

## C. Geochemie

KTB Oberpfalz VB -  
Röntgenanalytik  
Spülungsanalytik  
Gasanalytik

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

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

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

### C. Geochemie

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

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

\*Anschrift der Autoren:

KTB-Feldlabor, D-8486 Windischeschenbach

### C.1 Einleitung

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

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

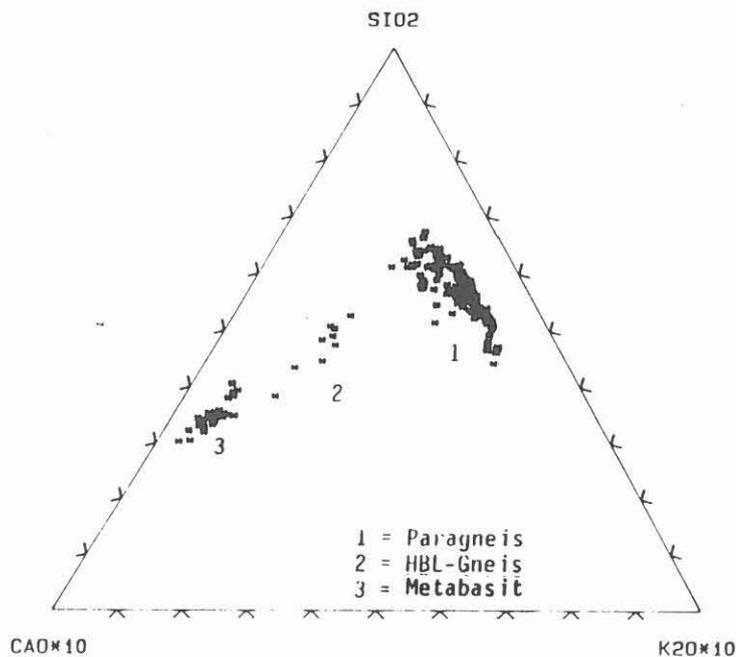


Abb.C.1.1:  $K_2O$ - $CaO$ - $SiO_2$ -Dreiecksdiagramm

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

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

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

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

## C.2 Probenahme und Probenaufbereitung

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

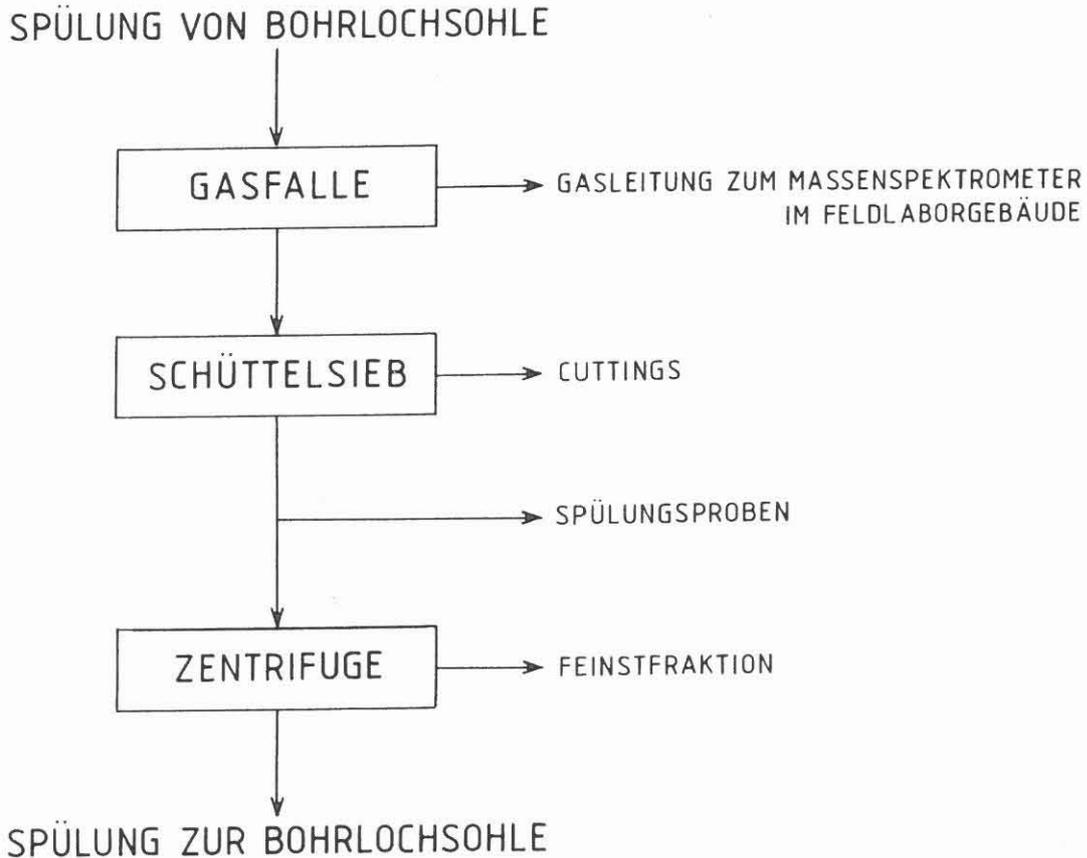


Abb. C.2.1: Schema der Probenarten

### C.3 Röntgenanalytik

#### C.3.1 Allgemeines

Die an den Zentrifugen-Proben (Z-Proben) gewonnenen chemischen und mineralogischen Daten wurden benutzt, um ein grobes lithologisches Profil zu erstellen. Von den auf diese Weise stofflich charakterisierten Gesteinstypen wurden repräsentative Proben aus den entsprechenden Kernsektionen ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, das jeweils frischeste Material zu beproben. Aus diesem Grund ergeben sich gelegentlich auch Unterschiede zu den Z-Probenanalysen, die homogene Mischproben über einen dm-m - Bereich darstellen. Um den Probendurchsatz zu erhöhen und damit schneller auch für die Technik aktuelle Ergebnisse verfügbar zu haben, wurde ein RFA-Meßprogramm aufgebaut, daß es erlaubt, an Pulverpreßtabletten neben ausgewählten Spurenelementen auch die wichtigsten Hauptbestandteile zu bestimmen. Dieses Programm wurde zur Routineuntersuchung der Bohrmehl-Proben eingesetzt. Die reine Meßzeit beträgt 20 min., wobei derzeit folgende Hauptbestandteile und Spurenelemente erfaßt werden:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  sowie Rb, Sr, Y, Zr, Zn und Ni. Damit erfolgt die Bestimmung der mineralogischen und chemischen Zusammensetzung am gleichen Präparat. Die mit dieser vereinfachten chemischen "Übersichtsanalyse" gewonnenen Daten sind hinreichend zuverlässig und genau, wie die in Tab.C.3.1 zusammengestellten Ergebnisse an internationalen Referenzgesteinen zeigen.

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

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

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

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

Tab. C.3.1 Fortsetzung:

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

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

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

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

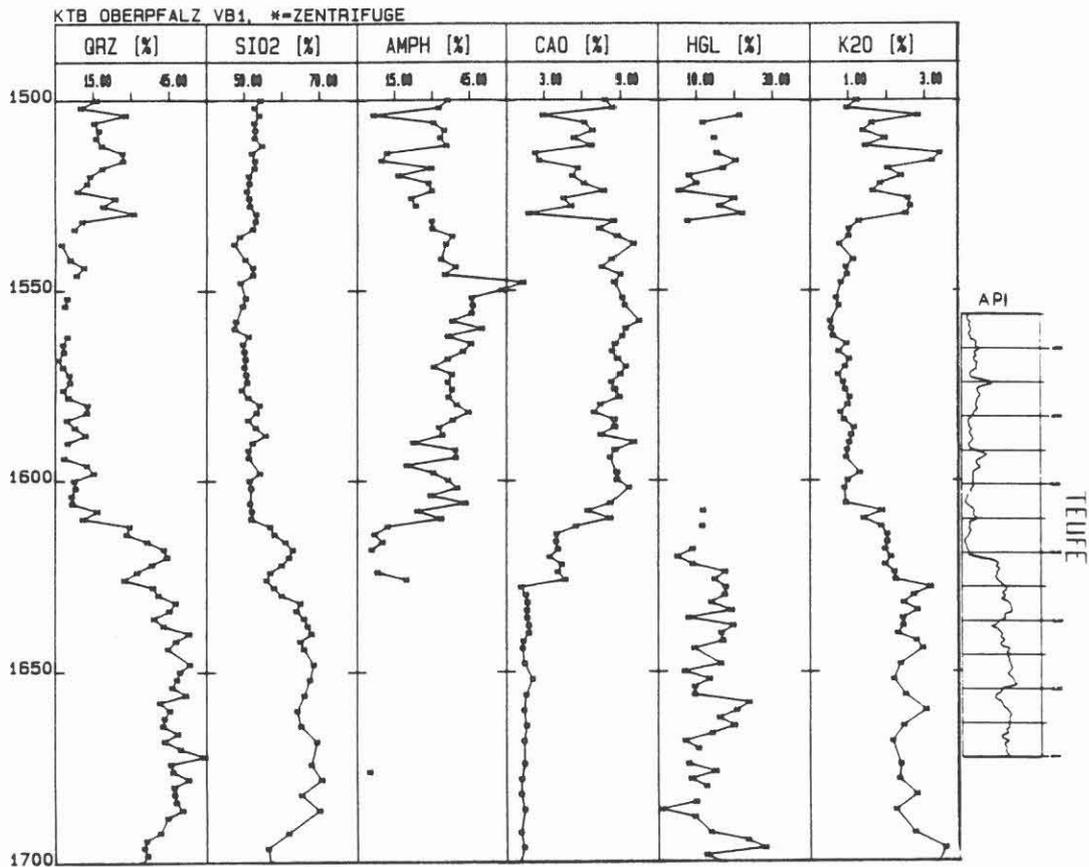


Abb. C.3.1: Übersichts- Profil von ausgewählten Z- Proben- daten im Bereich 1530 m - 1630 m (QRZ= Quarz, Amph = Amphibol, HGL = Hellglimmer; 1 : 200).Zu- sätzlich dargestellt ist das Gamma-Ray- Log in Api- Einheiten.

Bei beiden Hauptgesteinsgruppen, die das erbohrte Profil aufbauen, können mineralogisch und chemisch noch weiter untergliedert werden. Der bis zur Teufe 1530 m anstehende vererzte, biotit und granatführende Hbl-Gneis wird ab 1530 m von einer Metabasitserie abgelöst. Der Übergang wird durch eine kleinere, mit Pyrit vererzte Störungszone angezeigt. Eine Zentrifugenprobe aus dem Teufenbereich 1530 m zeigt erhöhte HGL, Chlorit, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Ni-Gehalte. Die chemische und mineralogische Zusammensetzung einer Probe aus dieser Zone ist in Tab. C.3.2 zusammengestellt.

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

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

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

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

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

Akz.: Ilmenit, Prehnit, EPD - Gruppe

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

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

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

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

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

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

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

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

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

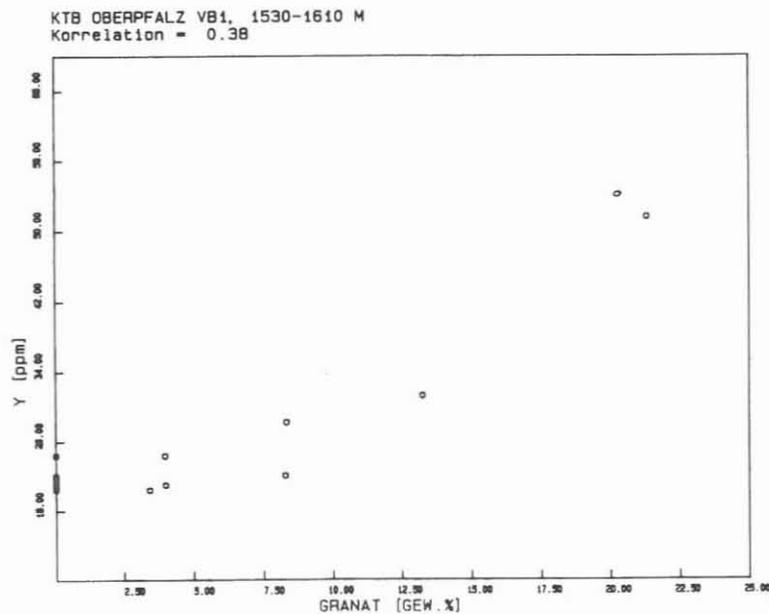


Abb. C.3.2: Variationsdiagramm Y/Granat. Deutlich wird eine selektive Anreicherung von Y (und damit vermutlich auch der schweren Seltenen Erden) mit steigenden Granatgehalten in den Metabasiten.

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

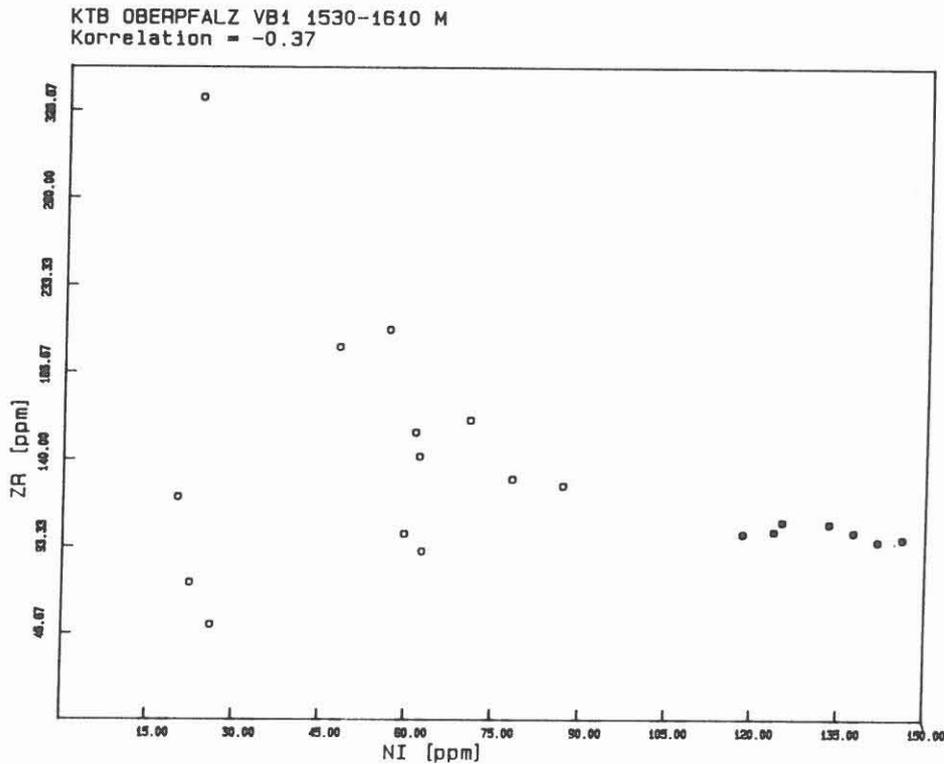


Abb. C.3.3 Zr-Ni-Korrelationsdiagramm zur chemischen Unterscheidung von "normalen" (o) und Ni-reichen Metabasiten (·).

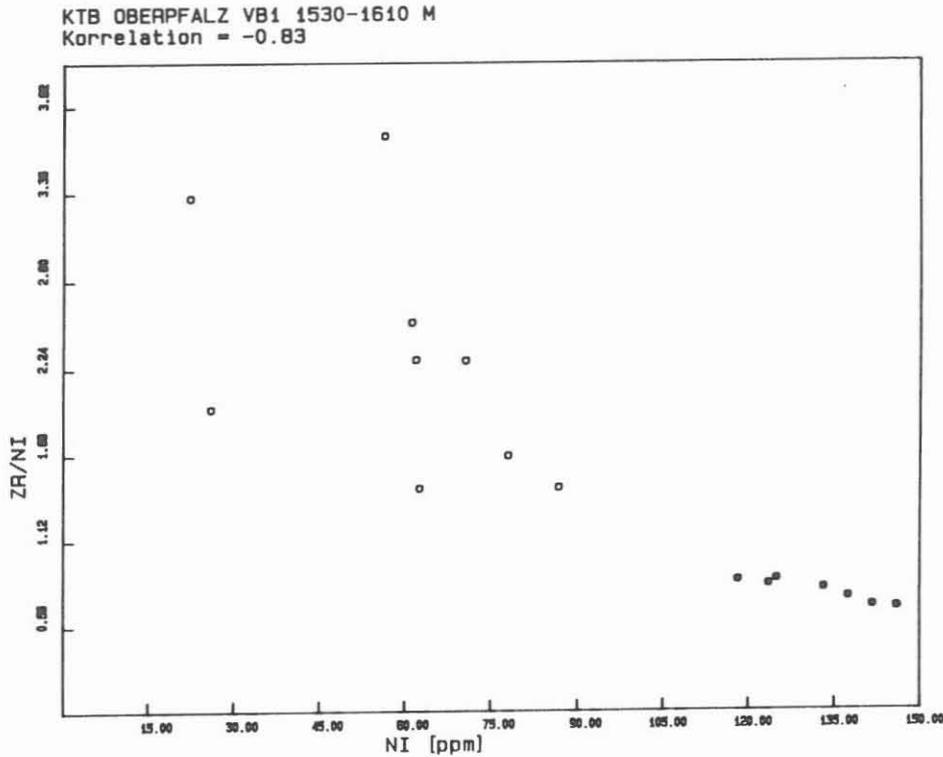


Abb. C.3.4: Zr/Ni-Ni - Korrelationsdiagramm zur chemischen Unterscheidung von "normalen" (o) und Ni-reichen Metabasiten (·).

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

Tab. C.3.4: Metagabbros 1531, 1534 m

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Chemisch charakteristisch ist eine extreme Verarmung an Kalium, Rb und Sr; SiO<sub>2</sub> - Gehalte <45 Gew.% sowie eine Anreicherung an MgO und Ni. Chemisch ähnliche Gesteine traten schon im Teufenbereich 1230 - 1500 m auf (siehe STROH et.al, 1988 KTB - Report 88-6 ). Die chemische und mineralogische Zusammensetzung eines ausgewählten Kernstücks ist in Tab. C.3.6 aufgeführt. Auffallend an der Z - Probenzusammensetzung in diesem Bereich waren erhöhte Ni - Gehalte, Verarmung an Zr gegenüber den anstehenden Metabasiten sowie CPX im röntgenographisch ermittelten Modalbestand.

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

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

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

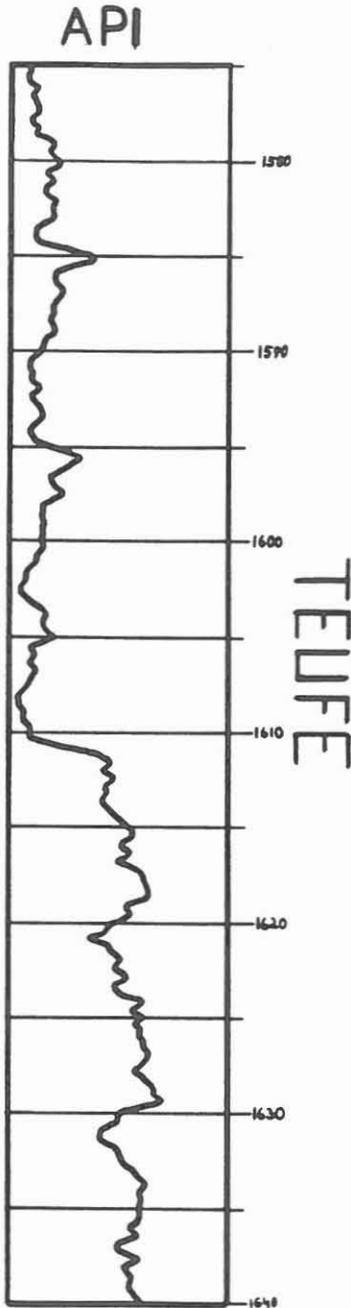


Abb. C.3.5 : Ausschnitt eines Gamma Ray Logs im Teufenbereich 1575 - 1640 m. Die relativ niedrigen API- Einheiten bis 1612m entsprechen basischen, an LIL - Elementen verarmten Gesteinen (Metabasit - Serien), während der Anstieg auf wesentlich höher API -Werte unterhalb 1612m charakteristisch für saure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

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

Im folgenden werden die verschiedenen Gneistypen jeweils kurz

charakterisiert und durch ihre Mittelwerte und Variationsbereiche beschrieben.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Der Paragneistyp im Teufenbereich von 1773 - 1817 m ist stellenweise sehr quarz- und biotitreich und kaum vererzt. Chemisch auffallend sind hier erhöhte K-, Rb- und Zr-Gehalte. Die mittleren Zr-Gehalte der Z-Proben liegen im Durchschnitt um 20 - 50 ppm höher als bei den anderen zuvor beschriebenen Paragneisen. Eine chlorisierte Zone im Teufenabschnitt 1780 - 1782 m macht sich chemisch mit einem Ni-Peak bemerkbar. Bei 1810 m konnte in den Zentrifugenproben röntgenographisch bis zu 3 Gew.% Sillimanit nachgewiesen werden. Bis zu 6 Gew.% Sillimanit wurden im Kernstück 405F1t aus einer Teufe von 1804 m gemessen. Die Sillimanit-haltigen Proben sind chemisch durch erhöhte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte charakterisiert. Die mineralogischen und chemischen Daten für diesen Teufenabschnitt sind in Tab. C.3.12 zusammengefaßt.

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

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

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

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

Zwischen 1818 und 1820 m folgt eine weitere Störungszone, in der die Paragneise stärker chloritisiert und vererzt sind (Tab.C.3.13). Auffällig ist hier eine starke Anreicherung an Hellglimmer (bis 39 Gew.%), die mit einer deutlichen Erhöhung der K<sub>2</sub>O-Gehalte (bis 4.26 Gew.%) einhergeht. Auch in dieser Zone ist das Rb wieder deutlich angereichert.

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

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

1) = nur in einer Probe nachgewiesen

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

1 m verdichtet.

Der im Teufenbereich von 1821 - 1853 m durchbohrte Paragneis zeichnet sich mit der Tiefe zunehmenden Quarz- und Plagioklasgehalte aus, während parallel damit die Hellglimmerführung und insgesamt der Grad der Alteration abnehmen. Chemisch äußert sich diese Entwicklung, die im wesentlichen durch die abnehmende Alteration mit der Tiefe bedingt sein dürfte, durch eine Zunahme an SiO<sub>2</sub> und eine Abnahme von K und Rb. Lokal treten noch Pyritvererzungen mit Gehalten bis zu 3 Gew.% auf; vereinzelt sind die Gneise granatführend. Die Daten für diesen Teufenbereich sind in Tab.C.3.14 zusammengestellt.

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

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

Die Paragneisabfolge im Teufenbereich von 1853 - 1980 m zeigt mineralogische und chemische Variationen, die im wesentlichen alterationsbedingt sind. Stärker alterierte Partien sind jeweils durch eine Anreicherung an Hellglimmer und Chlorit sowie in der Regel auch eine leichte Sulfidvererzung gekennzeichnet. Insgesamt nimmt die Häufigkeit dieser Alterationszonen mit der Tiefe stark zu. Die mittleren Zusammensetzungen und Variationsbereiche der Gneise dieses Teufenbereichs sind in Tab.C.3.15 zusammengefaßt. Besonders intensiv ist die Alteration im Teufenbereich von 1981 - 1998 m (Tab.C.3.16). Die hier anstehenden Paragneise sind mineralogisch und chemisch stark verändert. Die Gehalte an Quarz und Plagioklas nehmen stark ab, während Hellglimmer und Chlorit beträchtlich angereichert werden. Der gesamte Abschnitt ist intensiv mit Pyrit (bis zu 4 Gew.%) vererzt. Die mineralogischen Veränderungen spiegeln sich auch im Gesteinschemismus wieder. Der SiO<sub>2</sub>-Gehalt und die Gehalte an MgO und Sr nehmen stark ab, während die Gehalte an Fe, K, Rb, Ni und Zr beträchtlich angereichert werden.

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

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

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

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

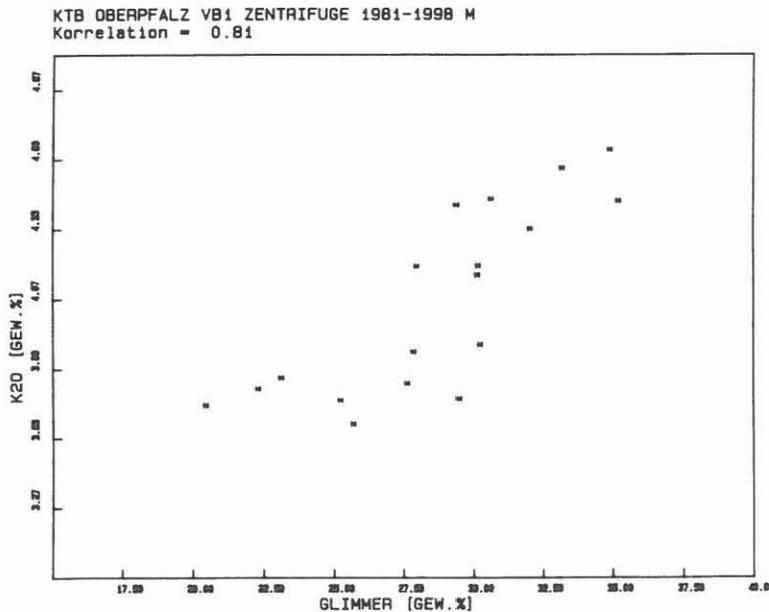


Abb.C.3.7: Glimmer (hauptsächlich Hellglimmer) / K Korrelationsdiagramm

KTB OBERPFALZ VB1 ZENTRIFUGE 1981-1998  
Korrelation = -0.83

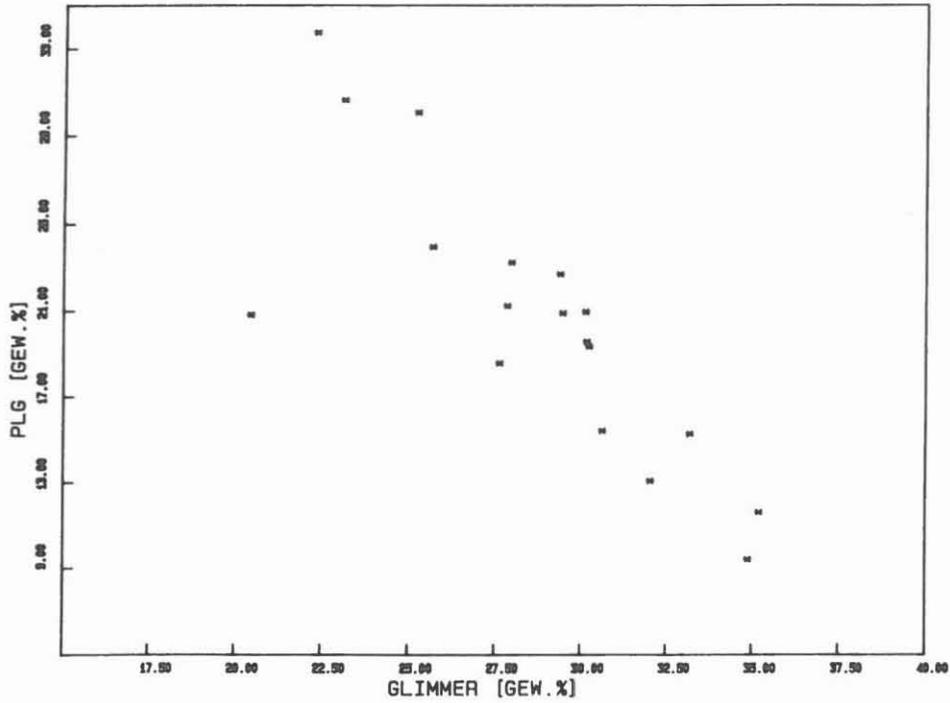


Abb.C.3.8: Plagioklas / Glimmer - Korrelationsdiagramm

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

KTB OBERPFALZ VB1 ZENTRIFUGE 1981-1998  
Korrelation = 0.86

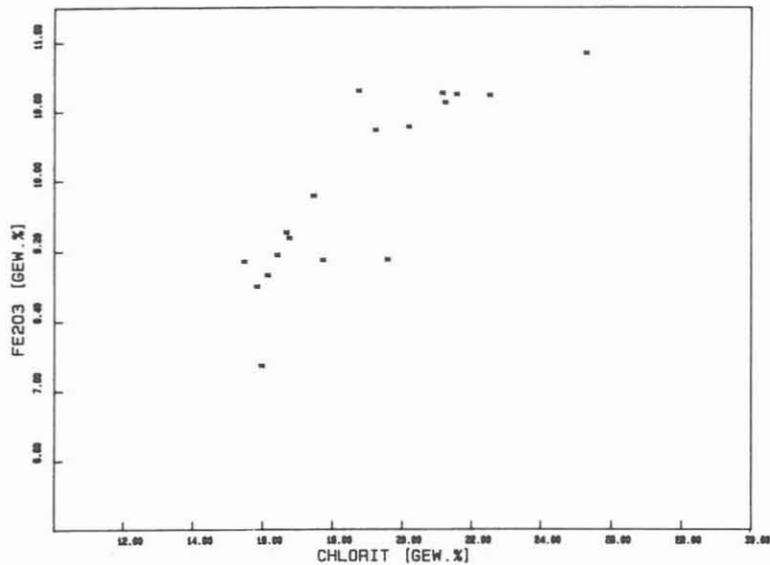


Abb.C.3.9: Chlorit/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Korrelationsdiagramm

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

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

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

### C.3.3. Bestimmung der Gesteinsdichte aus röntgenographischen Daten

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

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

dabei ist:

$\rho$  = Dichte  
V = Volumen  
M = Masse

Es gilt:

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

V setzt sich additiv aus den Einzelvolumina zusammen:

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

bzw.

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

mit

$V_i$  = Volumen der i'ten Phase  
 $M_i$  = Masse der i'ten Phase  
 $\rho_i$  = Dichte der i'ten Phase  
 $X_i$  = Gewichtsprozent der i'ten Phase

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

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

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

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

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

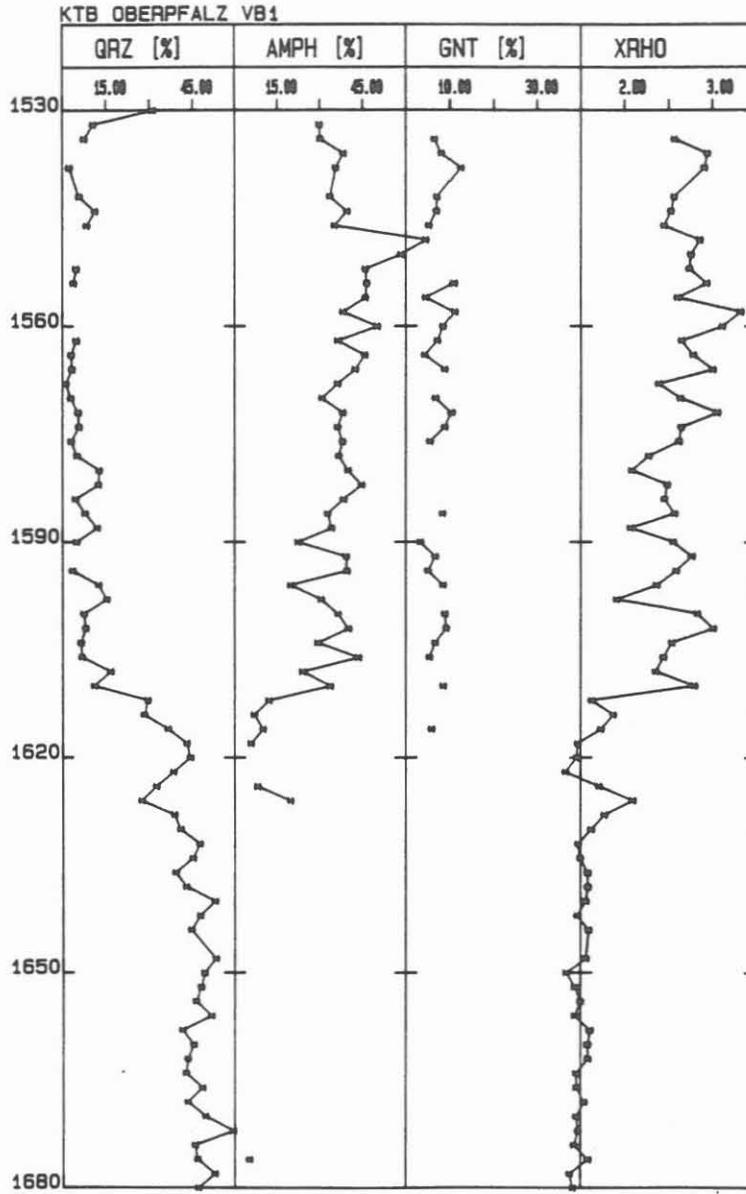


Abb.C.3.10: Ausschnitt eines Teufenlogs (1530 - 1680 m) mit den Mineralphasen Quarz (QRZ), Amphibol (AMPH) und Granat (GNT). Zusätzlich ist die berechnete Röntgendichte (XRHO) eingezeichnet.

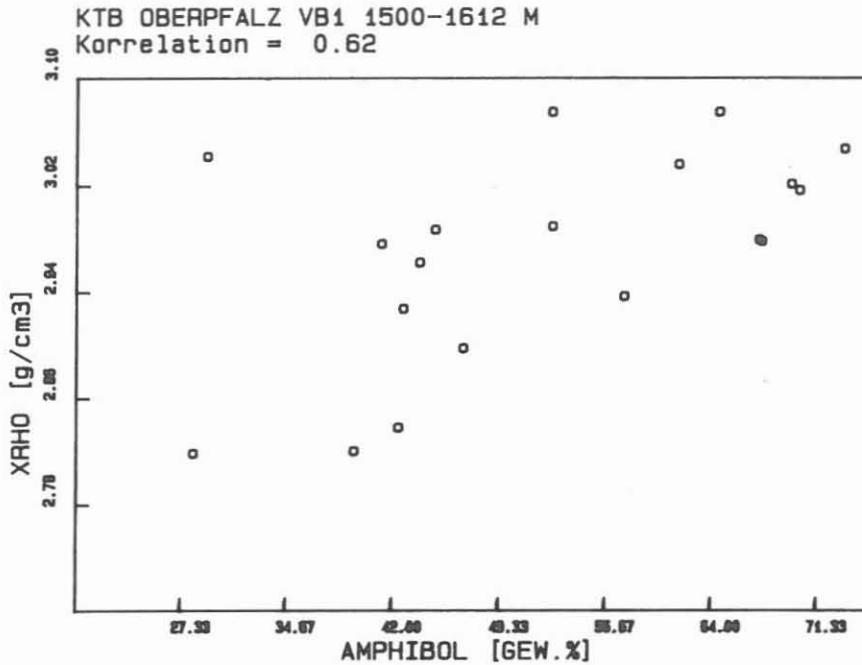


Abb.C.3.11: Amphibol/Dichte - Diagramm im Teufenbereich 1500 - 1612 m (Metabasitserie).

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

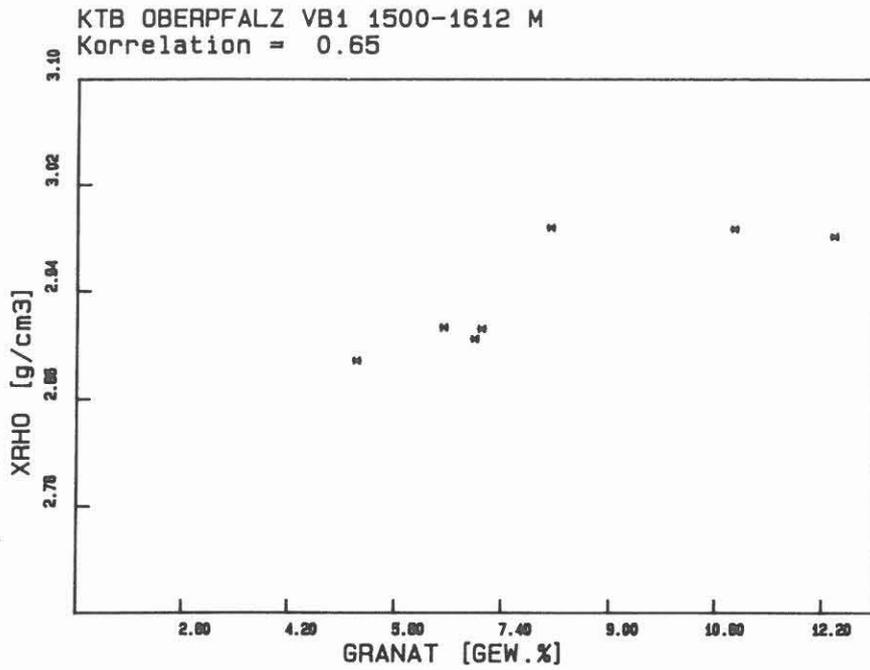


Abb.C.3.12: Granat/Dichte - Diagramm im Teufenbereich 1500 - 1612 m (Metabasitserie).

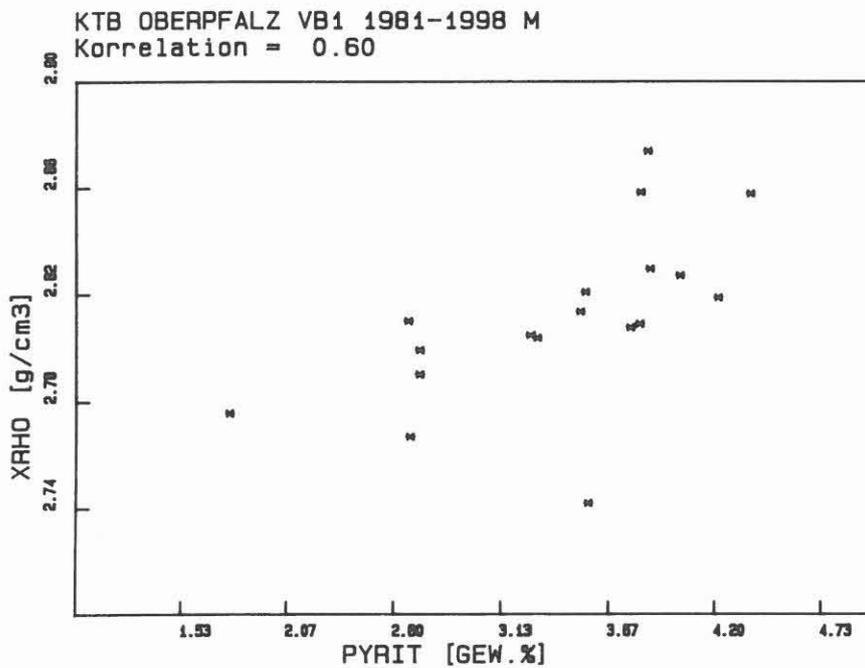


Abb.C.3.13: Pyrit/Dichte - Diagramm im Teufenbereich 1981-1998 m (überprägter, alterierter Paragneis).

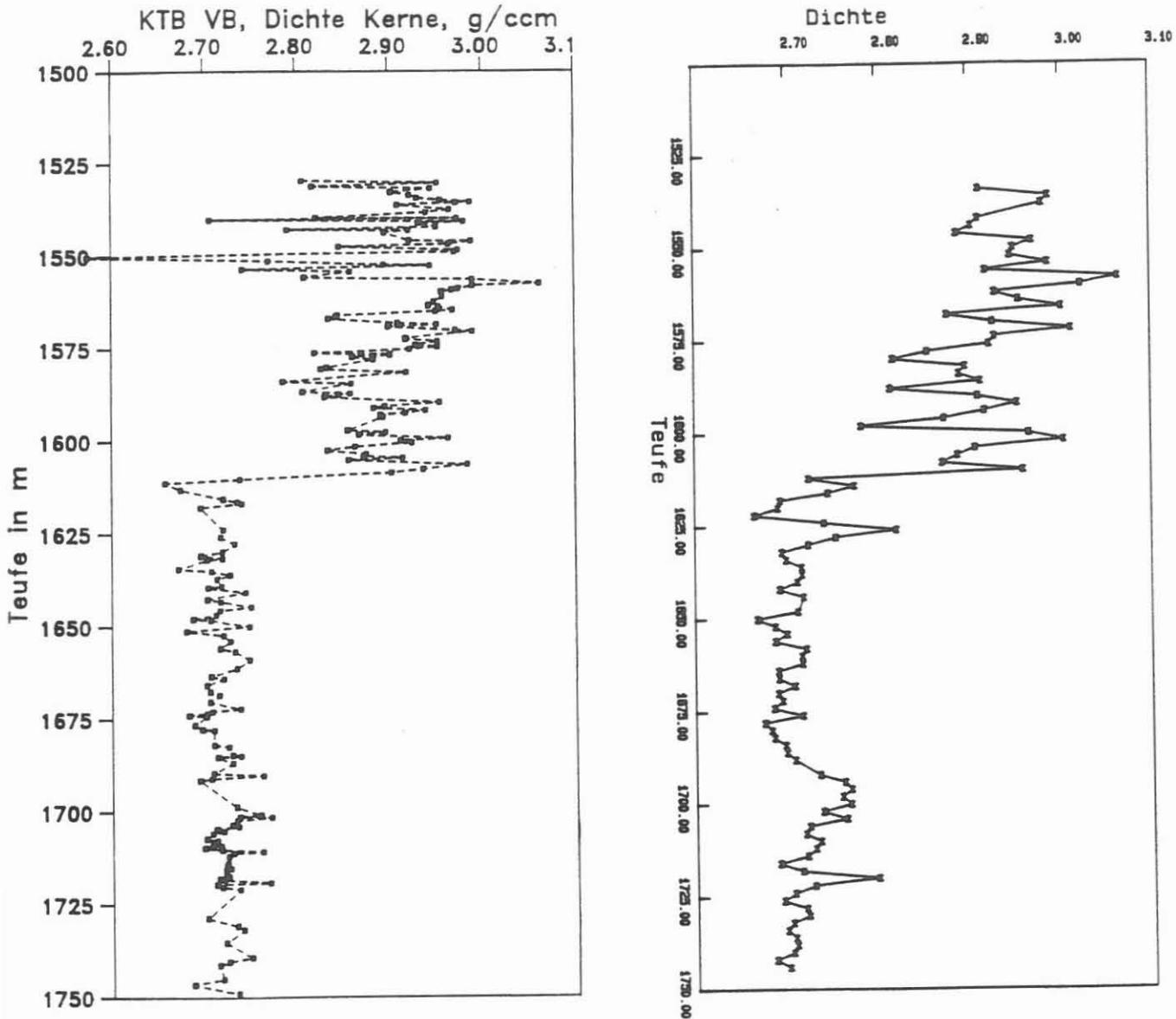


Abb.C.3.14: Vergleich der Röntgendichte (XRHO; rechte Seite) mit den geophysikalisch bestimmten Dichtewerten (linke Seite). Die mit geophysikalischen Methoden bestimmten Dichtewerte wurden uns freundlicherweise von der Feldlabor-Arbeitsgruppe Geophysik überlassen. Es wird, bis auf eine mit Nachfall kontaminierte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

#### C.4 Spülungsanalytik

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

Die Kationenanalysen sind im Anhang als Teufenlogs im Maßstab 1 : 2000 (Übersichtslog) und im Maßstab 1 : 1000 dargestellt. Die teufenbezogenen Elementgehalte der Anionen  $\text{Cl}^-$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  in der Bohrspülung sind zusammen mit den Gasanalysen ebenfalls als Teufenlogs im Anhang aufgeführt.

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

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

Das gesamte zirkulierende Spülungsvolumen variierte im Teufenbereich von 1530 bis 1998 m zwischen 56 und 72 m<sup>3</sup>.

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

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

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

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

Durch Laborversuche konnten wir bereits zeigen, daß eine

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

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

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

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

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

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

Tab. C.4.2 Fortsetzung:

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

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

Im Bereich der Havariezone bei 1998 m reichert die Spülung in geringem Maße Ca,  $\text{Cl}^-$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  an. Die Sulfat-Anreicherung erklärt sich durch die Oxidationsreaktion der Bohrspülung mit dem in dieser Störungszone vorkommenden Pyrit. Die Ca und  $\text{Cl}^-$  - Anreicherungen in der Havariezone sind jedoch viel zu gering, um für den Teufenbereich 1993 - 1997 einen Zuflußbereich salinärer Formationswässer zu postulieren. Durch die kontinuierliche Spülungsanalytik im Teufenbereich zwischen 1530 bis 1998 m bestätigt sich die Erfahrung, daß die Gesteine, die bisher in der ZEV erbohrt wurden, durch

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

## C.5 Gasanalytik

### C.5.1 Allgemeines

Auch im Teufenbereich 1530 - 1998 m wurde quasi-kontinuierlich die in der Bohrspülung enthaltenen Gase bestimmt, die mit einem Quirlentgaser freigesetzt werden. Analysiert wurden die Gase N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar, He, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He und H<sub>2</sub>O. Die Daten sind in Form von Teufenlogs im Anhang Abb.C.9.4 dargestellt.

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

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

### C.5.2 Meßergebnisse

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

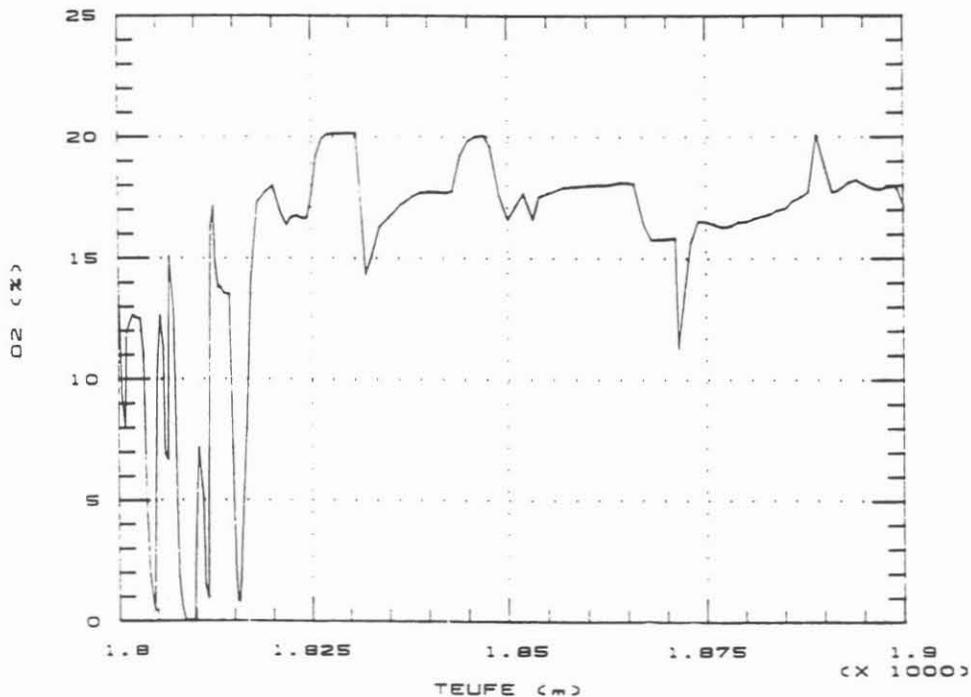


Abb.C.5.1: Sauerstoffgehalte der Bohrspülung des Teufenbereichs 1800 - 1900m

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

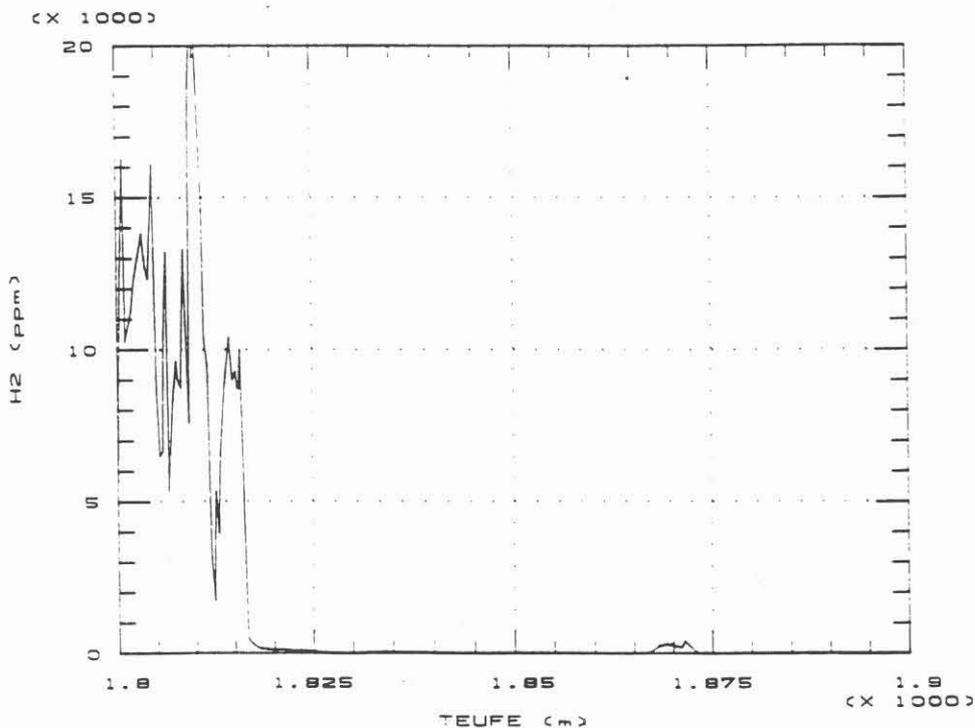


Abb.C.5.2: Wasserstoffgehalte der Bohrspülung des Teufenbereichs 1800 - 1998m

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

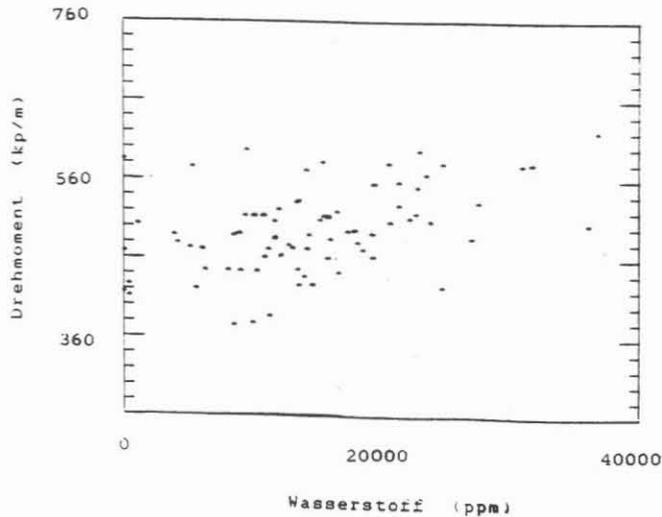


Abb.C.5.3: Korrelation zwischen Drehmoment beim Bohren und Wasserstoffgehalten der Bohrspülung

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

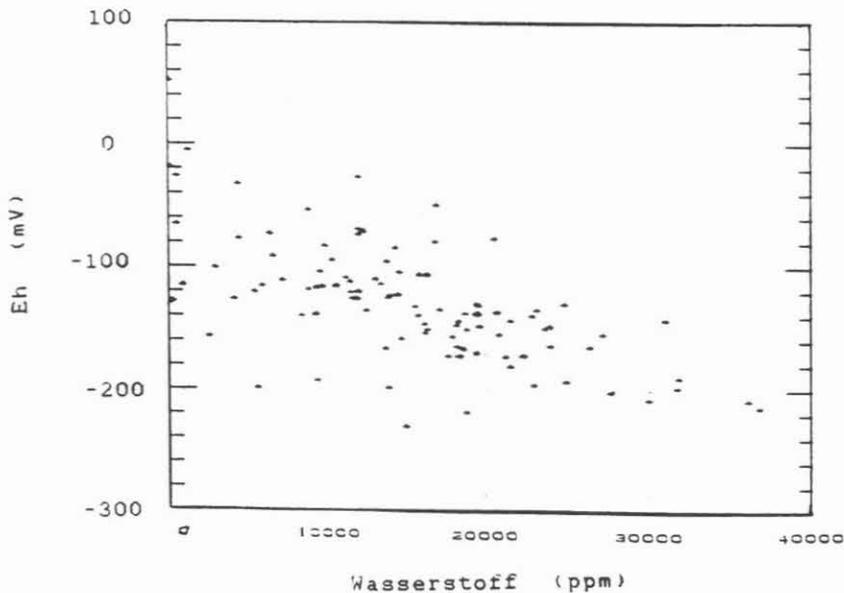


Abb.C.5.4: Abhängigkeit zwischen den Eh-Werten der Bohrspülung und der in der Bohrspülung gelösten Wasserstoffkonzentration

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

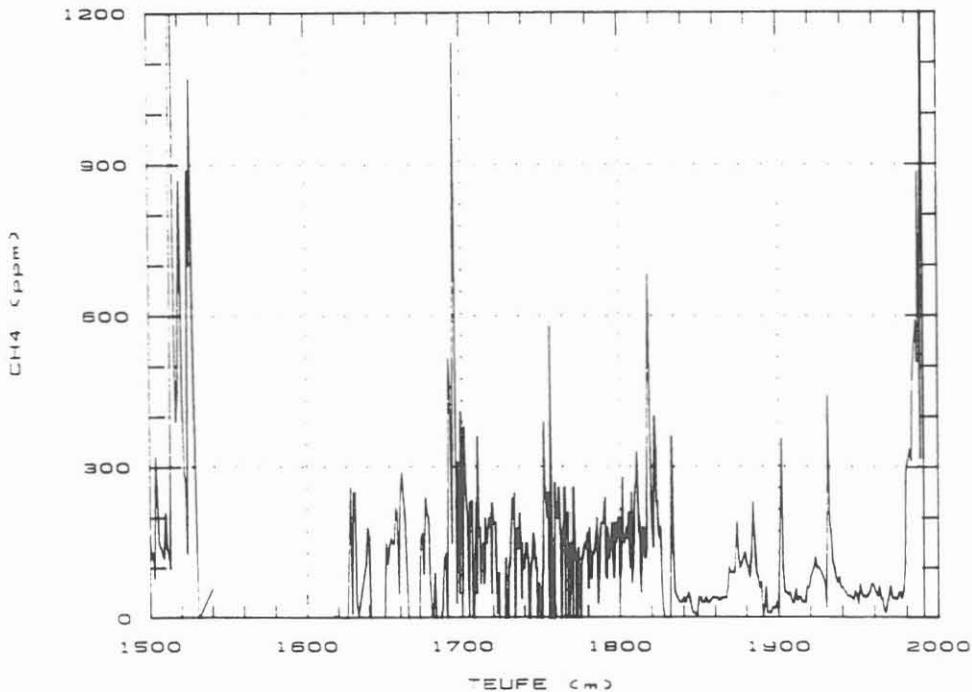


Abb.C.5.5: Methangehalte in der aus der Bohrspülung freigesetzten Gasphase des Teufenbereichs 1500-2000m

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

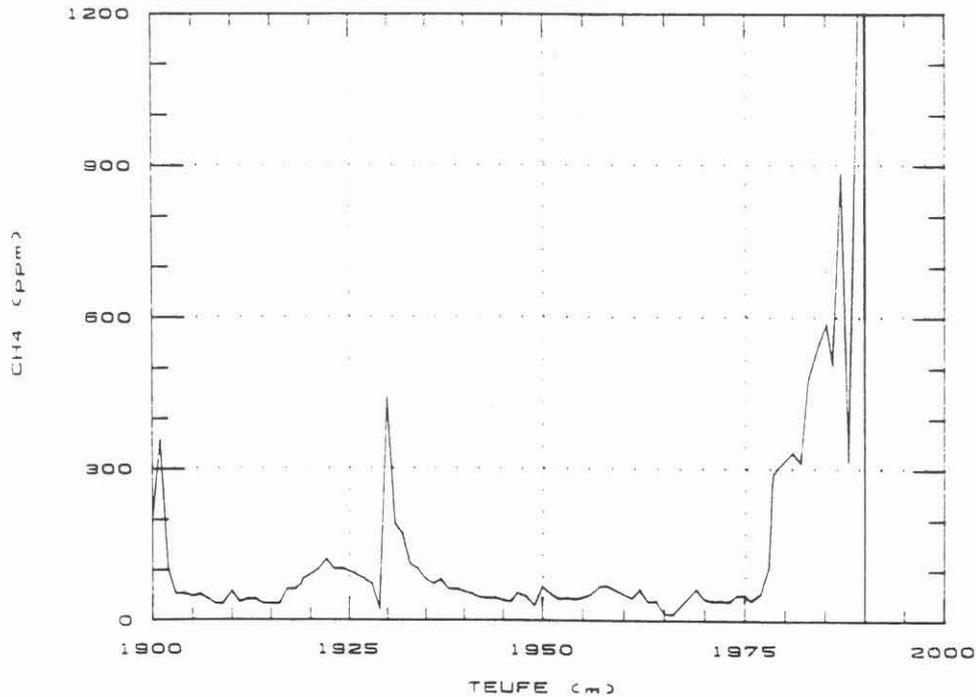


Abb.C.5.6 : Methangehalte der Bohrspülung im Teufenbereich 1900-2000m (um die Methananreicherungen besser erkennen zu können, wurde eine lineare Skalierung bis 1200 ppm gewählt)

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

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

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

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

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

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

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

" Graphit + Reibungswärme + Wasserstoff => Methan "

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

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

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

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

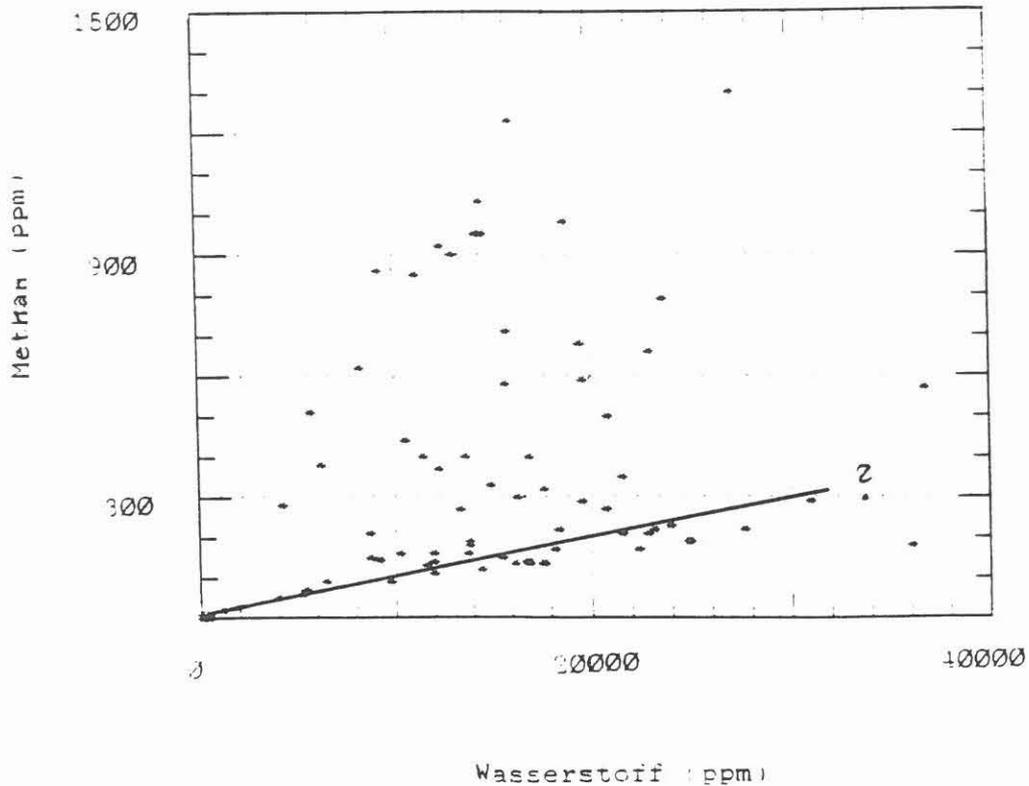


Abb.C.5.7: Vergleich zwischen den Methan- und Wasserstoffgehalten der Bohrspülung

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

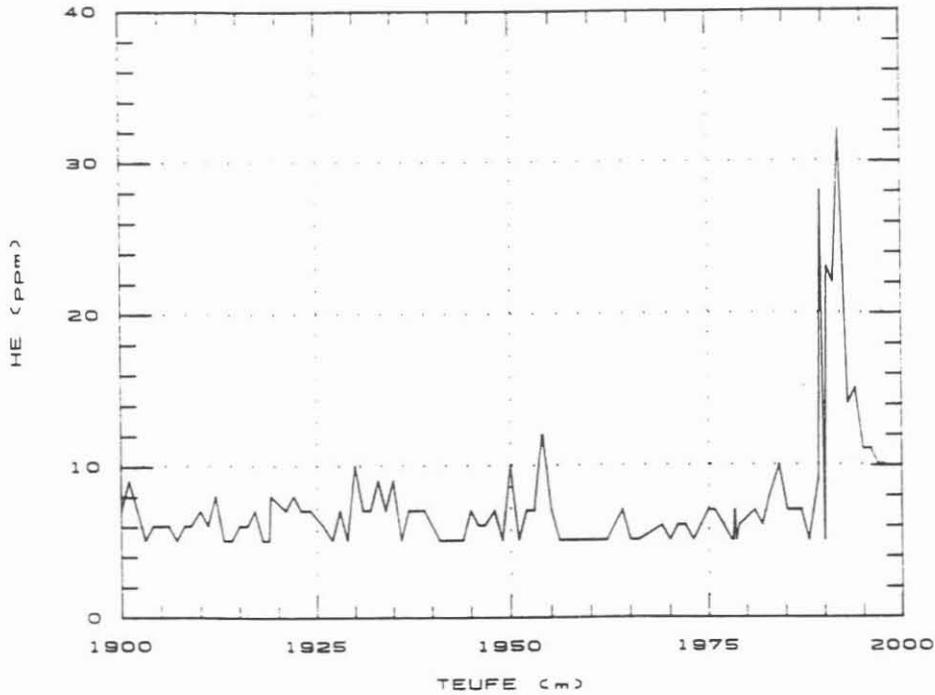


Abb.C.5.8: Heliumgehalte der Bohrspülung im Teufenbereich 1900-2000m

Im Gegensatz zu den Methan- und Heliumanreicherungen wird für die Sauerstoffkonzentration in diesem Teufenbereich ein Minimum (siehe Anhang) erreicht. In diesem Teufenbereich tritt neben hohen Graphitgehalten auch eine starke Vererzung auf. Durch Oxidation der Sulfide und Graphit könnte somit die Sauerstoffabnahme bedingt sein. Innerhalb dieses Horizontes konnte ebenfalls eine leichte Anreicherung von CO<sub>2</sub> gemessen werden. In Tabelle C.5.4 sind die Maximalgehalte beim Bohren und in Tabelle C.5.5 die Gehalte von einem Connectionsgaserignis aufgeführt. Nach einem kurzzeitigen Bohrstillstand kam es zu einer sehr starken Anreicherung von Methan und Helium.

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

Methan	7070 ppm
Helium	32 ppm
Kohlendioxid	0.07 %

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

Methan	30200 ppm
Helium	140 ppm
Kohlendioxid	0.19 %

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

### 5.3 Fluidprobennehmer

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

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

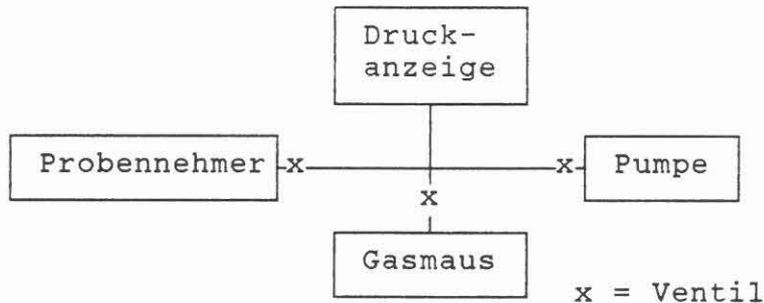


Abb.C.5.9: Schema der Entgasungsapparatur

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

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

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

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

## C.6 Zusammenfassung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Mit Hilfe der in das Arbeitsprogramm neu aufgenommenen berechneten Röntgendichte (XRHO) läßt sich der Übergang von Metabasit- zu Gneisserie belegen. Während die Metabasite Dichtewerte von 2.9-3.05 g/cm<sup>3</sup> aufweisen, zeigen die Gneise eine deutliche Verringerung der Dichtewerte. Die Werte schwanken hier um 2.7 g/cm<sup>3</sup>.

## C.7 Schriftenverzeichnis

HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., STROH, A., TAPFER, M. (1988):  
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 0 - 480 m. KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover.

HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., STROH, A., TAPFER, M. (1988):  
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 480 bis 992 m. KTB-Report, 88-2: C1-C107, Hannover.

STROH, A., HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., TAPFER, M. (1988):  
Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530m. KTB-Report, 88-6: C1-C109, Hannover.

WEAVIND, R.G. and DAUNCEY, G.B. (1961): Factors affecting the behaviour of diamond drill bits. - The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Symposium on Diamond Drilling, Paper No.12.

WIMMENAUER, W. (1984): Das prävaristische Kristallin im Schwarzwald. - Fortschr. Min., Bd. 2, 69-86

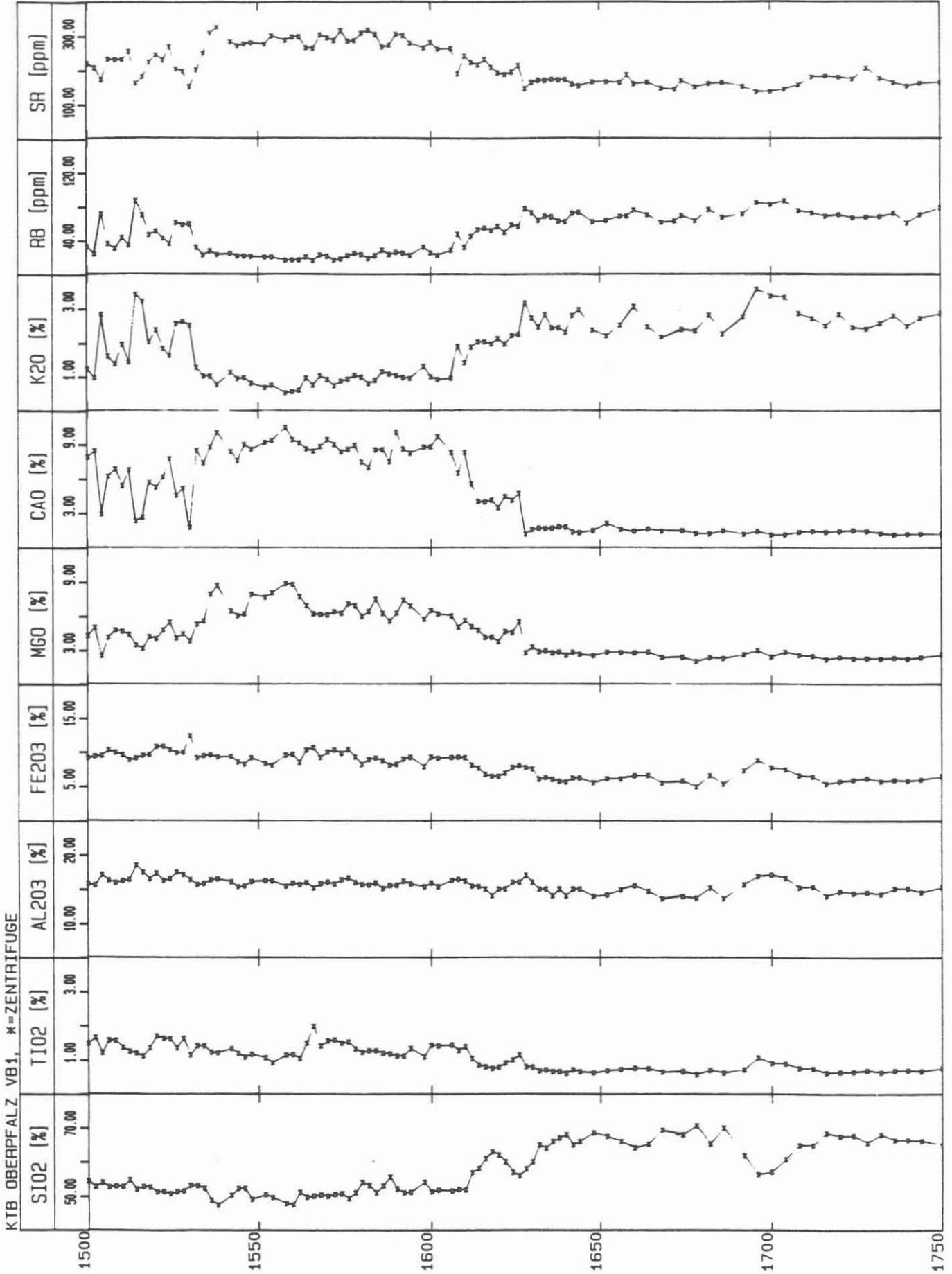
### C.8 Danksagung

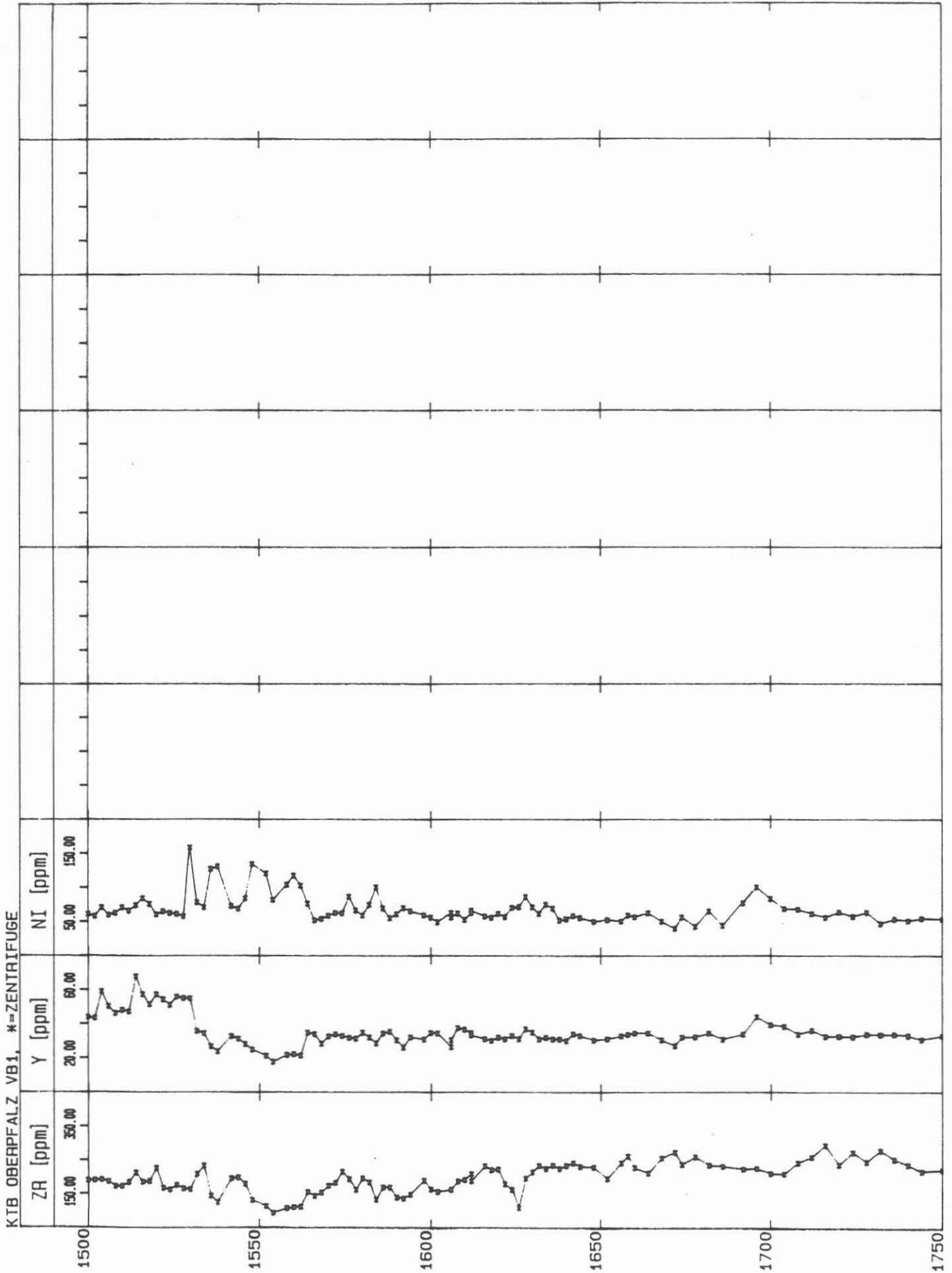
Die Schmelztabletten zur Bestimmung der chemischen Gesteinszusammensetzung wurden im Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung in Gießen hergestellt und dort auch gemessen. Unser Dank gilt dem Leiter des Instituts, Herrn Prof. Dr. Emmermann und seinen Mitarbeitern, insbesondere Frau M.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

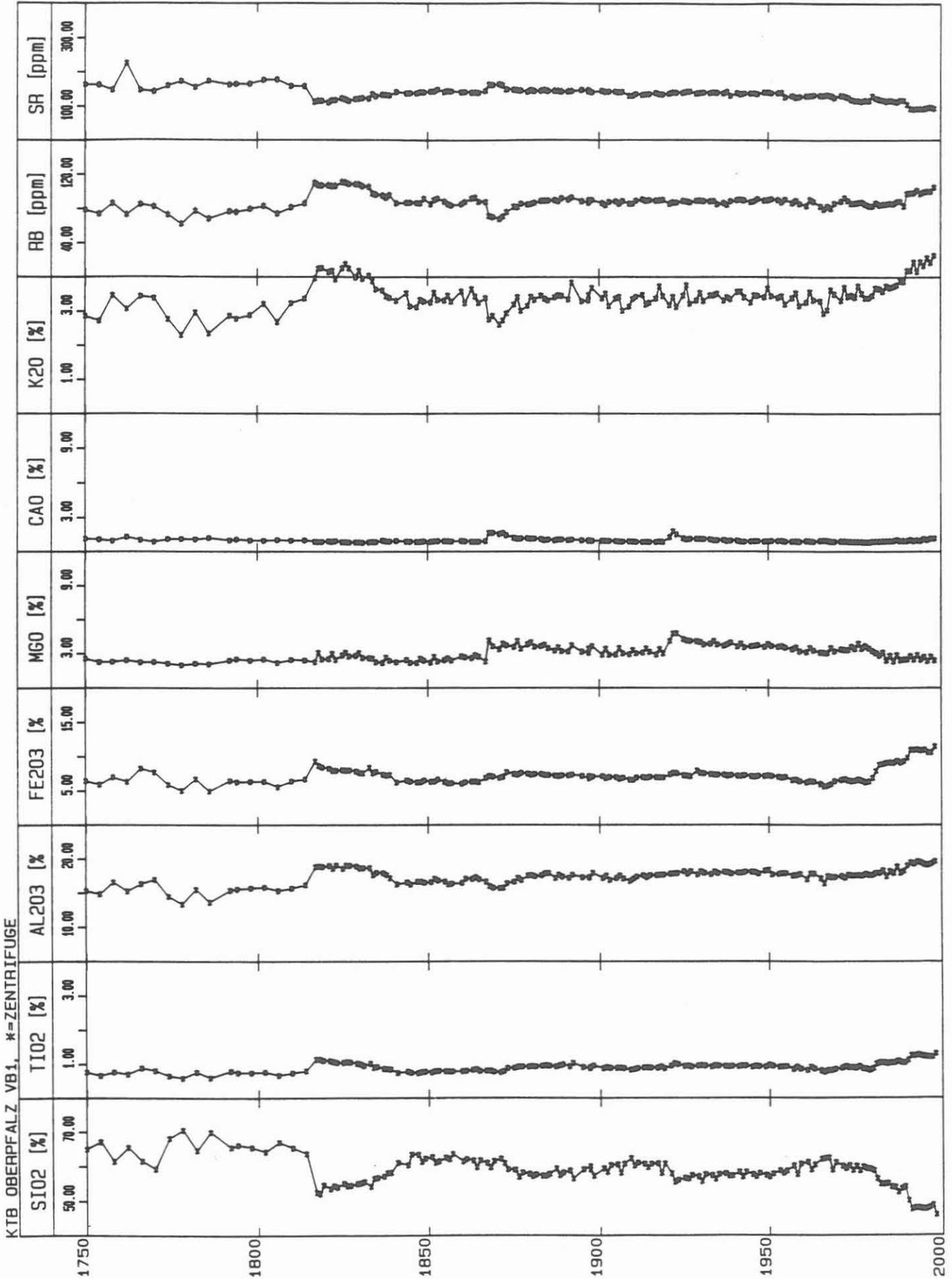
**C.9 Anhang**

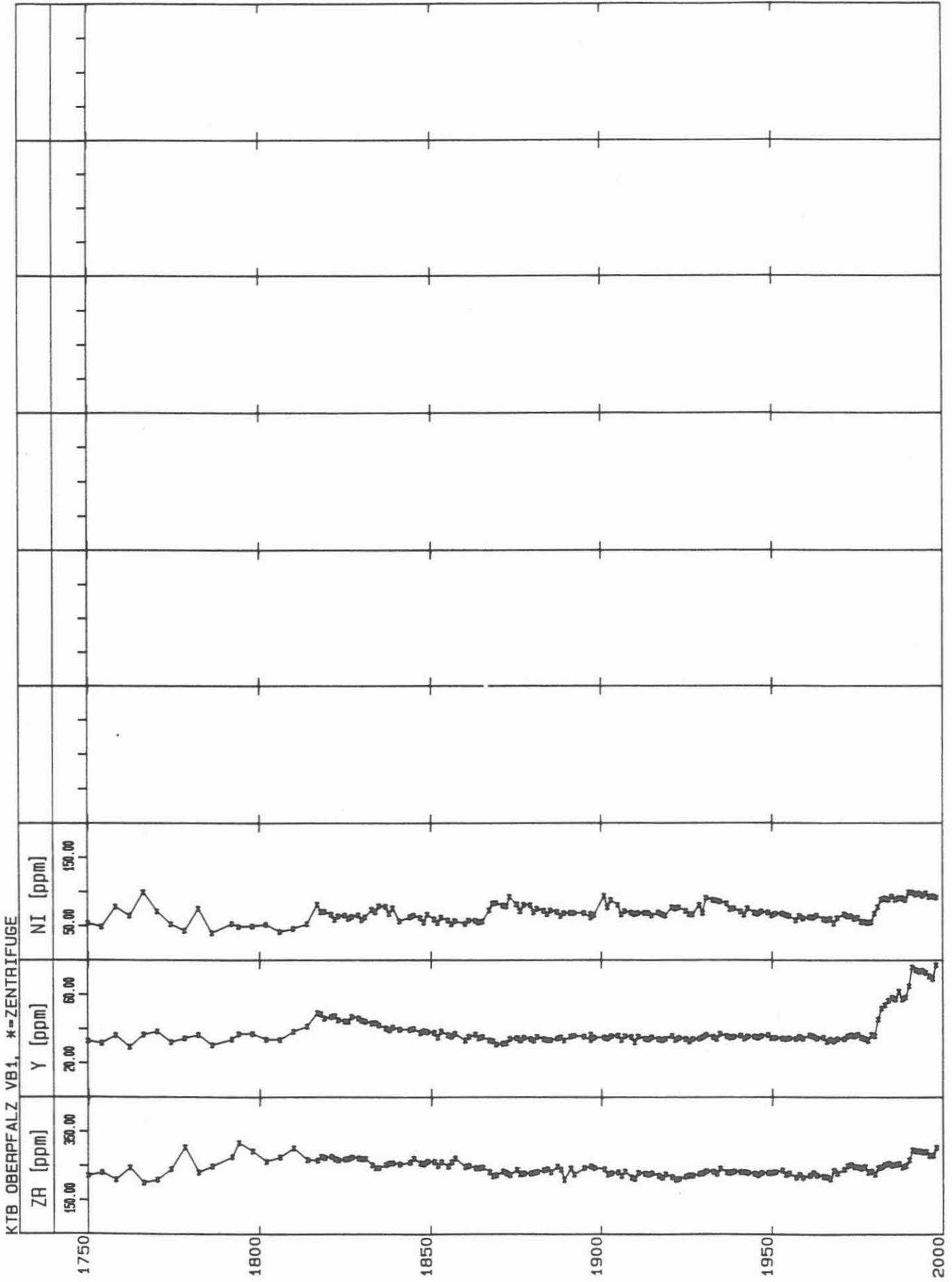
- C.9.1 Tiefenlogs der RDA-RFA-Analysen
- C.9.2 Tiefenlogs der Kationenanalysen
- C.9.3 Tiefenlogs ausgewählter Gase, Chlorid- und Sulfatgehalte der Bohrspülung sowie bohrtechnische und spülungsrelevante Daten

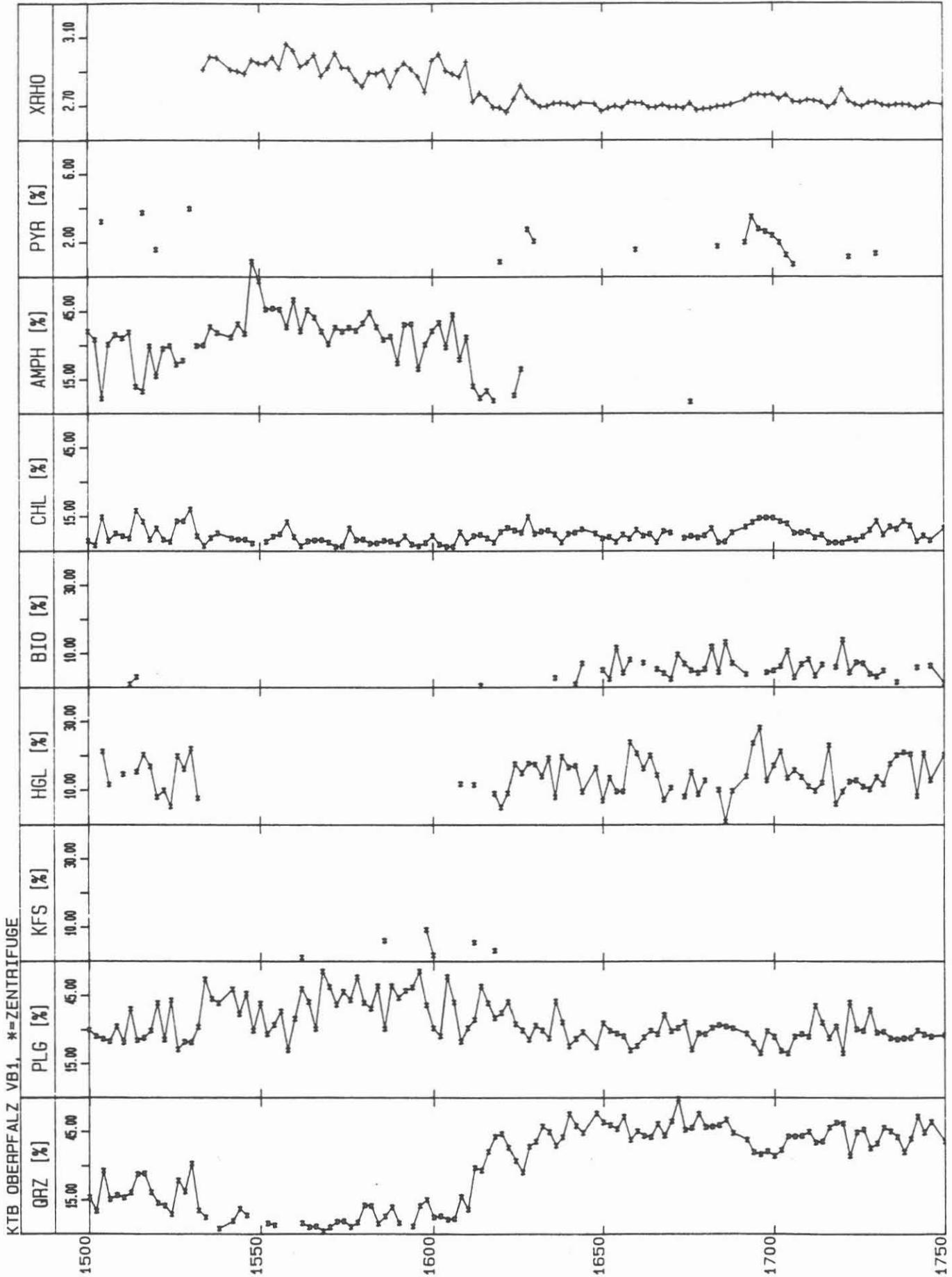
C.9.1 Tiefenlogs der RDA-RFA-Analysen (1:1000)

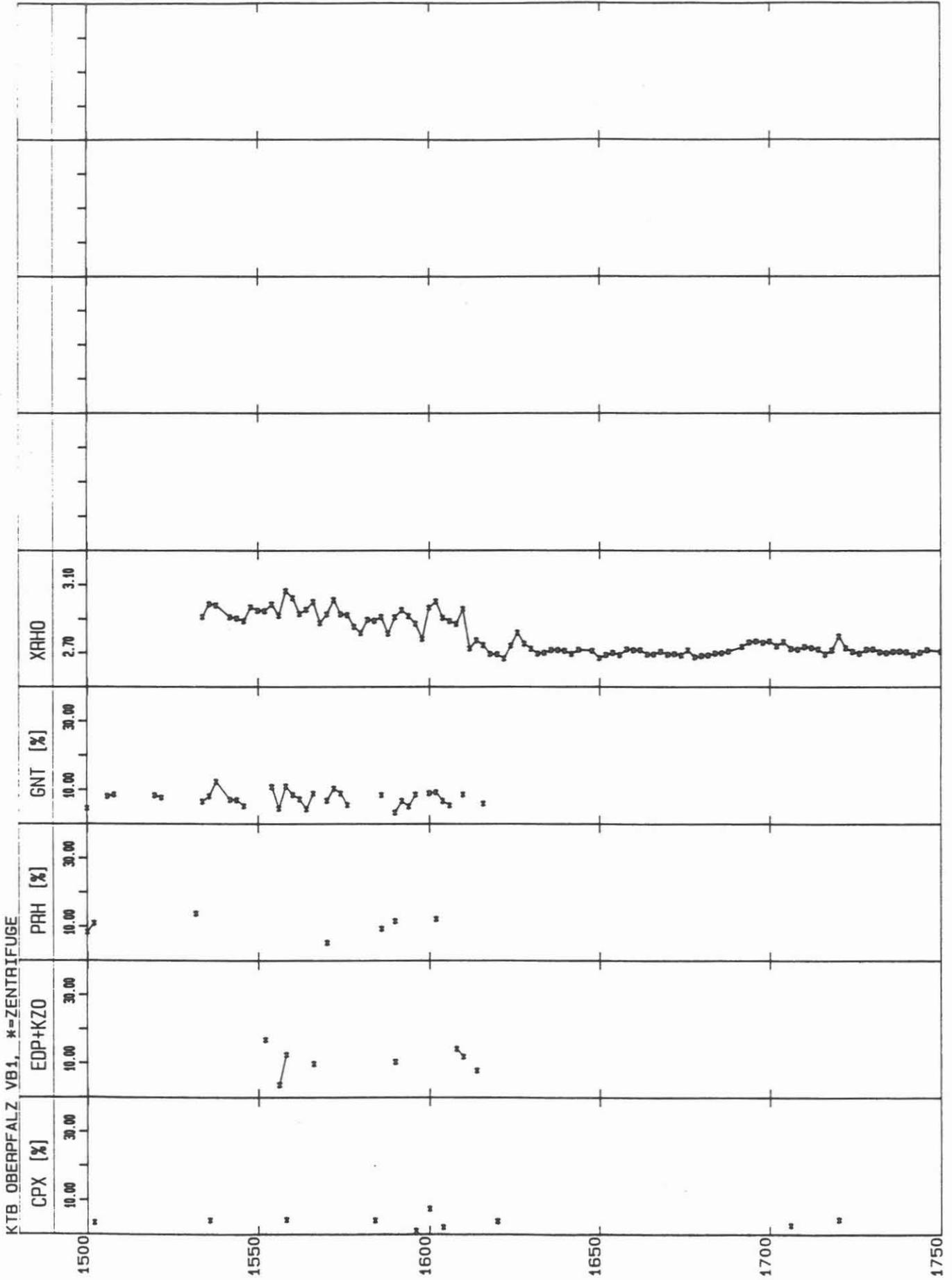


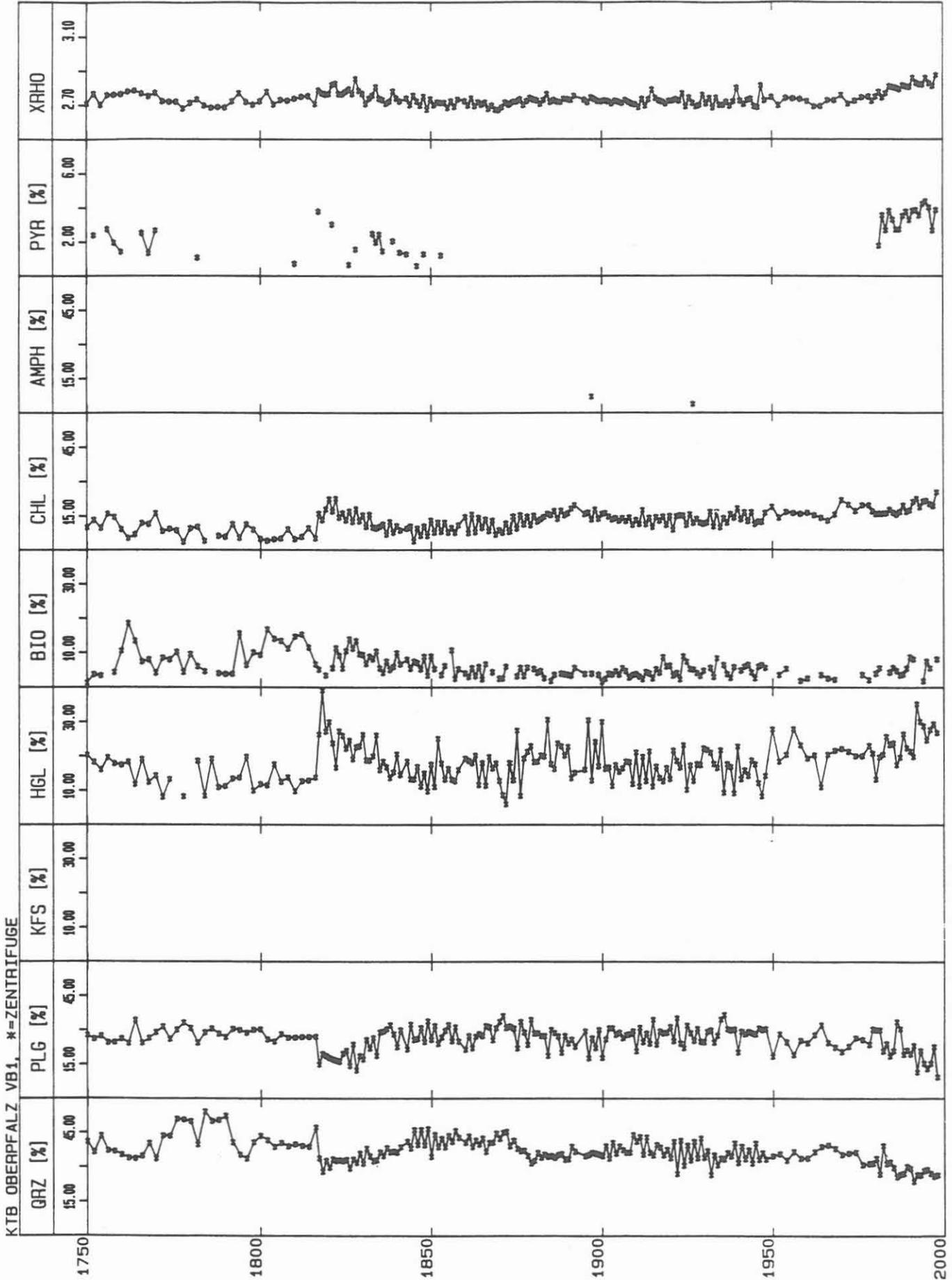


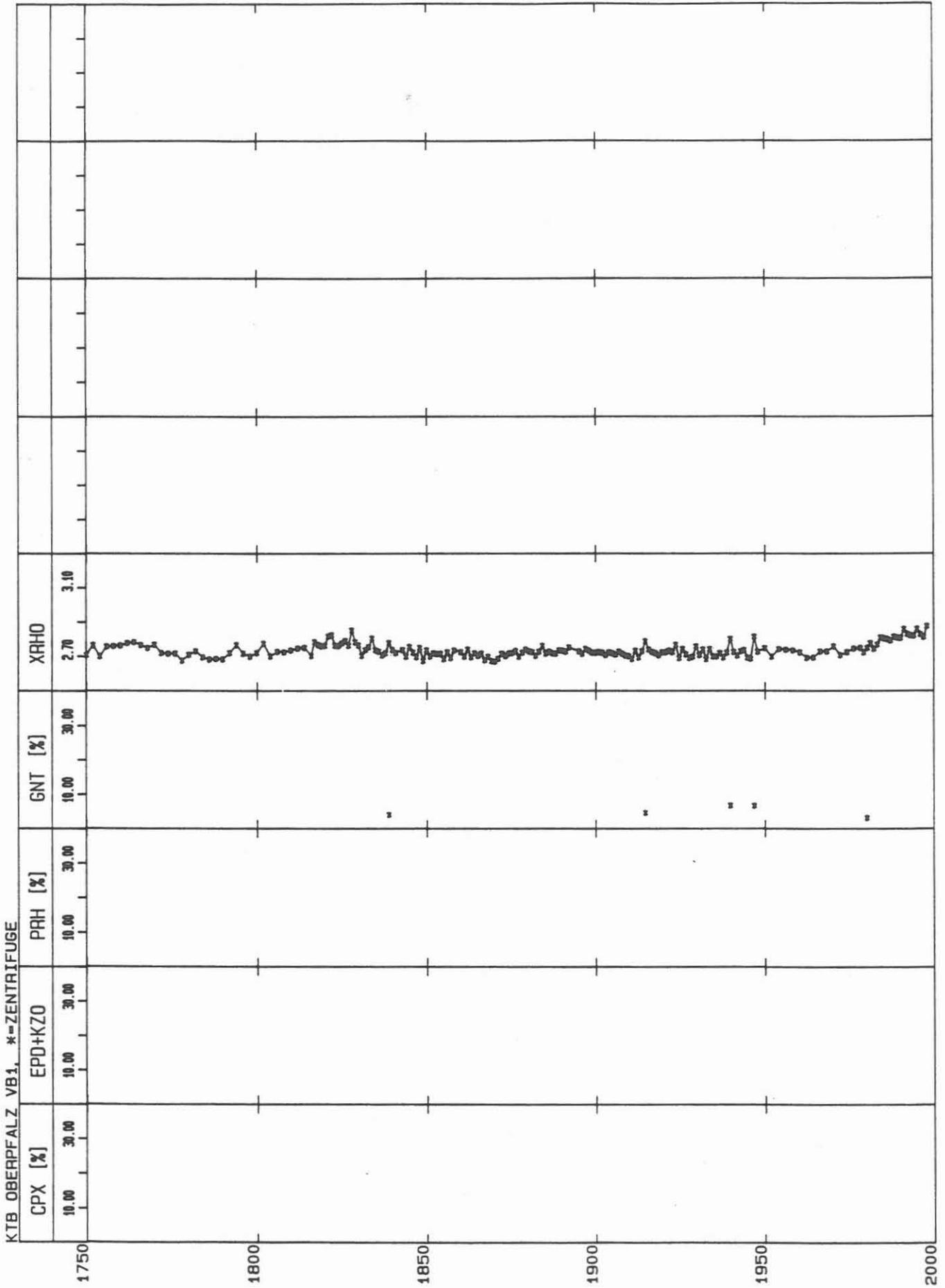






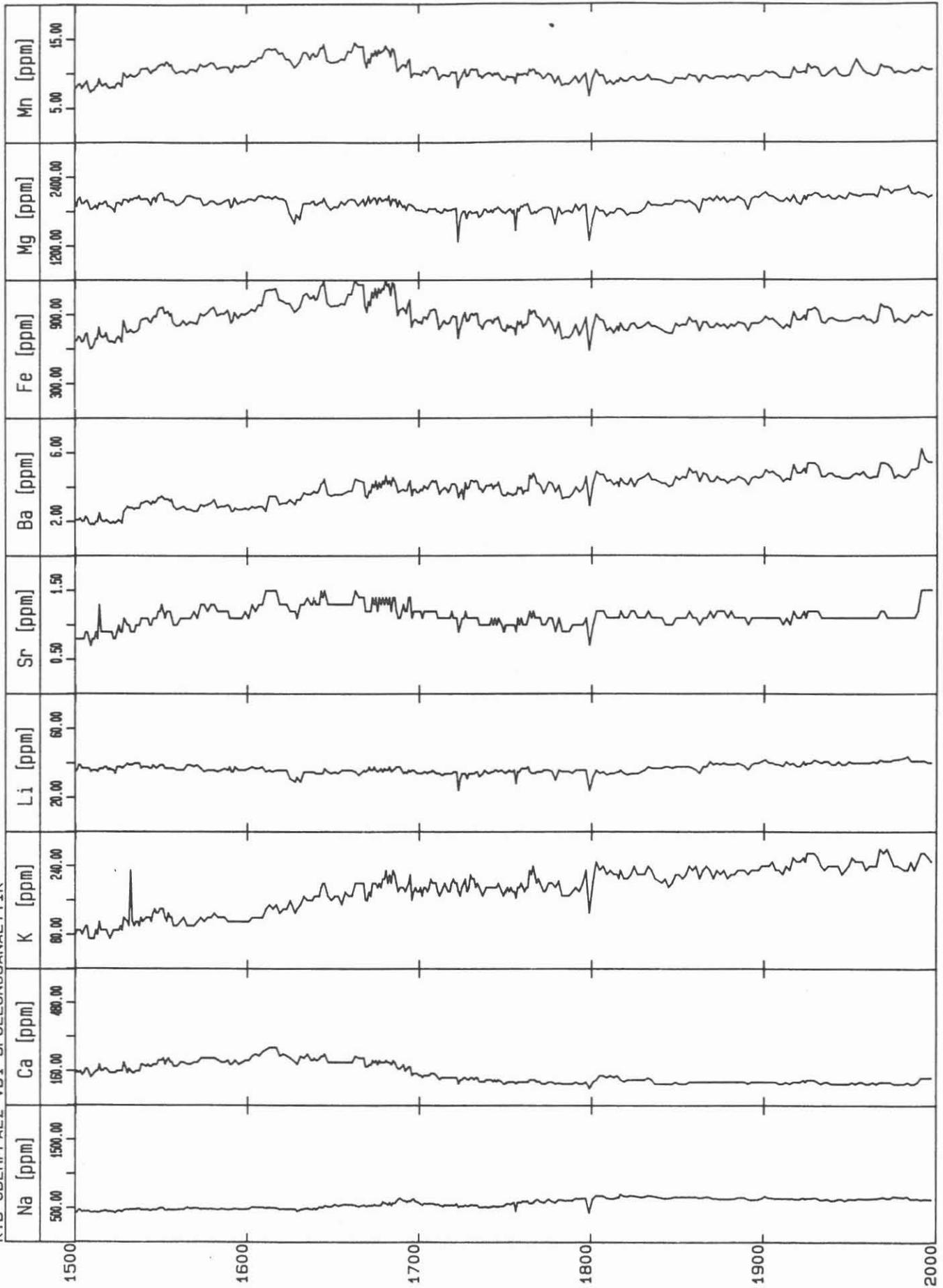


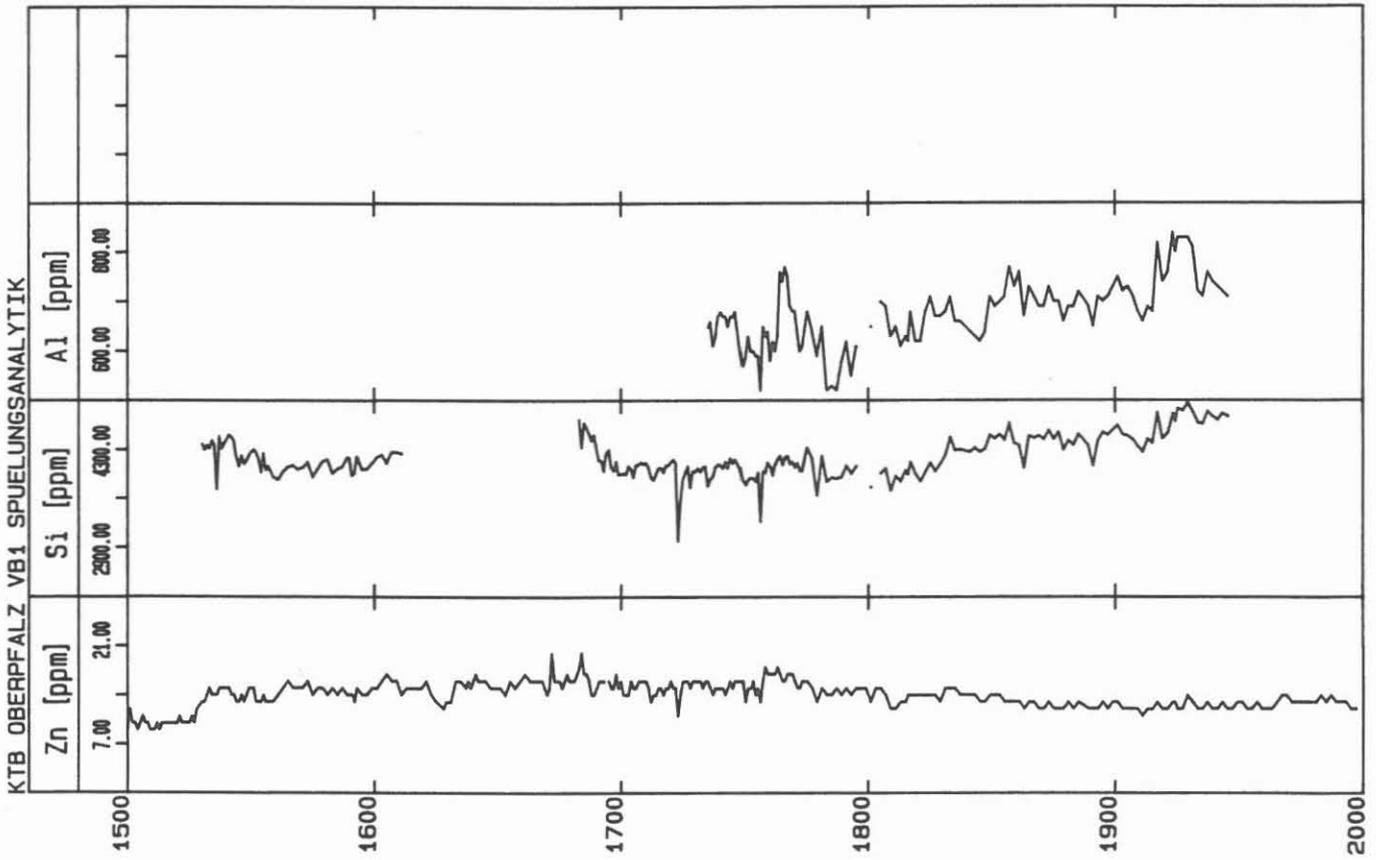




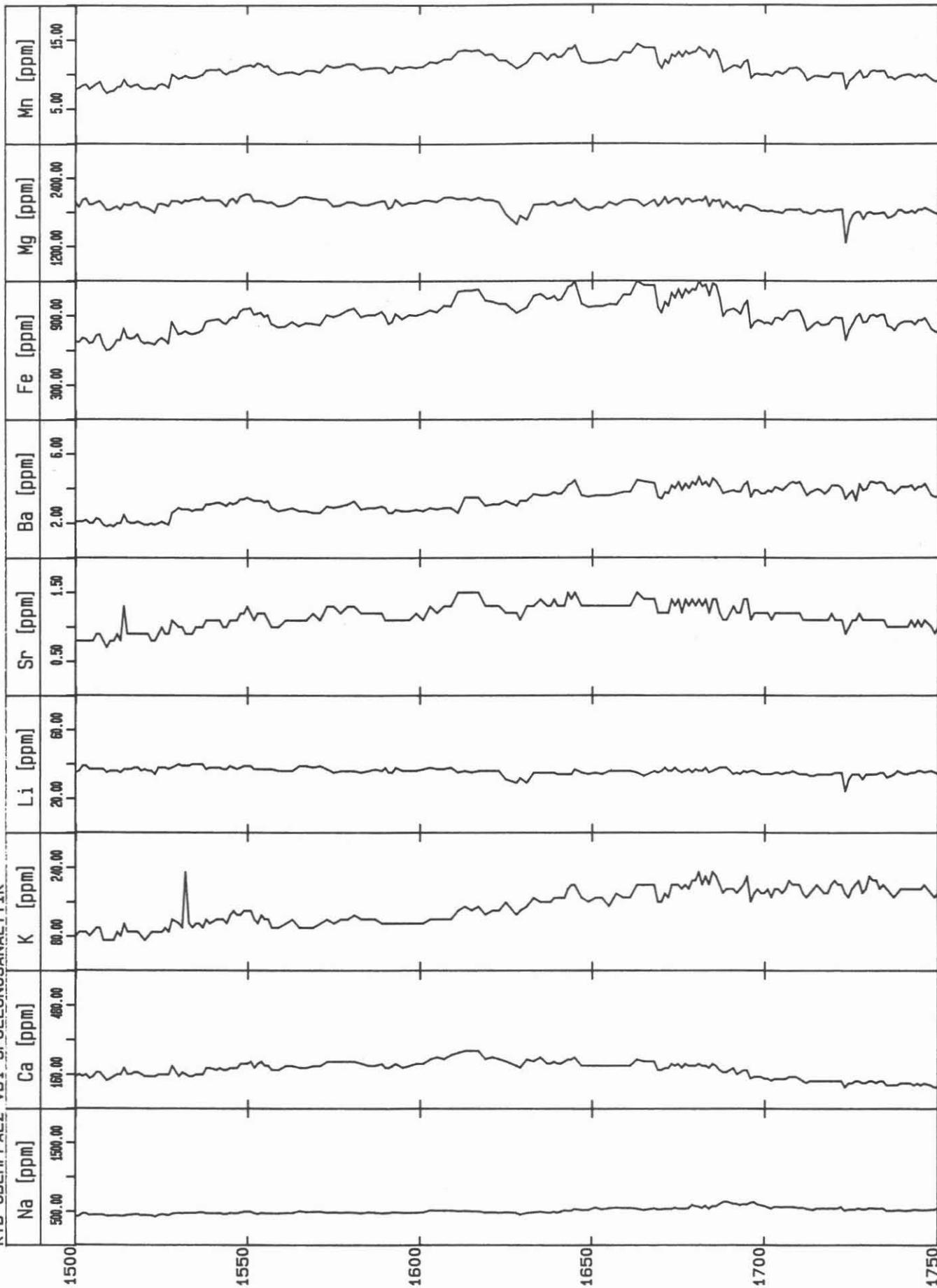
C.9.2 Tiefenlogs der Kationenanalyse (1:1000)

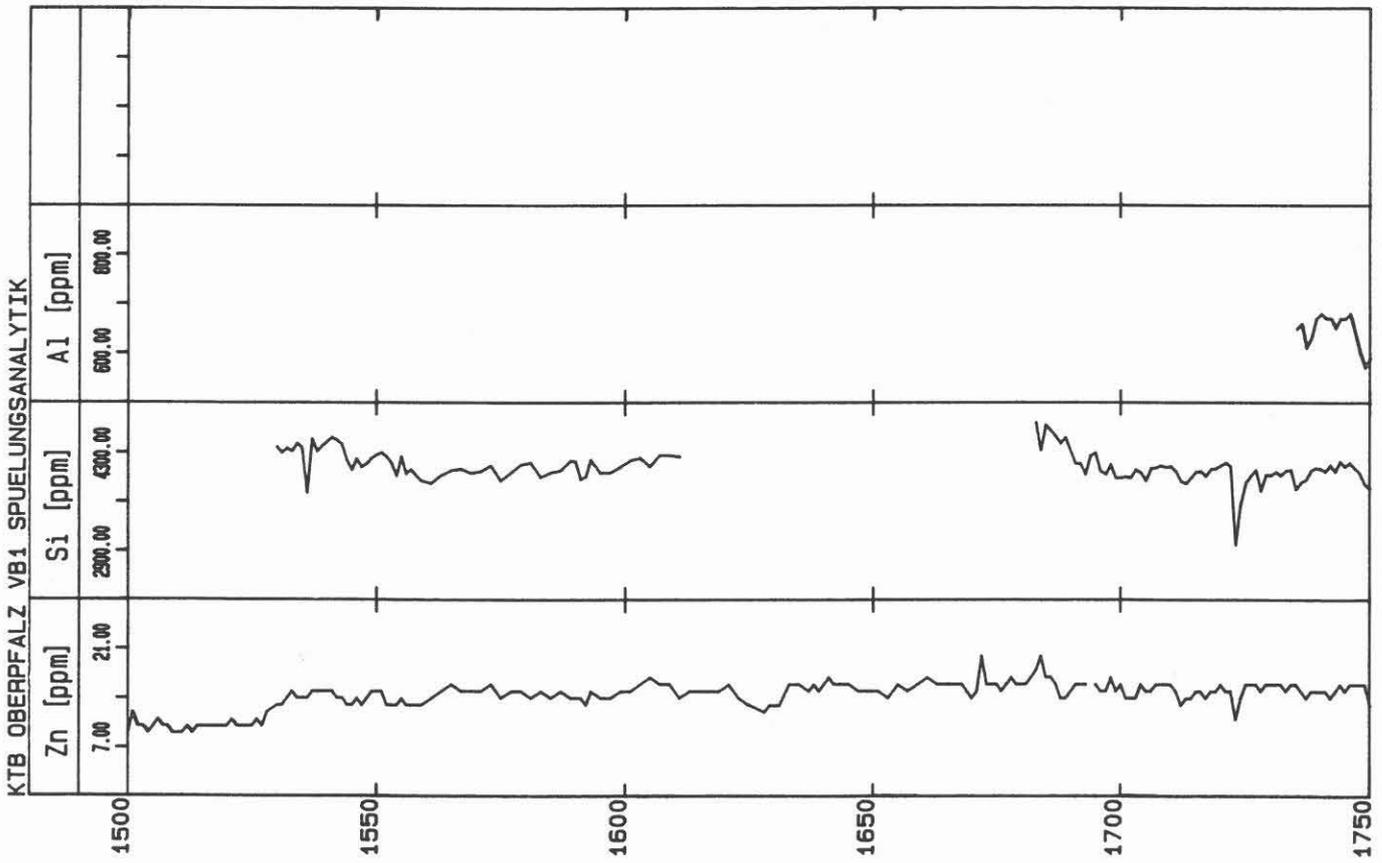
KTB OBERPFALZ VB1 SPUELUNGSANALYTIK



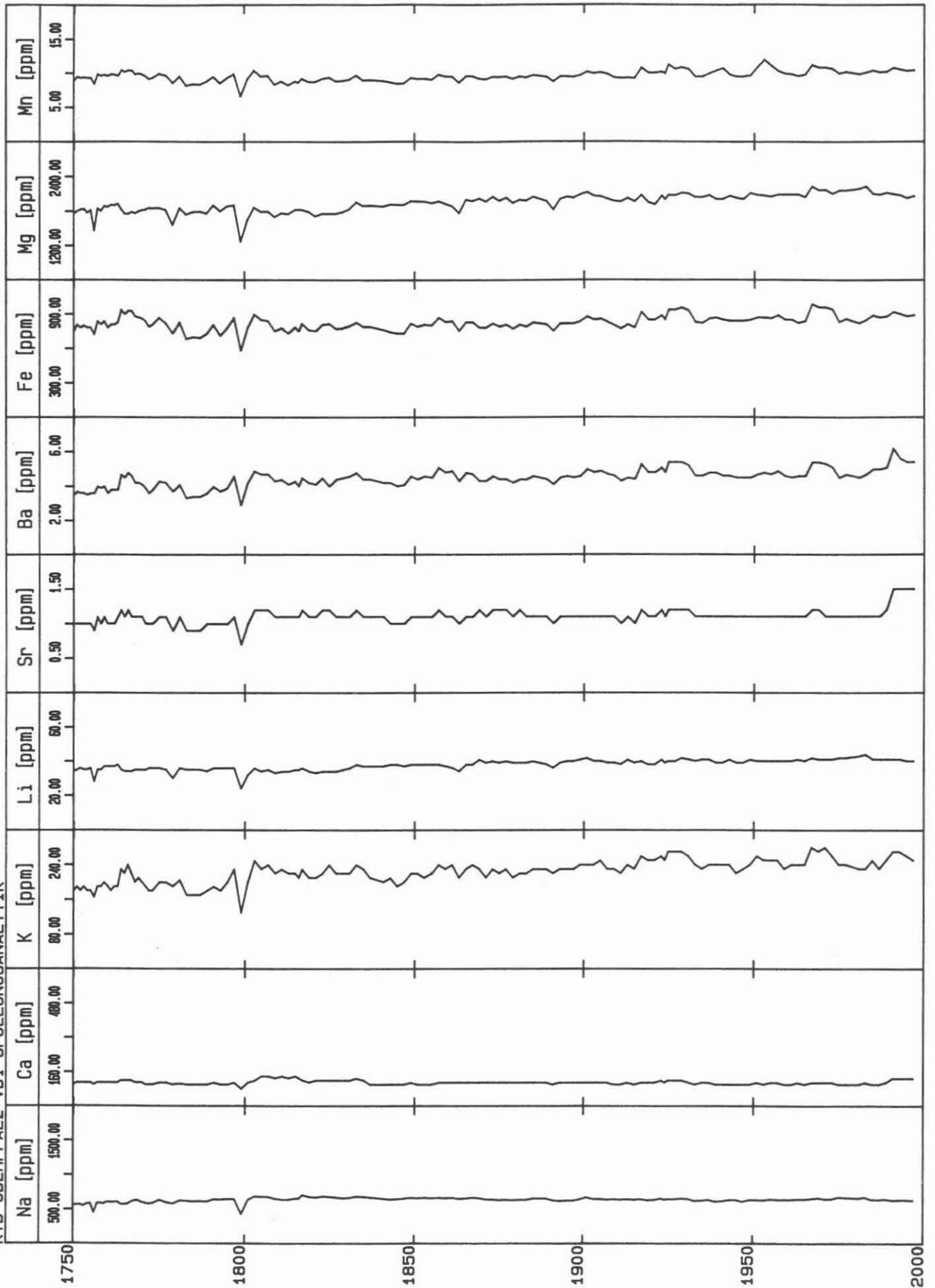


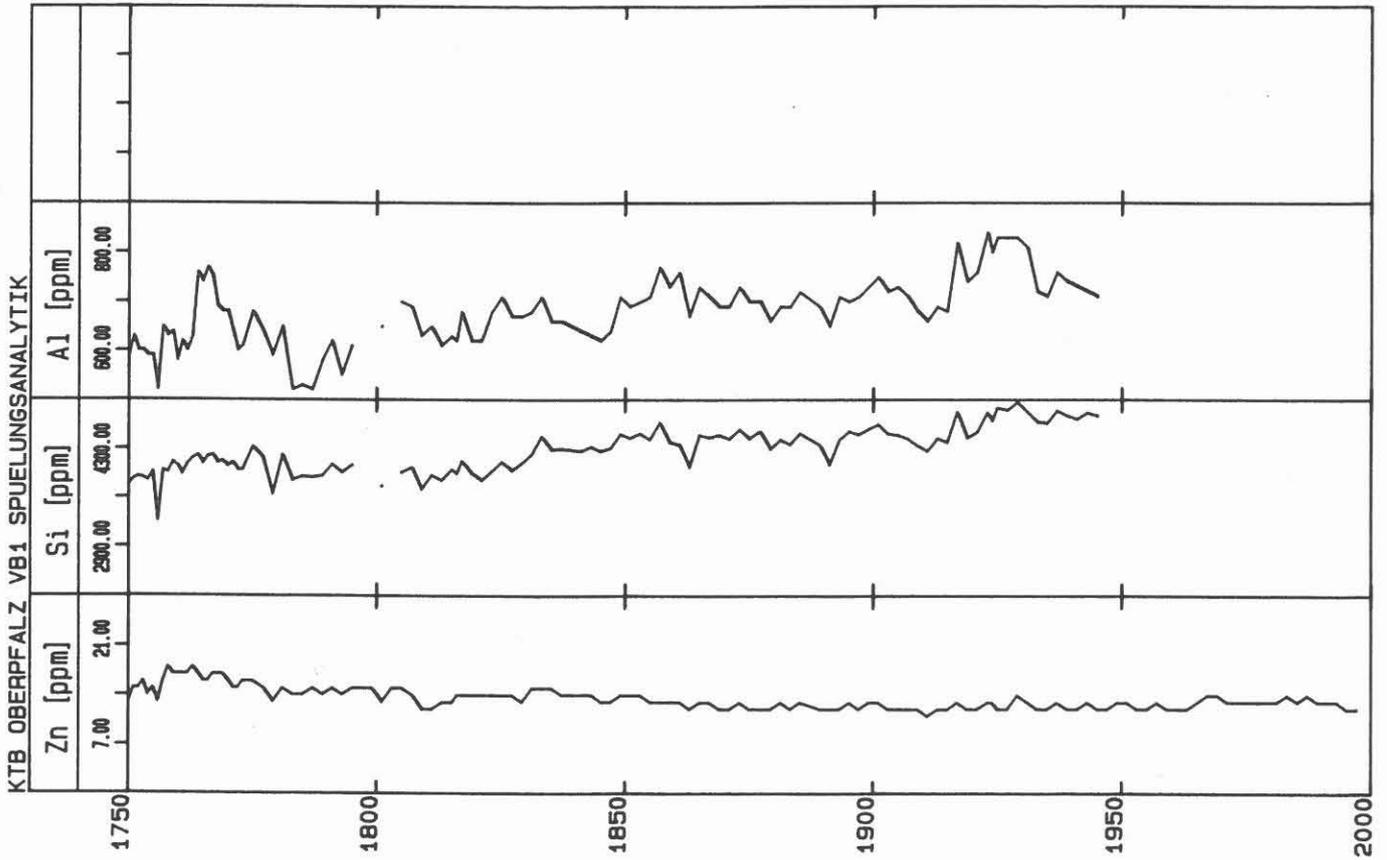
KTB OBERPFALZ VB1 SPUELUNGSANALYTIK





KTB OBERPFALZ VB1 SPUELUNGSANALYTIK





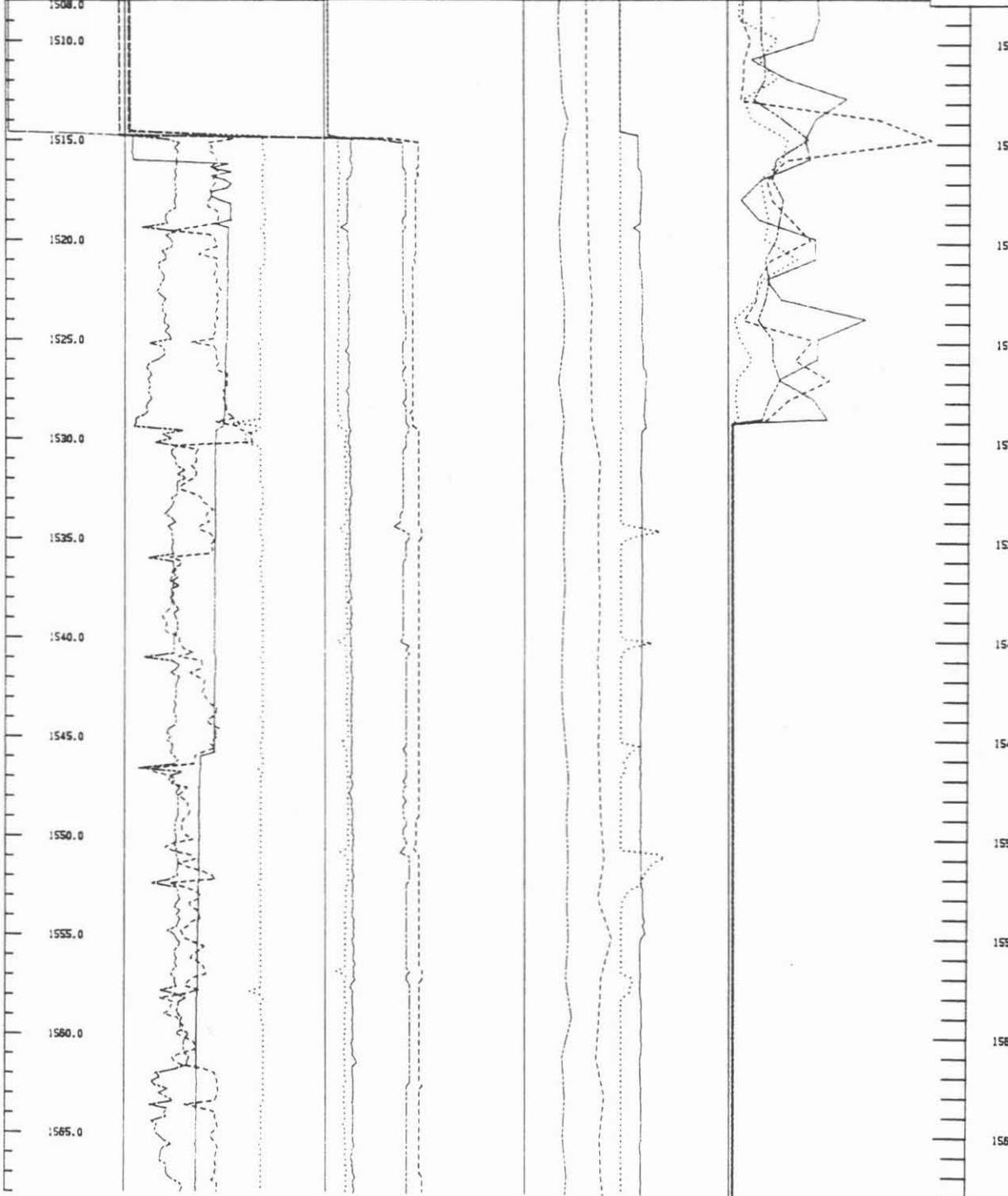
C.9.4 Tiefenlogs ausgewälter Gase, Chlorid- und Sulfatgehalte der Bohrspülung sowie bohrtechnische und spülungsrelevante Daten (1:200)

ARGE  
GEO-data  
NL Boreid  
PREUSSAG

K T B Oberpfalz VB

NLFB/KTB/  
Geotechnisches Log 1508 - 1568m

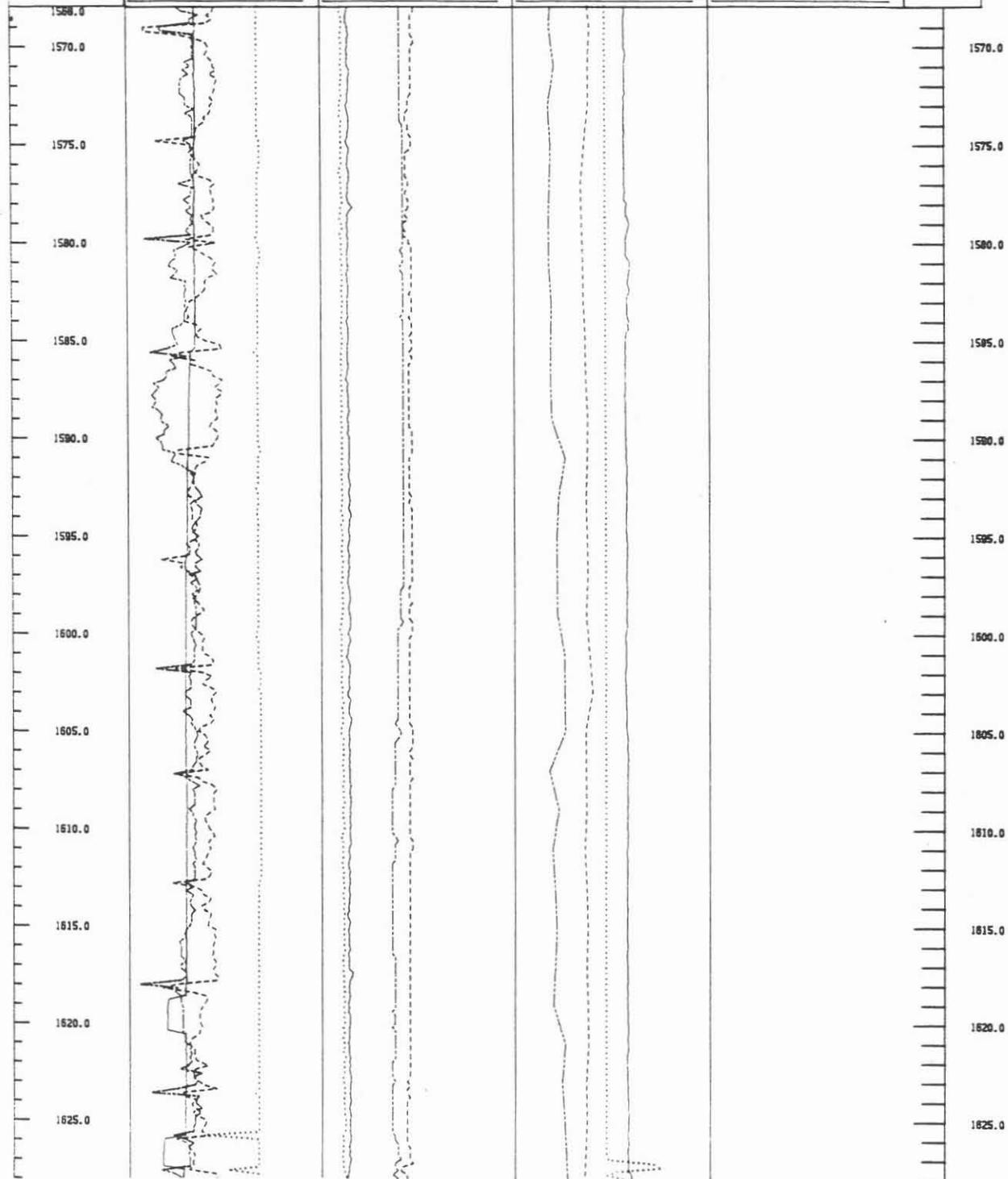
M 1 : 200 Teufe	Bohrfortschritt (m/h)	pH aus	Cl-(ppm) KA	He (ppm) MS
	Weisselast (kN)	pH ein	SO4(ppm) KA	CH4(ppm) MS
	Pumprate (dm3/min)	Leitf. aus (mS/cm)	Redox aus (mV)	H2 (ppm) MS
	Aktivtankvolumen (m3)	Leitf. ein (mS/cm)	Redox ein (mV)	O2 (ppm) MS



ARGE  
 GEO-data  
 NL Boreid  
 PREUSSAG

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

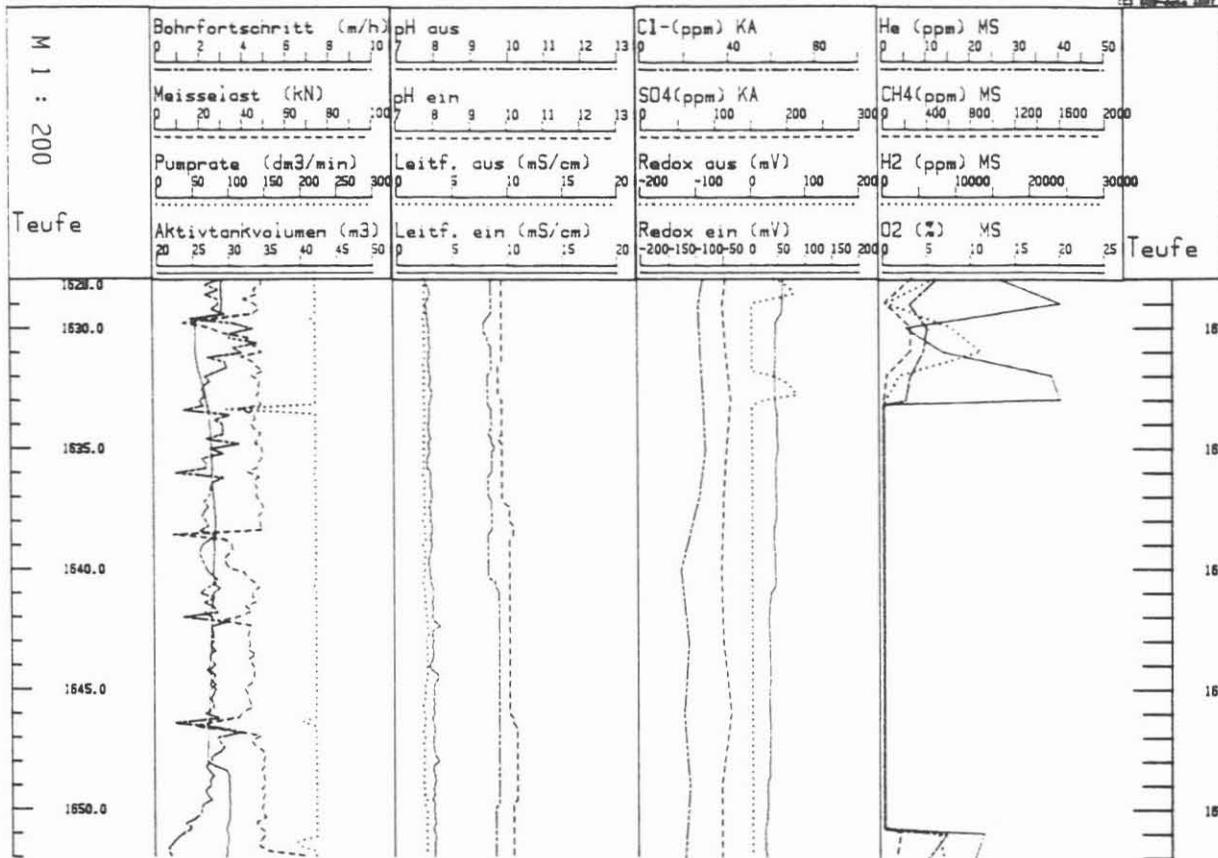
M 1 : 200 Teufe	Bohrfortschritt (m/h)	pH aus	Cl-(ppm) KA	He (ppm) MS
	Meisselast (kN)	pH ein	SO4(ppm) KA	CH4(ppm) MS
	Pumptrate (dm3/min)	Leitf. aus (mS/cm)	Redox aus (mV)	H2 (ppm) MS
	Aktivtankvolumen (m3)	Leitf. ein (mS/cm)	Redox ein (mV)	O2 (%) MS



ARGE  
GEO-data  
NL Boreid  
PREUSSAG

K T B Oberpfalz VB

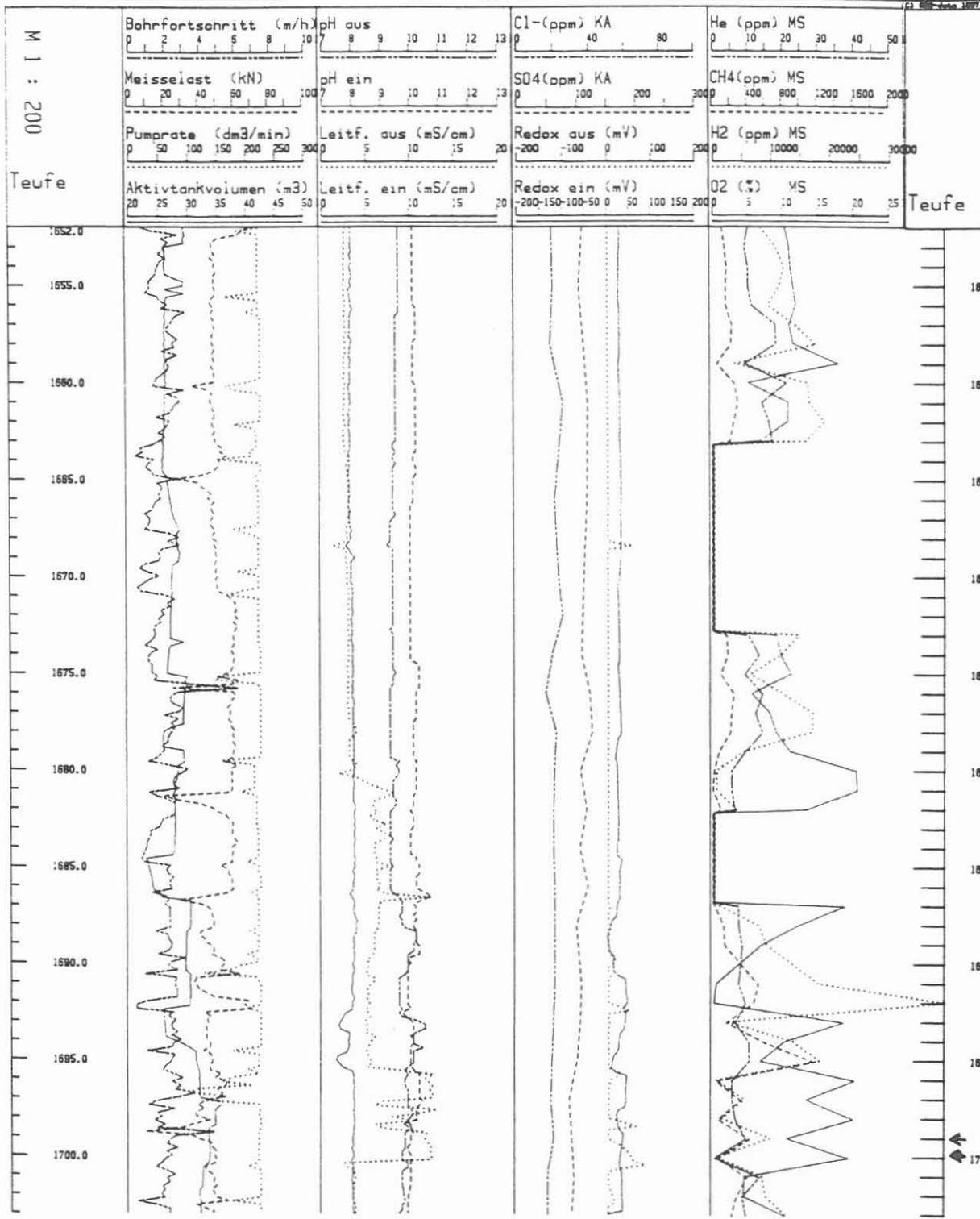
NLFB/KTB/  
Geotechnisches Log 1628 - 1652 m



ARGE  
GEO-data  
NL Barold  
PREUSSAG

# KTB Oberpfalz VB

NLFB/KTB  
Geotechnisches Log 1652 - 1703 m

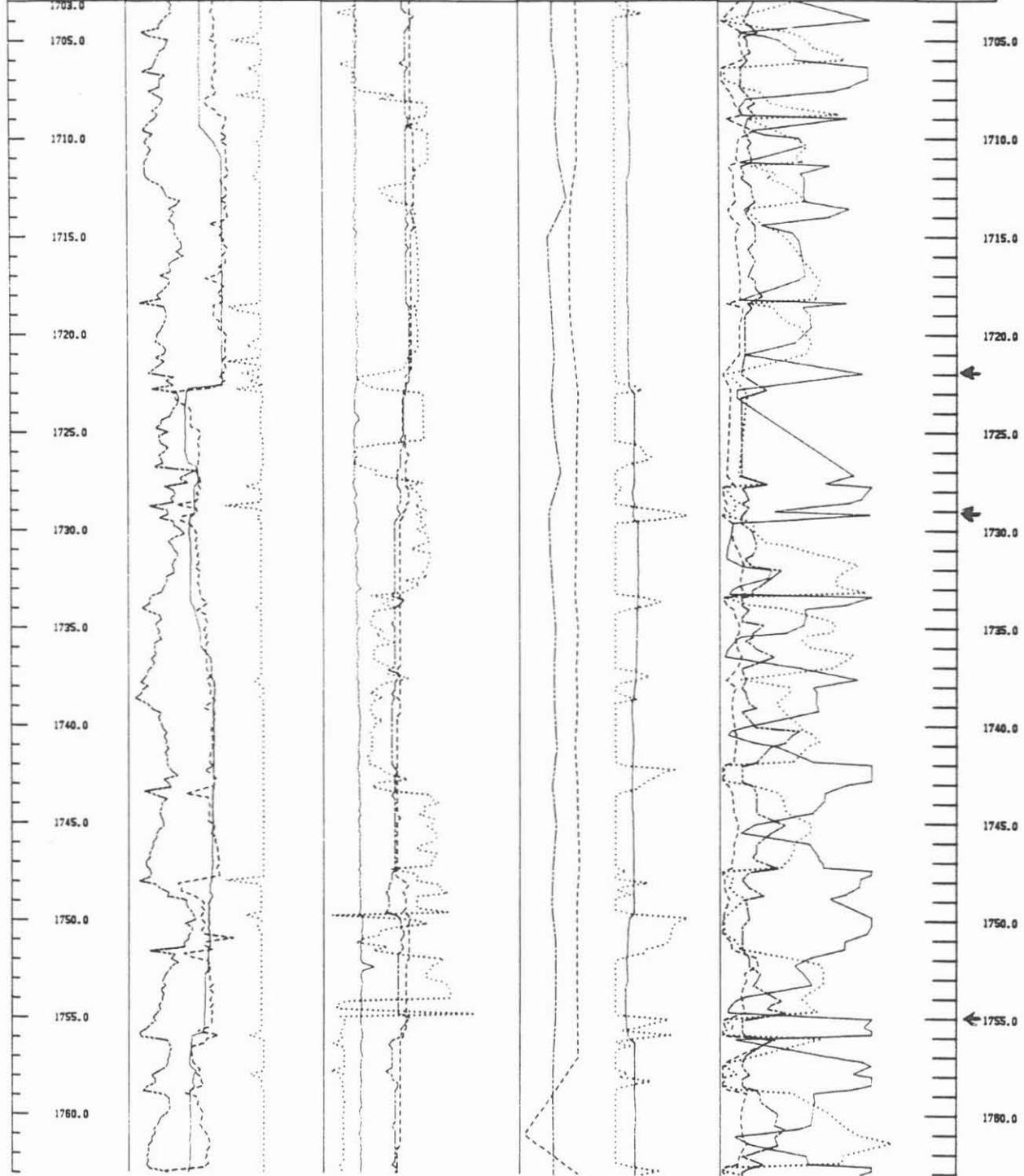


ARGE  
GEO-data  
Barold  
PREUSSAG

# KTB Oberpfalz VB

NLFB/KTB  
Geotechnisches Log 1703 - 1763m

M : 1 : 200	Bohrfortschritt (m/h)	pH aus	Cl-(ppm) KA	He (ppm) MS
	Meißeelast (kN)	pH ein	SO4(ppm) KA	CH4(ppm) MS
	Pumprate (dm <sup>3</sup> /min)	Leitf. aus (mS/cm)	Redox aus (mV)	H2 (ppm) MS
	Aktivtankvolumen (m <sup>3</sup> )	Leitf. ein (mS/cm)	Redox ein (mV)	O2 (ppm) MS

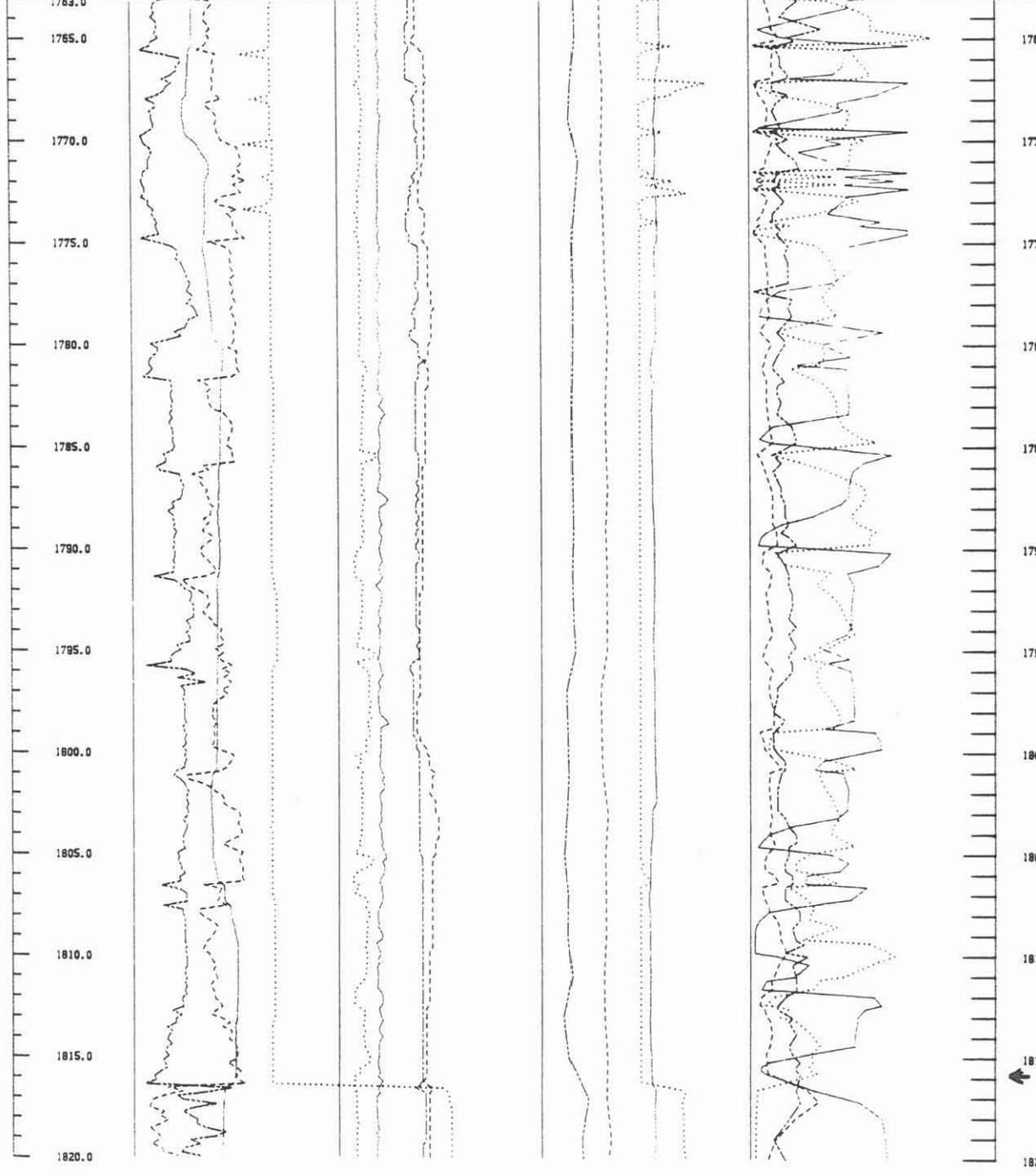


ARGE  
 GEO-data  
 NL Borehole  
 PREUSSAG

# K-B Oberpfalz VB

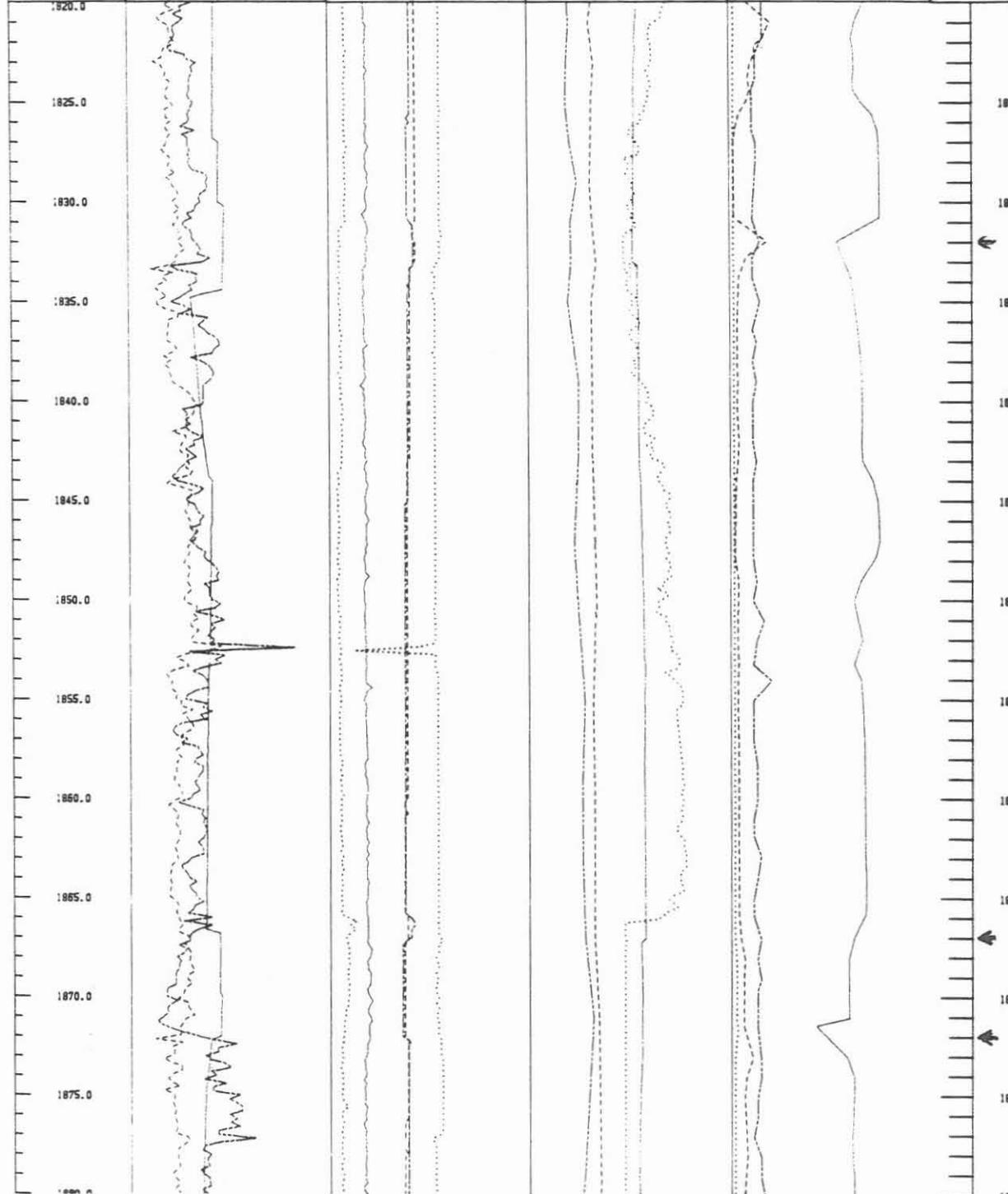
NLFB/KTB  
 Geotechnisches Log 1763 - 1820 m

M 1 : 200	Bohrfortschritt (m/h)	pH aus	Cl-(ppm) KA	He (ppm) MS
	Meisseilast (kN)	pH ein	SO4(ppm) KA	CH4(ppm) MS
	Pumprate (dm <sup>3</sup> /min)	Leitf. aus (mS/cm)	Redox aus (mV)	H2 (ppm) MS
	Aktivtankvolumen (m <sup>3</sup> )	Leitf. ein (mS/cm)	Redox ein (mV)	O2 (%) MS
Teufe				Teufe



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

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

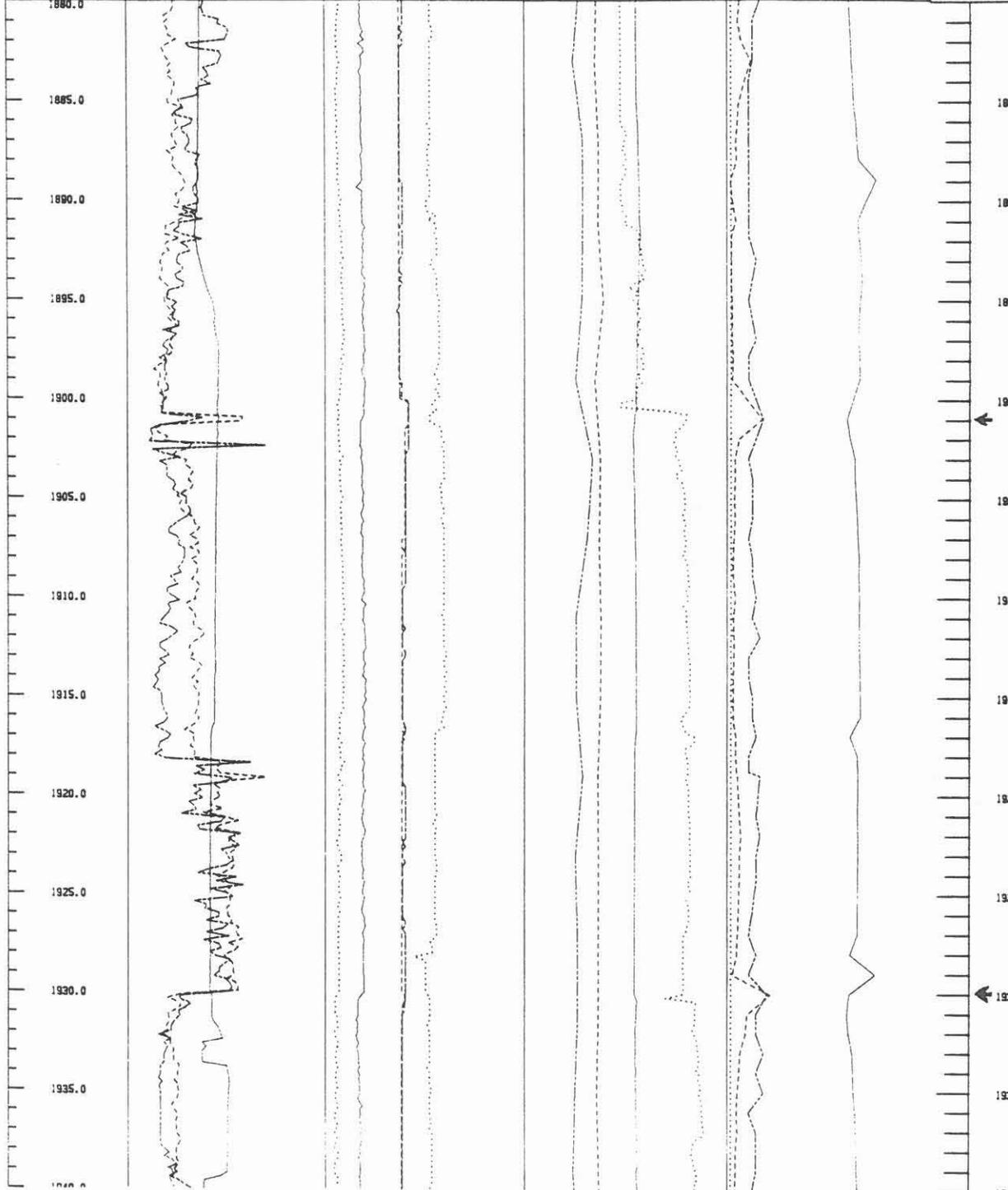


ARGE  
GEO-data  
NL Baroid  
PREUSSAG

# KTB Oberpfalz VB

NLFB/KTB  
Geotechnisches Log 1880 - 1940m

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



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

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

