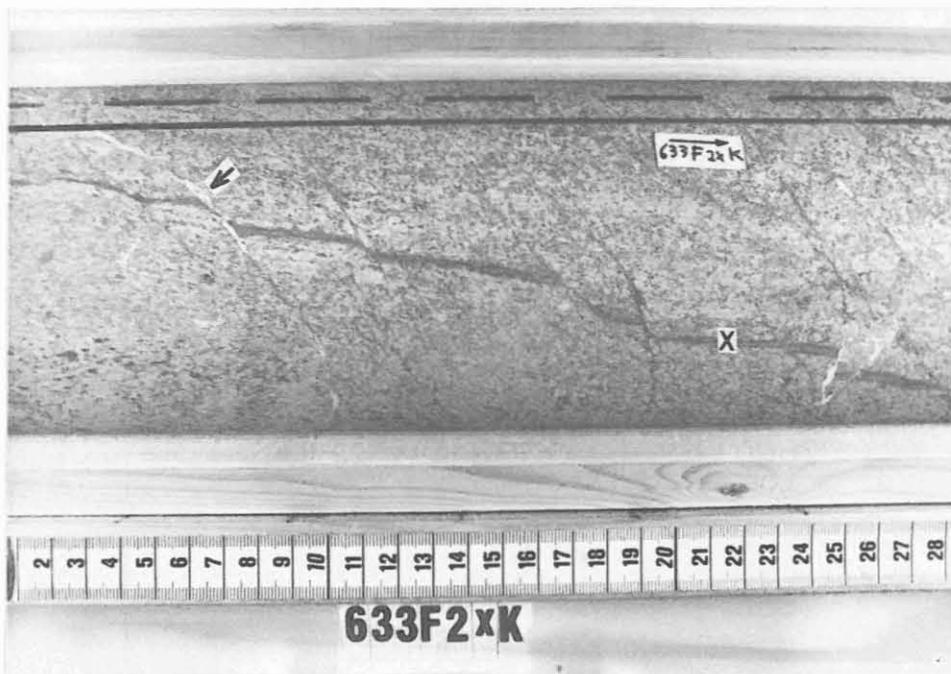


Abb. B.6.2: Eine Schar von diskreten Aufschiebungen (teilweise mit Laumontit mineralisiert, Pfeil) versetzt eine steile, graphitführende Kataklastezone (x).
(Kernstück 633F2xK, 2618.68 m).

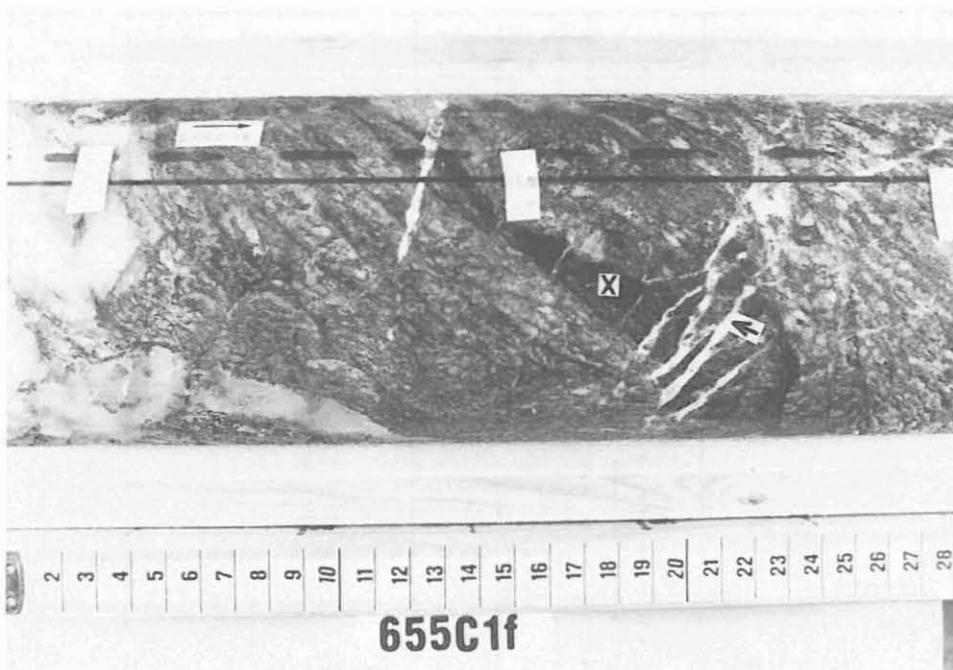


Abb. B.6.3: Mit Adular gefüllte Dehnungsklüfte (Pfeil) sind jünger als der graphitführende Kataklastit (x).
(Kernstück 655C1f, 2727.60 m).



Abb. B.6.4: Kluft mit Epidot und Calcit mineralisiert; die grünen Epidote bilden das Salband (Pfeil). (Kernstück 622B1gK, 2563.19 m).

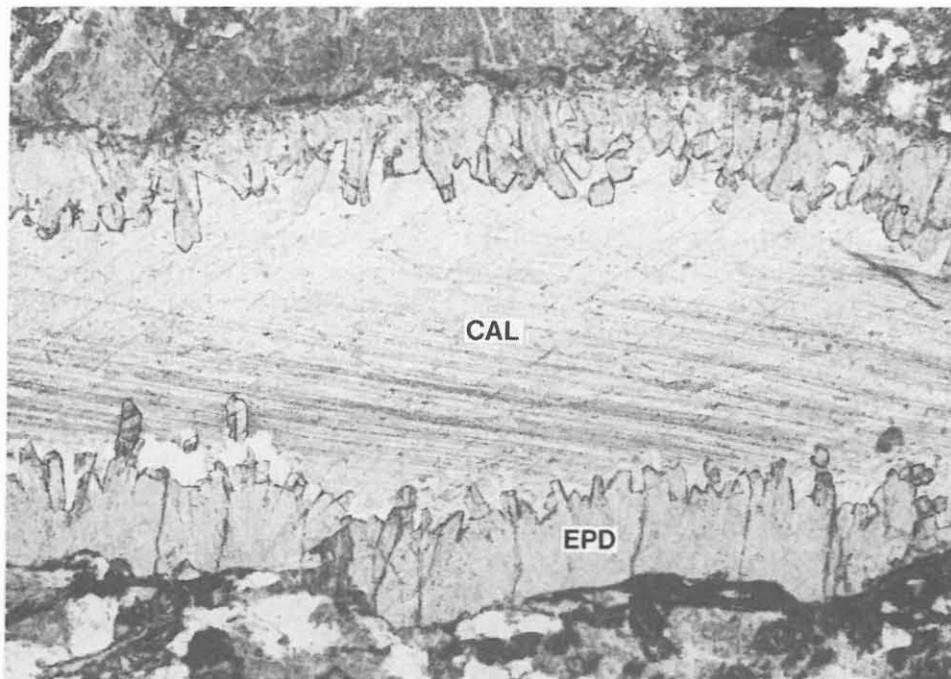


Abb. B.6.5: Dünnschliff einer ähnlichen Epidot-Calcit-Kluft wie in Abb. B.6.4; Epidote (EPD) sind senkrecht zum Salband in die offene Kluft gewachsen, die anschließend mit Calcit (CAL, deutliche Spaltbarkeit, Verzwilligung) gefüllt wurde. (DS 633A2aK, 2614.73 m, 1 Nicol, lange Bildkante ca. 5.6 mm).

B.7 Deformationspfad

Eine Reihe von neuen Beobachtungen in diesem Berichtsschnitt führt zu einem komplexeren Bild der Gefügeentwicklung in den Gneisen als bisher bekannt war (vgl. RÖHR et al. 1989: B69). Von einer Zuordnung der Deformationsereignisse zu $D_1 - D_x$ wird deshalb abgesehen, bis nach Abschluß der Untersuchungen die an der KTB-VB gewonnenen Einzelergebnisse ein vollständiges Bild der Deformationsgeschichte liefern.

- Die planaren Interngefüge in Granaten sind vermutlich die ältesten Gefüge, die bisher in den Sillimanit-Biotit-Gneisen gefunden wurden. Sie deuten auf eine ältere als die heute zu beobachtende penetrative Foliation hin.
- Das undeformierte metablastische Gefüge der Biotit-Hornblende-Gneise (oberhalb 2492 m, KTB-Report 89-2) repräsentiert ein weiteres prädeformatives Gefüge bezüglich der penetrativen Foliation.
- Intrafolialfalten und die Gneisfoliation als dazugehörige achsenebenenparallele Schieferung bilden jüngere, makroskopisch sichtbare Deformationsgefüge. Ein makroskopisch erkennbares Streckungslinear wird mikroskopisch aus länglichen Plattenquarzen und homoaxial gestreckten, rekristallisierten Feldspatblasten bzw. boudinierten hornblendereichen Lagen gebildet.
- Konkordante Lage von Foliation und Streckungslinear in HT-mylonitischen Sillimanit-Biotit-Gneisen und Biotit-Hornblende-Gneisen belegen, daß die HT-Mylonitisierung der Sillimanit-Biotit-Gneise und die post-metablastische Verformung der metablastischen Biotit-Hornblende-Gneise dem gleichen Deformationsstadium angehören.
- Eine jüngere Deformation führte zur Verfaltung der penetrativen Gneisfoliation. Asymmetrische Kleinfalten in den Gneisen zeigen Quarz-Rekristallisation. Der Biotit ist sowohl in den Faltenscharnieren als auch im älteren Lagenbau entweder deformiert oder rekristallisiert.

Daneben gibt es zwei Faltenstrukturen im Meter-Maßstab. Die Falte zwischen 2708 m und 2709 m hat einem z.T. sehr grobkörnigen Granat-Amphibolit im Kern. Am Hangendschenkel tritt eine Diskordanz in der Foliation von etwa 40° auf (Abb. B.7.1.a). Da diese Diskordanz nicht kataklastisch überprägt ist, erfolgte die Abscherung vermutlich im Zuge der Faltung aufgrund des unterschiedlichen rheologischen Verhaltens von Sillimanit-Biotit-Gneis und granatreichem Amphibolit. Eine Quarzlage bildet den direkten Kontakt zwischen beiden. Der Saum dieser Quarzlage ist feinkörnig dynamisch rekristallisiert, innerhalb der Lage dominieren Korngrenzenmigration und Subkornbildung (Abb. B.7.1.c).

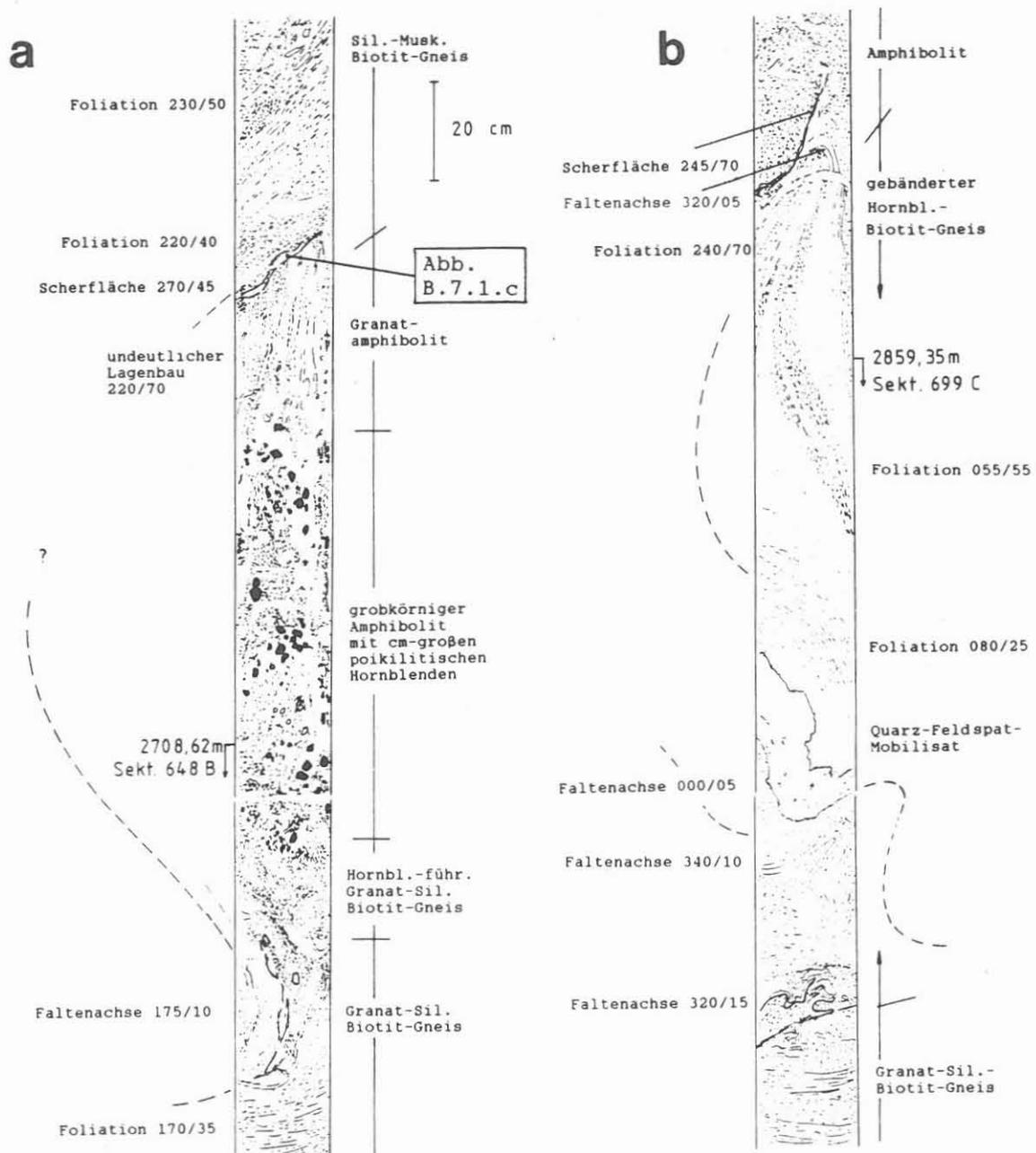


Abb. B.7.1:

(a) Diskordanz in der Foliation an einer duktilen Scherfläche zwischen Sillimanit-Biotit-Gneis und Granat-Amphibolit. In Verbindung mit der Falte im Liegenden wird der Amphibolit als Kern einer am Hangendschenkel abgescherten, liegenden Faltenstruktur aufgefaßt.

(b) Am Kontakt zum hangenden Amphibolit abgescherte Faltenstruktur. Abscherung und disharmonische Faltung wie auch die Verdrehung der Faltenachse und der Foliation im Bereich des Mobilisates sind wahrscheinlich Folgen des unterschiedlichen rheologischen Verhaltens der einzelnen Lagen.

Alle Azimutwerte sind punktuelle FMST-Auswertungen, deren Genauigkeit mit $\pm 15^\circ$ abgeschätzt wird.

Zwischen 2859 m und 2860 m tritt eine zweite m-große Faltenstruktur auf. Die halboffene Falte im Hornblende-Biotit-Gneis ist im Hangenden am Kontakt zum Amphibolit abgeschert. Ein mehrere Zentimeter mächtiges, kompetentes Quarz-Feldspat-Mobilisat wurde eng verfaultet (Abb. B.7.1.b).

- Nach der HT-Mylonitisierung wurden die Gneise in einigen Bereichen erneut unter duktilen Bedingungen geschert, jedoch nicht mehr statisch getempert. Die bei diesem Vorgang entstandene strafflagige Foliation verläuft parallel zur penetrativen Foliation der Gneise. In einem Fall wurde diese jüngere, mylonitische Foliation asymmetrisch verfaultet.
- Wie im KTB-Report 89-2 beschrieben, sind die jüngsten Faltenstrukturen offene Falten (Abb. B.7.2) mit annähernd horizontal liegender Faltenachsenfläche. Außerdem gibt es Knickzonen mit meist subhorizontaler Knickfläche. Diese Strukturen treten häufiger in den Bereichen 2705 m - 2707 m, 2716.5 m - 2720.5 m, 2825 m - 2831 m sowie 2990 m - 3009.7 m auf. Es werden aber auch Faltenbilder mit senkrechter Faltenachsenfläche beobachtet.
- Die jüngsten tektonischen Ereignisse haben zu einer mehrphasigen, kataklastischen Überprägung der Gesteine geführt (vgl. Kap. E. und ZULAUF & KOHL 1989). Die Intrusion der Lamprophyre dürfte sich nach der ältesten bruchhaften Verformung ereignet haben, da Lamprophyre in Graphitkataklastite intrudierten (RÖHR et al. 1989: B30), aber von den jüngeren spröden Deformationen noch beeinflusst wurden.

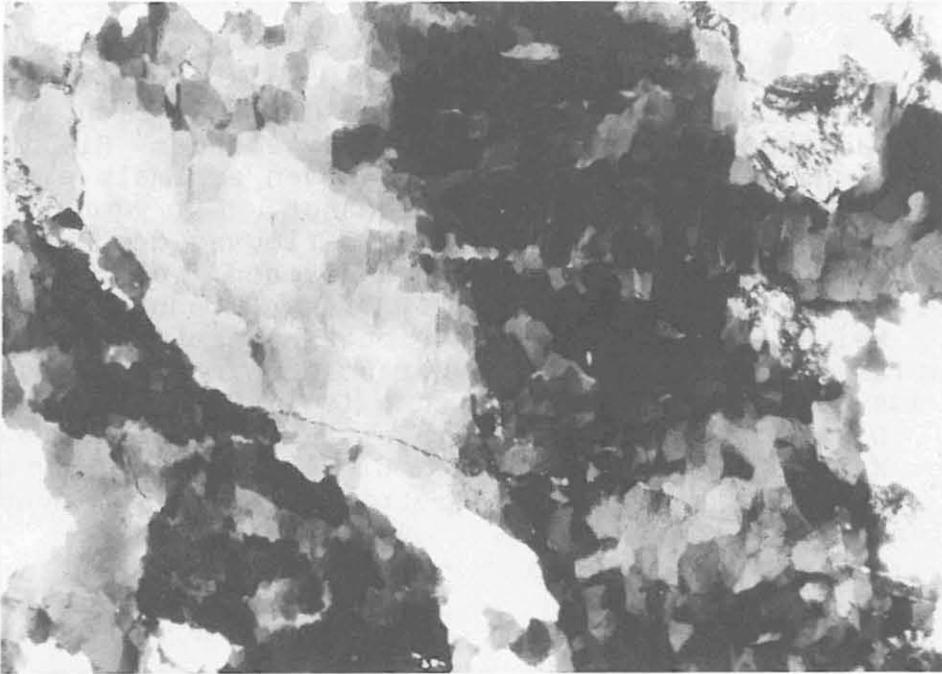


Abb. B.7.1.c: Detail aus der mit Quarz verheilten Scherfläche in Abb. B.7.1.a. Subkornbildung ist das charakteristische Gefügemerkmal dieser mehrere mm mächtigen Quarzlage. (DS 648A1b, 2708.27 m, + Nicols, lange Bildkante ca. 3 mm).



Abb. B.7.2: Offene Falte im Sillimanit-Biotit-Gneis. (Kernstück 658A1b, 2739.75 m).

B.8 Core-Disking

Zwischen 2901 m und 2905 m (KM 711) treten Einschaltungen von Hornblende-Biotit-Gneise auf, in denen die Foliation weniger deutlich ausgeprägt ist als in den umgebenden Sillimanit-Biotit-Gneisen. In diesem Abschnitt wurden erstmals eindeutige 'Core-Disking'-Strukturen beobachtet. Mit Core-Disking bezeichnet man eine scheibenförmige Zerlegung des Bohrkernes entlang sinusförmig verbogener Trennflächen, die senkrecht zur Kernachse liegen (Abb. B.8.1). Diese Trennflächen entsprechen keinen paläotektonisch erzeugten Strukturen, sondern sind Entlastungsrisse, die beim Herausschneiden der Gesteinsäule aus dem Anstehenden entstehen (vgl. BORM et al. 1989: 313ff.). Die räumliche Lage der in situ-Spannungsrichtung im Gebirge kann einen systematischen Einfluß auf die Symmetrie dieser Trennflächen haben (Dietrich, Wolter, mündliche Mitteilung).

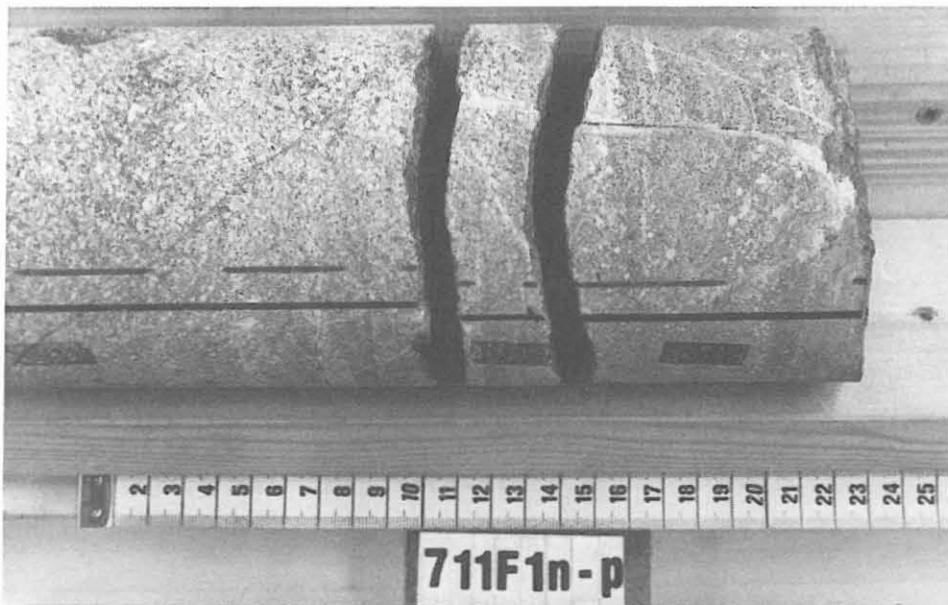


Abb. B.8.1: Typische Ausbildung von Core-Disking. Biotit-Hornblende-Gneis. (Kernstücke 711F1n-p, 2903.94 - 2904.19 m).

B.9 Literaturverzeichnis

- BORM, G., BÜHLER, M., LEMPP, Ch., NATAU, O., PIMENTEL, E. & RÖCKEL, Th. (1989): Bohrloch- und Bohrkern-Instabilitäten an Beispielen der KTB-Vorbohrung. KTB Report 89-3, 313-322.
- DE LA ROCHE, H. (1965): Sur l'existence de plusieurs facies géochimiques dans les schistes paléozoïques des Pyrénées Luchonaises. - Geol. Rdsch. 55, 274-301.
- FRIEDRICH, G., KOTNIK, M., VOGTMANN-BECKER, J., HERZIG, P., KONTRY, A. & KEYSSNER, S. (1989a): Erzpetrologie und Mineralchemie im Kontinentalen Tiefbohrprogramm - Vorbohrung "VB-Oberpfalz".- 2. Zwischenbericht, DFG FR 240/45-3, Inst. für Mineralogie und Lagerstättenlehre, RWTH Aachen, 70 S. (unveröff.).
- FRIEDRICH, G., HERZIG, P., KONTRY, A. VOGTMANN-BECKER. J., & KEYSSNER, S. (1989b): Erzpetrologie und Mineralchemie in der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB Oberpfalz VB) - Mineralchemie, Geobarometrie, Geothermometrie.- 3. Zwischenbericht, DFG Fr 240/45-4, Inst. für Mineralogie und Lagerstättenlehre, RWTH Aachen, 40 S. (unveröff.).
- LE MAITRE, R.W. (1984): A proposal by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica (TAS) diagram. - Austral. J. Earth Sci. 31, 243-255.
- MÜLLER, H., TAPPER, M., EMMERMANN, R. & WIMMENAUER, W. (1989): Die Paragneise im Profil der KTB-Vorbohrung. - KTB-Report 89-3, 61-66.
- RIVALENTI, G. & SIGHINOLFI, G.P. (1969): Geochemical study of graywackes as possible starting material of para-amphibolites. - Contrib. Miner. Petrol. 23, 173-188.
- RÖCKEL, TH. & NATAU, O. (1989): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB - erste Ergebnisse felsmechanischer Indexversuche bis 1998 m.- KTB Report 89-2, H1-H22.
- RÖHR, C., HACKER, W., KEYSSNER, S., KOHL, J. & MÜLLER, H. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbericht von 1709 bis 2500 m: B. Geologie; KTB Report 89-2, B1-B114.
- WIMMENAUER, W. (1984): Das prävariskische Kristallin im Schwarzwald. - Fortschr. Miner. 62, Bh. 2, 69-86.
- ZULAUF, G. & KOHL, J. (1989): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Bruchtektonik im Teufenbereich von 1177 bis 1530 m. - KTB Report 89-2, E1-E14.

B.10 Danksagung

Für kritische Anmerkungen und hilfreiche Diskussionsbeiträge danken wir Prof. R. Emmermann, Prof. K. v. Gehlen, Prof. K. Weber, Prof. B. Stöckhert und Dr. M. Heinisch.

Die Probenvorbereitung und Schliffanfertigung lag in den Händen von X. Spies, E. Wiendl, S. Lang, O. Leitner und P. Prätori. Für die Unterstützung bei den fotografischen und zeichnerischen Darstellungen danken wir M. Neuber und E. Nuber.

B.11 Anhang

Der Anhang umfaßt das detaillierte geologische Profil (Abb. B.11 und Tab. B.11)

Erläuterungen zum geologischen Profil (Abb. B.11)

Spalte	Erläuterung
CUTTINGS	<p>Die erbohrten Cuttings werden vor Ort naß gesiebt, getrocknet und die Fraktionen volumetrisch ausgewogen. Dargestellt sind die prozentualen Anteile der Fraktionen. Der Graph zeigt:</p> <p>links: grobe Fraktion = größer als 1 mm mitte: feine Fraktion = 0.063 - 1 mm rechts: feinste Fraktion = kleiner als 0.063 mm</p> <p>Diese Spalte wird nur in kernlosen Strecken ausgefüllt. Weiterhin sind technische Angaben enthalten, die die Cuttings beeinflussen: E/A = Ein-/Ausbau des Gestänges, RM = Rollenmeißel, DIA = Diamant-Meißel, Richtbohren = der Meißel wird über einen Untertage-Motor angetrieben und aktiv in eine bestimmte Richtung abgelenkt.</p>
GAMMA-RAY	<p>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.</p>

KALIBER	Die Kurve KALIBER zeigt den Bohrlochdurchmesser an. Der Außendurchmesser der Bohrkronen beträgt 152 mm (6"). GAMMA-RAY und KALIBER sind Bohrlochmessungen.
LITHOLOGIE	Gesteinsname und seine graphische Darstellung. Abkürzungen siehe unten.
FOLIATION	Das Einfallen der Foliation in Grad ist als Zahl und zur Veranschaulichung als Graph angegeben.
ALTERATION	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 einen waagerechten Strich markiert. Über und unter ihr ist der entsprechende Alterationsgrad angegeben.
STÖRUNGEN	Störungen 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.
KLÜFTIGKEITSZIFFER	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:

GNT, HBL = Granat, Hornblende
QRZ, PLG = Quarz, Plagioklas
KYA, AMF = Kyanit, Amphibol
SIL, BIO = Sillimanit, Biotit
MUS, HGL = Muskovit, Hellglimmer
ALT = alteriert
GNS = Gneis
AMP = Amphibolit
MOB = Mobilisat
FLS = flaserig
KKL = kataklastisch, Kataklasit
E/A = Ein-/Ausbau des Gestänges
RM = Rollenmeißel
DIA = Diameißel

Signaturen:



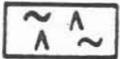
flaseriger Gneis



strafflagiger Gneis



Wechsellagerung zwischen flaserigem
und strafflagigem Gneis



hornblendeführender Gneis



Amphibolit



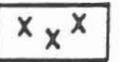
Lamprophyr



Aplitgranit



Kataklastit, kataklastischer Gneis

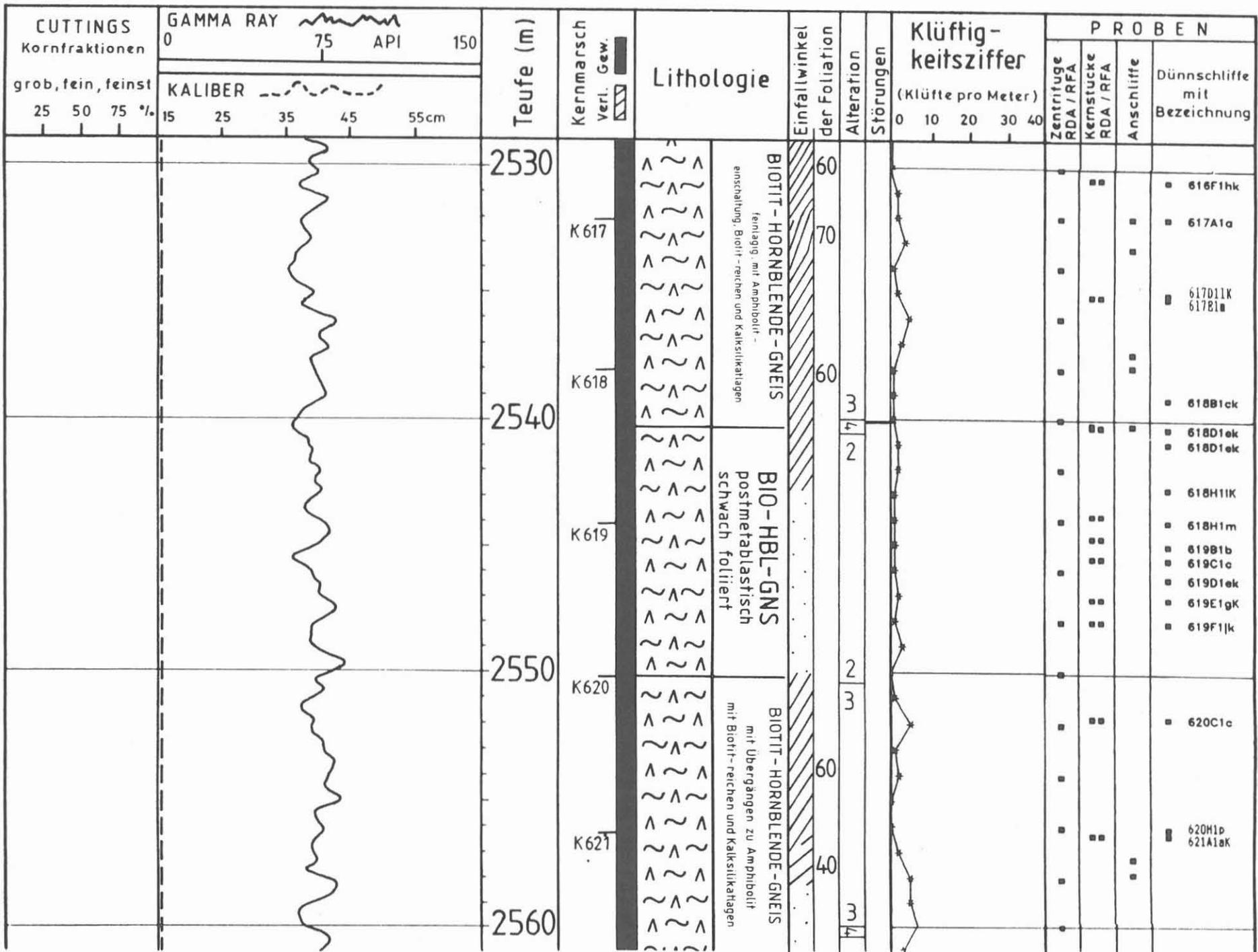


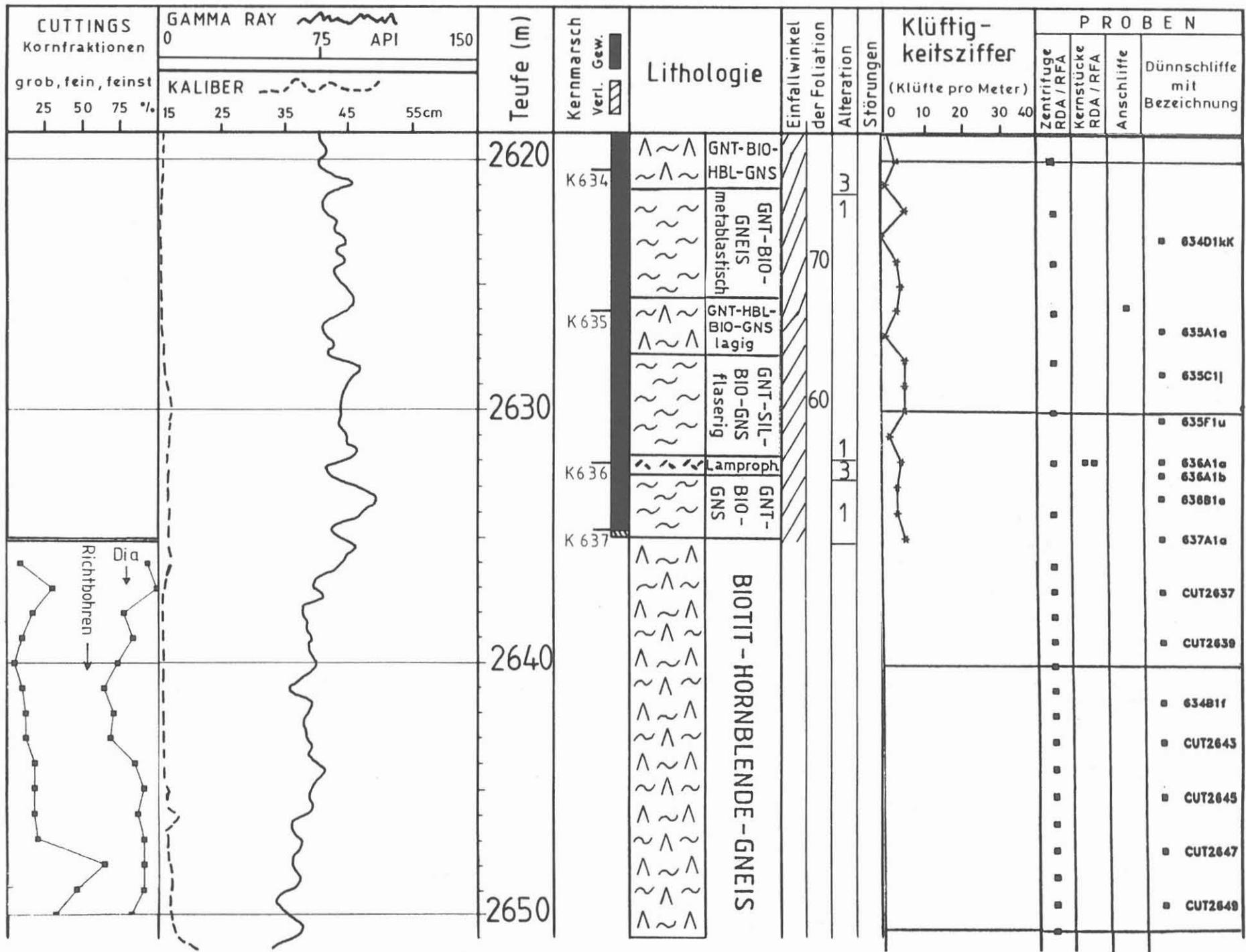
Quarzgang, Quarz-Feldspat-Mobilisat, Pegmatoid

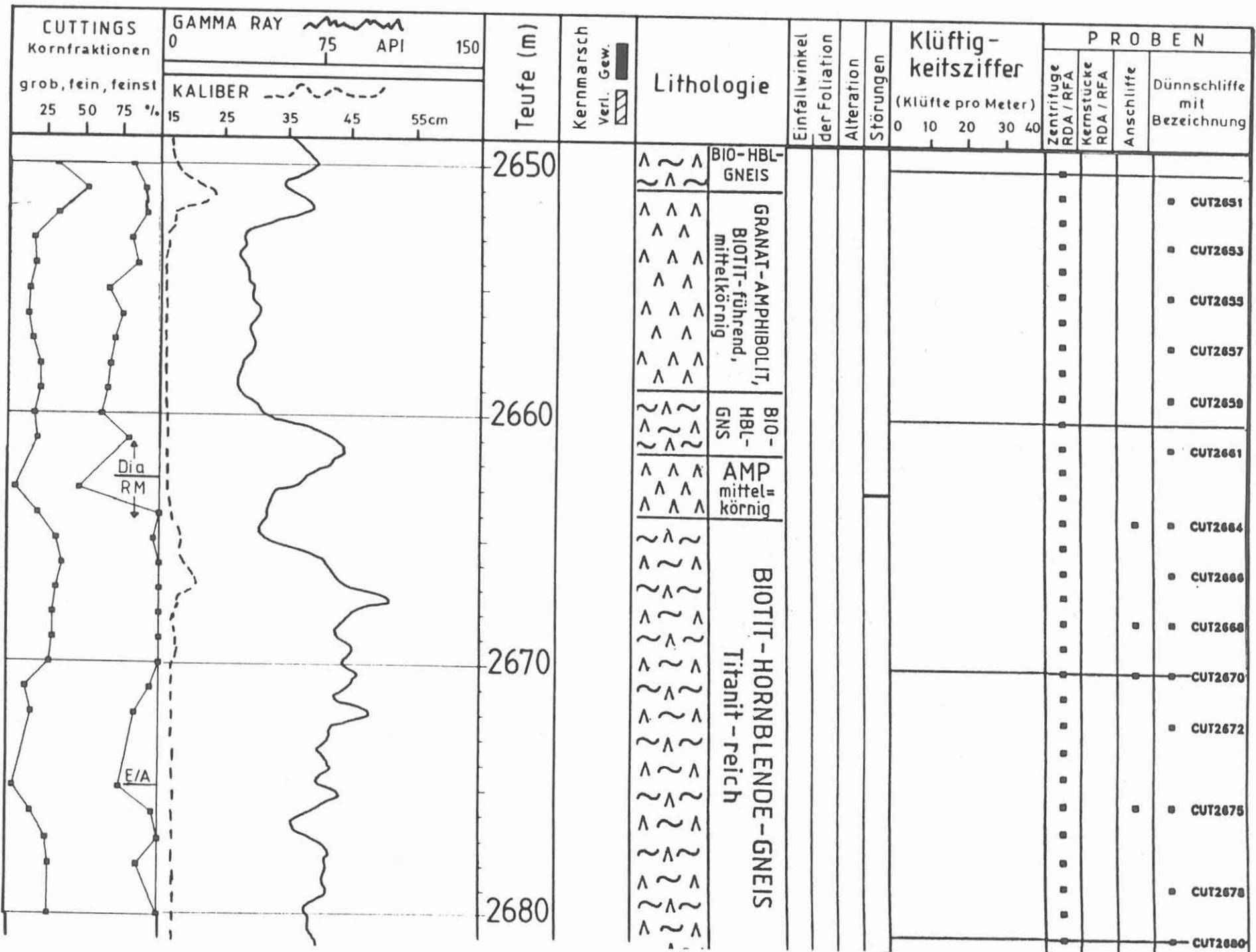
Folgende Seiten:

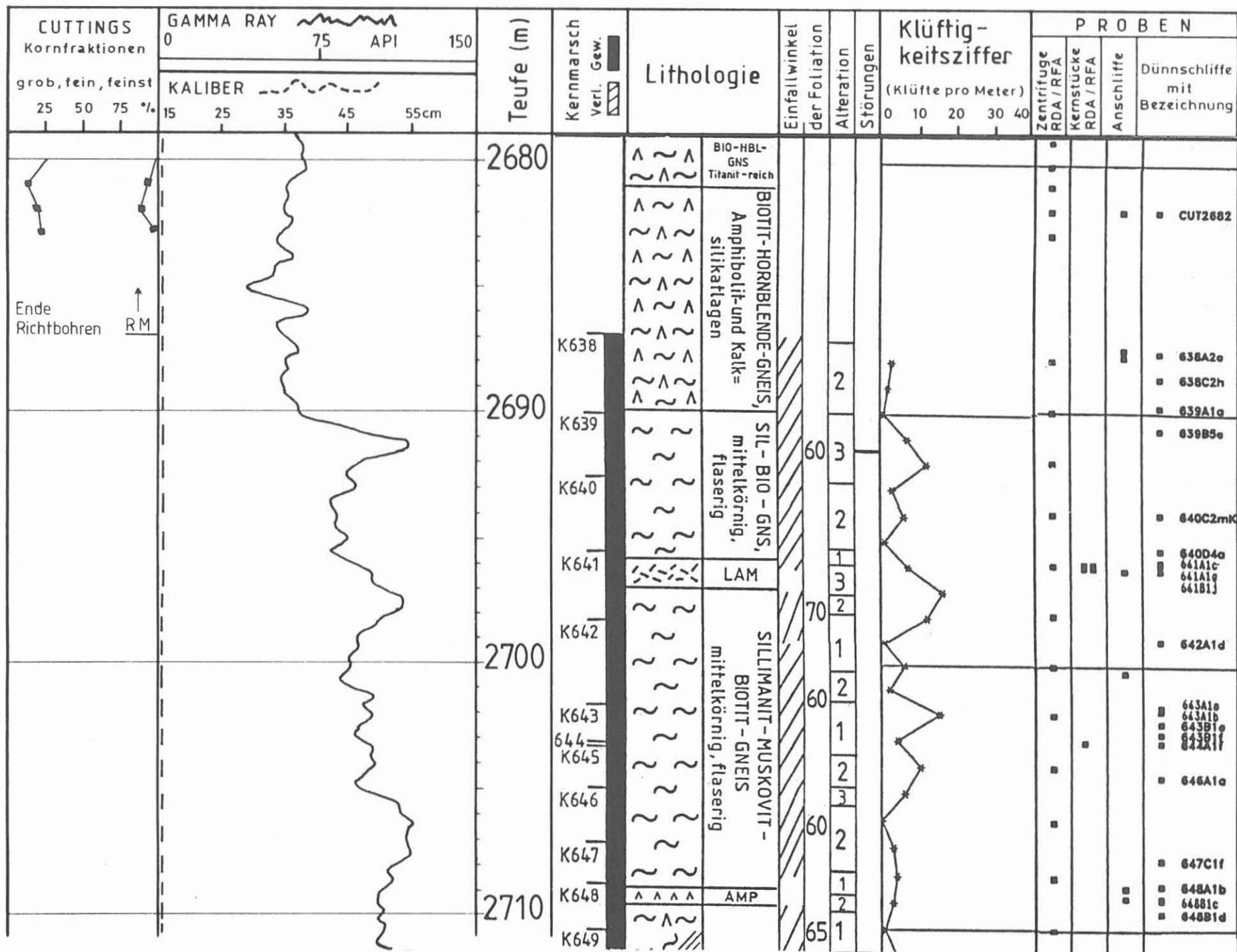
Abb. B.11: Profildarstellung der geologischen Ergebnisse im Vergleich mit ausgewählten bohrtechnischen Daten und Bohrlochmessungen im Maßstab 1:200.

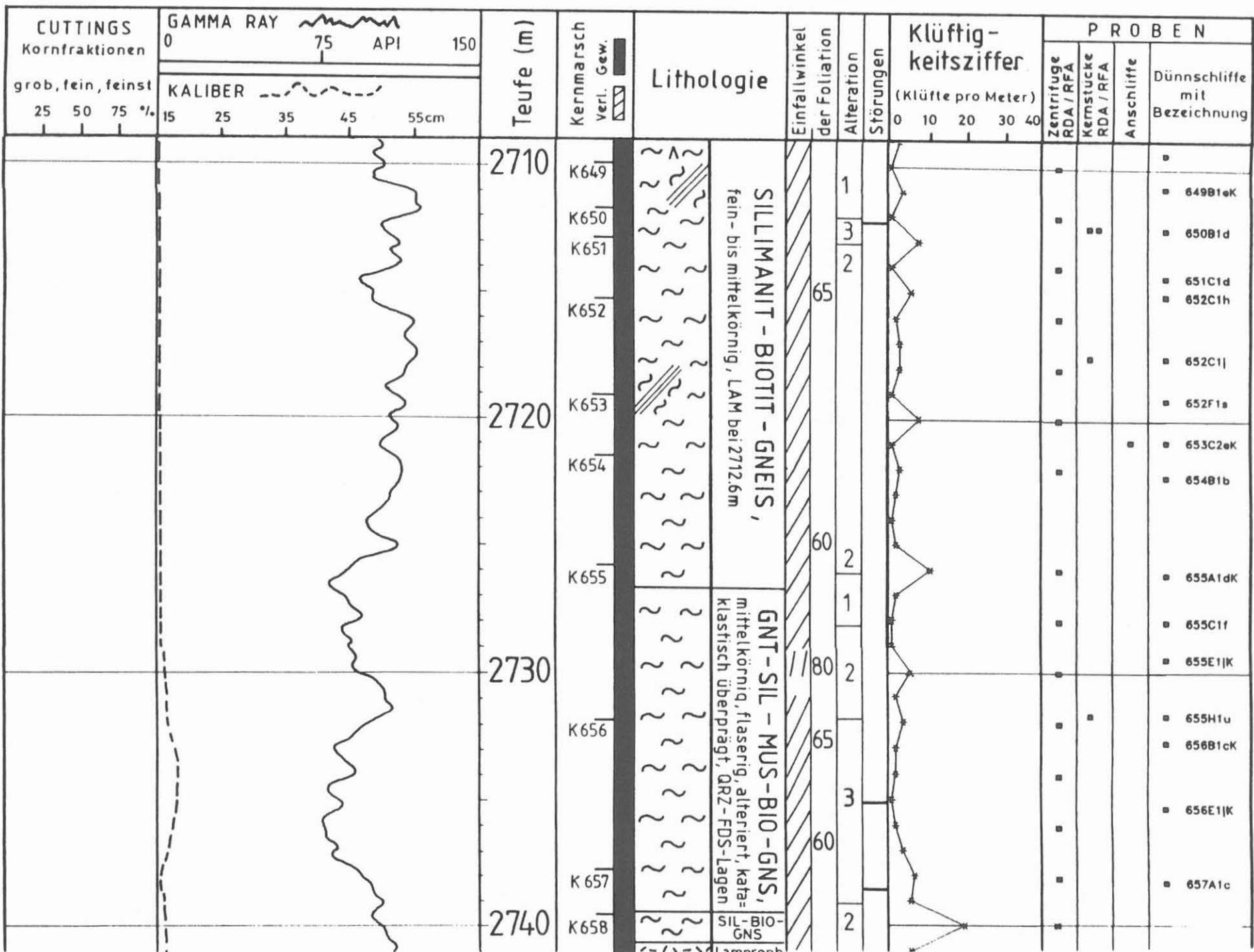
Mit zunehmender Teufe erhöht sich die Differenz zwischen Logteufe (gamma ray, Kaliber) und Kernteufe (Gestängeteufe). In diesem Profilabschnitt können die Logteufen bis zu 2 m größer sein als die Kernteufen.

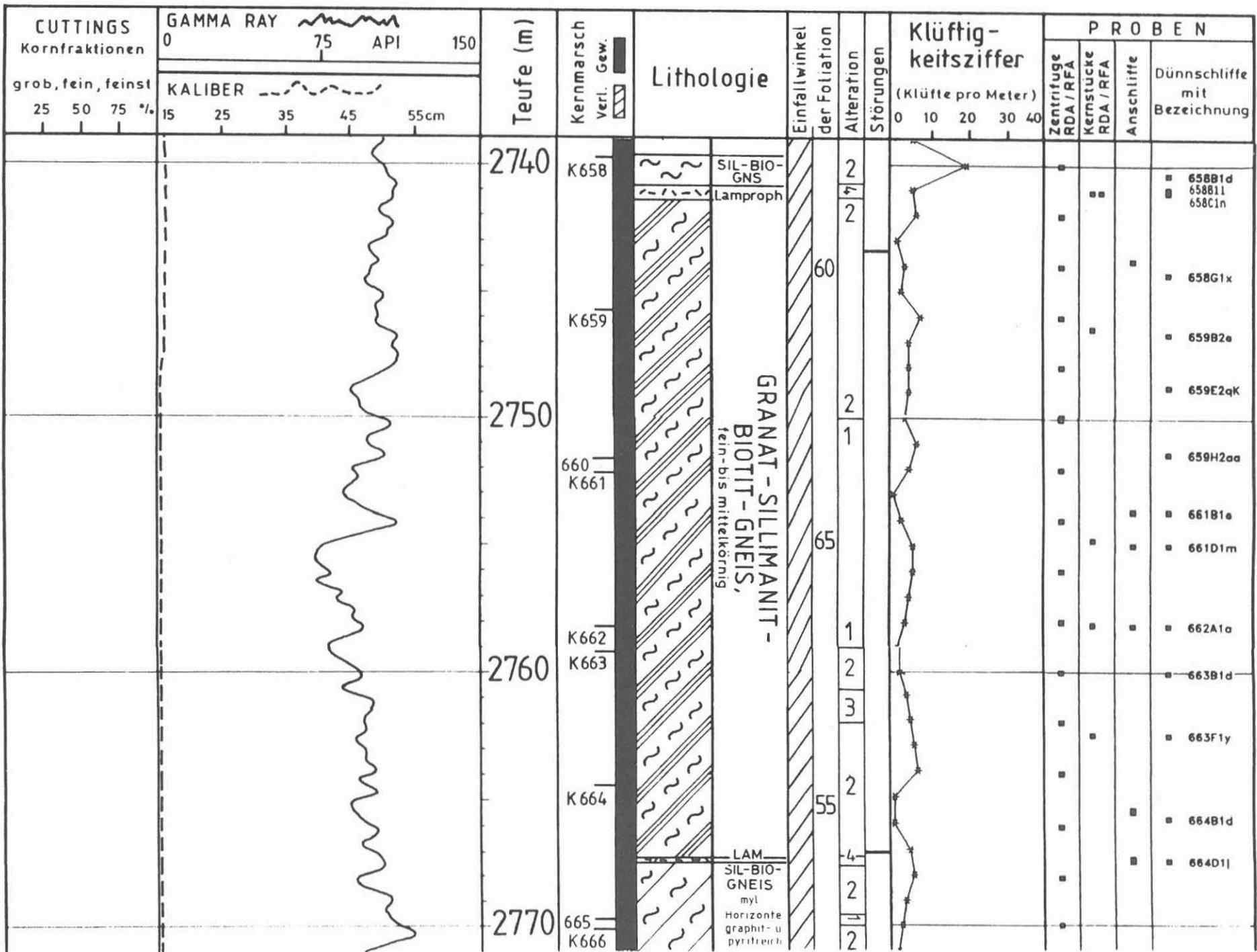


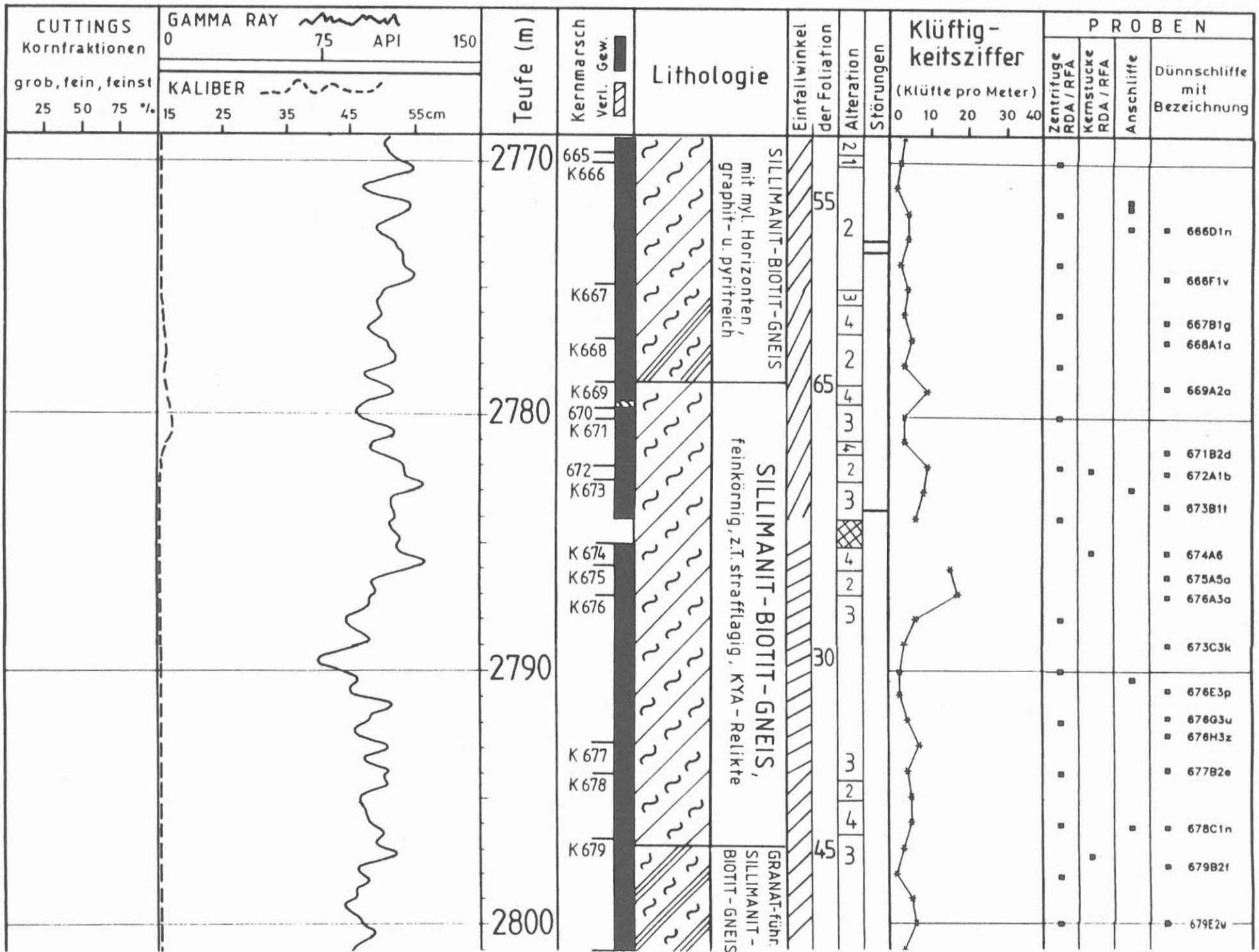


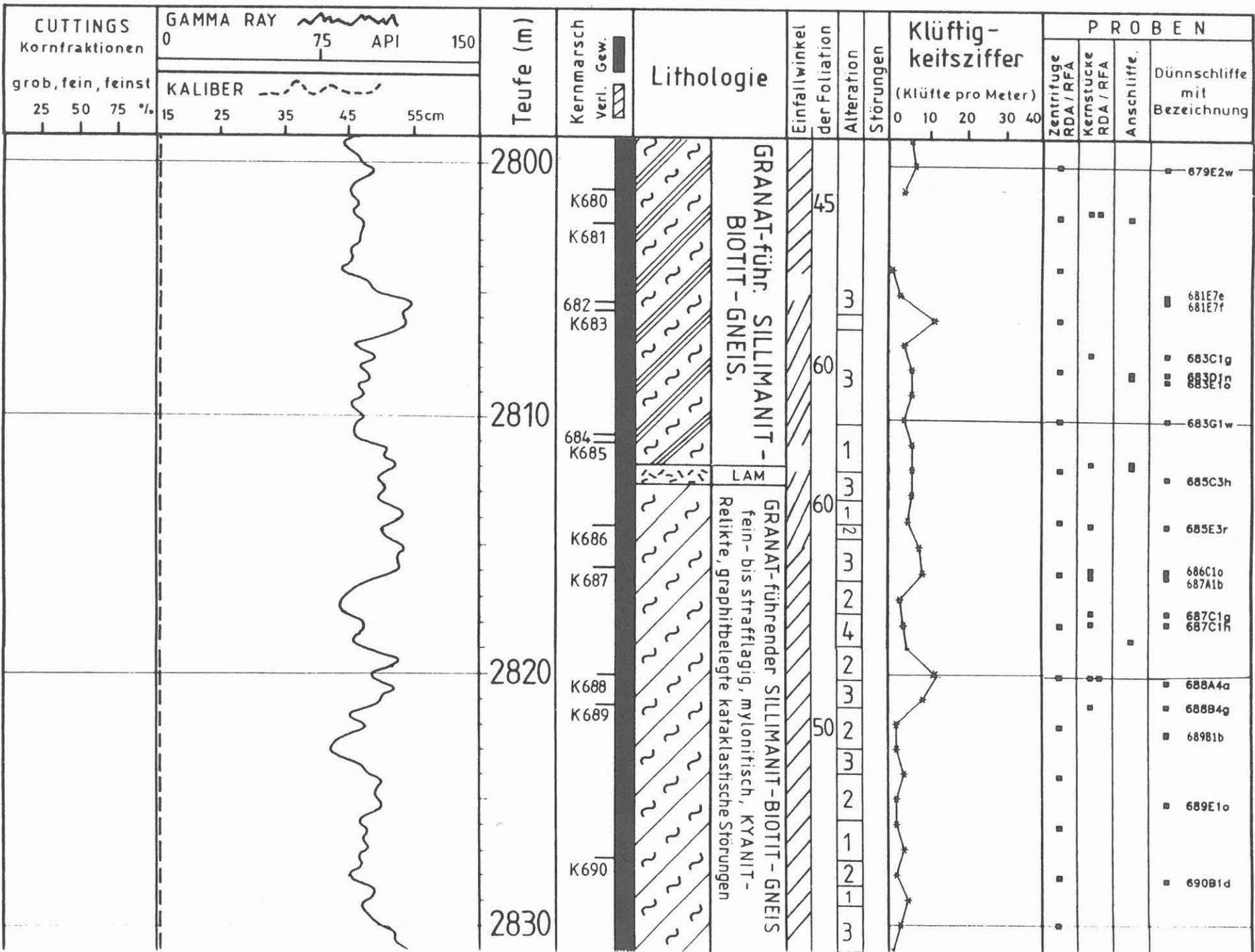


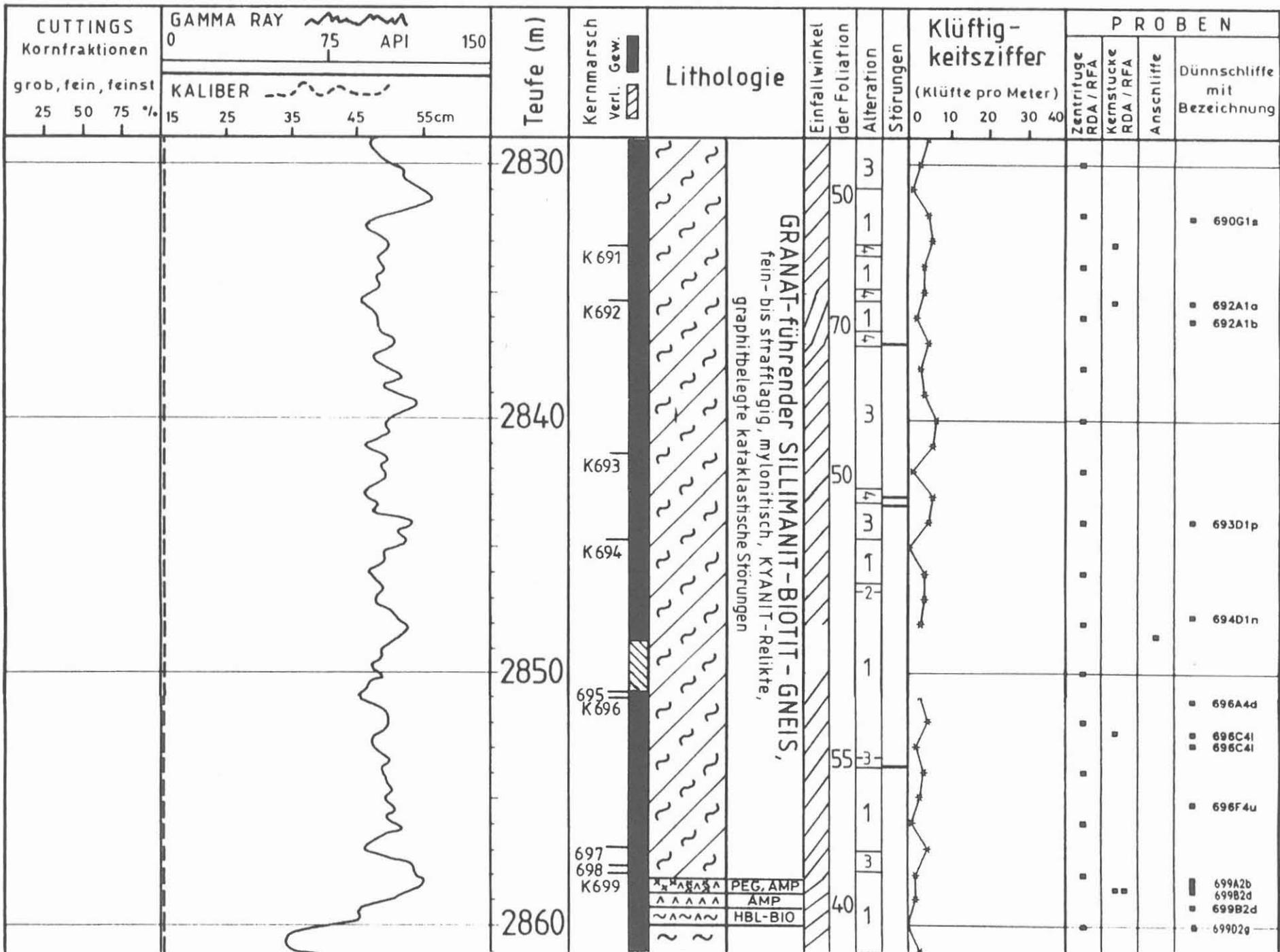


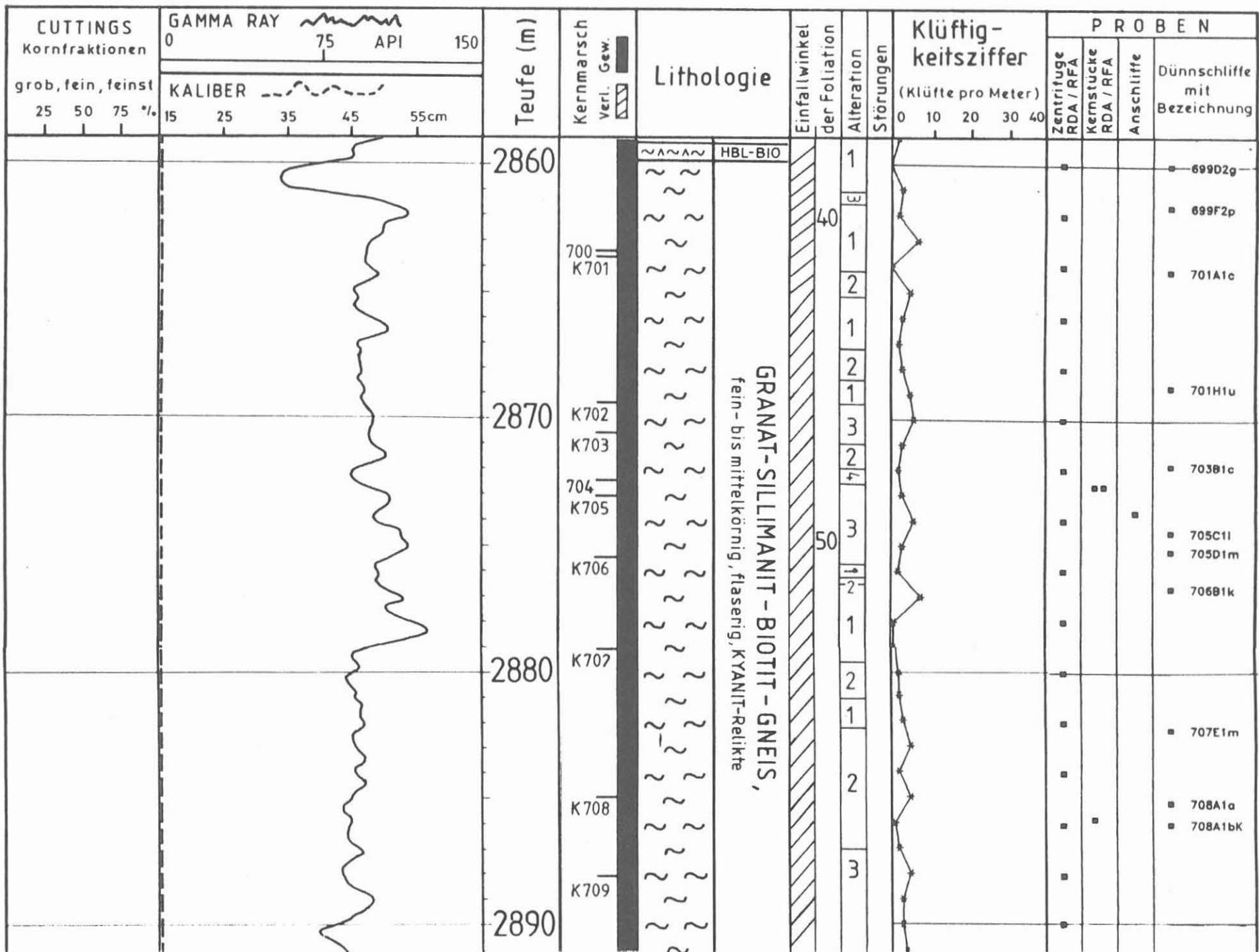


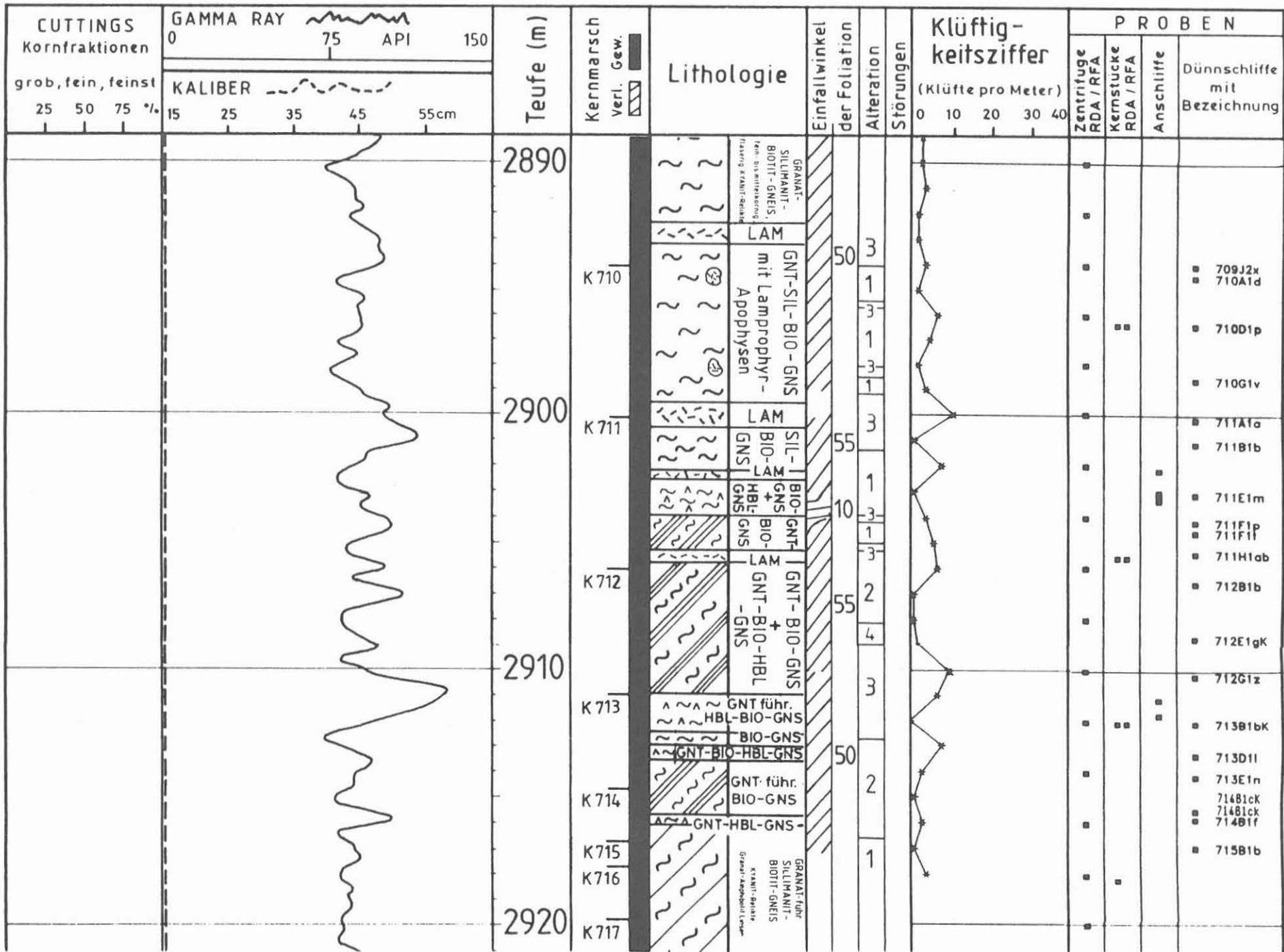


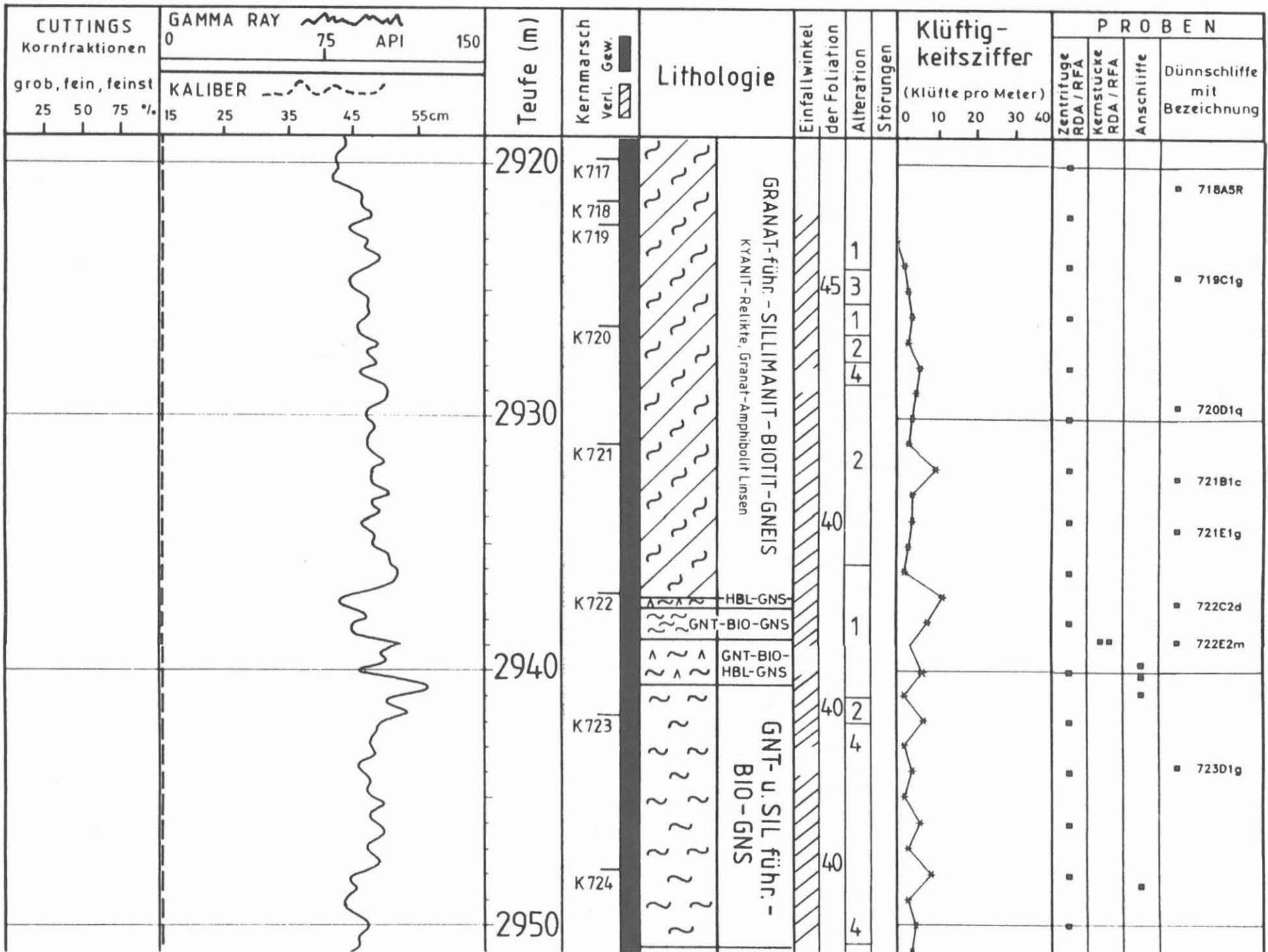


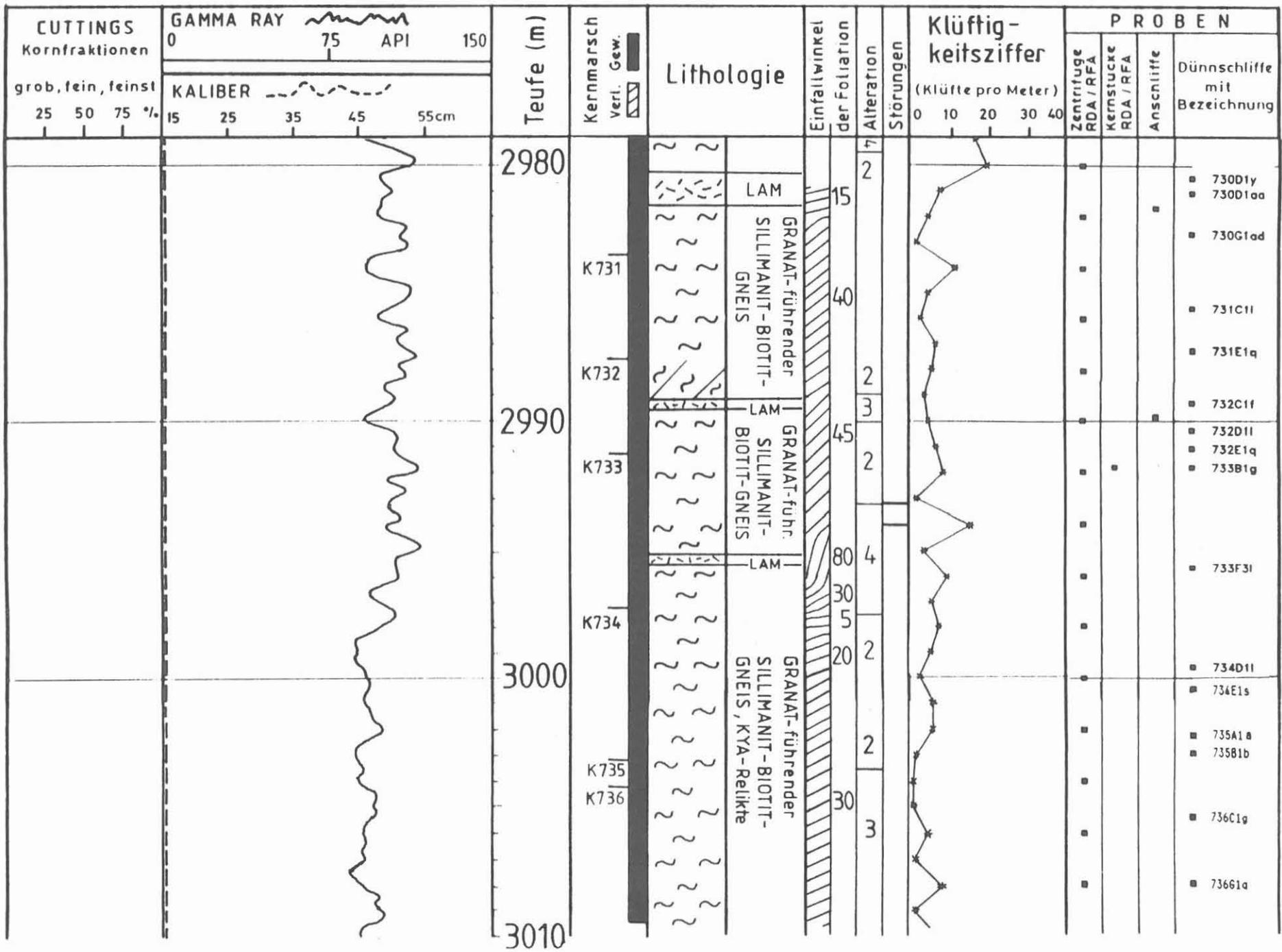












Tab. B.11: Profilbeschreibung für den Teufenabschnitt
2500 - 3009.7 m

Teufe (m)	Lithologisch-strukturelle Beschreibung
2494.2	----- gebänderter Granat-Hornblende-Biotit-Gneis mit hornblende- und biotitreichen Lagen, mit vereinzelt Klinopyroxen-Relikten
2504.4	----- feinkörniger, strafflagiger Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis mit geringer Granatführung und reliktmischem Kyanit
2505.7	----- titanitreicher Amphibolit
2506.0	----- flaseriger Granat-Biotit-Gneis
2506.5	----- titanitreicher Amphibolit (granat-, klinozoisit-, prehnit- und calcitführend) mit 1 cm mächtiger Kluftfüllung aus Quarz, Feldspat und Klinozoisit
2508.9	----- lagiger Amphibolit mit biotitreichen Lagen und einer porösen Kluft
2509.4	----- feinkörniger Chlorit-Amphibol-Schiefer in einer Scherzone
2509.7	----- feinlagiger Biotit-Hornblende-Gneis mit Amphiboliteinschaltung bei 2514,10 m, antiperthitführend, titanitreich, mit vereinzelt, 0.5 - 3 cm großen Granaten, mit bis zu 1 cm mächtigen biotitreichen Lagen, mit 1 cm mächtigen Kalksilikat-Lagen (Klinopyroxen, Plagioklas, Titanit, Karbonat, Epidot), mit Quarz-Linsen mit grobblastischem Hornblende-Saum, mit vereinzelt bis 1.3 cm großen hypidiomorphen bis runden Feldspäten, bei 2523.45 m mit einem eingefalteten Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis, bei 2535 m mit einem epidotreichen Band, bei 2532 m mit einer offenen Kluft mit Prehnit-Kristallrasen
2540.0	----- graphitreiche Scherbahn mit Quarz und 1 cm mächtigem Aplitgang, am Top alterierter, feinkörniger, (mylonitischer) Gneis
2540.4	----- postmetablastisch deformierter, massiger, regelloskörniger Biotit-Hornblende-Gneis mit Antiperthit, reliktmischem Kinopyroxen (bis 5 mm groß, mit Biotit- und Granat-Einschlüssen) und reliktmischem Granat, bei 2543 m mit einer Epidot-Linse (mit wenig Dolomit und Quarz), bei 2546 m ist entlang einer Epidot-Kluft auch das Nebengestein epidotisiert, dort auch mit einem Prehnit-Kristallrasen, bei 2549 m mit einer 10

- cm großen Quarz-Linse mit Epidotsaum, Graphit-Harnisch bei 2543 m und offener Kluft mit einem Calcit-Kristallrasen bei 2542 und 2545 m
- 2550.2 -----
foliiertes Biotit-Hornblende-Gneis mit Übergängen zu Amphibolit (stellenweise Epidot-Amphibolit) mit einigen biotitreichen Lagen, mit Kalksilikat-Lagen (mit Klinopyroxen mit Amphibolsaum), mit vereinzelt, 1 cm großen, idiomorphen Plagioklasen bei 2563 m und 2568 m, mit Calcit-Gängen mit beidseitigen Epidot-Salbändern zwischen 2564.5 und 2566.5 m, mit Calcit-Quarz-Epidot-Kluftfüllungen, mit einer Kluft mit Hohlräumen bei 2554 m, mit cm-großen, dunkelgrünen Hornblende-Linsen bei 2569 m
- 2572.4 -----
Kalksilikatgestein, feinlagig, mit wechselnden Gehalten an pleochroitischem Titanit, Klinopyroxen, Hornblende, Epidot, Karbonat, Mikroklin, Quarz, Granat, Plagioklas und Opakmineralen
- 2573.0 -----
Biotit-Hornblende-Gneis mit Amphibolit-Linsen
- 2573.6 -----
verfaltetes Kalksilikatgestein mit Biotit-Hornblende-Gneis-Lagen
- 2574.2 -----
Biotit-Hornblende-Gneis, metablastisch bis migmatitisch durch körnige bis schlierige Quarz-Feldspat-Mobilisate und mit Kalksilikat-Lagen
- 2575.1 -----
feinkörniger, mylonitischer Granat-Biotit-Gneis
- 2576.0 -----
metablastischer Biotit-Hornblende-Gneis
- 2576.5 -----
feinkörniger, mylonitischer Sillimanit-Biotit-Gneis, vergrünt, an der Basis epidotisiert und mit Graphit-Harnischen
- 2577.6 -----
mobilisatreicher Biotit-Gneis, vergrünt
- 2577.8 -----
migmatitischer Amphibolit, titanitreich, am Top mit einem 1 cm mächtigen Kalksilikat-Band
- 2578.2 -----
feinkörniger, mylonitischer Biotit-Gneis, vergrünt, mit Epidot-Klüften
- 2578.4 -----
migmatitischer Biotit-Gneis, vergrünt, mit Epidot-Klüften; im Liegenden feinkörniger, mylonitischer Biotit-Gneis, vergrünt, mit Graphit-Harnischen
- 2578.9 -----
feinlagiger, mylonitischer Granat-Biotit-Hornblende-Gneis, Antiperthit und Mikroklin führend, mit biotit- und hornblendereichen sowie mikroklinreichen, leukokraten Lagen und Amphibolit-Boudins, an der Basis metablastisch
- 2585.5 -----

- mylonitischer Granat-Biotit-Gneis mit foliationsparallelen Quarzbändern und Feldspat-Klasten, mit Zeolith-Klüften
- 2589.2 -----
Wechselagerung von vorwiegend mittelkörnig-flaserigem und feinkörnig-straflagigem Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis
- 2595.3 -----
mittelkörnig-flaseriger Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis, stark vergrünt und mit vielen Graphit-Scherbahnen, bei 2602.5 mit einem 10 cm großen, schlierigen Quarz-Feldspat-Mobilisat
- 2602.8 -----
grobkörniger Amphibolit
- 2603.0 -----
flaseriger Sillimanit-Biotit-Gneis, granatführend, teilweise schlierig-migmatitisch mit ausgeprägter Leukosom- und Melanosombildung
- 2604.8 -----
mittelkörniger, feinlagiger bis mylonitischer Sillimanit-Biotit-Gneis
- 2606.8 -----
kataklastisch überprägter Pegmatoid aus Quarz, Plagioklas und wenig Biotit
- 2607.1 -----
grobkörniger Granat-Biotit-Hornblende-Gneis mit 5 mm großen Granaten
- 2609.1 -----
mittelkörniger, metablastischer Granat-Biotit-Gneis, teilweise vergrünt, mit Prehnit-Gängchen und prehnitisiertem Biotit, bei 2612.5 m mit einer 2 cm mächtigen hornblendereichen Lage, bei 2613 m mit einem Arsenopyrit führenden Gängchen
- 2613.3 -----
mittelkörniger Hornblende-Biotit-Gneis mit hornblende- und biotitreichen Lagen und mit 5 mm großen Feldspat-äugen, bei 2614.73 m mit Calcit gefüllte Kluft mit Epidot-Salband
- 2617.4 -----
mittelkörniger bis feinkörniger Biotit-Gneis, kataklastisch mit Graphitharnischen, stark vergrünt, zum Teil hornblendeführend
- 2618.0 -----
mittelkörniger, metablastischer Granat-Biotit-Hornblende-Gneis, pyritführend
- 2621.2 -----
vorwiegend frischer, metablastischer Granat-Biotit-Gneis, am Top straaflagig, mit wenigen helleren und dunkleren Lagen, zum Teil mikroklinführend
- 2625.6 -----
lagiger Granat-Hornblende-Biotit-Gneis mit vereinzelt, 1 cm großen Granaten
- 2627.9 -----
flaseriger Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis mit Quarz-Calcit-Linsen und vereinzelt, cm-großen, titanit-

- reichen Granat-Amphibolit-Linsen
2631.9 -----
Lamprophyr
2632.6 -----
lagig-flaseriger Granat-Biotit-Gneis
2635.0 -----
Biotit-Hornblende-Gneis

**** Ab 2635.0 Richtbohrstrecke ohne Kerngewinn (Dia-Meißel)

- bei 2636.0 Granat-Hornblende-Gneis (Seitenkern)
2651.0 -----
mittelkörniger, biotitführender Granat-Amphibolit
2659.0 -----
Biotit-Hornblende-Gneis
2661.5 -----
mittelkörniger Amphibolit

**** Ab 2662.7 m Richtbohrstrecke (Rollenmeißel)

- 2664.0 -----
titanitreicher Biotit-Hornblende-Gneis, in alterier-
ten Bereichen chlorit-, epidot- und pyritführend,
zwischen 2664 und 2666 m mit einer graphitführenden
Kataklyse-zone
2681.0 -----
gebänderter Biotit-Hornblende-Gneis, teilweise stark
alteriert, mit 1 m mächtigen titanit- und epidotrei-
chen Amphibolit-Lagen und cm-mächtigen Kaiksilikat-
Lagen, mit Prehnit gefüllten, diskordanten Klüften

**** Ab 2687.0 Kernbohrstrecke

- 2690.0 -----
Wechselagerung von mittelkörnig-flaserigem, unterge-
ordnet feinkörnig-lagigem Granat-Sillimanit-Biotit-
Gneis, Sillimanit-Gehalt mit der Teufe zunehmend,
Laumontit und ?Apophyllit in Kluft bei 2695.40 m
2695.7 -----
Lamprophyr
2697.0 -----
vorwiegend mittelkörniger, flaseriger Sillimanit-
Muskovit-Biotit-Gneis mit einigen, 1-50 cm mächtigen,
feinkörnig-straflagigen Gneislagen, vereinzelt mit
bis 1 cm großen Granaten, Prehnitkluft bei 2702.31 m
2708.3 -----
grobkörniger Amphibolit mit einer feinkörnigen, gra-
natreichen Schliere am Top, abgesichert gegenüber dem
Hangenden
2708.9 -----
feinkörniger bis mittelkörniger, feinlagiger Sillima-

- nit-Biotit-Gneis (verfaltet, 2-5 mm mächtige Quarz-Feldspat-Lagen), am Kontakt zum hangenden Amphibolit schlierig-migmatitisch und hornblendeführend, bei 2712.6 m mit einem 10 cm mächtigen Lamprophyr-Gang in einer vergrüntem Kataklysezone, bei 2718 m mit einer 1 cm mächtigen Quarz-Lage, ab 2724.5 m mit einigen kataklastischen, graphitführenden Scherbahnen, bei 2727.60 Adulargängchen
- 2726.8 -----
mittel- bis grobkörniger, flaseriger Granat-Sillimanit-Muskovit-Biotit-Gneis, alteriert, mit vielen Quarz-Feldspat-Lagen und -Linsen, leicht kataklastisch überprägt mit Graphit-Scherbahnen und mit Graphit belegten Harnischflächen, bei 2727.8 m tritt eine Quarz-Schliere in einer verheilten Kataklysezone auf; Adular-Gängchen bei 2729.29 m
- 2739.6 -----
feinkörniger Sillimanit-Biotit-Gneis ohne die markanten Quarz-Feldspat-Lagen der hangenden Einheit
- 2740.8 -----
Lamprophyr mit Gneis-Einschlüssen
- 2741.2 -----
Wechselagerung von mittelkörnig-flaserigem und feinkörnigem Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis mit kataklastischen Scherbahnen, die teilweise mit Graphit belegt sind, bei 2760 m feinkörnige Biotit-Quarz-Linse in 15 cm mächtiger Biotit-Hornblende-Gneis-Lage
- 2767.3 -----
deformierter Lamprophyr und cm mächtiger Quarz-Gang in kataklastischer Störungszone
- 2767.5 -----
feinflaserig-lagiger Sillimanit-Biotit-Gneis mit feinkörnig-mylonitischen Einschaltungen bei 2775 m und 2777 m, mit wechselndem geringen Granat-Gehalt, in feinkörnigen, biotitreichen Horizonten Anlage einer undeutlichen Scherbandfoliation, mit konkordanten Quarz-Adular-Gängen (2772.2 pyritreich), zwischen 2775.4 m und 2776.8 m stark kataklastisch überprägt mit graphit- und pyritbelegten Störungsflächen, durchweg vergrünt
- 2778.8 -----
feinkörniger z.T. strafflagiger Sillimanit-Biotit-Gneis, granatarm (bei 2783 m 8mm große Granate), Kyanit-Relikte als Einschlüsse in Plagioklas und Muskovit, bei 2793 m flaserig mit Quarz-Feldspat-Mobilisaten und Turmalinen, Adular-Quarz-Chlorit-Gänge (2783 m) und Adular-Quarz-Calcit-Gänge (2796 m), bei 2778.8 m bis 2779.9 m kataklastisch überprägt mit graphitbelegten Harnischflächen, gesamter Profilabschnitt vergrünt, vereinzelt frische biotitreiche Lagen (2791.6 m)
- 2797.0 -----
Wechselfolge von feinkörnig-strafflagigen und flaserigen Sillimanit-Biotit-Gneisen, granatführend, bei 2807 m Sillimanit (Fibrolith) gehäuft, Adular-Quarz-

Chlorit-Gänge z.T. foliationsparallel, zwischen 2803.0 m und 2805.0 m vier diskordante bis 2.5 cm mächtige rosagefärbte Adular-Quarz-Epidot-Gänge, bei 2808 m bis 2809 m Quarz-Feldspat-Gang mit 2 cm mächtiger Sphalerit-Vererzung

2812.0 -----

Lamprophyr, deformiert und stark alteriert, von feinen Scherbahnen durchzogen, Fiederspalten und Salband mit Calcit und Adular mineralisiert

2812.8 -----

feinlagig-straflagiger bis mylonitischer, granatführender Sillimanit-Biotit-Gneis mit flaserigen Horizonten, Granat lagenweise angereichert (≤ 2 mm), Kyanit-Relikte als Einschlüsse in Plagioklas und Muskovit, vereinzelt eng bis isoklinal verfaltet (2816.2 m, 2821.0 m, 2831.5 m), bei 2836.1 m 10 cm mächtiges Pegmatoid, bis zu 5 mm mächtige Adular-Quarz-Gänge sind häufig, graphitbelegte kataklastische Störungen bei 2836.7 m, 2842.6 m und 2853.2 m

2858.0 -----

Pegmatit mit mikrographischen Quarz-Plagioklas-Verwachsungen, chloritisierten Biotiten und feinen Calcit-Adular-Adern

2858.3 -----

Amphibolit, Kontakt zum hangenden Pegmatit biotitreich

2858.4 -----

Pegmatit wie 2858.0 m

2858.5 -----

Amphibolit wie 2858.3 m, nicht foliiert, z.T. mit 3 mm großen frischen Biotiten, im liegenden Übergang zu Hornblende-Biotit-Gneis, granat- und titanitarm, Plagioklase serizitisiert und saussuritisiert

2859.1 -----

gebänderter Hornblende-Biotit-Gneis (weitspannig bis eng verfaltet), mit Wechsellagerungen von mm bis cm mächtigen hornblende- bzw. feldspatreichen Bändern, geringer Granatgehalt mit Korngrößen bis 1.5 mm, bei 2859.5 m verfaltetes Quarz-Feldspat-Mobilisat

2859.8 -----

feinkörnig-feinflaseriger Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis mit mittelkörnig-flaserigen Horizonten (2864 m - 2870 m, 2885 m - 2892.5 m), unterschiedlich starke Chloritisierung der Biotite, z.T. granat- und sillimanitreicher (Fibrolith) als hangende Gneise, Kyanit-Relikte in Plagioklas, in feinkörnigen Bereichen zeigen Quarz und Feldspat Subkornbildung und Rekristallisation, bei 2875.2 m 5 cm mächtige chloritreiche Lage mit massigem Interngefüge, vereinzelt graphitbelegte Harnischflächen

2892.5 -----

Lamprophyr

2893.3 -----

flaseriger Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis mit z.T. stärker chloritisierten und graphitbelegten Störungs-

- flächen, bei 2894.5 m und 2898.6 m Lamprophyr-Apophysen
- 2899.6 -----
Lamprophyr, am Salband kataklastisch deformiert, Hornblende-Einsprenglinge (bis 150 µm) mit Aktinolith-Anwachssäumen, Biotit-Einsprenglinge, Plagioklas-Leisten (bis 150 µm)
- 2900.6 -----
flaseriger, teilweise metablastischer (2901.2 m) granatführender Sillimanit-Biotit-Gneis mit chloritbelegten Kluftflächen und vereinzelt Adular-Gängchen
- 2902.2 -----
Lamprophyr
- 2902.6 -----
metablastischer, granat- und hornblendeführender Biotit-Gneis (vergrünt) mit Hornblende-Gneis-Einschaltungen (granat- und apatitführend, titanitreich), feine Calcit-Prehnit-Gänge
- 2904.0 -----
metablastischer Granat-Biotit-Gneis mit postmetablastisch deformierten, mylonitischen Horizonten bei 2904.1 m - 2904.4 m und unterhalb 2904.7 m
- 2905.4 -----
Lamprophyr, Hornblende-Einschlüsse bis 100 µm mit Aktinolith-Anwachssäumen, zonierte Plagioklas-Leisten (100 µm), z.T. Ausbildung einer Scherbandfoliation, sekundäre Calcit-Adular-Gänge
- 2905.8 -----
feinflaseriger, metablastischer Granat-Biotit-Gneis mit feinkörnig-mylonitischen Horizonten (Wechsel von quarz- und plagioklasreichen mit granat-, muskovit- und biotitreichen Lagen zwischen 2909.7 m und 2910.3 m), Granat-Biotit-Hornblende-Gneis-Einschaltungen zwischen 2906.8 m und 2907.1 m
- 2911.0 -----
lagiger granatführender Hornblende-Biotit-Gneis mit hornblende- und titanitreichen Lagen
- 2912.6 -----
lagiger, metablastischer, granatführender Biotit-Gneis (vergrünt)
- 2913.1 -----
metablastischer Granat-Biotit-Hornblende-Gneis, titanitreich, mit bis zu 8 mm großen Granaten
- 2913.7 -----
lagig-metablastischer granatführender Biotit-Gneis, zwischen 2915.0 m und 2915.3 m strafflagig, im Hangenden stärker vergrünt, vereinzelt pumpellyitführend, mit deutlichen Gehalten an Apatit und Opakmineralen (2915.5 m)
- 2915.8 -----
Granat-Hornblende-Gneis, relativ apatitreich
- 2916.1 -----
feinlagiger bis flaseriger, granatführender Sillimanit-Biotit-Gneis mit Kyanit-Relikten in Plagioklas,

- zirkonreich (50µm), Granate selten größer als 2 mm, teilweise stärker vergrünt, muskovitreich, Graphit-harnische bei 2931.5 m, bei 2916.9 m Granat-Amphibolit-Linse mit zonierten Granaten und Hornblenden, Ilmenit-Pseudomorphosen nach Titanit, Apatit und Klinopyroxen-Relikten
- 2937.2 -----
granatführender Hornblende-Gneis, titanitreich (teilweise in Ilmenit umgewandelt), Apatit und Allanit
- 2937.6 -----
feinflaseriger Granat-Biotit-Gneis, im Liegenden quarz- und feldspatreich
- 2938.8 -----
metablastischer Granat-Biotit-Hornblende-Gneis, titanitführend, bei 2939.0 m diskordanter 5 cm mächtiger Quarz-Gang, bei 2939.2 m - 2939.7 m quarz-, feldspat- und chloritreich (Mobilisat)
- 2940.5 -----
flaseriger granat- und sillimanitführender Biotit-Gneis, z.T. stark vergrünt, mit graphitbelegten Störungsflächen
- 2950.8 -----
lagiger bis metablastischer, granatführender Biotit-Hornblende-Gneis, in grobkörnigen Horizonten mikroklinführend (Hornblende bis 3 mm - 2953.8 m), titanitreich, im Übergang zum Liegenden apatitreich, Biotite häufig vollständig chloritisiert, bei 2951.7 m geringmächtige feinkörnige Biotit-Gneis-Lage (stark alteriert), bei 2951.1 m Kataklysezone mit Subkornbildung und Rekristallisation in Quarzgängchen
- 2954.8 -----
flaseriger Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis mit Kyanit-Relikten in Plagioklas, z.T. vergrünt, bei 2977 m zirkon- und allanitreich
- 2980.4 -----
Lamprophyr, Salband stark alteriert, Hornblende-Einsprenglinge mit Aktinolith-Anwachssäumen und Plagioklas-Leisten (bis 400 µm)
- 2981.7 -----
flaseriger, granatführender Sillimanit-Biotit-Gneis, ab 2986.6 m feinkörnig-mylonitisch, vereinzelt mit prismatischem Sillimanit und Kyanit-Kornhaufen in Plagioklas, muskovitreich
- 2989.2 -----
Lamprophyr, stark deformiert, Calcit-Gang am Salband
- 2989.5 -----
feinkörniger granatführender Sillimanit-Biotit-Gneis, muskovitreich
- 2995.2 -----
Lamprophyr, deformiert
- 2995.6 -----
flaseriger, granatführender Sillimanit-Biotit-Gneis mit Kyanit-Relikten in Plagioklas, kataklastisch verfaltet mit vertikalen Faltenachsenflächen, deutlich vergrünt, vereinzelt geringmächtige diskordante Adular-Gänge
- 3009.7 -----

C. Geochemie

KTB Oberpfalz VB -
Röntgenanalytik
Spülanalytik
Gasanalytik

M. Tapfer
H.-J. Heinschild
A. Stroh
M. Wittenbecher
M. Zimmer



KTB Report	89-4	C1 - C50	13 Abb.	Hannover 1989
------------	------	----------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor - Teufenbereich von 2500 bis 3009.7 m:

C.Geochemie

M. Tapfer, H.-J. Heinschild, A.Stroh, M. Wittenbecher,
M. Zimmer*

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>		Seite
	Zusammenfassung.....	C 2
	Abstract.....	C 3
C.1	Einleitung.....	C 4
C.2	Probenahme und Probenaufbereitung.....	C 4
C.3	RFA und RDA Analytik.....	C 5
C.3.1	Allgemeines.....	C 5
C.3.2	Ergebnisse von Bohrmehlproben	C 5
C.3.3	Kluft- und Harnischmineralisation.....	C 12
C.3.4	Bestimmung der Gesteinsdichte mit RDA.....	C 12
C.4	Spülungsanalytik.....	C 15
C.4.1	Allgemeines.....	C 15
C.4.2	Ergebnisse und Diskussion.....	C 15
C.5	Gasanalytik.....	C 17
C.5.1	Allgemeines.....	C 17
C.5.2	Ergebnisse	C 17
C.5.3	Fluidprobennehmer.....	C 24
C.6	Schriftenverzeichnis.....	C 26
C.7	Danksagung.....	C 27
C.8	Anhang.....	C 28
	Tiefenlogs aller Ergebnisse (1:2000)	
	Zusammenstellung sämtlicher Spülungseinleitungen	

* Anschrift der Autoren:
KTB Feldlabor, D-8486 Windischeschenbach

Zusammenfassung

Der Teufenbereich 2500 - 3009.7 m der KTB-Vorbohrung wurde kontinuierlich auf die chemische bzw. mineralogische Zusammensetzung der Feststoffe, Bohrspülung und Gasphase untersucht.

Mit Ausnahme einer Richtbohrstrecke von 2635 - 2687 m konnte vollständig gekernt werden. Im Bereich der Richtbohrstrecke wurden an Feststoffen nur Cuttings und Bohrmehl gewonnen.

Mit Hilfe der RDA und RFA Analytik an Bohrmehlproben wurde ein lithologisches Profil erarbeitet. Die durchteuften Gneise, Amphibolite und Lamprophyre können anhand mineralogischer und chemischer Parameter erkannt und voneinander abgegrenzt werden. Aus quantitativen RDA-Analysen errechnete Gesteinsdichten wurden ebenfalls zur lithostratigraphischen Untergliederung des Profils herangezogen. Die an Kernmaterial ermittelten Daten sind im Teil B. Geologie dargestellt und diskutiert.

Die Bohrspülung zeigt Anreicherungen an den Elementen Na, Ca, K, Sr, Ba, Fe, Mg, Mn, Zn, Al und Si, die auf Austauschprozesse mit den durchteuften Gesteinen zurückgeführt werden. Die Ergebnisse der Spülungsanalytik sowie einer Fluid Sampler-Probe aus Teufe 2833 m erbrachten keinen Hinweis auf Zuflüsse salinärer Wässer.

Die Zusammensetzung der Gasphase ist z.T. abhängig von bohrtechnischen Maßnahmen. Im Bereich der Richtbohrarbeiten nehmen die Wasserstoff- und Methan-Gehalte, bedingt durch den Einsatz von Rollen- und Dia-Vollmeißeln, ab. Eine Zunahme von Helium im Teufenbereich 3000 - 3009.7 m ist auf eine ca. 20 cm mächtige Kataklasitzone mit Graphitharnischen zurückzuführen.

Abstract

From 2500 - 3009.7 m solids, drilling fluid and gases of the KTB pilot well were continuously investigated for chemical and mineralogical composition.

Except for a directional drilling phase between 2635 and 2687 m 100 % cores were recovered. During directional drilling only cuttings or rock flour samples were obtained.

A lithological profile was worked out on the basis of XRD /XRF analysis of rock flour samples. Drilled gneisses, amphibolites and lamprophyres can be identified and discriminated by chemical and mineralogical parameters. Using quantitative XRD-analysis, densities were computed and used for a subdivision of the profile. Data measured on core material are presented and discussed in Part B. Geology.

The drilling fluid shows enrichments of some elements, which can be correlated to interactions with the penetrated rocks. The results of drilling fluid analysis as well as a fluid sample from 2833 m showed no indication of influxes of formation waters.

The composition of the gas phase partly depends on the drilling technique. During directional drilling, hydrogen and methane contents decrease, because roller cone bits and diamond drilling bits were used. An increase of the helium content from 3000 - 3009.7 m can be explained by a 20 cm thick graphite bearing cataclastic zone.

C.1. Einleitung

Die Ergebnisse der chemischen und mineralogischen Bohrungsbearbeitung des Teufenbereichs 2500 m - 3009.7 m werden in diesem Arbeitsbericht zusammengefaßt. Außer der Feststoffuntersuchung erfolgte eine kontinuierliche chemische Analyse der Spülung und der aus der Spülung freigesetzten Gase.

Der hier dargestellte Teufenbereich wurde mit Ausnahme einer Richtbohrstrecke zwischen 2635 und 2687 m voll gekernt. Während im Teufenintervall der Richtbohrstrecke nur Bohrkleinmaterial für die Feststoffuntersuchungen zur Verfügung stand, wurden in den anderen Bohrungsabschnitten Kerne und Zentrifugenmaterial analysiert. Hauptmineralphasen von Kluft- und Harnischmineralisationen wurden mittels Röntgenpulverdiffraktometrie bestimmt.

Mit den chemischen und mineralogischen Parametern des Bohrkleins wurde ein lithologisches Profil erstellt. Der Analysenabstand betrug 1 - 2 m.

Im Rahmen der Spülungsanalytik erfolgte die Bestimmung der Kationen- und Anionenkonzentrationen der eingesetzten Bohrspülung (D-HT). Die Beprobungsdichte der Kationenanalytik betrug 2 m, die der Anionenanalytik 4 m.

Die in der Bohrspülung gelösten Gase wurden durch eine Gasfalle kontinuierlich freigesetzt und auf ihre Komponenten untersucht.

Mit Fluidprobennehmern (Indikationen für eine Probennahme: Gas, Temperatur, Leitfähigkeit) gewonnene Proben wurden auf ihre Kationen-, Anionen- und Gasgehalte hin analysiert.

C.2. Probenahme und Probenaufbereitung

Probenahme und Probenaufbereitung sind bei HEINSCHILD et al. (1988a), HEINSCHILD et al. (1988b), STROH et al. (1988), HOMANN et al. (1988) sowie in STROH & TAPFER (1988) beschrieben. Im Teufenintervall der Richtbohrstrecke (2635 - 2687 m) wurde der Untersuchungsabstand für die Feststoffanalytik, soweit es möglich war, auf 1 m verdichtet.

C.3. RFA und RDA Analytik

C.3.1 Allgemeines

Die chemische Analyse der Haupt- und Spurenbestandteile von Zentrifugenproben wurde an Pulverpreßtabletten röntgenspektroanalytisch durchgeführt. Die Bestimmung des quantitativen Mineralbestandes erfolgte mit einem Pulverdiffraktometer (Siemens D 500) nach der von STROH (1988) beschriebenen Methode.

Mit den Ergebnissen der kontinuierlich durchgeführten RDA und RFA Analysen von Zentrifugenproben werden Gesteinstypen voneinander abgegrenzt und so die durchteufte Bohrstrecke in lithologische Einheiten unterteilt. Zur besseren Übersicht sind die einzelnen lithologischen Einheiten in Tabellenform (Tab. C. 3.2.1) präsentiert.

Die mineralogischen und chemischen Ergebnisse von Kernstückanalysen der wichtigsten Gesteinstypen sind mit den petrographischen Ergebnissen verknüpft im Geologie-Teil (Teil B.) dieses Bandes dargestellt.

Die Ergebnisse aller untersuchten Bohrmehlproben (Z-Proben) sind in Teufenlogs (Maßstab 1:1000) im Anhang dargestellt. Neben den chemisch-mineralogischen Ergebnissen ist zum Vergleich das geologische Übersichtsprofil abgebildet.

C.3.2 Ergebnisse von Bohrmehlproben

Tab. C.3.2.1 zeigt das an Hand der Bohrmehluntersuchungen aufgestellte lithostratigraphische Profil. Die mineralogischen bzw. chemischen Parameter, mit deren Hilfe die durchteufte Strecke untergliedert werden konnte, sind außer den für bestimmte Gesteinstypen charakteristischen Mineralen im wesentlichen die MgO-, CaO- und K₂O-Gehalte sowie die Gehalte der Spurenelemente Rb, Sr, Zr und Ni. Zur Gliederung der durchteuften Metabasite (Amphibolite und HBL-Gneise) in den Teufenbereichen 2500- 2586m und 2633- 2690m dienten in erster Linie die Gehalte der röntgendiffraktometrisch bestimmten Mineralphasen. Amphibolgehalte von über 40 Gew.% sind charakteristisch für Amphibolite; bei niedrigeren Amphibolgehalten und deutlichen Gehalten an Quarz (10-30 Gew.%), Biotit und Chlorit (10-20 Gew.%) werden die Gesteine in Übereinstimmung mit dem Dünnschliffbefund als Bio-Hbl-Gneise angesprochen. Zusätzlich sind Angaben über Granatgehalte aufgeführt. Auf teilweise sehr hohe Titanitkonzentrationen wird ebenfalls hingewiesen. In den anderen Teufenbereichen dominieren Paragneise, in die Lamprophyre, Bio-Hbl-Gneise und Amphibolite mit zum Teil geringen Mächtigkeiten eingeschaltet sind.

Bei Mächtigkeiten unter 1 Meter (z.B. Lamprophyre) sind die Bohrmehlproben in der Regel mit dem durchteuften Nebengestein vermischt (Abb.C.3.2.1). Dennoch heben sich Mischproben von Lamprophyren, Amphiboliten und Hbl-Gneisen mit Paragneismaterial des anstehenden Nebengesteins durch geringe Amphibol- und Kalifeldspat- Gehalte von den unvermischten Paragneisen ab. Noch deutlicher kann man die o. g. Bereiche durch kleine, aber signifikante Peaks in der chemischen Zusammensetzung abgrenzen. Es ist also durchaus möglich, solche geringmächtigen Einschaltungen sicher zu identifizieren, wobei jedoch aufgrund der Vermischung mit dem Nebengestein keine Angaben über die exakte Mächtigkeit möglich sind. In Abb.C.3.2.2 ist ein Ausschnitt des chemischen Teufenlogs von 2850 - 3000m dargestellt, in dem die unterschiedlichen Gesteine gekennzeichnet sind. Deutlich lassen sich z. B. Amphibolite von Lamprophyren aufgrund ihrer Elementverteilung unterscheiden: während beide Typen gegenüber dem Nebengestein (Paragneise) erhöhte Gehalte an Fe_2O_3 , MgO , CaO , Sr und Ni aufweisen, zeigen Lamprophyre zusätzlich eine Anreicherung an K_2O und Rb . Amphibolite sind in der Regel durch deutlich höhere Zr-Gehalte gekennzeichnet und zeigen im Vergleich zu den Paragneisen und Lamprophyren meist eine Verarmung der Elemente Kalium und Rubidium.

Durch bohrtechnische Maßnahmen (z. B. Ein- und Ausbau, Nachrotieren etc.) kommt es vereinzelt zu einer Kontamination der Proben durch Nachfall. Solche Bereiche und Partien mit sehr geringmächtigen Wechsellagerungen (kleiner 0.5 m) sind in Tab.C.3.2.1 nicht berücksichtigt. Das aufgestellte "Bohrmehl-Profil" läßt sich mit dem am Kern erarbeiteten lithologischen Profil gut parallelisieren. Dies wird in Abb. C.3.2.3 deutlich. In dieser Abbildung ist das an Hand der Bohrmehluntersuchungen erarbeitete Profil dem geologischen Übersichtsprofil und dem Gefügeprofil gegenübergestellt.

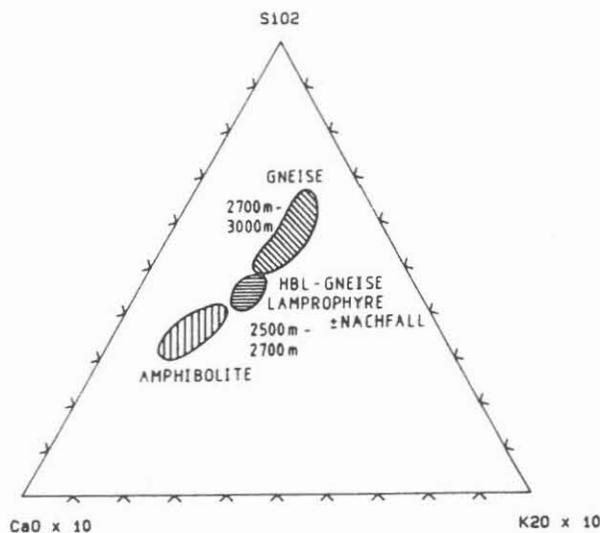


Abb.C.3.2.1: Dreiecksdiagramm zu einer ersten lithologischen Unterteilung der durchteuften Gesteinstypen.

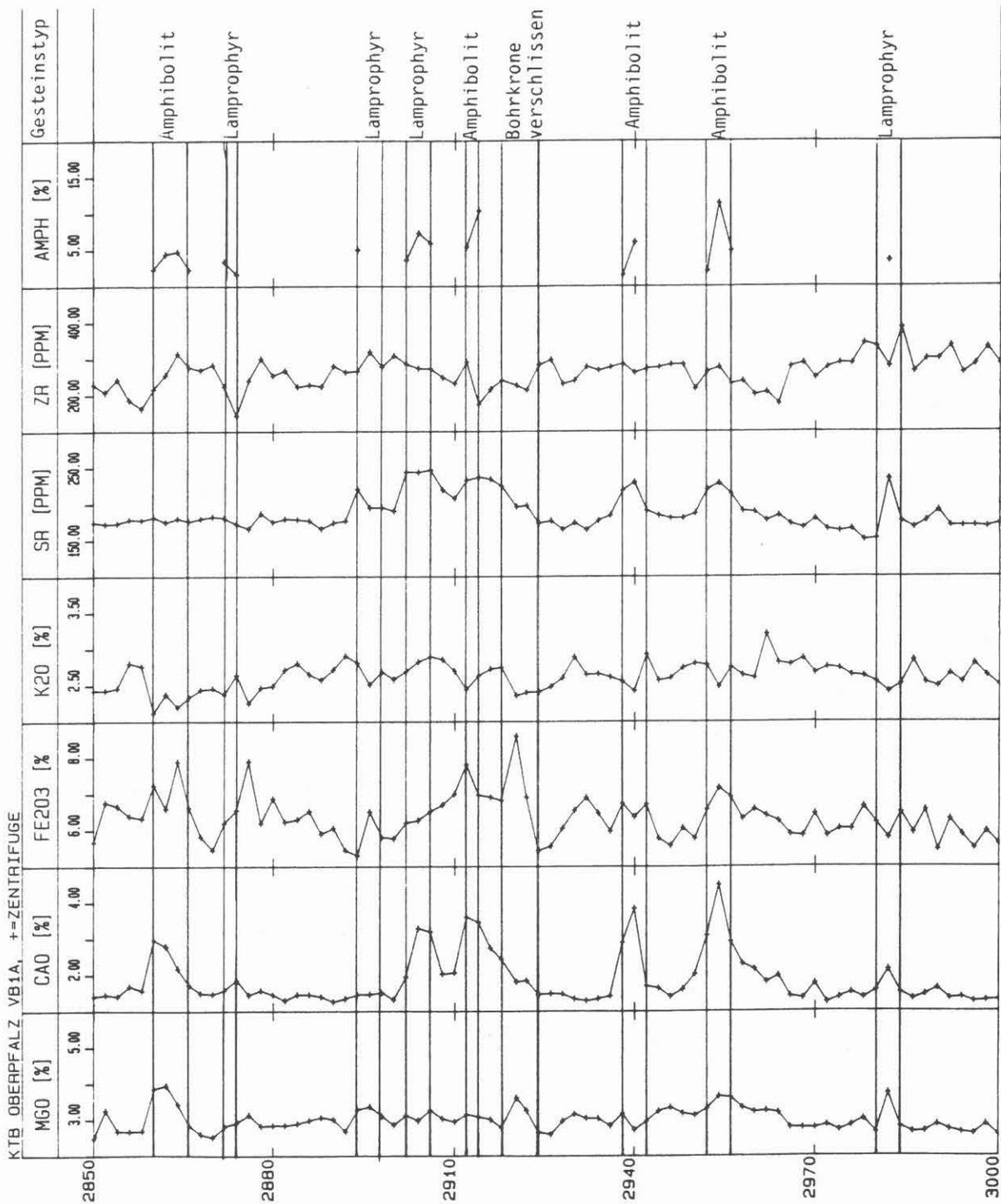


Abb.C.3.2.2: Ausschnitt des chemischen Bohrmehl-Teufenlogs von 2850- 3000m. Dargestellt sind einige Leit-elemente und das Mineral Amphibol, mit deren Hilfe eine Unterteilung in die verschieden Gesteinstypen möglich ist.

Tab.C.3.2.1: Chemische und mineralogische Parameter zur Gliederung der durchteuften Strecke. In den Bereichen 2687m, 2690m, 2718- 2720m, 2818- 2830m und 2918- 2920m könnten die Ergebnisse durch Nachfall beeinflusst sein.

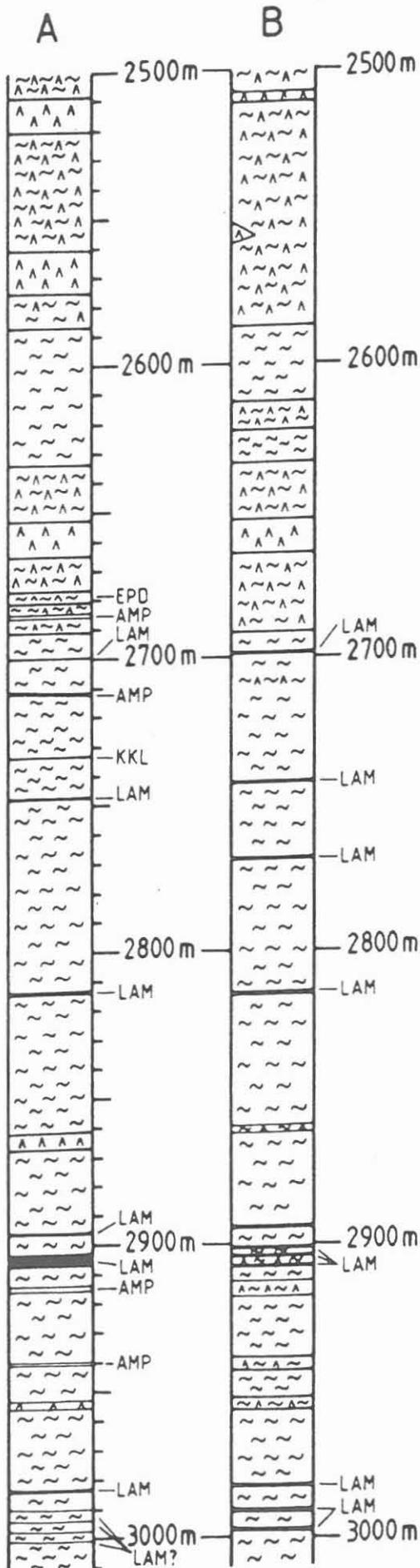
Zentrifugenproben	
Teufenbereich	chemisch/mineralogische Parameter
2500-2508 m Hbl-Gneise	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Rb, -CaO, -TiO ₂ , -MgO +QRZ , +HGL, AMPH <40%
2508m-2520m TIT-reiche Amphibolite	+CaO, +TiO ₂ , +Ni, -SiO ₂ , -K ₂ O , -Rb +TIT, Amph >40%, -QRZ , -HGL
2520m-2560m TIT-reiche GNT-BIO-HBL- Gneise	+SiO ₂ , +Sr, +Zr -CaO, -Ni +QRZ , +GNT , +BIO, +TIT, AMPH <40%
2560m-2574m epidotisierte GNT-BIO-freie Amphibolite	+CaO, +MgO, +Sr, +Zr -SiO ₂ , -Rb, +EPD, -QRZ , -GNT , -BIO, -AMPH
2574m-2586m chloritis. biotitarme GNT-führende HBL-Gneise	+K ₂ O , +Rb, +Ni -TiO ₂ , -CaO, -Sr +QRZ , +HGL , +CHL, AMPH <40%
2586m-2633m GNT-BIO- Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , -TiO ₂ , -CaO +QRZ , +PLG , +GNT, +HGL , +BIO, AMPH out
2633m-2652m GNT-BIO-HBL- Gneis	+TiO ₂ , +MgO, +CaO, -SiO ₂ , -K ₂ O , -Rb -QRZ , AMPH <40%
2652m-2664m GNT-führender Amphibolit	+TiO ₂ , +MgO, +CaO, +Sr, +Zr, -SiO ₂ , -K ₂ O , -Rb +GNT, -QRZ , -HGL, AMPH >40%
2664m-2676m HBL-Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Rb, -TiO ₂ , -CaO, -MgO +QRZ , +KFS , +HGL, -AMPH
2676m-2680m epidotisierte HBL-Gneise	+TiO ₂ , +MgO, +CaO, +K ₂ O , +Rb, -SiO ₂ , +CHL , +EPD , +KFS , -QRZ , -PLG , -AMPH
2680m-2683m HBL-Gneise	+SiO ₂ , +TiO ₂ , -K ₂ O , -Rb +QRZ , -EPD, AMPH <40%

Tab.C.3.2.1: Fortsetzung

Zentrifugenproben	
Teufenbereich	chemisch/mineralogische Parameter
2683m-2684m GNT- Amphibolit	+TiO ₂ , +CaO, +GNT, -QRZ, AMPH >40%
2684m-2690m Hbl-Gneise	+SiO ₂ , +TiO ₂ , +K ₂ O , +Rb +QRZ, -CaO, -MgO, -Sr, -Zr AMPH <40%
2690m-2698m GNT-SIL-BIO- Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Zr, +QRZ, +PLG, +HGL -TiO ₂ , -MgO, -CaO, -Sr,
2698m Lamprophyr	+MgO, +CaO, +K ₂ O, +BIO +Sr, +Rb, +Ni, -Zr -QRZ
2699m-2710m Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Rb, +QRZ, +HGL -CaO, -Sr, -Zr
2710m Amphibolit	+TiO ₂ , +CaO, +Sr, +Zr, +AMPH -K ₂ O, -Rb -HGL
2711m-2732m Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Zr, +QRZ, +HGL -TiO ₂ , -Sr 2720m - Nachfall
2732m Kataklasit	-SiO ₂ , -Zr +KFS, -QRZ, -PLG
2733m-2746m Gneis	+SiO ₂ , +Zr, +QRZ -TiO ₂ , -Sr
2746m Lamprophyr	+TiO ₂ , +CaO, +K ₂ O , +Ni, +BIO, +AMPH, +Rb, -SiO ₂ , -Zr, -QRZ
2747m-2778m Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Rb, +QRZ +Zr
2780m-2788m Gneis	+K ₂ O , +Rb, AMPH out -Sr
2789m-2812m Gneis	+SiO ₂ +QRZ, +PLG, +BIO, AMPH out
2812m-2814m Lamprophyr	+MgO, +CaO, +K ₂ O , +Rb, +PLG, +BIO, +AMPH +Sr, +Ni, -SiO ₂ -QRZ
2814m-2860m Gneis	+SiO ₂ +QRZ, +PLG, +HGL, AMPH out

Tab.C.3.2.1: Fortsetzung

Zentrifugenproben	
Teufenbereich	chemisch/mineralogische Parameter
2860m-2866m Amphibolit	+MgO, +CaO, +Zr, +PLG, +AMPH, -SiO ₂ , -K ₂ O, -Rb -QRZ
2866m-2894m Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O, -TiO ₂ , +QRZ, +PLG, -MgO, -CaO, -Zr, -Ni AMPH out
2894m Lamprophyr	+MgO, +K ₂ O, +Sr+Rb, +AMPH -SiO ₂ -PLG
2894m-2902m Gneis	+Zr, +QRZ, +BIO, +HGL, -SiO ₂ , -MgO, -Sr AMPH out
2902m-2906m Lamprophyr	+CaO, +Sr, +Ni -QRZ, +BIO, +AMPH
2906m-2912m Gneis	-TiO ₂ , -CaO, +K ₂ O, +QRZ, +PLG, +GNT, +Rb, -Sr -AMPH
2912m-2914m Amphibolit	-SiO ₂ , +TiO ₂ , +CaO, -QRZ, -PLG, +AMPH -K ₂ O, -Rb, +Sr
2914m-2938m Gneis	+SiO ₂ , -TiO ₂ , -CaO, +QRZ, -PLG, +HGL, -Sr -AMPH
2938m-2940m Amphibolit	-SiO ₂ , +TiO ₂ , +MgO, -QRZ, +PLG, -HGL, +CaO, -K ₂ O, +Sr, +Ni +BIO, +AMPH
2940m-2952m Gneis	+SiO ₂ , -TiO ₂ , +MgO, +QRZ, +PLG, +HGL, -CaO, +K ₂ O, -Sr, -Ni -BIO, -AMPH
2952m-2956m Amphibolit	-SiO ₂ , +TiO ₂ , +MgO, -QRZ, -PLG, +AMPH +CaO, -K ₂ O, -Rb, +Sr, +Zr, +Ni
2956m-2982m Gneis	+SiO ₂ , -TiO ₂ , -MgO, +QRZ, +PLG, +HGL, -CaO, +K ₂ O, +Rb, -Sr, +Zr, -Ni -AMPH
2982m Lamprophyr	+MgO, +CaO, -K ₂ O, -QRZ, +PLG, -HGL, +Sr, -Zr +BIO, +AMPH
2982m-2988m Gneis	+SiO ₂ , -MgO, -CaO, +QRZ, -PLG, +HGL, +K ₂ O, -Sr, +Zr -BIO, -AMPH
2988m-3009m Gneis mit geringmächt. Lamprophyren wechselnd	±SiO ₂ , ±QRZ, +Sr ±HGL, +PLG



Legende:

-  SILLIMANIT-BIOTIT-GNEIS
-  BIOTIT-HORNBLLENDE-GNEIS
-  AMPHIBOLIT
- LAM LAMPROPHYR

AMP = Amphibolit
 KKL = Kataklasit
 LAM = Lamprophyr
 EPD = Epidot-reich

Abb. C. 3.2.3 : Vergleich des lithostratigraphischen "Bohrmehlprofils" (links) mit dem geologischen, am Kern erarbeiteten Bohrprofil des Teufenbereichs 2500-3009.7m.

C.3.3 Kluft- und Harnischmineralisation

Als Hauptmineralphasen (nach RDA) von Kluft- und Harnischmineralisationen treten bei den untersuchten Proben Chlorit, Laumontit und, etwas seltener, Calcit auf. Vereinzelt konnten Epidot und Klinozoisit bestimmt werden. Gelegentlich sind die Harnischbeläge mit Pyrit, Arsenopyrit und Zinkblende vererzt. Kalifeldspat tritt in Harnischbelägen und als Gangfüllung auf. Eine detaillierte Analyse der Harnischmineralisationen findet sich bei ZULAUF (1989, in Vorbereitung).

C.3.4 Bestimmung der Gesteinsdichte mit RDA

Neben stofflichen Eigenschaften ist die Dichte ein Parameter, mit dessen Hilfe die durchteuften Gesteine unterschieden werden können. Die Ergebnisse der Dichtebestimmung von Bohrmehlmaterial werden neben anderen Daten dazu verwendet, lithologisch unterschiedliche Einheiten voneinander abzugrenzen. Die Methode der Dichtebestimmung mit RDA ist in HOMANN et al. (1988: C34-C39) beschrieben.

In Abb. C.3.4.1 sind der Quarzgehalt, das Rb/Sr-Verhältnis und die Dichte (XRHO) von Bohrmehlproben dargestellt. Die verwendeten mineralogischen, chemischen und berechneten physikalischen Parameter lassen lithologisch unterschiedliche Gesteinsintervalle erkennen und ermöglichen so eine Gliederung der durchteuften Gesteinsäule. Basite i.w.S. sind im Vergleich zu Gneisen durch niedrigeren Quarzgehalt, niedrigere Rb/Sr-Verhältnisse und höhere Dichten gekennzeichnet. Die Basit- und Gneissequenzen sind in dieser Übersichtsdarstellung besonders anhand des Dichte-Logs eindeutig zu erkennen. In der Abb. C.3.4.2 sind die archimedisch bestimmten Kern- und Cuttingsdichten (vgl. Kap. D. Geophysik) gemeinsam mit Dichtewerten von Bohrmehlproben (Z-Proben, RDA Methode) dargestellt.

Während im Teufenabschnitt 2500-2700 m eine Übereinstimmung der Werte innerhalb eines Streubereiches festgestellt werden kann, scheinen im Intervall 2700- 3000 m die Bohrmehldichten gegenüber den Kerndichten systematisch niedriger zu sein. Da die mittels RDA an Bohrmehlproben erhaltenen Dichten reine Matrix-Dichten sind, d.h. die in den Kernen vorhandene Porosität nicht berücksichtigt wird, wäre eigentlich ein umgekehrtes Ergebnis zu erwarten. Die Differenz beruht vermutlich auf akzessorischem Granat, der bei Gehalten um 1- 2 Gew.% unterhalb der RDA-Nachweisgrenze liegt. Bei einer Dichte von 3.4- 4.6 g/cm³ (BOENIGK, 1983) würden 2 Gew.% Granat die Bohrmehldichte-Daten um 0.04 g/cm³ erhöhen.

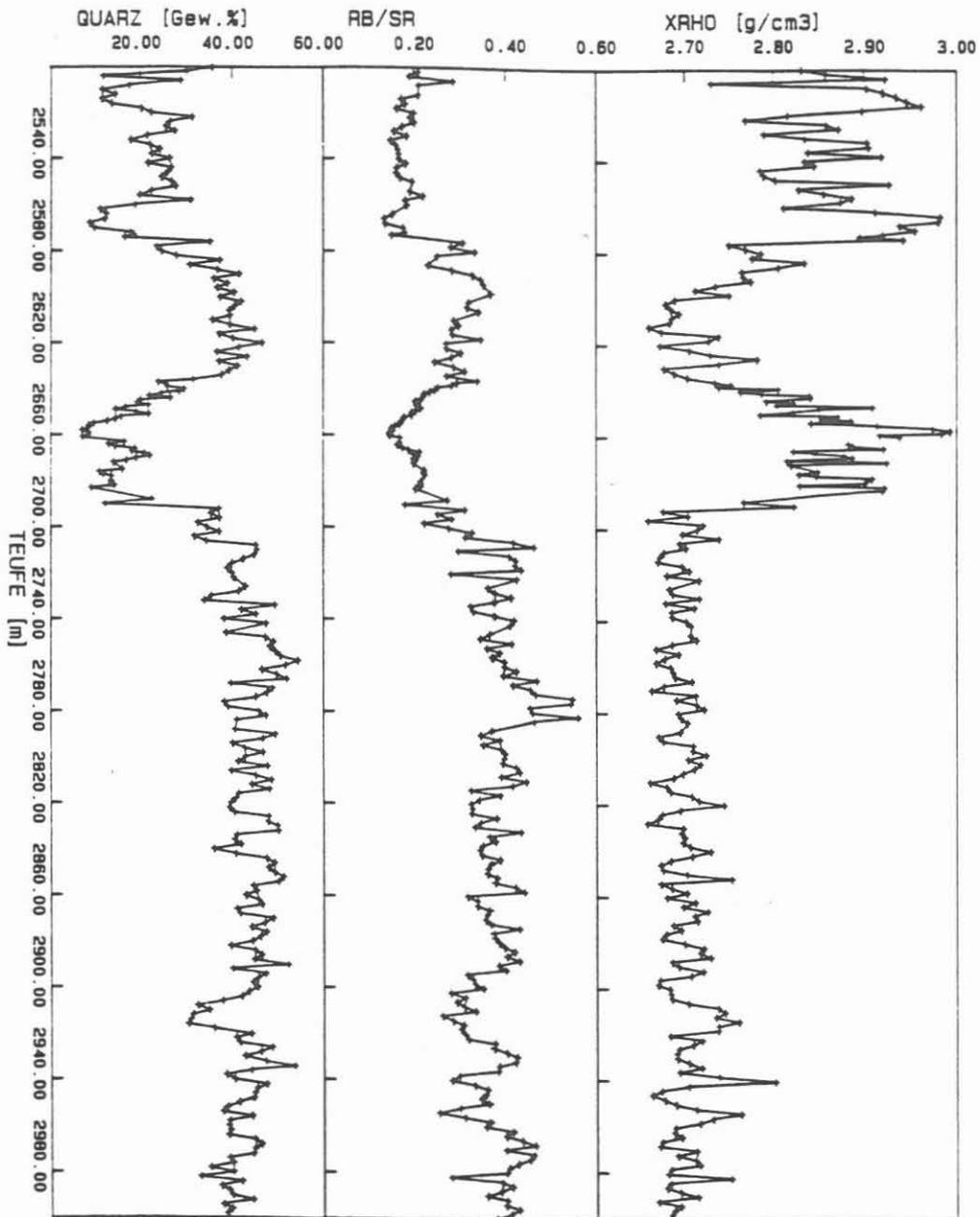


Abb.C.3.4.1: Teufenlog charakteristischer chemischer, mineralogischer und gesteinsphysikalischer Parameter zur ersten groben lithologischen Unterteilung der durchteuften Strecke. Die Dichtedaten wurden aus den röntgenographisch (RDA) bestimmten Mineralgehalten berechnet (Homann et al., 1988).

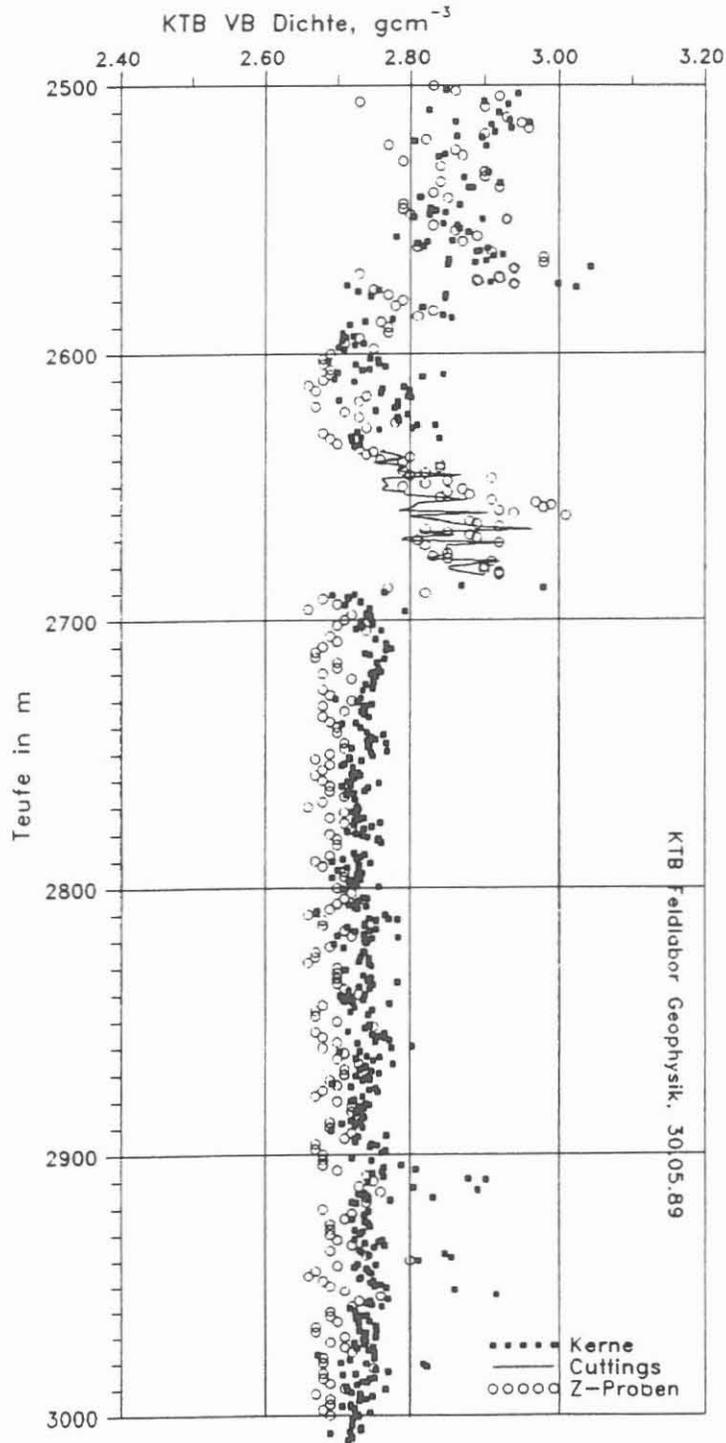


Abb.C.3.4.2: Vergleich von geophysikalisch bestimmten Kern- und Cuttingsdichten mit den röntgenographisch ermittelten Dichtedaten von Bohrmehlproben.

C.4 Spülungsanalytik

C.4.1 Allgemeines

Im Teufenbereich 2500 - 3009.7 m wurden in Abständen von 2 m die Gehalte der Kationen Na, Ca, K, Li, Sr, Ba, Fe, Mg, Mn, Zn, Si und Al sowie der Anionen Cl⁻ und SO₄²⁻ in der Bohrspülung untersucht (Die Analysendaten sind im Anhang als Teufenlogs im Maßstab 1:1000 dargestellt). Die Messung der Kationen erfolgte mit einem ICP-AES, während die Gehalte der Anionen chromatographisch ermittelt wurden. Die verwendeten Aufbereitungs- und Analysenverfahren sind in HEINSCHILD et al., (1988) und STROH et al., (1988) beschrieben.

Für jede Spülungseinleitung ist in den Teufenlogs im Anhang die aktuelle Bohrlochteufe mit einem Pfeil und einer Zahl versehen. Die Zahlen beziehen sich auf die durchnummerierten Spülungseinleitungen in Tabelle C.4.2, in der neben der aktuellen Bohrlochteufe zu Beginn der Einleitung der pH-Wert und das Gesamtvolumen der zirkulierenden Bohrspülung (TCV in m³) angegeben ist.

C.4.2 Ergebnisse und Diskussion

Mit Erreichen von 2500 m Teufe betrug die D-HT-Konzentration in der Bohrspülung 2.4 %. Durch Austauschreaktionen mit Mineralen der bereits durchteuften Gesteine hatte die Spülung gegenüber einer frischen 2.4 %igen Ansatzspülung erhöhte Gehalte an Na, Ca, K, Sr, Ba, Fe, Mg, Mn, Zn, Al und Si.

In den Teufen 2677 m und 2719 m wurde jeweils etwa die Hälfte der Spülung gegen frische Spülung ausgetauscht. Durch diese Verdünnung sank die Konzentration aller gemessenen Elemente mit Ausnahme der im D-HT enthaltenen Elemente Li, Mg, Si ab, so daß in Teufe 3009.7 m bei einer D-HT-Konzentration von 2.2 % die Absolutgehalte fast aller Elemente geringer waren als in 2500 m Teufe.

Eine Ausnahme bildet Zn, dessen Gehalt ab einer Teufe von 2760 m stark zunimmt. Diese Zunahme kann auf eine Kontamination der Spülung durch zinkhaltiges Gestängefett zurückgeführt werden. Im Bohrabschnitt 2500 m - 2690 m wurde eine Abfolge von Paragneisen, Hornblende-Gneisen und Amphiboliten mit epidotisierten Störungszonen durchteuft. Hierbei reicher-ten sich Ca und Sr sowie Fe, Mn und Cl in der Spülung an. Diese Elementanreicherungen werden auf Reaktionen der Bohrspülung mit den Mineralen Hornblende, Plagioklas und Epidot, sowie Gestängeabrieb (Fe, Mn) zurückgeführt. Eine kontinuierliche Zunahme des SO₄²⁻-Gehaltes der Spülung in diesem Bohr-

abschnitt kann durch Oxidation von Pyrit unter Bildung von Sulfat erklärt werden.

Zwischen 2690 m und 3009.7 m wurden vorwiegend Paragneise mit Einschaltungen von Lamprophyrgängen, Biotit-Hornblende-Gneisen und Amphiboliten durchteuft. Die in diesem Bohrabchnitt zu beobachtenden Anreicherungen an K, Al, Ba, Fe und Mn in der Spülung können durch Reaktionen mit Glimmern erklärt werden. Muskovit und Biotit werden im alkalischen Milieu in Kolloidform überführt und schichtparallel in die Struktur des D-HT eingebaut (STROH et al., 1988).

Eine im Teufenbereich 2830 m - 2840 m festgestellte Anreicherung der Bohrspülung an Helium (vgl. Kap. C.5.2) führte zum Einsatz des Geocom Fluid Samplers in Teufe 2833 m. Die in Tab. C.4.1 dargestellten Ergebnisse der gewonnenen Probe zeigen keine signifikante Erhöhung an Kationen und Anionen, die auf Zuflüsse zurückgeführt werden könnten.

Aufgrund der Spülungsanalytik läßt sich im Teufenbereich 2500m bis 3009.7 m kein Zuflußhorizont mineralisierter Oberflächen- bzw. Formationswässer feststellen.

Tab. C.4.1: Kationen- und Anionengehalte der Fluidsamplerprobe vom 07.09.1988 (2833 m) im Vergleich zur Bohrspülung. Alle Angaben in ppm.

Bestandteile	Fluid Sampler 2833 m	Variationsbereich der Spülung 2831 m -2835 m
Na	940	850 - 880
Ca	150	120 - 130
K	250	160 - 180
Sr	1.3	1.0
Ba	5.2	4.0 - 4.2
Cl ⁻	50	43
SO ₄ ²⁻	184	180 - 188

C.5 Gasanalytik

C.5.1 Allgemeines

In der Bohrspülung gelöste Gase, wie Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Helium, Kohlendioxid, Methan, Ethan, Propan, Schwefelwasserstoff, Schwefeldioxid, Wasserstoff sowie Wasser, wurden im Teufenbereich 2500 - 3009.7 m kontinuierlich analysiert.

Der zur Entgasung der Bohrspülung eingesetzte Quirlentgaser konnte im Berichtszeitraum modifiziert werden. Dieser Entgaser ist so konstruiert, daß er immer eine konstante Gasmenge absaugen muß. Reicht die freigesetzte Gasmenge nicht aus, so wird Luft mit angesaugt (vgl. STROH et al., 1989). Die durchgeführte Modifizierung bewirkt, daß anstelle der Luft Argon aus einer bereitstehenden Gasflasche entnommen wird. Dadurch kann zwischen Fremdluft und freigesetzter Luft (in der Bohrspülung gelöst) unterschieden werden.

Voraussetzung für eine Interpretation der Gasdaten der modifizierten Gasfalle ist, daß sie neben dem zudotierten Argon nur das aus der Bohrspülung freigesetzte Gas dem Massenspektrometer zuführt. Nachteilig wirkt sich die Position der Gasfalle direkt vor dem Schüttelsieb aus. So traten ab 2860 m immer wieder kleine Undichtigkeiten auf, die eine Unterscheidung zwischen freigesetztem bzw. mitangesaugtem Stickstoff und Sauerstoff unmöglich machen.

Im Anhang sind die Gehalte der aussagekräftigsten Gase Helium, Methan, Wasserstoff und Sauerstoff sowie die in der Bohrspülung gelösten Anionen Chlorid und Sulfat in Form von Teufenlogs dargestellt. Ab 2740 m werden zusätzlich Argon und Kohlendioxid aufgeführt. Außerdem sind Leitfähigkeit, Redox- und pH-Wert der Bohrspülung sowie eine Auswahl bohrtechnischer Parameter (Bohrfortschritt, Meißellast, Pumprate, aktives Volumen) aufgeführt.

C.5.2 Ergebnisse

2810 - 2860 m:

Der Teufenbereich 2810 - 2860 m wird gesondert diskutiert, da in diesem Bohrabschnitt eine Modifizierung der Gasfalle erfolgte.

Im Bohrbetrieb variierte der mitangesaugte Argonanteil von 0 - 100 Vol.%. Mit zunehmenden Argonanteilen nimmt die Stickstoffkonzentration durch Verdünnungseffekte ab (vgl. Abb. C.5.1, siehe "Verdünnungslinie"). Da die Stickstoffgehalte auf dieser Verdünnungslinie liegen, ist zwischen 2810 und 2860 m kein meßbarer Stickstoff-Zutritt in die Bohrspülung erfolgt. Sauerstoff zeigt im Vergleich zum Stickstoff nicht nur diesen Verdünnungseffekt, sondern es müssen noch zusätzliche Konzentrationsänderungen auftreten, da die Gehalte

überwiegend unterhalb einer erwarteten Verdünnungslinie liegen, d.h. das N_2/O_2 -Verhältnis ist nicht konstant. Dies könnte durch zwei Faktoren verursacht werden: zum einen wird Sauerstoff durch Oxidationsprozesse in der Bohrspülung verbraucht, andererseits könnte Stickstoff aus dem durchteuften Gestein in die Bohrspülung gelangt sein.

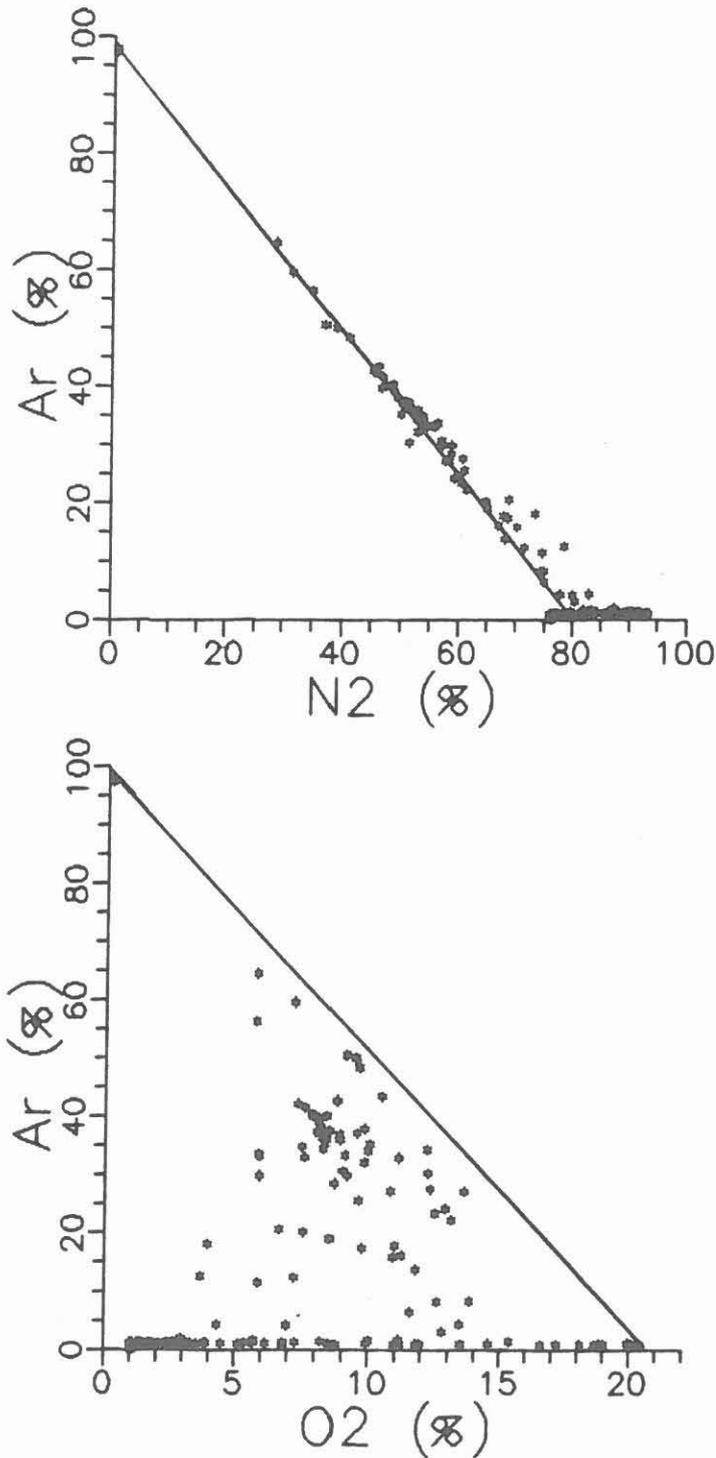
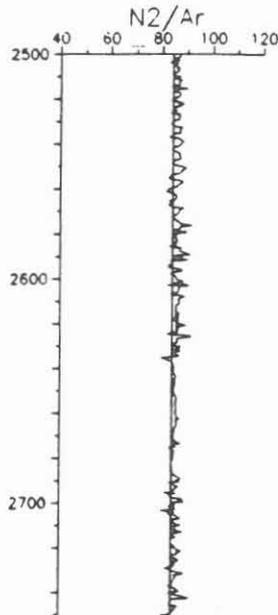


Abb. C.5.1.: Stickstoff- bzw. Sauerstoffgehalte in Abhängigkeit vom Fremdluftanteil (Ar) im Bereich 2810 - 2860 m



In der Luft beträgt das Stickstoff/Argon-Verhältnis 84, während es z.B. in Gasen aus Sedimenten bis auf 21000 ansteigen kann (MATSUO et al., 1978). Abb. C.5.2. zeigt das Stickstoff/Argon-Verhältnis der Bohrspülung zwischen 2500 und 2750 m. Da das Verhältnis zwischen 80 und 90 variiert, kann geschlossen werden, daß in dem dargestellten Teufenbereich kein meßbarer Stickstoff-Zutritt erfolgte. Der mögliche Fremdluftanteil kann dabei nicht berechnet werden.

Der Bereich 2750 - 3009 m kann infolge der Benutzung von Argon als Fremdluftindikator nicht für die Berechnung des Stickstoff/Argon-Verhältnisses berücksichtigt werden. Der Sauerstoff müßte durch Oxidationsprozesse verbraucht werden, da sich das N_2/Ar -Verhältnis nicht merklich verändert.

Abb. C.5.2.: Stickstoff/Argon-Verhältnis der Bohrspülung

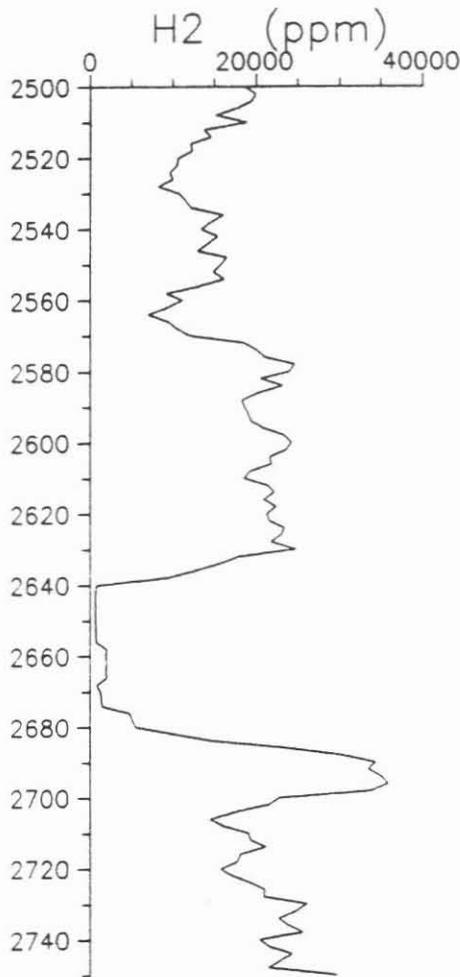
Die Hauptbestandteile der freigesetzten Gase, nämlich Stickstoff und Sauerstoff (ohne zudosiertes Argon), sind in der Regel zu mehr als 95 % an der Gaszusammensetzung beteiligt. Diese Gasphase wird nicht beim Bohrprozeß erzeugt, sondern stellt den Gasblindwert der Bohrspülung (gelöste Luft) dar.

Die Betriebsparameter der Gasfalle waren so eingestellt, daß ca. 5 l Gas pro Stunde abgepumpt wurden. Wie anhand der Argon-Meßergebnisse aufgezeigt werden kann, reicht im Normalfall noch nicht einmal die gelöste Luft aus, um den Bedarf von 5 l Gas zu decken.

Eine quantitative Mengenangabe der freigesetzten Gase ist nicht möglich, da die entgaste Spülmengenge nicht bekannt ist. Mit der Annahme, daß bei einer Pumprate von 220 l/Minute die gesamte Bohrspülung entgast wird, kann bei einem durchschnittlichen Methangehalt von 200 ppm und einer freigesetzten Gasmenge von 5 l/h beträgt die maximale Methanmenge in der Bohrspülung 0.07 l Methan/lm³ Bohrspülung.

2500 - 3009 m

Um infolge der stark schwankenden Meßwerte noch interpretierbare Teufenlogs zu erhalten, sind die Meßergebnisse der nachfolgenden Abbildungen, mit Ausnahme von Abb. C.5.5., geglättet, indem die Daten alle 2 m über ein Intervall von 10 m gemittelt wurden.



Der Teufenbereich kann anhand der erzielten Gasdaten nicht in die in Kap. C.3.2 beschriebenen lithologische Einheiten untergliedert werden.

Vielmehr zeigt Wasserstoff eine Konzentrationsabhängigkeit von bohrtechnischen Maßnahmen. Zwischen 2635 und 2687 m wurden Richtbohrarbeiten durchgeführt. Für diesen Zeitraum wurde, wie schon mehrfach berichtet, eine deutliche Konzentrationsabnahme von Wasserstoff beobachtet. Eine Erklärung liegt in der verminderten Wasserstoffbildung während des Bohrens mit Rollen und Dia-Vollmeißeln (vgl. Abb. C.5.3.).

Abb. C.5.3.: Wasserstoffgehalte (geglättet)

Die Methangehalte zeigen ebenfalls durch Konzentrationsabnahmen den Bereich der durchgeführten Richtbohrarbeiten an (siehe C.5.4.).

Insgesamt kann zwischen 2500 und 2630 m ein leichter Methan-anreicherungstrend festgestellt werden, der weder auftretenden Scherbahnen noch stark alterierten Zonen zugeordnet werden kann.

Im gesamten Teufenbereich treten, bis auf zwei Ausnahmen, relativ einheitliche Heliumgehalte von ca. 10 ppm auf. Die Bereiche 2830 bis 2840 m und 3000 bis 3009.7 m lassen sich durch erhöhte Heliumgehalte abgrenzen (vgl. Abb.C.5.5). Im gesamten Teufenbereich treten mehrfach diskrete Scherbahnen auf. Die Heliumkonzentrationszunahme zwischen 3000 und 3009.7 m läßt sich gut einer 20 cm mächtigen, vergrünerten kataklastischen Scherzone mit Graphit-Spiegelharnischen zuordnen, während der Bereich zwischen 2830 und 2840 m nur sehr geringe Graphitführung aufweist, so daß die Heliumanreicherung hier nicht mit einer Graphitführung korreliert.

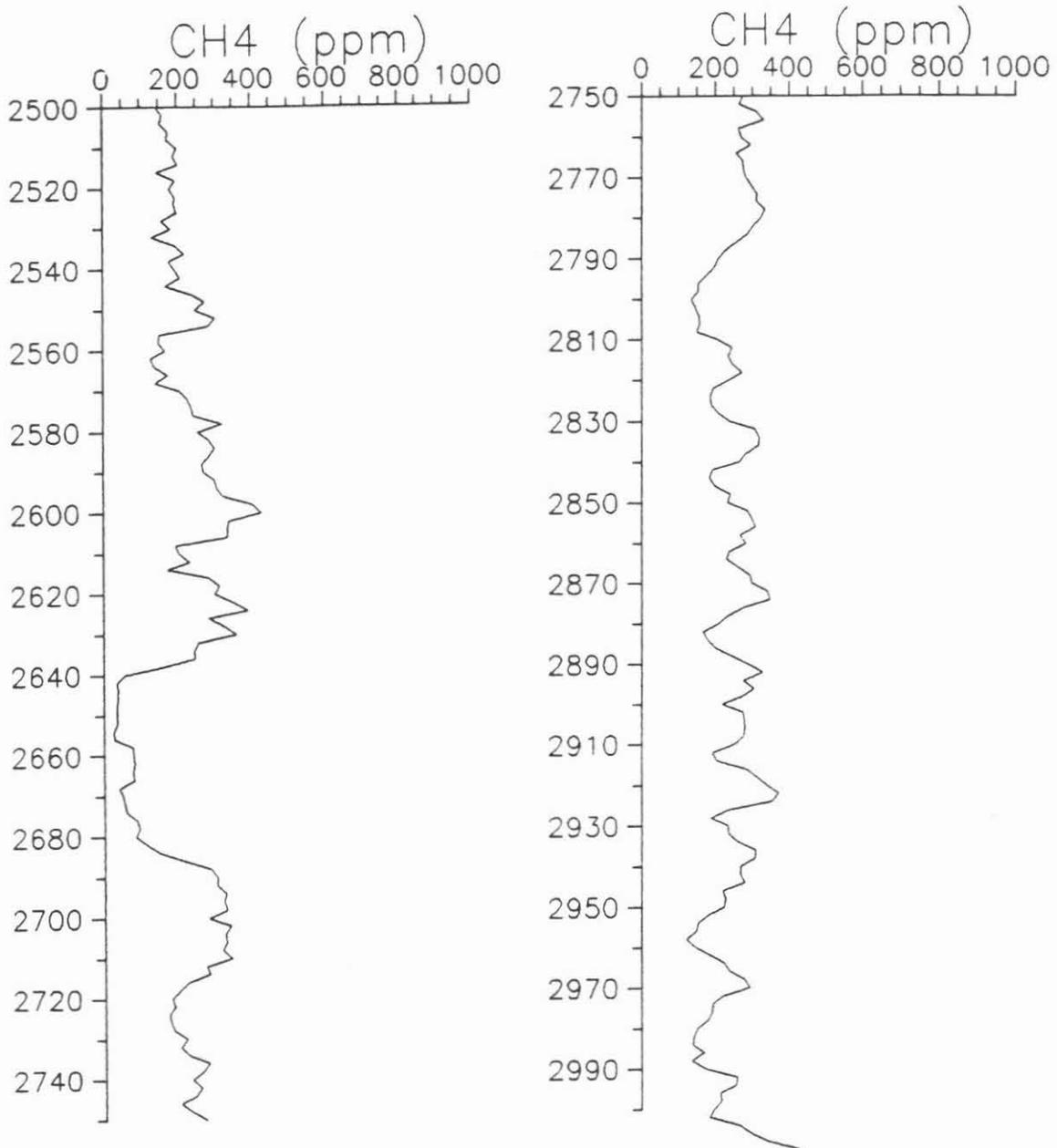
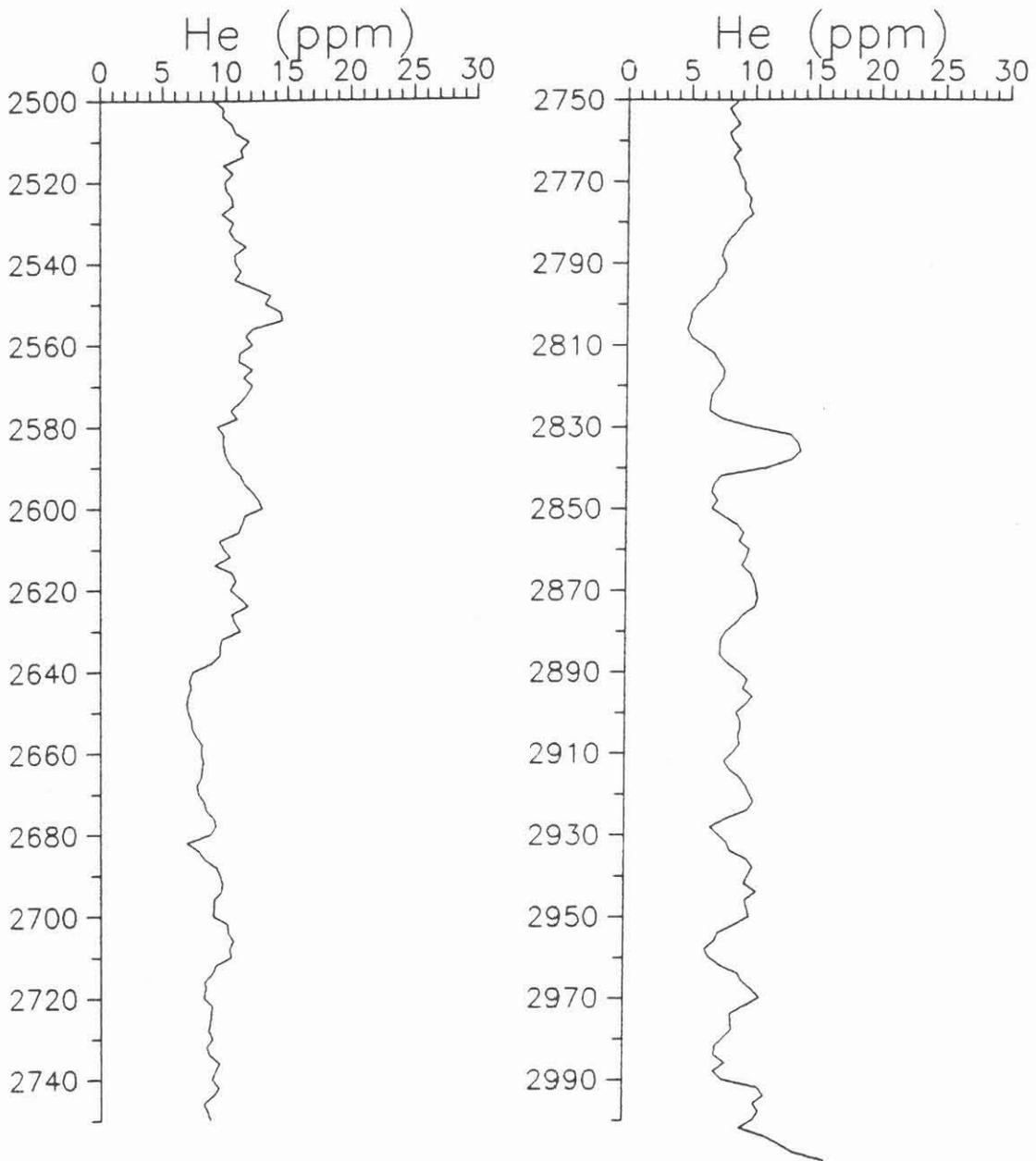


Abb. C.5.4.: Methangehalte (geglättet) der durch Entgasung der Bohrspülung gewonnenen Gasphase



C.5.5.: Heliumkonzentration (geglättet) der Gasphase, die durch Entgasung der Bohrspülung gewonnen wurde

Im Bereich 1709 - 2500 m konnte eine Korrelation zwischen den beiden Parametern Methan und Klüftigkeitsziffer festgestellt werden (STROH et al., 1989). Diese deutet darauf hin, daß die Klüfte als Wegsamkeiten für Methan und Helium genutzt werden. Ein Vergleich der Klüftigkeitsziffern mit den Methan- bzw. Heliumgehalten zwischen Teufe 2500 und 3009 m läßt diese Abhängigkeit nicht mehr erkennen (Abb. C.5.6.). Möglicherweise "gast" die Kataklastizone von 2160 - 2180 m noch deutlich an Methan und Helium nach, so daß der erwartete Trend zwischen der Klüftigkeitsziffer und den Methan- bzw. Heliumgehalten dadurch überlagert wird.

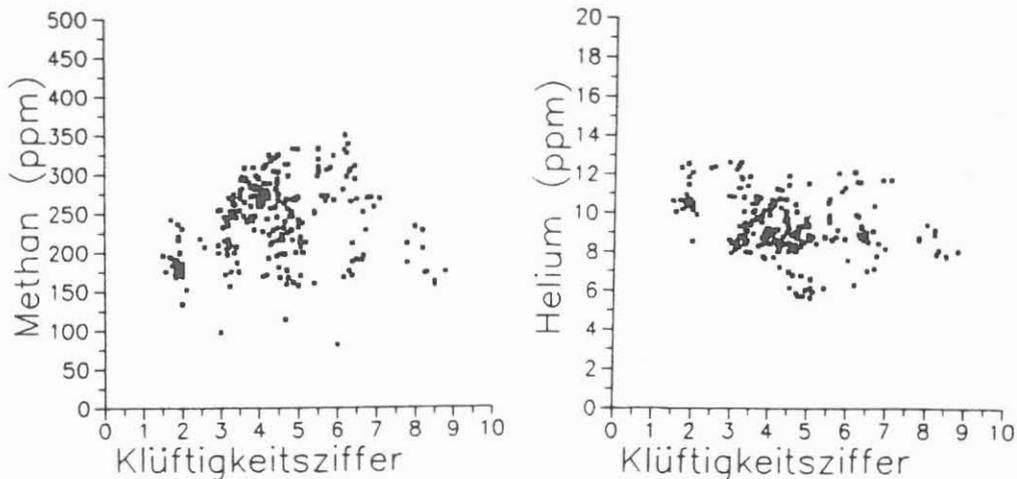


Abb. C.5.6: Korrelation zwischen Methan- bzw. Heliumgehalt und Klüftigkeitsziffern/m

Abb. C.5.7. verdeutlicht, daß mit zunehmenden Methangehalten, wie auch im Bereich 1709 - 2500 m, eine Erhöhung der Heliumgehalte festzustellen ist.

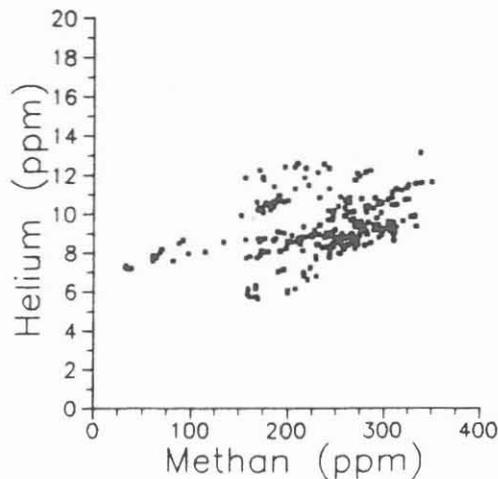


Abb.C.5.7.: Methan/Heliumverhältnis zwischen 2500 und 3009 m

Während der Bergung der abgebohrten Kernmärsche 690 und 691 wurde eine He-Anreicherung beobachtet (Abb. C.5.8). Beim Bohrprozeß ist diese Anreicherung nur sehr schwach ausgeprägt und dürfte auf die mechanische Zerstörung der durchteuften Gesteine (vergrünter granatführender Sillimanit-Biotit-Gneis) zurückzuführen sein.

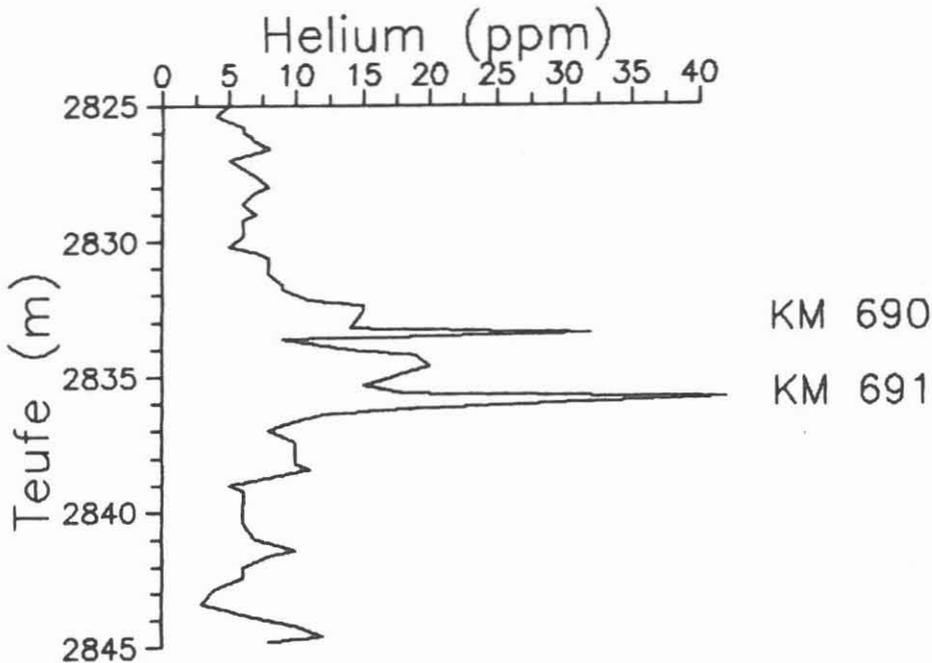


Abb. C.5.8: Heliumgehalte im Bereich 2825 - 2845 m

An der Bohrkronen entsteht zusätzlich zum Druck der Spülungssäule, bedingt durch die Spülungszirkulation, ein sogenannter Kopfdruk. Dieser schwankte zwischen 100 und 150 bar. Während des Zirkulationsstillstandes bei der Bergung des Kernmarsches ist nur der Druck der zu diesem Zeitpunkt aktuellen Spülungssäule wirksam. Da es in diesem Zeitraum zu der Gasanreicherung kam, müßte der durchteufte Horizont einen "Gasdruck" > 290 bar (Spüfungsgewicht 1.03 kg/l) aufweisen.

C.5.3 Fluidprobennehmer

Im Berichtszeitraum wurde der Horizont bei 2833 m, der sich durch die Heliumanreicherung während der Bergung der Kernmärsche 690 und 691 auszeichnete, auf einen möglichen Zutritt salinaren Formationswassers untersucht (vgl. Abb. C.5.8.). Zwei bzw. drei Tage nach dem Durchteufen wurde der Einströmprobennehmer (Geocom) zur gasdichten Probennahme eingesetzt. Die Probennahme versagte jedoch zweimal, da sich das Einlaßventil nicht öffnete. Der nächste Fluid Sampler-Einsatz erfolgte erst einen Monat später; hierbei ließ sich keine

Heliumanreicherung mehr in diesem Horizont nachweisen (vgl. Tab. 5.1).

Tab. C.5.1: Zusammensetzung der Gasphase der Fluid Sampler-
Probe 2833 m vom 07.09.88

Stickstoff	65.50 %
Sauerstoff	11.0 %
Argon	0.56 %
Helium	16 ppm
Kohlendioxid	0.03 %
Methan	170 ppm
Wasserstoff	3500 ppm
Wasser	18.2 %

Die Bohrspülungsanalytik (siehe Kap. C.4.2) und auch der Einsatz von Meßsonden zeigen, daß im Bereich von 2500 - 3009.7 m keine meßbaren gasförmigen und/oder flüssigen Zutritte vorhanden sind.

C.6 Schriftenverzeichnis

- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse
Enke-Verlag, Stuttgart
- 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.
- HOMANN, K.D., HEINSCHILD, H.J., STROH, A. & TAPFER, M. (1988):
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 1998m. KTB-Report, 88-9: C1-C88, Hannover.
- MATSUO, S., SUZUKI, M. & MIZUTANI (1978): Nitrogen to Argon Ratio in volcanic gases in Terrestrial Rare Gases (ed. E.C. Alexander, Jr. & M. Oxima), Adranasin Earth and Planetary Sciences 3, Proceedings of the U.S.-Japan Seminar on Rare Gas Abundance and Isotopic Constraints on the Origin and Evolution of the Earth's Atmosphere, p. 229, Japan Scientific Societies Press
- STROH, A. (1988): Quantitative röntgenographische Phasenanalyse von Gesteinen und Mineralgemischen.
Unveröff. Dissertation, Gießen 1988
- 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.
- STROH, A., HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., TAPFER, M. & ZIMMER, M. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1709 bis 2500 m. KTB-Report, 89-2: C1-C104, Hannover.

C.7 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, Frau S. Franke sowie Herrn F. Naujoks für die Probenpräparation. Unser weiterer Dank gilt den technischen Mitarbeitern der Geochemiegruppe im Feldlabor, Frau A. Heinschild, Herrn H. Kamm, Herrn R. Lipert, Herrn S. Merz, Frau B. Weber. Für die kritische Durchsicht des Manuskripts danken wir Herrn Prof. Dr. R. Emmermann und Herrn Dr. Lauterjung.

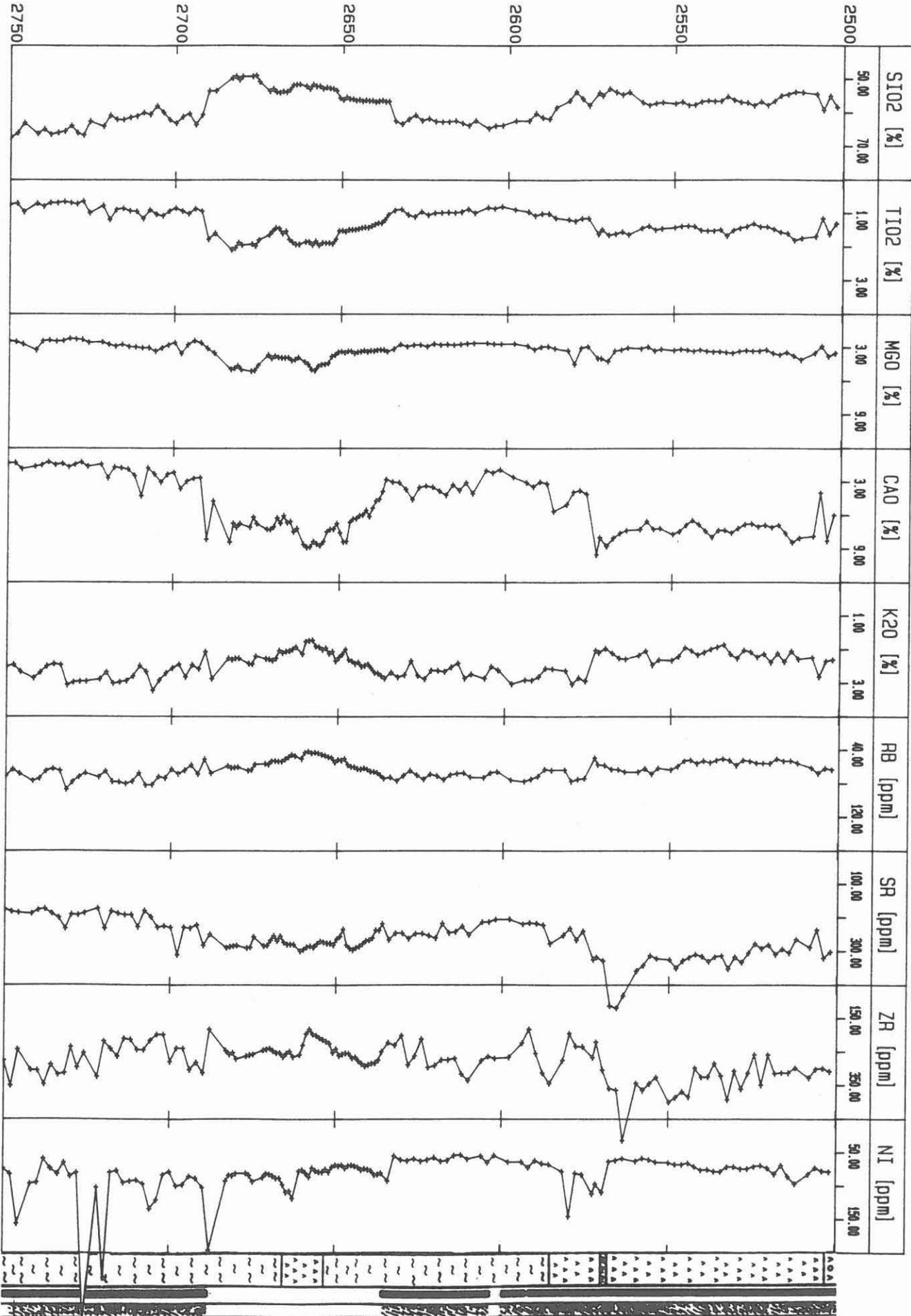
C.8 Anhang

- C.8.1 Tiefenlogs RFA Analysen
- C.8.2 Tiefenlogs RDA Analysen
- C.8.3 Tiefenlogs der Kationen-, Chlorid- und Sulfatgehalte der Bohrspülung
- C.8.3.1 Zusammenfassung der Spülungseinleitungen im Teufenbereich 2500 - 3009.7 m
- C.8.4 Tiefenlogs ausgewählter Gase

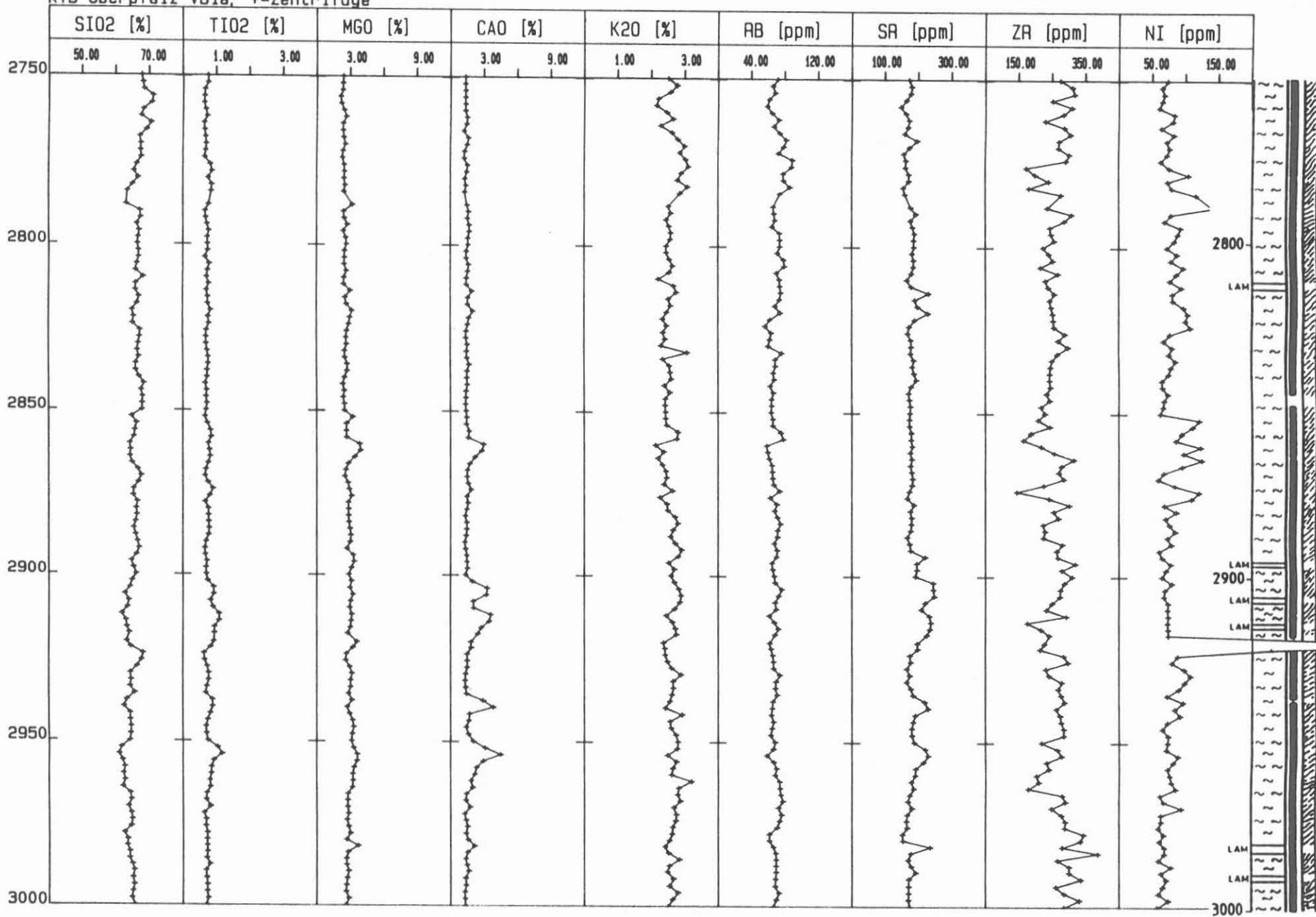
C.8.1

Tiefenlogs RFA Analysen (1:2000)

KTB Oberflächz VB1a, +-Zentriifuge



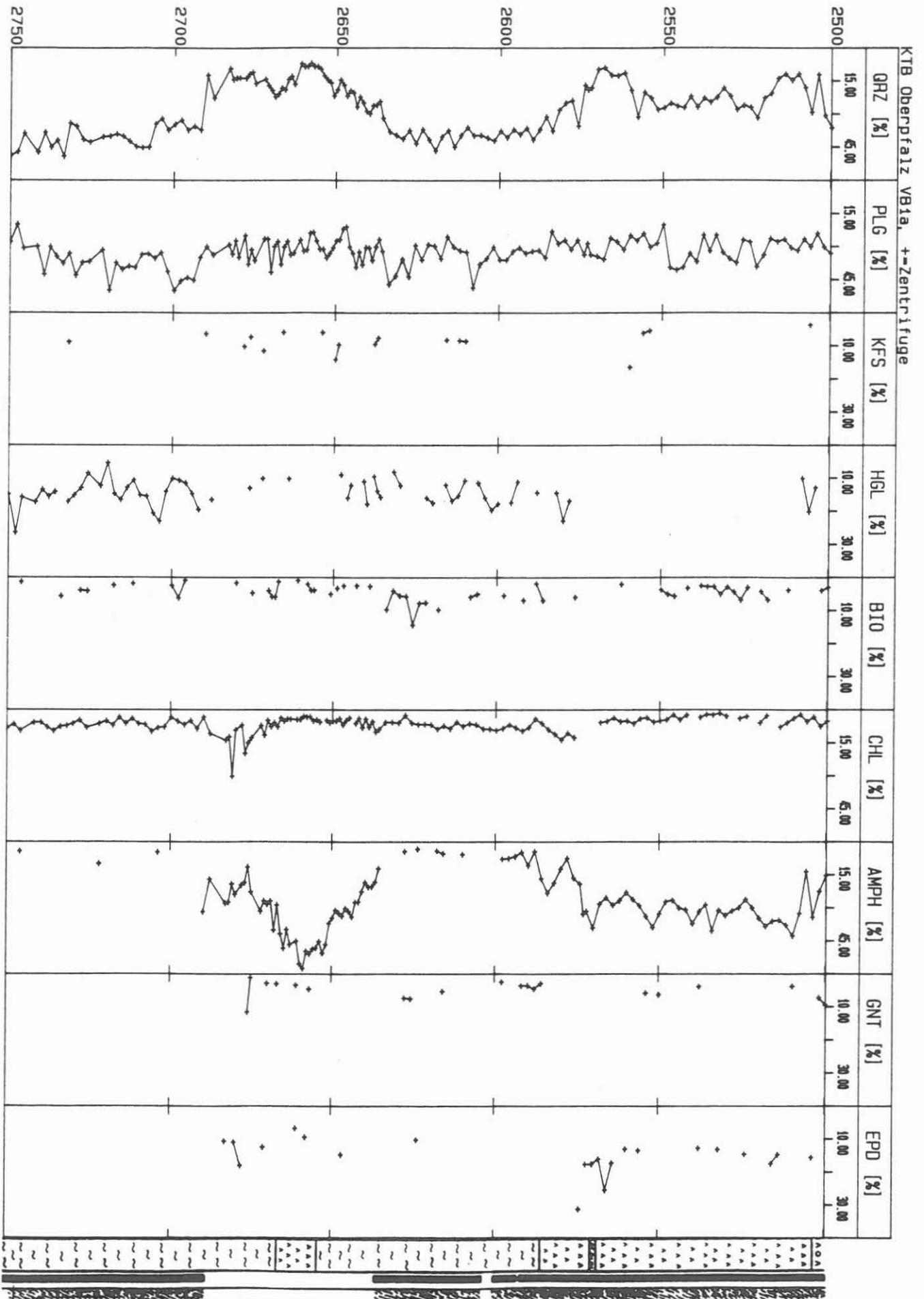
KTB Oberpfalz VB1a, +-Zentrifuge



-C31-

C.8.2

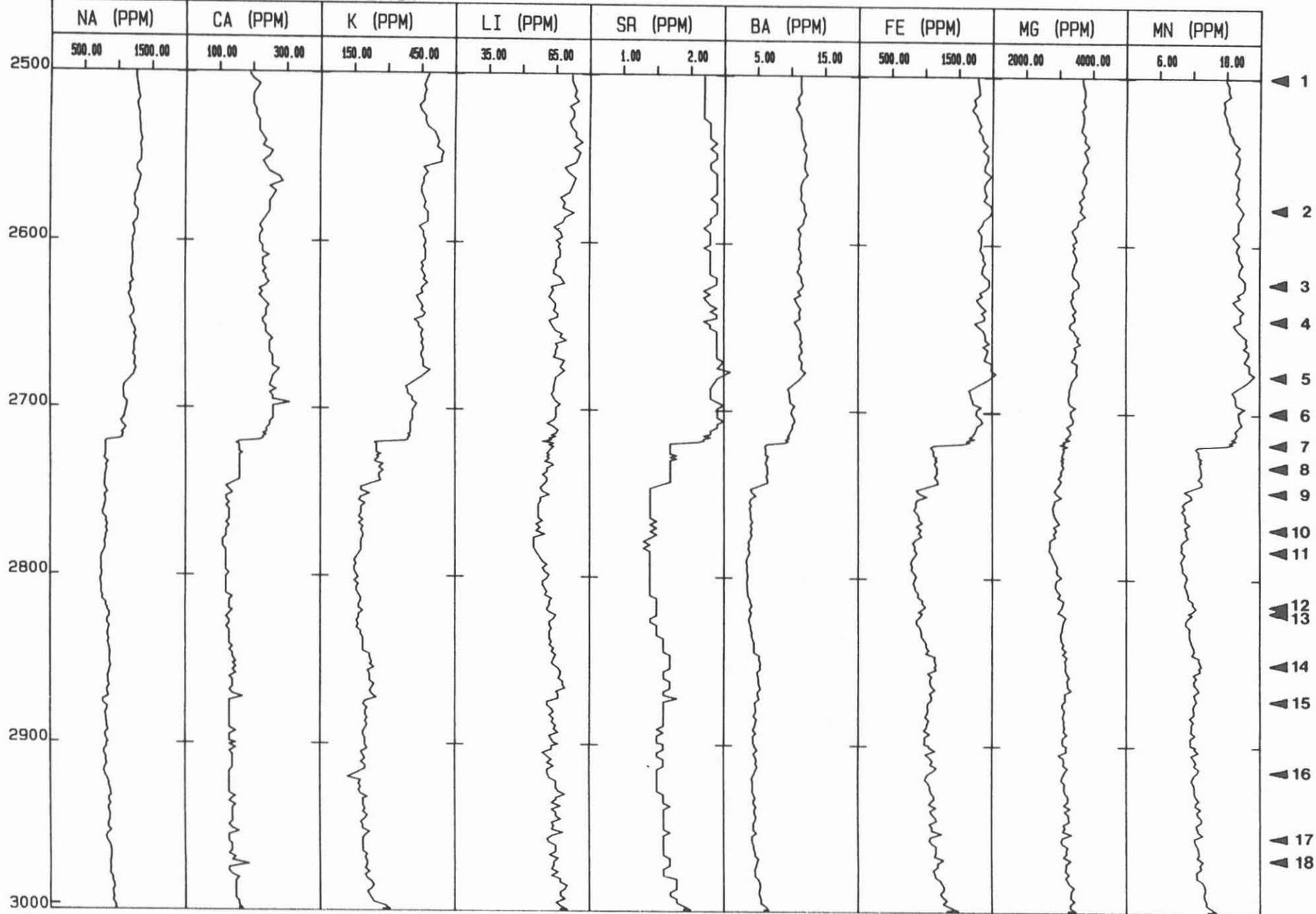
Tiefenlogs RDA Analysen (1:2000)



C.8.3

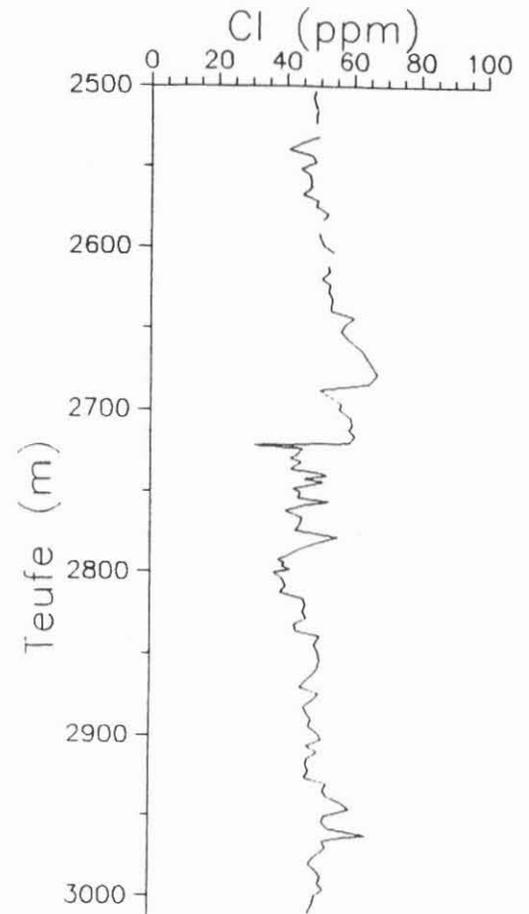
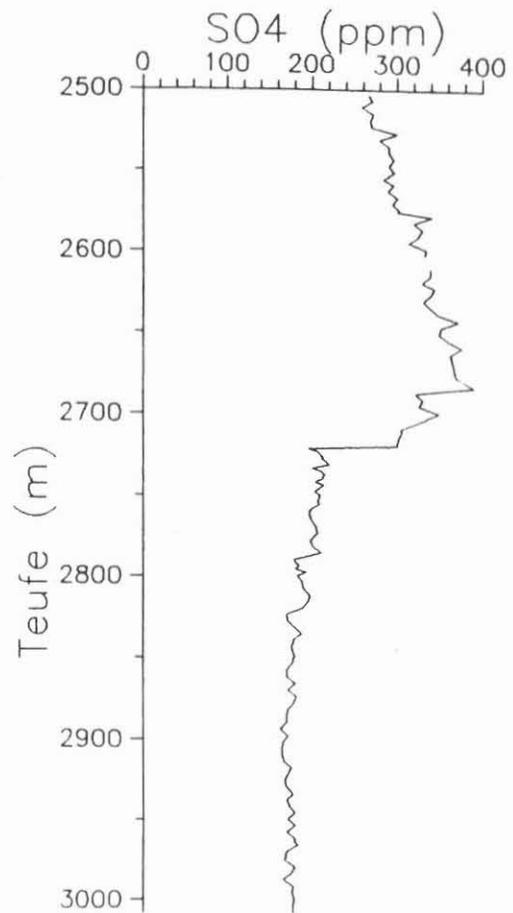
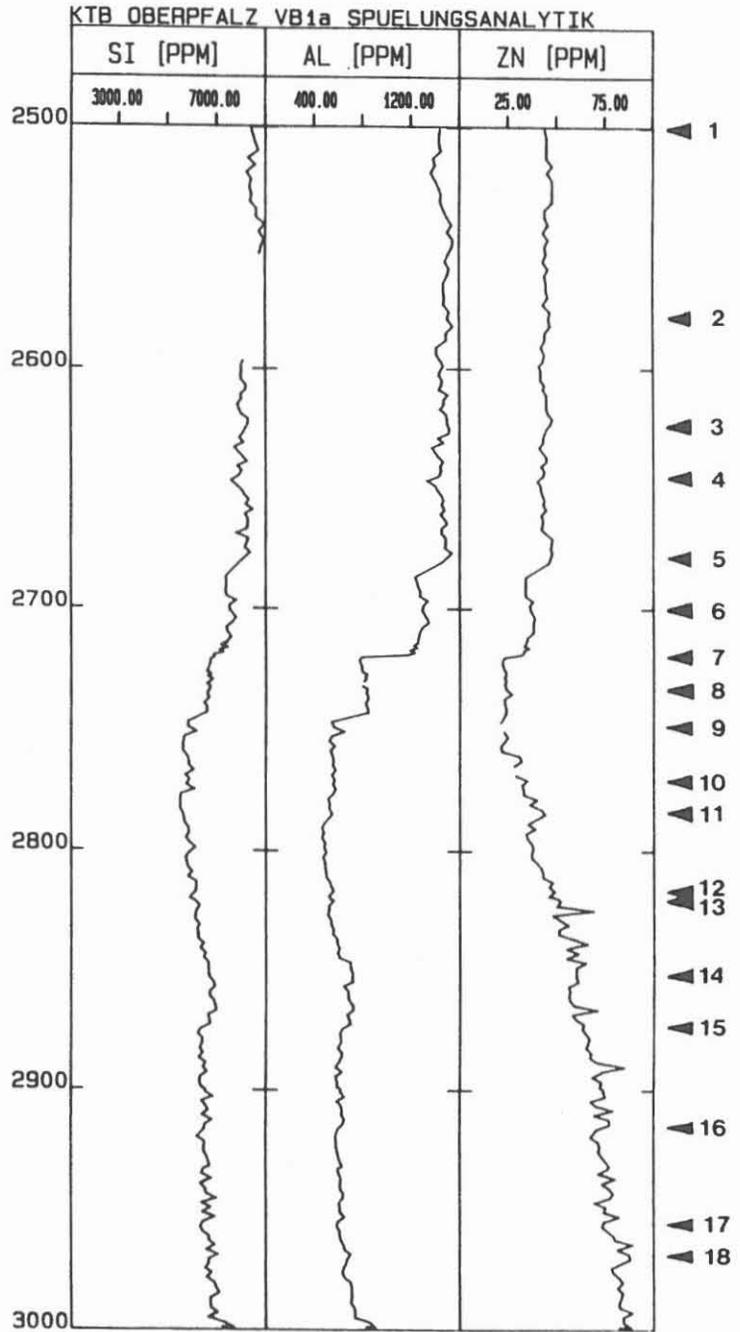
Tiefenlogs der Kationen- und Anionenanalysen
(1:2000)

KTB OBERPFALZ VB1a SPUELUNGSANALYTIK



- C 36 -

-C37-

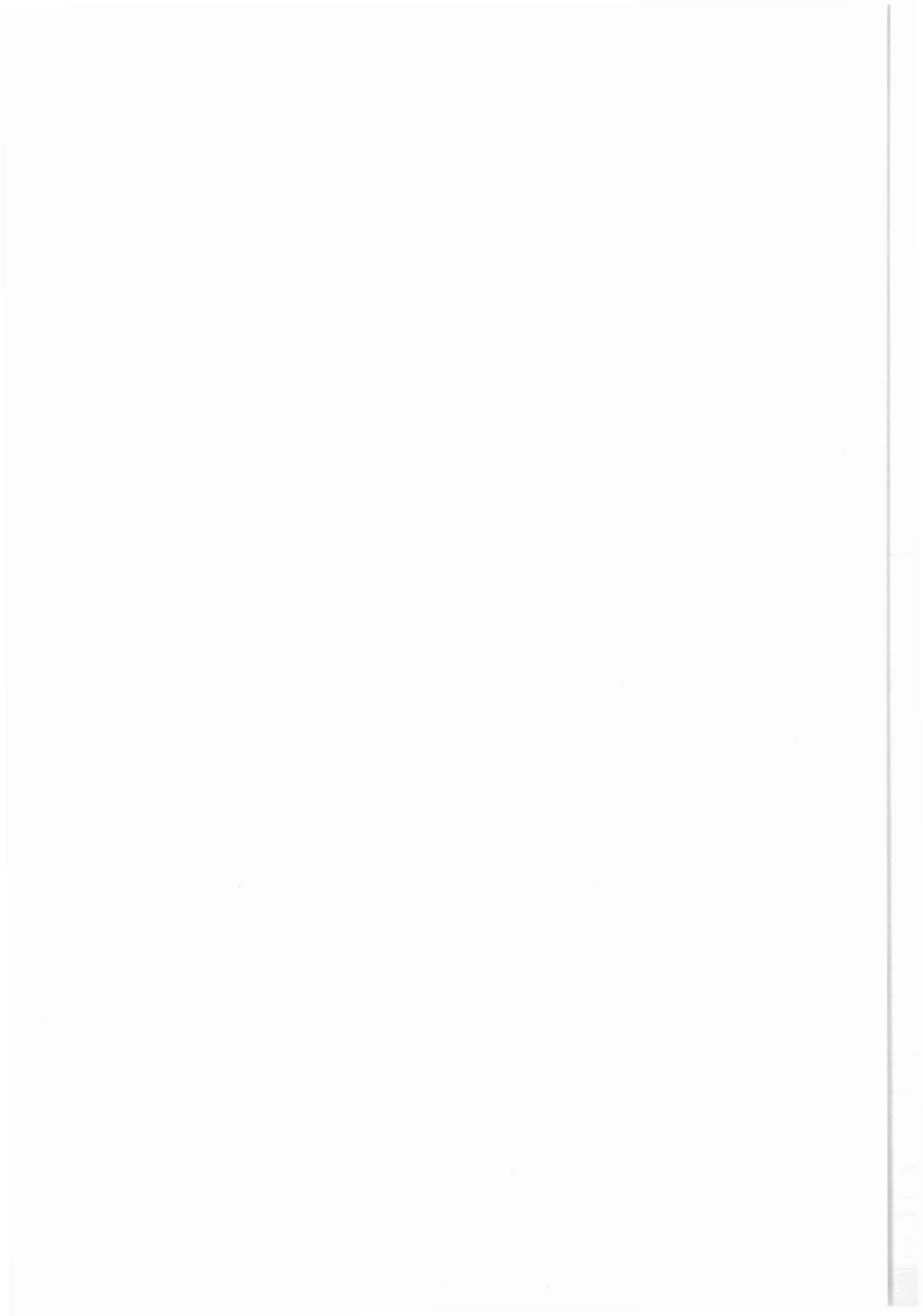


C.8.3.1 Zusammenfassung der Spülungseinleitungen im Teufenbereich 2500 - 3009.7 m.

Nr.	Teufe	Zusatz	TCV (m ³)	pH-Wert
1	2500 m	10 kg NaOH	83	10.6
2	2579 m	6 m ³ 1.25%ige D-HT-Lsg.	82.1	10.6
3	2623 m	4 m ³ 1.25%ige D-HT-Lsg. 10 kg NaOH	83.8	10.5
4	2645 m	3 m ³ 2.5%ige D-HT-Lsg. 10 kg NaOH	83.9	10.5
5	2677 m	8 m ³ 1.5%ige D-HT-Lsg. 7 m ³ 1.4%ige D-HT-Lsg. 10 m ³ 2.5%ige D-HT-Lsg.	84.7	10.6
6	2699 m	5 m ³ 1.5%ige D-HT-Lsg. 7 m ³ 1.4%ige D-HT-Lsg.	83	10.5
7	2719 m	8 m ³ 2.0%ige D-HT-Lsg. 7 m ³ 2.6%ige D-HT-Lsg. 20 m ³ 2.5%ige D-HT-Lsg. 5 kg NaOH	79	10.2
8	2732 m	3 m ³ H ₂ O 5 kg NaOH	80	10.3
9	2747 m	4 m ³ 1.25%ige D-HT-Lsg. 5 kg NaOH	80	10.4
10	2770 m	4 m ³ 1.25%ige D-HT-Lsg.	84	10.5
11	2783 m	14 m ³ 2.5%ige D-HT-Lsg. 20 m ³ 1.5%ige D-HT-Lsg.	84	10.4
12	2816 m	5 kg NaOH	87	10.2
13	2820 m	10 m ³ 2.5%ige D-HT-Lsg. 20 kg NaOH	87.5	10.1
14	2851 m	25 m ³ 2.5 % gebrauchte Spülung	84	10.6
15	2873 m	10 m ³ 2.0%ige D-HT-Lsg. 5 kg NaOH	86	10.4

C.8.3.1 Fortsetzung

Nr.	Teufe	Zusatz	TCV (m³)	pH-Wert
16	2915 m	5 m³ 2.5%ige D-HT-Lsg. 15 kg NaOH 8 m³ gebrauchte Spülung	87.5	10.3
17	2954 m	10 kg NaOH	85.8	10.3
18	2969 m	10 m³ 2.0%ige D-HT-Lsg.	89.1	10.6



C.8.4

Tiefenlogs ausgewählter Gase

ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

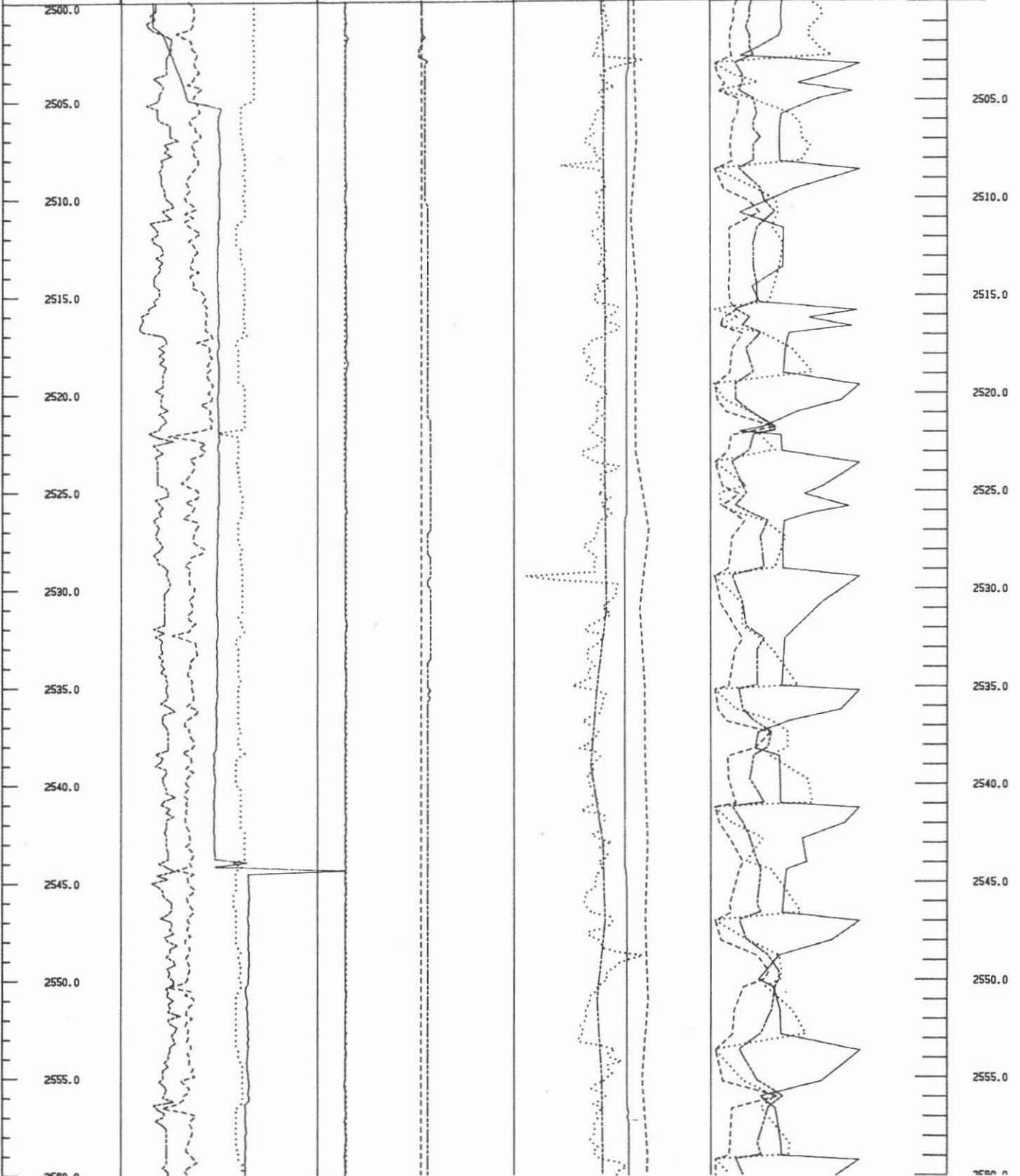
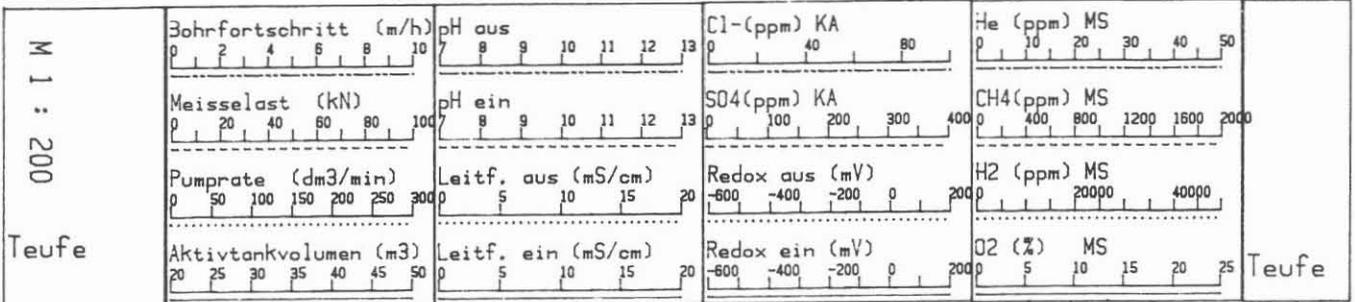
KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

21.07.88

2500 - 2560m

(G) GEO-data 1987



ARGE
GEO-data
NL Boreid
PREUSSAG

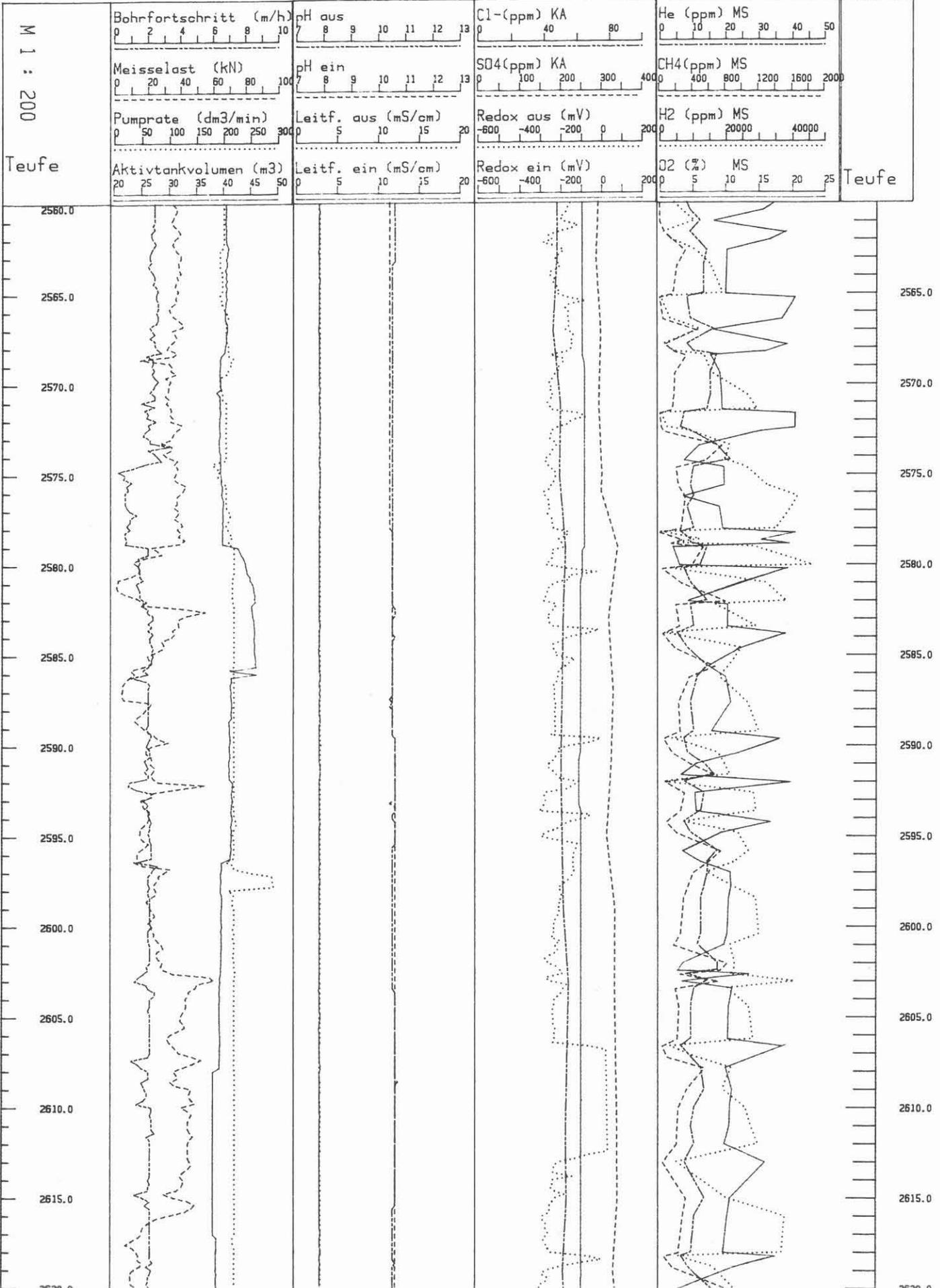
KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

21.07.88

2560 - 2620m

(C) GEO-data 1987



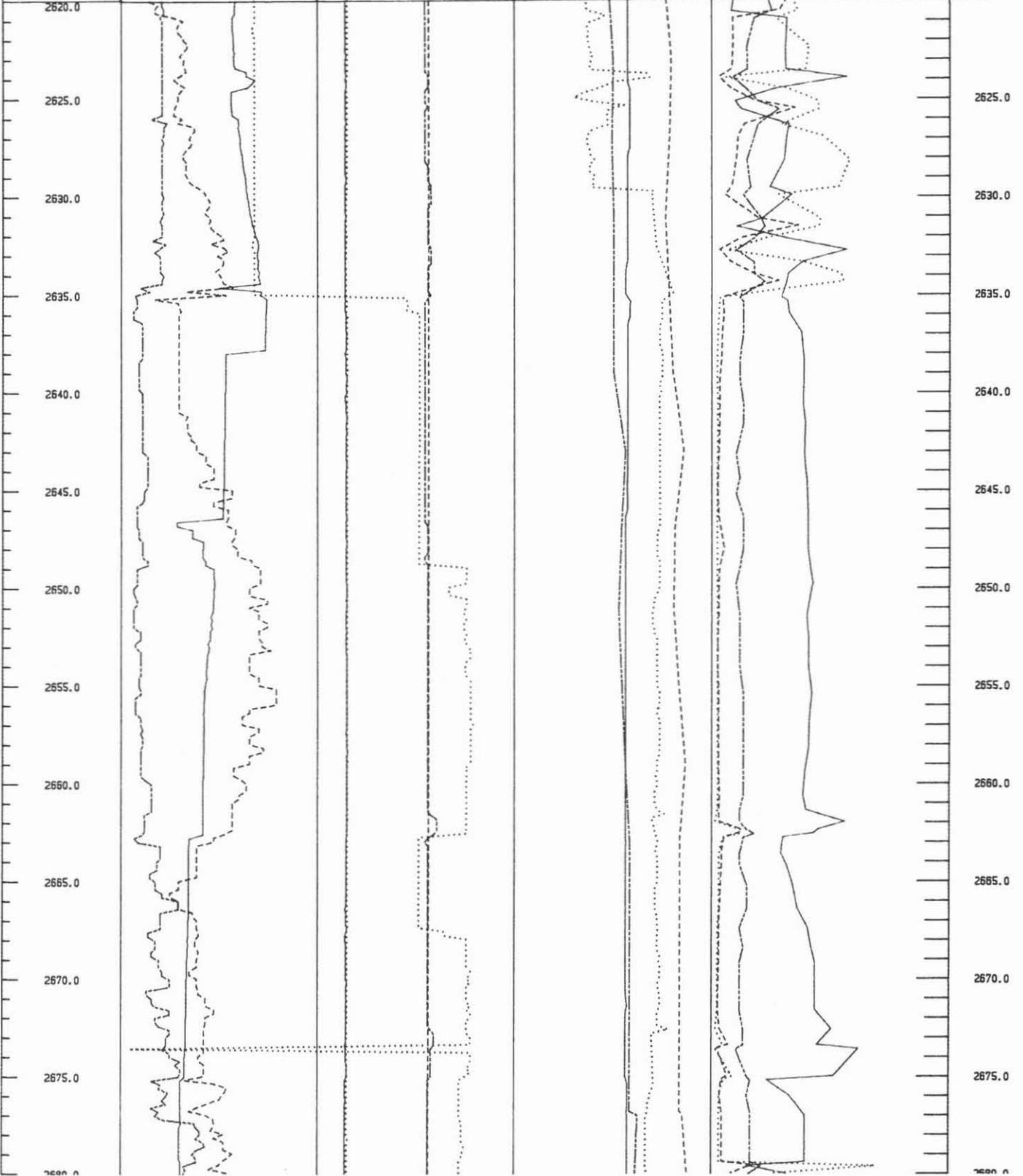
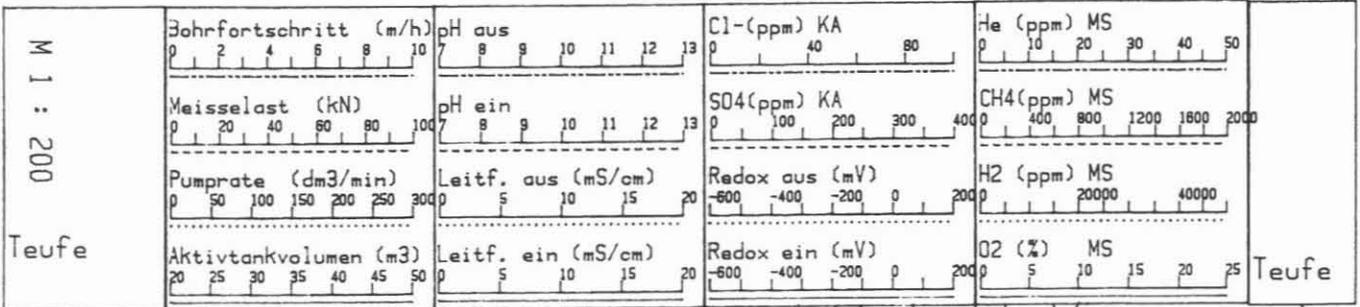
ARGE
GED-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

21.07.88

2620 - 2680m



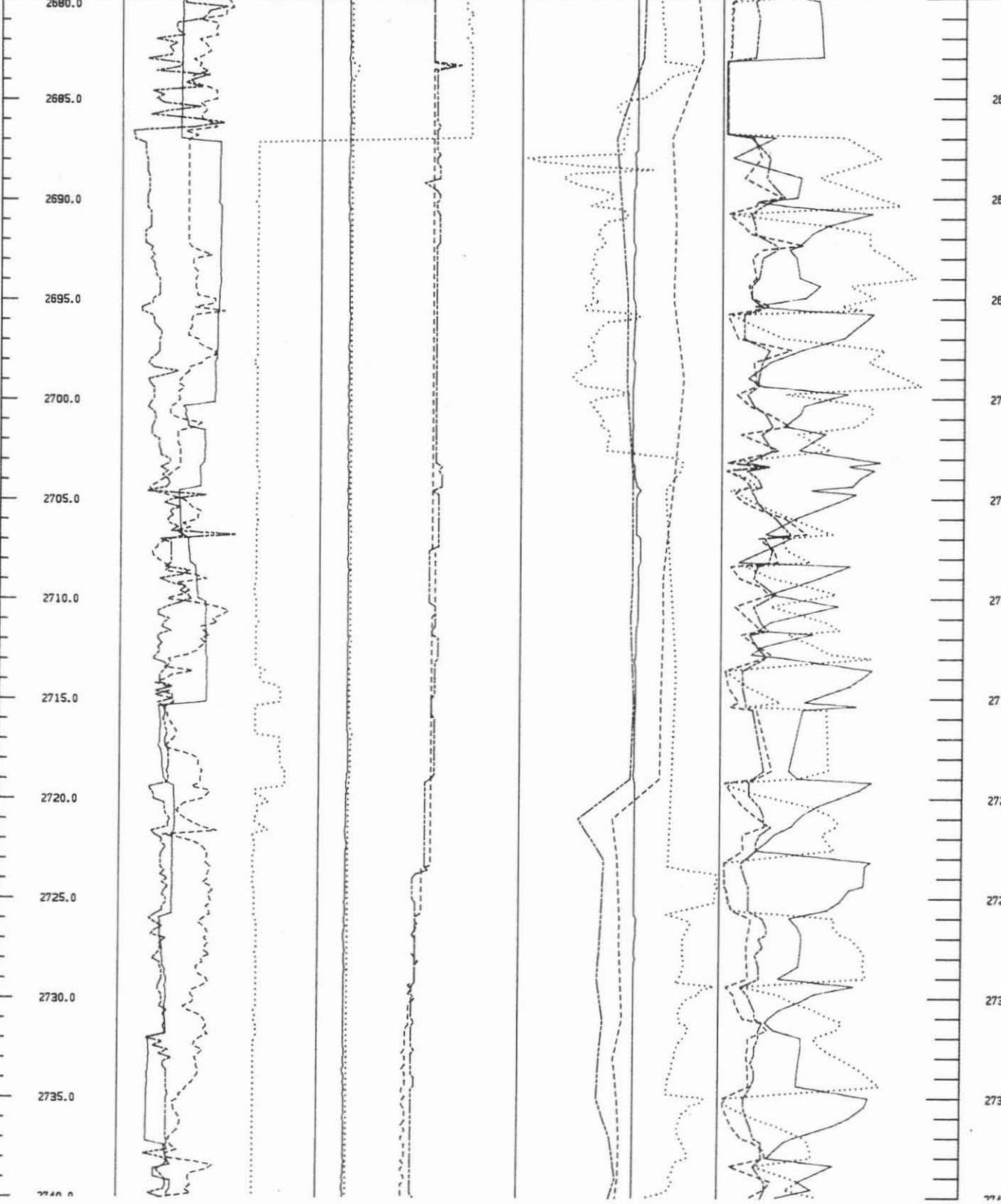
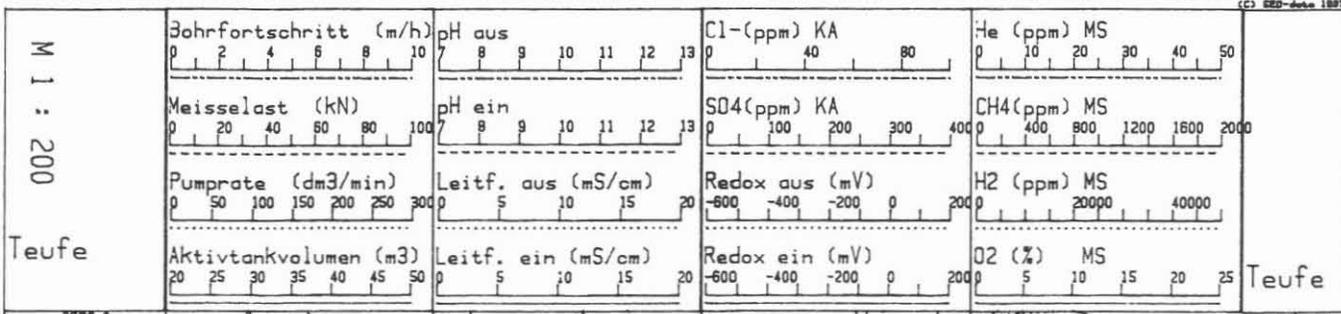
ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log 2680 - 2740m

30.07.88

(C) GEO-data 1887

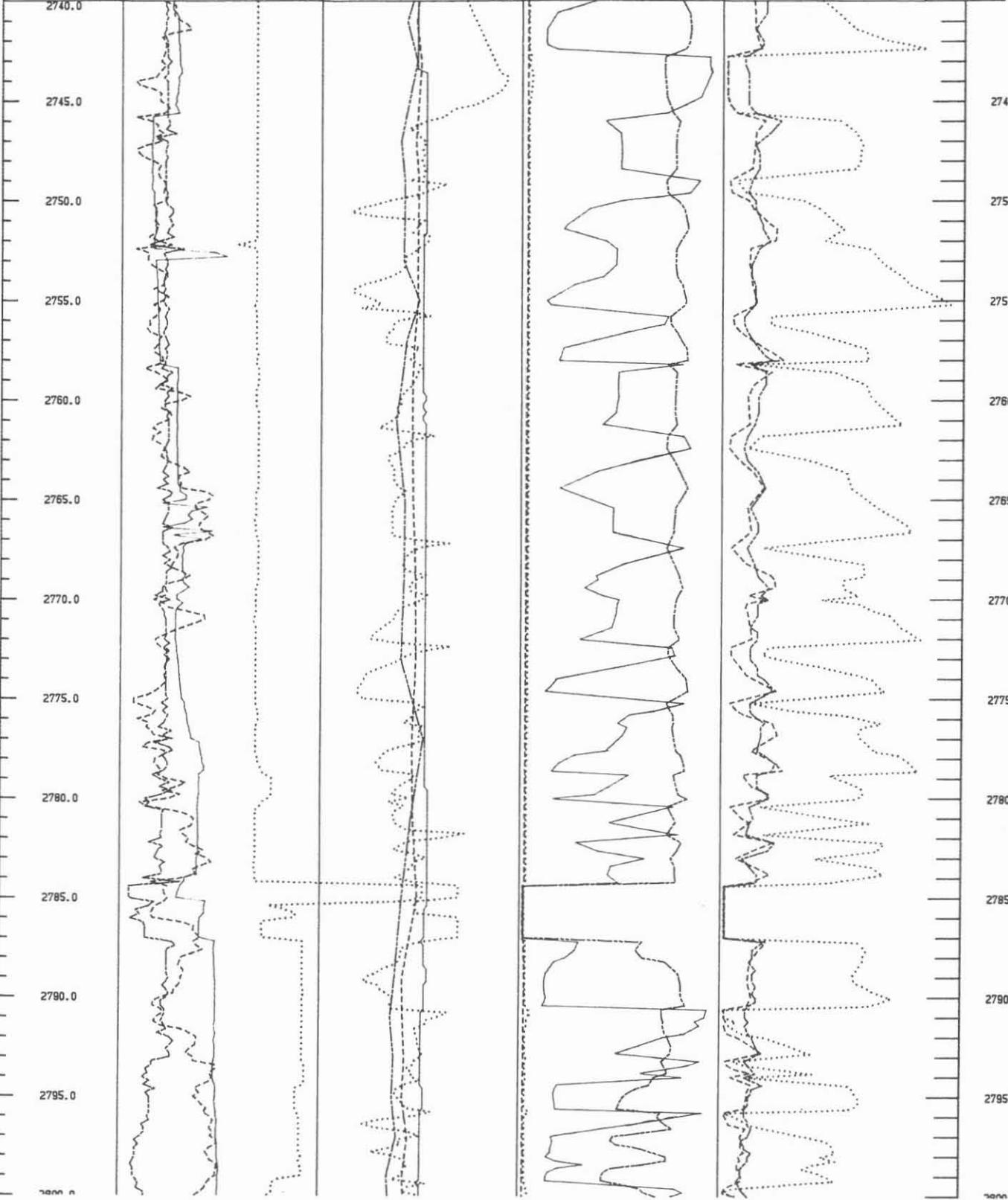
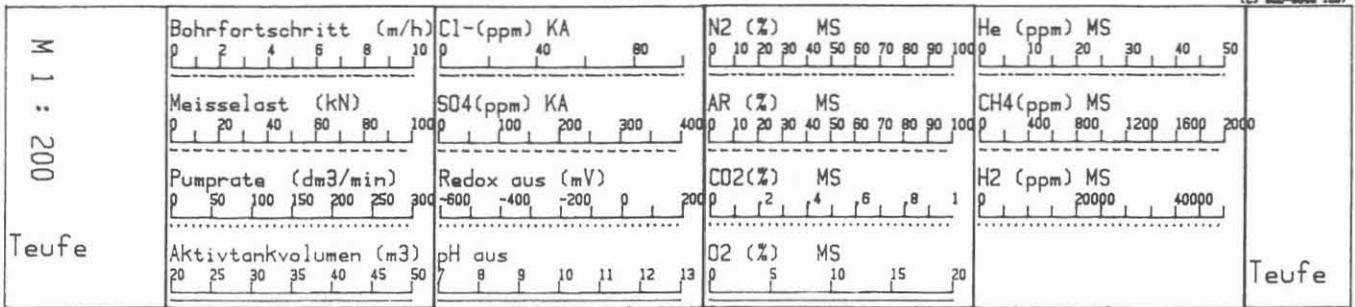


ARGE
GEO-data
NL Boreid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log 2740 - 2800m

15.08.88

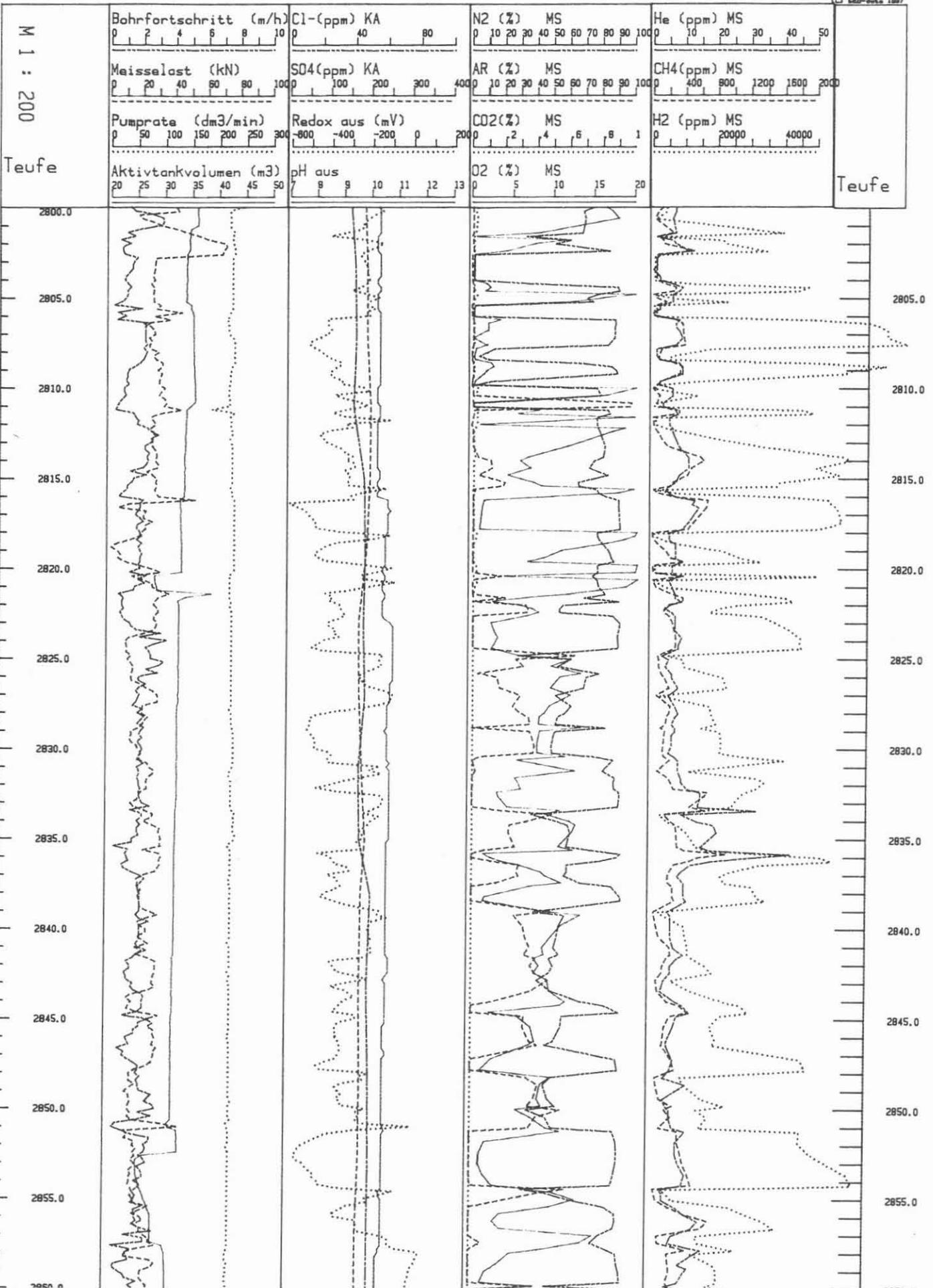


ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log 2800 - 2860m

19.08.88



ARGE
GEO-data
NL Boreid
PREUSSAG

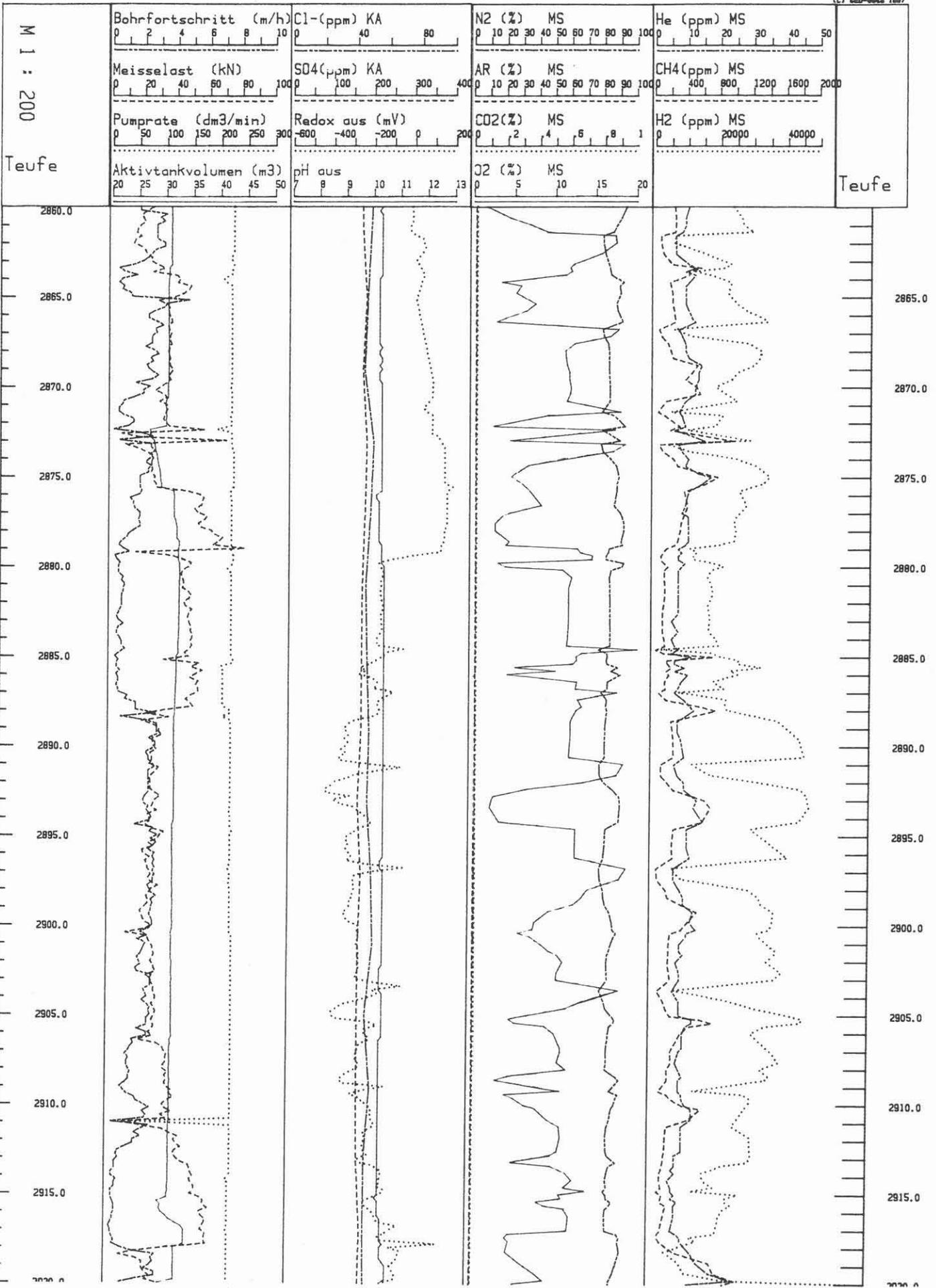
KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

30.08.88

2860 - 2920m

(C) GEO-Data 1897



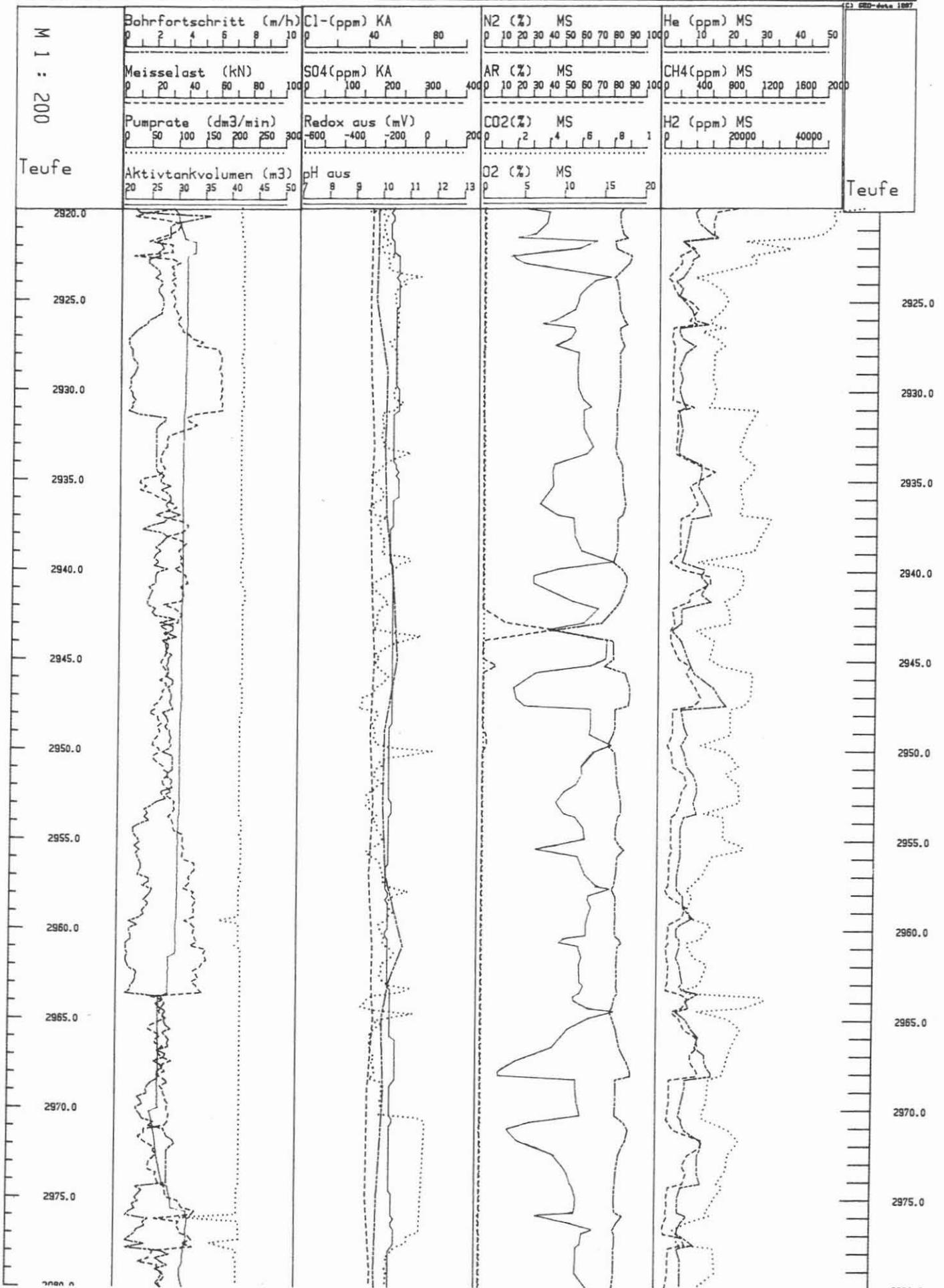
ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

03.09.88

2920 - 2980m



ARGE
GEO-data
NL Boreid
PREUSSAG

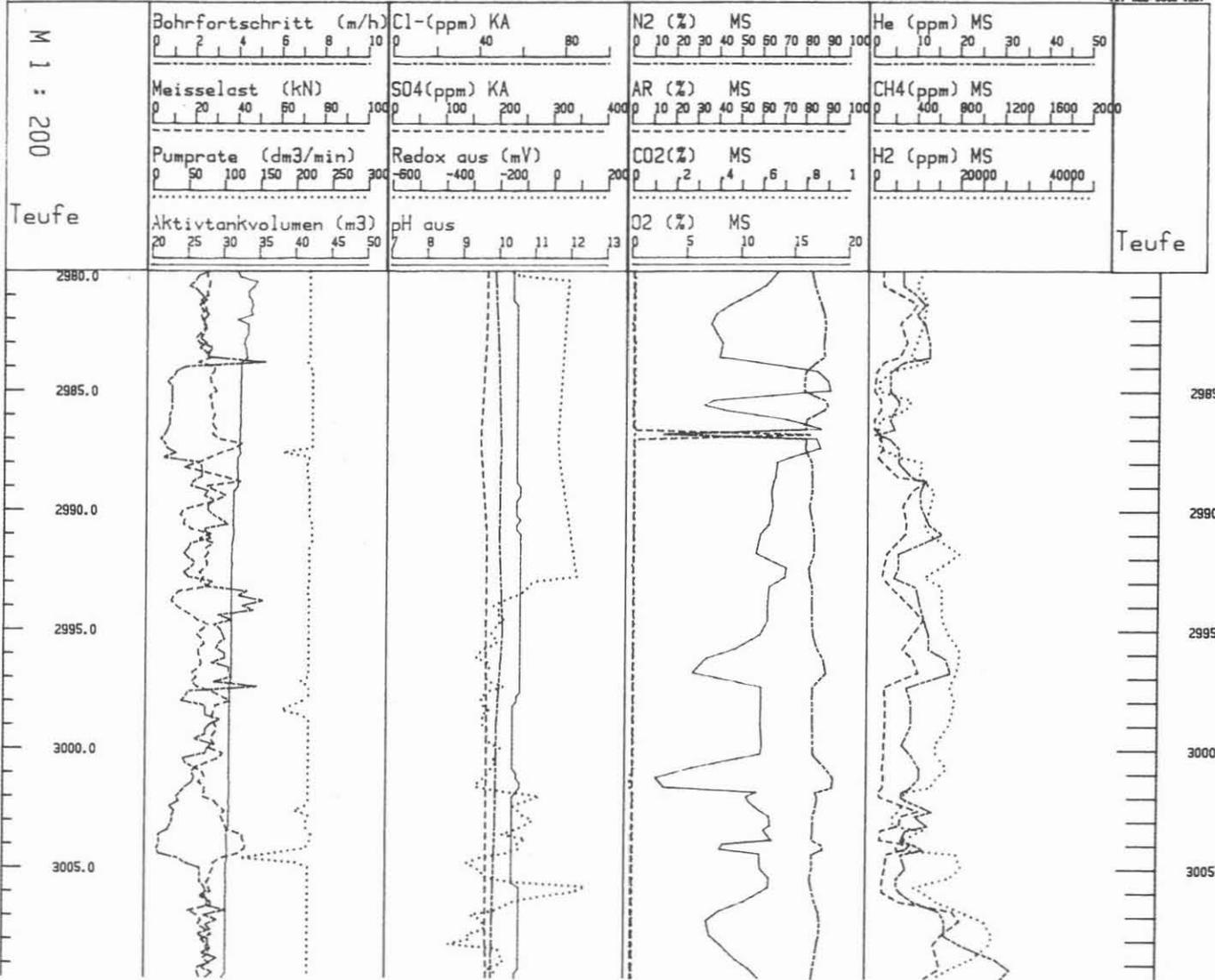
KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

05.09.88

2980 - 3009.6 m

(C) GEO-data 1987



D. Geophysik

Tiefenbohrung KTB Oberpfalz VB-
Ergebnisse der Geowissenschaftlichen
Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windisch-
eschenbach), Teufenbereich: 2500–3009 m

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



KTB-Report	89-4	D1-D39	26 Abb.	Hannover 1989
------------	------	--------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der Geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich: 2500 - 3009m.

D. Geophysik

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

Inhaltsverzeichnis:

D.1	Dichte.....	D02
D.2	Ultraschallseismik.....	D05
D.3	Wärmeleitfähigkeit.....	D10
D.4	Natürliche remanente Magnetisierung (NRM).....	D13
D.5	Suszeptibilität.....	D16
D.6	Elektrische Leitfähigkeit.....	D20
D.7	Relaxation.....	D24
D.8	Porosität.....	D30
D.9	Permeabilität.....	D32
D.10	Innere Oberfläche.....	D35
D.11	Literatur.....	D38

*) Adresse der Autoren: KTB-Feldlabor
Postfach 67
D-8486 Windischeschenbach

D.1 Dichte

D.1.1 Allgemeines

Im Teufenbereich von 2500 - 3009.7 m wurde die Dichte an 484 Bohrkernen und an 43 Cuttingsproben gemessen. Die Dichte der Bohrkernkerne wurde nach dem "Archimedischen Prinzip" bestimmt (BÜCKER et al., 1988), die Dichte der Cuttings mit dem Pyknometer (RAUEN et al., 1988). An den Seitenkernen, die in dem Bereich von 2648 - 2688 m gewonnen wurden, wurde die Dichte nach dem "Archimedischen Prinzip" gemessen. Dargestellt sind die Dichtewerte in Abb. D.1.1. Ebenfalls sind in der Abb. D.1.1 die Dichtewerte der Zentrifugenproben dargestellt, die mit Hilfe der RDA - Analytik ermittelt wurden (siehe KTB-Report 88-9, HOMANN et al., 1988).

D.1.2 Dichte der Cuttings

Im Teufenbereich von 2636 - 2683 m ergab sich eine mittlere Dichte von $2.82 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$. Die minimale Dichte von 2.75 g/cm^3 wurde an einer Probe aus 2641 m gemessen. Die maximale Dichte 2.97 g/cm^3 ergab eine Probe aus einer Teufe von 2666 m. Die Lithologie im hier betrachteten Bereich besteht aus Hornblende-Gneisen mit Amphibolit-Lagen, wodurch sich die relativ hohen Dichten erklären lassen.

D.1.3 Dichte der Kerne

Die Dichte in dem hier betrachteten Teufenabschnitt läßt sich in zwei Bereiche unterteilen. Im ersten Bereich von 2500 - 2690 m weist die Dichte eine starke Heterogenität mit einer Durchschnittsdichte von $2.82 \pm 0.08 \text{ g/cm}^3$ auf. Lithologisch ist dieser Bereich durch eine Wechsellagerung von Hornblende-Gneisen mit untergeordneten Biotit-Gneisen und Amphiboliteinschaltungen gekennzeichnet. Unterhalb von 2690 m weisen die Dichtewerte eine Homogenität mit einer mittleren Dichte von $2.74 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$. Lithologisch handelt es sich hier vorwiegend um Biotit-Gneise mit wenigen Hornblende-Gneis-Einschaltungen. Die minimale Dichte (2.67 g/cm^3) ergab die Messung an einem Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis aus einer Teufe von 2809 m. Die maximale Dichte (3.04 g/cm^3) wurde einem Biotit-Hornblende-Gneis aus einer Teufe von 2567 m bestimmt. Vergleicht man die Dichtewerte der Kerne bzw. der Cuttings mit den Dichtewerten der Zentrifugen-Proben, so lassen sich hier ebenfalls die o.g. Teufenbereiche unterscheiden. Im oberen Bereich streuen die Dichtewerte der Zentrifugen-Proben ($2.83 \pm 0.09 \text{ g/cm}^3$) auch sehr stark, stimmen aber mit den Kern- bzw. Cuttingsdichten gut überein. Im zweiten Bereich liegen die Dichtewerte der Zentrifugen-Proben ($2.70 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$) systematisch unter den Kerndichten. Es wäre zu erwarten, daß die Dichten der Zentrifugen-Proben über den Dichtewerten der Kerndichten lie-

gen, da mit dem "Archimedischen Prinzip" die Totaldichte bestimmt wird, während mit Hilfe der RDA-Analytik die Matrixdichte bestimmt wird, die Porosität also unberücksichtigt bleibt. Im oberen Bereich trifft diese Erwartung auch zu. Die systematische Abweichung im zweiten Bereich läßt die Vermutung zu, daß mit der RDA-Analyse systematisch zu geringe Dichten ermittelt wurden. Dies kann darauf beruhen, daß der unter der Nachweisgrenze der RDA liegende Anteil schwerer Minerale (z.B. Granat, Pyrrhotin) bei der Dichteberechnung unberücksichtigt bleibt. Insbesondere unterhalb 2690 m werden im Litholog (vgl. Kapitel B) etwas höhere Granatgehalte beschrieben, so daß die Erklärung plausibel erscheint. Unterhalb von 2900 m deuten die NRM-Messungen (siehe Abschnitt D.4) auf erhöhte Pyrrhotin-Gehalte hin.

D.1.4 Dichte der Seitenkerne

Die Seitenkerne haben einen Durchmesser von ca. 1 Zoll und eine Länge von 2-5 cm und wurden aus dem Bereich der Richtbohrstrecke gewonnen. Die mittlere Dichte der 16 Seitenkerne beträgt $2.94 \pm 0.13 \text{ g/cm}^3$. Die maximale Dichte (3.14 g/cm^3) weist ein Amphibolit aus der Teufe von 2685.6 m auf. Die niedrigste Dichte (2.78 g/cm^3) hat ein Biotit-Hornblende-Gneis aus der Teufe von 2680 m. Die Amphibolite treten in diesem Bereich durch ihre deutlich höhere Dichte ($>3 \text{ g/cm}^3$) hervor. Die mittlere Dichte der Seitenkerne liegt auch deutlich über den mittleren Dichten der Cuttings und der Zentrifugen-Proben. Eine Erklärung hierfür ist, daß es sich bei den Cuttings bzw. Zentrifugen-Proben um Mischproben über einen Bereich von einigen Dezimetern handelt, während die Seitenkerne nur für einen sehr kleinen Bereich repräsentativ sind.

Die insgesamt hohen Dichtewerte deuten darauf hin, daß das hier beschriebene Bohrintervall noch in der ZEV steht.

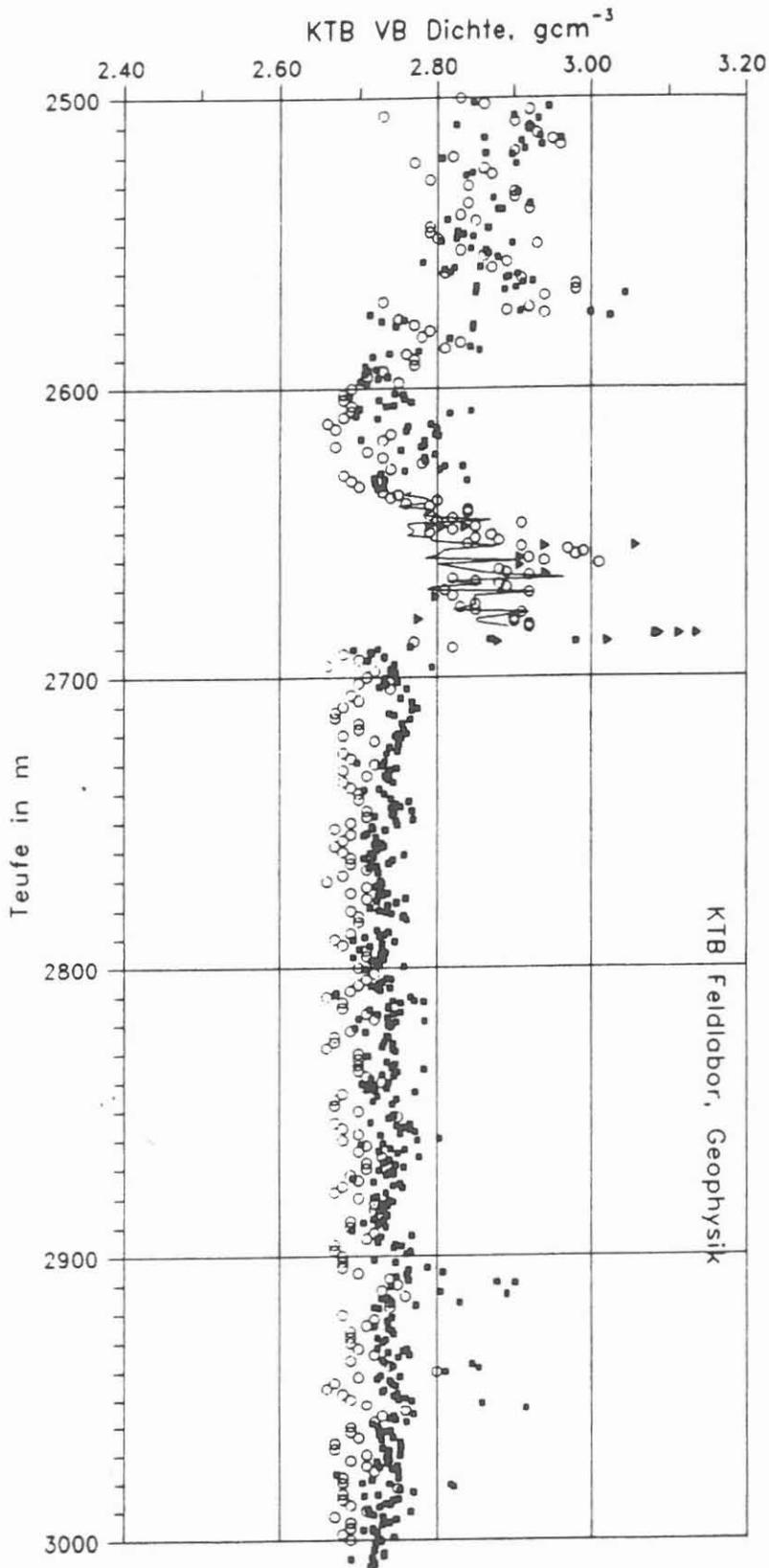


Abb. D.1.1: Teufenlog der Dichte
durchgezogene Linie: Cuttings
quadratische Punkte: Kerne
offene Kreise : Zentrifugen-Proben
Dreiecke : Seitenkerne

D.2 Ultraschallseismik

D.2.1 Allgemeines

Die Daten der Schallgeschwindigkeit im vorliegenden Teufenabschnitt wurden ausnahmslos mit der am Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Uni München entwickelten Apparatur gewonnen (Beschreibung in HUENGES et al., 1989).

D.2.2 Ergebnisse

Abbildung D.2.1 zeigt die Ergebnisse der Radial-Durchschallungen an Bohrkernen. Es sind die maximalen an Bohrkernen beobachteten Geschwindigkeiten dargestellt, die immer in der Ebene der Foliation gemessen werden. Der Zusammenhang zwischen Lithologie und v_p ist undeutlich; nur sehr hohe Geschwindigkeiten von mehr als 6500 m/sec scheinen streng an das Auftreten von Hornblende-Gneisen und Amphiboliten gebunden zu sein.

In Abbildung D.2.2 werden die Ergebnisse der Messungen der p- und s-Wellen-Geschwindigkeit parallel zur Achse der Bohrkern dargestellt. Nur diejenigen Ergebnisse werden gezeigt, die mit einer Abstandsvariation zwischen Sender und Empfänger über mehr als 80 mm erfaßt wurden (HUENGES et al., 1989). Diese Bedingung eliminiert unzuverlässige Messungen an Kernen mit starker Absorption der Schallenergie parallel zur Achse der Kerne. Auffällig ist die niedrige Datendichte im Teufenbereich unterhalb der Richtbohrstrecke bis etwa 2870 m, die nur durch die schlechte Qualität der Daten bedingt ist - ein möglicher Hinweis auf Mikroriß-Häufung im Kernmaterial in diesem Bereich.

Abbildung D.2.3 zeigt den gemessenen Zusammenhang zwischen axialen p- und s-Wellen-Geschwindigkeiten. Zur Berechnung des Korrelations-Koeffizienten wurden die unter verschiedenen Polarisationswinkeln relativ zur Foliation gemessenen s-Wellen-Geschwindigkeiten gemittelt. Auffällig ist, daß v_p/v_s nicht konstant ist. Dieses Verhältnis ist umso höher, je niedriger v_p liegt. (Wertebereich für v_p/v_s : 1.70-1.96).

Aus Abb. D.2.4 ist ein nur sehr undeutlicher Zusammenhang zwischen Dichte und p-Wellen-Geschwindigkeit zu erkennen (Korrelations-Koeffizient: 0.5). Geschwindigkeiten größer als 6500 m/sec wurden jedoch ausschließlich bei Gesteinen mit Dichten höher als 2.8 g/cm³ gemessen.

Abb. D.2.5 zeigt die Anisotropie der gemessenen p-Wellen-Geschwindigkeiten (zur Definition siehe LIPPMANN et al., 1988). Auffallend hohe Anisotropien von mehr als 30 % wurden innerhalb eines Granat-Sillimanit-Biotit - Gneises bei 2720 m beobachtet.

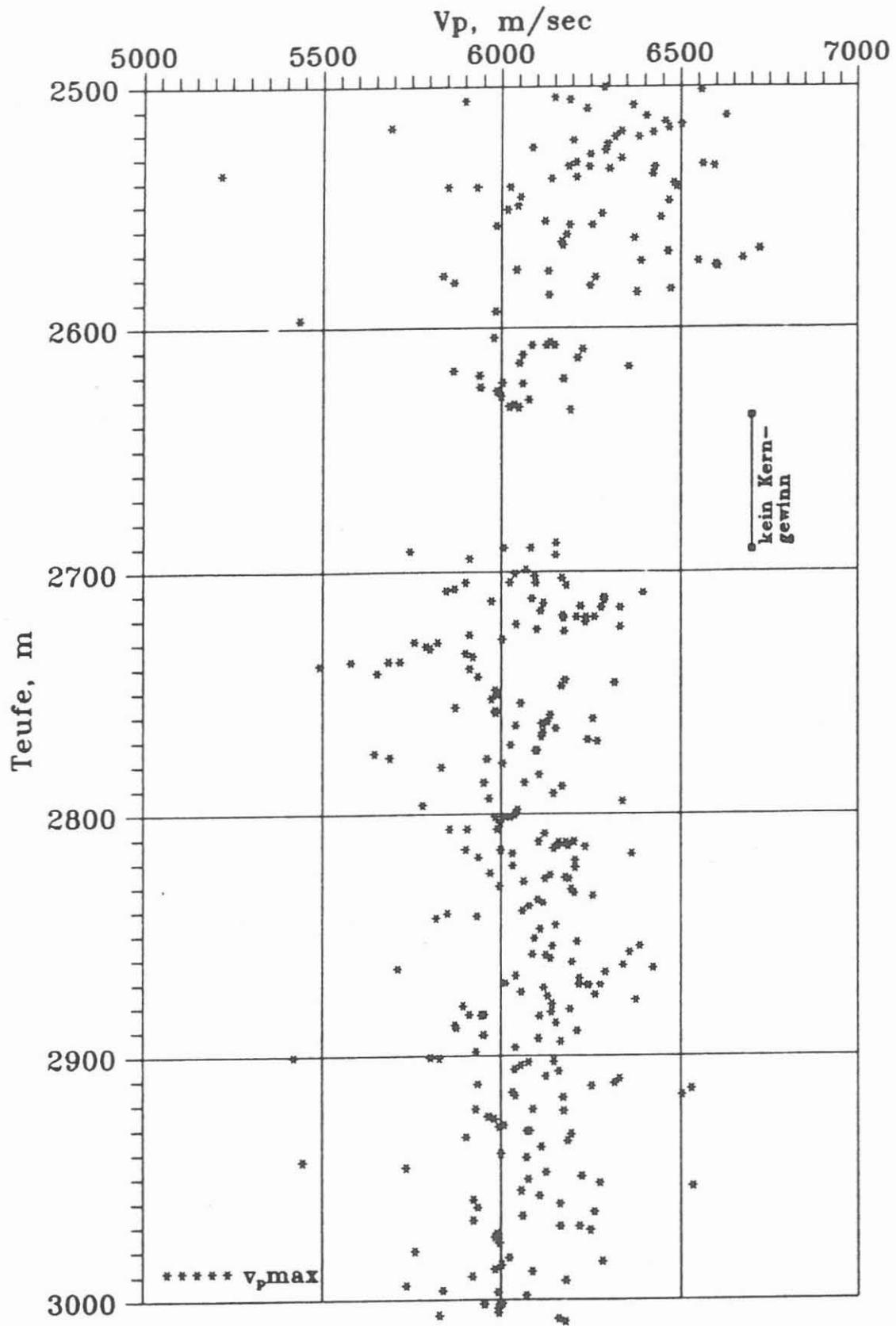


Abb. D.2.1: Teufenlog der radialen p-Wellen-Geschwindigkeiten, Maximalwerte

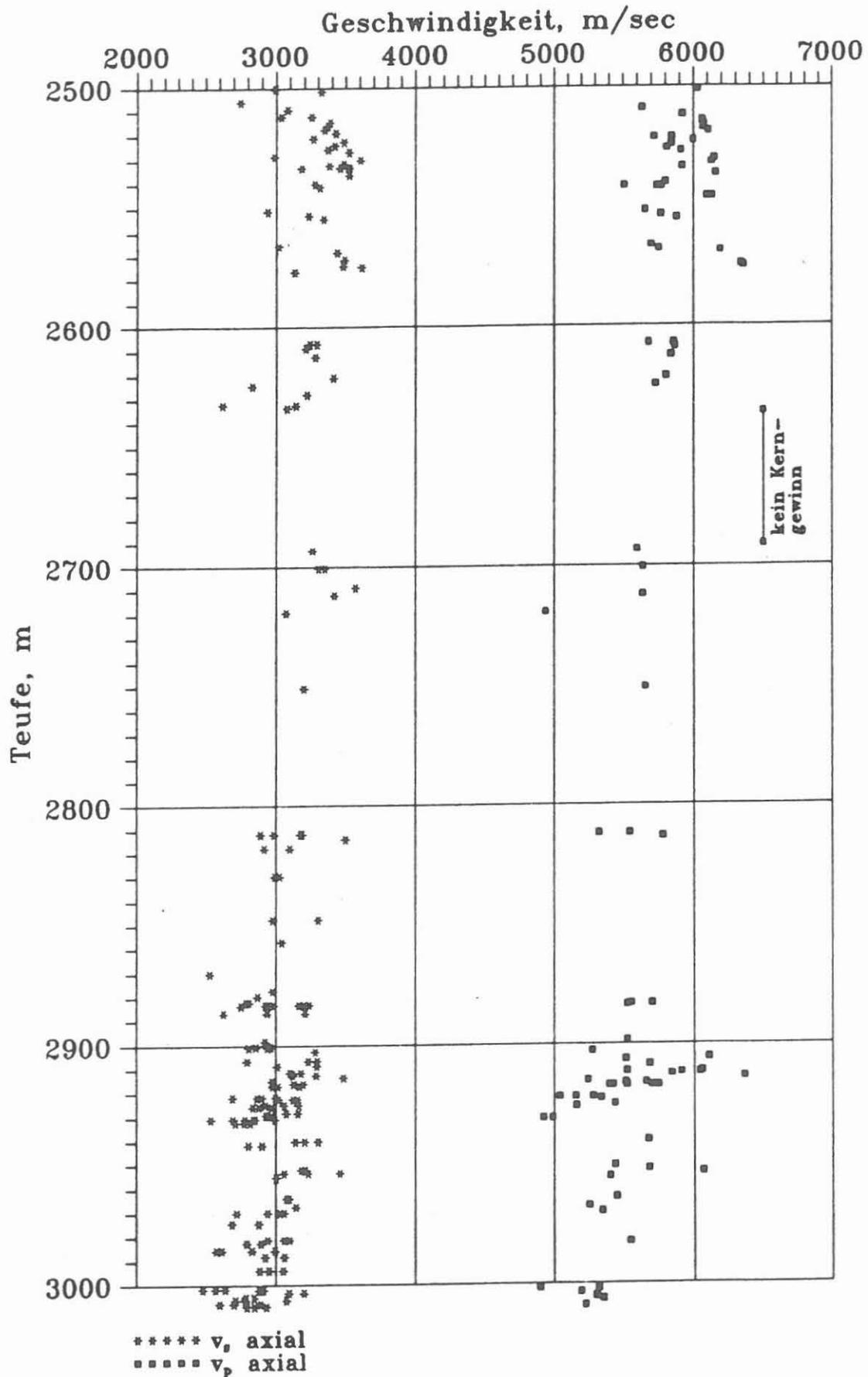


Abb.D.2.2: p- und s-Wellen-Geschwindigkeit parallel zur Achse der Bohrkern

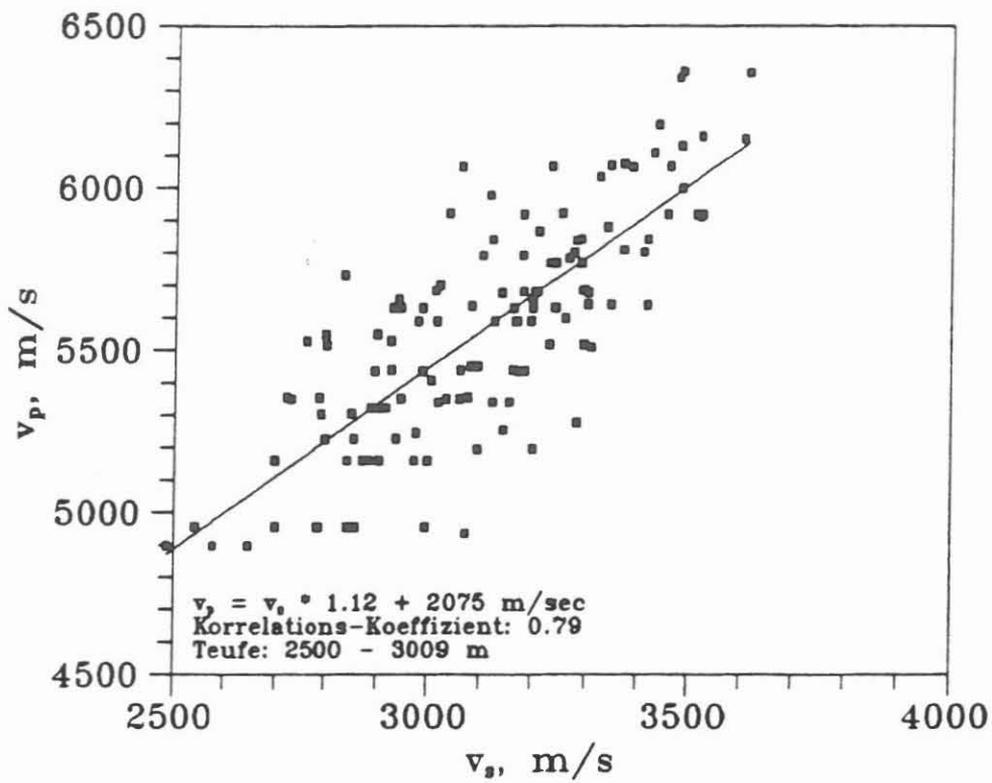


Abb. D.2.3: Zusammenhang zwischen axialen p- und s-Wellen-Geschwindigkeiten.

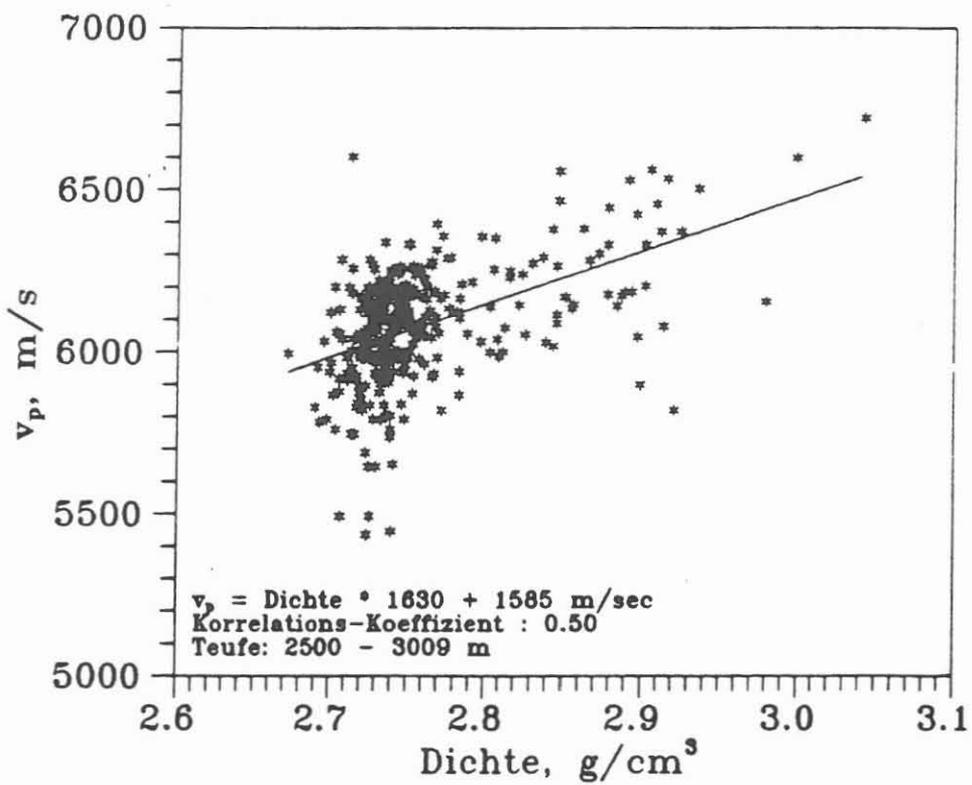


Abb. D.2.4: Zusammenhang zwischen v_p und Dichte

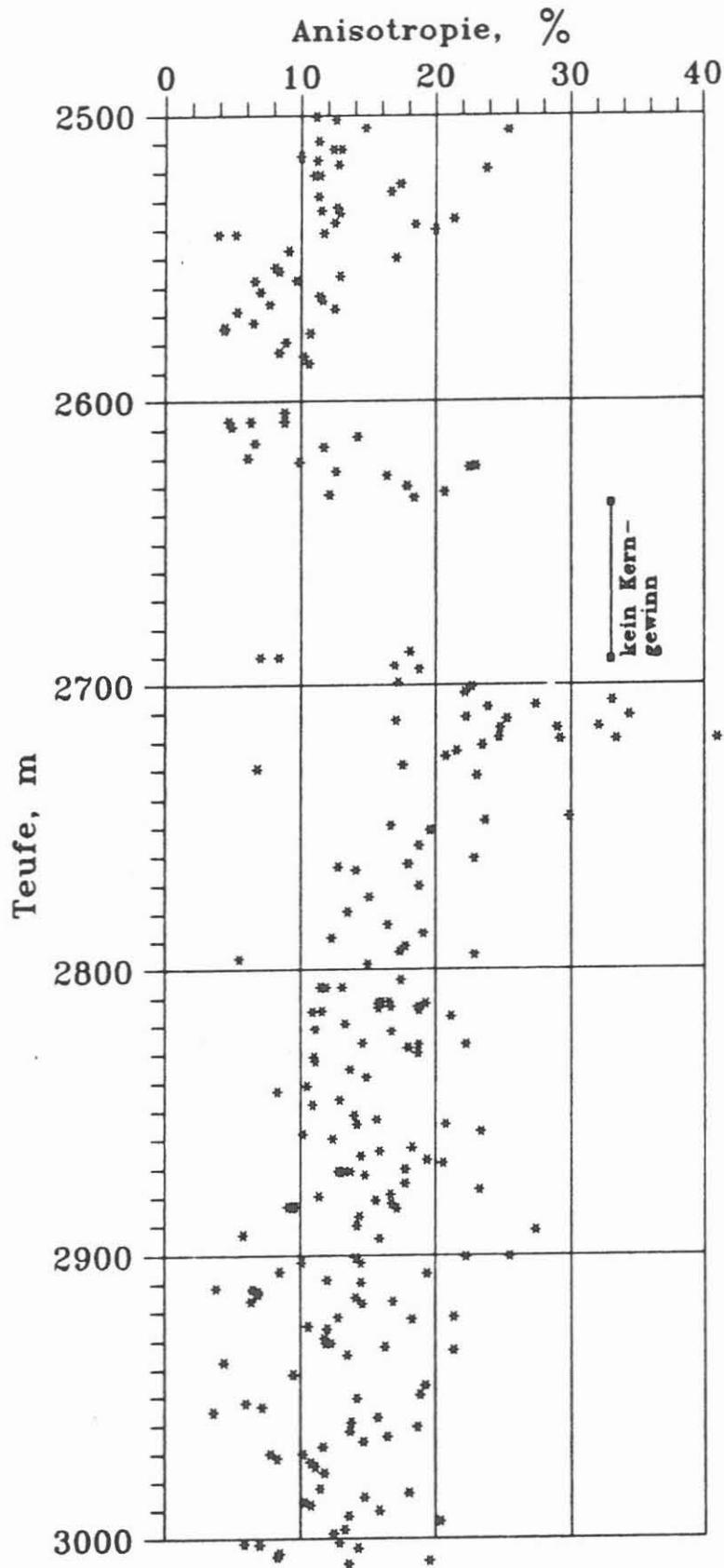


Abb. D.2.5: Anisotropie der radialen p-Wellen-Geschwindigkeit

D.3 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit und deren Anisotropie wurde ca. alle 5 m an Bohrkernen der Strecke zwischen 2500 und 3000 m mit dem bei HUENGES et al. (1989) beschriebenen Verfahren gemessen und bestimmt. Abb. D.3.1 zeigt die Meßdaten, ermittelt, wie oben beschrieben, in 3 senkrecht zueinander stehenden Richtungen auf den Bohrkernen. Bis 2570 m wurden zumeist niedrigere Werte gemessen. Dies kann auf den Mineralbestand mit schwankendem, aber niedrigem Quarzgehalt unter 30 % zurückgeführt werden (rechte Spalte; siehe Kapitel C dieses Reportes). Weitere Minima im Quarzgehalt wurden zwischen 2630 und 2700 m und zwischen 2900 und 2930 m gemessen. Sie korrelieren schwach mit Minima im Wärmeleitfähigkeitslog (Abb. D.3.1).

Unterhalb 2570 m wurden hauptsächlich Gesteine mit Gneis-Textur erbohrt, deren Wärmeleitfähigkeit in Hinblick auf die Struktur betrachtet werden muß. Zur genaueren Untersuchung wurden daher unter Benutzung der von der Arbeitsgruppe Geologie ermittelten Einfallswinkel und -richtungen der Foliation die Tensorelemente k_{11} und k_{33} der Wärmeleitfähigkeit parallel und senkrecht zur Foliation ermittelt. In Abb. D.3.2 ist oben die Häufigkeitsverteilung der ermittelten Wärmeleitfähigkeiten parallel und senkrecht zur Foliation dargestellt. Man beobachtet eine deutliche Anisotropie mit 3.4 (7) W/m K parallel und 2.7 (5) W/m K (in Klammern die Standardabweichung bezogen auf die letzte Ziffer) senkrecht zur Foliation.

Abb. D.3.2 stellt unten die Wärmeleitfähigkeit in Richtung Bohrkernachse dar. Betrachtet man die Zonen mit annähernd gleichem Quarzgehalt, so fällt auf, daß die Wärmeleitfähigkeit zwischen 2720 m und 2900 m abfällt. Im gleichen Teufenabschnitt wurde eine schrittweise Verringerung des Einfallwinkels der Foliation beobachtet (rechte Spalte). Diese Korrelation zwischen Erniedrigung der Wärmeleitfähigkeit und Verflachung der Foliation setzt sich unterhalb 2900 m nicht fort. Beobachtet wurden zwischen 2900 und 3010 m vermehrt flaserige Gneise (siehe Gefügevarietätenlog im Kapitel B dieses Reportes). Diese Flaserung ist Ursache für einen verminderten Einfluß der Foliation. Weitere Abweichungen von der o.g. Korrelation werden mit den schon erwähnten niedrigen Quarzgehalten erklärt.

Abb. D.3.1 Wärmeleitfähigkeit von KTB-VB-Kernen. Die Signaturen geben jeweils einen Mittelwert mit mittlerem Fehler aus 5 Wiederholungsmessungen in einer Ebene an, die durch jeweils 2 Richtungen 0°, 90° zur Referenzlinie oder z = Bohrkernachse aufgespannt werden. Rechts Quarzgehalt in Gew.-% aus Z- und Cuttings-Messungen (nach Kapitel C dieses Reportes).

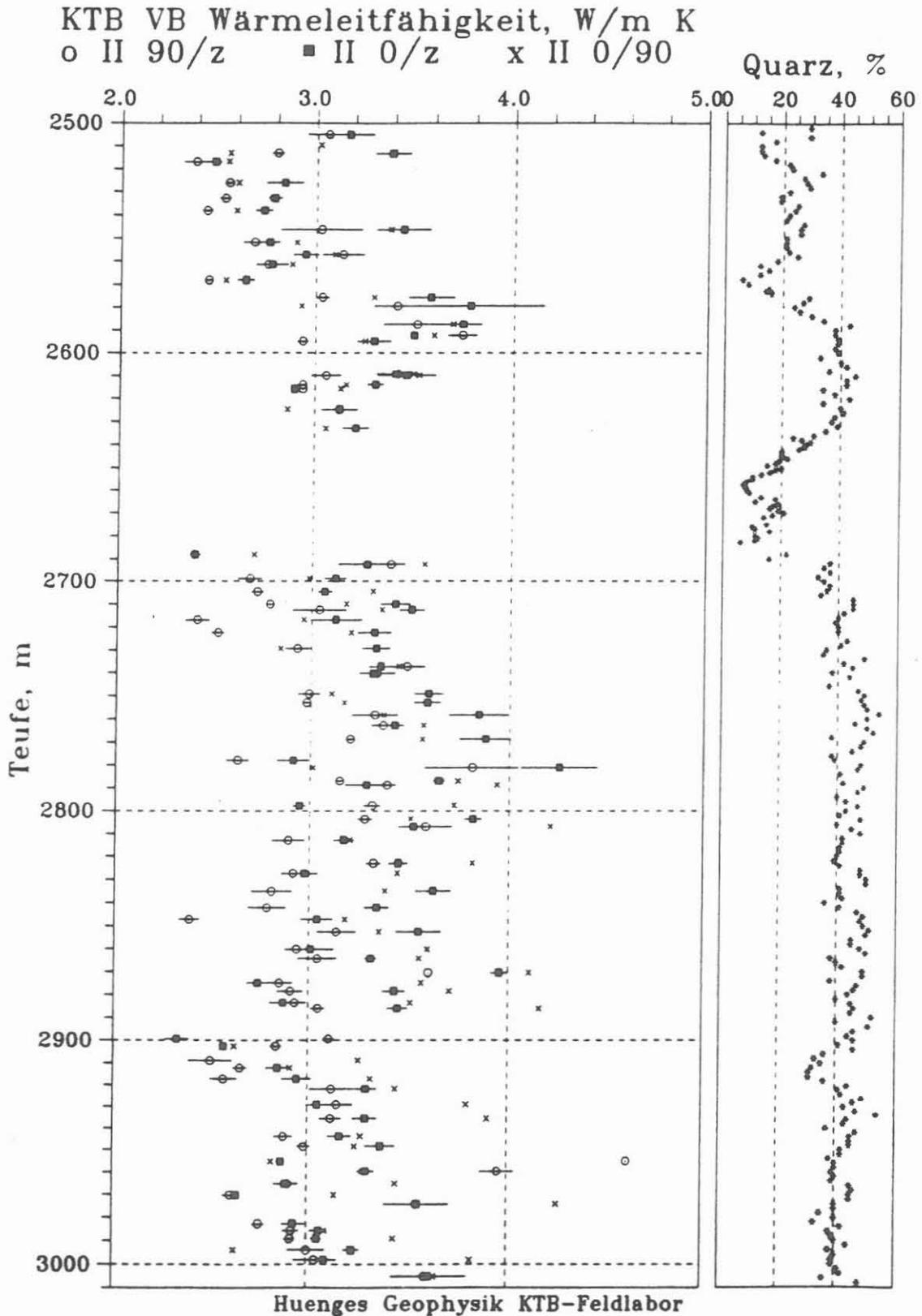
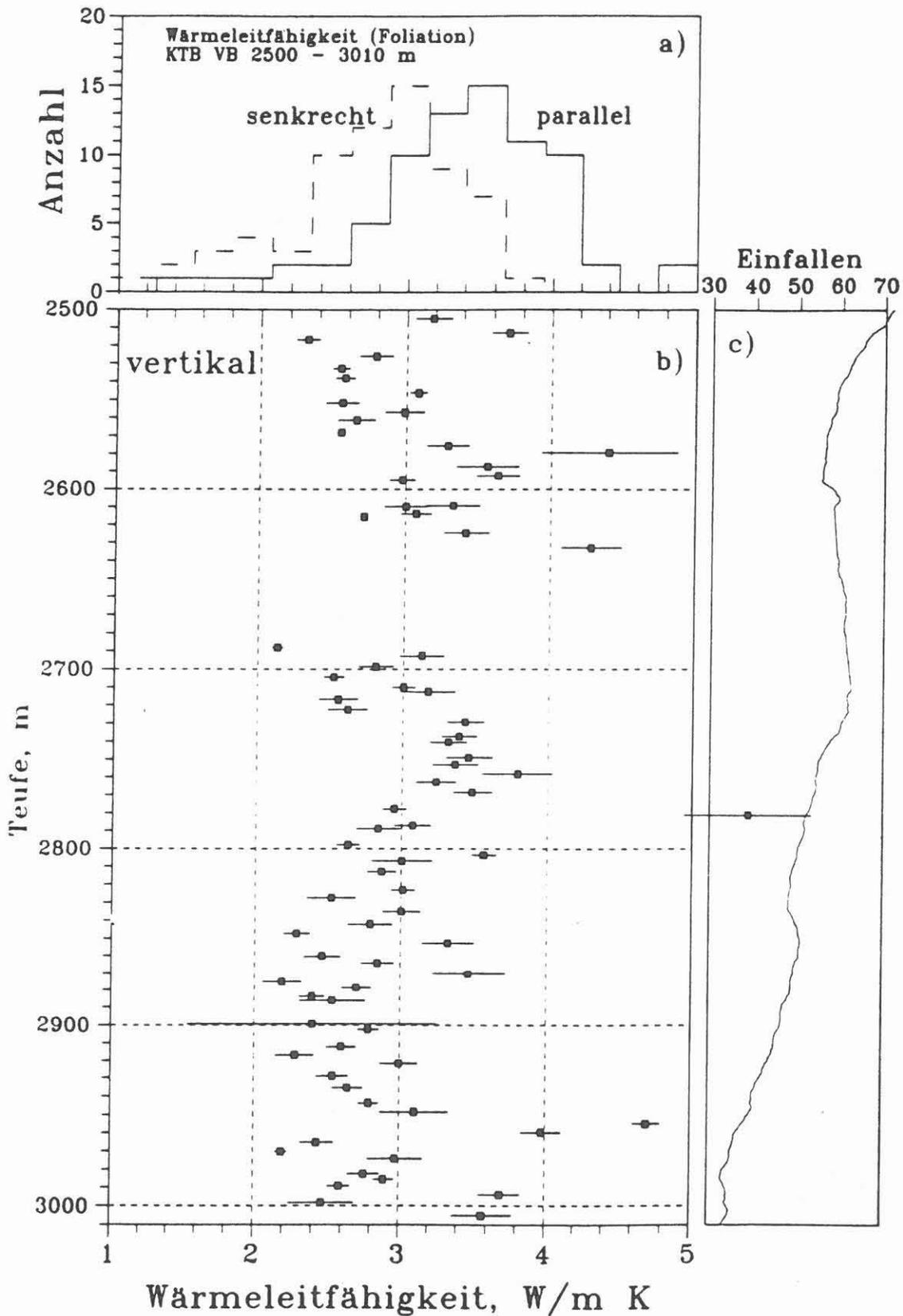


Abb. D.3.2 Transformierte Wärmeleitfähigkeitwerte:
a) Häufigkeitsverteilung parallel und senkrecht zur Foliation; b) parallel zur Bohrkernachse; c) Einfallswinkel der Foliation.



D.4 Natürliche remanente Magnetisierung (NRM)

D.4.1 Teufenlog der NRM

In dem hier betrachteten Teufenabschnitt konnten an 130 Bohrkernstücken (KM 611 - 736) Messungen der natürlichen remanenten Magnetisierung (NRM) vorgenommen werden. Dies entspricht im Mittel etwa einer Messung alle drei Meter. Dabei wurden in Teufenbereichen, in denen sich magnetische Anomalien abzeichneten, die Messungen dichter vorgenommen.

Das Teufenlog der NRM (Abb. D.4.1) läßt sich aufgrund der Magnetisierungswerte grob in vier Abschnitte unterteilen. Im ersten Abschnitt von 2500 - 2630 m wurden hohe Remanenzen mit Spitzenwerten bis zu 5000 mAm^{-1} gemessen. Daran schließt sich ein Bereich mit schwachen Magnetisierungswerten um 15 mAm^{-1} bis 2900 m an. Unterhalb von 2900 bis 2960 m liegen die NRM-Werte wieder relativ hoch bis zu 3000 mAm^{-1} . Von 2960 m bis 3010 m sind die Magnetisierungswerte deutlich kleiner als 100 mAm^{-1} .

Lithologisch wird der erste Abschnitt von 2500 - 2630 m als auch der dritte Abschnitt von 2900 - 2960 m durch eine Wechselfolge von Amphibolit und Hornblende-Biotit-Gneisen bzw. Granat-Sillimanit-Biotit-Gneisen beschrieben (vgl. Kap. B in diesem Report). Träger der Magnetisierung ist im ersten Abschnitt hauptsächlich Pyrrhotin (neben untergeordneten Magnetit-Einschaltungen), im Abschnitt von 2900 - 2960 m konnte auch Magnetit im Anschliff identifiziert werden (vgl. Kap. B).

Im Zusammenhang mit dem Gefügevarietätenlog (Abb. D.4.1, rechter Teil) ist auffallend, daß hohe Magnetisierungswerte fast ausnahmslos in foliierten Biotit-Hornblende-Gneisen vorkommen und mit einem post-metablastisch deformierten Gefüge korreliert werden können. Die strafflagig-mylonitischen Gefügevarietäten des Sillimanit-Biotit-Gneises stehen in diesem Teufenabschnitt fast durchweg in Zusammenhang mit niedrigen NRM-Werten $< 100 \text{ mAm}^{-1}$. Inwieweit über größere Teufenabschnitte ein Zusammenhang zwischen Gefüge und Magnetisierungswerten zu finden ist, muß noch näher untersucht werden. Diese Untersuchungen könnten aber Aufschluß über die Entstehung der Magnetisierung und einen möglichen Zusammenhang mit der Genese dieser Gesteine bringen.

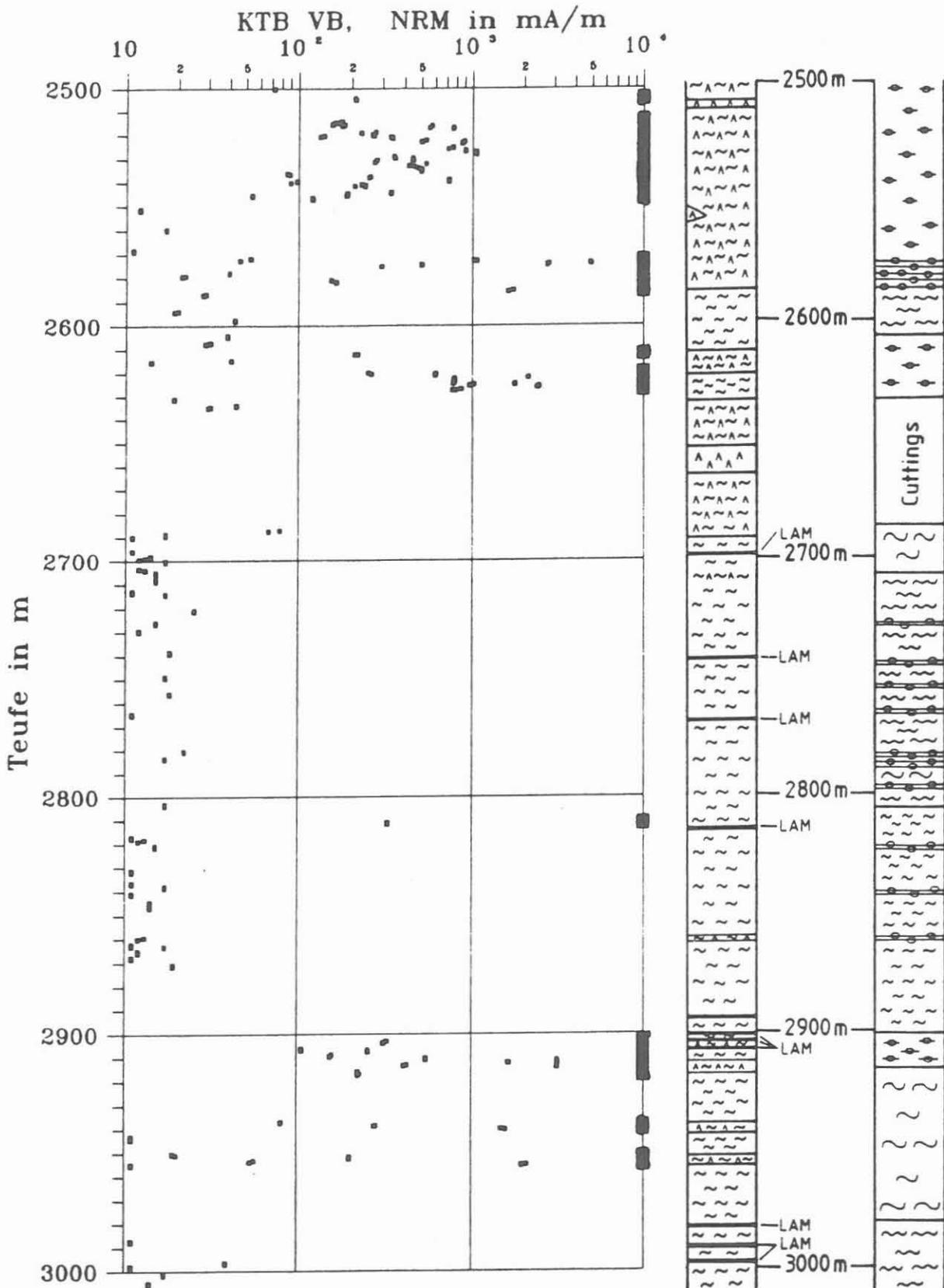


Abb.D.4.1: NRM-Teufenlog, Magnetisierungswerte über 100 mAm⁻¹ sind am rechten Rand durch einen schwarzen Balken gekennzeichnet. Zum Vergleich sind im rechten Teil das Litholog und das Gefügevarietätenlog wiedergegeben. (Legende s. Kap. B in diesem Report)

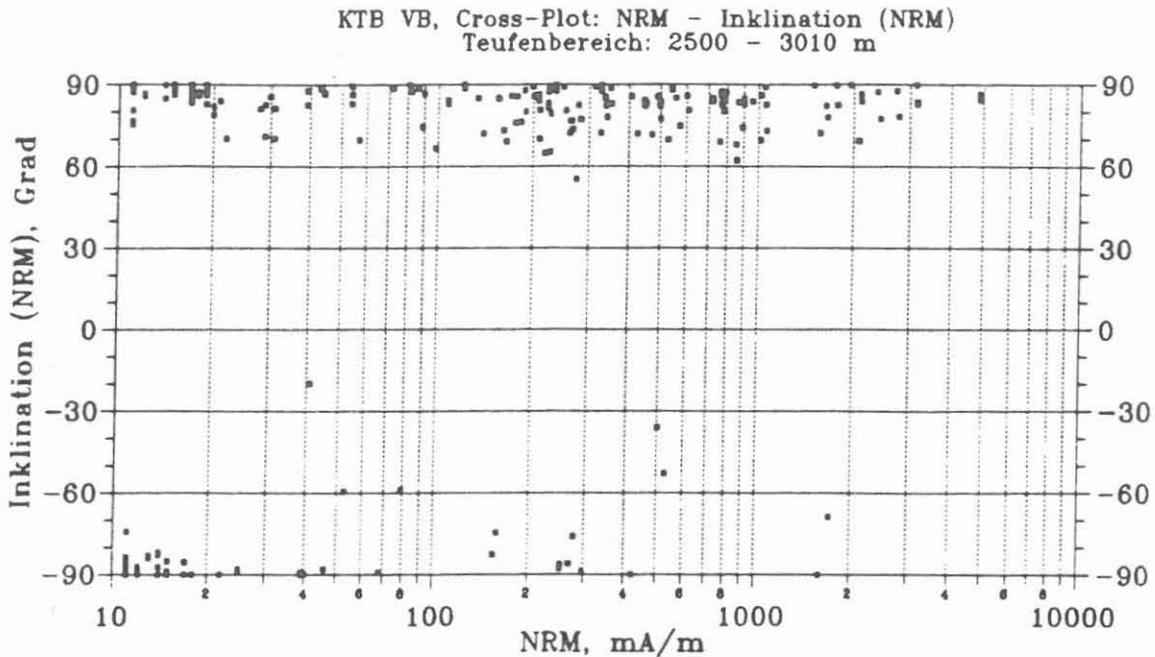


Abb. D.4.2: Zusammenhang zwischen der Inklination der NRM und den Magnetisierungswerten. Negative Inklinationen wurden fast ausnahmslos bei niedrigen NRM-Werten bestimmt.

D.4.2 Inklination der NRM

Die Inklination der NRM ist, wie bereits in den vorhergehenden Teufenabschnitten, steil mit sowohl positivem als auch negativem Vorzeichen. Die hier bestimmten Inklinationenwerte liegen im Mittel zwischen 60° und 90° . Negative Inklinationen konnten wieder hauptsächlich bei schwachen Magnetisierungswerten ermittelt werden. Dieser Zusammenhang ist in Abb. D.4.2 deutlich zu sehen.

Da davon ausgegangen werden muß, daß die Inklination der NRM durch den Bohrprozeß (drilling induced remanent magnetization, DIRM) beeinflusst wird, soll hier auf weitere Interpretationen verzichtet werden. Detailuntersuchungen hierzu laufen bereits am Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München.

D.5 Magnetische Suszeptibilität

D.5.1 Allgemeines

In den Teufenbereichen von 2500 m bis 2635 m und von 2687 m bis 3009.7 m konnten Messungen an Bohrkernen mit 1 cm Meßpunktabstand ausgeführt werden. Im dazwischenliegenden Richtbohrabschnitt von 2635 m bis 2687 m wurde die Suszeptibilität an getrocknetem Cuttingsmaterial in 1 m-Abständen bestimmt. Die Meßverfahren sind bei BÜCKER et al. (1988 und 1989) beschrieben.

D.5.2 Das Teufenlog der magnetischen Suszeptibilität

Abb. D.5.1 zeigt die Suszeptibilität, gemessen an Bohrkernen und Cuttings. Die Cuttings-Daten streuen wesentlich stärker und erreichen höhere Werte, was durch Gehalte an metallischem Abrieb zu erklären ist (siehe hierzu LIPPMANN et al., 1988). Sie sind daher als wenig aussagekräftig anzusehen.

Die Kern-Suszeptibilitäten streuen weniger stark. Aus der Häufigkeitsverteilung (Abb. D.5.2) lassen sich 0.3 bis $0.4 \cdot 10^{-3}$ SI-Einheiten als charakteristische Suszeptibilität für den behandelten Teufenbereich ablesen. Dieser Wert wird in etwa über weite Bereiche in den Gneisen wechselnder Zusammensetzung gemessen, so auch zwischen 2700 m und 2900 m. Daraus ergibt sich eine mittlere induzierte Magnetisierung von $\approx 13.4 \cdot 10^{-3}$ A/m (nach $M_{ind} = \chi \cdot 38.2$ A/m für die magnetische Breite der Oberpfalz).

Es fallen einige Teufenabschnitte erhöhter Suszeptibilität auf. Zwischen 2505 m und 2560 m wurden neben Bio-Hbl-Gneisen auch Amphibolite in Wechselfolge erbohrt. Weitere positive Anomalien wurden registriert: um 2575 m (Bio-Hbl-Gneis), von 2620 m bis 2630 m (Sil-Bio-Gneis), um 2910 m (Gnt-Bio-Hbl-Gneis), um 2940 m (Bio-Hbl-Gneis) und bei 2955 m. Die letztgenannte Anomalie (siehe auch Abb. D.5.5 und D.5.6) wird durch eine ganz lokale Magnetit-Anreicherung an der Grenze zwischen Bio-Hbl-Gneis und Sil-Bio-Gneis verursacht. (Zur Petrologie siehe auch Kapitel B im gleichen Band).

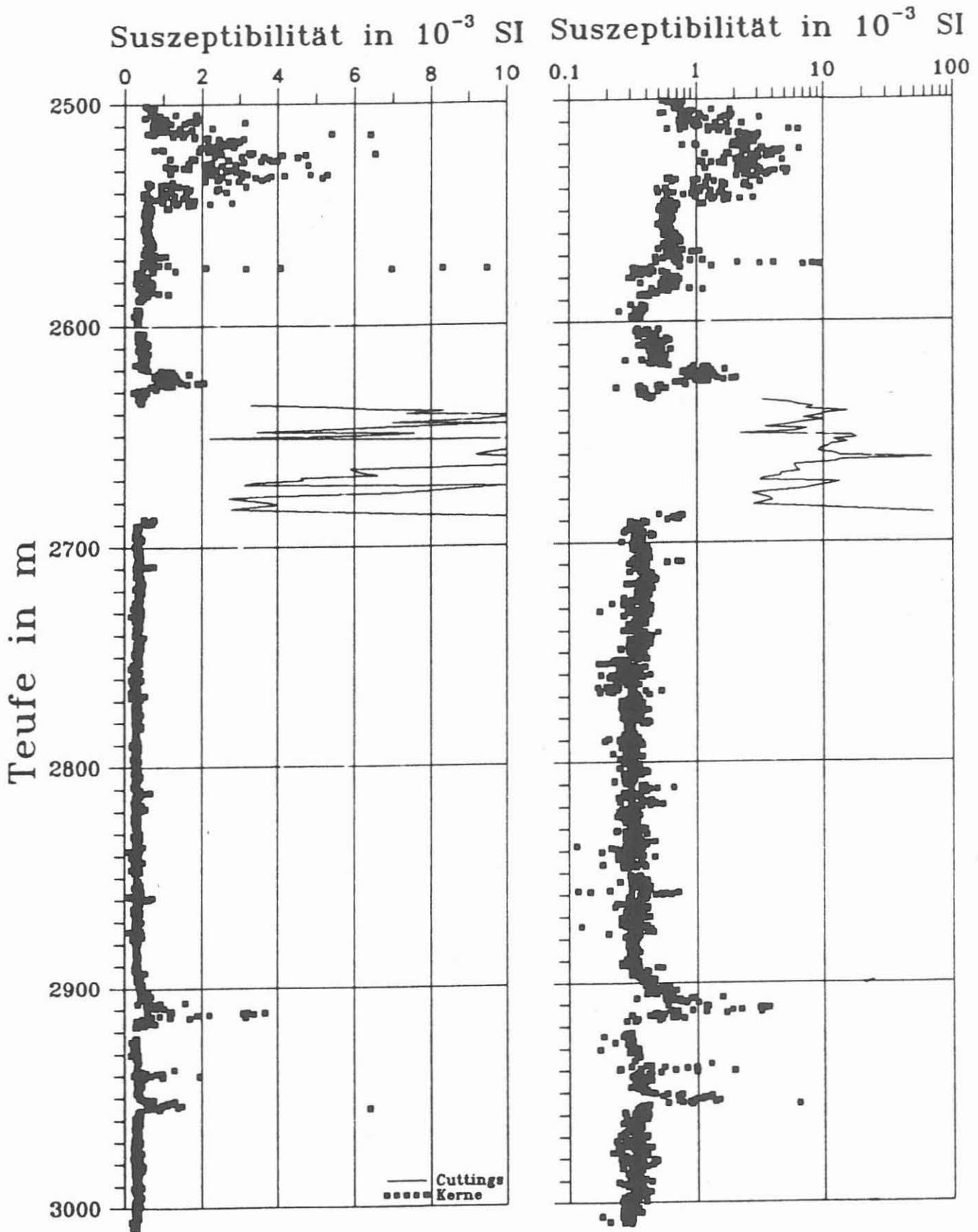


Abb. D.5.1: Teufenlog der magnetischen Suszeptibilität in linearer und logarithmischer Darstellung.

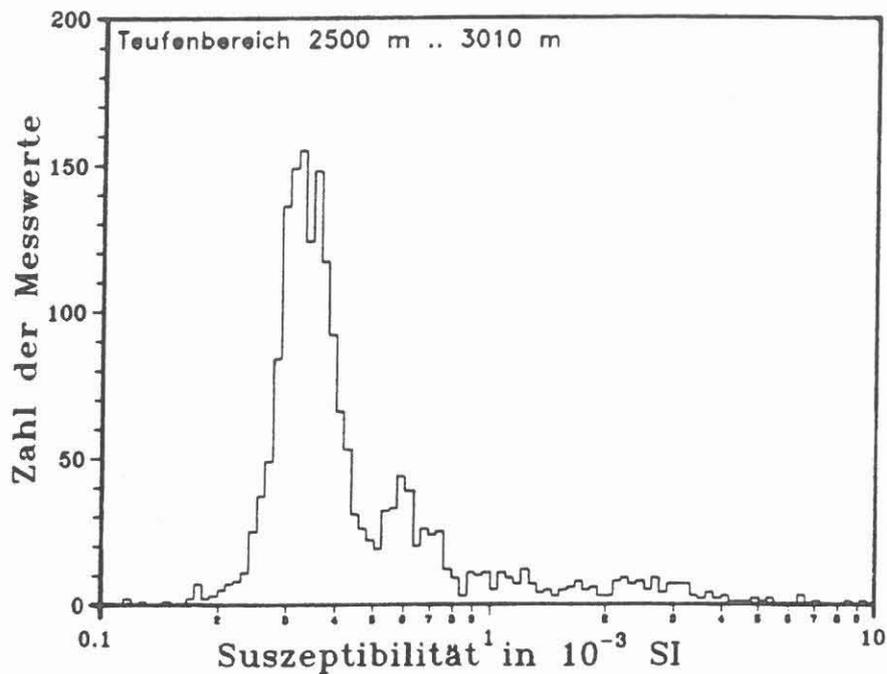


Abb.D.5.2: Häufigkeitsverteilung der Suszeptibilität in 100 logarithmisch eingeteilten Suszeptibilitäts-Intervallen von (0.1 bis 10) * 10⁻³ SI.

D.5.3 Beispiele für Suszeptibilitätsvariationen an einzelnen Kernen

In Abb. D.5.3 ist ein Meßprofil über ein Kernstück aus Biotit-Hornblende-Gneis gezeigt. Aus Suszeptibilitätswerten von etwa $0.5 \cdot 10^{-3}$ SI ragt ein Maximum bis etwa $7.5 \cdot 10^{-3}$ SI-Einheiten (um 2513.8 m Teufe) hervor. An dieser Stelle war bereits makroskopisch Pyrrhotin zu erkennen. Erzmikroskopische Untersuchungen konnten keine weiteren magnetischen Mineral-Komponenten (insbesondere keinen Magnetit) nachweisen. In Abb. D.5.4 ist ein Foto eines Anschliffes aus dem Bereich der Anomalie gezeigt.

In der Abb. D.5.5 ist ein weiteres Meßbeispiel gezeigt, das aus der im letzten Abschnitt genannten Anomalie stammt (also aus dem Grenzbereich zwischen Bio-Hbl-Gneis und Sil-Bio-Gneis bei 2955 m Teufe). Auch hier fällt ein eng begrenzter Peak der Suszeptibilität (bis $6.5 \cdot 10^{-3}$ SI) um die Teufe 2955.2 m auf. Diese Suszeptibilitäts-Anomalie gab den Ausschlag für die Probenahme für einen Anschliff (siehe hierzu eine Aufnahme in Abb. D.5.6). Erzmikroskopisch konnte Magnetit als eine der Haupt-Erzphasen nachgewiesen werden, welcher in den Gneisen dieses Teufenbereichs (im Gegensatz zu denen der ersten 500 m) zum ersten Mal auftrat (siehe auch Kapitel "Erzmikroskopie").

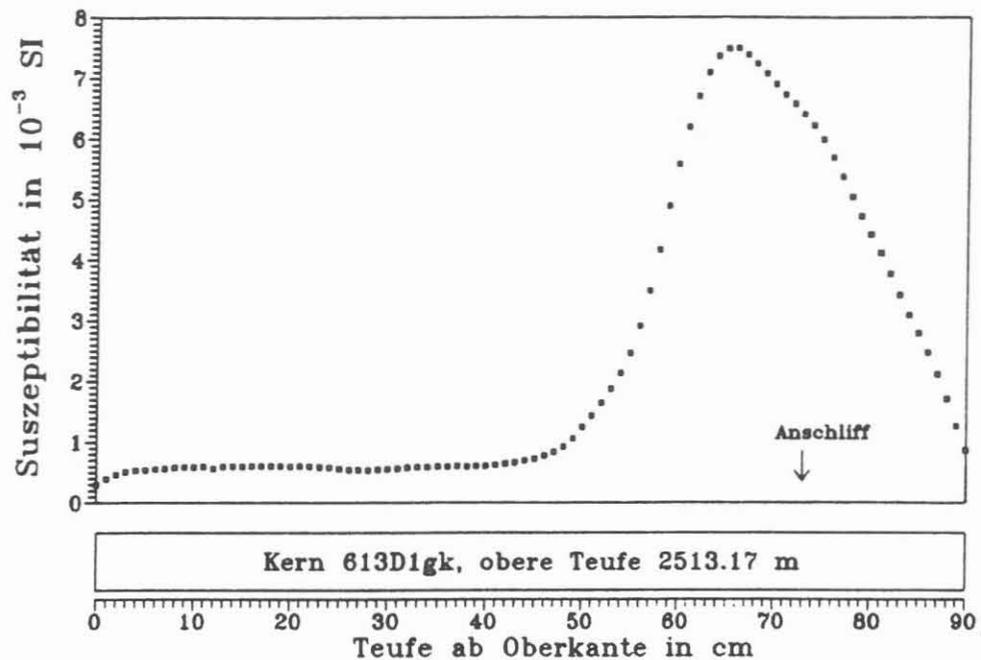


Abb. D.5.3: Meßprofil über einen 90 cm langen Bohrkern (Bio-Hbl-Gneis). Das Suszeptibilitäts-Maximum bei 65 cm unter Kopf des Kernstücks ist durch Pyrrhotin verursacht (siehe: Abb. D.5.4).

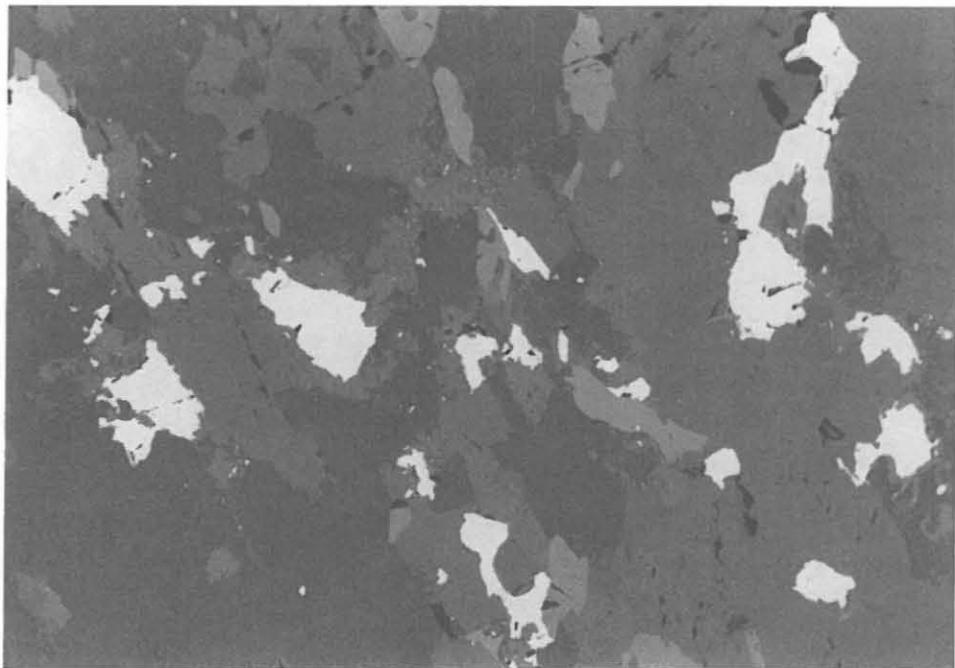


Abb. D.5.4: Anschliff aus dem Bereich, der in Abb. D.5.3 gekennzeichnet ist. Feinstkörnige Pyrrhotin-Körner in Bio-Hbl-Gneis (713D1gK; 2513.9m; Luft, 1 Nicol, lange Bildkante: 3.6 mm)

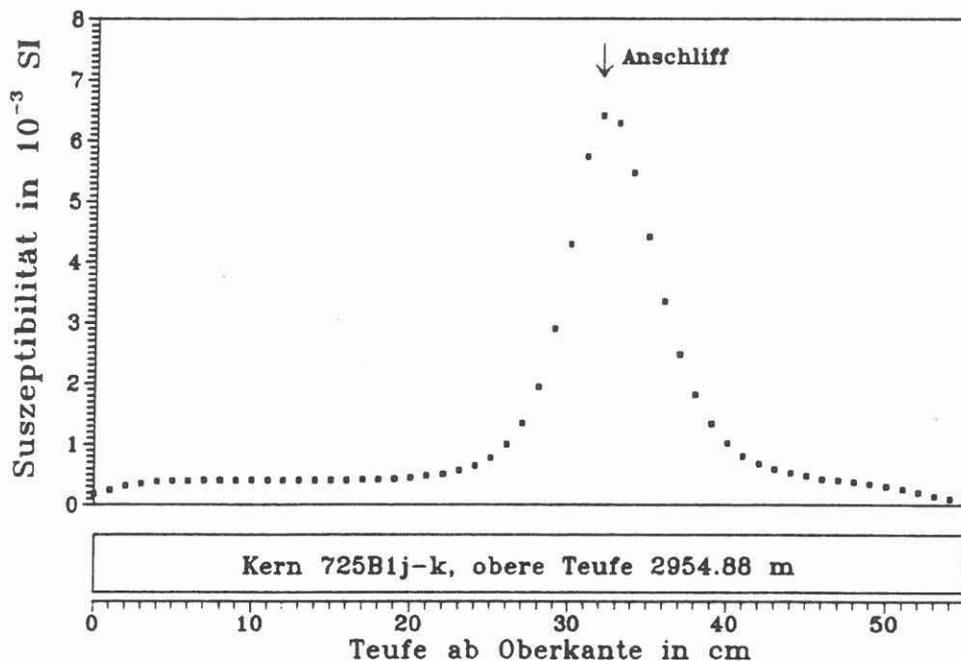


Abb. D.5.5: Meßprofil über einen 55 cm langen Bohrkern. Das eng begrenzte Suszeptibilitäts-Maximum 32 cm unter Kopf des Kerns ist durch erzmikroskopisch nachgewiesenen Magnetit verursacht (Abb. D.5.6).



Abb. D.5.6: Anschliff aus dem oben (Abb. D.5.5) gekennzeichneten Bereich. Streifiger Magnetit (hellgrau) ist in Buchten und Hohlräumen von Pyrit (weißlich-grau) eingelagert (725B1jK; 2955.9 m; Luft, 1 Nicol, lange Bildkante: 3.6 mm).

D.6 Elektrische Leitfähigkeit

D.6.1 Allgemeines

Es konnten 286 Bohrkernstücke vermessen werden. Aus 12 Einzelmessungen pro Probe wurden Mittelwert und Standardabweichung des spezifischen elektrischen Widerstandes berechnet. Die Meßapparatur besteht im Prinzip aus einer 4-Pol-Elektrodenanordnung (miniaturisierte Anordnung nach Wenner), mit nachfolgendem Meßverstärker. Vor der Messung wurden alle Bohrkernstücke für ca. 24 Stunden gewässert. Näheres zur Meßanordnung und Behandlung der Proben ist bei HUENGES et al. (1989) nachzulesen.

D.6.2 Ergebnisse

Über die gesamte Berichtsstrecke wurden fast ausschließlich Gneise wechselnder Zusammensetzung erbohrt. Die Verteilung der Daten (Abb. D.6.1) entspricht in etwa einer logarithmischen Normal-Verteilung, wie sie bereits für die ersten 2500 m Bohrstrecke beschrieben wurde (siehe BÜCKER et al., 1989). Eine derartige Verteilung legt eine Mittelwertbildung der Logarithmen der Meßwerte nahe. Eine solche logarithmische Mittelung wurde auch in den ersten 2500 Metern auf die teufenabhängigen Daten angewandt (siehe BÜCKER et al., 1989).

Aus dem Teufenlog (Abb. D.6.3) lassen sich anhand der Widerstandswerte zwei unterschiedliche Bereiche herauslesen. Im Teufenbereich bis zur Richtbohrung (2500 m bis 2635 m) schwanken die Widerstände stärker; die Extremwerte sind 1160 Ωm bei 2505.9 m Teufe und 84 $\text{k}\Omega\text{m}$ in der Teufe 2585.4 m. Der logarithmische Mittelwert ist 8550 Ωm .

Unterhalb von 2687 m bis 3009.7 m Teufe streuen die gemessenen Widerstände weniger stark als im oberen Bereich um einen logarithmischen Mittelwert von 5010 Ωm . Die kleinsten Widerstände wurden bei 2870.05 m Teufe registriert. Der (arithmetische) Mittelwert an diesem einen Kernstück beträgt 810 Ωm bei Einzelmessungen bis hinunter zu 60 Ωm (siehe Abb. D.6.2). Das entsprechende Kernstück führt Graphit.

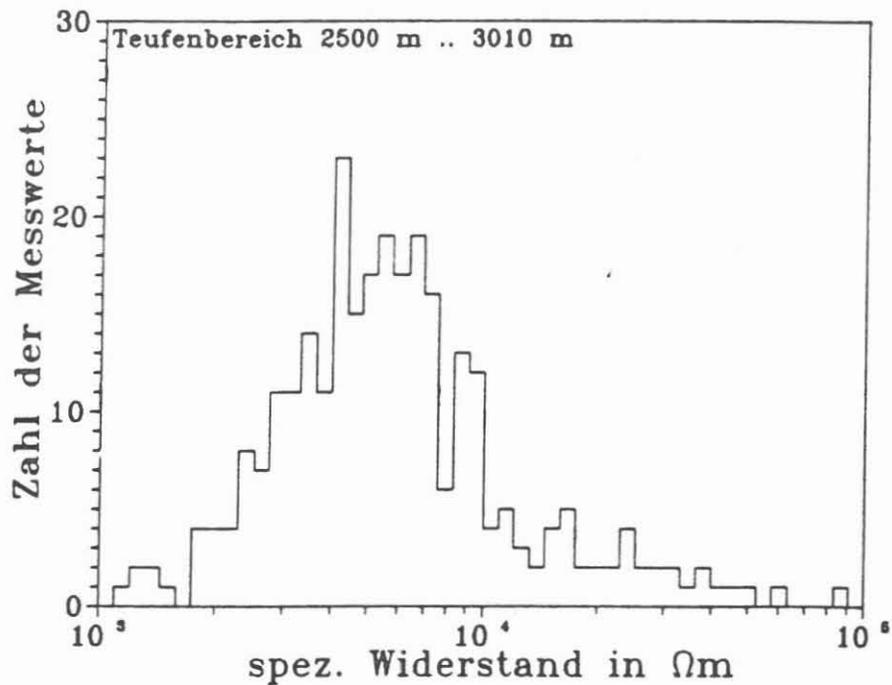


Abb. D.6.1: Verteilung des Widerstandes im Teufenbereich von 2500 m bis 3009.7 m. Das Widerstandsintervall von $10^3 \Omega\text{m}$ bis $10^5 \Omega\text{m}$ wurde logarithmisch in 50 gleiche Teilintervalle zerlegt.

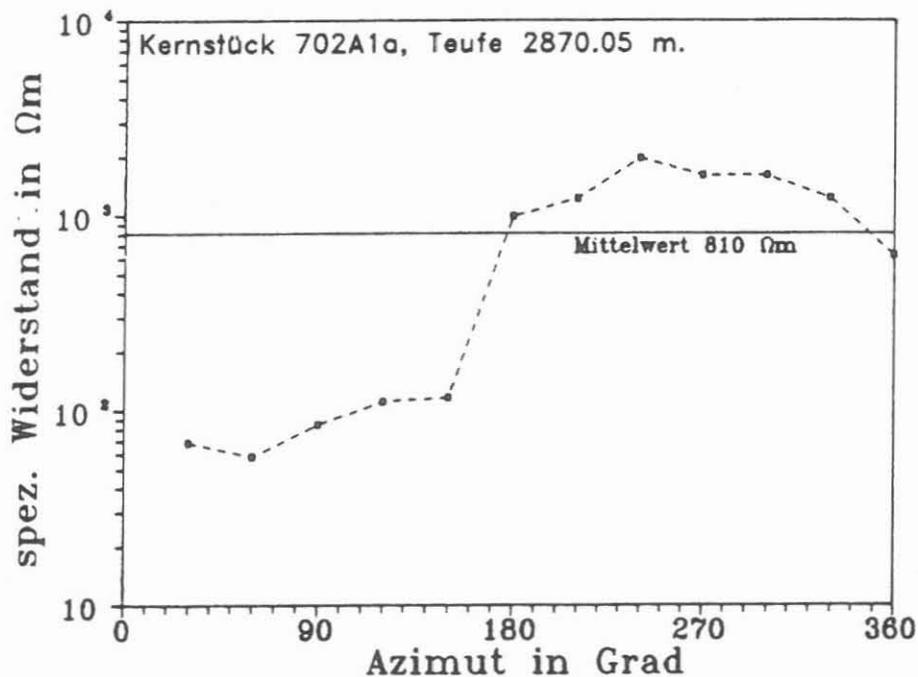


Abb. D.6.2: Beispiel für eine Widerstandsmessung mit einer 4-Pol-Elektrodenanordnung auf der Kernmantelfläche (Meßprinzip bei HUENGES et al., 1989). Der Kern 702A1a ist ein kataklastisch überprägter Gneis mit Graphit-Gehalt. Der Graphit ist wahrscheinlich für die Widerstandserniedrigung um 90° Azimut verantwortlich.

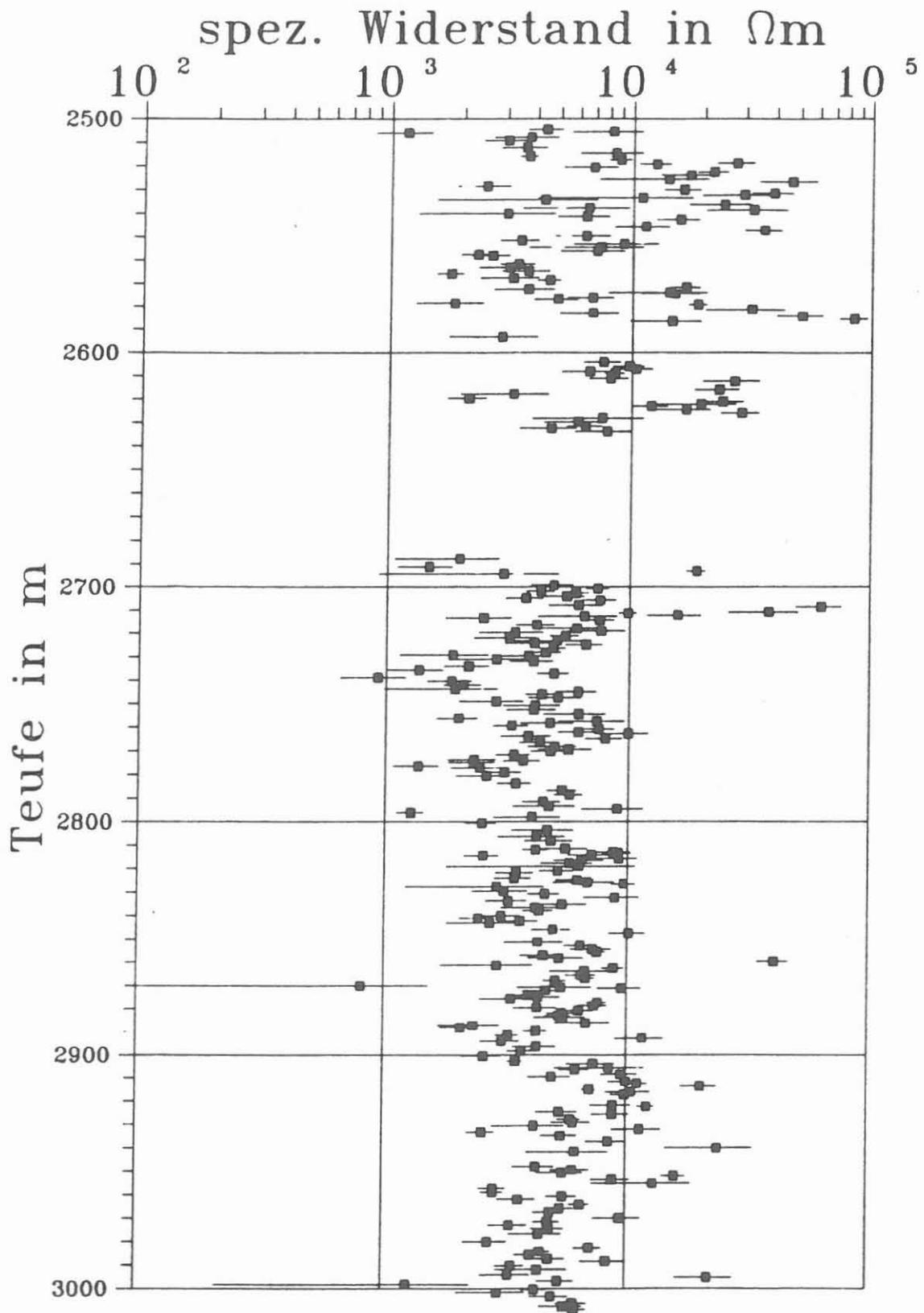


Abb. D.6.3: Teufenlog der spezifischen elektrischen Widerstände. Eingezeichnet ist der arithmetische Mittelwert \pm Standardabweichung aus 12 Einzelmessungen pro Kernstück.

D.7 Retardierte Entspannungsdeformation und akustische Emission

D.7.1 Allgemeines

Im Teufenbereich zwischen 2500 - 3009 m wurden an vier Bohrkernproben Messungen der Entspannungsdeformation und der akustischen Emissionen (AE) durchgeführt. Die Versuchsdurchführung dieses Relaxationsexperimentes ist im KTB-Report 88-6 (WOLTER et al., 1988) beschrieben. Bei den untersuchten Proben handelt es sich um heterogene, texturierte Gneise. Aus der Tabelle D.7.1 sind die Teufe, die Petrographie sowie das Streichen und Einfallen der Foliation der untersuchten Proben zu entnehmen. Die Messung der akustischen Emission war aus technischen Gründen (Meßgerät defekt) nicht bei allen Bohrkernproben möglich. Durch Auswertung der Formation Micro Scanner Tool-Logs (FMST-Log) konnte eine Orientierung der Bohrkernproben 632G1r, 638D2j und 656G1p erfolgen, wodurch die Ermittlung der absoluten Orientierung der maximalen radialen Hauptdeformationsrichtungen ermöglicht wurde.

Probe	Teufe [m]	Petrographie	Foliation [N°E] Streichen/Einfallen
632G1rK	2614.0	Hbl-Bio-Gneis, mittelkörnig	130/70SW
638D2j	2689.5	Bio-Hbl-Gneis, feinkörnig mit Qrz-Fds-Klasten	140/65SW
656G1p	2737.4	Sil-Mus-Bio-Gneis, grobflaserig	140/60SW
699H2xK	2862.9	Bio-Sil-Gneis, lagig	130/45SW

Tab. D.7.1: Struktur und Textur der untersuchten Proben

D.7.2 Meßergebnisse

In der Tabelle D.7.2 sind die erzielten Meßergebnisse aufgeführt. e_1 , e_2 , e_3 sind die Beträge der Hauptdeformationen, α ist die Orientierung der maximalen radialen Hauptdeformation (e_1) bezogen auf die Feldlaborreferenzlinie, θ ist die Absolutorientierung der radialen Hauptdeformation e_1 , τ_0 ist die durchschnittliche Relaxationszeit der Retardation (LIPPMANN et al., 1988), τ_{AE} ist die Relaxationszeit der akustischen Emissionen und $AE(n)$ ist die Anzahl der akustischen Signale, die während des Retardationsprozesses registriert wurden.

Probe	e_1 [$\mu\text{m}/\text{m}$]	e_2 [$\mu\text{m}/\text{m}$]	e_v [$\mu\text{m}/\text{m}$]	α [$^\circ$]	Θ [N°E]	τ_ϕ [h]	τ_{AE} [h]	AE [n]
632G1rK	60	30	27	84	179 ± 10	20	18	26084
638D2j	106	22	11	91	32 ± 10	11	16	5979
656G1p	133	57	87	115	46 ± 10	33	36	2396
699H2xK	111	71	92	172	-	24	-	-

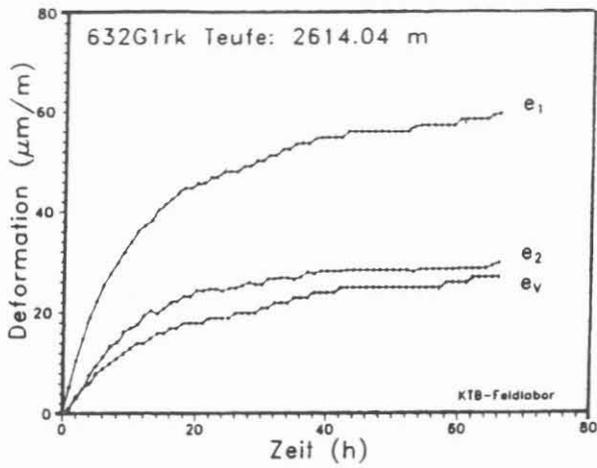
Tab. D.7.2: Meßergebnisse der Entspannungsdeformation und der akustischen Emission. Die Orientierungsdaten sind als vorläufige Daten zu betrachten.

In den Abbildungen D.7.1 a-d sind die Zeit-Deformationsverläufe der Entspannungsdeformation dargestellt. Aus der Abbildung D.7.1 c sind 35 h nach Meßbeginn "Sprünge" im Zeit-Deformationsverlauf zu erkennen, deren Ursache mit Ribbildungen während des Ablaufes der anelastischen Entspannungsdeformation erklärt wird. Die Abbildungen D.7.2 a-d sind halblogarithmische Darstellungen des Zeit-Deformationsverlaufes für die Ermittlung der Relaxationszeiten. Die Relaxationszeiten τ_1 , τ_2 und τ_v sind die Zeitkonstanten der Hauptdeformationen e_1 , e_2 und e_v . τ_ϕ ist die mittlere Relaxationszeit der zeitabhängigen Entspannungsdeformation.

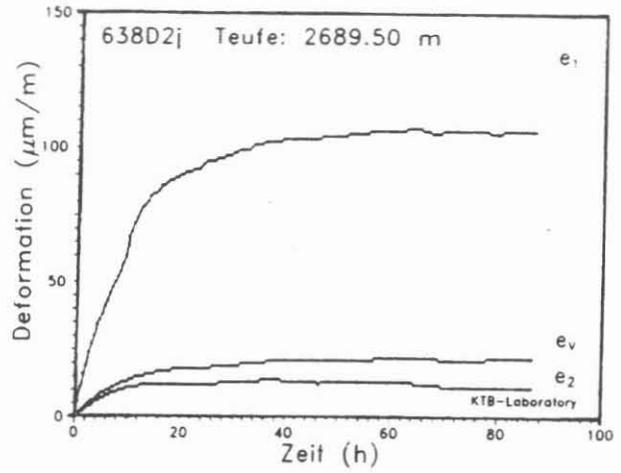
Die Abbildungen D.7.3 a-c zeigen die Summenkurven der akustischen Emissionen, die während des Retardationsprozesses registriert wurden. Die Abbildungen D.7.4 a-c sind halblogarithmische Darstellungen der akustischen Emission gegen die Zeit, die der Berechnung der Relaxationszeiten (τ_{AE}) dienen.

D.7.3 Zusammenfassung

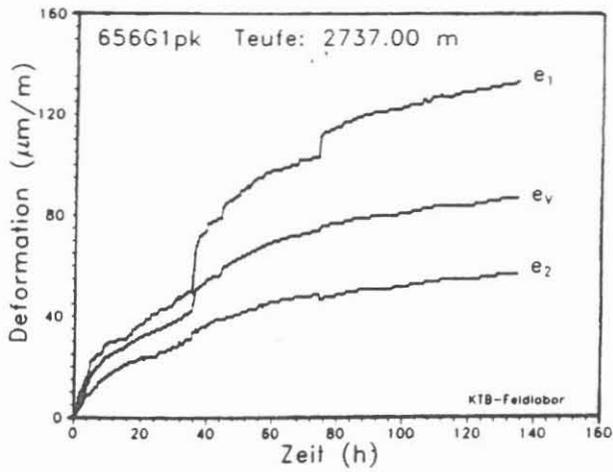
Die Messung der retardierten Entspannungsdeformation und der akustischen Emission führt bei den einzelnen Proben zu nahezu übereinstimmenden Relaxationszeiten (τ_2 und τ_{AE}). Die Beträge der retardierten Entspannungsdeformation sind deutlich geringer als die, die an Proben aus den oberen Teufenbereichen erzielt wurden (HUENGES et al., 1989). Es ist kein Trend zu verzeichnen, daß mit zunehmender Teufe die Beträge der Entspannungsdeformation größer werden, auch sind in der Orientierung der radialen Hauptdeformationen keine Übereinstimmungen vorhanden. Dies ist in den unterschiedlichen Gesteinseigenschaften begründet. Da die Textur eines Gesteins einen erheblichen Einfluß auf das Verhalten der Entspannungsdeformation hat (HUENGES et al., 1989; WOLTER & BERCKHEMER, 1989), ist es nicht zulässig, aus den gemessenen Beträgen der anelastischen Entspannungsdeformation mit Hilfe der Blanton-Formel (BLANTON, 1983) die Beträge der in situ-Hauptspannungen in der Tiefe zu berechnen.



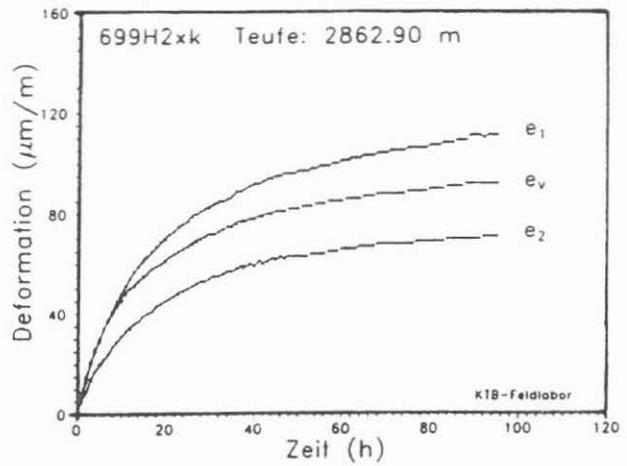
a) Probe: 632G1rK



b) Probe: 638D2j

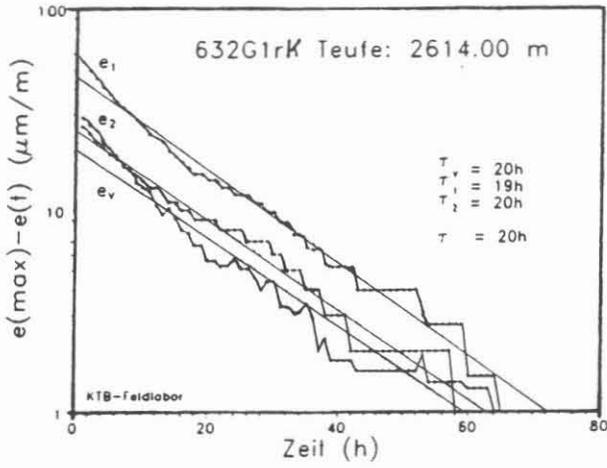


c) Probe: 656G1pk

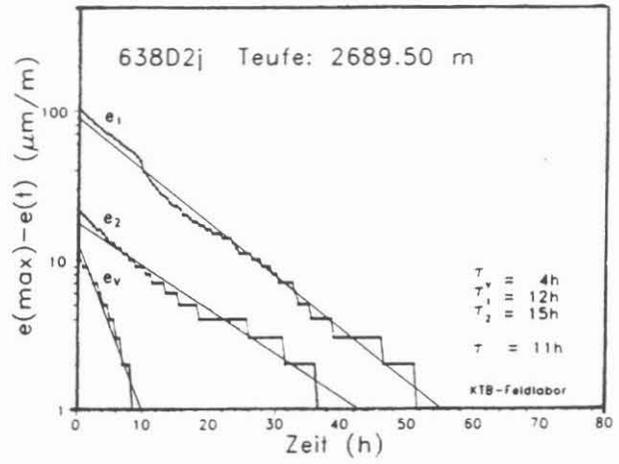


d) Probe: 699H2xK

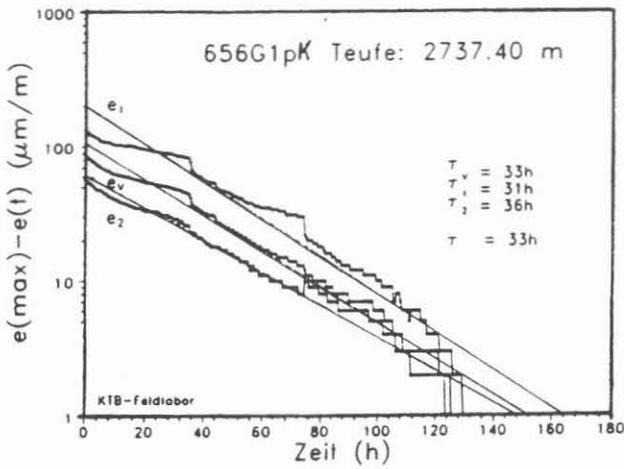
Abb. D.7.1: Zeit-Deformationsverlauf



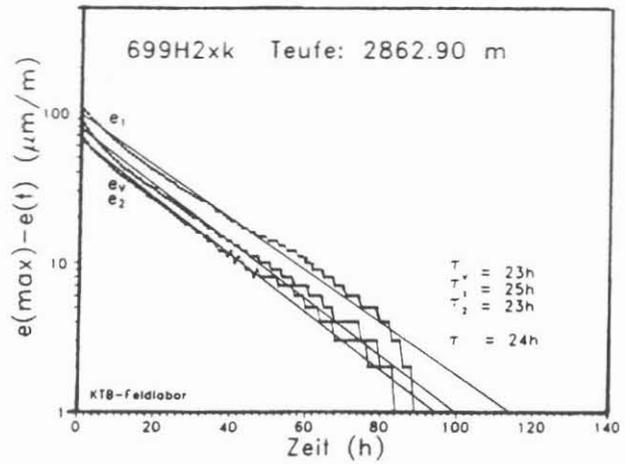
a) Probe: 632G1rK



b) Probe: 638D2j

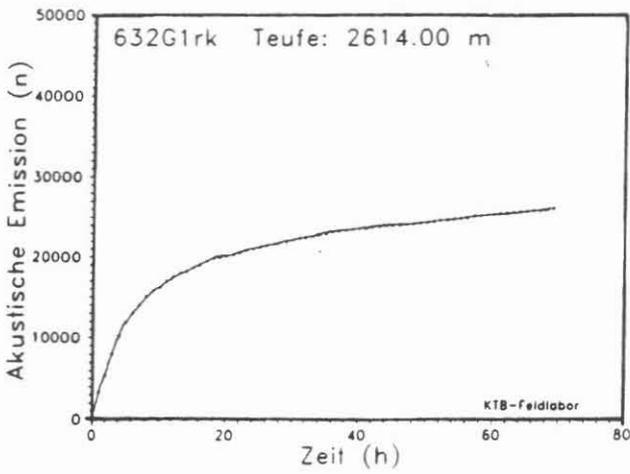


c) Probe: 656G1pK

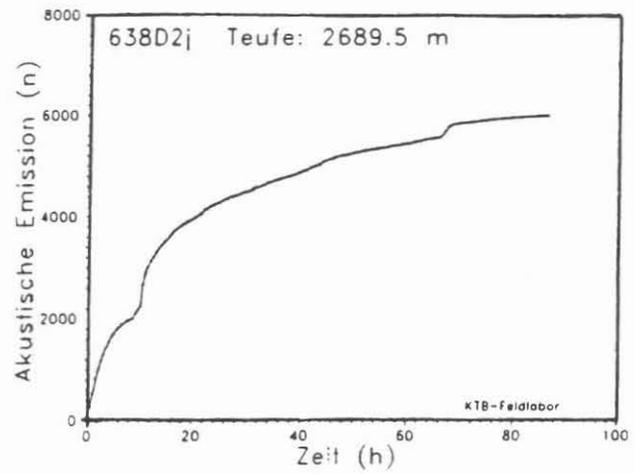


d) Probe: 699H2xK

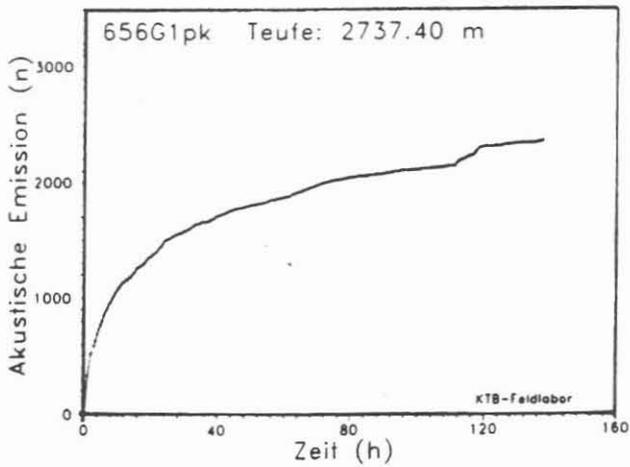
Abb. D.7.2: Halblogarithmische Darstellung des Zeit-Deformationsverlaufs



a) Probe: 632G1rK

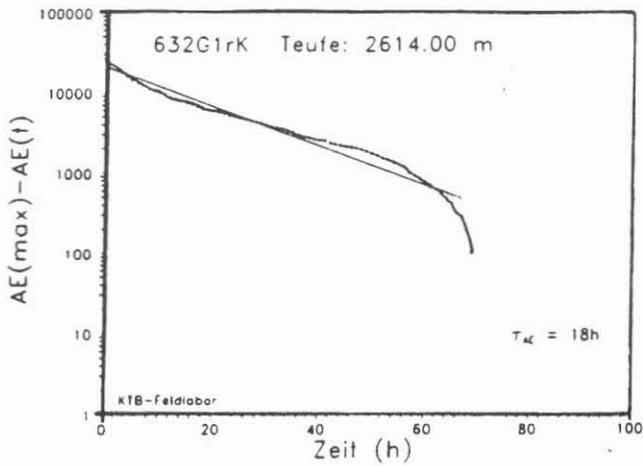


b) Probe: 638D2j

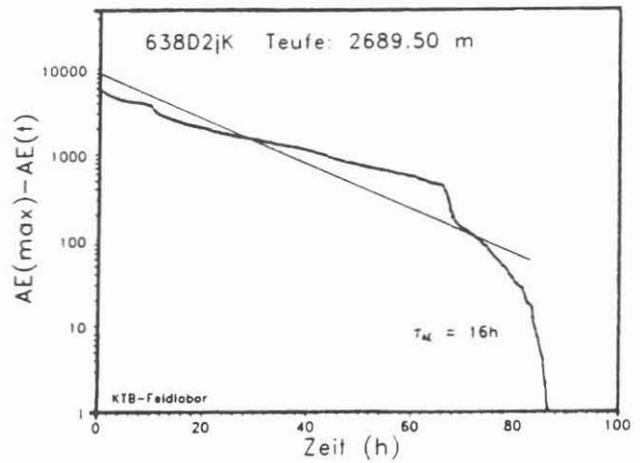


c) Probe: 656G1pK

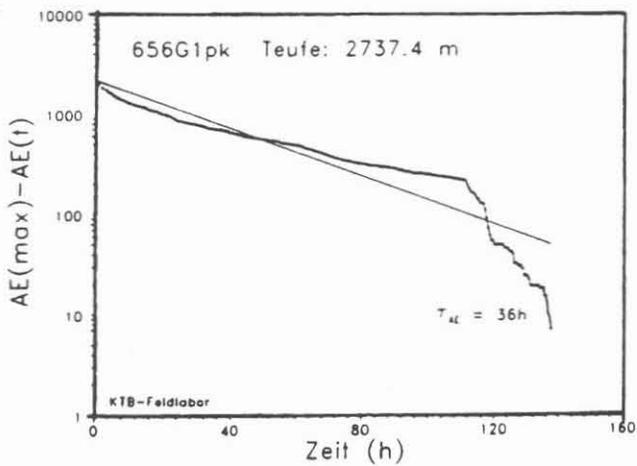
Abb. D.7.3: Summenkurve der akustischen Emissionen



a) Probe: 632G1rK



b) Probe: 638D2jK



c) Probe: 656G1pk

Abb. D.7.4: Halblogarithmische Darstellung der akustischen Emissionen

D.8 Porosität

D.8.1 Allgemeines

Im Bereich von 2504 - 2944 m wurde die Porosität an bisher 291 Miniplugs und im Bereich der Richtbohrstrecke von 2638 - 2693 m an 16 Seitenkernen bestimmt. Die Porositätsbestimmung erfolgte nach dem "Archimedischen Prinzip" (HUENGES et al., 1989).

D.8.2 Porosität der Miniplugs

Bei den Miniplugs ergab sich eine mittlere Porosität von 0.7 ± 0.2 %. Die niedrigste Porosität (0.2 %) hat ein Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis aus einer Teufe von 2727.53 m. Die höchste Porosität (2.1 %) wurde an einem Sillimanit-Biotit-Gneis mit wenig Granat aus einer Teufe von 2759.53 m gemessen.

D.8.3 Porosität der Seitenkerne

Drei der 16 Seitenkerne weisen auffällig hohe Porositäten auf (3.0 %, 4.7 %, 5.6 %) auf, die sich auf den möglicherweise wenig schonenden Bohrprozeß gegenüber dem Herausbohren der Miniplugs zurückführen lassen. Es handelt sich bei den Seitenkernen um kataklastische Hornblende-Gneise und Amphibolite. Die übrigen 13 Seitenkerne haben eine mittlere Porosität von 1.1 ± 0.4 %. Die niedrigste Porosität (0.6 %) hat ein Seitenkern aus einer Teufe von 2661.5 m und die größte Porosität (1.9 %) wurde an einem Seitenkern aus einer Teufe von 2685 m bestimmt.

D.9 Permeabilität

Die Permeabilität wurde an ausgewählten Proben im Auftrag des NLFb am Mineralogischen Institut der Universität Bonn gemessen. Die Proben waren verschiedenen Druckstufen triaxialer Last ausgesetzt. Eine Beschreibung der Probenpräparation und der Meßprozedur befindet sich im KTB-Report 89-2 (HUENGES et al., 1989). Im gleichen Artikel sind erste Rohmeßdaten, d.h. Druck/Zeit-Kurven des Druckausgleichs durch die Proben dargestellt, aus denen wie folgt die Permeabilität errechnet werden kann:

An die Druck/Zeit-Meßwerte wird die Druckausgleichsgleichung (*) (Herleitung siehe ZOBACK & BYERLEE, 1975 bzw. HUENGES, 1987) angefügt. Die Indizes der Drücke P_1 und P_2 beziehen sich auf die Volumina vor und hinter der Probe, wovon ein Volumen durch eine Druckregelung unendlich gehalten wurde. Das andere Volumen, in dem der Druck P_2 ansteigt, wird mit V bezeichnet. Die Viskosität η des strömenden Fluids wird Tabellenwerken entnommen (z.B. WEAST, 1974). Die Abmessungen der Probe (Fläche A und Länge L) wird vor dem Versuch vermessen. Die Kompressibilität β des Fluids entspricht unter der Annahme eines idealen Gases dem reziproken Fluiddruck. Die Permeabilität k ergibt sich aus diesem Fit mit der Dimension einer Fläche (1 nanodarcy (nd) = 10^{-21} m^2).

$$P_1 - P_2(t) = (P_1 - P_2(0)) * \exp(-(kA/L\eta\beta V) * t) \quad (*)$$

Der auszuwertende Druckbereich muß eingeschränkt werden, da bei zu kleinen Druckdifferenzen der Einfluß des Fehlers der Druckmessung (ca. 0.1 MPa) eine Rolle spielt und bei zu großen Differenzen das rheologische Verhalten des Gesteins und des Fluids nicht mehr gut definiert ist. Bei einem Druckausgleich bis 6 MPa wurde die untere Druckgrenze auf 4 MPa festgelegt. Liegen in diesem Druckintervall zu wenige Werte, z. B. infolge eines zu langsamen Druckanstieges und damit eines vorzeitigen Abbruchs des Experiments, so erfolgt eine automatische Verschiebung der unteren Druckgrenze, bis genügend Werte im Druckintervall vorhanden sind.

Kernstück-Nr.	Teufe [m]	Lithologie	Gefügevarietät	z. Foliation	z. Orient.-L.
445D1p (1)	1970.0	Gneis	feinkörnig	parallel	225
452C1d (2)	2000.1	Gneis	feinkörnig	45	260
462E1k (3)	2030.3	Gneis	fein - mittelkörnig	80	100
468F1n (4)	2050.2	Lamprophyr	feinkörnig	massig	90
511C1r (5)	2199.29	Gneis	fein - grobkörnig	senkrecht	90
511C1r (6)	2199.35	Gneis	fein - grobkörnig	parallel	180
543A2f (7)	2275.57	Gneis	sehr feinkörnig	massig	170
561D1t (8)	2329.53	Gneis	fein - grobkörnig	parallel	190
572A1a (9)	2366.21	Gneis	mittel-grobflaserig	parallel	180
591B2bK (10)	2429.01	Gneis	mittelkörnig	senkrecht	260
591B2bK (11)	2429.06	Gneis	mittelkörnig	parallel	170

massig = keine Foliation vorhanden

Tab. D.9.1: Beschreibung der Proben

In Abb. D.9.1 sind die Meßergebnisse der in Tabelle D.9.1 beschriebenen Proben in Abhängigkeit des effektiven Druckes (äußerer Druck minus Poreninnendruck) dargestellt. Die bestimmten Permeabilitäten überstreichen mehr als vier Größenordnungen. Die untere Grenze bei 5 nd ist mit einer gestrichelten Linie versehen, da eine Auflösung darunter einen hohen experimentellen Aufwand erfordert. Oberhalb 10^5 nd sollten zur Permeabilitätsmessung effektivere stationäre Verfahren eingesetzt werden. Man erkennt die starke Druckabhängigkeit, die dazu führt, daß die Permeabilität einer Probe unter 100 MPa bei Erniedrigung des Druckes auf Umgebungsbedingungen sich um eine bis zwei Größenordnungen erhöht. Aus den wenigen Messungen ist noch keine Systematik erkennbar. Im speziellen sei auf die Probe 11 (591B2bK, parallel zur Foliation) mit der größten Permeabilität hingewiesen. Ein Riß durchläuft die Probe parallel zur Achse. Interessant ist, daß sich dieser selbst bei fast 100 MPa nicht mehr vollständig schliessen läßt. Ferner sei auf die Probe 511C1r hingewiesen, bei der makroskopisch kein Defekt sichtbar war und parallel und senkrecht zur Foliation geschnitten worden ist. Parallel zur Foliation (6) hat die Probe eine mehrfach erhöhte Permeabilität als senkrecht dazu (5).

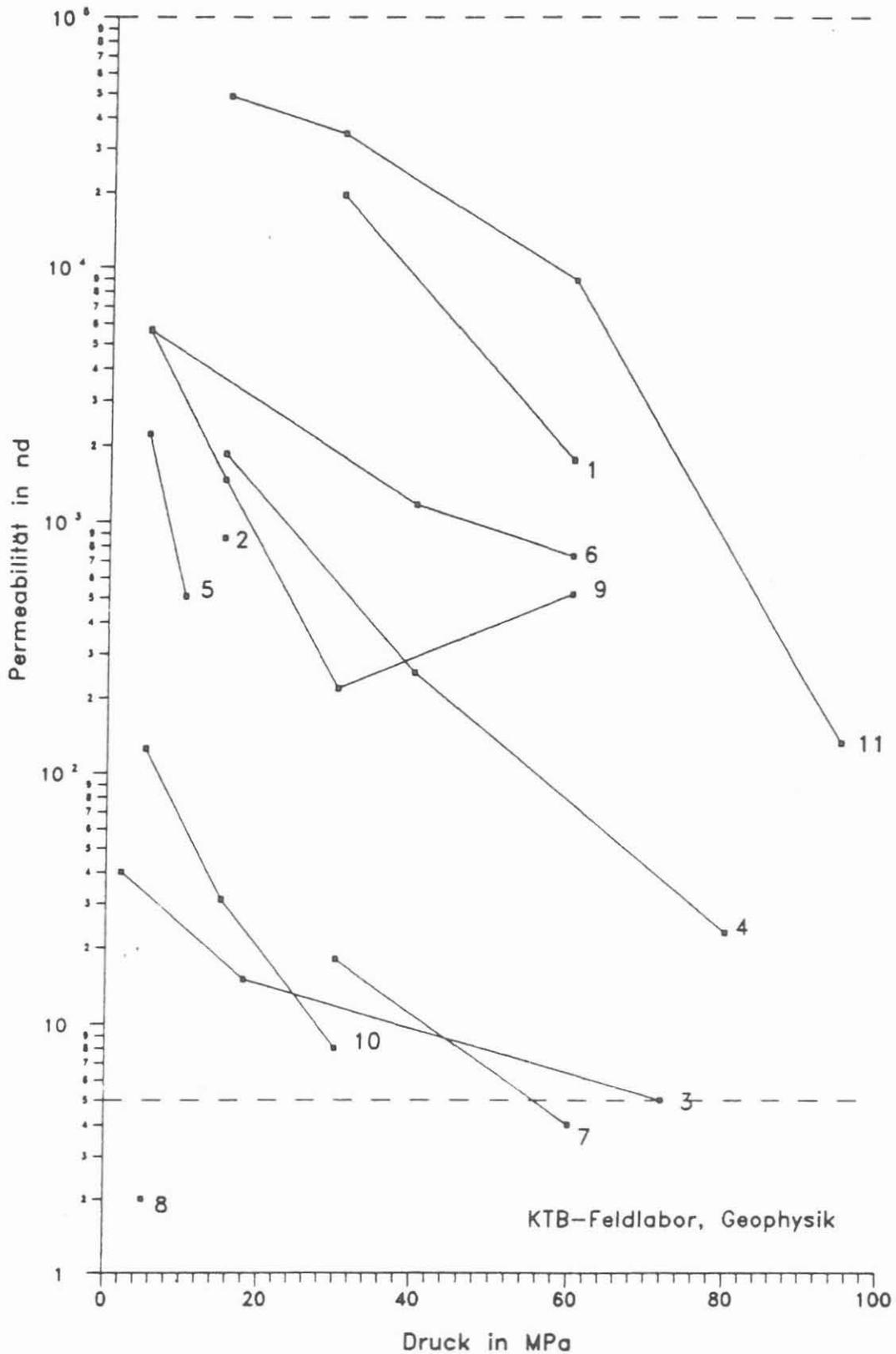


Abb. D.9.1: Permeabilitäten verschiedener Proben nach Tab. D.9.1 in Abhängigkeit vom effektiven Druck. Die gestrichelten Linien begrenzen den Bereich, in dem eine Auswertung sinnvoll ist (siehe Text).

D.10 Innere Oberfläche

D.10.1 Einleitung

Als innere Oberfläche eines Gesteins wird die Grenzfläche zwischen Gesteinsmatrix und Porenfüllung verstanden. An dieser Grenzfläche kann es zu Wechselwirkungen zwischen den beiden Komponenten kommen, wodurch die innere Oberfläche einen starken Einfluß auf die physikalischen (hydraulischen, elektrischen und sogar elastischen) Eigenschaften haben kann.

Als "spezifische innere Oberfläche" werden verschiedene normierte Größen der inneren Oberfläche verstanden. Es wird zwischen drei verschiedenen Normierungen unterschieden:

- S_{TOT} bezogen auf das gesamte Gesteinsvolumen
- S_{MTX} bezogen auf das Matrixvolumen
- S_{POR} bezogen auf das Porenvolumen

Zwischen diesen drei Größen besteht folgender Zusammenhang:

$$S_{TOT} = \Phi * S_{POR} = (1 - \Phi) * S_{MTX}$$

Φ - Porosität

S_{TOT} wird als "Oberflächendichte" und S_{POR} wird im allgemeinen als "spezifische innere Oberfläche" bezeichnet.

D.10.2 Meßmethode

Die Messung der inneren Oberfläche wurde mit dem AREAMETER II durchgeführt. Das AREAMETER II arbeitet nach einer Methode, die von BRUNAUER, EMMET und TELLER entwickelt und von HAUL und DÜMBGEN vereinfacht wurde. Es handelt sich hierbei um die monomolekulare Adsorption von Stickstoffgas in der Nähe der Siedetemperatur von flüssigem Stickstoff. Aus dem Platzbedarf des adsorbierten Stickstoffs und der Menge des adsorbierten Gases läßt sich die adsorbierende Oberfläche berechnen. Die Menge des adsorbierenden Gases wird am AREAMETER II durch die Druckdifferenz bestimmt, die sich zwischen Probengefäß und Vergleichsgefäß aufbaut.

D.10.3 Meßergebnisse

Es wurden bisher an 56 Miniplugs Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Abb. D.10.1 in einem Teufenlog dargestellt sind. Der bearbeitete Teufenbereich reicht von 95 - 1300 m. Es ergab sich in diesem Bereich eine mittlere spezifische Oberfläche von $0.073 \pm 0.058 \text{ m}^2/\text{g}$. Die Oberflächenwerte streuen von $0.007 \text{ m}^2/\text{g}$ bei 398.96 m (granatführender Amphibolit) bis $0.334 \text{ m}^2/\text{g}$ bei 1289.8 m (Granat-Amphibolit).

Aus dieser spezifischen Oberfläche läßt sich die auf das Porenvolumen bezogene "spezifische innere Oberfläche" berechnen. Es ergibt sich als mittlere "spezifische innere Oberfläche" $19.4 \pm 16.1 \mu\text{m}^{-1}$ mit einem Minimalwert von $2.02 \mu\text{m}^{-1}$ bei 398.96 m (granatführender Amphibolit) und einem Maximalwert $77.85 \mu\text{m}^{-1}$ bei 145.0 m (Amphibolit). Die jeweilige hohe Standardabweichung ist durch den großen Wertebereich bedingt, den die Proben überdecken.

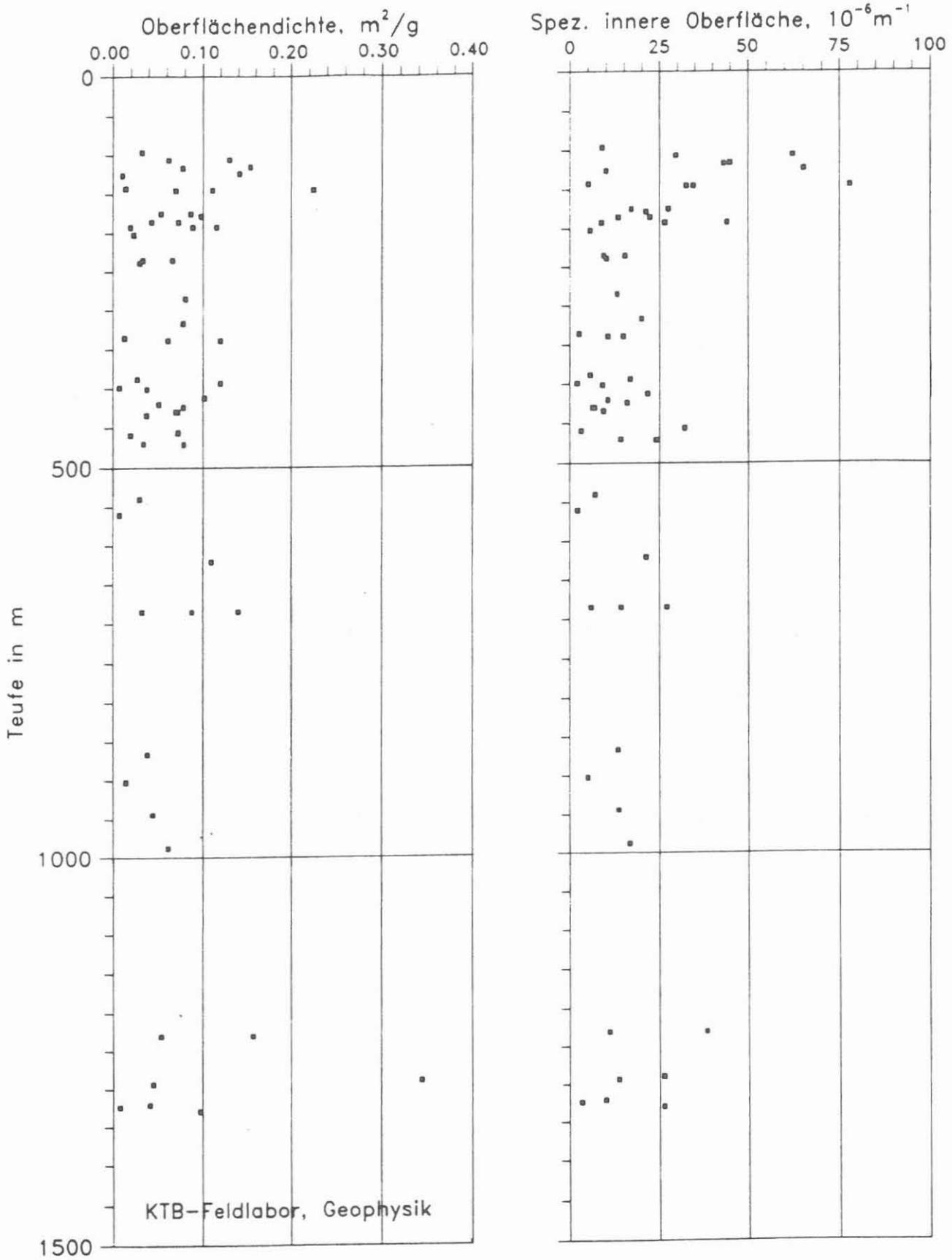


Abb. D.10.1: Teufenlog der Oberflächendichte und der spezifischen inneren Oberfläche

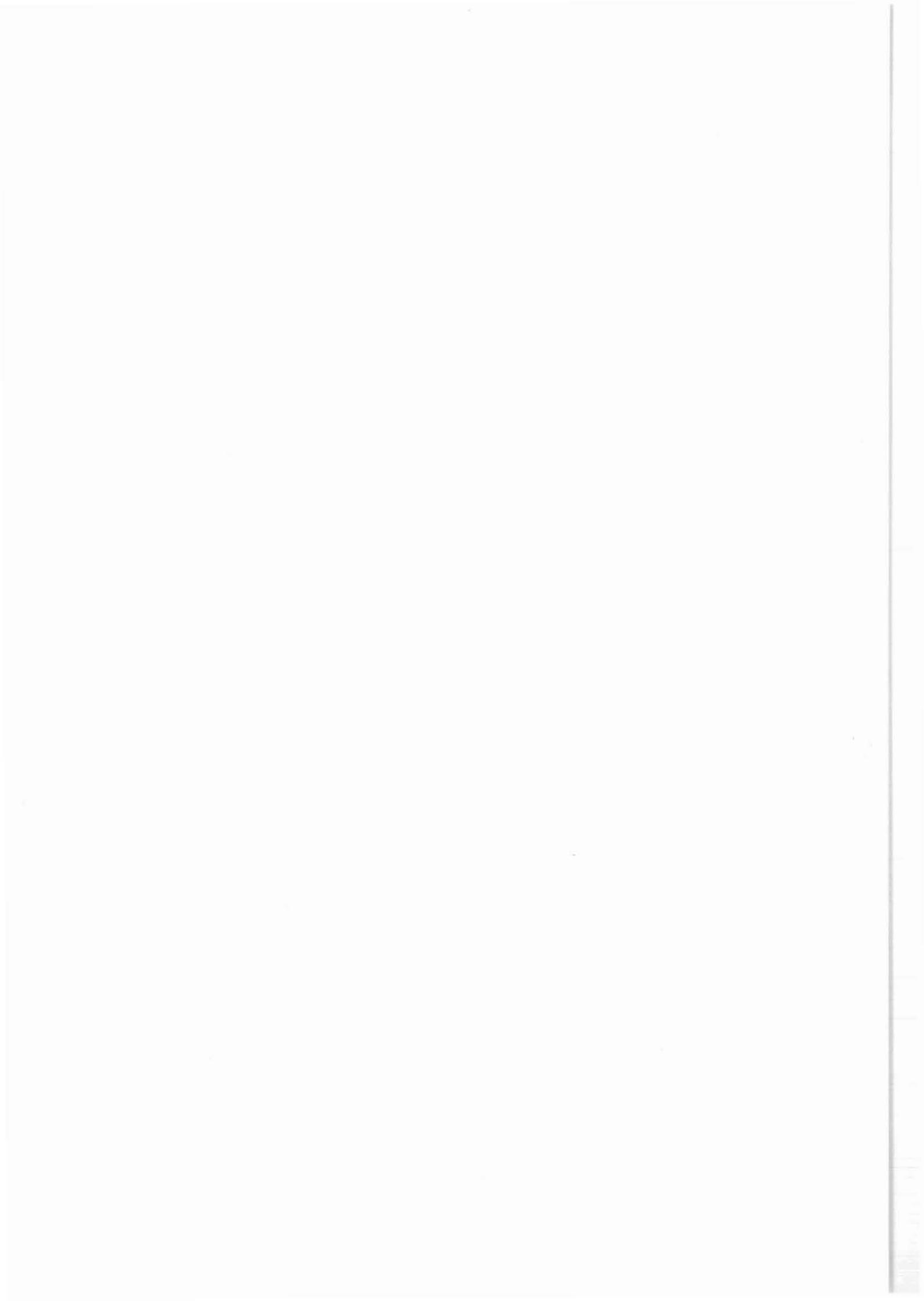
D.11 Literatur

- BLANTON, T.L. (1983): The relation between recovery deformation and in situ stress magnitudes. - Symp., SPE / DOE, 11624: 213-218, Denver.
- 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., WOLTER, K.E., WIENAND, J., RAUEN, A., LIPPMANN, E. & E. HUENGES (1989): Deep Drilling KTB-Oberpfalz VB, Results of the Geoscientific Proceedings in the KTB-Laboratory; Depth from 0-2500 m: D. Geophysik. - KTB-Report, Hannover (in press).
- HOMANN, K.D., HEINSCHILD, H.-J., STROH, A. & M. TAPPER (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich 1530-1998 m: C. Geochemie.- KTB-Report 88-9: C1-C88, Hannover.
- HUENGES, E. (1987): Messung der Permeabilität von niedrigpermeablen Gesteinsproben unter Drücken bis 4kbar und ihre Beziehung zu Kompressibilität, Porosität und komplexen elektrischem Widerstand.- Diss., Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- HUENGES, E., BÜCKER, Ch., WOLTER, K.E., WIENAND, J., RAUEN, A. & E. LIPPMANN (1989): Deep Drilling KTB-Oberpfalz VB, Results of the Geoscientific Proceedings in the KTB-Laboratory; Depth Interval: 1709 - 2500 m: D. Geophysik.- KTB-Report 89-2, D1-D83, Hannover.
- LIPPMANN, E., HUENGES, E., BÜCKER, Ch., WIENAND, J., WOLTER, K.E. & A. RAUEN (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 2000 m: D. Geophysik. - KTB-Report 88-9: D1-D60, Hannover.
- RAUEN, A., LIPPMANN, E., HUENGES, E., BÜCKER, Ch., WIENAND, J. & K.E. WOLTER (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530 m: D. Geophysik.- KTB-Report 88-6: D1-D60, Hannover.
- WEAST, R.C. (1974): Handbook of Chemistry and Physics.- 55th Edition: F-47ff and F-16ff, CRC Press, Cleveland Ohio.

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.

WOLTER, K.E. & H. BERCKHEMER (1989): Time Dependent Strain Recovery of Cores from the KTB-Deep Drill Hole. - Rock Mech. and Rock Eng., (in press).

ZOBACK, M.D. & J.D. BEYERLEE (1975): The Effect of Microcrack Dilatancy on the Permeability of Western Granite. J.Geophys.Res., 80(5): 752-755.



E. Ergänzende Untersuchungen

KTB Oberpfalz VB –
Bruchtektonik im Teufenbereich
von 1530–2500 m



KTB-Report	89-4	E1-E22	11 Abb.	Hannover 1989
------------	------	--------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Bruchtektonik im Teufenbereich von 1530 bis 2500 m:

E. Ergänzende Untersuchungen

G. Zulauf *)

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
E.1. Einleitung	E 3
E.2. Ergebnisse der Untersuchungen	E 3
E.2.1. Vorläufige Statistik über die Kinematik und Raumlage der spröden Verschiebungsflächen	E 3
E.2.2. Mineralisation auf den Verschiebungsflächen	E 6
E.2.3. Altersabfolge der bruchhaften Gefüge	E 12
E.3. Schlußfolgerung	E 19
E.4. Schriftenverzeichnis	E 21
E.5. Danksagung	E 22

*) Anschrift des Verfassers: Geologisch-Paläontologisches Institut der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Senckenberganlage 32-34, 6000 Frankfurt a.M.

Zusammenfassung

Die Untersuchung der bruchhaften Deformationen im Teufenintervall von 1530 bis 2500 m bestätigen den bisher angenommenen polyphasen spröden Deformationspfad der durchteuften Gesteine. Als älteste Bildungen müssen subvertikale Extensionsrisse angenommen werden, denen SW-fallende Aufschiebungen folgten. Mit Hilfe der eingeschalteten Lamprophyre läßt sich für beide ein spätvariszisches Bildungsalter ableiten. Die darauffolgenden Bewegungen (2. Generation von Aufschiebungen, untergeordnete Horizontalverschiebungen, Abschiebungen) sind offensichtlich nach der Intrusion der Lamprophyre (postvariszisch) erfolgt. Die mit steigender Teufe beobachteten Veränderungen hinsichtlich der Kataklasezonen (Diskretisierung der Scherzonen, Kornverfeinerung der Porphyroklasten, Abnahme der Abschiebungen) lassen sich vermutlich durch den mit der Teufe gestiegenen Umschließungsdruck erklären. Die in den Paragneisen vorhandene, meist steile Foliation führte im Vergleich zu den massigen Lamprophyren und Metabasiten zu einer für Aufschiebungen ungewöhnlich steilen Lagerung. Die bisherige Beobachtung, daß Graphitanreicherung nur in den ältesten Störungen der Paragneise stattgefunden hat, bestätigte sich. Unterschiedliche Kohlenstoffisotope von Graphit und Calcit deuten darauf hin, daß sich beide nicht gleichzeitig innerhalb der Kataklasezonen gebildet haben.

Abstract

Investigations of fracture-related deformations between 1530 and 2500 m depth confirm the brittle deformation path argued up to now. The oldest features are subvertical tension gashes followed by SW-dipping reverse faults. By the aids of intercalated lamprophyres both events must be of late-Variscan age. Subsequent deformations (2nd generation of reverse faults, subordinate NE-SW-trending strike-slip faults, normal faults) are younger than the lamprophyres and thus are probably of post-Variscan age. With increasing depth a variation of some brittle features could be recognized (reduction of the thickness of the cataclastic zones, refinement of porphyroclasts, decrease of the amount of normal faults). Probably the increasing confining pressure is responsible for these modifications. Moreover a striking variation of the spatial position of the faults and their mineralization, due to a change in lithology, could be observed. Graphite-enrichment is restricted to the first generation of reverse faults within the paragneisses. Different carbon isotopes of graphite and calcite suggest that both minerals have formed within the cataclastic zones at separate times.

E.1. Einleitung

Die hier vorgestellten Ergebnisse über die spröden Deformationsgefüge umfassen den tiefsten Teil der Bohrung VB 1 (1530 bis 1816 m, ca. 25 % Metabasite und ca. 75 % Paragneise) sowie den oberen Abschnitt der Bohrung VB 1a (1802 m bis 2500 m, vorwiegend Paragneise). Die aus dem Teufenbereich von 0 bis 1530 m vorhandene Kataklyse (vgl. de WALL & ZULAUF 1988; ZULAUF & KOHL 1989; ZULAUF et al. 1989) setzt sich bis 2500 m Teufe fort (siehe auch MASSALSKY et al. 1988, RÖHR et al. 1989). Es fällt jedoch auf, daß sich mit zunehmender Teufe zum einen die Mächtigkeit der Kataklysezonen und zum anderen die mittleren Durchmesser der Porphyroklasten verringern. Während man im oberen Teufenbereich bis zu 60 cm breite Kataklysezonen mit bis zu 4 cm großen Porphyroklasten beobachtet (z.B. KEYSSNER et al. 1988: Abb. B.3.3.), findet man im hier untersuchten Teufenabschnitt (bis 2500 m) lediglich geringmächtige, in seltenen Fällen bis zu 10 cm breite Kataklysezonen, deren Porphyroklasten in der Regel kleiner als 1 cm sind (Abb. E.2.1., E.2.8, E.2.10). Eine auffällige Verminderung der Kataklysezonen läßt sich ab ca. 2450 m feststellen. Von hier ab bis zur Teufe von 2500 m kommen nur noch diskrete, bis zu max. 1 cm mächtige Ultrakataklyse vor. Ob sich dieser Trend mit zunehmender Teufe fortsetzt, müssen die weiteren Untersuchungen zeigen.

Die unterschiedliche Lithologie (vor allem Metabasite, Paragneise, Lamprophyre) wirkte sich merklich auf die Raumlage und Mineralisation der Verschiebungszonen aus.

Die Einfallrichtung der Störungen läßt sich im Einzelfall wegen der bislang fehlenden (noch durchzuführenden) Rückorientierung nicht angeben. Ein wesentlicher Anteil fällt in die selbe Richtung wie die Foliation (nach SW), wobei die Einfallswinkel der Störungen meist flacher sind. Somit liegen hinsichtlich der absoluten Raumlage ähnliche Verhältnisse vor wie im obersten Teil der Bohrung (vgl. ZULAUF et al. 1989).

E.2. Ergebnisse der Untersuchungen

E.2.1. Vorläufige Statistik über die Kinematik und Raumlage der spröden Verschiebungsflächen

Die Vorherrschaft der Aufschiebungen setzt sich bis 2500 m Teufe deutlich fort (z.B. Abb. E.2.1.; vgl. Tab. E.2.1 bis E.2.4). Die Einfallswinkel der Aufschiebungen reichen zwar von 10° bis 70°, der größte Anteil jedoch fällt mit Winkeln zwischen 25° und 55° ein (vgl. Abb. E.2.3. u. E.2.4.). Im Vergleich zu den relativ flach einfallenden Aufschiebungen innerhalb der Metabasitfolge (ZULAUF & KOHL 1989: Abb. E.2.4) kommt es in den Paragneisen zu einer Versteilung der Aufschiebungen, was bereits innerhalb der Wechselfolge Paragneis/Metabasit (0 bis 535 m) festgestellt worden ist (vgl. de WALL & ZULAUF 1988: Abb. E.2.3). Die z.T. vorhandene, für

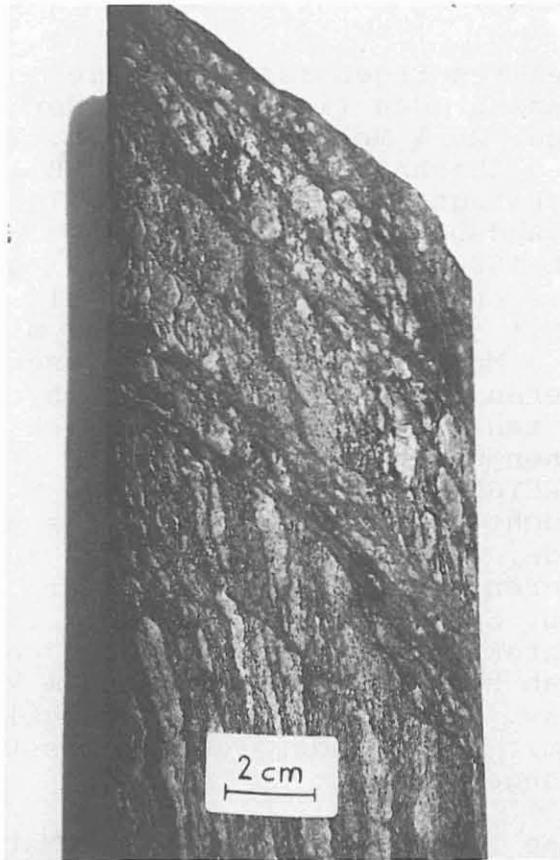


Abb. E.2.1.: Diskrete, mit Graphit und Chlorit mineralisierte Aufschiebungen im Paragneis. Die Einfallrichtung der Kataklysezonen ist die selbe wie die der steilen Foliation. Kst.-Nr. 416B1c, ca. 1840 m.

Aufschiebungen ungewöhnlich steile Raumlage in den Paragneissen resultiert vermutlich aus der steilen Foliation. DONATH (1961) konnte nachweisen, daß Flächen geringeren Scherwiderstandes - als solche kann die Foliation in den Paragneissen betrachtet werden - die Raumlage der spröden Scherzonen beeinflussen können. In den massigen Lamprophyren wurden, ähnlich wie in den Metabasiten, die Scherflächen vorwiegend nach dem Coulomb-Kriterium angelegt. Der Winkel zwischen der größten Hauptnormalspannung (horizontal) und der Scherfläche ist hierbei $< 45^\circ$, so daß die Einfallswinkel der Aufschiebungen ebenfalls $< 45^\circ$ sind (Abb. E.2.5.). Diese Werte sind für aufschiebende Störungen in weitgehend isotropen Gesteinen der Regelfall (z.B. PRICE 1981: 58; MANDL 1988: 16).

Die Abschiebungen kommen lediglich in den Metabasiten (1530 m bis 1610 m) in größerer Anzahl vor. Mit dem Einsetzen der darunter folgenden Paragneise nehmen sie kontinuierlich ab (Tab. E.2.1 - E.2.4). Ab ca. 2100 m beobachtet man sie nur noch selten, was zu der Annahme führt, daß sie mit zunehmender Teufe gänzlich verschwinden. Die Raumlage der Abschiebungen richtet sich ebenfalls deutlich nach der Lithologie. Die

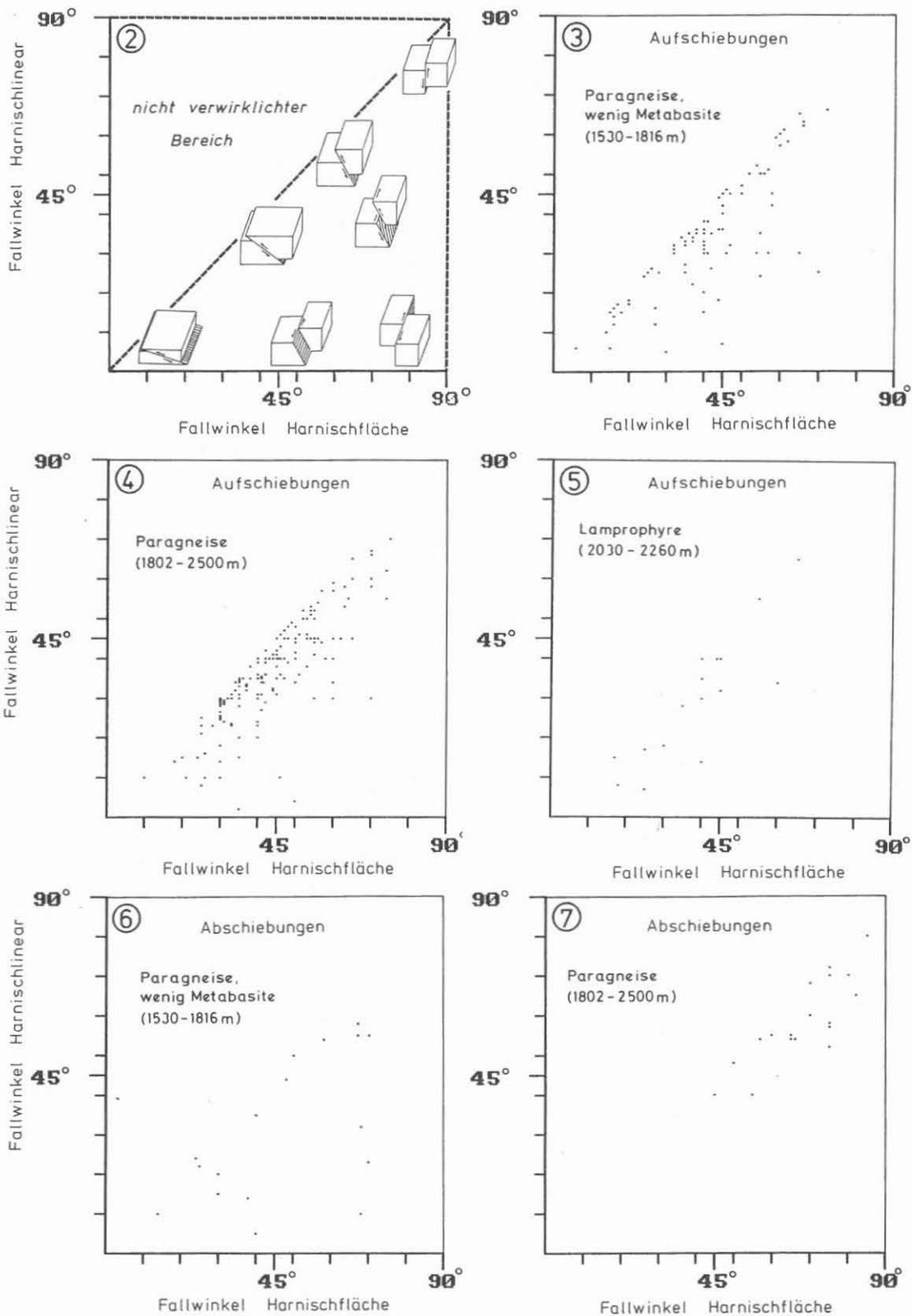


Abb. E.2.2: Erläuterungsschema zu Abb. E.2.3-E.2.7
Abb. E.2.3-E.2.7: Darstellung der Verschiebungsflächen, getrennt nach auf- und abschiebendem Bewegungssinn sowie nach unterschiedlicher Lithologie.

Abschiebungen in den Metabasiten (1530 m bis 1610 m) fallen ungewöhnlich flach ein (Abb. E.2.6.), was durch Reaktivierung der älteren Aufschiebungen erklärt werden kann (vgl. auch ZULAUF & KOHL 1989). In den Gneisen hingegen fallen die Abschiebungen meist mit Winkeln $> 45^\circ$ ein (Abb. E.2.7.). In manchen Fällen kam es zu foliationsparallelen Abschiebungen. Doch lassen sich diese in weitaus geringerer Anzahl feststellen als in den Paragneisen zwischen 750 m und 990 m (vgl. de WALL & ZULAUF 1988: Tab. E.2.1.d). Vor allem bei subvertikaler oder sehr flacher Lagerung der Foliation fehlen sie weitgehend. Die generelle Abnahme der foliationsparallelen Bewegungen mit zunehmender Teufe könnte durch den steigenden Umschließungsdruck erklärt werden, der mit einer Erhöhung des Reibungswiderstandes auf den Foliationsflächen einherging.

E.2.2. Mineralisation auf den Verschiebungsflächen

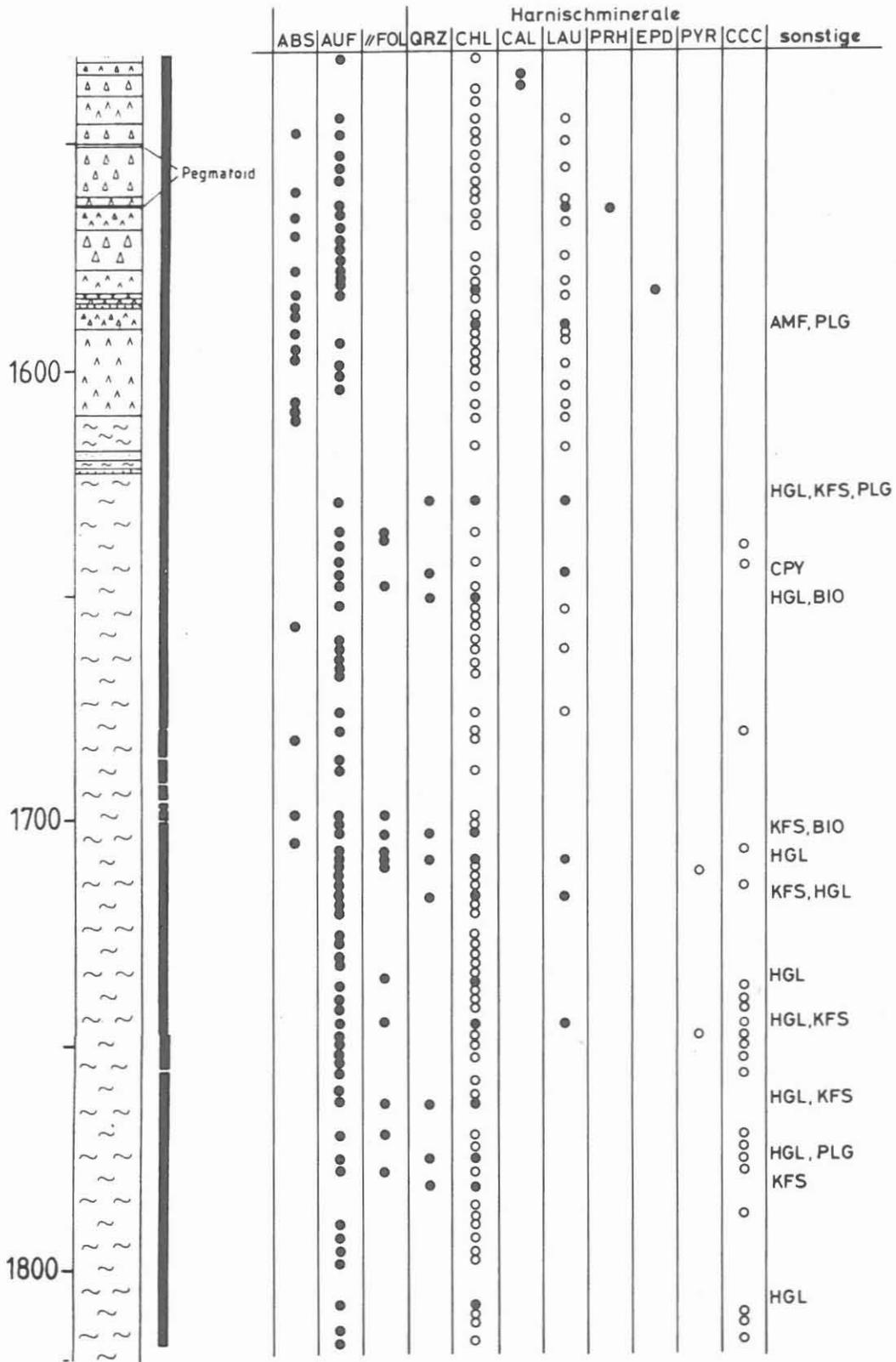
Die Verteilung der auf den Harnischflächen vorhandenen Mineralisation ist in Tab. E.2.1 bis E.2.4 dargestellt. Röntgendiffraktometrisch bestimmte Minerale wurden hierbei besonders gekennzeichnet.

Das weitaus häufigste, im Zuge der Kataklyse neugebildete Mineral ist Chlorit. Er kommt sowohl in den Metabasiten (bis 1610 m) als auch in den Paragneisen vor.

Laumontit ist vor allem in den Metabasiten vorhanden. Mit dem Einsetzen der darunter folgenden Paragneise nimmt er deutlich ab. Periodisches Auftreten von Laumontit auf den Harnischflächen resultiert vermutlich aus Variationen im Chemismus der Paragneise. Bei ca. 1942 m wurde neben postkinematischem idiomorphem Laumontit bis zu 2 mm große, braune Sphaleritkristalle als Harnischmineralisation festgestellt.

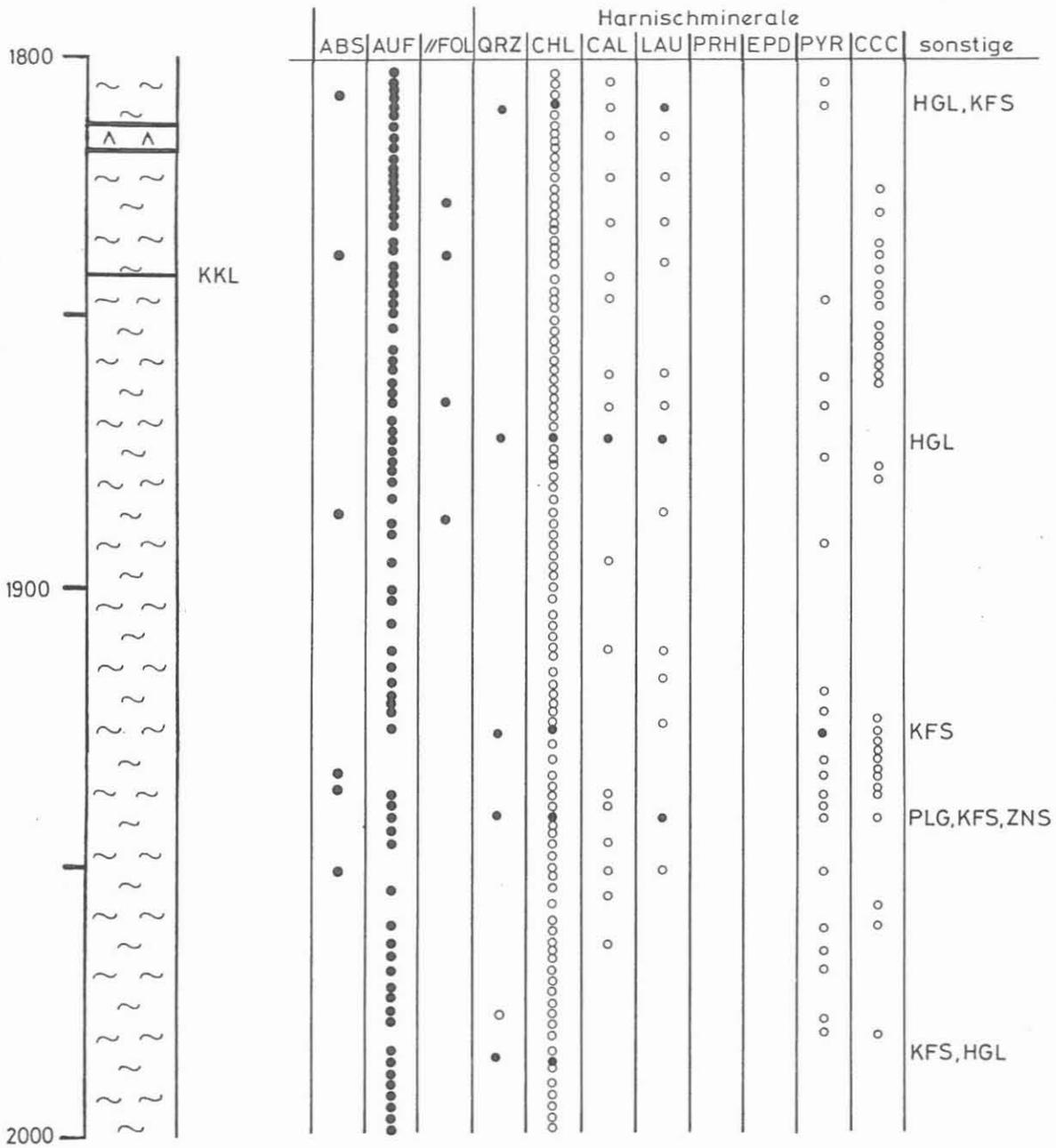
Für Calcit gilt ähnliches wie für Laumontit. Er tritt stellenweise sowohl in den Metabasiten als auch in den Paragneisen auf. Man findet ihn jedoch fast immer auf den Harnischflächen der Lamprophyre, die zwischen 2030 m und 2060 m gehäuft auftreten. An einigen Stellen wurden in Quarz-Porphyrorklasten von Graphitkataklasiten feine, bis zu 0,5 mm breite Calcitgängchen beobachtet (z.B. Kernstück 572B1d). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß unterschiedliche Kohlenstoffisotope von Graphit ($\delta^{13}\text{C} = 19.87$ PDB) und Calcit ($\delta^{13}\text{C} = -8.876$ PDB) aus einem Graphitkataklasit des obersten Teufenbereiches (Kernstück 27A2c, Teufe: ca. 195 m) zeigen, daß ein von ZULAUF et al. (1989) vermuteter genetischer Bezug zwischen Graphit und Calcit offensichtlich nicht besteht (mündl. Mitt. von Frau Dipl.-Geol. M. Lodemann, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Neuherberg). Vielmehr ist davon auszugehen, daß sich Calcit vor dem Graphit - vermutlich während der initialen Bruchphase - abgeschieden hat.

Quarz kommt als Harnischmineralisation ausschließlich in den Paragneisen vor. Es ist hier nicht auszuschließen, daß sich



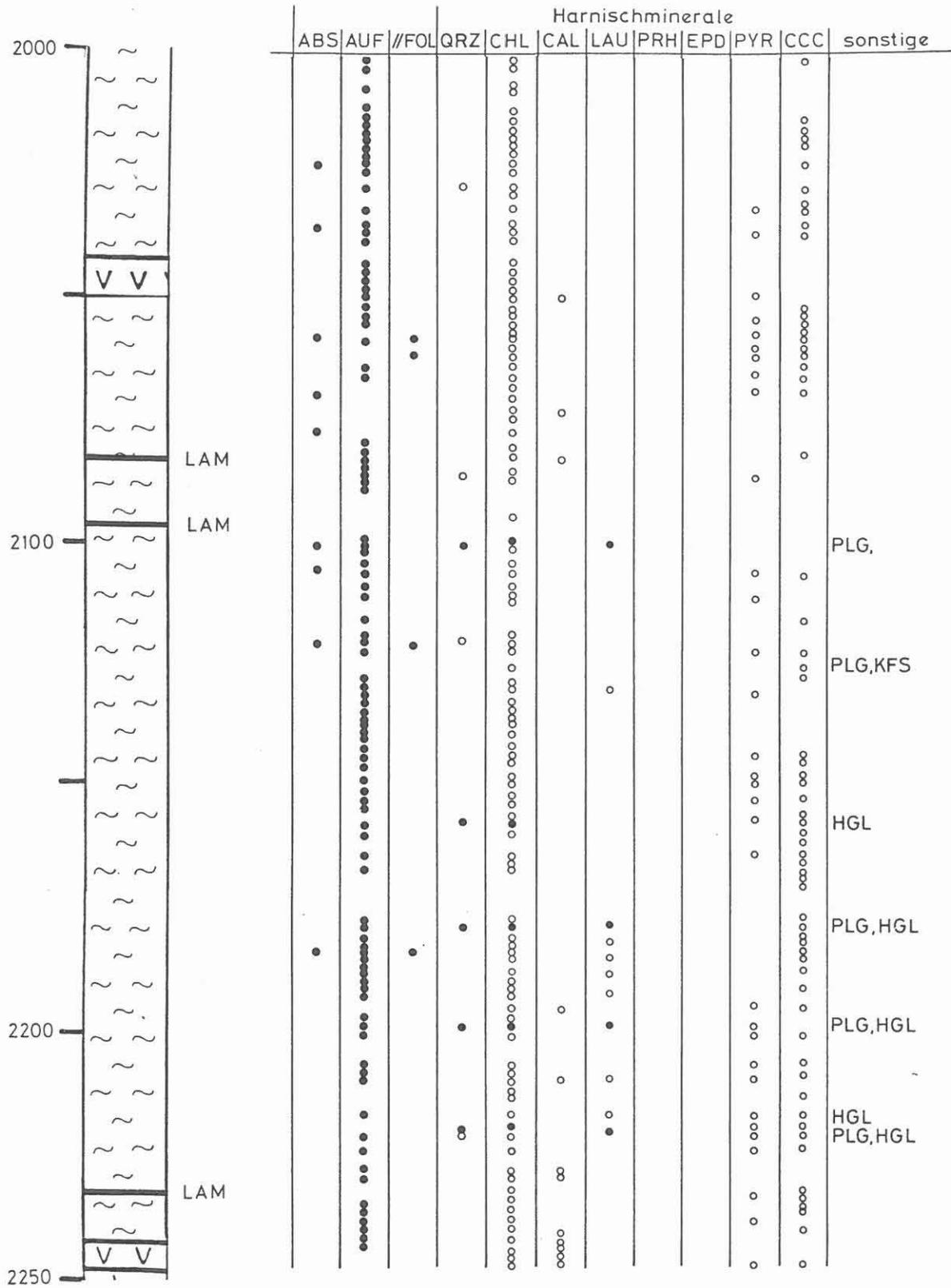
Tab. E.2.1

Tab. E.2.1-E.2.4: Teufenabhängiges Auftreten von Abschiebungen (ABS), Aufschiebungen (AUF), foliationsparallelen



Tab. E.2.2.

Verschiebungen (// FOL) und der Harnischmineralisation. Ausgefüllte Kreise = durch RDA nachgewiesene Minerale. Offene Kreise = makroskopisch bestimmte Minerale. Lithologisches Profil nach MASSALSKY et al. (1988) und RÖHR et al. (1989). QRZ = Quarz, CHL = Chlorit, CAL = Calcit, LAU = Laumontit, PRH = Prehnit, EPD = Epidot, PYR = Pyrit, CCC = Graphit, KFS = Kalifeldspat, PLG = Plagioklas, HGL = Hellglimmer, BIO = Biotit, AMF = Amphibol, ZNS = Sphalerit. Generalisiertes lithologisches Profil nach RÖHR et al. (1989).



Tab. E.2.3

primär vorhandene, entlang der Störungszonen zerriebene Quarze an der Zusammensetzung des Harnischbelages beteiligen. Ähnliches gilt für die Minerale Plagioklas, Amphibol, Biotit und Hellglimmer, die mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie nachgewiesen wurden.

Selten auftretender Epidot läßt sich vor allem in Metabasiten und hornblendeführenden Gneisen feststellen. Im tiefsten Teil des Untersuchungsabschnittes (ca. 2493 m) durchschlägt ein chloritreicher Ultrakataklasit (zwischen hornblendeführendem Gneis und Amphibolit) eine epidotführende ältere Scherzone (innerhalb von hornblendeführenden Gneisen) (Abb. E.2.8.).

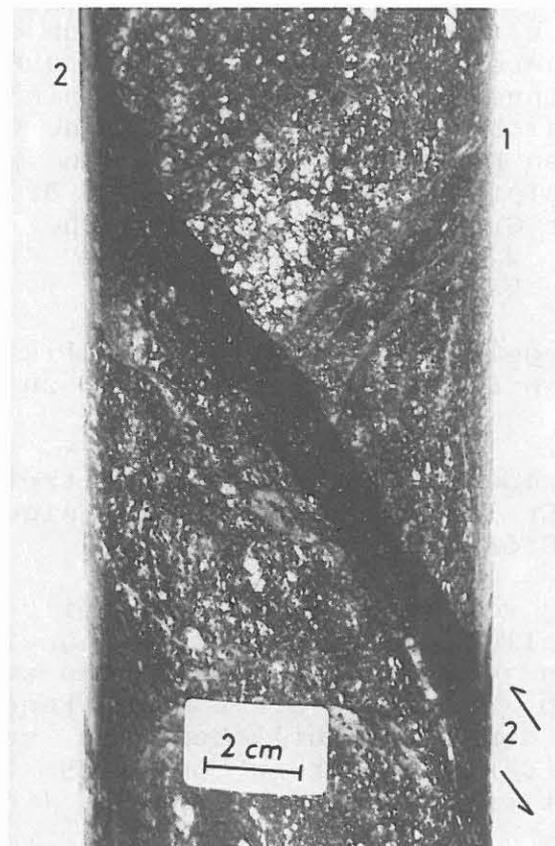


Abb. E.2.8: Eine mit Epidot mineralisierte Scherzone (1) wird von einem jüngeren, vorwiegend aus Chlorit bestehenden Ultrakataklasit (2) durchschlagen. Die zum Ultrakataklasit konjugierten Riedel-Scherflächen lassen erkennen, daß es sich hierbei um eine Aufschiebung handelt. Kst.-Nr. 609F2hk, ca. 2492 m.

Graphit, für viele der Kataklasezonen charakteristisch, läßt sich mit dem Einsetzen der Paragneise (unterhalb der Metabasite, ca. 1610 m) in zunehmendem Maße feststellen. Die spröden Scherzonen in den Metabasiten hingegen sind nicht mit Graphit mineralisiert (vgl. auch ZULAUF & KOHL 1989). Dasselbe gilt für die unmittelbar an die Metabasite angrenzenden

Paragneise, wo sich die Harnischmineralisation nach makroskopischen Gesichtspunkten ausschließlich auf Chlorit und Laumontit beschränkt. Das erste Auftreten von Graphit läßt sich - in geringen Mengen - erst bei ca. 1640 m beobachten. Intensive Graphitisierung der Störungen beginnt bei ca. 1740 m und setzt sich dann in regelmäßigen Abständen (20 m bis 50 m) bis zur Teufe von 2450 m fort. Innerhalb des bei ca. 2450 m beginnenden Komplexes aus Hornblendegneisen nimmt die Graphitisierung der Störungszonen wieder ab (vgl. Tab. E.2.4).

Relativ selten kommen foliationsparallele Verschiebungen mit geringfügiger Graphitanreicherung vor. Lediglich an einer Stelle konnte eine 1 cm breite, graphitreiche Lage beobachtet werden, die parallel zur verfalteten Foliation verläuft. Hierbei ist besonders hervorzuheben, daß sich der Graphit im Faltenscharnier angereichert hat (Kernstück 498A1b), was auf primären Graphit innerhalb der Paragneise hindeuten könnte. Andererseits läßt sich Transport und Anreicherung von Graphit während der spröden Deformation anhand von kataklastischen Quarzgängen zweifelsfrei feststellen. Die Brüche im Quarz sind intensiv mit Graphit (Spiegelharnische) belegt (z.B. Kernstück 493D2a), was nur durch sekundäre Graphitakkumulation erklärt werden kann.

Pyrit ist in der Regel an die Graphitmineralisation gebunden. Er tritt meist in Form von kleinen, bis zu 1 mm großen Körnern auf.

Kalifeldspat kommt ebenfalls auf den graphitreichen Verschiebungsflächen vor. Er läßt sich jedoch in einigen Fällen auch auf graphitfreien Störungen nachweisen.

Die Unterscheidung von primären und neugebildeten Hellglimmern ist in den hellglimmerführenden Paragneisen besonders schwierig. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß ein Großteil der in Tab. E.2.1 bis E.2.4 eingetragenen Hellglimmervorkommen auf den Harnischflächen neu gebildet wurde. Häufig beobachtete Serizitisierung von Feldspat innerhalb der Kataklasezonen unterstützt diese Vermutung (vgl. ZULAUF et al. 1989).

E.2.3. Altersabfolge der bruchhaften Gefüge

Der von ZULAUF et al. (1989) dargelegte, aus Untersuchungen bis 1500 m abgeleitete spröde Deformationspfad läßt sich im hier untersuchten Abschnitt in gleicher Weise verfolgen.

Die ältesten bruchhaften Bildungen stellen subvertikale, bis zu 2 cm breite Extensionsrisse dar, die vor allem in den Metabasiten vorkommen und hier im "crack-seal Modus" entstanden sind (Abb. E.2.9). Auffällig ist jedoch, daß sie nicht - wie im mittleren und oberen Abschnitt des Metabasitkörpers - mit Prehnit, sondern mit Quarz und Plagioklas mineralisiert sind.

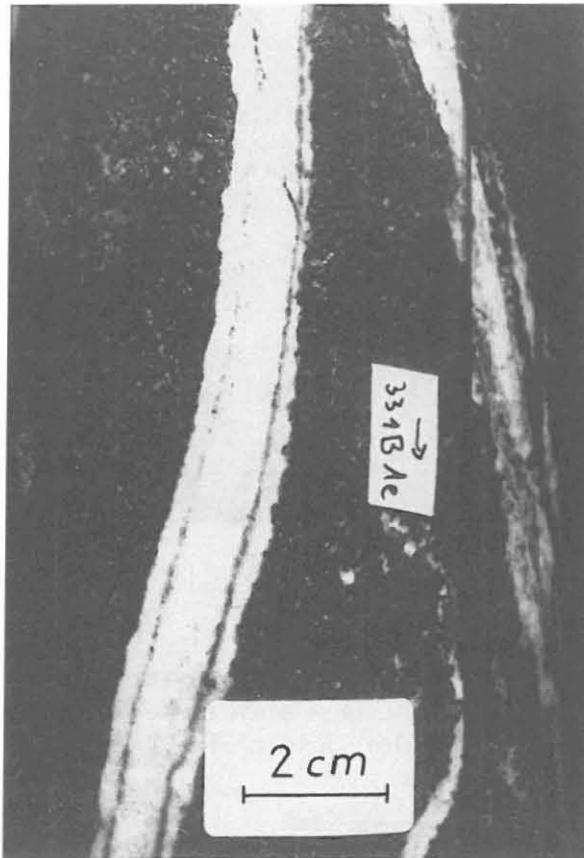


Abb. E.2.9: Subvertikal verlaufende, mit Quarz und Plagioklas im "crack-seal Modus" mineralisierte Extensionsrisse aus dem untersten Abschnitt des Metabasitkomplexes. Kst.-Nr. 331B1c, ca. 1588 m.

Die auf die Gangbildung folgende Deformationsphase führte zu aufschiebenden Katakklasezonen, die in den Paragneisen mit Graphitanreicherung einherging (Abb. E.2.10). Laterale Einengung wird überdies durch subvertikale Drucklösungssuturen angezeigt (Abb. E.2.11). Diese ältere Generation von Aufschiebungen wird vielfach von jüngeren, diskreten Aufschiebungen versetzt (Abb. E.2.12). Letztere sind meist mit Chlorit und Laumontit - nicht mit Graphit - mineralisiert. Ihre Versatzbeträge sind in der Regel gering.

Die jüngeren Aufschiebungen werden von flach einfallenden, relativ unregelmäßig verlaufenden Quarzgängen durchschlagen (Abb. E.2.13), deren meist flache Lagerung anhaltende laterale Krusteneinengung anzeigt.

Diese Gänge wiederum werden entlang diskreter Abschiebungen um wenige cm versetzt (Abb. E.2.13). An einer Stelle konnte beobachtet werden, daß ein mit Laumontit verfülltes Gängchen

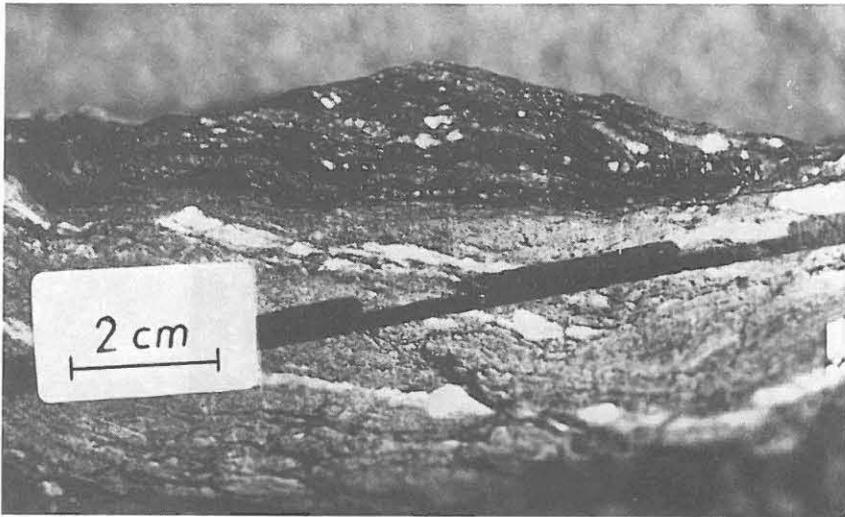


Abb. E.2.10: Graphitreicher Kataklastit in Paragneisen. Innerhalb der Kataklastosezone hat sich Graphit insbesondere auf diskreten, wenige mm breiten Zonen (Ultrakataklastiten) angereichert. Diese werden entlang diskreter Scherbänder leicht versetzt, woraus ein aufschiebender Bewegungssinn der Kataklastosezone abgeleitet werden kann. Kst.-Nr. 498Alb, ca. 2166 m.

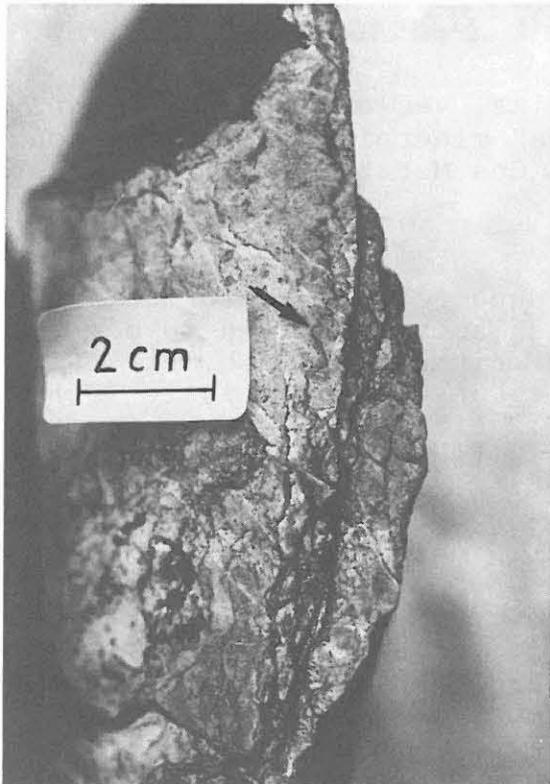


Abb. E.2.11: Subvertikale Drucklösungssuturen (siehe Pfeil) im kataklastisch deformierten Quarzmobilisat zeugen von lateraler Krusteneinengung. Kst.-Nr. 493D2a, ca. 2158 m.



Abb. E.2.12: Eine ältere, graphitführende aufschiebende Kataklysezone wird entlang einer jüngeren diskreten Aufschiebung um 1 cm versetzt. Kst.-Nr. 477A1a, ca. 2086 m.



Abb. E.2.13: Eine diskrete Aufschiebung wird von einem Quarzgang durchschlagen. Man beachte die Riedel-Scherflächen welche zur Aufschiebung konjugiert sind. Der Quarzgang selbst wird entlang jüngerer Abschiebungen leicht versetzt (rechte Bildhälfte). Kst.-Nr. 436B1f, ca. 1933 m.

eine Abschiebung durchschlägt. (Abb. E.2.14). Entlang dieses Gängchens ist es ebenfalls zu einer mit geringem Versatz verbundenen Abschiebung gekommen. Da für die Bildung von Laumontit aufgrund von Apatitspaltspuren-Daten nur ein prä-Tertiäres Alter angenommen werden kann (WAGNER et al. 1988), müssen die ältesten Abschiebungen bereits vor dem Tertiär angelegt worden sein.

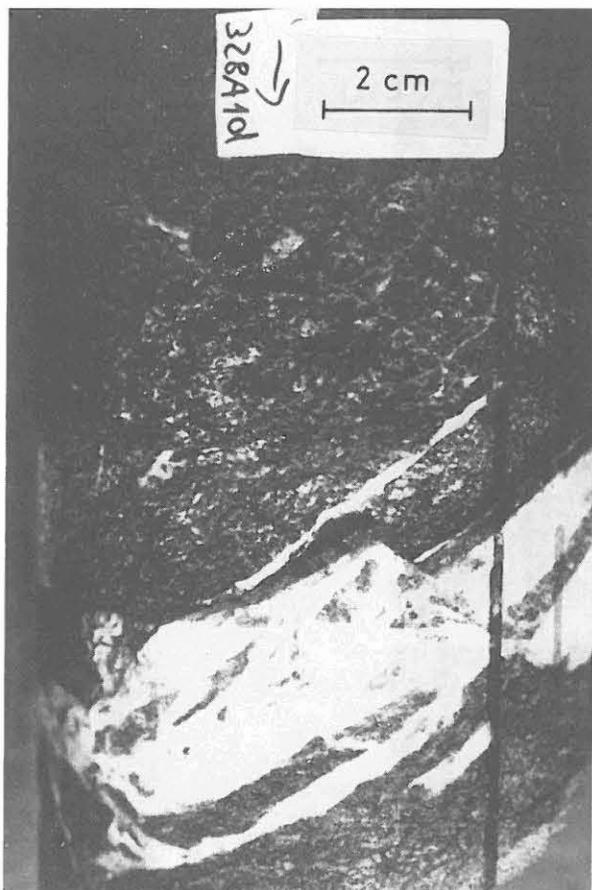


Abb. E.2.14: Ein mit Laumontit mineralisiertes Gängen wird von der diskreten Abschiebung nicht mehr versetzt. Kst.-Nr. 328A1d, ca. 1570 m.

Als jüngste bruchhafte Gefüge sind in den massigen Metabasiten subhorizontale, meist weniger als 1 mm breite Extensionsrisse festzustellen. Zum Teil liegen diese auch als diskrete Scherrisse vor, die jedoch nur einen geringen Versatz (< 1 cm) aufweisen. Sie können als Entlastungsrisse angesehen werden, die vermutlich während der jüngsten Heraushebung im Tertiär (vgl. WAGNER 1988) entstanden sind.

Neben den o.g. Auf- und Abschiebungen können, insbesondere im tiefsten Teil des Untersuchungsabschnittes, an einigen Stellen Horizontalverschiebungen beobachtet werden. Ihre relative zeitliche Einordnung ist noch nicht eindeutig geklärt. Setzt

man voraus, daß bei Mehrfachstriemungen auf graphitreichen Harnischflächen (Abb. E.2.15) die jüngere Verschiebung das mit der älteren Bewegung verknüpfte Harnischlinear überprägt, stellt sich heraus, daß die Blattverschiebungen, verbunden mit Horizontalharnischen, in der Regel jünger als Aufschiebungen oder Schrägverschiebungen sind. Überschneidungen zwischen Blattverschiebungen und Abschiebungen wurden nicht beobachtet. Es ist jedoch am wahrscheinlichsten, daß sich die Blattverschiebungen im Zeitraum zwischen der Entstehung der Auf- und Abschiebungen gebildet haben (vgl. hierzu MANDL 1988: 16)

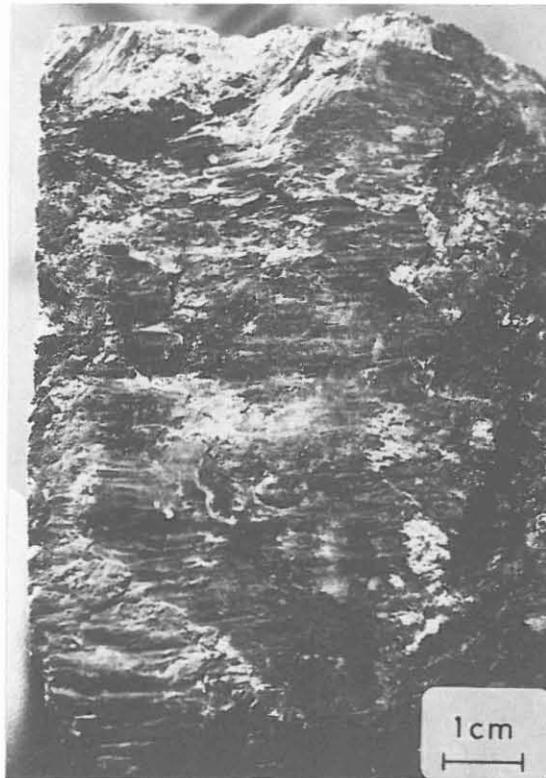


Abb. E.2.15: Eine ältere Schrägverschiebung (sichtbar an der Harnischstriemung in der oberen linken Bildecke) wird von einer jüngeren Horizontalverschiebung überprägt. Kst.-Nr. 596 Clh, ca. 2443 m. Kernachse verläuft senkrecht.

Man kann davon ausgehen, daß sie an das NW-SE verlaufende Fichtelnaab-Störungssystem geknüpft sind, da sie gewöhnlich auf steilen, mit der Foliation nach SW einfallenden Flächen vorkommen. Der Bewegungssinn kann wegen fehlender oder in beide Richtungen zeigender Stufen auf den Graphitharnischen nicht festgestellt werden.

Für die Alterseinstufung der verschiedenen Kataklysegenerationen sind die zwischen 2030 m und 2260 m vorkommenden Lamprophyre besonders relevant. Eine Reihe von Beobachtungen spricht dafür, daß die Lamprophyre von den ältesten spröden Deformationen verschont geblieben sind. So findet man weder

subvertikale Extensionsrisse noch breite, mit der "Graphitkataklase" korrelierende Verschiebungszonen in den Lamprophyren. Daß die "Graphitkataklase" vor dem Eindringen der Lamprophyre stattgefunden hat, wird zudem durch folgende Beobachtungen belegt. Man findet zum einen Fragmente von Graphitkataklasiten, die in den Lamprophyren eingeschlossen sind. Zum anderen setzen sich in den Paragneisen vorhandene diskrete Aufschiebungen - zumindest makroskopisch - nicht in die Lamprophyre fort (Abb. E.2.16).



Abb. E.2.16: Eine aufschiebende diskrete Verschiebungszone setzt sich makroskopisch nicht vom Gneis (rechts oben) in den Lamprophyr (links unten) fort. Kst.-Nr. 536A1b, ca. 2257 m.

Die jüngeren (post-"graphitischen") Deformationen haben die Lamprophyre jedoch erfasst. Dies gilt vor allem für die zweite Generation von Aufschiebungen (vgl. Abb. E.2.17). Die Verschiebungsbeträge dieser jüngeren Generation scheinen in der Regel gering zu sein. Am Bohrkern konnten Versätze bis zu 10 cm festgestellt werden.

Eine exakte Altersdatierung der Lamprophyre liegt bisher nicht vor. Da die spätvariszischen Granite der Oberpfalz häufig von Lamprophyren durchschlagen werden (z.B. VOLL 1960: 347, WURM 1962: 154, FORSTER 1965: 132), sind sie offensicht-

lich jünger als die Granite. STETTNER (1981) gibt ein spätvariszisches Alter an. Dasselbe trifft für die Lamprophyre des Schwarzwaldes zu (WIMMENAUER 1967).

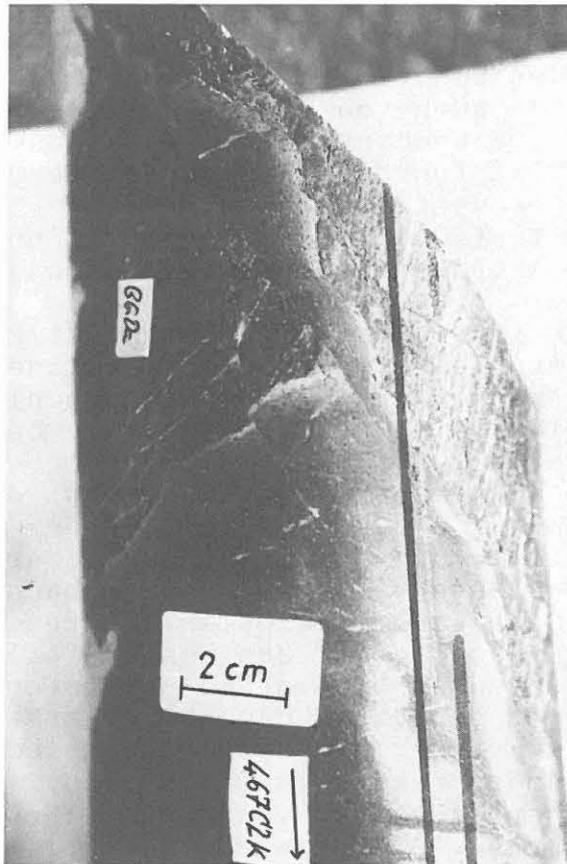


Abb. E.2.17: Der intrusive Kontakt von Paragneis und Lamprophyr ist durch eine wenige mm breite Bleichungszone im Lamprophyr gekennzeichnet. Der Kontakt wird entlang diskreter Aufschiebungen versetzt. Kst.-Nr. 467C2k, ca. 2044 m.

Die mit der "Graphitkataklase" verbundenen Störungspopulationen werden auch im Falkenberger Granit angetroffen (ZULAUF, KLEINSCHMIDT & ONCKEN 1989). Es ist somit anzunehmen, daß sich die subvertikalen Extensionsrisse sowie die erste aufschiebende, mit Graphitanreicherung verbundene Kataklase zwischen der Platznahme des Falkenberger Granits (311 +/- 4 Ma, WENDT et al. 1986) und der Intrusion der spätvariszischen Lamprophyre (? Perm) bildeten. Sie könnten also mit der von SCHRÖDER (1987) beschriebenen spätvariszischen Einengungstektonik (Stefan bis Perm) im Zusammenhang stehen.

E.3. Schlußfolgerung

Obwohl sich die Kataklase aus dem oberen Bohrabschnitt bis 2500 m in etwa gleichem Maße fortsetzt, lassen sich mit zunehmender Teufe und unterschiedlicher Lithologie deutliche

Veränderungen feststellen. Mit zunehmendem Bohrfortschritt

- nehmen die Mächtigkeiten der Kataklasten ab;
- reduziert sich der mittlere Durchmesser der Porphyroklaste;
- scheint sich die Anzahl der Abschiebungen zu verringern.

Eine Reduktion der Scherzonenmächtigkeit und der Porphyroklastengröße wird auch von ANDERSON et al. (1983) aus in tieferem Krustenniveau entstandenen Kataklastiten beschrieben. SAMMIS et al. (1986) führen die Diskretisierung der Kataklasten und die Kornverfeinerung der Porphyroklaste auf den mit zunehmender Teufe steigenden Umschließungsdruck zurück, der sich auf die Art der Mikrorissausbildung auswirken soll.

Die Frage, ob die im Grenzbereich Metabasit/Paragneis (1595 m bis 1630 m) auftretende intensive Kataklastik für den hier vorliegenden lithologischen Wechsel ausschließlich verantwortlich ist, läßt sich nicht eindeutig beantworten (vgl. auch MASSALSKY et al. 1988). Es gibt jedoch einen Hinweis, daß der Kontakt in dieser Position primär, d.h. präkataklastisch vorhanden war und später im Zuge der spröden Deformation kataklastisch überprägt wurde. Die erwähnten, nur im untersten Teil des Metabasitkomplexes beobachteten subvertikalen Gänge aus Quarz und Plagioklas könnten sich am ehesten dadurch erklären lassen, daß aus den unterlagernden quarzreichen Gneisen Lösungen bis in den untersten Teil der Metabasite aufgestiegen sind, aus denen sich sukzessive Quarz und Plagioklas in den Extensionsrissen abgeschieden haben. Da die subvertikalen Gänge präkataklastisch sind, ist ein primärer (präkataklastischer) Kontakt von Metabasiten zu Paragneisen am wahrscheinlichsten. Dieser wurde jedoch im Zuge der polyphasen spröden Deformation kataklastisch überprägt. Strain-Lokalisierung an Grenzflächen verschiedener, sich in ihrem mechanischen Verhalten unterscheidender lithologischer Einheiten ist eine häufig zu beobachtende Erscheinung in spröde deformierten Gesteinen (vgl. SIMPSON 1986, 1987).

Die unterschiedliche Raumlage der Aufschiebungen in den Metabasiten und den Paragneisen läßt sich eindeutig auf die meist steile Foliation in den Paragneisen zurückführen.

Die Graphitmineralisation ist zweifelsfrei an die Paragneise (älteste Generation von Aufschiebungen) gebunden. Eine Erklärung für dieses Phänomen steht noch aus. Zu denken wäre an eine katalytische Wirkung in den Paragneisen, welche die Ausscheidung von Graphit aus einer Gasphase begünstigte. Da die Altersstellung der vermutlich spätvariszischen (postgranitischen) Lamprophyre für die chronologische Einstufung der Kataklastitgenerationen von besonderem Interesse ist, wäre eine absolute Altersdatierung wünschenswert.

E.4. Schriftenverzeichnis

- ANDERSON, J.L., OSBORNE, R.H. & PALMER, D.F. (1983): Cataclastic rocks of the San Gabriel fault: An expression of deformation at deeper levels in the San Andreas fault zone. - *Tectonophysics*, **98**: 209-251.
- DONATH, F.A. (1961): Experimental study of shear failure in anisotropic rocks. - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **72**: 985-990.
- FORSTER, A. (1965): Erl. geol. Kt. Bayern, Blatt 6340/6341 Vohenstrauß/Frankenreuth. - 174 S.; München.
- 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.
- MANDL, G. (1988): Mechanics of tectonic faulting, models and basic concepts. - 407 S. (Elsevier).
- MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C., GRAUP, G., HACKER, W., KEYSSNER, S. & KOHL, J. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 1998 m: *B. Geologie*. - *KTB Report*, **88-9**: B1-B66.
- PRICE, N.J. (1981): Fault and joint-development in brittle and semi-brittle rock. - 176 S.; New York (Pergamon Press).
- RÖHR, C., HACKER, W., KEYSSNER, S., KOHL, J. & MÜLLER, H. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1709 bis 2500 m: *B. Geologie*. - *KTB Report* **89-2**: B1-B114.
- SAMMIS, C.G., OSBORNE, R.H., ANDERSON, J.L., MAVONWE, B. & WHITE, P. (1986): Self-similar cataclasis in the formation of fault gouge. - *Pure Applied Geophys.*, **124**: 53-78.
- SCHRÖDER, B. (1987): Inversion tectonics along the western margin of the Bohemian Massif. - *Tectonophysics*, **137**: 93-100.
- SIMPSON, C. (1986): Fabric development in brittle- to ductile shear-zones. - *Pure Applied Geophys.*, **124**: 269-288.
- SIMPSON, C. (1987): Exhumed fault zones: the role of fractures in ductile deformation. - *EOS*, **68/44**: 1472.
- STETTNER, G. (1981): Grundgebirge. Plutonite und Ganggesteine der variskischen Ära, in: Erl. zur geol. Kt. v. Bayern 1:500000, herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt; München.
- VOLL, G. (1960): Stoff, Bau und Alter in der Grenzzone Moldanubikum/Saxothuringikum in Bayern unter besonderer Berücksichtigung gabbroider, amphibolitischer und kalksilikatführender Gesteine. - *Beih. Geol. Jb.*, **42**, 382 S.; Hannover.
- WAGNER, G.A. (1988): Apatit-Spaltspur-Datierung des mitteleuropäischen Grundgebirges: postvariscische thermotektonische Entwicklung. - *KTB Report*, **88-10**: 137-140.

- de WALL, H. & ZULAUF, G. (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Die bruchhaften Verformungsgefüge im Teufenbereich 0 bis 992 m. - KTB Report 88-2: E1-E19.
- WENDT, I., KREUZER, H., MÜLLER, P. & SCHMID, H. (1986): Gesamtgesteins- und Mineraldatierungen des Falkenberger Granits. - Geol. Jb., E 34: 5-66; Hannover.
- WIMMENAUER, W. (1967): Die Lamprophyre des Schwarzwaldes. - Fortschr. Mineral., 50 Beih. 2: 34-37.
- WURM, A. (1962): Frankenwald, Fichtelgebirge und Nördlicher Oberpfälzer Wald. - Sammlung Geol. Führer, 41, 184 S. (Bornträger).
- ZULAUF, G., BEHR, H.-J., HACKER, W., KOHL, J., KLEINSCHMIDT, G., ONCKEN, O. & de WALL, H. (1989): Die Kataklyse in den Gesteinen der KTB-Vorbohrung. - KTB Report (im Druck).
- ZULAUF, G., KLEINSCHMIDT, G. & ONCKEN, O. (1989): Faults and cataclasis in the close neighborhood of the KTB-drillhole. - KTB Report (im Druck).
- ZULAUF, G. & KOHL, J. (1989): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Bruchtektonik im Teufenbereich von 1177 bis 1530 m. - KTB Report 89-2: E1-E14.

E.5. Danksagung

Der Arbeitsgruppe Geochemie im KTB Feldlabor danke ich für die röntgendiffraktometrische Bestimmung der Harnischmineralisation.

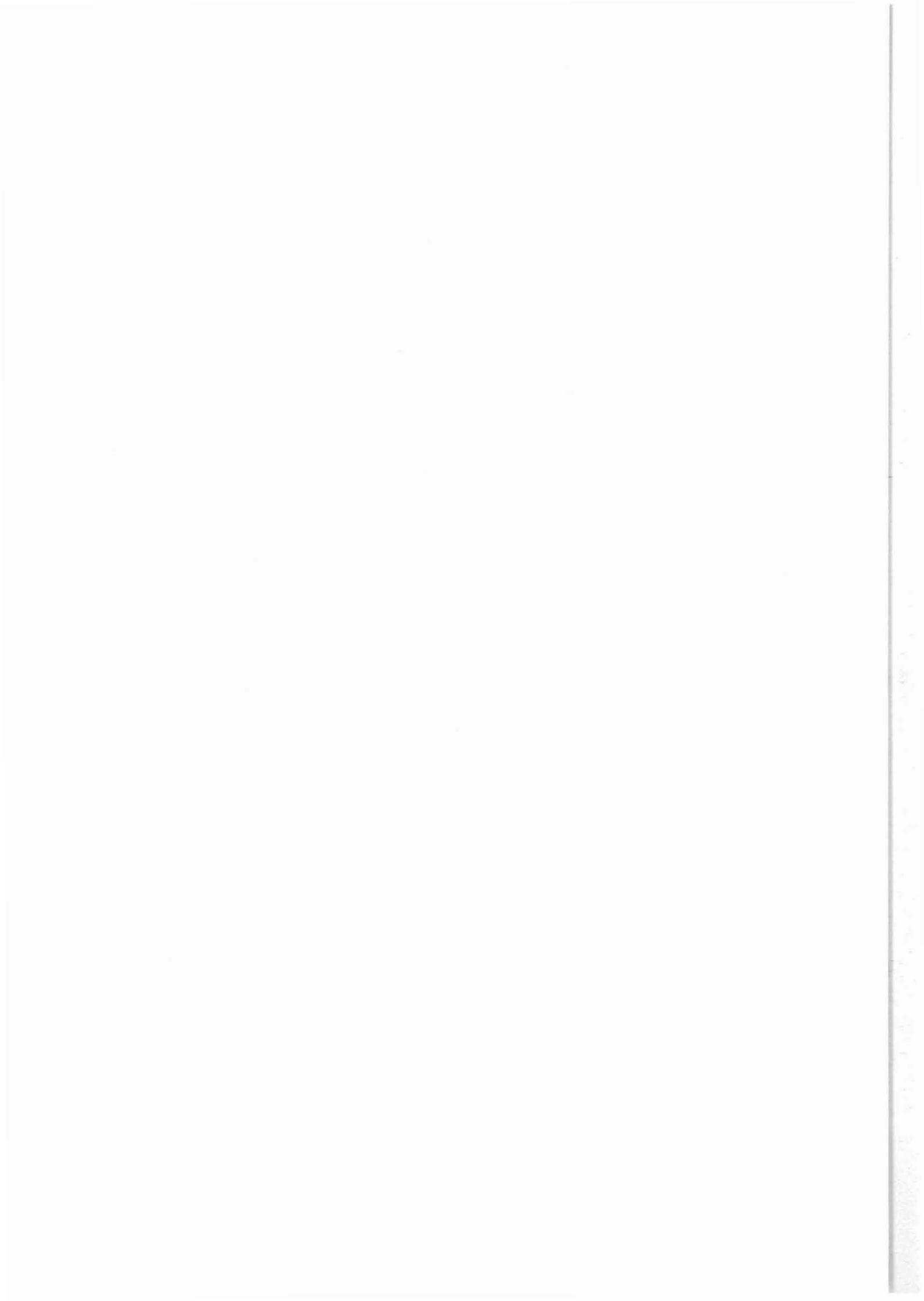
Der Arbeitsgruppe Geologie/Petrologie im KTB Feldlabor danke ich für die Überlassung von Messdaten aus dem Teufenabschnitt von 1800 bis 2160 m sowie für kritische Anmerkungen.

Die Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (A.Z.: Kl 429/7-1) unterstützt, wofür ich mich ebenfalls bedanke.

F.

KTB Oberpfalz VB –
Ermittlung der Dispersion von
Feststoff im Spülungsstrom

A. Stroh
Th. Wöhrl



KTB Report	89-4	F 1-F 9	5 Abb.	Hannover 1989
------------	------	---------	--------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor

F. Ermittlung der Dispersion von Feststoff im Spülungsstrom

A. Stroh und Th. Wöhrl*)

INHALTSVERZEICHNIS		Seite
F.1	Einleitung und Zielsetzung.....	F 2
F.2	Versuchsdurchführung.....	F 4
F.3	Ergebnisse.....	F 6
F.4	Diskussion.....	F 8
F.5	Weiteres Vorgehen.....	F 9
F.6	Literaturverzeichnis.....	F 10

*) Anschrift der Verfasser:

Dr. A. Stroh
KTB-Feldlabor
8486 Windischeschenbach

Th. Wöhrl (NKTB)
KTB-Feldlabor
8486 Windischeschenbach

F.1 Einleitung und Zielsetzung

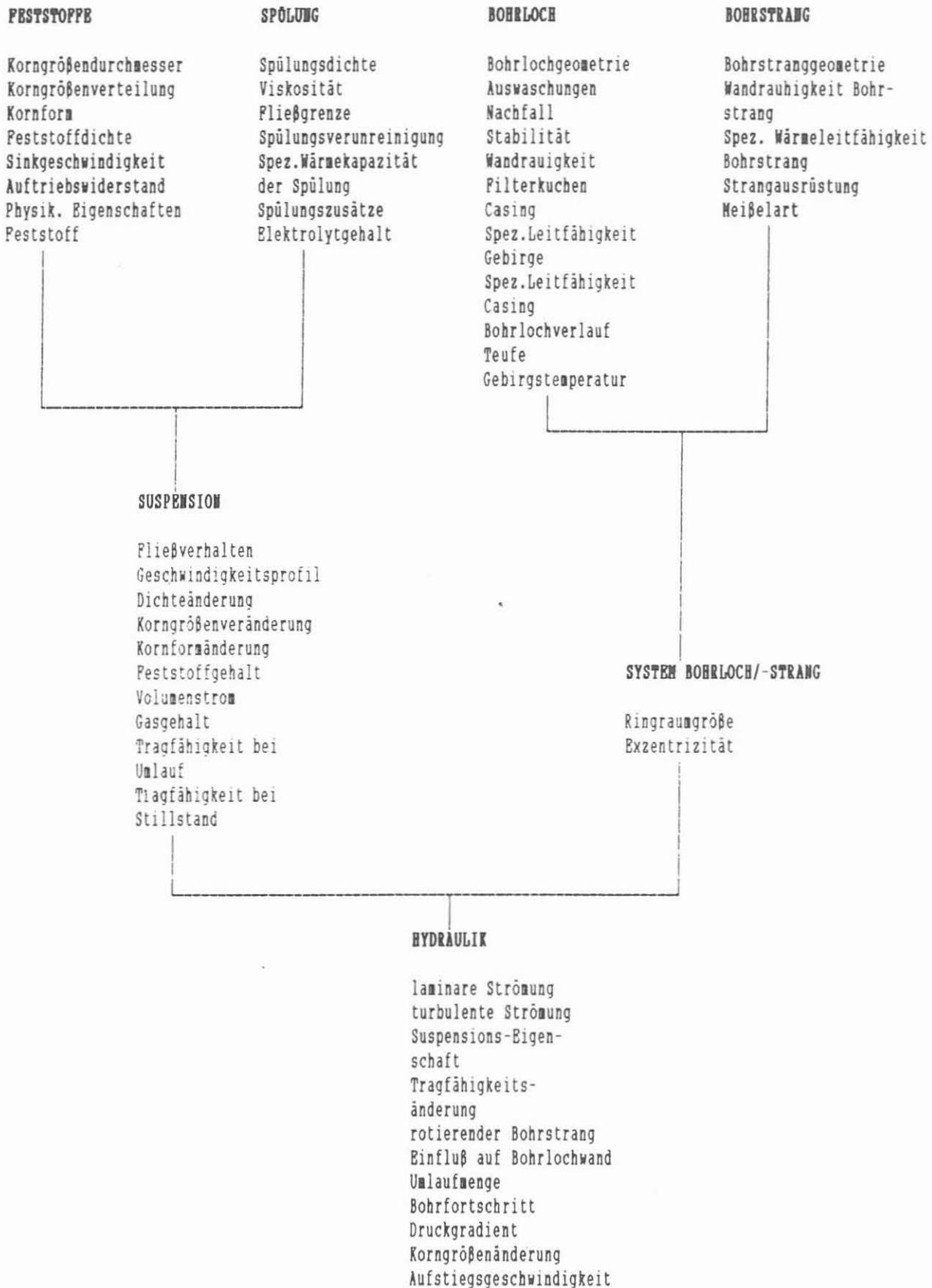
Da in der Hauptbohrung über weite Strecken keine Kerne gewonnen werden können, muß durch verschiedene Versuche geklärt werden, inwieweit ein aussagefähiges lithostratigraphisches Profil an Hand von Bohrkleinuntersuchungen (Cuttings und/oder Bohrmehl) aufgestellt werden kann. In der KTB-VB wurde erstmals bei einer Tiefbohrung eine kontinuierliche Untersuchung von Bohrklein in einem Analysenabstand von 1-2 Metern durchgeführt. Als Untersuchungsmaterial wird Bohrmehl benutzt, das durch eine Zentrifuge aus dem zirkulierenden Spülungsstrom ausgeschieden wird. Bestimmt werden Haupt- und Spurenelementchemismus mittels RFA sowie der quantitative Mineralbestand mit Röntgenpulverdiffraktometrie (RDA). Ein aus diesen Ergebnissen aufgestelltes "Bohrmehlprofil" ist zusammen mit dem lithostratigraphischen Kernprofil in Kap. C (Abb.C.3.2.3) dargestellt.

Generell wird das an der Oberfläche gewonnene Feststoff- und Zentrifugenmaterial als Informationsträger von den verschiedensten Parametern mehr oder weniger stark beeinflusst (vgl. Tab. F.1.1).

Als einziger Parameter konnte bisher die Korngrößenverteilung des Bohrmehls an verschiedenen Gesteinstypen (Gneise und Amphibolite) unter Berücksichtigung des eingesetzten Bohrwerkzeuges (Diamantbohrkrone oder Rollenmeißel) bestimmt werden. Ein Beispiel ist in Abb. F.1.1 dargestellt (vgl. auch STROH et al., 1989).

In einem ersten Versuch sollte nun der integrale Effekt der in Tab. F.1.1 aufgeführten Parameter auf die Dispersion von Feststoffen im Spülungsstrom bis hin zur Zentrifuge (Probenahme) bestimmt werden. Dabei können erste wichtige Erkenntnisse über die tatsächliche Aussagekraft von Bohrmehlproben, deren lithologisches Auflösungsvermögen und die Genauigkeit der teufenmäßigen Zuordnung gewonnen werden. Eine Spülungspille mit definiertem Mineralgehalt sollte hierbei eine zu durchteufende lithologische Einheit simulieren.

Tab. F.1.1: Den Feststoffaustrag beeinflussende Parameter
(nach: WOLFF, 1987)



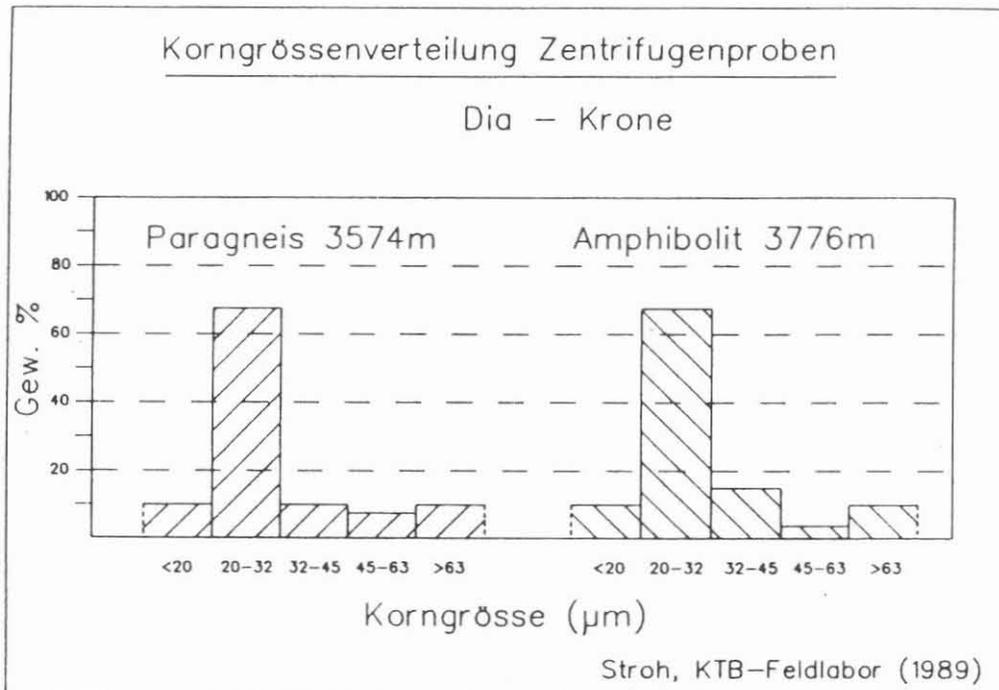


Abb. F.1.1: Korngrößenverteilung von Bohrmehl

F.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde am 21.03.1989 durchgeführt. Die technischen Daten sind in der folgenden Tabelle Tab.F.2.1 zusammengefaßt.

Tab. F.2.1: Versuchsbedingungen

Teufe bei Testbeginn	3896.3 m
Pumprate	703 l/min
Spülungsumlaufvolumen (Arbeitsbühne - Schüttelsieb)	7540 Hübe Pille = 2 m ³
Bohrwerkzeug	Rotary-Garnitur m. Turbine und Rollenmeißel
Bohrfortschritt	0.7 m/h

Insgesamt wurden 2 m³ Spülung im Pilltank (vgl. Abb.F.2.1.) mit 20 kg Cristobalitmehl versetzt und als Spülungssäule in das Spülungssystem eingeleitet. Der Spülungskreislauf vor Ort ist in Abb.F.2.1 dargestellt. Der Korngrößenbereich betrug 15 - 125 µm (vgl. Abb.F.2.2) und war so gewählt, daß einerseits die Schüttelsiebe den Mineralstoff ungehindert passieren ließen, andererseits aber die Zentrifugen ein vollständiges Ausscheiden garantierten.

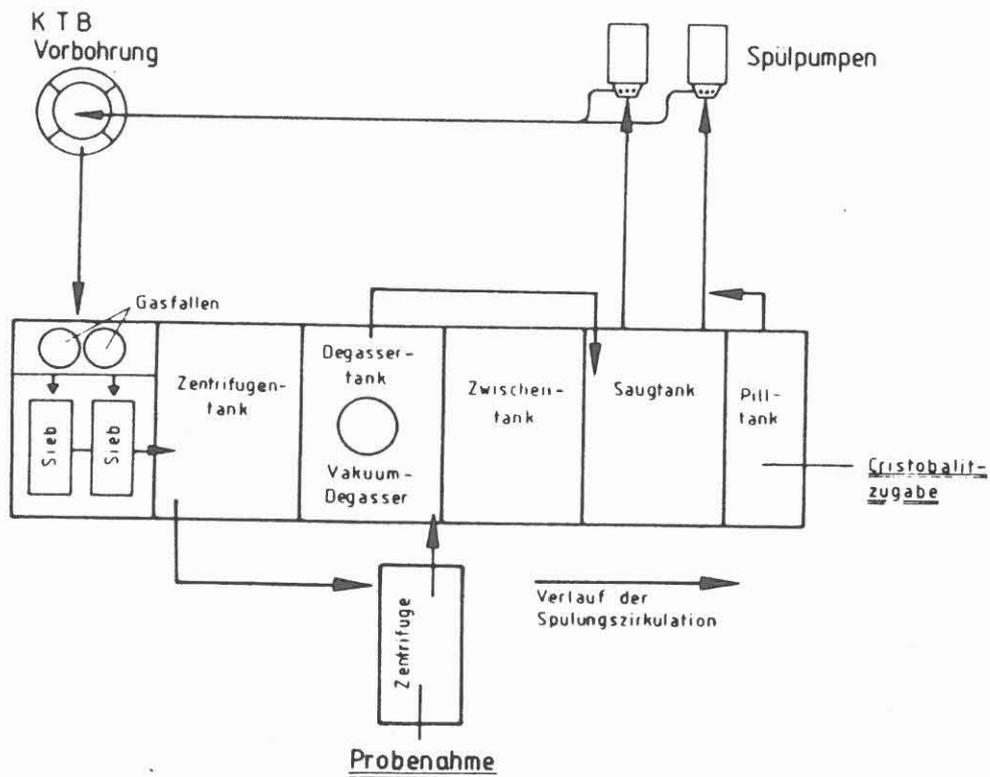


Abb. F.2.1: Spülungskreislauf KTB Oberpfalz VB

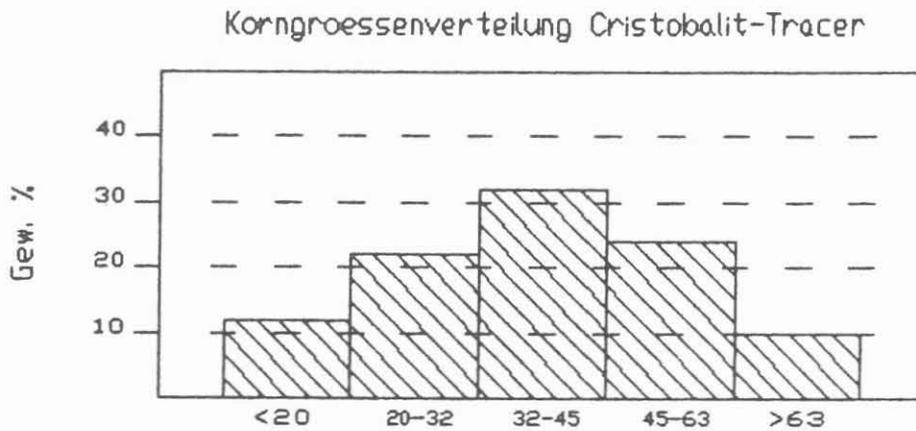


Abb. F.2.2: Korngrößenverteilung des Cristobalit Tracers

Die Probennahme an der Zentrifuge erfolgte im Minutenabstand von 19.⁰⁰ bis 20.⁰⁵. Der Mineralgehalt der Zentrifugenproben wurde im KTB-Feldlabor mit quantitativer röntgenographischer Phasenanalyse bestimmt.

Nach Verpumpen von ca. 1 m³ der Spülungspille wurde zusätzlich Karbid zugegeben, um evtl. Differenzen der Umlaufzeiten von gasförmigen und festen Stoffen aufzeigen zu können.

F.3. Ergebnisse

Die ersten Gasgehalte des Karbidtests wurden um 18.⁵⁵ Uhr an den Gasfallen des Spülungskreislaufs gemessen (vergl. Abb.F.2.1). Bereits in der ersten genommenen Feststoffprobe wurden Cristobalitgehalte von 7 Gew.% festgestellt. Die Konzentrationsverteilung ist in Abb. F.3.1 ersichtlich. Bei einem Volumen von 2m³ getracierter Spülung und einer Pumprate von 703 l/min müßte das Cristobalitmaximum ca. 3 Minuten anhalten. Hinzu kommt jedoch das Spülvolumen des Zentrifugentanks (vgl. Abb.F.2.2) von 6.85 m³. Um die gesamten 8.85 m³ durchzusetzen, werden bei 703 l/min ca. 12-13 Minuten benötigt. Wie in Abb. F.3.1 ersichtlich wird, erhält man nach einem abrupten Einsetzen, gefolgt von einem sehr steilen

Anstieg der Cristobalitgehalte in den Proben, ein ca. 14 Minuten anhaltendes Plateau der Maximalgehalte. Danach fallen die gemessenen Werte stetig ab. In der routinemäßig genommenen Probe nach ca. 70 Minuten ist kein Cristobalit mehr nachzuweisen. In Abb. F.3.1 sind die Meßwerte und das Plateau dargestellt. Zusätzlich wurde versucht, die Konzentrationsverteilung durch ein Polynom höherer Ordnung zu berechnen.

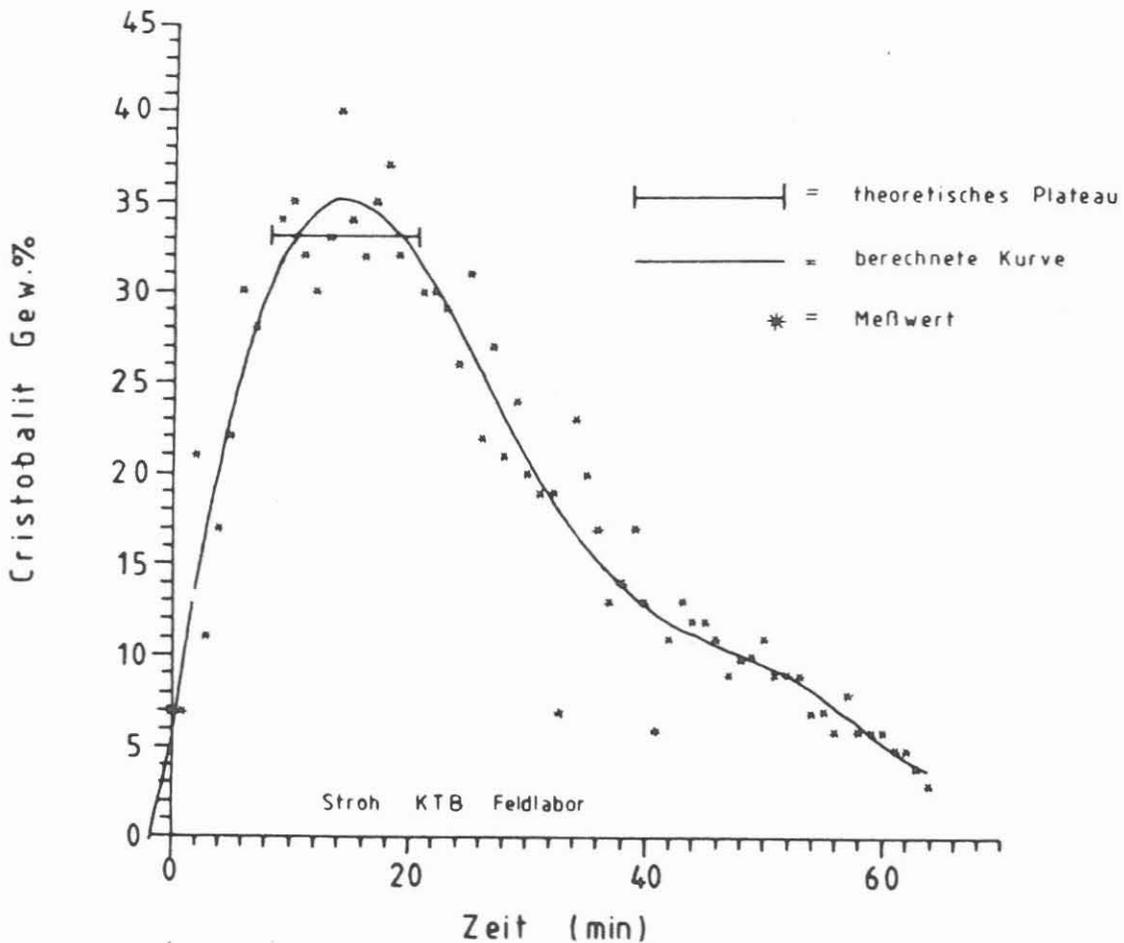


Abb. F.3.1: Konzentrationsverteilung der Cristobalitgehalte (Erläuterung siehe Text)

F.4 Diskussion

Der erste Einsatz des neuen Minerals Cristobalit erfolgte wenige Minuten (3-5 Min.) nach der errechneten Aufstiegszeit. Eine teufenmäßige Zuordnung eines solchen ersten Auftretens neuer Minerale ist, ohne Beeinflussung durch technische Maßnahmen und bei einem Bohrfortschritt von 1.5 - 2 m/h, im Bereich von ca. 10-20 cm durchaus möglich (vgl. Abb. F.4.1). Inwieweit die Verzögerung von 3-5 Minuten zwischen Schüttelsieb und Zentrifuge erfolgt oder durch den Aufstieg der Spülung im Bohrloch hervorgerufen wird, muß durch weitere Tests geklärt werden. Eine "Verschleppung" des Minerals, daß heißt, eine Verschmierung der hier durch Cristobalit simulierten unterschiedlichen lithologischen Horizonte während des Verlassens, wird über einen Zeitraum von ca. 55 Minuten (nach dem Ende des Konzentrationsplateaus) beobachtet. Diese Verschleppung muß im wesentlichen dem Zentrifugen-Puffertank zugeschrieben werden, da das Maximum der Korngrößenverteilung des Tracers (ähnlich wie auch bei den Zentrifugenproben) zwischen 20 und 63 μm liegt. Nach WOLFF (1987) stellt das Spülungssystem bei einer mittleren Korngröße von 30 μm eine einphasige Suspension dar, so daß hier zumindest für den größten Teil des Materials entsprechende Verhältnisse angenommen werden können und eine Differentiation im Bohrloch weitgehend auszuschließen ist.

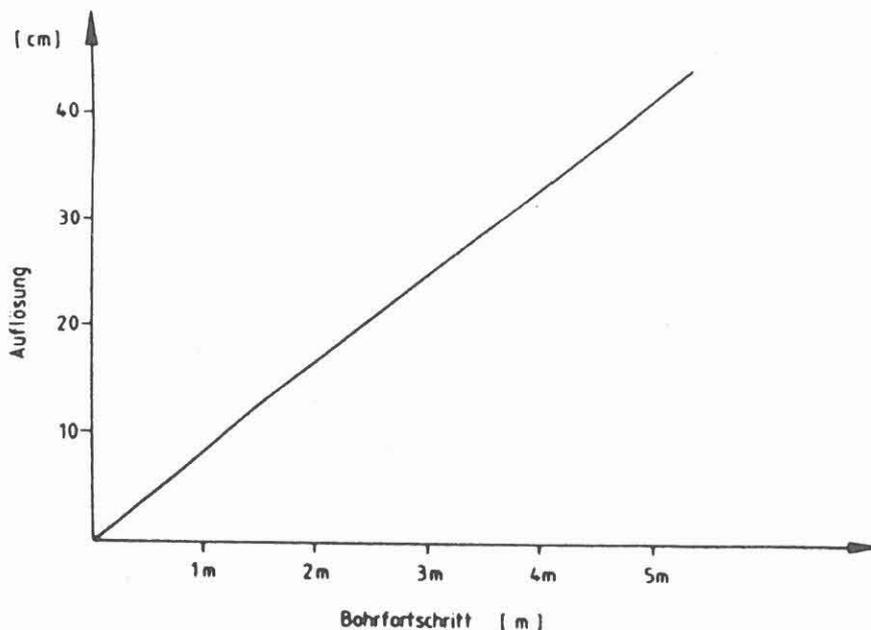


Abb. F.4.1: Auflösungsvermögen von Bohrklein in Abhängigkeit vom Bohrfortschritt. Als Grundlage wurde eine erste Detektierung einer neuen Formation nach theoretischer Lag-Zeit + 5 Minuten Verzögerung angenommen.

Die Zeit von 55 Minuten entspricht einem Auflösungsvermögen - wiederum ohne Beeinflussung bohrtechnischer Maßnahmen und in Abhängigkeit des Bohrfortschritts- zwischen ca. 1.5 und 2 m. Jeder Formationswechsel sollte durch bestimmte charakteristische Mineralparagenesen gekennzeichnet sein. Dadurch fällt ein Verlassen des Horizonts auch immer unmittelbar mit einem ersten Auftreten eines oder mehrerer Minerale des neu erbohrten lithologischen Horizontes zusammen, so daß eine enge Eingrenzung möglich ist. Dies gilt jedoch nicht für schnell aufeinander folgende Wechsellagerungen mit Mächtigkeiten < 1m ("Schaschlik") da in diesem Fall eine wiederholte Vermischung der Leitminerale zu erwarten ist. Durch eine Verkleinerung des Zentrifugen-Puffertanks kann sicher das Auflösungsvermögen von Bohrmehlproben verbessert werden. Mit den Ergebnissen weiterer Versuche dieser Art kann möglicherweise auch eine bessere teufenmäßige Zuordnung erreicht werden.

Der Einfluß der Dichte des verwendeten Tracers auf die ermittelte Konzentrationsverteilung und der zeitlichen Verzögerung zur theoretischen Lag-Zeit wird ebenfalls untersucht werden. Als Tracer ist hier Kyanit (Al_2SiO_5) mit einer Dichte von 3.6 g/cm^3 geplant, der ebenso wie Cristobalit eine für Bohrlochmessungen schwerwiegende Kontamination des Bohrloches vermeidet. Weitere detaillierte Untersuchungen über die Mischprobenatur von Bohrkleinproben werden bereits an einer Referenzkernstrecke zwischen 1550 und 1650 m durchgeführt.

F.5 Weiteres Vorgehen

Aus den Ergebnissen des oben beschriebenen Versuchs ergeben sich folgende Punkte, die noch näher untersucht werden müssen:

- Verzögerungszeit zwischen Schüttelsieb und Zentrifuge
- Verzögerung zwischen Gas und Feststoffaustrag unter Berücksichtigung von
 - a) unterschiedlicher Korngröße und
 - b) Dichte des verwendeten Tracers
- Untersuchungen des Konzentrationsplateaus durch Veränderung der Versuchsbedingungen

Ein Teil dieser Versuche könnte während des laufenden Bohrlochmeßprogramms noch in der KTB-VB durchgeführt werden.

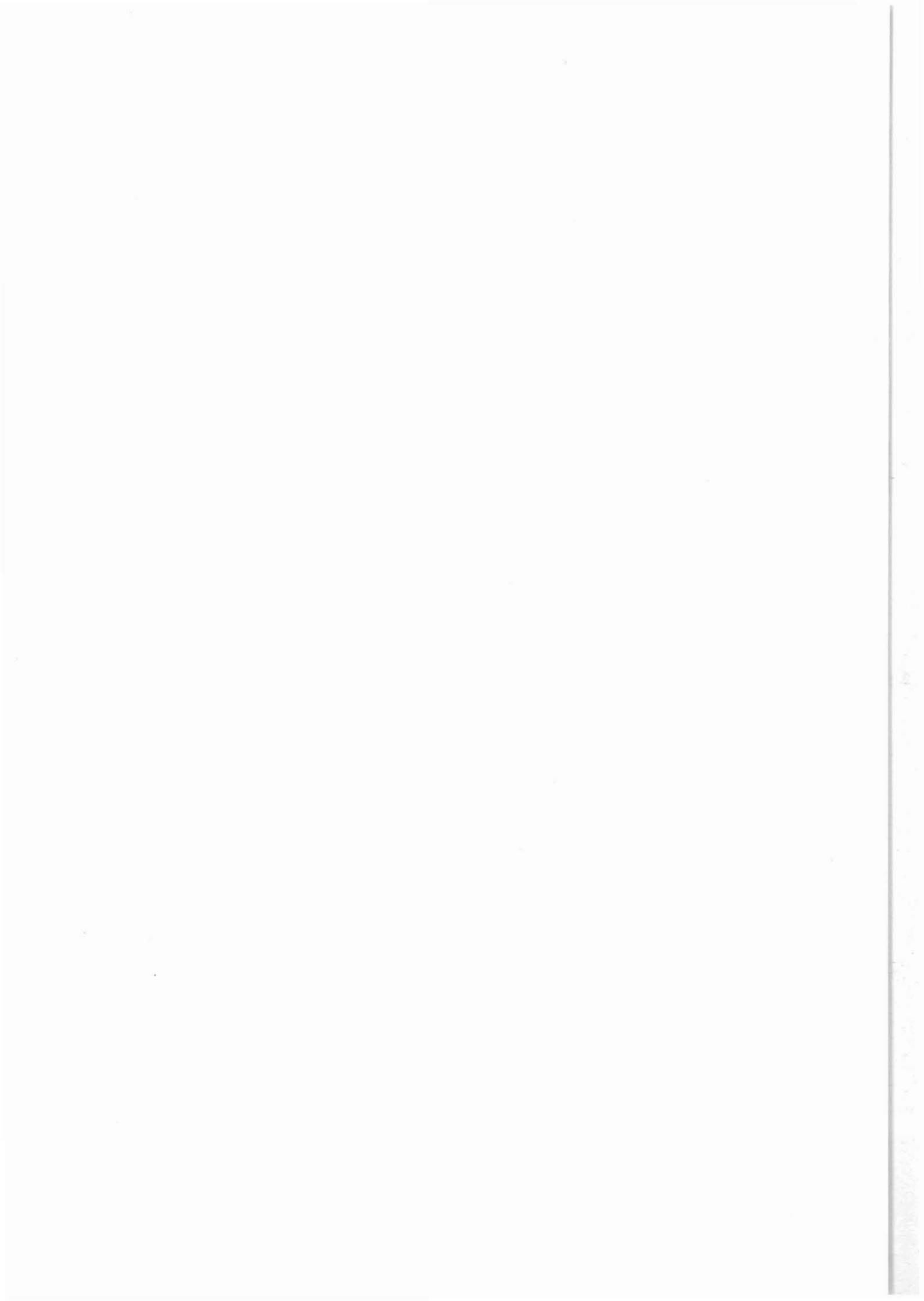
F.6 Literaturverzeichnis

STROH, A., HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D, TAPPER, M.& ZIMMER, M. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1709 bis 2500 m. KTB-Report, 89-2: C1-C104, Hannover.

WOLFF, H. (1987): Cuttings - Korrelations - Untersuchungen Austragefähigkeit von Cuttings unveröfftl. Ergebnisbericht, TU Berlin Institut f.Berbauwissenschaften Berlin, Dezember 1987

G.

KTB Oberpfalz VB –
Makroskopische Beschreibung der
Seitenkerne aus dem
Teufenbereich 0–4000 m



KTB Report	89-4	G1 - G10	1 Tab.	Hannover 1989
------------	------	----------	--------	---------------

Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor

G. Makroskopische Beschreibung der Seitenkerne aus dem Teufenbereich 0 - 4000 m.

C. Röhr *)

<u>Inhaltsverzeichnis</u>		Seite
G.1	Einleitung.....	G 1
G.2	Kernzustand.....	G 2
G.3	Orientierung der Seitenkerne.....	G 2

G.1 Einleitung

In der Bohrung KTB VB wurden mit dem Seitenkern-Gerät der Firma Schlumberger 72 Gesteinskerne horizontal aus der Bohrlochwand herausgebohrt. Diese Seitenkerne haben einen Durchmesser von 25 mm und eine maximale Länge von 50 mm.

Dieses Seitenkernen dient:

- (1) der Gewinnung von orientiertem Gesteinsmaterial von mehreren Kubikzentimeter Volumen und exakt bekannter Teufe aus nicht gekernten Abschnitten und
- (2) der Erprobung der Auswertungs-Möglichkeiten in Bezug auf Kerngröße, Kernzustand, Kernorientierung und Teufengenauigkeit insbesondere in Hinblick auf die Hauptbohrung.

In der Tab. G.1 werden die Teufen, der Kernzustand und die makroskopische, lithologisch-strukturelle Beschreibung wiedergegeben.

*) Anschrift des Verfassers: KTB Feldlabor
8486 Windischeschenbach

G.2 Kernzustand

Durch den Bohrprozeß werden die Seitenkerne mechanisch stark beansprucht, so daß von den 72 Seitenkernen 32 zerbrochen sind. Die 40 ($\approx 55\%$) unversehrten Seitenkerne weisen meist eine Länge zwischen 35 und 50 mm auf. Entsprechend ihrer größeren Festigkeit sind Seitenkerne aus Amphibolit und dem Zement, der bei Ablenkarbeiten ins Bohrloch eingebracht wurde, viel seltener zerbrochen als solche aus Sillimanit-Biotit-Gneis.

Einige stark zerbrochene Seitenkerne wurden ein zweites Mal gebohrt. In wenigen Fällen war die Teufen-Zuordnung in Folge geringen Kerngewinns oder durch Fehlfunktion des Geräts nicht völlig sicher möglich. In der Tab. G.1 sind diese Teufen-Angaben mit einem Fragezeichen versehen.

G.3 Orientierung der Seitenkerne

Die Seitenkerne werden nicht orientiert gebohrt, können aber später durch folgende Überlegungen orientiert werden.

- (1) Das Seitenkern-Gerät bohrt in etwa horizontal.
- (2) Der Azimut der Seitenkern-Achse kann durch nachträgliches Befahren mit dem Televier bestimmt werden, da Löcher in der Bohrlochwand abgebildet werden.
- (3) Die Krümmung der Bohrlochwand ist auf den Seitenkernen erhalten und ermöglicht so die Bestimmung der Richtung der Bohrkernachse, d.h. nahezu der Vertikalen, und die Unterscheidung von bohrlochnaher und -ferner Seite.
- (4) Da das Seitenkern-Gerät zunächst nicht genau horizontal sondern leicht schräg von oben her den Seitenkern zu bohren beginnt, findet sich an der Oberseite der Seitenkerne häufig eine schwache Aufwölbung, die sich über die ersten 5 mm in Richtung der Seitenkern-Achse erstreckt. Ist eine solche Aufwölbung zu beobachten, kann "Oben" und "Unten" zugeordnet werden.

Ergebnisse von Azimut-Messungen aus Televier-Aufnahmen liegen bislang nur vereinzelt vor. Die Krümmung der Bohrlochwand läßt sich bei 28 Seitenkernen feststellen, bei 23 davon läßt sich auch die Oberseite bestimmen, d.h. 32 % der Seitenkerne sind nach Durchführung der entsprechenden Televier-Aufnahmen vollständig orientierbar.

Tab. G.1: Makroskopische Beschreibung der Seitenkerne

Tool-Teufe	Kernzustand und makroskopische, lithologisch- strukturelle Beschreibung
1006 m	Ein 42 mm langes und viele kleine Bruchstücke. Mittelkörniger, flaseriger, alterierter Sillimanit-Biotit-Gneis mit Mobilisat-Linsen. Foliation nicht meßbar.
1115.0 m	Ein 45 mm langer Kern der parallel zur Foliation gespalten ist. Sehr feinkörniger Sillimanit-Biotit-Gneis mit wenig Granat und etwas Pyrit, vereinzelt 2 mm großen, idiomorphen Plagioklasen, strafflagigen Mobilisat-Lagen. Der Kern ist parallel zur Foliation gespalten. Die Foliation fällt mit 55° ein.
1130.0 m A	Der Kern ist in sechs 15 - 25 mm große Teile zerbrochen. Sehr feinkörniger, grauer, muskovitführender, mylonitischer? Biotit-Gneis mit Hellglimmerbelegter Verschiebungsfläche. Foliation nicht meßbar.
1130.0 m B	Der Kern ist in zwei 30 mm und zwei 15 mm große Teile zerbrochen. Sehr feinkörniger, grauer mylonitischer Biotit-Gneis mit 5 mm großen Granat-Aggregaten, pyritführend. Foliation nicht meßbar.
1159.5 m A	Ein 43 mm langer Kern. Kataklastischer (verheilt), vergrüunter, mittelkörniger ?Biotit-Gneis. Mit graphitreichen Scherbahnen (Einfallen 40°). Die Foliation fällt mit 65° ein.
1159.5 m B	Der Kern ist in ein 20 mm und sechzehn 5 - 12 mm große Teile zerbrochen. Quarzgang mit Graphitharnisch und alterierter, kataklastischer Biotit-Gneis. Foliation nicht meßbar.
1160.0 m	Ein 24 mm und ein 12 mm großes Stück von zusammen 38 mm Länge. Quarzreicher, kataklastischer (verheilt) Gneis, Harnisch mit Graphit-Spuren. Foliation nicht meßbar.

- 1160.5 m Ein 38 mm langes Stück.
Sillimanit-Biotit-Gneis mit Quarz-Feldspat-Flasern, kataklastisch (verheilt). Foliation nicht meßbar.
- 1161.0 m Ein 37 mm, ein 23 mm und ein 22 mm großes Bruchstück, zusammen 50 mm lang.
Leukokrater Metagabbro, chloritisiert und leicht kataklastisch (mit ?Prehnit verheilt).
- 1176.3 m Ein 47 mm und ein 15 mm langes Stück.
Mittelkörniger, leukokrater Granat-Hornblende-Gneis mit Pyrit, ?Ilmenit und ?Graphit. Die Foliation fällt mit 70° ein.
- 1216.8 m Ein 38 mm langer Kern. Rostige Flecken auf der Bohrlochwand.
Kontakt zwischen : (1) biotit- und pyrit-führender, foliierter Amphibolit und (2) foliierter Hornblende-Granat-Biotit-Gneis. Die Foliation fällt mit 85° ein.
- 1696.3 m Ein 37 mm langer Kern.
Der Kern besteht zu 99 % aus feinkörnigem Zement und zu 1 % aus Sillimanit-Biotit-Gneis. Sehr gute Bindung zwischen Zement und Gneis. Foliation nicht meßbar.
- 1712.0 m Ein 36 mm langer Kern aus Zement.
- 1735.8 m A Ein 40 mm, ein 10 mm und zehn 3 - 8 mm große Bruchstücke.
Hellgrüner, fein- bis mittelkörniger, völlig alterierter Biotit-Gneis, reich an Chlorit und Hellglimmer, Harnischfläche mit Graphit und Chlorit belegt. Foliation nicht meßbar.
- 1735.8 m B Der Kern ist in 8 - 25 mm große Teile plattig zerfallen.
Chlorit- und hellglimmerreicher, alterierter Biotit-Gneis. Foliation nicht meßbar.
- 1752.5 m Ein 47 mm langes Stück.
Feinkörniger Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis. Die Foliation fällt mit 60° ein.
- 1765.0 m Ein 31 mm, ein 22 mm und ein 8 mm großes Bruchstück.
Mittelkörniger, chloritisierter und hellverglimmerter Sillimanit-Biotit-Gneis mit Quarz-Feldspat-Mobilisaten, Pyrit und Graphit. Die Foliation fällt mit 80° ein.

- 1780.8 m Ein 32 mm langes Stück.
Alterierter Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis (reich an Chlorit und Hellglimmer) mit einer Quarz-Feldspat-Mobilisat-Lage und Pyrit.
- 1782.0 m Ein 43 mm langes Stück.
Sehr feinkörniger Sillimanit-Biotit-Gneis mit Sillimanit-Flasern. Die Foliation fällt mit 85° ein.
- 1782.5 m Ein 45 mm langer, schief gebohrter Kern mit einem axialen Bruch entlang einer Verschiebungsfläche mit Harnisch.
Feinkörniger Sillimanit-Biotit-Gneis mit vereinzelten Granat-Klasten. Die Foliation fällt mit 70° ein.
- 1792.8 m A Ein 21 mm großes und neun 8 - 15 mm kleine Bruchstücke.
Graugrüner, alterierter, mobilisatreicher Biotit-Gneis und ein Stück frischer, brauner Paragneis (wahrscheinlich Fremdmaterial). Foliation nicht meßbar.
- 1792.8 m B Der Kern ist in sehr viele 5 - 25 mm große Bruchstücke blättrig zerfallen.
Sillimanit-Biotit-Gneis mit Quarz-Gängchen (subparallel zur Foliation).
- 1798.5 m Zwei 24 und 28 mm und fünf 10 - 20 mm große Bruchstücke.
Mittelkörniger, flaseriger Granat-Sillimanit-Biotit-Gneis. Foliation nicht meßbar.
- 2638.0 m Ein 40 mm langer, kompletter Kern (dazu fünf wahrscheinlich fremde Biotit-Gneis-Bruchstücke von 10 - 15 mm Größe).
Folierter, leukokrater, mittel- bis grobkörniger, flaseriger Amphibolit mit rotbraunem Granat, titanit- und pyritführend, mit einem ?Prehnit-Gängchen. Die Foliation fällt mit 60° ein.
- 2642.0 m Ein 48 mm langer Kern.
Granat- und titanitreicher, leukokrater, fein- bis mittelkörniger, folierter, Biotit-Hornblende-Gneis (bis Amphibolit). Der Biotit ist völlig chloritisiert. Mit einem 1 mm mächtigen, weißen Gängchen. Die Foliation fällt mit 60° ein.

- 2648.0 m A Zwei scheibenförmige Bruchstücke von je 8 mm Länge (ein Stück direkt von der Bohrlochwand) und zwei unregelmäßige Bruchstücke von 8 und 5 mm Länge.
Leukokrater Amphibolit, titanit- und pyrrhotinführend, schwach foliiert und mit einem 1 mm mächtigen Prehnit-Gang.
- 2648.0 m B Ein 37 mm langer Kern.
Kataklastischer (verheilt), mittelkörniger, titanitführender, foliierter Amphibolit mit Biotit-Gneis-Lagen. Die Foliation fällt mit 85° ein.
- 2655.0 m A Ein 35 mm langer Kern.
Mittelkörniger Granat-Amphibolit bis Metagabbro. Biotit (und Chlorit) in kleinen Linsen, pyritführend. Die Foliation fällt mit 80° ein.
- 2655.0 m B Der 45 mm lange Kern ist in drei Scheiben von 25, 10 und 10 mm zerbrochen.
Kataklastischer (verheilt) Amphibolit, pyrit- und titanitführend, eine Scheibe ist reich an Pyrrhotin. Foliation nicht meßbar.
- 2659.0 m Ein 45 mm langer Kern.
Feinlagiger Amphibolit mit diskordanter Quarz-Feldspat-Mobilisat-Lage. Mit chloritisiertem Biotit auch im Mobilisat. Die Foliation fällt mit 75° ein.
- 2661.5 m Ein 31 mm langer Kern, ein 10 mm und drei 5 mm große Bruchstücke von zusammen 50 mm Länge.
Titanitreicher, foliierter Amphibolit mit scharf begrenztem, hellgrün alteriertem Amphibolit, pyritführend, mit chloritisertem Biotit. Die Foliation fällt mit 63° ein.
- 2664.5 m Ein 43 mm langer Kern und drei 8 - 15 mm große Bruchstücke.
Titanitreicher, mittelkörniger Amphibolit (Metagabbro ähnliches Gefüge), mit idiomorphen Pyriten. Die Foliation fällt mit 50° ein.
- 2672.3 m Ein 48 mm langer Kern.
Feinkörniger Titanit-Amphibolit mit Plagioklas-Blasten und einem Band aus mittelkörnigem, leukokratem Amphibolit und einem ?Prehnit-Gang. Die Foliation fällt mit 47° ein.
- 2677.7 m Ein 46 mm langer Kern.
Chloritisierter Amphibolit mit Quarz-Feldspat-Mobilisat-Flasern, reich an Epidot (auf Klüften) und Titanit, calcitführend.

- 2680.0 m Ein 34 mm langer Kern und fünf 10 - 15 mm große Bruchstücke.
Chloritisierter Epidot-Amphibolit mit Plagioklas-Blasten (3 mm groß, in schlierigen Lagen angereichert), pyritführend. Die Foliation fällt mit 50° ein.
- 2685.6 m Der Kern ist scheibenförmig zerfallen in zwei 17 mm, ein 11 mm und ein 7 mm großes Bruchstück.
Schlierig-streifiger, teilweise chloritisierter Amphibolit mit einer hellgrün-gelbgrünrot-gestreiften Kalksilikat-Linse (Mineralbestand vermutlich Amphibol, Klinopyroxen, Epidot und Granat). Foliation nicht meßbar.
- 2688.0 m Der 40 mm lange Kern ist in ein 15 und ein 25 mm langes Stück zerbrochen.
Mittelkörniger Biotit-Amphibolit bis Biotit-Hornblende-Gneis, schlierig, mit viel Titanit und Pyrit, teilweise chloritisiert. Foliation nicht meßbar.
- 2692.5 m Ein 38 mm großes, 2 mittlere und 4 kleine Bruchstücke mit einer Gesamtlänge von 41 mm.
Alterierter, feinkörniger Biotit-Gneis mit vereinzelt Granat, pyritimprägniert. Foliation nicht meßbar.
- 2848.0 m Zwei große und 2 kleine Bruchstücke von zusammen 47 mm Länge.
Mittelkörniger Biotit-Gneis mit einzelnen, 1 mm großen Granaten, mit Quarz-Feldspat-Mobilisatlagen. Der Biotit ist zur Hälfte chloritisiert. Die Foliation fällt mit 40° ein.
- 2872.5 m Ein 31 mm großes und viele kleine Bruchstücke.
Leukokrater, quarz- und feldspatreicher Biotit-Gneis, mäßig alteriert (noch frischer Biotit), einzelne Granate. Foliation nicht meßbar.
- 3164.0 m 17 kleine Bruchstücke von 5 - 15 mm.
Alterierter Biotit-Gneis, reich an Chorit, Hellglimmer und Quarz-Feldspat-Mobilisaten. Dazu 4 Stücke frischer, brauner, feinkörniger Sillimanit-Biotit-Gneis (wahrscheinlich Fremdmaterial). Foliation nicht meßbar.
- 3579.0 m A Zwei größere (10 - 22 mm) und 8 kleinere (5 - 15 mm) Bruchstücke.
Feinkörniger bis mittelkörniger Amphibolit, granatführend (teilweise mit ?Plagioklas-Corona), leicht foliiert mit flaserigen Quarz-Feldspat-Mobilisaten. Foliation nicht meßbar.

- 3579.0 m B Der 47 mm lange Kern ist in 2 Teile von 15 und 35 mm zerbrochen.
Melanokrater, fein- bis mittelkörniger, massiger Amphibolit, mit einer Quarz-Feldspat-Mobilisat-Schliere und einem weißen Gängchen. Foliation nicht meßbar.
- 3658.7 m? Ein 45 mm und zwei 10 mm große Bruchstücke von zusammen 47 mm Länge.
Sehr feinkörniger Amphibolit mit gestreckten Quarz-Feldspat-Mobilisaten. Das Streckungslinear liegt söhlig.
- 3659.2 m? Der 50 mm lange Kern ist in ein 20 mm und zwei 10 mm lange Stücke zerbrochen.
Sehr feinkörniger, melanokrater Amphibolit mit straffen, gestreckten, verfalteten Quarz-Feldspat-Mobilisat- und Granat-Lagen. Die Foliation fällt mit 15° ein.
- 3659.7 m? Der 48 mm lange Kern ist in 2 Teile von 30 und 20 mm zerbrochen.
Sehr feinkörniger Granat-Amphibolit mit schmalen, gestreckten Quarz-Feldspat-Mobilisaten. Messung der Foliation nicht möglich.
- 3781.0 m ? Elf 5 - 10 mm große Bruchstücke.
Sechs Stücke Quarz-Feldspat-Mobilisat mit Chlorit und Pyrit. Ein Stück mittelkörniger, leukokrater Biotit-Gneis. Vier Stücke frischer Sillimanit-Biotit-Gneis.
- 3783.0 m Der 47 mm lange Kern ist in 3 Stücke zerbrochen.
Feinkörniger, foliierter Metagabbro. Die Foliation fällt mit 60° ein.
- 3787.8 m Ein 42 mm langer Kern.
Granatführender massiger Metagabbro bis Amphibolit.
- 3804.0 m A Ein 45 mm langer Kern.
Metagabbro mit wenig Pyrit.
- 3804.0 m B Ein 33 mm langer Kern.
Metagabbro mit Quarz-Feldspat-Mobilisat, leicht foliiert (?kataklastisch). Die Foliation fällt mit 75° ein.
- 3811.0 m A Ein 35 mm langer, schief gebohrter Kern.
Metagabbro bis Amphibolit, leicht alteriert, mit Pyrit.

- 3811.0 m B Ein 43 mm langer Kern mit technisch verursachten Längsriefen.
Alterierter, feinkörniger Amphibolit.
- 3816.8 m? A Fünf 10 bis 20 mm große Bruchstücke.
?Amphibolit oder ?Gneis mit offenem Kluft-Kristallrasen (Prehnit?)
- 3816.8 m B Ein 46 mm langer Kern.
Feinkörniger Granat-Amphibolit mit Quarz-Feldspat-Mobilisat-Schlieren.
- 3847.5 m A Sechs 4 bis 10 mm große Bruchstücke.
Epidot- und pyritreicher Amphibolit und ein Quarz-Epidot-Gang-Bruchstück.
- 3847.5 m B Ein 47 mm langer Kern.
Feinkörniger Biotit-Gneis mit Streckungslinear. Die Foliation fällt mit 55° ein.
- 3871.0 m A ? Elf 5 bis 15 mm große Bruchstücke.
Stark epidotisierter Amphibolit, ein Bruchstück mit schwarzer Hornblende.
- 3871.0 m B Ein 52 mm langer Kern mit Überbohrspuren.
Pyritimprägnierter Epidot-Amphibolit.
- 3885.0 m Ein 44 mm langer Kern mit ?core discing.
Amphibolit mit einem Mobilisat-Band. Foliation undeutlich entwickelt (?saiger).
- 3916.3 m Ein 42 mm langer Kern.
Melanokrater, feinkörniger, undeutlich foliierter granatführender Amphibolit. Die Foliation fällt mit 30° ein.
- 3930.0 m Der 43 mm lange Kern ist in ein 30 mm und ein 14 mm großes Stück zerbrochen.
Folierter Biotit-Amphibolit bis Hornblende-Gneis. Die Foliation fällt mit 85° ein.
- 3932.0 m Ein 32 mm langer Kern.
Feinkörniger, melanokrater Granat-Amphibolit.
- 3950.1 m Ein 43 mm langer Kern.
Massiges Quarz-Feldspat-Gestein mit epidotgefüllten Klüften.
- 3972.0 m Ein 43 mm langer Kern.
Granatreicher ?Metagabbro, mit Corona-Textur.
- 3974.5 m Ein 45 mm langer Kern.
Folierter Metagabbro bis Amphibolit ohne Granat. Die Foliation fällt mit 75° ein.

- 3982.0 m Ein 47 mm langer Kern.
Feinkörniger, alterierter hell graugrüner Amphibolit?, mit Scherbahn, stengelig gestreckt? Die Foliation fällt mit 77° ein.
- 3987.3 m Ein 39 mm langer Kern.
Follierter Amphibolit, meist hellgrün alteriert, mit mm-großen, dunkelgrünen Hornblenden. Die Foliation fällt mit 73° ein.
- 3988.5 m Ein 45 mm langer Kern und drei kleine Bruchstücke von 9 - 18 mm Größe.
Massiger Amphibolit mit Quarz-Feldspat-Mobilisat-Lagen, mittelstark alteriert. Dazu noch zwei kleine Amphibolit-Bruchstücke und ein Graphit-Pyrit-Quarz Bruchstück.
- 3996.0 m Ein 28 mm langer Kern.
Massiges, mittelkörniges, leukokrates Quarz-Feldspat-Gestein mit Chlorit und Pyrit.
- 3997.0 m Ein 20 mm langer Kern.
Feinkörniger, dunkelgrüner, biotitführender Amphibolit, teilweise chloritisiert.
- 3999.8 m Ein 27 mm großes Stück und kleine Bruchstücke von 3 - 8 mm Größe.
Massiges, leukokrates Quarz-Feldspat-Epidot-Gestein mit Chlorit-Butzen, stark pyritvererzt, mit graphit- und pyritbelegten Verschiebungsfächen.