

C. Geochemie

KTB Oberpfalz VB –
Röntgenanalytik

A. Stroh
M. Tapfer

KTB Report	88-2	C1-C107	10 Tab.	Hannover 1988
------------	------	---------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 480 bis 992 m:

C. Geochemie

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

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>		Seite
C.1	Einleitung	C 2
C.2	Probennahme und Probenaufbereitung	C 2
C.3	Röntgenanalytik	C 2
C.3.1	RFA-Analysen	C 2
C.3.1.1	Geräteparameter und verwendete Meßprogramme	C 2
C.3.2	RDA-Analysen	C 4
C.3.2.1	Quantitative röntgenographische Phasenanalyse	C 4
C.3.2.2	Gerätekonfiguration und Geräteparameter	C 5
C.3.3	RFA/RDA Ergebnisse am Bohrklein 480 - 992 m	C 5
C.3.3.1	Vergleich der Ergebnisse von Bohrmehl und Kernbruchstücken	C 7
C.4	Spülungsanalytik	C 8
C.4.1	Funktionsprinzip des Ionenchromatographie-Systems	C 8
C.4.2	Ergebnisse	C 8
C.4.2.1	Zirkulationstest 5.11.87 (478.5 m)	C 8
C.4.2.2	Bohrphase von 480-992m	C 9
C.4.2.3	Zirkulationstest 5.1.88 (992 m)	C 11
C.5	Gasanalytik	C 12
C.6	Zusammenfassung	C 13
C.7	Schriftenverzeichnis	C 13
C.8	Danksagung	C 14
C.9	Anhang	C 14

C.1 Einleitung

Die Arbeitsgruppe Geochemie gewährleistet eine detaillierte quantitative Analyse (RDA/RFA) der durch den Bohrprozeß anfallenden Feststoffe (Kerne, Cuttings und Bohrmehl), und führt kontinuierliche Spülungs- und Gasuntersuchungen (ICP, IC, M-Spektrometer) durch.

Die RDA/RFA - Untersuchungen belegen lithologische Wechsel sowie makroskopisch weniger gut zu erkennende Gesteinsinhomogenitäten. Dadurch wird die geologische und petrographische Cuttings-Aufnahme einer kernlosen Bohrphase wesentlich unterstützt. Der Bohrtechnik werden durch die kontinuierliche quantitative Phasenanalyse wichtige Hinweise bei der Klärung von Bohrfortschrittsänderungen, Meißelabrieb, usw. gegeben.

Mit Hilfe der Bohrspülungsuntersuchungen sollen Zutritte von wäßrigen und gasförmigen Zuflüssen erkennbar sein, so daß mögliche Zuflußhorizonte lokalisiert werden können.

Durch Bohrspülungs/Gesteinswechselwirkungen kommt es zu unterschiedlichen Elementanreicherungen (z. B. Ca, Fe, Mn, SO_4^{2-}) in der Spülung. Diese Reaktionen können auch zu Veränderungen der Bohrspülungseigenschaften wie z. B. Viskosität, pH-Wert usw. führen. Eine detaillierte Untersuchung und quantitative Erfassung dieser Reaktionen findet in Langzeittests statt.

C.2 Probennahme und Probenaufbereitung

Unterhalb 478.5 m wurde das Kernbohren mit Rollenmeißeln durch das Seilkernverfahren mit Diamantbohrkronen ersetzt.

Durch die Verwendung einer dünnlippigen Diamantbohrkrone fiel als Feststoff im wesentlichen nur noch Bohrmehl ($< 100 \mu m$) an. Dieses Material stellt eine homogene Mischprobe über einen Bereich von vermutlich wenigen Dezimetern dar und wird durch eine Zentrifuge aus der Bohrspülung abgetrennt. Neben den Zentrifugenproben wurden auch einige Kernbruchstücke entnommen und untersucht (siehe Abb. B.7.1).

Die Probennahme und Probenaufbereitung für die chemischen Untersuchungen im Teufenbereich 480-992 m entsprechen im wesentlichen den im KTB Report 88-1 beschriebenen Verfahren. Die Untersuchung des Bohrkleins erfolgte kontinuierlich im Abstand von 2 m. Der Beprobungsabstand für die Kationen- und Anionenanalyse der Bohrspülung beträgt 1-2 m.

C.3 Röntgenanalytik

C.3.1 RFA-Analytik

C.3.1.1 Geräteparameter und verwendete Meßprogramme

Im KTB-Feldlabor wird das Röntgenfluoreszenzgerät SRS 303 AS der Firma SIEMENS zur Analyse der Haupt- und Spurenbestandteile eingesetzt.

Geräteparameter sind :

Röntgenröhre	: Rh (Stirnfensterrohre)
Max. Anodenspannung	: 60 kV
Max. Röhrenstrom	: 80 mA
Max. Leistung	: 3 kW
Probenwechsler	: 72
Kollimatoren	: fein : Öffnungswinkel 0.15° grob : Öffnungswinkel 0.40°
Kristalle	: LiF 110, LiF 100, PET, OVONYX 53
Detektoren	: Durchflußzähler, Szintillationszähler

Die Messung der Hauptbestandteile erfolgte an Lithiumborat-Schmelztabletten (vergl. KTB Report 88-1, Probenaufbereitung). Zur Analyse der Hauptbestandteile wurden zwei Meßprogramme eingerichtet, das eine ist mehr für basische und das andere mehr für saure Gesteine geeignet (Tab.C.3.1).

Tabelle C.3.1: Eichkurvenbereich der beiden Meßprogramme "Amphi" (basische Gesteine) und "Gneis" (saure Gesteine) in Gew.- %.

	(Amphi)	(Gneis)
SiO ₂	38.20 - 60.62	52.40 - 76.95
Al ₂ O ₃	9.00 - 18.44	12.08 - 18.44
MgO	0.50 - 13.49	0.50 - 4.40
Na ₂ O	1.00 - 8.95	1.00 - 8.95
P ₂ O ₅	0.10 - 0.95	2.00 - 9.90
Fe ₂ O ₃ t	2.00 - 17.82	2.00 - 9.96
MnO	0.08 - 0.77	0.05 - 0.77
TiO ₂	0.13 - 3.69	0.10 - 1.09
CaO	1.09 - 14.77	1.00 - 7.98
K ₂ O	0.20 - 5.51	1.70 - 5.51

Das Spurenelementmeßprogramm umfaßt 14 Elemente, deren Konzentrationen an Pulvertabletten gemessen werden. Die Matrix-Korrektur wird mit Hilfe der sogenannten "Gamma-Routine" durchgeführt. Die durch die einzelnen Referenzgesteine abgedeckten Bereiche der verwendeten Eichkurven sind in Tabelle C.3.2 zusammengestellt.

Tabelle C.3.2: Eichkurvenbereich des Spurenelementmeßprogrammes (alle Angaben in ppm).

Ba	50 - 1400	Pb	10 - 50
Ni	10 - 250	Th	10 - 100
Cu	15 - 200	Rb	20 - 500
Zn	15 - 250	Sr	50 - 750
Ga	15 - 60	Y	20 - 150
Nb	10 - 300	Zr	20 - 300
Cr	20 - 450	S	100 - 700

C.3.2 RDA-Analysen

Im KTB-Feldlabor wird eine kontinuierliche, teufenbezogene Bestimmung des quantitativen Mineralbestandes von Bohrklein mittels winkeldispersiver Röntgenpulverdiffraktometrie durchgeführt. Die Entwicklungsarbeit dieser neu konzipierten Analysenmethode wurde während der Vorbereitungsphase des KTB in Gießen durchgeführt (siehe Posterband 1. KTB-Schwerpunkt-Kolloquium in Gießen 28.01.-29.01.88 : A. Stroh, J. Lauterjung und R. Emmermann). Seit Bohrbeginn wurden bereits ca. 500 Proben untersucht.

C.3.2.1 Quantitative röntgenographische Phasenanalyse - Einige Bemerkungen zur Methodik -

Die röntgenographische Phasenanalyse ermöglicht eine qualitative und quantitative Bestimmung des Mineralbestandes an Pulverproben. Durch den Einsatz Computer-gesteuerter Röntgendiffraktometer in den letzten Jahren ist eine schnelle Aufnahme und Auswertung von Röntgenbeugungsspektren möglich geworden. Die Programme für die quantitative Auswertung der Spektren wurden in Zusammenarbeit mit Dr. Lauterjung, Gießen, entwickelt. Das Programmpaket beinhaltet:

1. Berechnung eines Polynoms an das beobachtete Beugungsspektrum zur exakten Festlegung des Untergrundes.
2. Berechnung eines 2-fach abgeleiteten Spektrums zur Entfaltung von Linienüberlagerungen und zur Bestimmung der Peaklagen.
3. Profilanalyse zur Bestimmung der genauen Linienintensitäten des gesamten Beugungsspektrums.

Berücksichtigt werden unter anderem auch die funktionellen Parameter, wie z.B. Asymmetrie und Halbwertsbreite der Beugungsreflexe sowie $K\alpha_1$ - $K\alpha_2$ - Aufspaltung.

Die Identifizierung der Mineralphasen erfolgt über einen Vergleich der d-Werte und Intensitäten des Probenspektrums mit den Röntgenbeugungsdaten von ca. 200 reinsten, natürlichen Mineralphasen. Die Daten der Reinphasen wurden in der Vorphase der Bohrung mit dem gleichen Diffraktometer vermessen und sind in einer "Mineraldatei" abgespeichert. Außer den d-Werten und Intensitäten sind in dieser Datei die chemische Vollanalyse und die Massenabsorptionskoeffizienten der Minerale abgespeichert. Nach der qualitativen Bestimmung des Phasenbestandes wird die quantitative Zusammensetzung der Probe aus den abgebeugten Intensitäten durch ein lineares Gleichungssystem berechnet. Dabei erfolgt die Kalkulation der Mineralgehalte nicht an Einzelreflexen, sondern - und das ist der große Vorteil der Methode gegenüber anderen Verfahren - mit allen im Probenspektrum beobachteten Reflexen. Der Einfluß von Textureffekten und Variationen im Chemismus der Mischkristallphasen auf die Intensität von Einzelreflexen wird dadurch minimiert. Voraussetzungen für die Lösung dieses Gleichungssystems sind :

1. Alle in der Probe vorhandenen Minerale müssen als Standardphasen in der Mineraldatei verfügbar sein.

2. Die genauen Massenschwächungskoeffizienten (Absorptionskoeffizient) der beteiligten Phasen müssen bekannt sein.

Eine generelle Nachweisgrenze kann bei dieser Methode nicht definiert werden. Sie ist von der Mineralparagenese, den Gehalten der einzelnen in der Probe enthaltenen Phasen, der chemischen Zusammensetzung und der Kristallstruktur abhängig. In der Regel liegt die Nachweisgrenze zwischen 2 und 3 Gew.-%. Die bei der röntgenographischen Erfassung des quantitativen Mineralbestandes auftretenden Fehler sind im allgemeinen kleiner als bei der optischen Integrationsanalyse.

An dieser Stelle muß besonders darauf hingewiesen werden, daß bei der röntgenographischen Bestimmung des Mineralbestandes die Alterationsprodukte mit erfaßt werden. Dadurch kann es bei der petrographischen und röntgenographischen Charakterisierung der Gesteine gelegentlich zu unterschiedlichen Bezeichnungen kommen (z.B. chloritisierter Biotit = Chlorit oder Al-Silikat = Hellglimmer).

Eine detaillierte Beschreibung der theoretischen Grundlagen der hier angewendeten quantitativen Phasenanalyse wird im Laufe des Jahres publiziert. Es wird dann an entsprechender Stelle darauf hingewiesen.

C.3.2.2 Gerätekonfiguration und Geräteparameter

Für die Durchführung der Röntgenbeugungsuntersuchungen steht im Feldlabor das Röntgendiffraktometer D 500 der Firma SIEMENS zur Verfügung. Die Datenauswertung erfolgt durch eine Micro PDP11/73 Plus der Firma DIGITAL EQUIPMENT.

Geräteparameter sind:

verwendete Röntgenstrahlung:	Cu K α ; Lambda = 1.5405A
Röhrenstrom	: 30 mA
Beschleunigungsspannung	: 40 kV
Monochromator	: Graphit-Kristall
Detektor	: Szintillationszähler
Meßbereich	: 5 - 65° (2 - Theta)
Schrittweite	: 0.02°/ sec.

C.3.3 RFA/RDA Ergebnisse am Bohrklein 480 - 992 m

Alle vorhandenen Ergebnisse sind im Anhang (RFA:C.9.1, RDA:C.9.2) als Teufenlogs im Maßstab 1:2000 zusammengefaßt. Detaillogs im Maßstab 1:400 können bei Bedarf von den Autoren angefordert werden.

Die Analysenergebnisse des Teufenbereiches 480-992 m charakterisieren im wesentlichen eine Paragneisabfolge. Das Profil läßt sich in zwei Bereiche untergliedern. Dabei sind die Gesteine der Teufenzone von 480-548 m durch eine große Variation ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung gekennzeichnet. Als Hauptgemengteile treten Quarz, Plagioklas, Chlorit und Muskovit sowie untergeordnet Granat, Biotit, Kalifeldspat und Amphibol

auf. Die stark wechselnden Mineralparagenesen in diesem Bereich werden hauptsächlich durch mehrere Meter mächtige Störungszonen zwischen 508 und 520 m hervorgerufen. Das Chloritmaximum in diesen Störungen liegt bei 70 % (516 m). Biotit und Granat werden in diesem Teufenbereich abgebaut. Die Quarz- und Plagioklas-Gehalte zeigen einen großen Variationsbereich von 10 - 45 %. Muskovit tritt nur ganz untergeordnet auf. Chemisch ist dieser Bereich durch eine starke Zunahme von MgO, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅, Cr, Ni, Y, Nb und Zr sowie eine deutliche Abnahme von SiO₂, Na₂O, K₂O, Rb und Sr charakterisiert. Sowohl im Hangenden als auch im Liegenden läßt sich eine intensive, an die Störung gebundene Sulfid-Vererzung durch die erhöhten S-Gehalte (bis 1.25 %) belegen. Als Haupt-Erzmineral konnte röntgenographisch Pyrit (2-3 Gew.- %) nachgewiesen werden. Bei dem in der Störungzone anstehenden Gestein handelt es sich um einen stark alterierten Quarz-Diorit, dessen petrographische und geochemische Beschreibung in Kap. B.3.3 aufgeführt ist.

Auffallend sind weiterhin stark erhöhte CaO-Gehalte sowie partiell erhöhte K₂O-, Rb- und Zr-Gehalte im nachfolgenden Teufenbereich bis 548 m. Die CaO-Erhöhung korreliert ausgezeichnet mit einer Amphiboliteinschaltung zwischen 524 und 528 m, die durch die RDA-Analysen belegt werden kann. Die chemische und modale Zusammensetzung des Amphibolits ist in Tab. C.3.3 dargestellt. Die höheren K₂O- und Rb-Gehalte werden durch kalifeldspatführende Partien bei 524, 540, 546 und 558 m hervorgerufen. Die starke Zunahme der Zr-Werte ist auf erhöhte Zirkongehalte zurückzuführen (Schliff 93BliT). Weiterhin wurde in diesem Schliff Orthit identifiziert, der stellenweise mit Klinozoisit verwachsen ist. Diese Beobachtung erklärt auch den sehr großen Gamma-Ray Peak in diesem Teufenbereich.

Tabelle C.3.3 : Chemische und mineralogische Zusammensetzung des Amphibolits 524-528 m (88A1T).

	Gew.- %	ppm	Mineral	Gew.- %
SiO ₂	50.4	Cr 255	Quarz	8
Al ₂ O ₃	13.5	Ni 138	Plagioklas	21
MgO	6.62	Cu 73	Amphibol	48
Na ₂ O	2.16	Zn 255	Chlorit	15
P ₂ O ₅	0.23	Nb 25	Titanit	6
Fe ₂ O ₃	12.66	Ba 401	Graphit	2
MnO	0.19	Pb 31		
TiO ₂	1.76	Zr 145		
CaO	6.05	Rb 46		
K ₂ O	1.50	Sr 158		
		Y 45		

Im Bereich 548 - 992 m wurde eine monotone Paragneisabfolge durchteuft, die im wesentlichen aus Disthen-Sillimanit-Biotit-Gneisen und Granat-Sillimanit-Gneisen zusammengesetzt ist. Die mittlere chemische und mineralogische Zusammensetzung ist in Tab. C.3.4 dargestellt.

Tabelle C.3.4: Durchschnittliche chemische und mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Paragneise im Teufenbereich 548 - 850 m.

	Gew.-%	ppm	Mineral	Variationsbereich	Gew.-%
SiO ₂	60.0	Cr 150	Quarz	30 - 60	38
Al ₂ O ₃	15.0	Ni 60	Plagioklas	10 - 30	20
MgO	3.00	Cu 60	Biotit	5 - 30	10
Na ₂ O	2.20	Zn 150	Muskovit	5 - 30	15
P ₂ O ₅	0.15	Nb 20	Chlorit	5 - 15	10
Fe ₂ O ₃	8.00	Ba 500	Granat	4 - 12	7
MnO	0.13	Pb 30			
TiO ₂	1.00	S 500			
CaO	1.00	Rb 70			
K ₂ O	2.30	Sr 130			
		Y 50			
		Zr 200			

Al-Silikate konnten nur bei Teufe 948 m (Sillimanit 5 %) röntgenographisch nachgewiesen werden. Eine deutliche Granatführung wurde im Bereich bis 600 m festgestellt. In allen anderen untersuchten Proben lagen die Gehalte dieser Mineralphasen unterhalb der röntgenographischen Nachweisgrenze. Die Al-Silikate sind zudem häufig in Hellglimmer umgewandelt und werden dann bei den RDA-Untersuchungen als Muskovit-Komponente erfaßt. Bei der Zusammenstellung der durchschnittlichen Chlorit-Gehalte wurden immer wieder auftretende Chloritmaxima nicht mit berücksichtigt. Diese Maxima erscheinen als charakteristisch scharfe Peaks im Meterbereich und korrelieren ausgezeichnet mit den bei der Kernuntersuchung festgestellten Störungszonen und den durch Kalibermessungen dokumentierten Auskesselungen. Diese Bereiche zeigen die gleichen, für eine Chloritisierung charakteristischen chemischen Konzentrationsänderungen einzelner Elemente, wie sie bereits im Teufenbereich 508 - 520 m beschrieben wurden.

C.3.3.1 Vergleich der Ergebnisse von Bohrmehl und Kernbruchstücken

Um zu überprüfen, ob die an Zentrifugenproben ermittelten Daten für das anstehende Gestein repräsentativ sind, wurde versucht, die an Kernbruchstücken gemessenen Werte teufengerecht einzuhängen. Die Ergebnisse sind im Anhang dargestellt. Es wird eine insgesamt gute Korrelation zwischen den Daten von Zentrifugenproben (*) und Kernbruchstücken (o) erzielt. Stellenweise beobachtete Abweichungen der absoluten Gehalte beruhen auf folgenden Faktoren:

1. Die untersuchten Kernbruchstücke sind recht klein und inhomogen.
2. Bohrmehl ist in der Regel eine Mischprobe über einen Bereich von wenigen Dezimetern.

Die gewonnenen Daten zeigen, daß das durchteufte Gestein durch den an Bohrmehl bestimmten Mineralbestand zweifelsfrei identifiziert werden kann.

Da je nach Art des verwendeten Meißeltyps Bohrklein unterschiedlicher Kornfraktion (Cuttings und / oder Bohrmehl) anfällt, stellt sich die Frage, welches Material für eine kontinuierliche Bestandsaufnahme der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung am besten geeignet ist. Ein Vergleich der Daten beider Probenarten war während der Richtbohrphase (992 - 1228 m) über mehrere Zehner-Meter möglich. Die Ergebnisse werden im nächsten KTB-Report ausführlich diskutiert.

C.4 Spülungsanalytik

C.4.1 Funktionsprinzip des Ionenchromatographiesystems

Zur quantitativen Anionenbestimmung wird ein Ionenchromatographiesystem (IC) der Firma WATERS verwendet. Es besteht aus folgenden Komponenten: Eluentenpumpe, Probeninjektorsystem, Trennsäule, Leitfähigkeitsdetektor, Interface mit PC zur Datenverarbeitung.

Das Funktionsprinzip des IC's soll anhand des Weges, den eine eingegebene Probe im System zurücklegen muß, erklärt werden. Die Bohrspülung wird für die Analyse im Chromatographen 20-fach verdünnt und anschließend mit einem 0.45 µm Filter filtriert. Die so vorbehandelte Probe wird in das System eingegeben und durch eine mit Polymetacrylatgel gefüllte Trennsäule transportiert. Als Transportmedium dient ein Eluent, der aus den Komponenten Borsäure, Glukonsäure, Lithiumhydroxid, Glycerin, Acetonitril und Wasser besteht. In der Trennsäule werden die einzelnen Anionen verschieden stark festgehalten und migrieren mit unterschiedlichen Raten durch die Säule. Die Probe wird also in ihre Anionenkomponenten zerlegt. Die so voneinander getrennten Anionen werden durch den Eluenten in den Leitfähigkeitsdetektor transportiert. Die durch unterschiedliche Konzentration der Anionen hervorgerufene Leitfähigkeitsänderungen werden in Chromatogrammen dargestellt. Die Zeitdauer für eine vollständige Abtrennung beträgt je nach Eluentenkonzentration zwischen 10-12 Minuten.

C.4.2 Ergebnisse

C.4.2.1 Zirkulationstest 5.11.87 (478.5 m)

Mit dem Erreichen der Teufe von 478.5 m wurde ein 9 tägiges geophysikalisches Meßprogramm gestartet. Während dieser Phase wurde die Bohrspülung nicht zirkuliert, sondern nur durch ein- und ausfahrende Meßsonden durchbewegt.

Mögliche Zuflußhorizonte führen zu einer lokalen Veränderung der chemischen Zusammensetzung in der stehenden Spülungssäule. Nach Beendigung des Meßprogramms wurde deshalb die stehende Spülung durch eine neu angesetzte Bohrspülung mit bekannter Zusammensetzung (Saugtankprobe) ausgetauscht. Die neue Spülung wurde mit konstanter Pumprate durch das Gestänge in das Bohrloch eingebracht. Während der Auszirkulation der alten Spülung erfolgte eine Probennahme in einem zeitlichen Abstand von 2 Minuten. Bei bekannter Pumprate, bekanntem Ringraum- und Gestängeverdrängungsvolumen, ist es möglich den genommenen Proben jeweils eine Teufe zuzuordnen. In der Tabelle C.4.1 sind die Kationen- und Anionengehalte des Zirkulationstestes, der verdrängenden Spülung (Saugtankprobe) und der Spülung der Teufe 478.5m zum Vergleich aufgeführt.

Tabelle C.4.1: Anionen- und Kationengehalte des Zirkulationstests (478.5 m).
(Alle Angaben in ppm)

Teufe (m)	Na	Ca	K	Li	Sr	Ba	Fe	Mg	Mn	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
0	710	480	200	37	1.5	3.7	900	1950	13	129	338
50	750	530	220	41	1.7	4.0	970	2140	14	101	338
100	760	550	220	46	1.8	4.5	1030	2370	15	103	338
150	770	570	240	47	1.8	4.9	1100	2430	16	117	348
200	740	570	220	46	1.8	4.5	1060	2360	16	108	333
250	750	560	220	46	1.8	4.6	1040	2370	16	103	332
300	750	550	210	46	1.7	4.0	1030	2350	15	103	337
350	730	530	210	45	1.7	3.9	1010	2290	15	114	349
400	740	520	210	45	1.6	3.7	970	2300	15	98	319
450	740	540	210	44	1.7	4.1	970	2270	15	114	-
500	800	560	220	47	2.1	10.0	1040	2410	16	160	343
Saugt.	760	500	190	42	1.5	3.4	870	2160	13	108	343
478	730	530	210	41	1.6	3.7	980	2140	15	112	349

Die auszirkulierte Spülung zeigt außer einer Cl⁻-Anreicherung in der ersten entnommenen Probe (Teufe 0 m) keine signifikanten Konzentrationsänderungen im Vergleich zur Bezugsprobe (Teufe 478.5 m). Die Cl⁻-Anreicherung wird auf Reaktion der Spülung mit dem zementierten Rohrschuh bei 28 m zurückgeführt. Dem Zement wurde CaCl₂ als Verzögerer zugesetzt.

C.4.2 Bohrphase von 480-992 m

Nach dem Zirkulationstest wurde das Bohrloch bis auf 478.5 m verrohrt. Anschließend wurden der zementierte Rohrschuh sowie 2m Gestein durchbohrt. Wie die Spülungsanalysen beim Durchteufen des ersten zementierten Rohrschuhs bei 28 m belegen, verursacht das Aufbohren des Zementes eine erhebliche Kontamination der Spülung durch eine Anreicherung von Ca, Sr und Cl⁻ (siehe KTB Report 88-1). Erhöhte Kationen- und Anionengehalte in der Spülung erschweren die Eingrenzung möglicher Zuflußhorizonte. Deshalb wurde die Bohrspülung nach dem Durchbohren des zweiten zementierten Rohrschuhs vollständig ausgetauscht.

Die neu angesetzte Bohrspülung zeigt für die meisten untersuchten Elemente sehr niedrige Initialgehalte (230 ppm Na, 80 ppm Ca, 20 ppm K, 32 ppm Li, 0.4 ppm Sr, 1.5 ppm Ba, 20 ppm Fe, 1430 ppm Mg, 0.6 ppm Mn, 18 ppm Chlorid und 62 ppm Sulfat).

Die erzielten Ergebnisse sind in Übersichtslogs (Maßstab 1:2000) dargestellt (Anhang C.9.3). Detaillierte Tiefenlogs können bei Bedarf von den Autoren angefordert werden. Der Variationsbereich der untersuchten Elemente im Berichtszeitraum ist in Tab. C.4.2 aufgeführt.

Tab. C.4.2: Variation der untersuchten Elemente im Teufenbereich 478.5 - 992 m.

Element	Konzentration	
	min.	max.
	(ppm)	
Na	230	310
Ca	60	300
K	20	240
Li	10	32
Sr	0.4	1
Ba	1.5	5
Fe	20	1050
Mg	800	1500
Cl ²⁻	10	38
SO ₄ ²⁻	60	85

Mg, Li und Na sind Hauptbestandteile des Spülungszusatzes (D-HT) und ermöglichen eine genaue Bestimmung der D-HT-Konzentration der Bohrspülung. Durch diverse Einleitungen, wie z.B. H₂O, Bohrspülung unterschiedlichster D-HT-Konzentration und NaOH kommt es zu einer Veränderung der absoluten Gehalte der Elemente. Eine Zusammenstellung dieser Einleitungen in das Spülungssystem während der Bohrphase zwischen 478.5 und 992 m ist in Tab. C.4.3 aufgeführt.

Tab. C.4.3: Zusammenstellung der Einleitungen während der Bohrphase 478.5 - 992 m

Teufe (m)	Technische Einleitungen	Volumen in m ³ der zirkulierenden Spülung
480	40 m ³ 1%D-HT, Spülsaustausch	
490	17 m ³ 1% D-HT	36.7
530	10 m ³ 1%D-HT	39.7
600	5 m ³ Wasser	37.7
640	10 m ³ alte Spül., x%D-HT	33.8
650	6 m ³ 1%D-HT mit xkg NaOH	27.9
675	5 m ³ Kellerspül., 10 m ³ 1% D-HT mit 10 kg NaOH	42.5
725	6 m ³ 1% D-HT	44.0
740	4 m ³ 1% D-HT	39.3
750	8 m ³ <1% D-HT, 5m ³ Kellerspül.	43.5
790	7 m ³ <1% D-HT mit 20kg D-HT	45.3
820	12 m ³ 1% D-HT mit ca. 2kg NaOH	46.4
830	4.3 m ³ Wasser	47.3
870	12 m ³ 1.25% D-HT mit 2kg NaOH	-
880	3.6 m ³ Wasser	47.0
910	2.7 m ³ Wasser	40.4
930	2.4 m ³ Wasser	49.3
975	7 m ³ 0.8% D-HT	50.0
992	13 m ³ 0.8% D-HT mit 4kg NaOH	-

Charakteristisch für den Teufenbereich zwischen 480-992m₂ ist eine kontinuierliche Anreicherung von K, Ba, Fe, Sr und SO₄ in der Bohrspülung. Eine deutliche Anreicherung der Ca-Gehalte bis zu maximal 300 ppm im Teufenbereich 523-527 m und bei 551 m korreliert mit hornblendeführenden Partien, die bis zu 6 Gew.-% CaO aufweisen (vergl. RFA Analyse C.9.1). Die Anionenanalyse dokumen-

tiert zwischen 480 und 580 m einen Bereich verstärkter Sulfatzunahme in der Bohrspülung. RFA-Analysen an Bohrmehl aus Gesteinen dieses Teufenbereiches zeigen erhöhte Schwefelgehalte. Um die Ursache dieser Anreicherungen in Abhängigkeit der durchschnittlichen Gesteinszusammensetzung zu klären, wurden reine Mineralseparate von Kalifeldspat, Amphibol, Biotit, Chlorit und Pyrit sowie eine Probe aus dem Bereich eines Marmors (80% Calcit) bei 131 m aufgemahlen (< 60 µm) und je 1 g Substanz mit 50 ml 1.25 %iger D-HT-Spülung versetzt. Nach einer 14-tägigen Reaktionszeit bei 25°C konnten die ersten Daten ermittelt werden. Als Bezugsprobe (Blindwert) wurde die reine 1.25 %ige D-HT-Spülung gemessen. Die Ergebnisse sind in Tab. C.4.4 zusammengestellt.

Tab. C.4.4: Ergebnisse von Leaching-Versuchen zur Charakterisierung möglicher Spülungs/Gesteinswechselwirkungen. (Alle Angaben in ppm)

	pH	Na	Ca	Fe	Sr	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
D-HT	9.6	350	40	60	0.2	<20	<40
Amphibol	9.8	340	90	110	1.0	<20	<40
Chlorit	9.5	340	40	70	0.3	<20	<40
Kalifeldspat	9.6	340	40	60	0.2	<20	<40
Calcit	9.5	340	870	70	0.9	<20	<40
Pyrit	3.1	340	40	940	0.2	<20	3000
Biotit	9.3	340	40	80	0.2	<20	<40

Die Ergebnisse in Tab. C.4.4 zeigen deutlich, daß die kontinuierliche Anreicherung einzelner Elemente in der Bohrspülung durch Bohrspülungs/Gesteinswechselwirkungen entsteht und somit das Ergebnis von Leaching- und Oxidationsprozessen darstellt. Eine Erhöhung der Ca- und Sr-Gehalte wird in der mit Calcit und Hornblende versetzten Spülung gemessen. Erhöhte Fe-Gehalte werden von allen Fe-haltigen Mineralen hervorgerufen. Eine drastische Fe-Anreicherung wurde in der pyrithaltigen Spülung ermittelt. Gleichzeitig stiegen in erheblichem Maße die Sulfat-Gehalte an und der pH wurde erniedrigt. Weitere Untersuchungen zur Druck-, Temperatur- und pH-Abhängigkeit dieser Reaktionen werden in Zusammenarbeit mit der Fa. Henkel durchgeführt.

C.4.2.3 Zirkulationstest 5.1.88 (992 m)

Nach dem Erreichen der Teufe von 992 m wurde die Bohrung für 14 Tage unterbrochen. Nach dieser "Stillstandsphase" wurden mit Fluidsamplern 9 verschiedene "zuflußträchtige" Horizonte angefahren. Danach wurde ein neuer Zirkulationstest gestartet.

Als Fluidsampler standen der GEOCOM-Sampler (1.4 und 3 L) und der SALVRMOSER-Sampler (unterschiedliche Zusammenstellung von Probenkammern) zur Verfügung. Der GEOCOM-Sampler wird evakuiert bis auf die Zielteufe herabgesenkt und das Einlaßventil geöffnet (Einströmprobennehmer). Der SALVAMOSER-Sampler (Durchströmprobennehmer) pumpt auf der Zielteufe die umgebende Flüssigkeit durch seine Probenkammern. Je nach auftretenden Problemen, wie Nichtschließen der Einlaßventile und/oder Verstopfen dieser Ventile, waren die Probennehmerkammern unterschiedlich gefüllt.

Die chemische Zusammensetzung dieser Fluidsamplerproben und der Proben des Zirkulationstestes ist in den Tabellen C.4.5 und C.4.6 aufgeführt. Zum Vergleich ist jedesmal die Bohrspülungszusammensetzung der Teufe 992 m mit dargestellt. Die Analyseenergebnisse der Fluidsamplerproben entsprechen den Daten, die während der Bohrphase (480 - 992 m) gemessen wurden.

Tabelle C.4.5: Chemische Zusammensetzung der Fluidsampler-Proben

Teufe (m)		Na	Ca	K	Li	Sr	Ba	Fe	Mg	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
514	S	300	90	170	27	0.8	4.7	760	1400	27.9	84
582	G	270	80	170	23	0.7	4.3	670	1170	29.0	87
602	G	300	100	200	28	1.0	5.4	840	1460	24.4	82
722	G	320	100	220	31	1.0	5.8	890	1610	27.7	84
817	G	320	100	220	31	1.0	6.8	950	1640	23.6	84
841	G	300	90	150	29	0.8	5.1	700	1490	23.9	-
907	G	310	100	180	31	0.9	6.4	820	1630	27.9	-
971	G	310	110	190	34	1.0	6.0	870	1730	25.4	84
971	S	290	90	170	28	0.8	4.4	710	1400	24.8	-

S = SALVRMOSER-Sampler

G = GEOCOM-Sampler

Alle Angaben in ppm

Tabelle C.4.6: Anionen- und Kationengehalte des Zirkulationstests (992 m)

Teufe (m)	Na	CA	K	Li	Sr	Ba	Fe	Mg	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
300	320	90	170	30	0.8	5.1	850	1560	24.5	89
380	300	60	140	19	0.5	3.3	540	980	27.2	88
460	290	70	140	22	0.6	3.7	610	1140	25.2	84
540	290	90	180	28	0.8	4.9	770	1410	27.4	81
620	290	90	160	28	0.8	4.6	740	1420	20.4	81
700	290	90	170	28	0.9	4.6	750	1420	19.1	78
780	310	100	190	30	0.9	5.3	840	1540	21.9	82
865	310	100	190	30	0.9	5.4	830	1510	19.9	80
950	310	100	190	31	0.9	6.2	840	1560	21.2	84
992	300	90	230	29	0.9	4.7	1010	1480	23.2	79

Alle Angaben in ppm

C.5 Gasanalytik

Da im Berichtszeitraum keine Degassereinrichtung zur Verfügung stand, konnte an Proben aus dem Teufenbereich 478.5-992 m keine Gasmessung durchgeführt werden.

C.6 Zusammenfassung

Im KTB-Feldlabor findet eine kontinuierliche mineralogische und chemische Bestandsaufnahme des erbohrten festen Materials und der Bohrspülung statt. Die Analyse der Feststoffe wurde an Kernbruchstücken und Zentrifugenproben durchgeführt. Die erzielten Ergebnisse zeigen eine im wesentlichen monotone Paragneisabfolge mit untergeordneten Einschaltungen von stark alteriertem Quarz-Diorit und Amphibolit. Die lithologischen Wechsel lassen sich durch die chemischen und mineralogischen Untersuchungen exakt aufzeigen. Immer wieder auftretende, stärker chloritisierte Partien unterschiedlicher Mächtigkeit fallen genau mit Störungszonen zusammen, die in Kaliberlogs z.T. als Auskesselungen auftreten.

Die Analysen von Zentrifugenproben und Kernbruchstücken des gleichen Teufenbereichs zeigen praktisch identische Ergebnisse. Die am Bohrmehl erzielten Ergebnisse sind somit repräsentativ für das durchteufte Gestein. Es kann schon jetzt gesagt werden, daß die Bohrkleinuntersuchungen eindeutige Aussagen über die Zusammensetzung der anstehenden Gesteine während einer kernlosen Bohrophase liefern werden.

Die Bohrspülung wurde auf ihre Anionen- und Kationengehalte untersucht. Die Ergebnisse belegen eine Aufkonzentrierung einzelner Elemente in der Bohrspülung. Diese Elementanreicherungen werden durch Bohrspülungs/Gesteinswechselwirkungen verursacht, wie durch Laborexperimente belegt werden kann.

Innerhalb des Teufenbereichs 478.5 - 992 m lassen sich anhand chemischer Parameter (Anionen und Kationen) keine Zuflüsse erkennen.

Für den Teufenbereich 478.5 - 992 m konnten wegen fehlendem Spülungsdegasser keine Gasmessungen durchgeführt werden.

C.7 Schriftenverzeichnis

Heinschild, H.-J., Homann, K. D., Kamm, H., Stroh, A., Tapfer, M., Welker, H. (1988): Tiefbohrung KTB - Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB - Feldlabor, Teufenbereich von 0 bis 480 m: C.Geochemie.- KTB Report 88-1: C1 - C73, Hannover.

Stroh, A., Lauterjung, J. & Emmermann, R.: Quantitative Phasenanalyse mit Röntgenbeugung. - Posterband: S. 11, 1. KTB-Schwerpunkt - Kolloquium in Giessen, 28.- 29. Januar 1988.

C.8 Danksagung

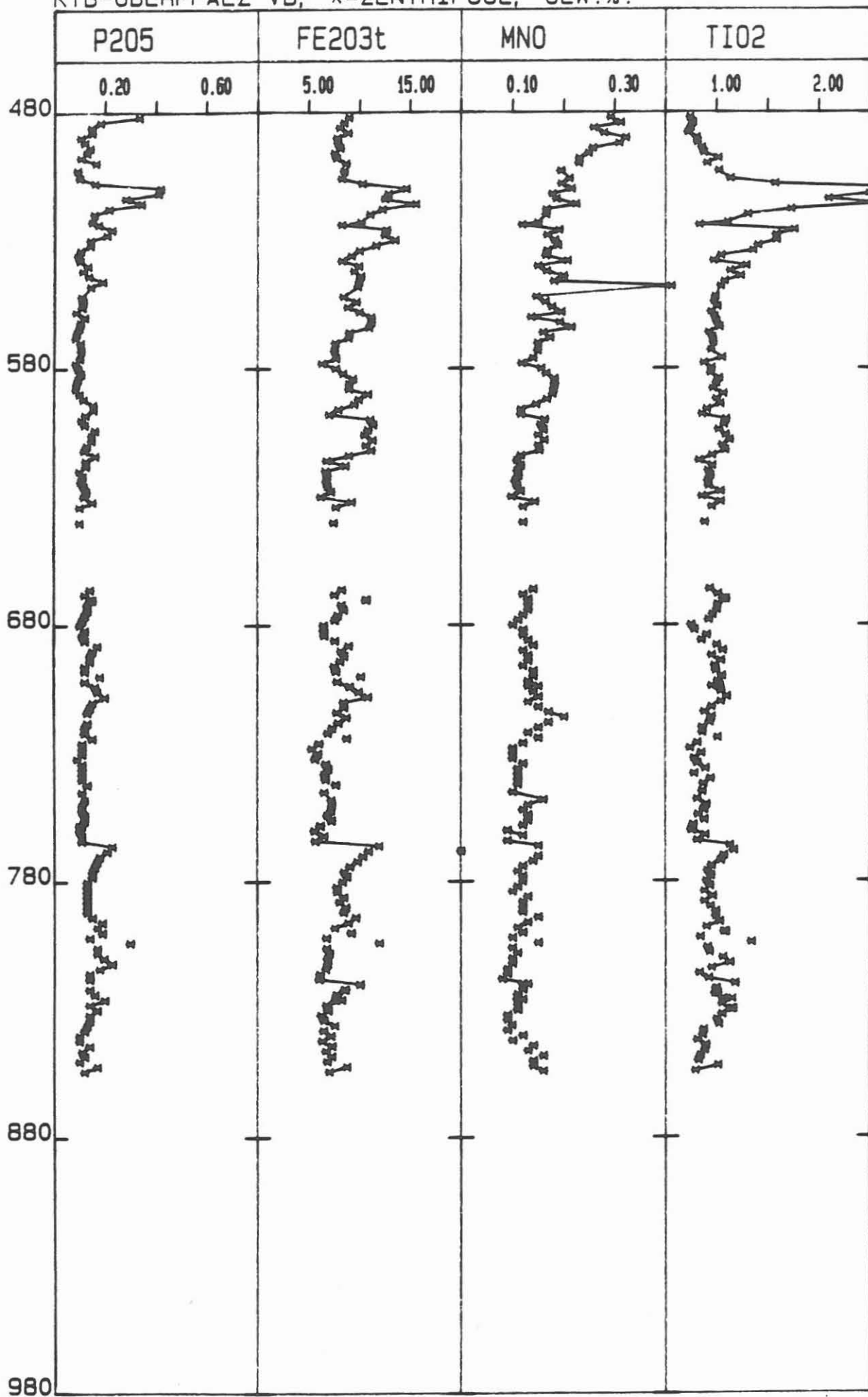
Die Schmelztabletten wurden im Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung in Giessen hergestellt und dort auch z. T. gemessen. Unser Dank gilt dem Leiter des Institutes, Herrn Prof. Dr. Emmermann und seinen Mitarbeitern, insbesondere Frau M. Grünhäuser für die Durchführung der Messungen. Unser weiterer Dank gilt den Technikern der Geochemiegruppe im Feldlabor, Herrn Kamm, Herrn Lippert, Herrn Welker sowie Frau Weber. Herrn Dr. Lauterjung sind wir für die Erarbeitung des verwendeten Plot-Programms zu großem Dank verpflichtet. Weiterhin danken wir Herrn Prof. Dr. R. Emmermann für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

C.9. Anhang

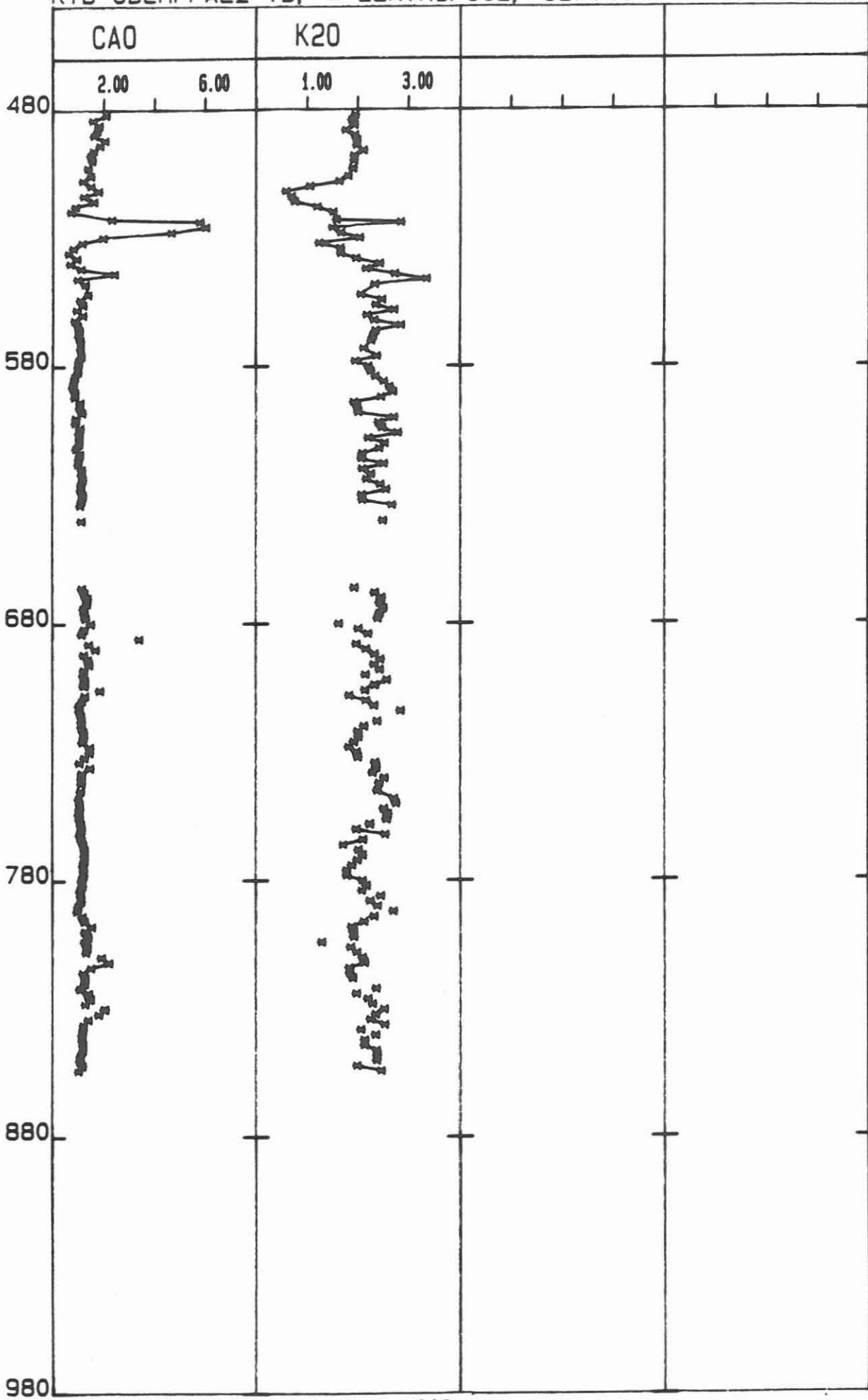
- C.9.1 Tiefenlogs der RFA-Analysen
- C.9.2 Tiefenlogs der RDA-Analysen
- C.9.2.1 Vergleich der Ergebnisse von Bohrmehlproben und Kernbruchstücken
- C.9.3 Tiefenlogs der Kationen- und Anionengehalte der Bohrspülung

C.9.1 Tiefenlogs der RFA-Analysen

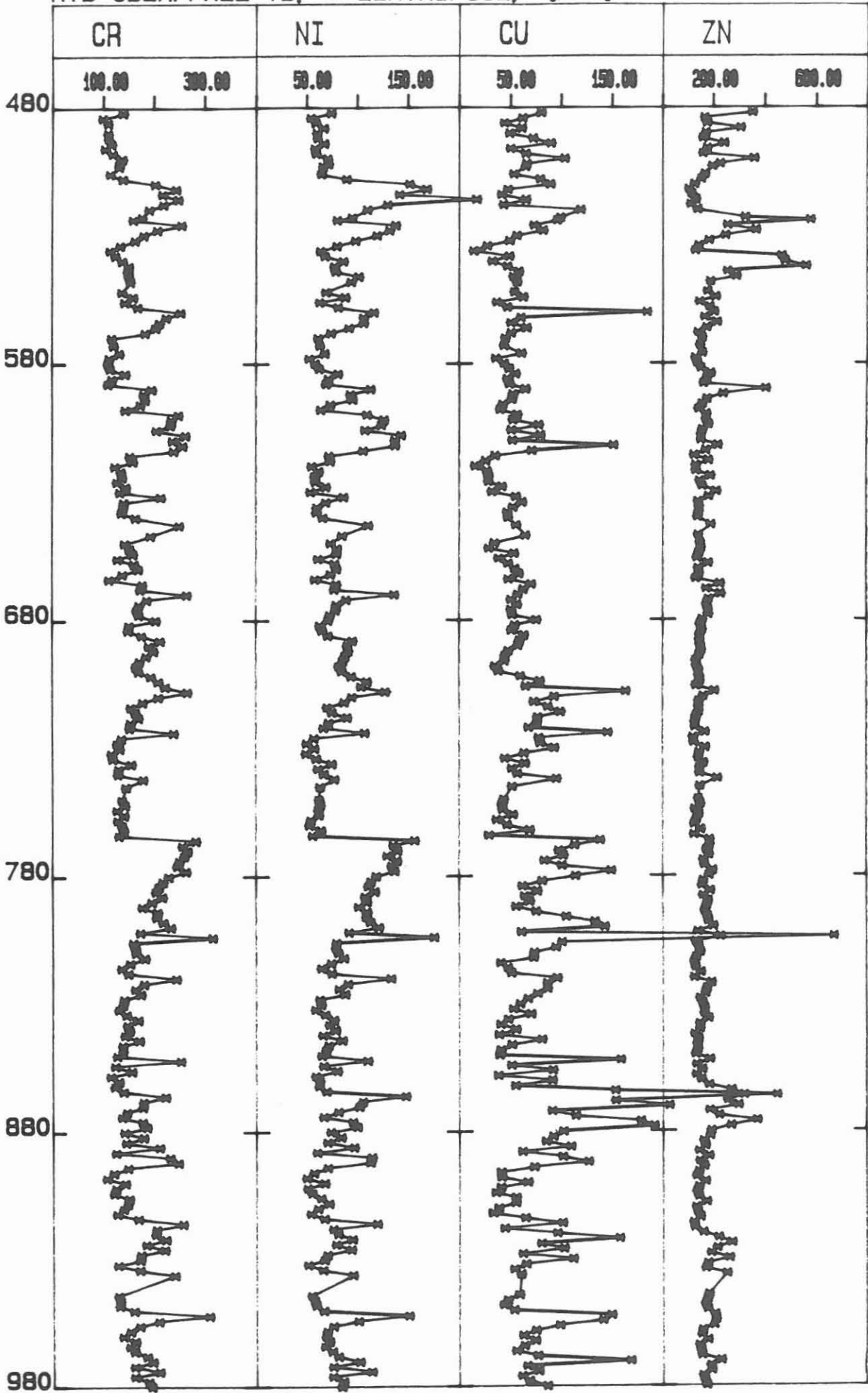
KTB-OBERPFALZ VB, *=ZENTRIFUGE, GEW.%.

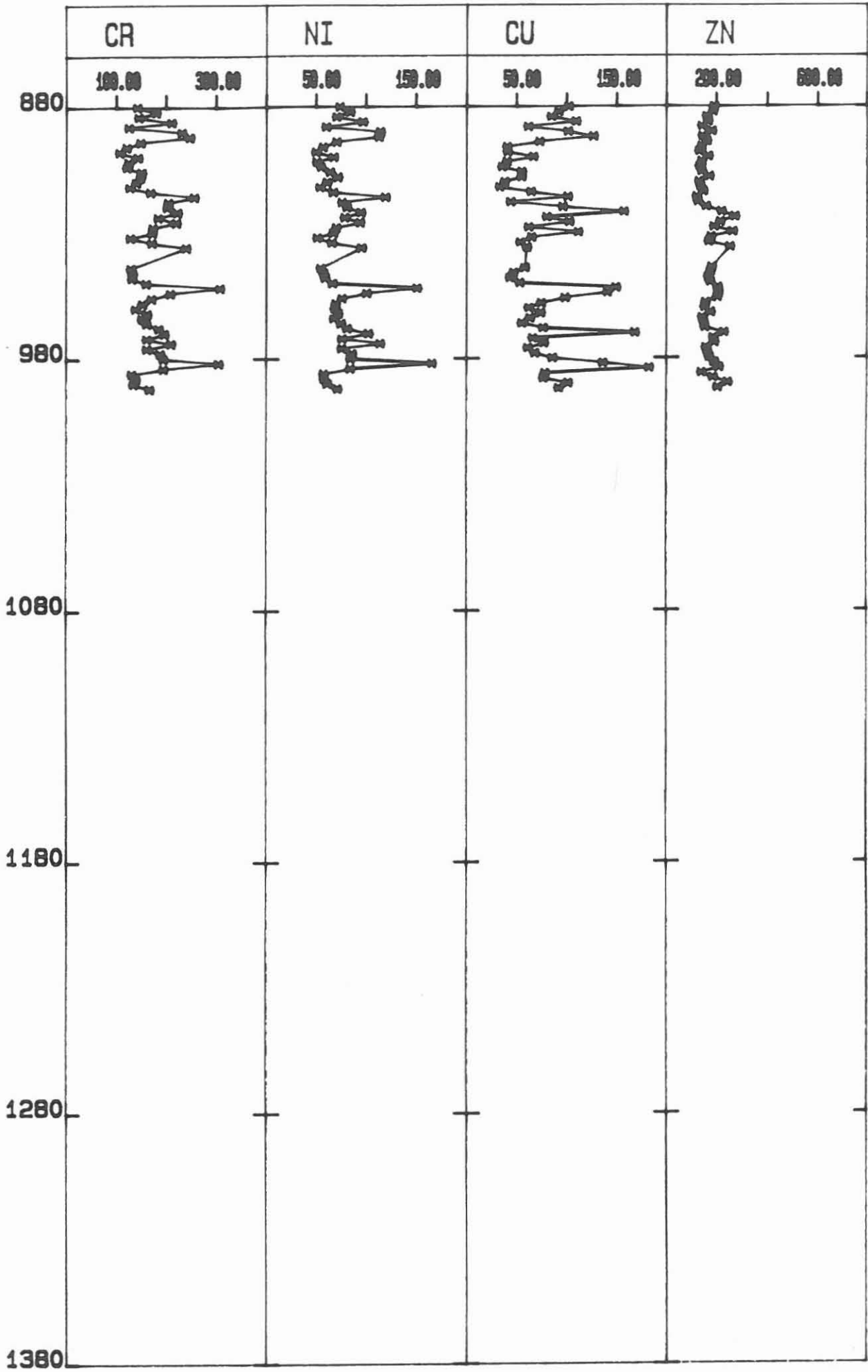


KTB-OBERPFALZ VB, *=ZENTRIFUGE, GEW.%.

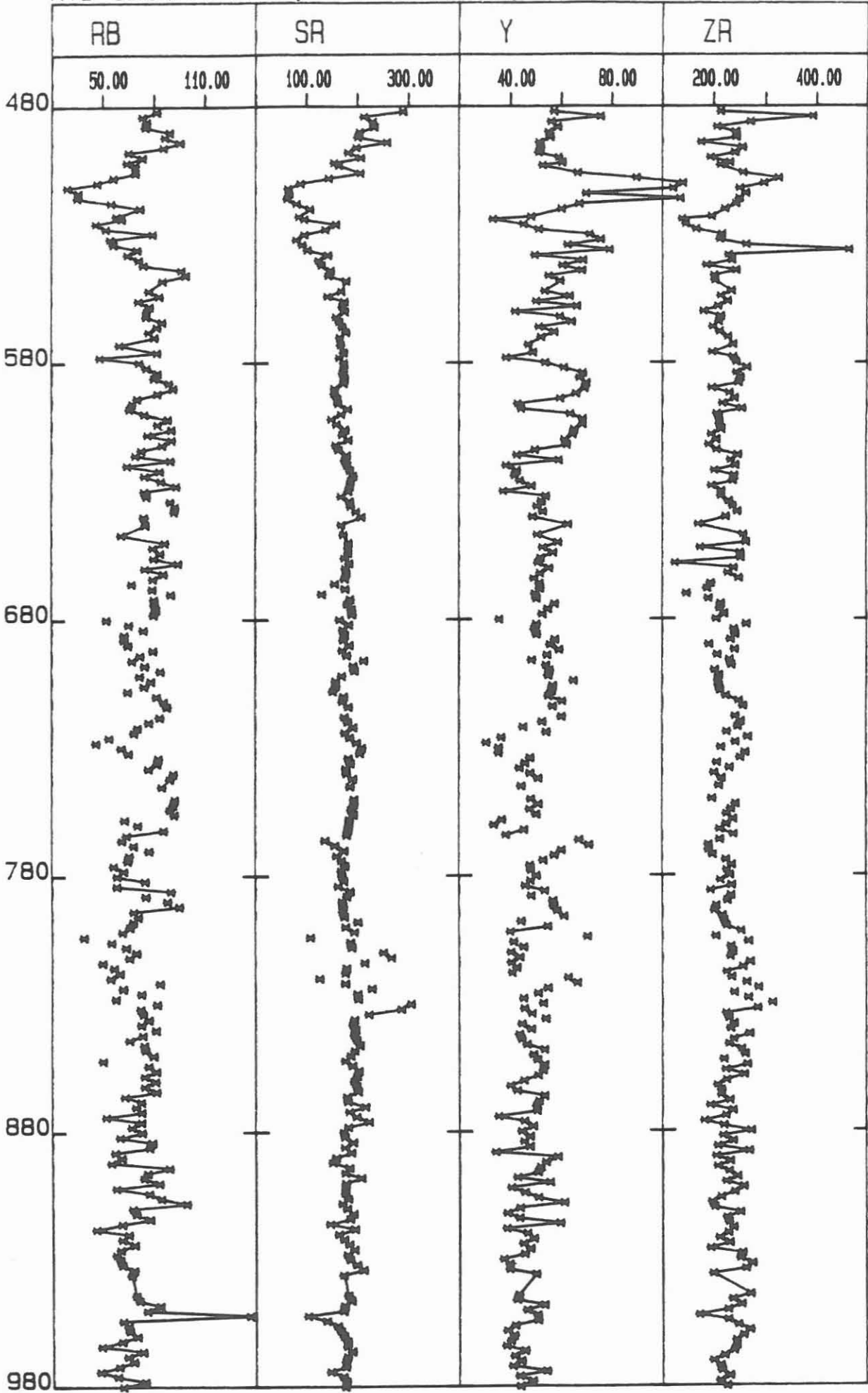


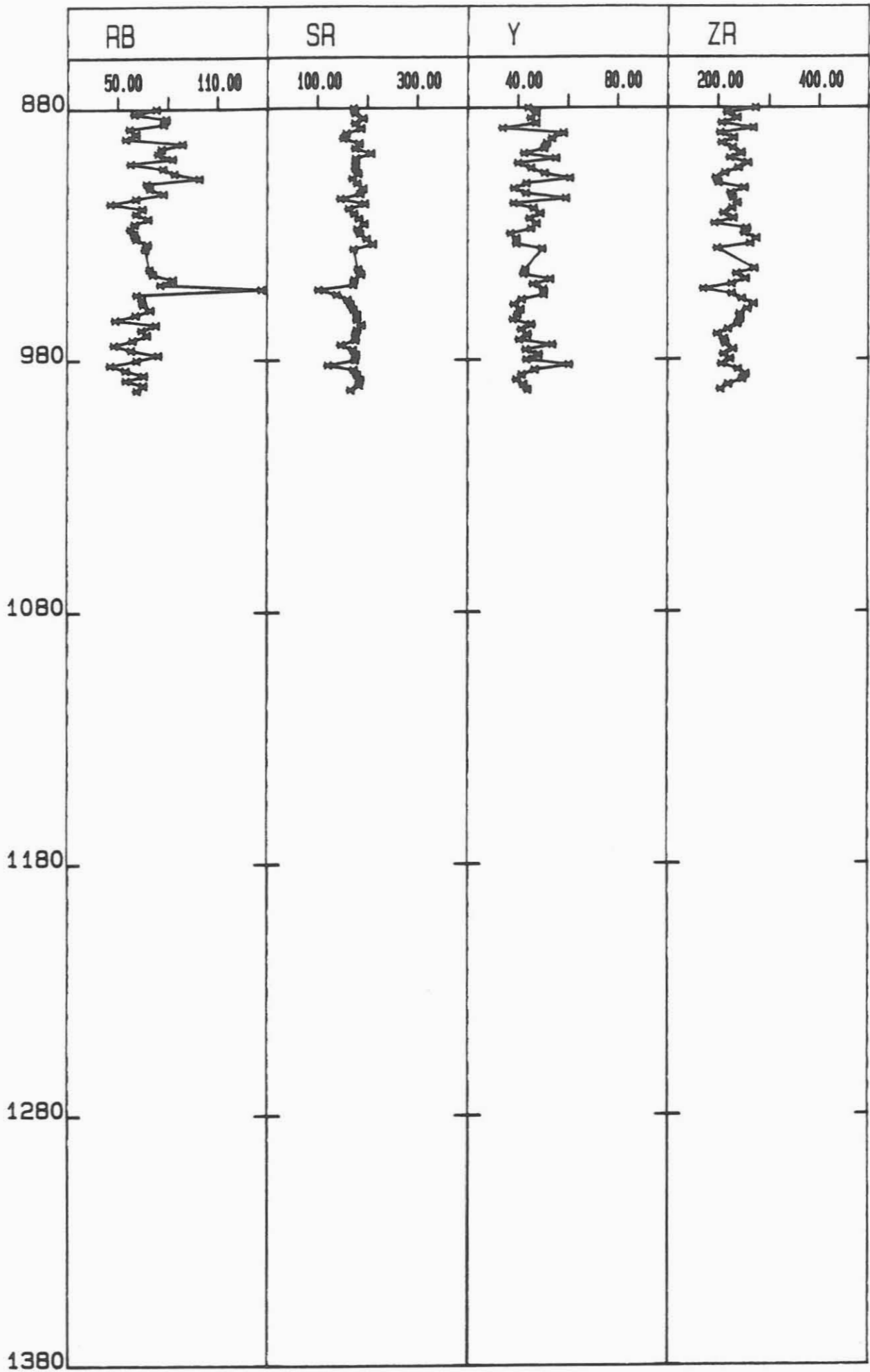
KTB-OBERPFALZ VB, *-ZENTRIFUGE, [PPM]



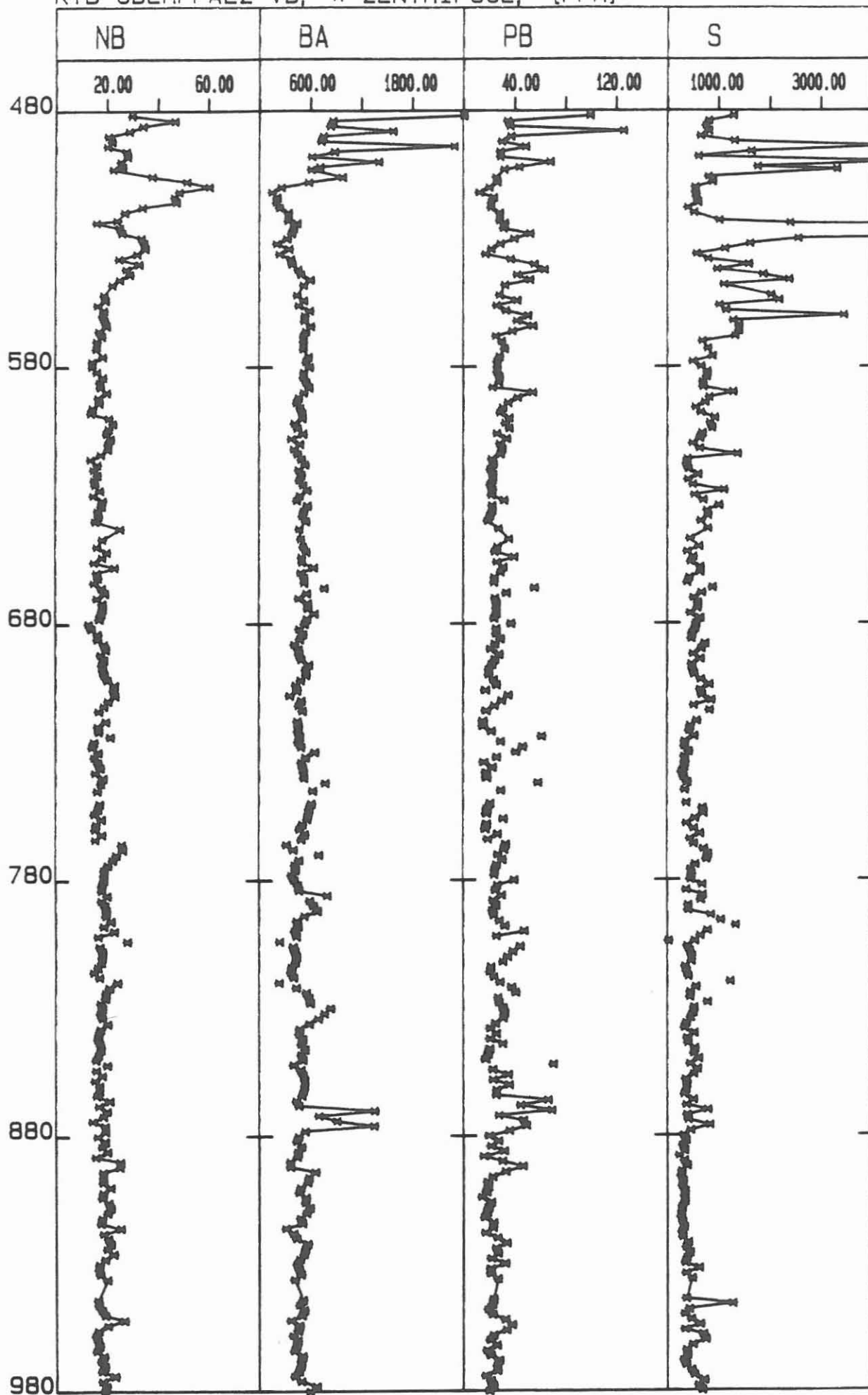


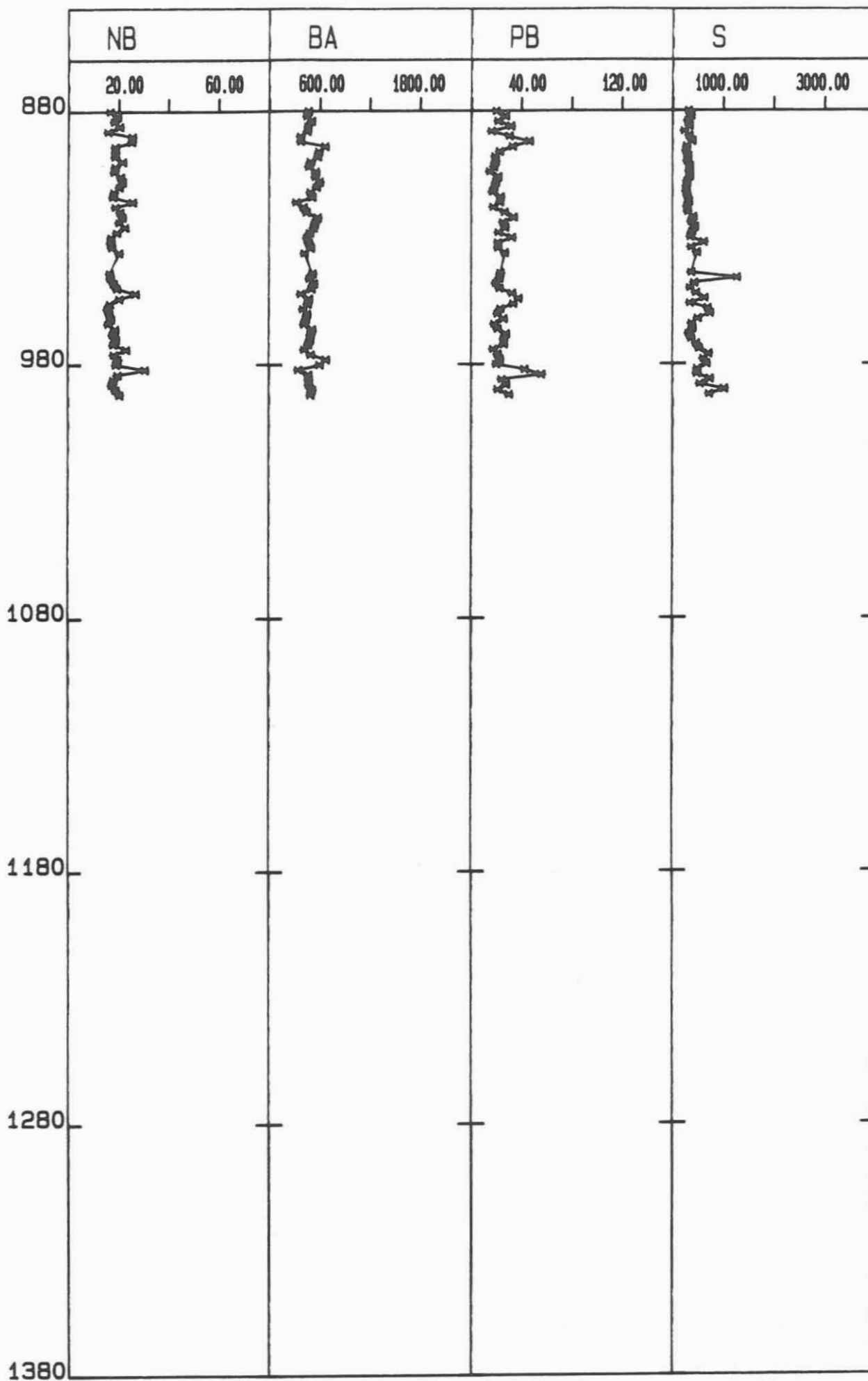
KTB-OBERPFALZ VB, *=ZENTRIFUGE, [PPM]





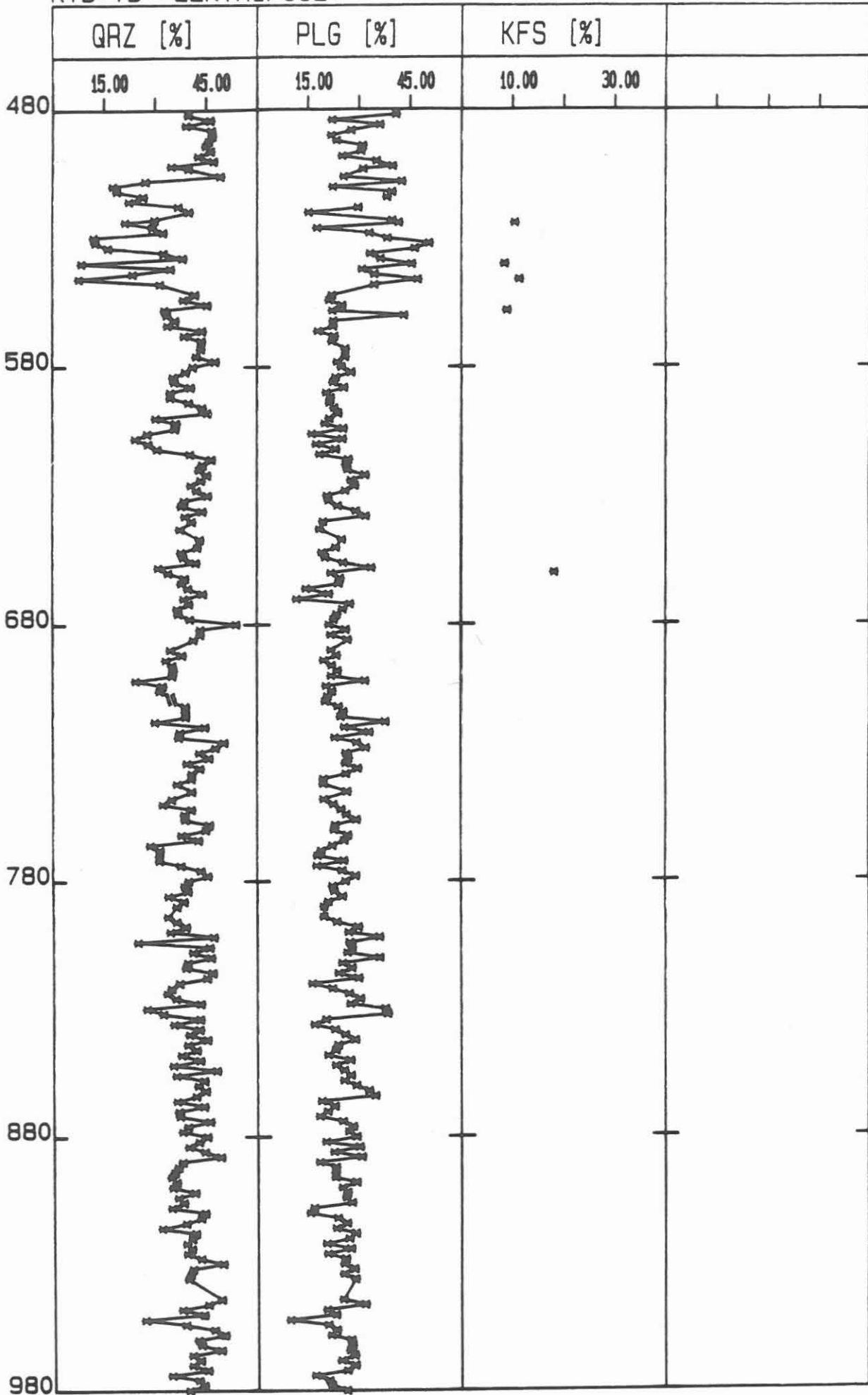
KTB-OBERPFALZ VB, *=ZENTRIFUGE, [PPM]



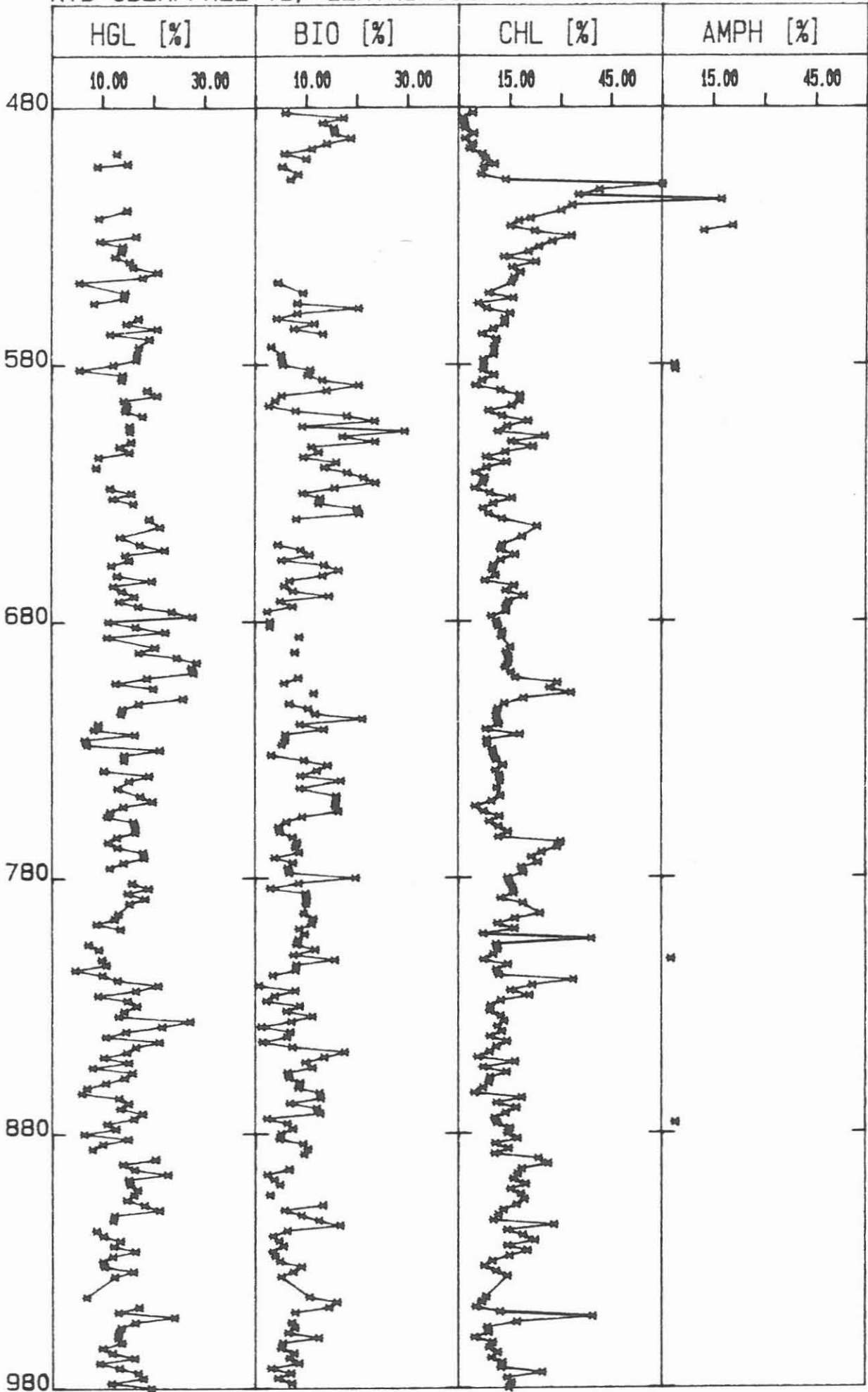


C.9.2 Tiefenlogs der RDA-Analysen

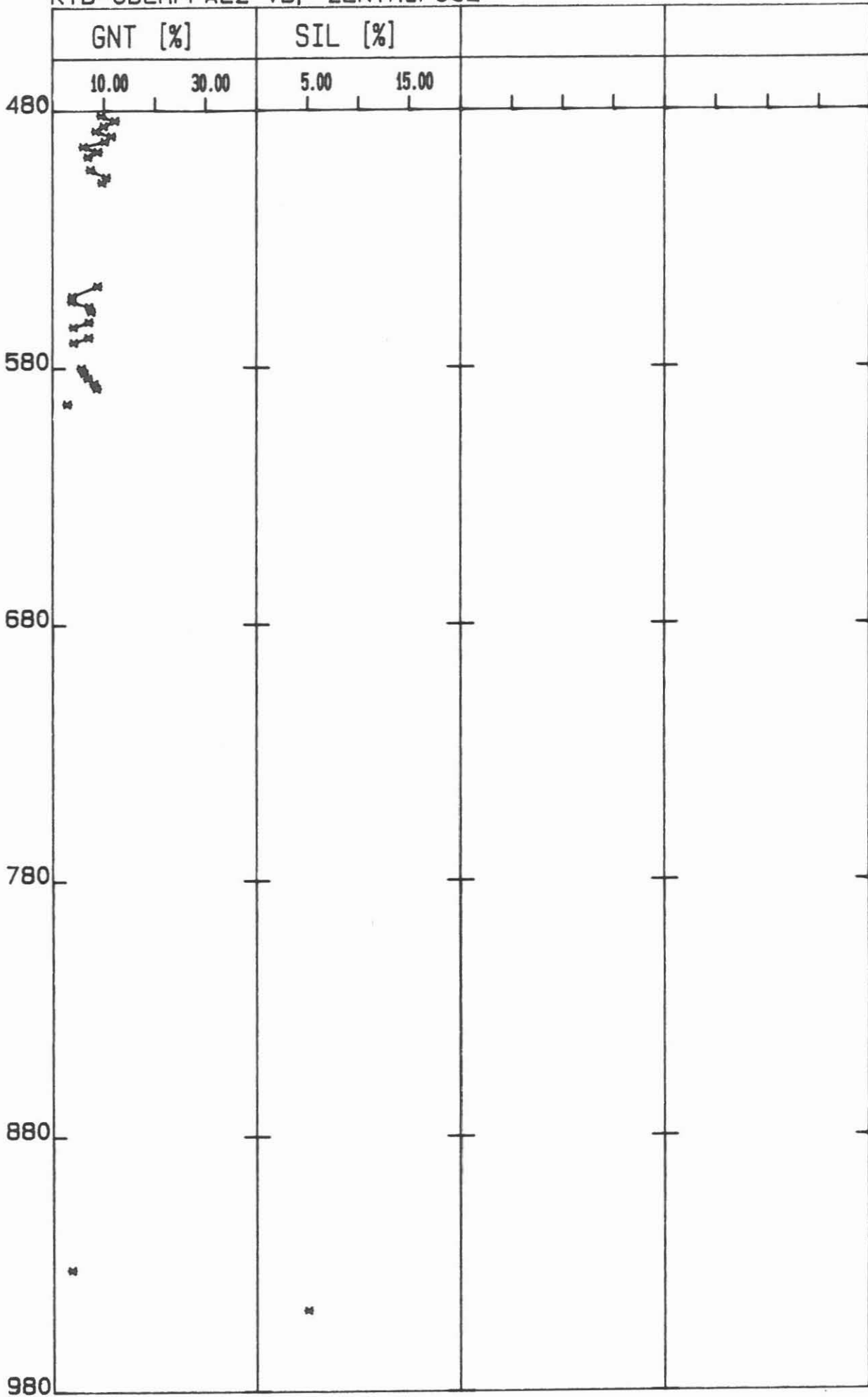
KTB-VB ZENTRIFUGE



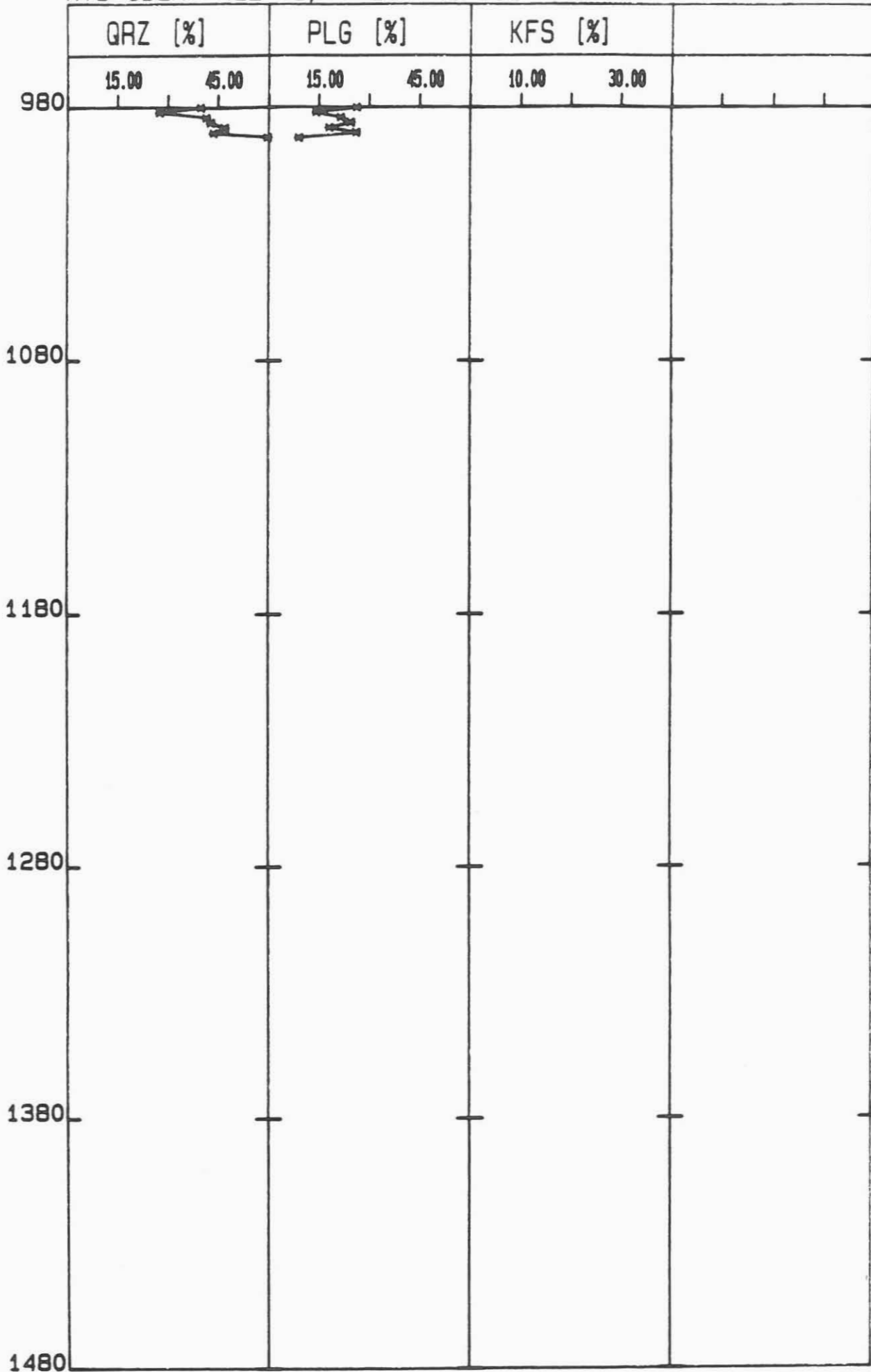
KTB-OBERPFALZ VB, ZENTRIFUGE



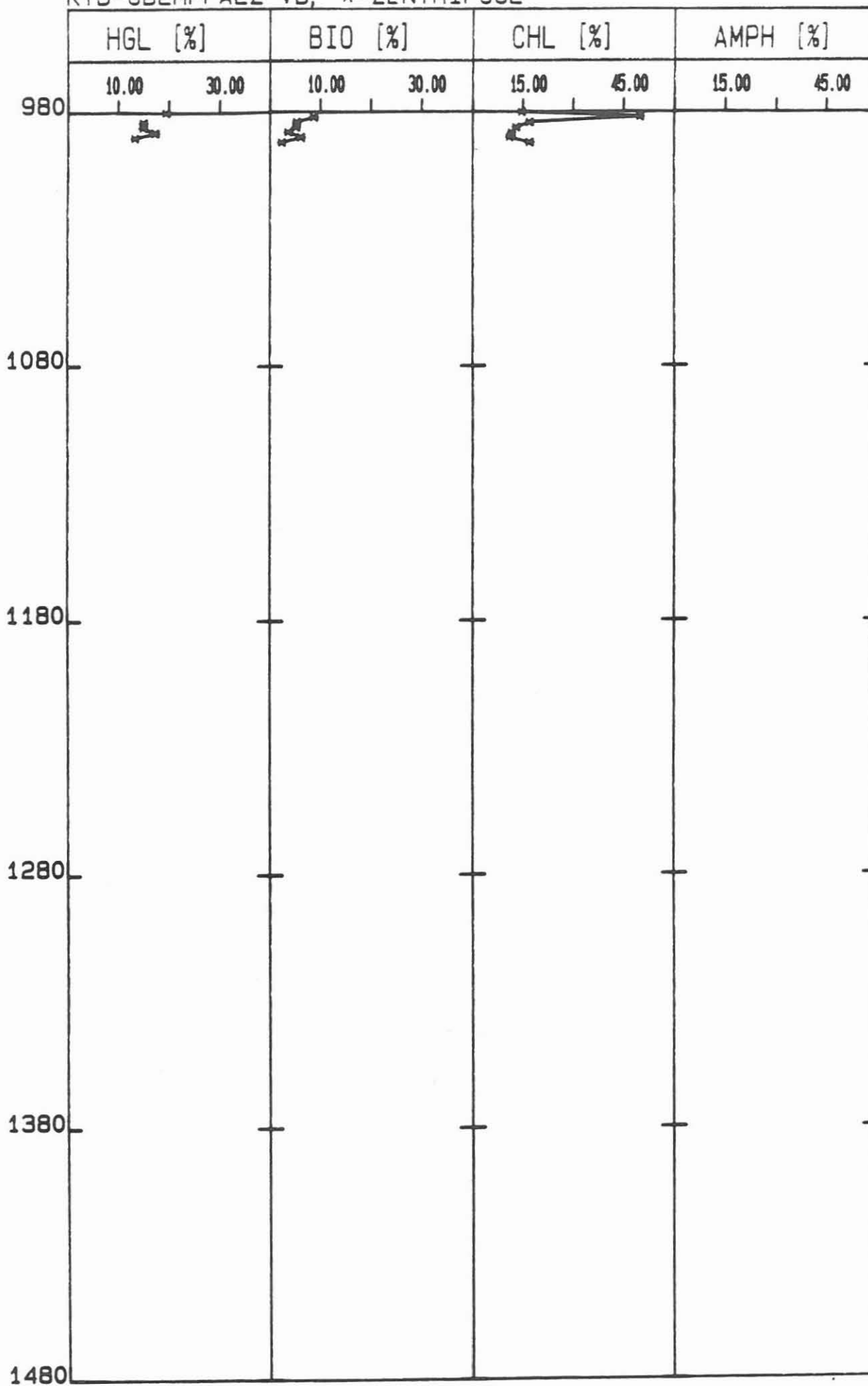
KTB-OBERPFALZ VB, ZENTRIFUGE



KTB-OBERPFALZ VB, *-ZENTRIFUGE

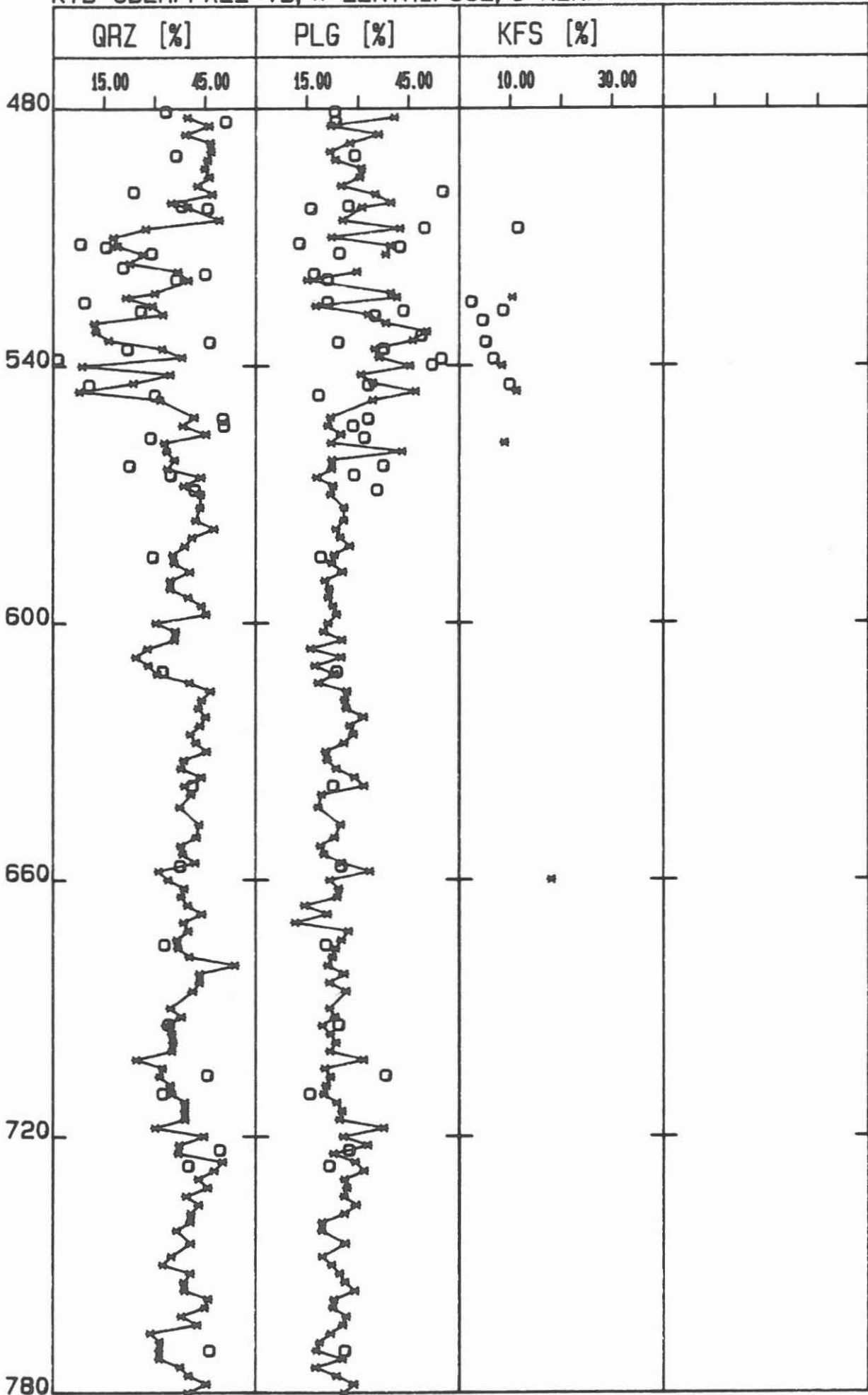


KTB-OBERPFALZ VB, *=ZENTRIFUGE

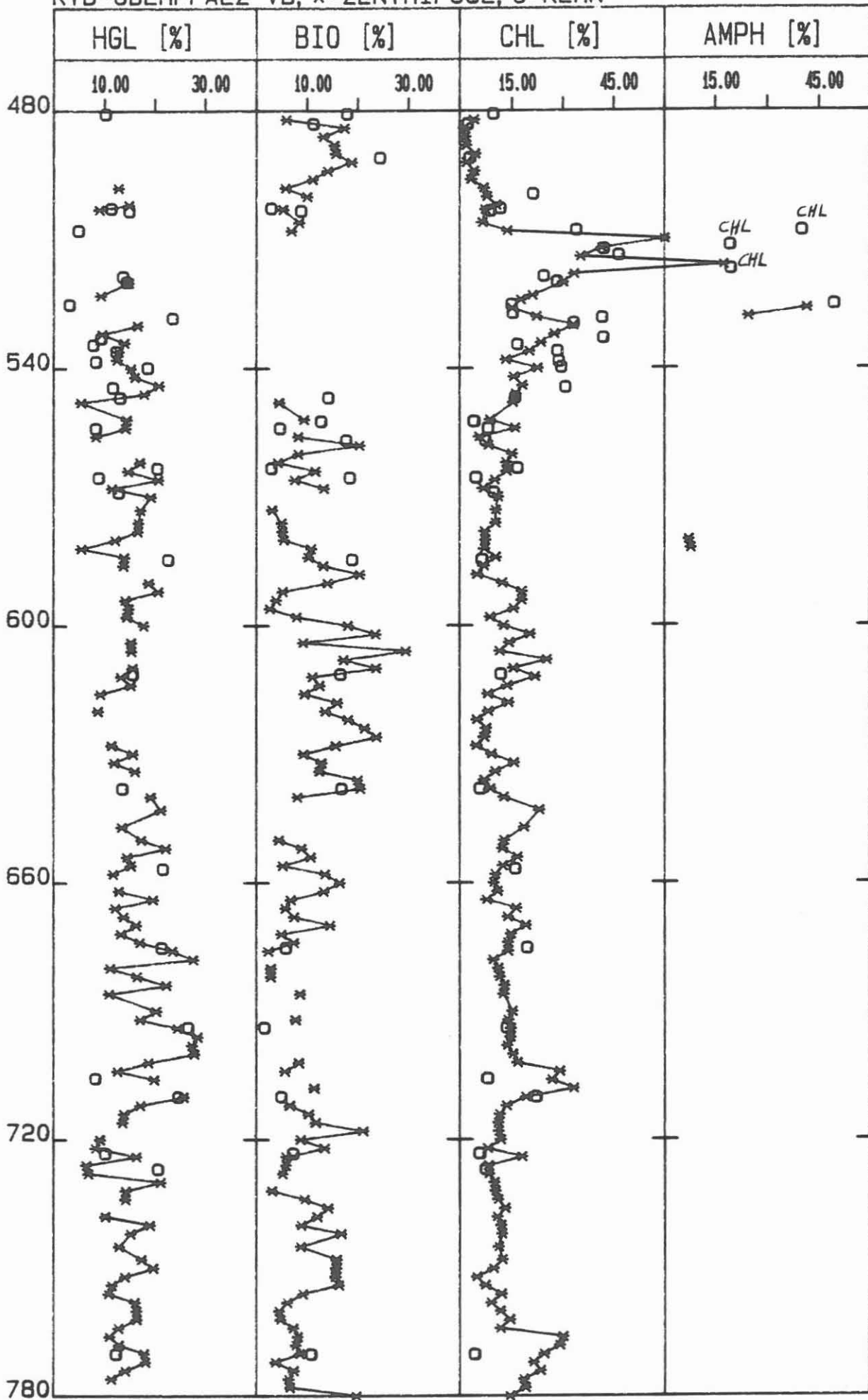


C.9.2.1 Vergleich der Ergebnisse von Bohrmehlproben und Kern-
bruchstücken

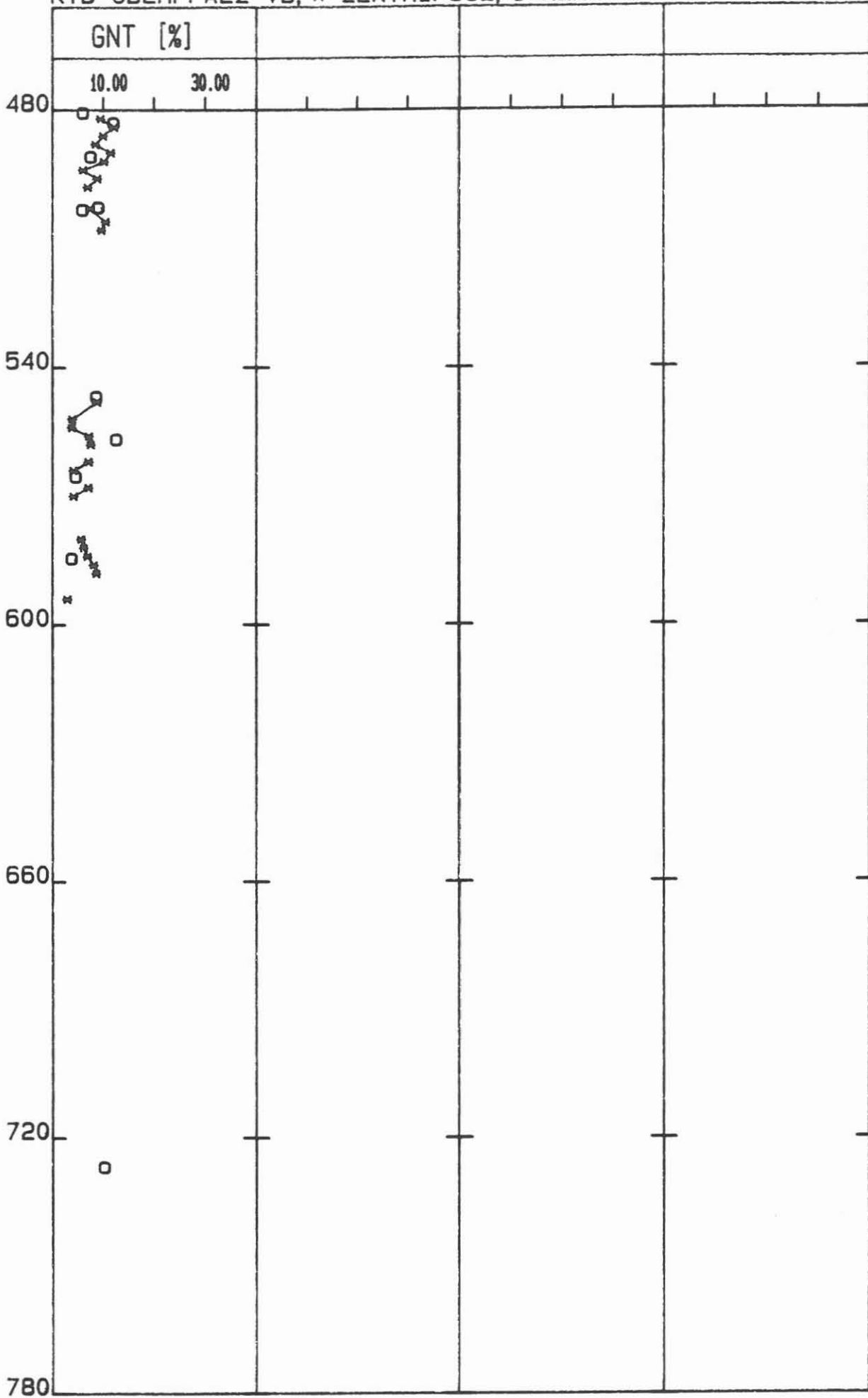
KTB-OBERPFALZ VB, *=ZENTRIFUGE, O=KERN



KTB-OBERPFALZ VB, *=ZENTRIFUGE, O=KERN

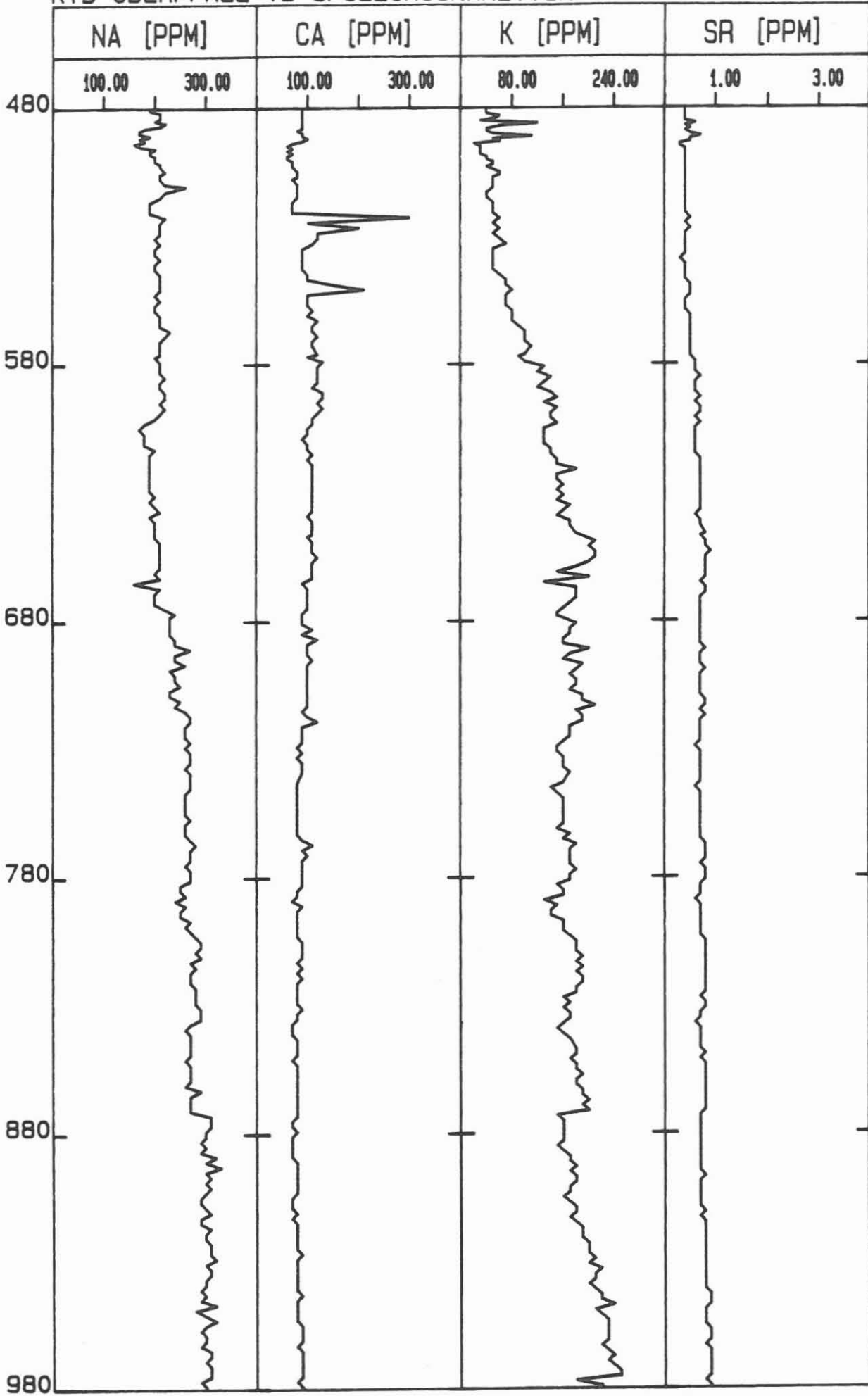


KTB-OBERPFALZ VB, *=ZENTRIFUGE, O=KERN

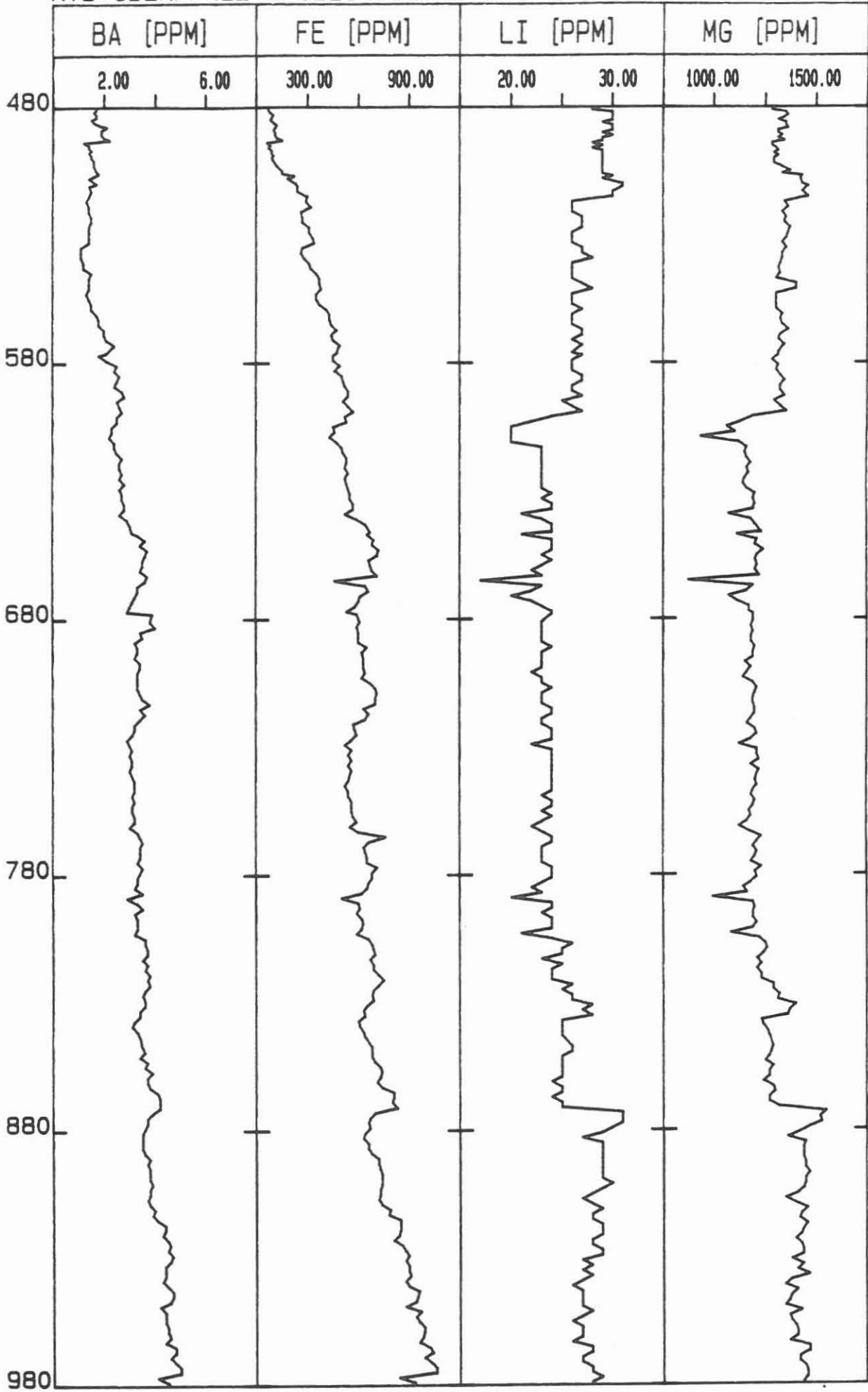


C.9.3 Tiefenlogs der Kationen- und Anionengehalte der
Bohrspülung

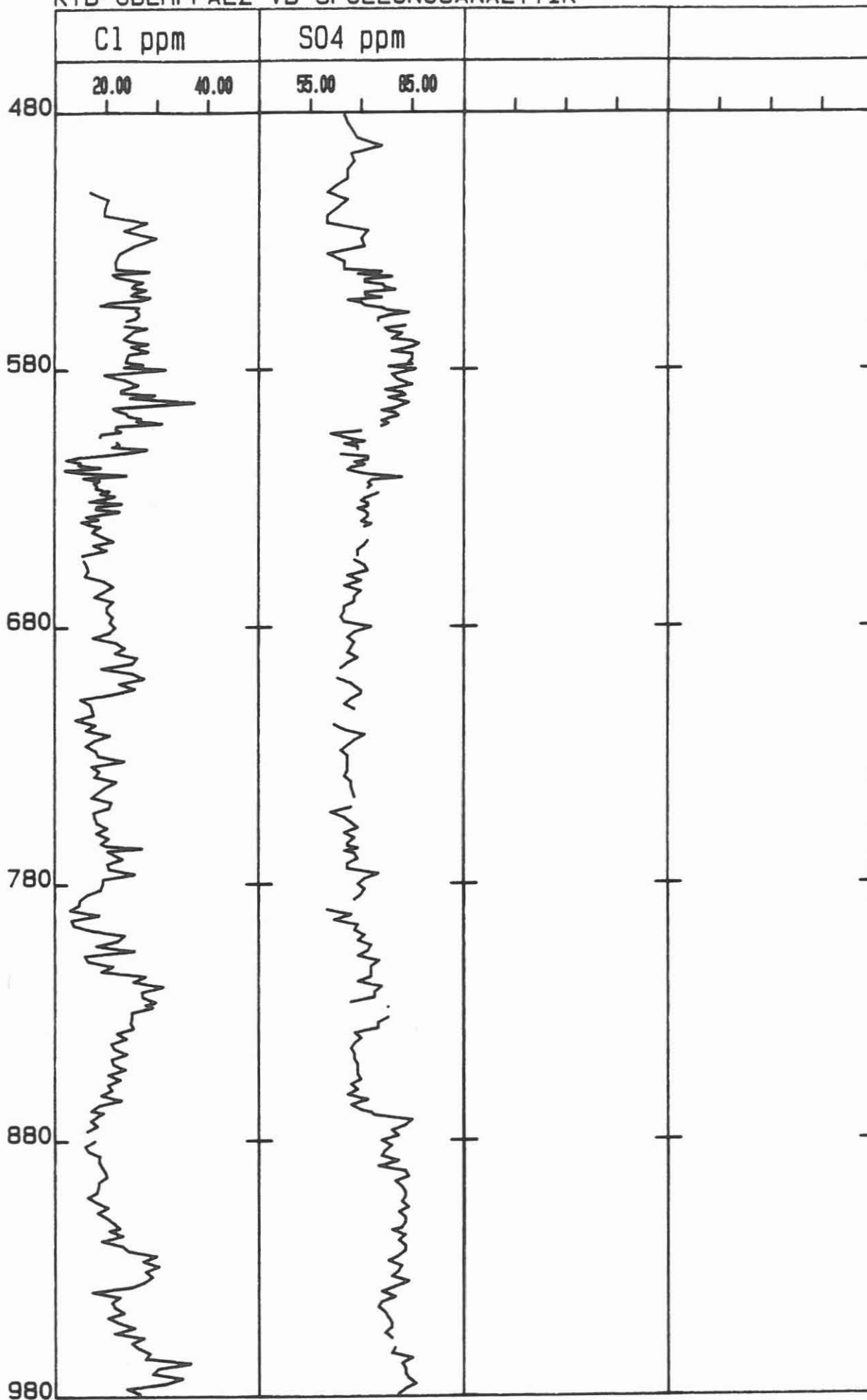
KTB-OBERPFALZ VB SPUELUNGSANALYTIK



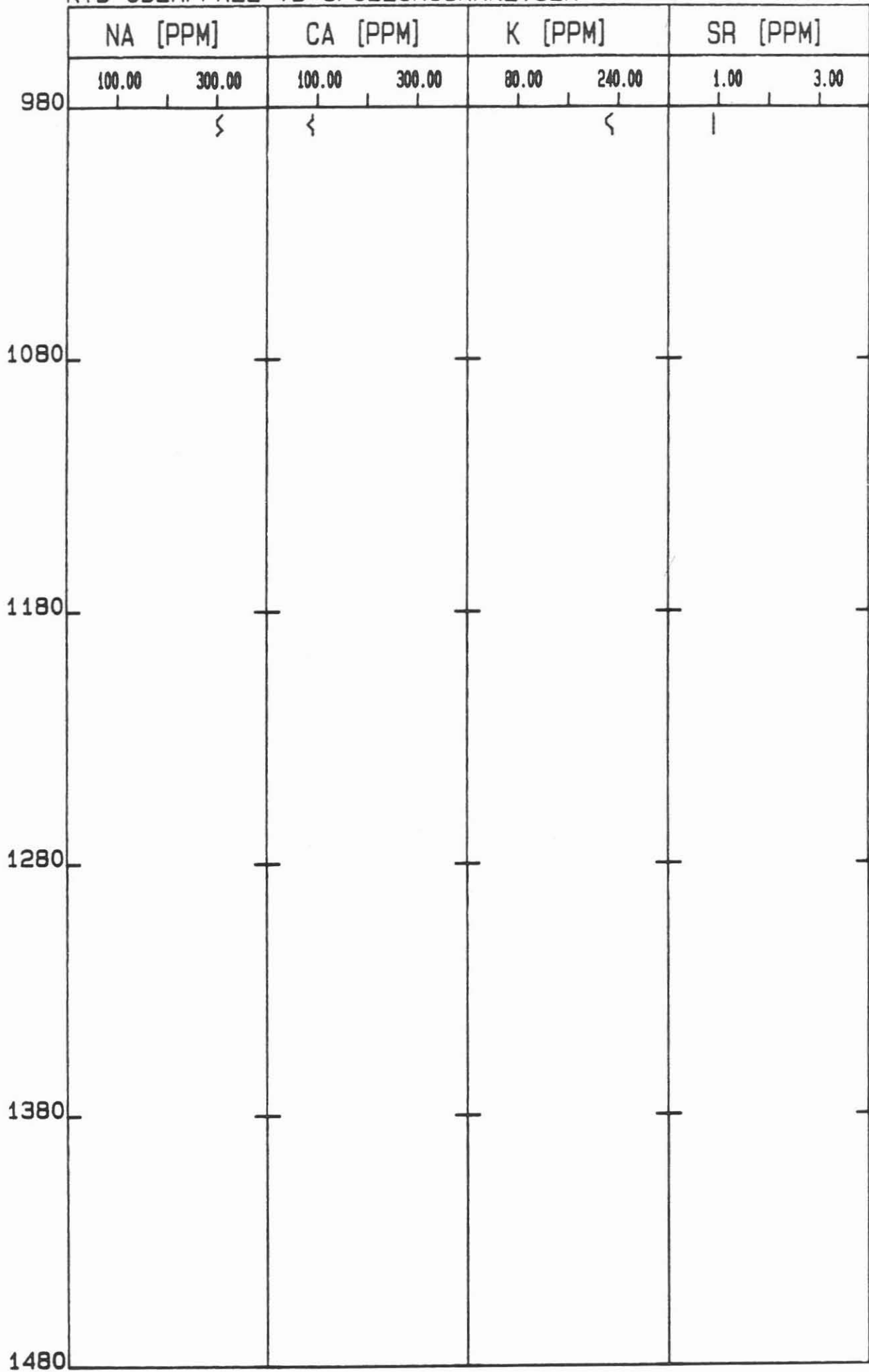
KTB-OBERPFALZ SPUELUNGSANALYTIK



KTB-OBERPFALZ VB SPUELUNGSANALYTIK



KTB-OBERPFALZ VB SPUELUNGSANALYSEN



KTB-OBERPFALZ VB SPUELUNGSANALYTIK

	BA [PPM]	FE [PPM]	LI [PPM]	MG [PPM]
	2.00 6.00	300.00 900.00	20.00 30.00	1000.00 1500.00
980	ζ	ζ	ζ	ζ
1080				
1180				
1280				
1380				
1480				

KTB-OBERPFALZ VB SPUELUNGSANALYTIK

