

C. Geochemie

KTB Oberpfalz VB –
Röntgenanalytik
Spüluungsanalytik
Gasanalytik

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

KTB Report	89-5	C1-C62	21 Abb.	Hannover 1989
------------	------	--------	---------	---------------

Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor - Teufenbereich von 3009.7 bis 3500.0 m:

C.Geochemie

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

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>		Seite
	Zusammenfassung.....	C 2
	Abstract.....	C 3
C.1	Einleitung.....	C 4
C.2	Probenahme und Probenaufbereitung.....	C 4
C.3	RFA- RDA- Analytik.....	C 5
C.3.1	Allgemeines.....	C 5
C.3.2	Ergebnisse an Bohrmehlproben	C 5
C.3.3	Bestimmung der Gesteinsdichte mit RDA.....	C 16
C.4	Spülungsanalytik.....	C 18
C.4.1	Allgemeines.....	C 18
C.4.2	Ergebnisse und Diskussion.....	C 18
C.4.3	Fluidprobennehmer.....	C 18
C.5	Gasanalytik.....	C 22
C.5.1	Allgemeines.....	C 22
C.5.2	Ergebnisse	C 22
C.5.3	Fluidprobennehmer.....	C 35
C.6	Schriftenverzeichnis.....	C 37
C.7	Danksagung.....	C 38
C.8	Anhang.....	C 39
	Tiefenlogs aller Ergebnisse (1:1000)	
	Zusammenstellung sämtlicher Spülungseinleitungen	

)* Anschrift der Autoren:
KTB Feldlabor
8486 Windischeschenbach

Zusammenfassung

In diesem Bericht werden chemische und mineralogische Daten des Teufenbereichs 3009.7 m - 3500.0 m der KTB-Vorbohrung dargestellt.

Feststoffe, Bohrspülung und Gase wurden kontinuierlich auf ihre chemische bzw. mineralogische Zusammensetzung untersucht.

Anhand von RFA- und (quantitativen) RDA-Analysen von Bohrmehlproben wurde ein lithologisches Profil aufgestellt. Zusammen mit aus RDA-Daten berechneten Dichtewerten lassen sich die durchteuften Gneise, Amphibolite und Lamprophyre voneinander abgrenzen, wobei sich nur geringe Unterschiede/Unsicherheiten gegenüber dem Bohrkernprofil ergeben.

Anreicherungen an Na, Ca, Sr und Cl⁻ in der Bohrspülung um 3450 m gaben einen Hinweis auf einen Zufluß salinarer Wasser. Die daraufhin in den Teufen 3446.5 m und 3447 m eingesetzten Fluid-Sampler zeigen ebenfalls Anreicherungen an diesen Elementen. Diese Fluide können als CaCl₂- und NaCl-haltige Wasser interpretiert werden, wobei Ca gegenüber Na dominiert. Der Zufluß läßt sich auf eine - im Bohrkern aufgeschlossene - offene Kluft in 3447 m zurückführen.

On-line Analysen der aus der Bohrspülung freigesetzten Gase zeigen Anreicherungen an Methan und Helium zwischen 3198 m und 3208 m sowie bei 3447 m. Die erstgenannte Zunahme wird auf einen kataklastischen Horizont zurückgeführt, während das zweite Maximum der offenen Kluft zuzuordnen ist und auch in den bereits erwähnten Fluid-Samplern angetroffen wurde.

Abstract

This report presents chemical and mineralogical data from 3009.7 m to 3500.0 m of the KTB pilot well.

Continuous investigations of solids, drilling fluid and gases were made to determine their chemical and mineralogical composition.

XRF- and (quantitative) XRD-analysis of rock flour samples were used to establish a lithological profile. These parameters together with densities calculated from XRD-data are used to discriminate between drilled gneisses, amphibolites and lamprophyres. There are only slight differences/uncertainties compared with the core profile.

An increase in Na, Ca, Sr, Cl⁻ content of the drilling fluid at about 3450 m showed an influx of saline waters. Samples obtained by fluid samplers from a depth of 3446.5 m and 3447 m showed analogous enrichments of these elements and can be interpreted as CaCl₂ and NaCl containing waters with Ca dominating Na. These fluids may be correlated with an open fracture in 3447m preserved in the core.

On-line analyses of gases liberated from the drilling fluid showed an increase of methane and helium content between 3198 m and 3208 m as well as at 3447 m. The first mentioned increase of these gases is correlated with a cataclastic horizon. The second is interpreted to belong to the open fracture at 3447 m. The same increase was observed in the above mentioned fluid samples.

C.1. Einleitung

Dieser Bericht umfaßt die chemische und mineralogische Bearbeitung des Teufenbereichs 3009.7 m - 3500 m. Mit Hilfe der RFA/RDA-Analytik wurde ein lithologisches Profil erarbeitet. Neben der kontinuierlichen Analyse der Bohrspülung auf Kationen und Anionen sowie gelöste Gase, wurden Fluid-Sampler-Proben aus dem Teufenbereich 3445.5 m - 3447 m untersucht.

C.2 Probenahme und Probenaufbereitung

Probenahme, Probenaufbereitung, sowie die verwendeten Analyseverfahren sind in HEINSCHILD et al.(1988a) HEINSCHILD et al. (1988b), STROH et al. (1988), HOMANN et al.(1988) und STROH & TAPPER (1988) beschrieben.

C.3. RFA und RDA Analytik

C.3.1 Allgemeines

Von Teufe 3009.7m - 3010.7m gibt es keine Meßergebnisse, da im Bohrloch verbliebene Metallteile einer Meßsonde zerfräst werden mußten.

Mit den Ergebnissen der kontinuierlich durchgeführten mineralogischen und chemischen (RDA- und RFA-) Analysen von Zentrifugenproben werden Gesteinstypen voneinander abgegrenzt und so die durchteufte Bohrstrecke in lithologische Einheiten unterteilt. Zur besseren Übersicht sind die einzelnen lithologischen Einheiten mit den sie charakterisierenden Parametern (Tab. C. 3.2.1) aufgeführt. Der Untersuchungsabstand der Bohrmehlproben betrug 1 bis 2 m.

Die Bestimmung des quantitativen Mineralbestandes erfolgte mit einem Pulverdiffraktometer (Siemens D 500) nach der von STROH (1988) beschriebenen Methode.

Die chemische Analyse der Haupt- und Spurenbestandteile der untersuchten Zentrifugenproben erfolgte mittels winkeldispersiver Röntgenfluoreszenzspektrometrie (Siemens SRS 303 AS), an den selben Pulverpreßlingen.

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

Die mineralogischen und chemischen Daten von Kernstück-Analysen der wichtigsten Gesteinstypen werden zusammen mit den petrographischen Ergebnissen im Geologie-Teil (Teil B.) dieses Berichtes diskutiert.

C.3.2 Ergebnisse an Bohrmehlproben

Aufgrund der Variationen in der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der Bohrmehlproben lassen sich im wesentlichen folgende Gesteinstypen unterscheiden (vgl. Tab.C.3.2.1):

1. Biotit-Gneise
2. Granat-Amphibolite
3. Granat-Biotit-Hornblende-Gneise (mit deutlichen Gehalten an frischem Biotit und Granat)
4. Lamprophyre
5. Störungszonen, teilweise mit Pyrit belegt
6. Kalifeldspatführende Partien, vermutlich Pegmatoide mit Hellglimmer und vereinzelt hohen Turmalingehalten (Kernbefund)

Tab.C.3.2.1: Fortsetzung

Bohrmehlproben		
Teufenbereich	chemisch/mineralogische Parameter	
3194m-3202m GNT-BIO-HBL- Gneis	+TiO ₂ , +MgO , +CaO , +Ni -SiO ₂ , -K ₂ O , -Rb	+AMPH , +BIO , +GNT +PLG -QRZ , HGL out
3202m-3206m Störungszone	+K ₂ O , +Rb -TiO ₂ , -MgO , -CaO , -Sr	+CHL , +HGL , GNT out , BIO out AMPH out
3206m-3210m GNT-BIO-HBL- Gneis	+TiO ₂ , +MgO , +CaO -SiO ₂ , -K ₂ O , -Rb , -Ni	+GNT , +BIO , +AMPH -QRZ , Amph out
3210m-3216m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Rb -TiO ₂ , -MgO , -CaO , -Ni	+QRZ , +HGL -PLG , AMPH out , BIO out , GNT out
3216m-3220m Lamprophyr	+TiO ₂ , +CaO , +K ₂ O , +Sr , +Ni , -SiO ₂ , -Zr	+AMPH , +PLG , +CHL -QRZ , -HGL
3220m-3224m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , +Zr +Rb , -Sr	+QRZ , +HGL -PLG , -CHL , AMPH out
3224m-3230m Lamprophyr	+K ₂ O , +TiO ₂ , +CaO , +MgO , +Sr , +Ni , +Rb -SiO ₂ , -Zr	+CHL , +PLG , +AMPH -QRZ , -HGL
3230m-3236m Biotit-Gneis granatführend	+SiO ₂ , +Zr -K ₂ O , -TiO ₂ , -MgO , -CaO , -Sr , -Ni , -Rb	+QRZ , +BIO , +HGL , +GNT AMPH out -PLG , -CHL
3236m-3242m GNT-BIO-HBL- Gneis	+TiO ₂ , +CaO , +Sr , +Zr -SiO ₂ , -K ₂ O , -Rb	+AMPH , +GNT -QRZ , -HGL
3242m-3246m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Rb -TiO ₂ , -CaO , -Sr , -Zr	+QRZ , +HGL AMPH out , GNT out
3246m-3250m GNT-BIO-HBL- Gneis	+TiO ₂ , +CaO , +Sr , +Zr -SiO ₂ , -K ₂ O , -Rb	+AMPH , +PLG -QRZ , -HGL
3250m-3260m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O , +Rb -TiO ₂ , -CaO , -Sr , -Zr	+QRZ , +HGL AMPH out , BIO out

Tab.C.3.2.1: Fortsetzung

Bohrmehlproben	
Teufenbereich	chemisch/mineralogische Parameter
3260m-3264m ?Lamprophyr? nach Kernbefund	+TiO ₂ , +MgO, +CaO, +PLG, +AMPH, +CHL +K ₂ O, +Ni +KFS, +BIO -SiO ₂ , -Zr -QRZ, -HGL BIO-Gneis mit großen Turmalinen
3264m-3326m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , +Zr +QRZ, +HGL, -TiO ₂ , -MgO, -CaO, -Ni -BIO, -CHL, AMPH out, KFS out
3326m-3330m Störungszone	+TiO ₂ , +MgO, +K ₂ O, +Ni +HGL, +CHL -SiO ₂ , -Zr -QRZ, -PLG
3330m-3350m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , +Zr, +QRZ, +PLG -TiO ₂ , -MgO, -Ni -CHL, -HGL
3350m-3352m Lamprophyr	+TiO ₂ , +MgO, +CaO, +AMPH, +BIO, +PLG +Rb, +Sr, +Ni -QRZ -SiO ₂ , -Zr
3352m-3360m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , + Zr +QRZ -TiO ₂ , -MgO, -CaO -PLG, BIO out -Rb, -Sr, -Ni AMPH out,
3360m-3364m Störungszone	+TiO ₂ , +MgO, +Ni +CHL -SiO ₂ , -K ₂ O, -Rb -QRZ
3364m-3408m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O, +Rb +QRZ -TiO ₂ -CHL
3408m-3409m Störungszone	+TiO ₂ , +MgO, +Ni +CHL, +HGL -SiO ₂ , -K ₂ O, -Rb, -Sr -QRZ, -PLG
3409m-3454m Biotit-Gneis	+SiO ₂ , +K ₂ O, +Rb, +Sr +QRZ, +PLG, -TiO ₂ , -MgO, -Ni -CHL
3454m-3504m Biotit-Gneis zunehmend al- teriert	kontinuierliche Zunahme von: TiO ₂ , MgO, K ₂ O, Rb, Ni, Fe ₂ O ₃ CHL, HGL kontinuierliche Abnahme von: SiO ₂ , Sr, Zr QRZ, PLG

Die Unterteilung dieser Typen erfolgt zum einen mit Variationsdiagrammen (z.B. Abb.C.3.2.1; z.B. SiO₂, MgO, CaO, K₂O, Rb, Sr, Zr, Ni) geochemischer Leitelemente, zum anderen mit Hilfe der bestimmten Mineralparagenesen.

Als Variationsdiagramme können hier Dreiecksdiagramme mit den Komponenten SiO_2 , K_2O , CaO oder MgO verwendet werden (Abb.C.3.2.1 und C.3.2.2). CaO - und MgO -reichere Gesteine (z.B. Amphibolite, Hbl-Gneise und Lamprophyre) lassen sich so von den Biotit-Gneisen unterscheiden. Weiterhin zeigen Hornblende-Gneise und Amphibolite höhere CaO -Gehalte und niedrigere K_2O -Gehalte als Lamprophyre. Die Lamprophyre haben dagegen etwas höhere K_2O -Gehalte wie Hornblende-Gneise und sind deutlich MgO -und CaO -reicher als die Hornblende-Gneise. Im Vergleich zu den Amphiboliten haben Lamprophyre im Mittel um ca. 2.5-3 Gew.-% erhöhte MgO Gehalte. Weiterhin können die P_2O_5 -und Cr -Daten zur Differenzierung dieser drei Gesteinstypen herangezogen werden, da Lamprophyre Anreicherungen dieser Elemente aufweisen (Abb.C.3.2.3).

Die hier aufgeführten Unterscheidungskriterien ergeben sich aus den Ergebnissen der bisher bearbeiteten Proben aus der KTB VB 1 und sind somit nicht ohne weiteres für Gesteine anderer Regionen anwendbar. Die eingezeichneten Gesteinsfelder werden nach Abschluß der Bohrungsbearbeitung bis 4000.1 m anhand von ca. 1000 Kernstück-Analysen für die KTB HB modifiziert und verbessert werden.

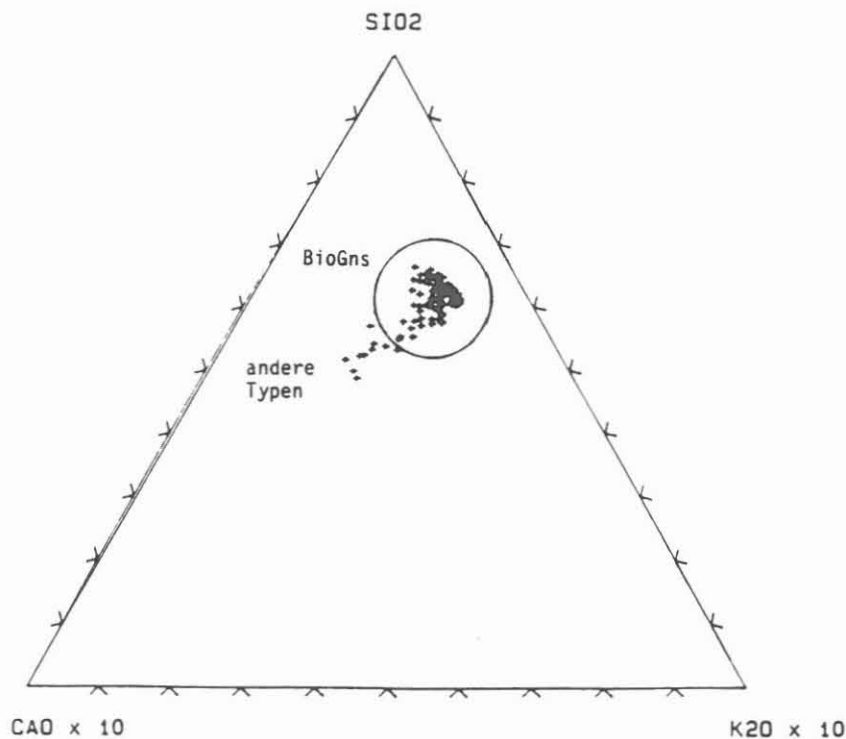


Abb.C.3.2.1: SiO_2 - CaO - K_2O -Diagramm zur ersten groben Unterscheidung der Gesteinstypen

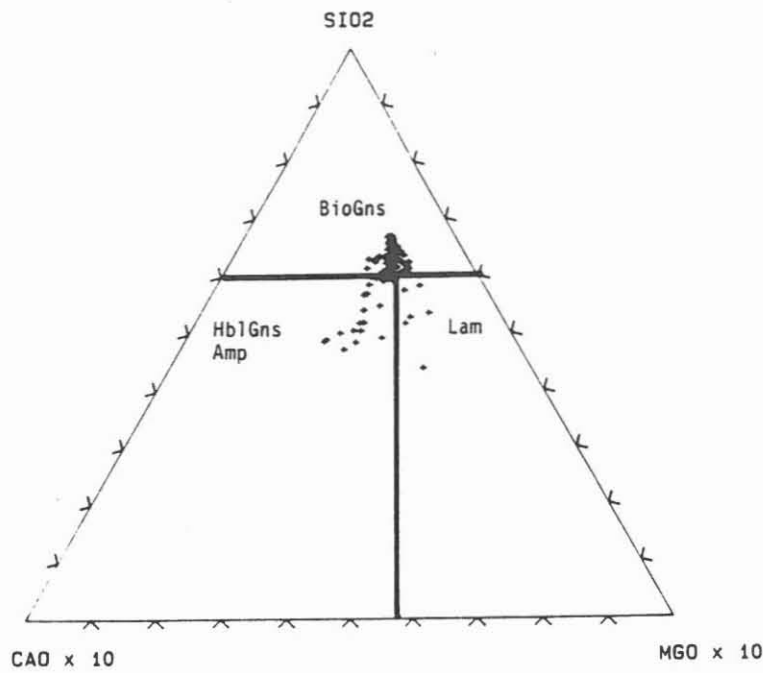


Abb.C.3.2.2: SiO₂-CaO-MgO-Diagramm zur ersten groben Unterscheidung der Gesteinstypen

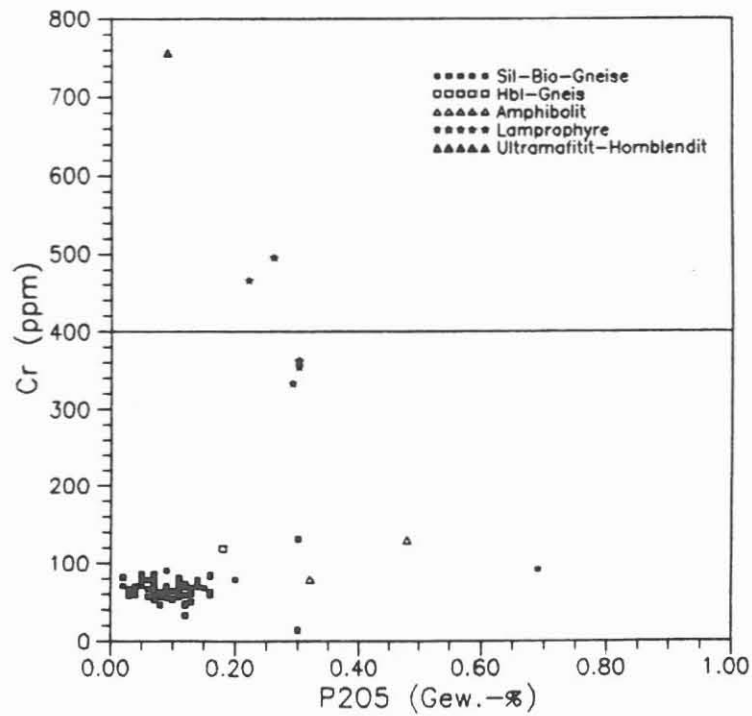


Abb.C.3.2.3: P₂O₅/Cr-Variationsdiagramm

In Abb.C.3.2.4 ist der Teufenbereich 3150m- 3300m aus dem Bohrmehl-Teufenlog herausvergrößert. Am Beispiel ausgewählter Parameter soll hier die Einteilung der einzelnen Einheiten verdeutlicht werden.

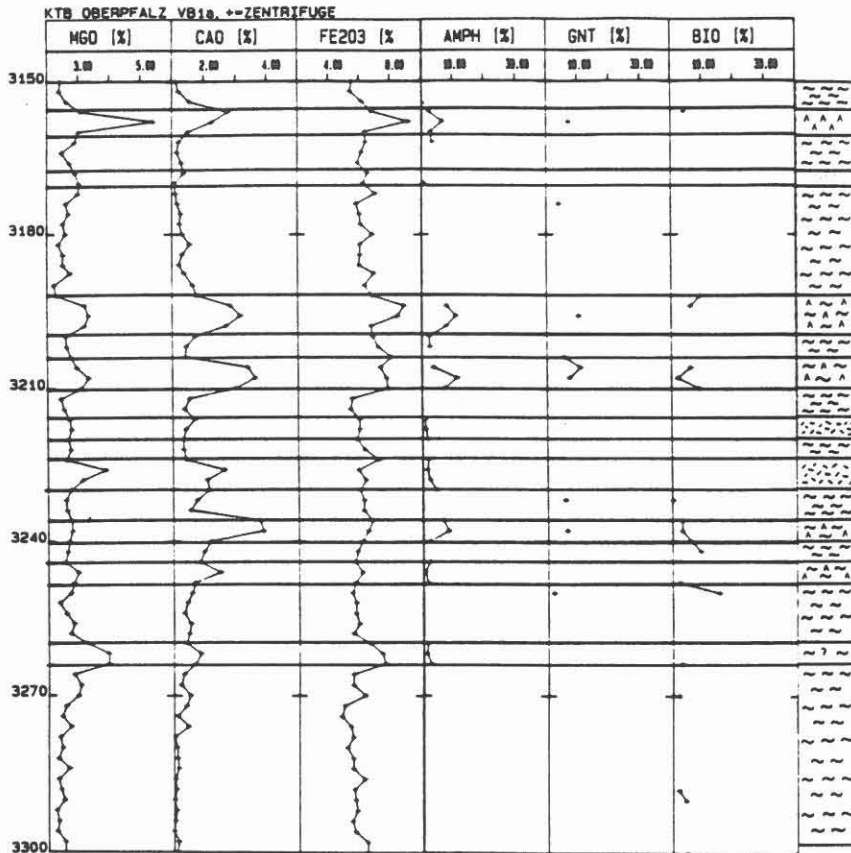


Abb.C.3.2.4: Ausgewählte chemische und mineralogische Parameter zur Erstellung des lithostratigraphischen Profils aus Bohrmehl-Analysen (Legende siehe Abb.C.3.2.5)

Das mit Hilfe der genannten Parameter aufgestellte lithostratigraphische "Bohrmehl"-Profil wird in Abb.C.3.2.5 zusammen mit dem geologischen Kernprofil dargestellt.

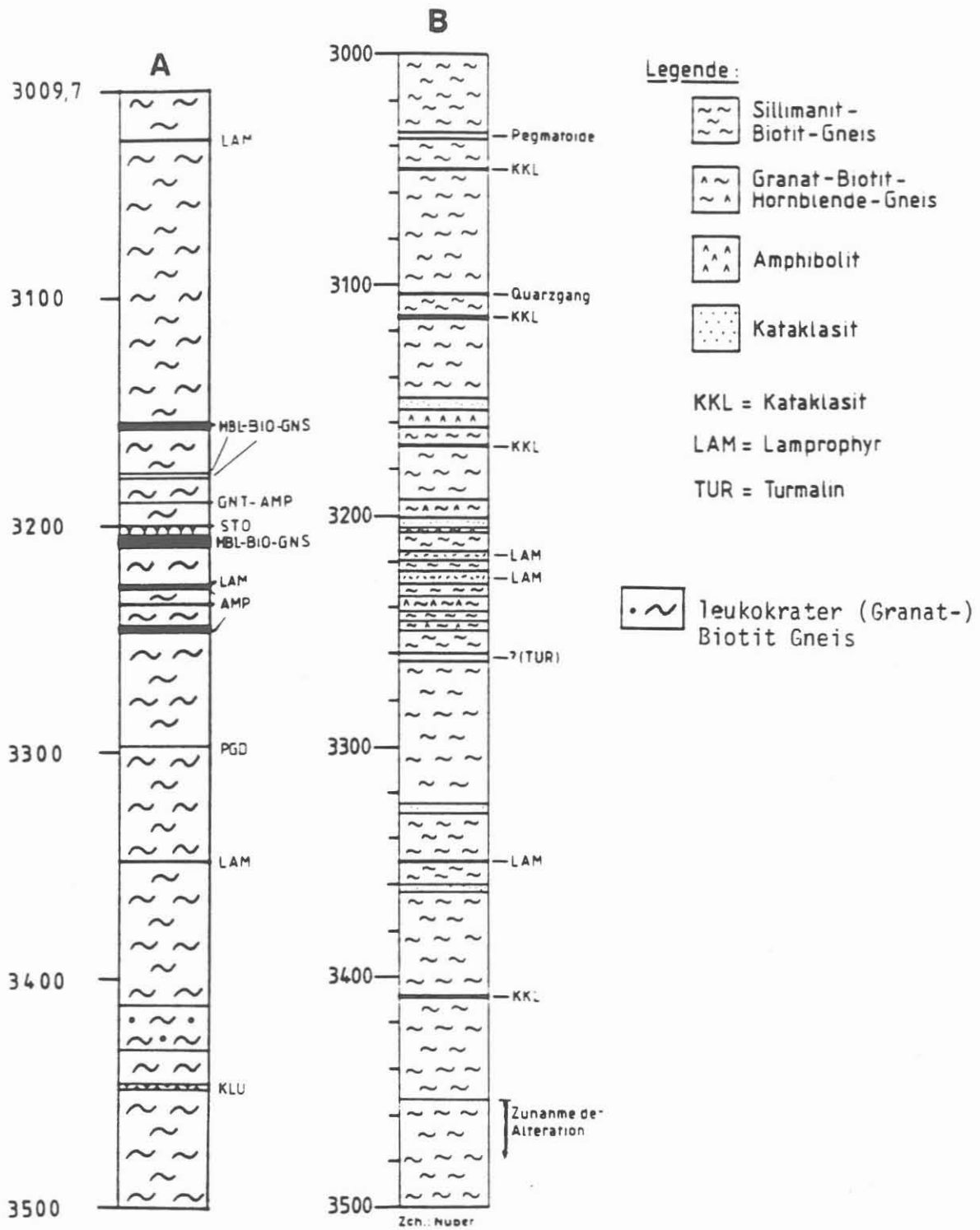


Abb.C.3.2.5: Vergleich des lithostratigraphischen "Bohrmehl-profil" (B) mit dem geologischen (A), am Kern erarbeiteten Bohrprofil des Tiefenbereichs 3009.7m-3500m

Der Teufenbereich 3260 - 3264 m müßte anhand der Bohrmehluntersuchungen als Lamprophyr angesprochen werden. Im Kern wird jedoch nur Bio-Sil-Gneis mit turmalinreichen (1cm-große Turmaline) Mobilisaten beobachtet. Die gemessenen sehr niedrigen Amphibolgehalte (1%) konnten im Schliff bisher nicht bestätigt werden. Ob es sich hierbei um Nachfall handelt, muß noch geprüft werden. Außer erhöhten Borgehalten können aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Turmalins ($\text{Na}(\text{Fe},\text{Mg})_3\text{Al}_6[(\text{OH})_4/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$) höhere MgO-, Fe_2O_3 - und Alkaliergehalte auch auf dieses Mineral zurückgeführt werden. Röntgenographisch konnte in den Bohrmehlproben kein Turmalin nachgewiesen werden, so daß die Gehalte in Bohrmehlmischproben kleiner als ca. 3 Gew.-% sein müssen.

Bemerkenswert ist der Teufenbereich von 3450m bis 3500m. In den Biotit- Gneisen steigt der Anteil von Biotit und Chlorit (Abb.C.3.2.6) mit zunehmender Teufe an. Deutlich ist eine kontinuierliche Abnahme der Gehalte von SiO_2 (70 -> 64 Gew.%) und Zr (319 -> 196 ppm) (Abb.C.3.2.7) sowie ein Anstieg der Konzentrationen von TiO_2 (0.55 -> 0.78 Gew.%), MgO (1.83 -> 3.02 Gew.%), Fe_2O_3 (4.31 -> 7.85 Gew.%) und Nickel (35 -> 136 ppm) (Abb.C.3.2.8) zu erkennen. Mineralogisch ist dieser Bereich durch ein sprunghaftes Ansteigen der Chloritgehalte (6 -> 16 Gew.%) gekennzeichnet, die dann auf einem deutlich höheren Niveau bleiben als in den vergleichbaren Biotit-Gneisen aus dem oberen Teufenabschnitt 3000m-3450m. Ebenso steigen die Biotit- (1 -> 6 Gew.%) und Hellglimmergehalte (7 -> 22 Gew.%) an; Quarz- (52 -> 35 Gew.%) und Plagioklaswerte (34 -> 18 Gew.%) nehmen ab. In Tab.C.3.2.2 sind die Gehalte der Haupt- und Spurenbestandteile sowie der Variationsbereich des Modalbestandes der untersuchten Zentrifugenproben aus den Teufen 3454m und 3492m zusammengestellt. Aus den Abb. C.3.2.6 - C.3.2.8 ist deutlich erkennbar, daß eine kontinuierliche Anreicherung bzw. Verarmung der Hauptbestandteile, der Spurenelemente und der Mineralanteile stattfindet. Die beobachteten Konzentrationsänderungen der chemischen und mineralogischen Parameter haben ihren Ursprung vermutlich in einer Veränderung des Edukts der Gneise. Fe_2O_3 - und MgO-reicheres und SiO_2 -ärmeres Material führt zu steigenden Biotit- und damit auch höheren Chloritgehalten. Inwieweit die beschriebene kontinuierliche Zunahme der genannten Komponenten und ein starkes Ansteigen der Chloritgehalte durch verstärkte Alteration in diesem Bereich hervorgerufen wird, ist nicht eindeutig klar. Möglich wäre z.B., daß sich bereits ab Teufe 3450m der lithologische Wechsel (3572m) von Biotit- Gneisen zu Granat-Amphiboliten durch eine stärkere Chloritisierung und Serizitisierung ankündigt.

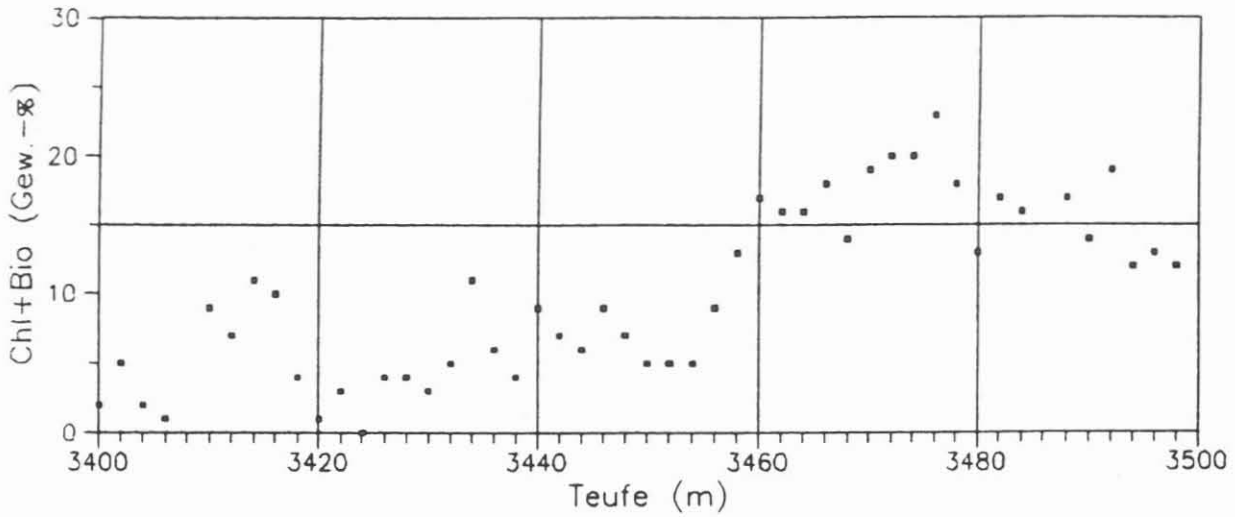


Abb.C.3.2.6: Anteil der Minerale Chlorit plus Biotit im Teufenbereich 3400m-3500m

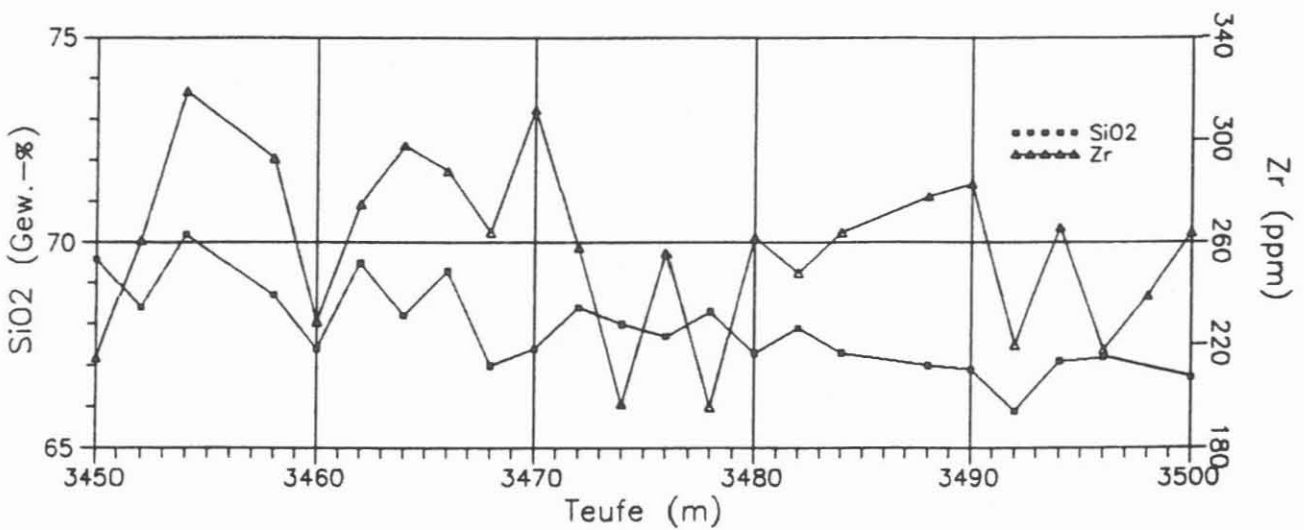


Abb.C.3.2.7: Konzentrationsverteilung der Komponenten SiO₂ und Zr im Teufenbereich 3450m- 3500m

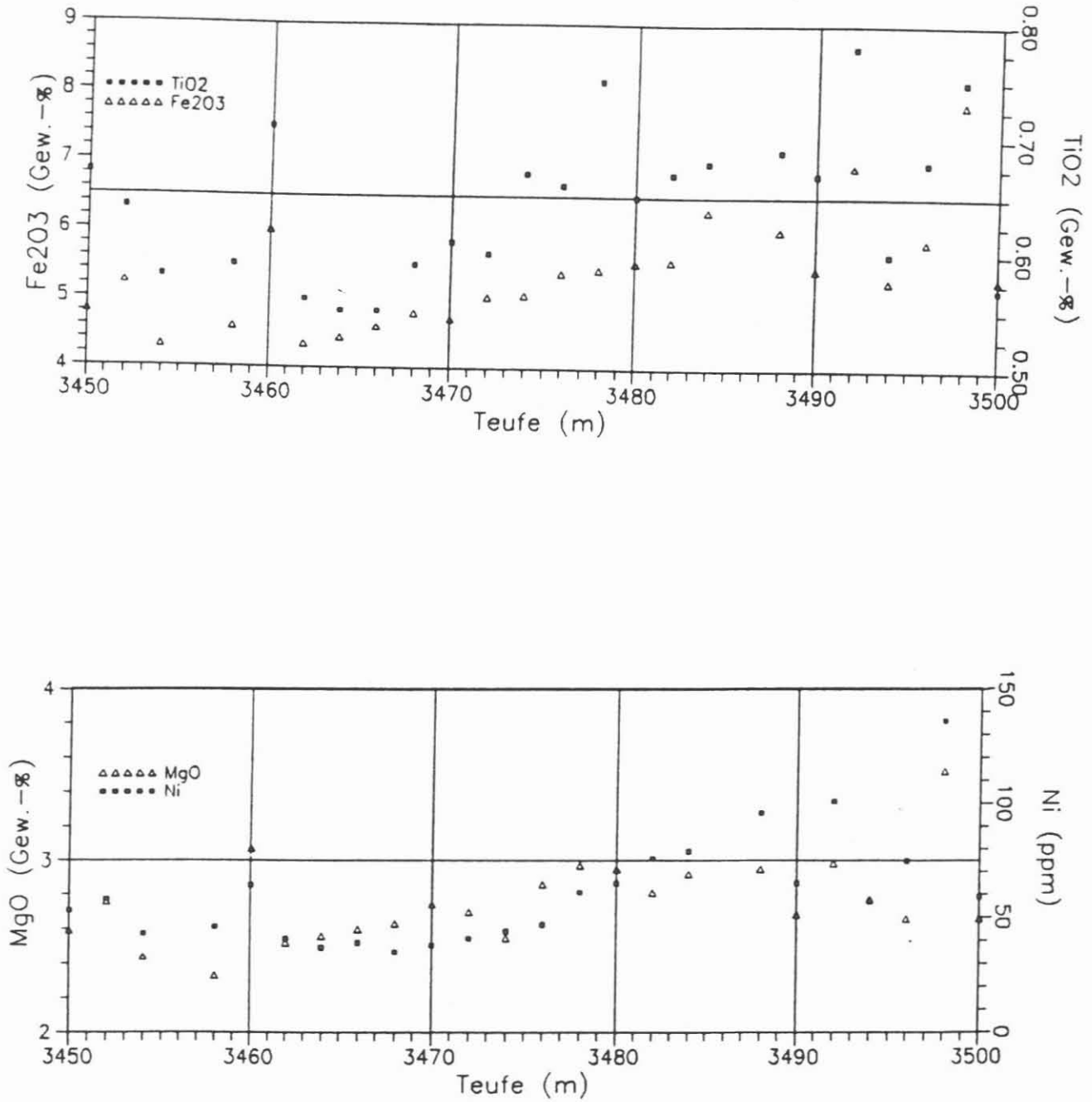


Abb.C.3.2.8: Konzentrationsverteilung der Komponenten TiO₂, MgO, Fe₂O₃ und Ni im Teufenbereich 3450m- 3500m

Tab.C.3.2.2: Variationsbereich von Haupt- und Spurenbestandteilen sowie der Mineralgehalte zwischen Teufe 3454m und 3492m. Die Anreicherung bzw. Verarmung der einzelnen Komponenten erfolgt in fast allen Fällen kontinuierlich.

Bohrmehlproben					
Name	3454 m	3492 m	Name	3454 m	3492 m
QRZ	52 %	38 %	SiO ₂	70. %	66. %
CHL	6 %	16 %	TiO ₂	0.58 %	0.78 %
PLG	32 %	30 %	Al ₂ O ₃	14.0 %	14.0 %
HGL	10 %	13 %	Fe ₂ O ₃	4.3 %	7.0 %
BIO	- %	3 %	MgO	1.94 %	2.48 %
			CaO	1.28 %	1.22 %
			K ₂ O	2.46 %	2.54 %
			Rb	70 ppm	70 ppm
			Sr	138 ppm	159 ppm
			Y	27 ppm	33 ppm
			Zr	319 ppm	220 ppm
			Ni	43 ppm	101 ppm

C.3.3. Bestimmung der Gesteinsdichte mit RDA

Neben stofflichen Eigenschaften ist die Gesteinsdichte ein weiterer Parameter, der zur Unterscheidung der durchteuften Gesteine verwendet werden kann. Die aus den Mineralgehalten berechnete Dichte ist, wie in HOMANN et al.(1988) dargelegt, nur eine reine Matrixdichte ohne Berücksichtigung von Porositäten. Zusätzlich führen Abweichungen in der Chemie der Minerale, die durch die zur quantitativen Phasenanalyse eingesetzte Datenbank nicht exakt erfaßt werden können, zu systematisch leicht höheren bzw. niedrigeren Dichten als bei archimedischer Bestimmung.

In Abb.C.3.3.1 sind die Dichtewerte von Bohrmehlproben und Kernstücken gemeinsam mit den archimedisch bestimmten Dichtedaten (vergl. Kap. D.) von Kernen dargestellt. Deutlich zu sehen sind die höheren Gesteinsdichten der Granat-Amphibolite und der Biotit-Hornblende-Gneise. Die in Kap. B beschriebenen leukokraten Gneise des Teufenbereichs 3440m- 3450m zeichnen sich durch niedrige Dichten aus. Die Zunahme der Biotit- und Chloritgehalte von 3450m- 3500m verursacht ansteigende Dichten. Die Bohrmehlproben zeichnen sehr deutlich den Trend der jeweiligen Gesteinstypen nach, erreichen aber aufgrund ihres Mischprobencharakters nicht ganz die Absolutgehalte der untersuchten Kernstücke.

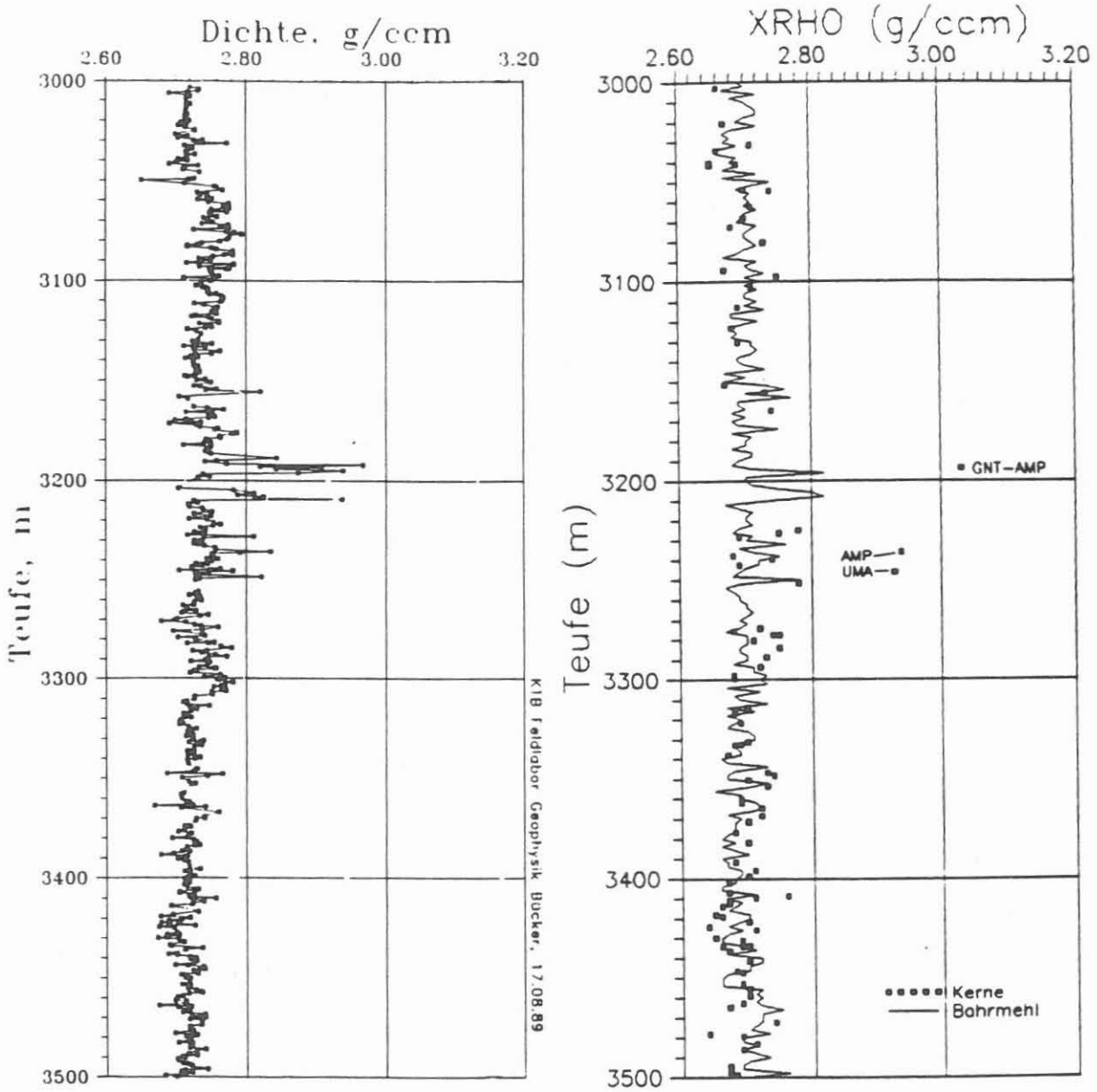


Abb.C.3.3.1: Vergleich von physikalisch (Archimedes) bestimmten Kerndichten (links) mit den röntgenographisch ermittelten Dichtedaten von Bohrmehlproben (+) und Kernstücken (o)

C.4 Spülungsanalytik

C.4.1 Allgemeines

Die Bohrspülung wurde im Teufenabschnitt 3009.7 m - 3500.0 m in Abständen von 2 m auf ihre Gehalte an den Kationen Na, Ca, K, Li, Sr, Ba, Fe, Mg, Mn, Zn, Si und Al (ICP-AES) sowie den Anionen Cl^- und SO_4^{2-} (IC) untersucht.

Zu den im Anhang als Teufenlogs dargestellten Ergebnissen sind in Tab.C.8.3.1 die Spülungseinleitungen aufgeführt. Die dort angegebenen Teufen beziehen sich auf den Beginn der Einleitungen und sind in den Teufenlogs markiert.

C.4.2 Ergebnisse und Diskussion

Während des gesamten Bohrabschnittes beträgt die Variationsbreite des Li-Gehaltes in der Spülung ca. 50 bis 70 ppm. Dies entspricht einem D-HT-Gehalt von ca. 1.7-2.3 Gew.-%.

Durch Reaktionen der Bohrspülung mit Mineralen durchteufte Gesteine (vgl. HOMANN & MÜLLER, 1989) zeigt diese bereits zu Beginn dieses Bohrabschnittes eine Anreicherung an Na, K, Sr, Ba, Fe, Mg, Mn, Zn, Al und Si gegenüber einer frischen Ansatzspülung gleichen D-HT-Gehaltes.

Konzentrationsabnahmen von nicht, oder nur untergeordnet im D-HT (D-HT: Si, Mg, Na, Li) gebundenen Elementen in der Spülung, z.B. bei ca. 3260 m, können auf Verdünnungseffekte durch Einleitungen frischer Ansatzspülung zurückgeführt werden.

In einer Teufe von ca. 3450 m zeigt die Spülung signifikante Anreicherungen der Kationen Na, Ca und Sr. Neben diesen ist Cl^- in der Spülung angereichert. Diese Anreicherungen werden auf Zuflüsse salinärer Wasser aus einer offenen Kluft bei 3447 m (vgl. Teil B.Geologie) zurückgeführt.

Unterhalb ca.3260 m nimmt der Sulfatgehalt kontinuierlich ab. Sulfat entsteht z.B. durch Oxidation von Sulfidmineralisationen (vorwiegend Pyrit) der durchteuften Gesteine. Die SO_4^{2-} -Abnahme kann durch eine Abnahme der Sulfatproduktion, bedingt durch geringere S-Gehalte der durchteuften Lithologie bzw. verminderte Oxidation der Sulfide erklärt werden, wobei es durch die erfolgten Spülungseinleitungen zu einer Konzentrationsabnahme durch Verdünnung kommt.

C.4.3 Fluidprobennehmer

Aufgrund erhöhter Gas-, Kationen- und Anionengehalte der Bohrspülung wurden die in Tab.C.4.3.1 aufgeführten Fluidsampler eingesetzt.

Gegenüber der letzten Zusammensetzung der Spülung vor dem Fluidsamplereinsatz zeigen sich deutliche Anreicherungen an Na, Ca, Sr und Cl⁻ in den am 28.10.88 aus den Teufen 3446.5 m und 3447 m gewonnenen Proben.

Die unterschiedlichen Li-Gehalte in den einzelnen Kammern des Preussag-Fluidsamplers aus Teufe 3447 m können aufgrund der relativ konstanten Ca und Na Gehalte nicht oder nur untergeordnet durch eine unterschiedliche Verdünnung der einzelnen Proben, hervorgerufen durch verschiedene Mischungsverhältnisse zwischen Fluid und Bohrspülung, erklärt werden. Eine Abnahme des Li-Gehaltes geht hauptsächlich auf das Ausfallen des D-HT zurück, wobei die Kationen Ba, Fe, Mn, Zn und Al adsorptiv an das D-HT gebunden werden.

Zuflüsse hoher Salinitäten führen zum Ausfallen des ansonsten kolloidal vorliegenden D-HT, so daß die Spülung ihre thixotropen Eigenschaften verliert. Hierbei werden vom D-HT adsorbierte Kationen (Ba, Fe, Mn, Zn, Al) mitgefällt.

Mg, Si und Na sind neben Li Hauptelemente des D-HT. Ca, K und Sr, sowie das leicht lösliche Na werden in diesen Proben anscheinend nicht vom D-HT adsorbiert. Sieht man von chemischen Ausfällungsreaktionen ab, so kann davon ausgegangen werden, daß diese zur Charakterisierung der Fluide wichtigen Elemente kalkulierbar bleiben.

In Abb. C.4.3.1 sind die vom D-HT adsorbierten Elemente Fe, Mn, Zn und Al gegen Li - als Maß für den D-HT-Gehalt - aufgetragen. Der Li-Gehalt der Spülung vor der Fluidprobenahme betrug ca. 65 ppm. Die eingezeichneten Geraden stellen die auf diesen Wert extrapolierten Gehalte der adsorbierten Kationen dar. In diese Extrapolation geht sowohl ein Ausfallen des Spülungszusatzes D-HT als auch eine Verdünnung durch das zugetretene Fluid ein. Die gute Übereinstimmung der extrapolierten Gehalte mit dem Spülungsschemismus vor der Fluidprobenahme deutet auf keine signifikanten Anreicherungen an den Elementen Fe, Mn, Zn und Al durch das zugetretene Fluid hin.

Im Folgenden soll eine Charakterisierung der Fluide anhand von Elementverhältnissen diskutiert werden. Da das Mischungsverhältnis Bohrspülung/Fluid nicht bekannt ist, können die Absolutgehalte der durch das Fluid eingebrachten Elemente nicht bestimmt werden. Eine Charakterisierung der Fluide ist allenfalls nach folgender Grenzwertabschätzung anhand von Elementverhältnissen möglich:

1. Grenzwert: Die Verdünnung der Bohrspülung durch das zugetretene Fluid sei (lokal) unendlich hoch, d.h. die Menge des zugetretenen Fluids hat die Fluidsamplerprobe extrem stark verdünnt. Dann entsprechen die aus der Analyse berechneten Elementverhältnisse denen im Fluid.

2. Grenzwert: Die Verdünnung der Bohrspülung durch das zugetretene Fluid ist unendlich klein, d.h. die Spülung wurde

praktisch nicht verdünnt. Vor der Bildung eines Elementverhältnisses sind dann die Gehalte in der Spülung vor der Fluidprobenahme (Bezugsprobe = letzte aktuelle Spülung vor der Probenahme) von den gemessenen Gehalten zu subtrahieren. Die nach dieser Korrektur berechneten Elementverhältnisse entsprechen denen im Fluid.

Da das Mischungsverhältnis Fluid/Probe für alle Elemente konstant ist, liegt das Elementverhältnis für die vom D-HT nicht adsorbierten Elemente zwischen den beiden Grenzwerten.

Unter diesen Grenzannahmen wurden die in Tab. C.4.3.2 dargestellten Minima und Maxima der Elementverhältnisse berechnet.

Tab.C.4.3.1: Analysenergebnisse der Fluidsamplerproben in ppm

Fluidsampler	Teufe (m)	Na	Ca	K	Sr	Cl ⁻	Li
Geocom 28.10.88	3446.5	1880	2080	180	43	5300	
Preussag 28.10.88	3447	2700	4090	170	97	8700	(23)
		2660	3990	140	94		(10)
		2580	4000	160	92		(4)
Bezugsprobe		760	140	220	1.4	90	
Geocom 13.12.88	3447	900	290	120	6.0	1000	
Bezugsprobe		760	120	130	1.1	70	
Geocom 17.01.89	3445.5	870	190	90	1.9	260	
Bezugsprobe		920	200	80	1.9	180	

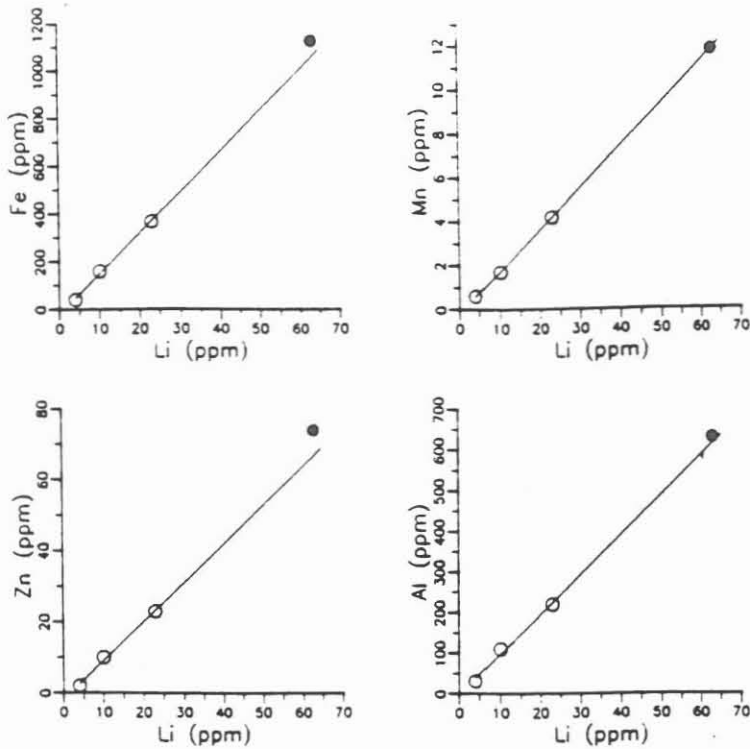


Abb. C.4.3.1: Analysenergebnisse der Proben des Preussag-Fluidsamplers aus Teufe 3447 m (offene Kreise) im Vergleich zur Spülungszusammensetzung vor der Fluidprobennahme (geschlossene Kreise).

Tab. C.4.3.2: Elementverhältnisse

Fluidsampler	Teufe (m)	Na/Ca	Ca/Sr
Geocom	3446.5	0.57 - 0.90	47 - 48
Preussag	3447	0.49 - 0.66	42 - 43

Unter Anwendung des gleichen Korrekturverfahrens errechnet sich aus den Na- und Ca-Gehalten des Geocom-Fluidsamplers aus Teufe 3446.5 m zur Bildung von NaCl bzw. CaCl₂ ein Bedarf an 5200 bis 6600 ppm Cl⁻, der mit dem gemessenen Wert von 5300 ppm gut übereinstimmt.

Somit kann davon ausgegangen werden, daß es sich bei den zuge- tretenen Fluiden um NaCl- und CaCl₂-haltige Wässer handelt.

C.5 Gasanalytik

C.5.1 Allgemeines

Im Teufenbereich 3009.7 bis 3500 m wurden kontinuierlich die aus der Bohrspülung freigesetzten Gase Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Helium, Kohlendioxid, Methan, Wasserstoff sowie Wasser massenspektrometrisch untersucht.

Durch die in TAPPER et al. (1989) beschriebene Modifizierung der eingesetzten Gasfalle kann zwischen mitangesaugter Fremdluft (Identifizierung erfolgt über Argon) und aus der Bohrspülung freigesetzter Luft unterschieden werden.

Im Anhang C.8.3 sind die Gehalte der aussagekräftigsten Gase Helium, Methan, Wasserstoff, Argon, Kohlendioxid und Sauerstoff neben Bohrspülungs- und bohrtechnischen Parametern in Form von Teufenlogs dargestellt.

Für sämtliche im Text dargestellten Abbildungen, mit Ausnahme der Abb. C.5.3, wurden die Meßwerte wegen der starken Schwankungen geglättet. Für Methan sind in Abb. C.5.1 die geglätteten zusammen mit den Rohdaten dargestellt. Als Glättung wurde eine Mittelwertbildung über ein 10 m langes Intervall bei einem Abstand von 2 m angewendet. Anhand der Abb. C.5.3 kann festgestellt werden, daß es durch die Anwendung dieses Glättungsverfahrens zu einer deutlichen Peakverbreiterung und Reduzierung der Peak-Höhe kommt. Dafür lassen sich aber die Trends besser aufzeigen.

C.5.2 Ergebnisse

Im Teufenbereich 3009.7 - 3500 m können zwei Zonen (3198 - 3208 m und 3447 m) abgegrenzt werden, die sich durch starke Konzentrationszunahmen von Helium und Methan auszeichnen, während der Wasserstoffgehalt scheinbar konstant bleibt (vgl. Abb. C.5.1 und C.5.2). Für Kohlendioxid läßt sich eine geringe Konzentrationszunahme in der Gasprobe aus 3447 m nachweisen (siehe Anhang). Diese Zunahme beruht auf einer leichten Abnahme des pH-Wertes der Bohrspülung.

Anhand der Kernbeschreibungen lassen sich in der Zone 3198 bis 3208 m im Sillimanit-Biotit-Gneis zwei Störungen nachweisen (Störungslette sowie ein Bereich, in dem Kernverluste auftraten). Die Zone der Helium- und Methananreicherung bei 3447 m wird durch eine in den serizitisierten Sillimanit-Biotit-Gneisen auftretende offene Kluft verursacht (vgl. Kap. B, C.3.3, C.4).

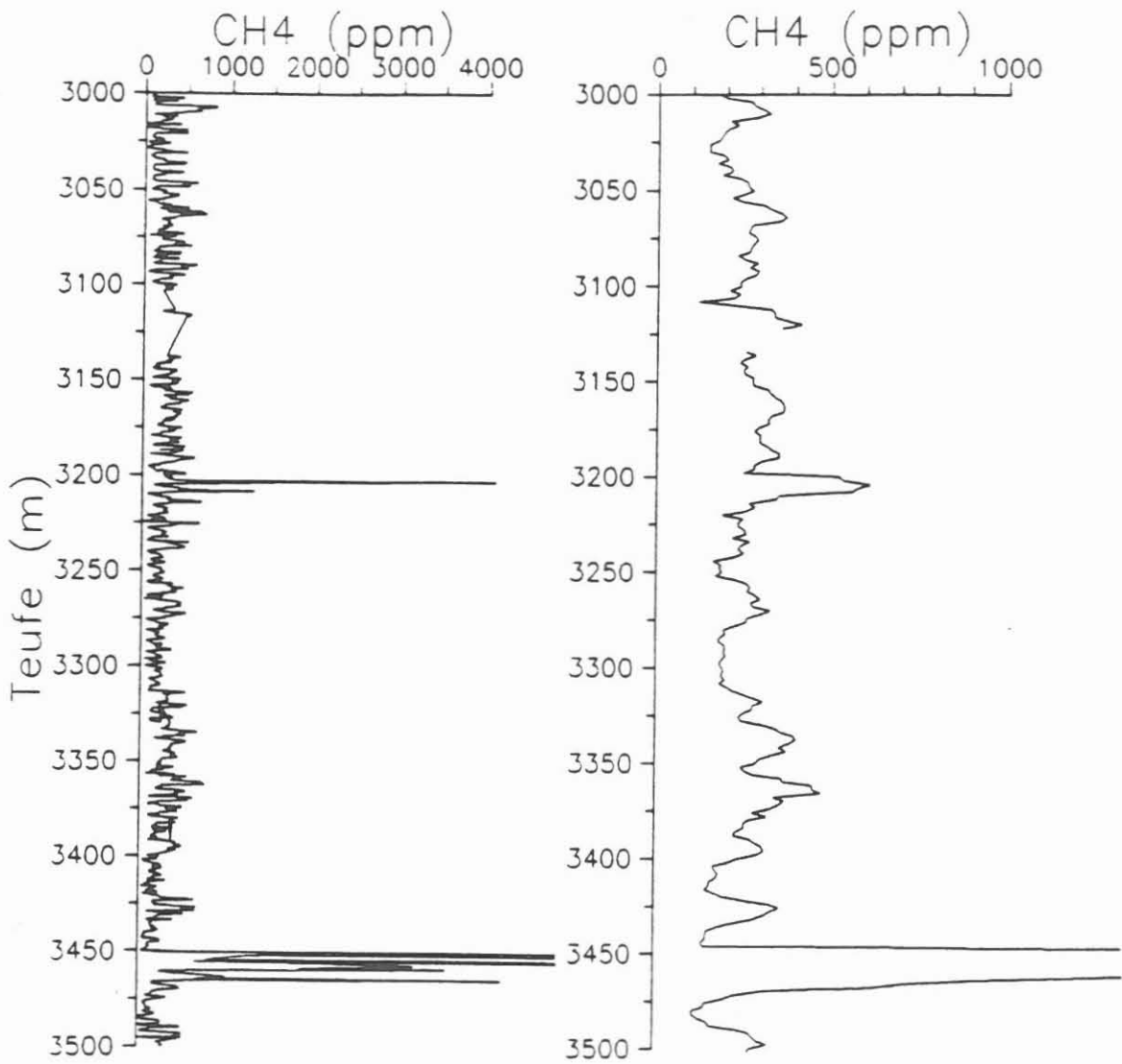


Abb. C.5.1: Methangehalte der Bohrspülung
(links Original-Daten, rechts geglättete Daten)

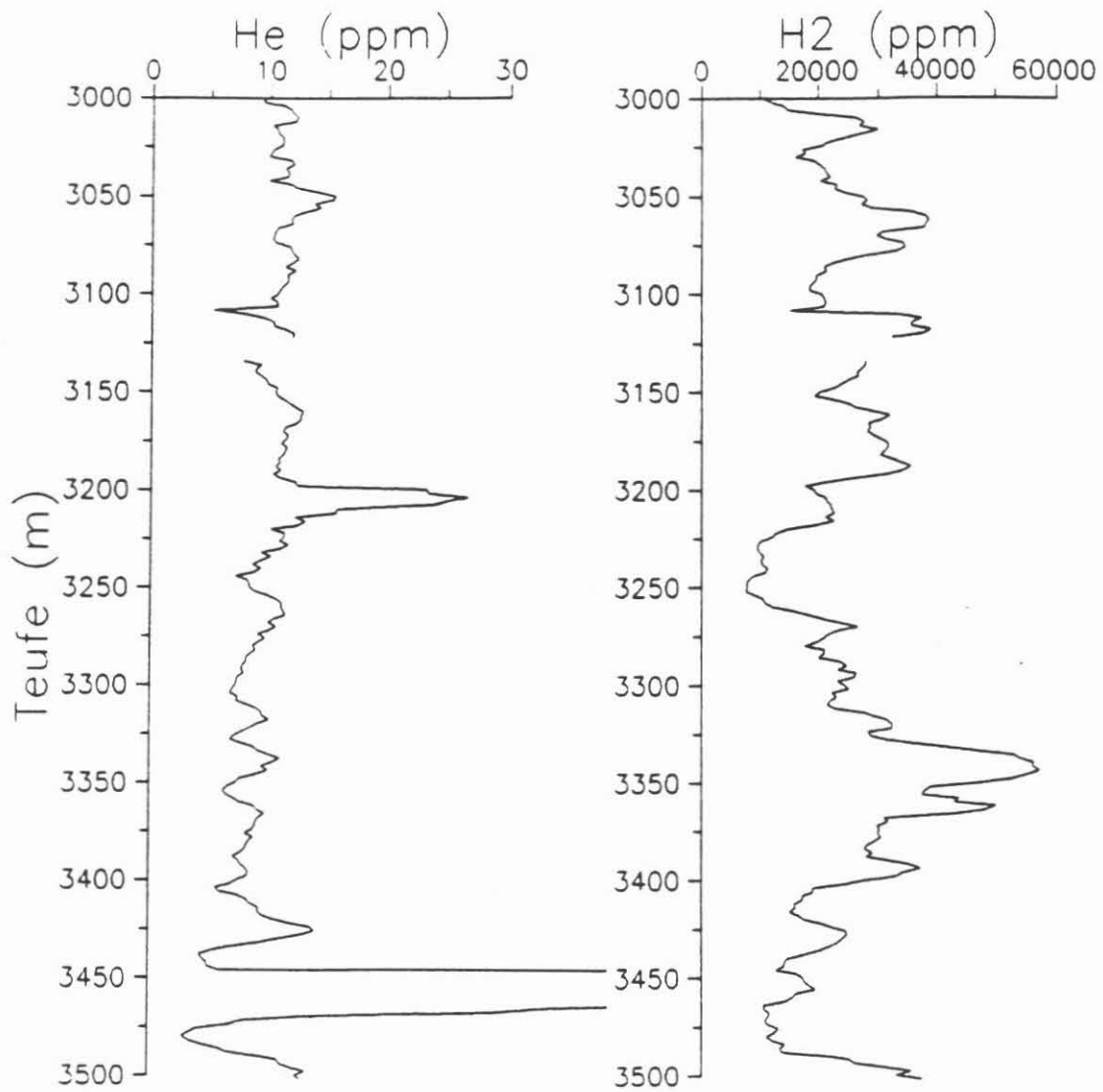


Abb. C.5.2: Helium- bzw. Wasserstoffgehalte der Bohrspülung

Anhand bohrtechnischer Parameter, wie Meißellast (Weight On Bit) und Bohrfortschritt (Rate Of Penetration) kann das Durchteufen der Zone zwischen 3198 und 3208 m sehr gut nachvollzogen werden (Abb. C.5.3).

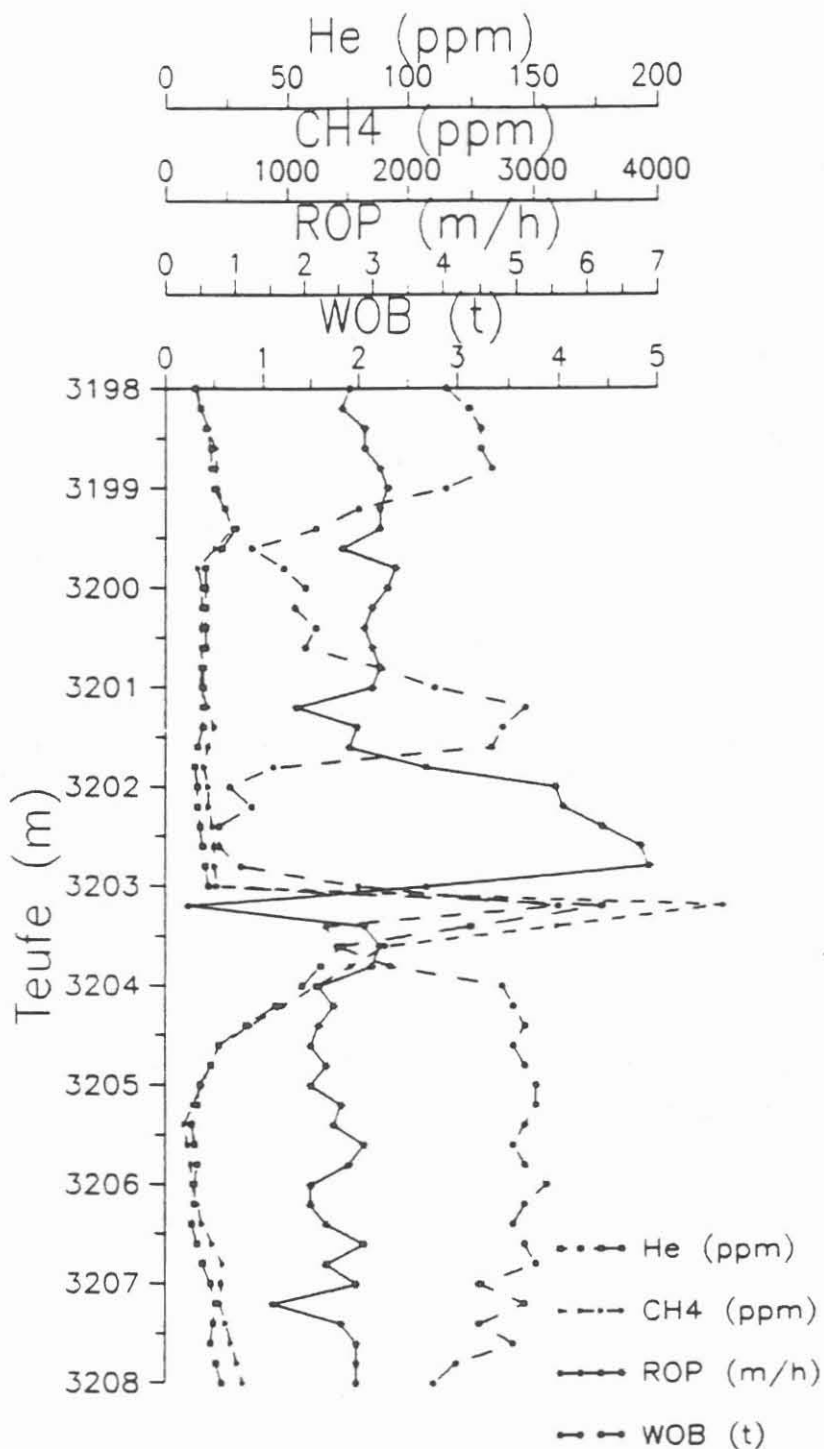


Abb. C.5.3: Methan- und Heliumgehalte sowie Bohrfortschritt (ROP) und Meißellast (WOB) im Bereich 3198 - 3208m

Beim Durchteufen der Störungslette ist bei gleichbleibendem Bohrfortschritt eine Abnahme der Meißellast zu verzeichnen (3199 - 3201 m). Zwischen 3201.5 und 3203.5 m erfolgte ein sehr starker Anstieg des Bohrfortschritts. Um diesen Anstieg zu bremsen, wurde die Meißellast von ca. 4 t auf unter 0.5 t reduziert. Trotzdem erreichte der Bohrfortschritt noch Spitzenwerte von 7 m/h (vgl. Abb. C.5.3). Im gesamten Bereich des hohen Bohrfortschritts konnte kein Kern gewonnen werden. Es muß sich dabei um eine sehr "aufgelockerte" Zone gehandelt haben.

Im Teufenbereich des maximalen Bohrfortschritts konnte keine Methan- bzw. Heliumanreicherung in der Bohrspülung festgestellt werden. Sie traten erst nach dem Bohrstillstand während der Bergung der Kernmärsche (KM) 782, 783 bzw. 784 auf. Während des Bohrprozesses ist der Druck der Spülungssäule größer als der Gasdruck, so daß kein Gas in die Bohrspülung gelangen kann. Die Spülungssäule übt durch ihr Gewicht einen Druck von 330 bar auf die Bohrlochsohle in 3200 m Tiefe aus. An der Bohrlochsohle entsteht während des Bohrens, bedingt durch das eingesetzte Bohrverfahren, noch ein zusätzlicher, sogenannter Kopfdruck zwischen 100 und 150 bar. Da während des Bohrens kein verstärkter Gaszutritt (keine Anreicherung) zu beobachten war, kann der Gasdruck der durchteuften Formation nicht mehr als 430 bar betragen haben. Da aber während des Bohrstillstands eine Methan- bzw. Heliumanreicherung in der Bohrspülung auftrat, betrug er mindestens 330 bar.

Die maximale Methan- und Heliumanreicherung betrug 0.410 Vol.% bzw. 0.016 Vol.%. Aus den im Anhang aufgeführten Gas-Teufenlogs ist zu entnehmen, daß sich der durchteufte Horizont schon bei der Bergung des Kernmarsches 785, d.h. beim vierten Kernmarsch nach dem Durchteufen dieser Zone, nicht mehr durch Methan- und/oder Heliumanreicherungen auszeichnete. Demzufolge war das "Nachgasen" dieses Horizontes nur von kurzer Dauer.

Bei 3447 m wurde die schon erwähnte offene Kluft erbohrt. Die Bohrspülung in dem Bereich der offenen Kluft zeigte keine Anzeichen von gasförmigen bzw. wäßrigen Zutritten, da sich die Gasgehalte und die chemische Zusammensetzung der Bohrspülung nicht änderten (vgl. Kapitel C.4). Während der Bergung von Kernmarsch 843, der die Kluft enthielt, erfolgte wieder eine Gasanreicherung in der Bohrspülung. Diese mit Gas angereicherte Bohrspülung trat erst beim Abbohren des nächsten Kernmarsches zutage, so daß z.B. die Methananreicherung bei 3451.5 m, der Kluft aus 3447 m zugeordnet werden muß (siehe Abb. C.5.4). Auffällig ist wieder das Phänomen, daß sich Methan und Helium nur in Zirkulations-Stillstandsphasen in der Bohrspülung anreichern. Daraus kann wieder ein Mindestgasdruck innerhalb der offenen Kluft errechnet werden. Er betrug mindestens 355 bar, kann aber nicht größer als 450 bar gewesen sein. Durch eine zusätzliche Bohrspülungsprobennahme während der starken Gasanreicherung erfolgte der erste Hinweis auf einen Zutritt salinaren Wassers. Die maximalen Methangehalte betragen 4.15 Vol.%, während für Helium Spit-

zenwerte von 0.19 Vol.% erreicht wurden. Die Gas- bzw. Kationen- und Anionenreicherungen in der Bohrspülung dienten als Grundlage für den sofortigen Einsatz von Fluid - Samplern (siehe Kapitel C.4.3 und C.5.3).

In Abb. C.5.4 sind die Methan- und Wasserstoffgehalte der Bohrspülung aus dem Bereich 3450 bis 3460 m dargestellt. In dieser Abbildung sind zwei Methanpeaks erkennbar, die durch den Gaszutritt aus der Kluft verursacht wurden. Für die Wasserstoffgehalte läßt sich ebenfalls eine deutliche Anreicherung, analog der des Methans, aufzeigen. Demnach müßte die freigesetzte Gasphase neben Methan und Helium auch Wasserstoff enthalten haben.

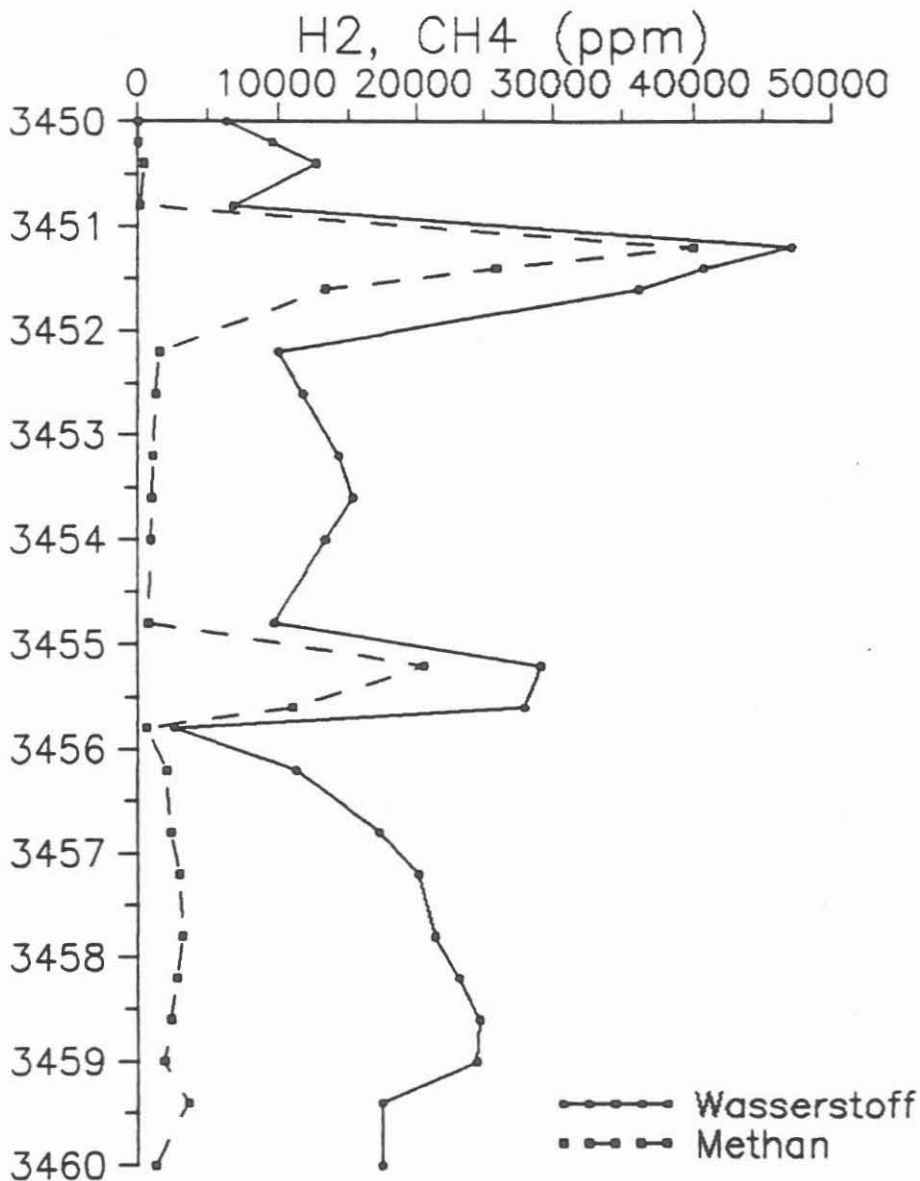


Abb. C.5.4: Methan- und Wasserstoffgehalte (3450 - 3460 m)

Wie schon durch viele Erdöl- und Ergasbohrungen bekannt ist, treten nach Gestängeausbau, wie z.B. bei Bohrwerkzeugwechsel (Roundtrip), Gasanreicherungen (Tripgase) in der Bohrspülung auf. Dieses Phänomen läßt sich auch in der KTB-Vorbohrung beobachten. Bei der Bergung des Innenkernrohres treten ebenfalls Gasanreicherungen auf. Diese Tripgase sind wegen ihrer Anreicherungen für spezielle Untersuchungen, die hohe Gaskonzentrationen benötigen, gut geeignet. Die Gasanreicherungen stammen meist aus dem unteren Bereich des Bohrlochs.

Anhand eines Beispiels können die bei der Vorbohrung üblichen Anreicherungen von einzelnen Gasen aufgezeigt werden. So wurde nach dem Erreichen von 3009.7 m eine Bohrlochmeßphase durchgeführt. Nach achttägiger Dauer war ein Bohrstrangeinbau mit nachfolgender Bohrspülungs-Zirkulation erforderlich. In Abb. C.5.5 sind die hierbei aufgetretenen Anreicherungen verschiedener Gase dargestellt. Die Gasgehalte sind gegen die Uhrzeit aufgetragen, da eine Teufenzuordnung nur sehr schwer möglich ist.

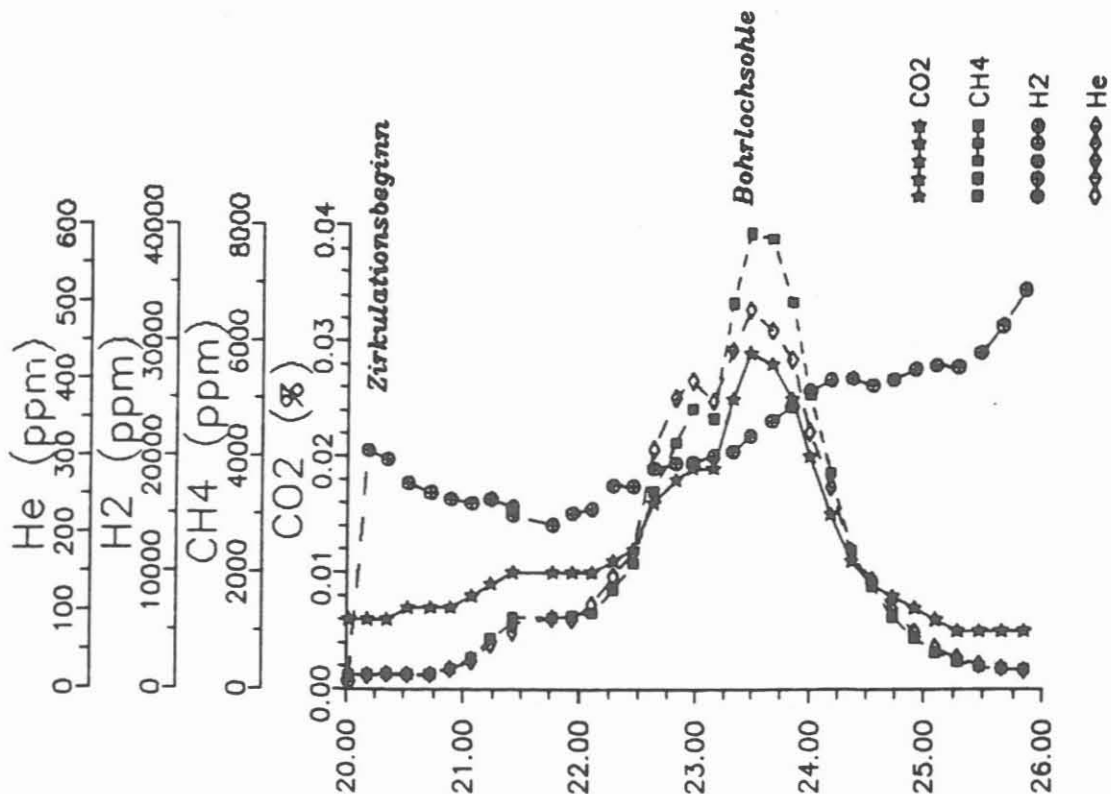


Abb. C.5.5: Verhalten von Helium, Wasserstoff, Methan und Kohlendioxid bei der Auszirkulation des Bohrlochs nach einer achttägigen Bohr- und Zirkulations-Stillstandsphase

Die um 20⁰⁰ Uhr gemessene Gaszusammensetzung entspricht der normalen Gasphase (Gasprobe aus 0 m Teufe), während die der um 23⁴⁵ Uhr eine deutliche Gasanreicherung (Gasprobe aus 3009.7 m) aufzeigt. Innerhalb der achttägigen Meßphase kam es zu Methan-, Helium- und Kohlendioxid-Anreicherungen in der Bohrspülung. Diese Anreicherungen treten im Bohrlochsohlenbereich auf. Zwischen 3000 und 3007 m trat eine 20 cm mächtige, vergrünte kataklastische Scherzone auf, die einer Methan- und Heliumanreicherung in der Bohrspülung zugeordnet werden konnte (siehe TAPPER et al. 1989). Dieser Teufenbereich könnte ebenfalls die deutliche Methan- und Heliumanreicherung im Tripigas verursacht haben. Die Kohlendioxidanreicherung deutet darauf hin, daß es in diesem Bereich zu einer geringen Abnahme der pH-Werte der Bohrspülung kam. Die Wasserstoffgehalte spiegeln den aufgezeigten Trend nicht wider, d.h., daß der Wasserstoff aus einer anderen Quelle als Methan und Helium stammen könnte, z.B. aus Wasserzersetzung am Bohrgestänge.

Der Betrag der Gasanreicherungen ist von unterschiedlichen Faktoren wie durchteufte Lithologie, Dauer des Bohrstillstands sowie Aus- und Einbaugeschwindigkeit abhängig. Deshalb können für teufenabhängige Interpretationen der Tripigasdaten keine Konzentrationsangaben gemacht werden. Für sämtliche Tripigase wurde daher das Methan/Heliumverhältnis gegen die Bohrlochteufe aufgetragen (Abb. C.5.6). Anhand dieses Verhältnisses lassen sich Bereiche abgrenzen, die sich durch erhöhte Methan/Heliumverhältnisse auszeichnen. Es sind die Bereiche 1850 - 2500 m, 2700 - 2950 m, 3050 m, 3150 m und 3350 - 3400 m. In dieser Abbildung ist noch zusätzlich das Auftreten von Graphit auf einzelnen Scherflächen, auf Scherzonen und bei Kataklasiten aufgeführt. Dabei zeigt es sich, daß das Vorkommen von Graphit auf Scherzonen und besonders in Kataklasiten mit einem erhöhten Methan/Heliumverhältnis verbunden ist.

In Abb. C.5.7 sind die Methan/Heliumverhältnisse von Gasphasen mit Heliumgehalten > 15 ppm im Vergleich zu Tripigasen dargestellt. Der dargelegte Trend kann sowohl bei der kontinuierlich analysierten Bohrspülung als auch bei den Tripigasen beobachtet werden.

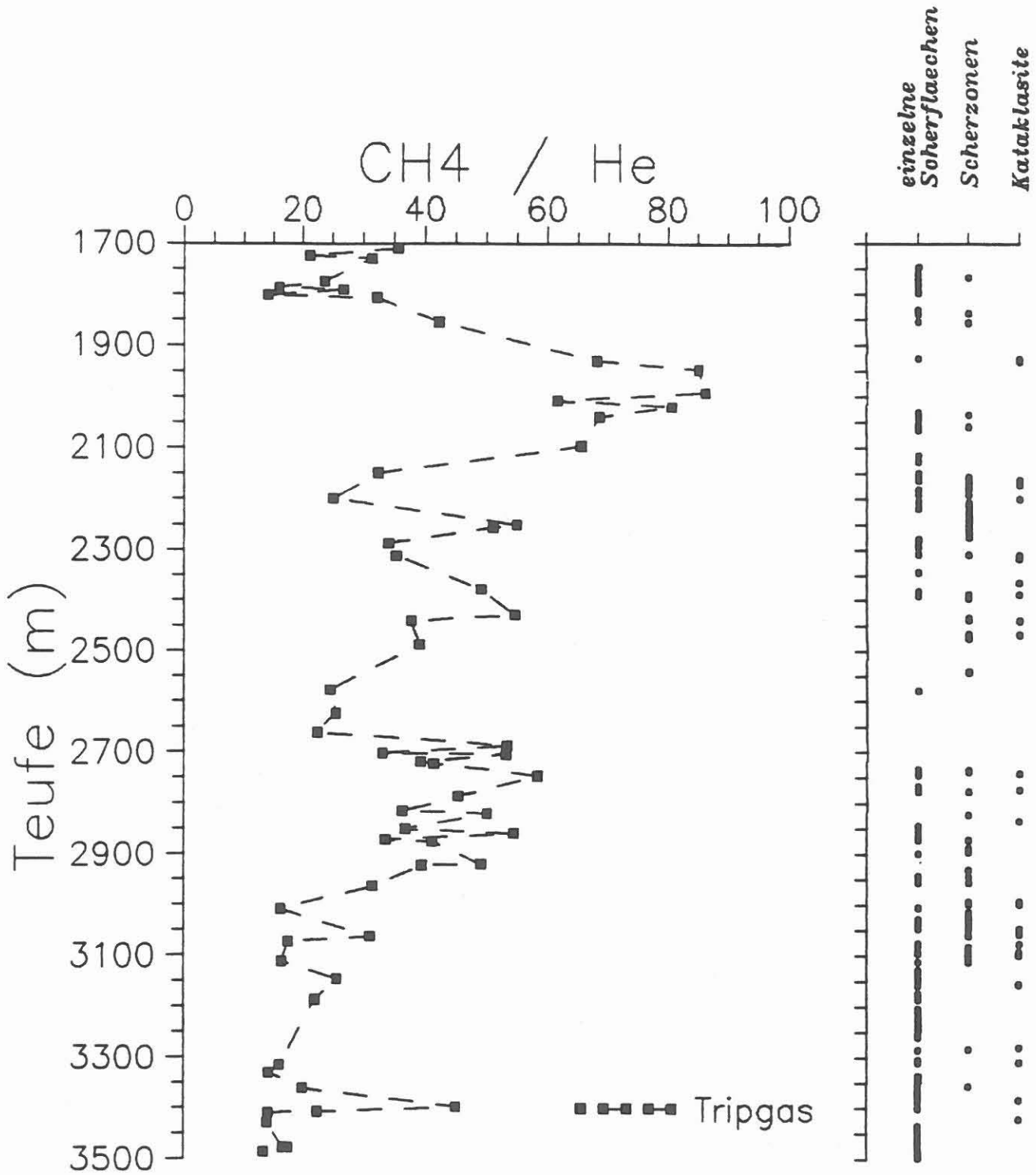


Abb. C.5.6: Beziehung zwischen Methan/Heliumverhältnissen von Tripgasen und dem Auftreten von Graphit auf isolierten Scherflächen, mächtigen Scherzonen und in Kataklastiten

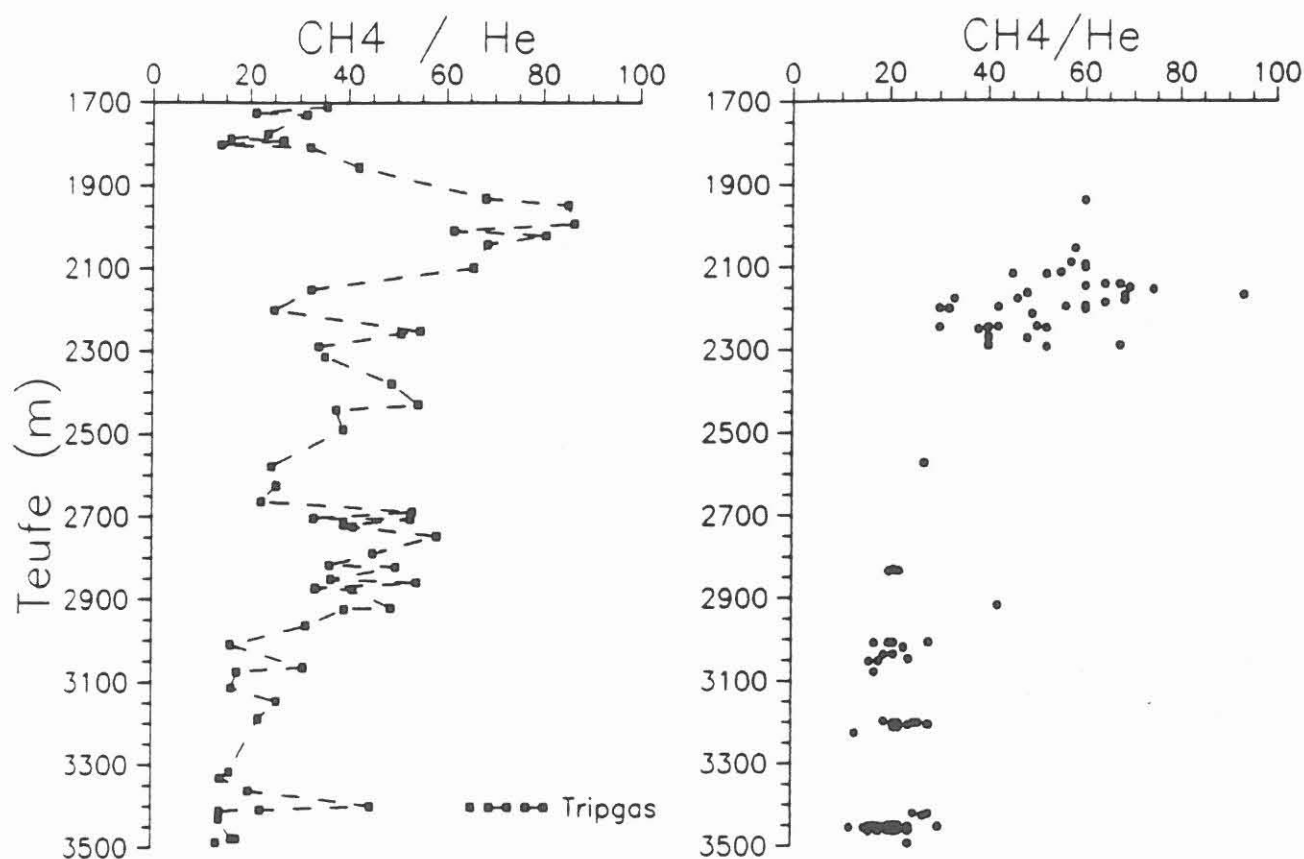


Abb. C.5.7: Vergleich der Methan/Heliumverhältnisse von Tripgasen (linkes Diagramm) und der kontinuierlich analysierten Bohrspülung (Gase mit Heliumgehalten > 15 ppm - rechtes Diagramm)

In der nachfolgenden Abb. C.5.8 ist die Beziehung Klüftigkeitsziffer gegen die Methan- bzw. Heliumkonzentration dargestellt. Um die Anzahl der dargestellten Daten zu reduzieren, wurden nur solche Wertepaare berücksichtigt, die Heliumgehalte > 15 ppm aufwiesen.

Es lassen sich zwar einzelne Bereiche mit erhöhten Klüftigkeitsziffern (vgl. Kap. B) erkennen diese korrelieren aber nicht mit erhöhten Methan- und/oder Heliumgehalten der Bohrspülung.

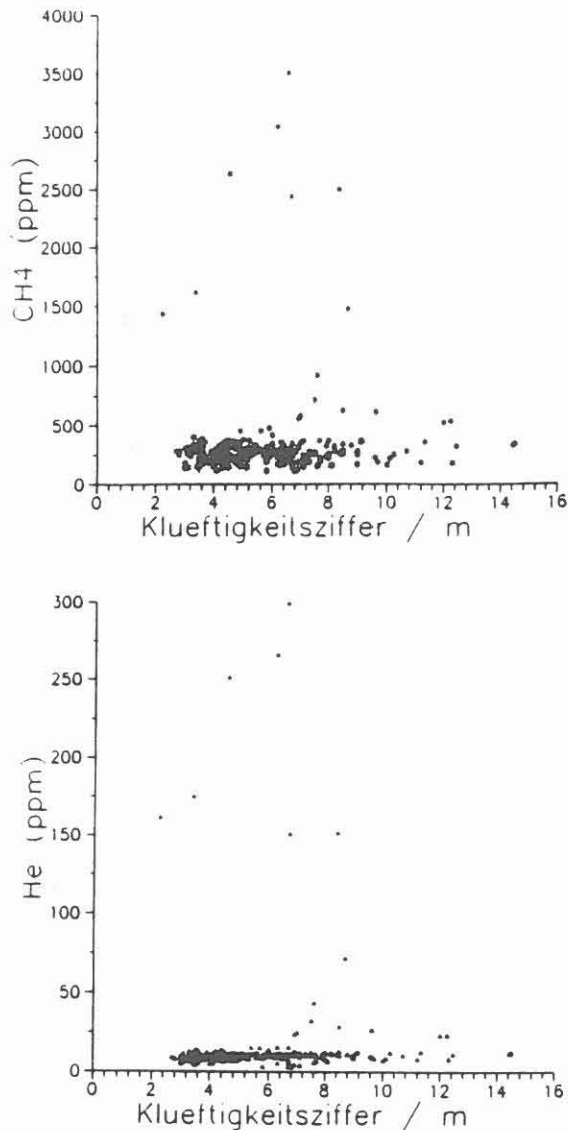


Abb. C.5.8: Abhängigkeit zwischen Klüftigkeitsziffer und Methan bzw. Helium von 3009.7 bis 3503.3 m

Anhand der Methan/Heliumverhältnisse lassen sich zwei unterschiedliche Trends aufzeigen. In Abb. C.5.9 ist das Methan/Heliumverhältnis gegen Helium dargestellt. Es wurden nur solche Daten berücksichtigt, die Heliumkonzentrationen > 15 ppm zeigten. Der Bereich, der durch Gasproben zwischen 1680 und 3200 m (VB1a) charakterisiert ist, zeichnet sich

durch hohe Methan/Heliumverhältnisse bei insgesamt niedrigen Heliumgehalten aus. Dagegen zeigen die Gasphasen aus den schon beschriebenen Zonen, nämlich 3202 und 3447 m, einen anderen Trend. Sie weisen ein niedriges Methan/Heliumverhältnis bei insgesamt hohen Heliumgehalten auf.

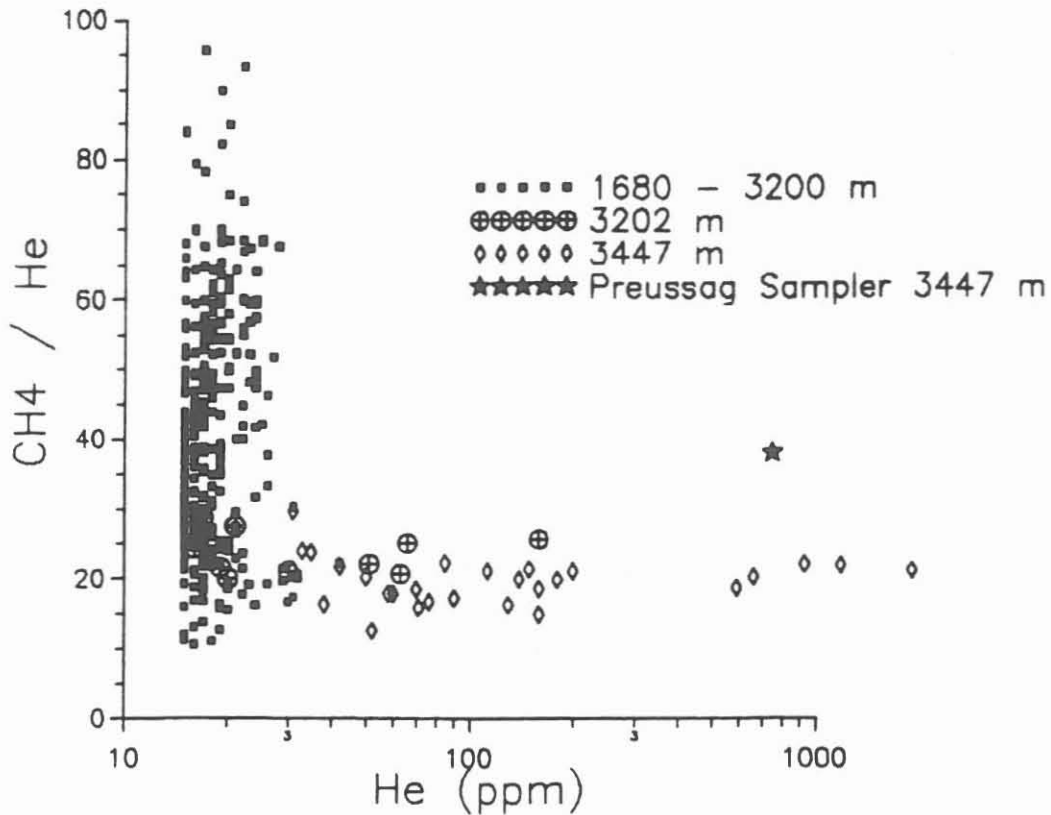
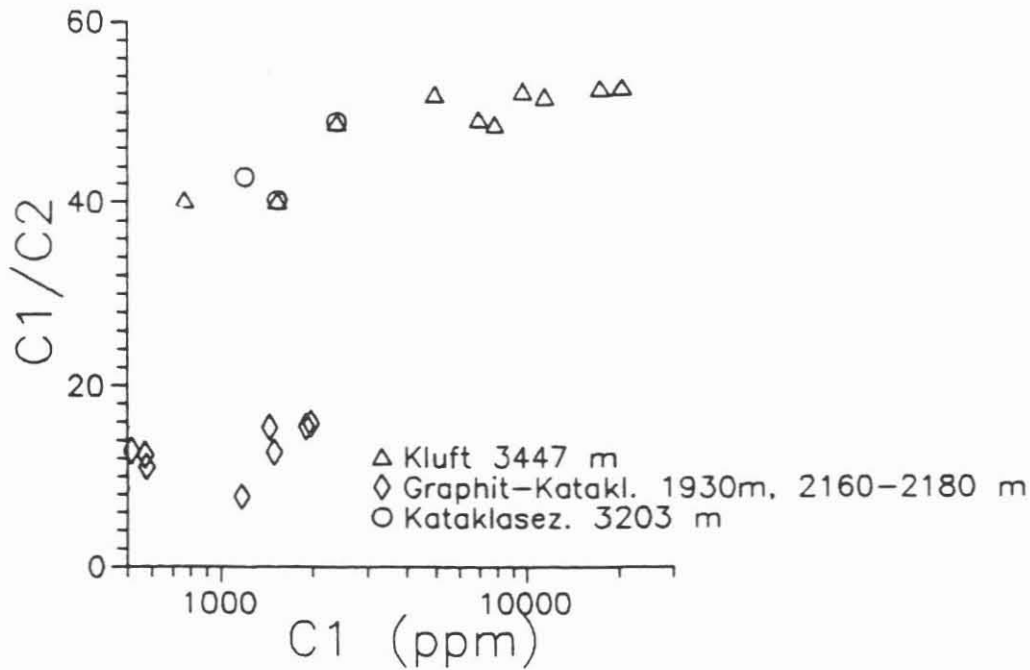


Abb. C.5.9: Methan/Heliumverhältnisse verschiedener Gasphasen

Neben der massenspektrometrischen Gasanalyse wurden die Kohlenwasserstoffe (C_1 bis C_5) in der Mud - Logging - Unit (Arbeitsgemeinschaft: Preussag, NL-Baroid und GEO-data) gaschromatographisch gemessen. Die Freisetzung dieser Gasphase erfolgte mit dem vom Feldlabor benutzten Gasfallentyp. In Abb. C.5.10 sind Methan/Ethanverhältnisse von Gasproben aufgeführt, die sich durch hohe Methan- und Heliumgehalte auszeichnen. Es wurden vier unterschiedliche Teufenbereiche der VB1a berücksichtigt, nämlich die graphitführenden Kataklasezonen von 1930 m, 2160 bis 2180 m, die Kataklasezone bei 3202 m und die offene Kluft bei 3447 m.

Anhand der Methan/Ethanverhältnisse lassen sich zwei unterschiedlich zusammengesetzte Gastypen voneinander unterscheiden. Die Gase aus graphitführenden Katakklasezonen zeigen eine andere Zusammensetzung als die aus den Teufen 3203 und 3447 m.



C.5.10: Charakterisierung unterschiedlicher Gasphasen nach ihren Methan/Ethanverhältnissen

Die aufgeführte Klassifizierung konnte auch schon durch das Methan/Heliumverhältnis nachgewiesen werden (siehe Abb. C.5.9).

Gasphasen, die mit dem vermehrten Auftreten von Graphit zusammenhängen, zeichnen sich durch hohe Methan/Helium- und niedrige Methan/Ethanverhältnisse aus.

C.5.3 Fluidprobennehmer

Der Teufenbereich 3203 m und die offene Kluft bei 3447 m wurden mittels Fluidprobennehmern auf gasförmige und/oder wäßrige Zutritte getestet. Die Probennahme in Teufe 3203 m scheiterte an einem defekten Ventil des Samplers. Die gewonnenen Proben werden bei Zimmertemperatur durch Anlegen eines Unterdrucks (< 10 mbar) an den Fluid-Sampler entgast. Dieses Gas wird massenspektrometrisch analysiert.

Die in den Tabellen C.5.1 und C.5.2 aufgeführten Ergebnisse sind auf einer wasser- und sauerstofffreien Basis ausgewertet. Die Sauerstoffgehalte werden anteilmäßig mit Stickstoff und Argon zu einem Luftgehalt, der als Kontamination definiert wird, verrechnet und ebenfalls subtrahiert.

Tabelle C.5.1: Eingesetzte Fluid - Sampler im Teufenbereich 3009.7 - 3503.3 m

Datum	28.10.88	28.10.88	13.12.88	17.1.89
Teufe (m)	3446.5	3447.0	3447.0	3445.5
Sampler	Geocom	Preussag	Geocom	Geocom
Stickstoff (Vol.%)	75.47	71.89	49.70	96.60
Argon (Vol.%)	0.25	0.00	0.56	0.97
Kohlendioxid (Vol.%)	0.59	1.02	0.46	0.04
Methan (Vol.%)	20.94	24.39	10.46	0.39
Wasserstoff (VOL.%)	2.08	2.03	38.41	1.89
Helium (Vol.%)	0.67	0.68	0.41	0.01

Anhand der Analysen der Fluid-Sampler-Proben erschien der Einsatz eines Packer-Testes sinnvoll. Er wurde am 07.11.88 bei der aktuellen Teufe von 3486.9 m durchgeführt. Nach dem Ausbau der Testgarnitur wurde an der Bohrplattform die in den Schwerstangen sowie in der Probenkammer (2 l Volumen) befindliche Flüssigkeit durch Anlegen von evakuierten Druckgasdosen entgast. Die Analysen der Gasproben sind in Tabelle C.5.2 (wie oben korrigiert) aufgelistet.

Tabelle C.5.2: Ergebnisse des durchgeführten Packer-Tests vom 07.11.88

	Schwer- stangen	2 l - Kammer		
Stickstoff (Vol.%)	81.11	71.59	71.66	72.50
Argon (Vol.%)	0.41	0.15	0.19	0.16
Kohlendioxid (Vol.%)	0.28	0.70	0.68	1.22
Methan (Vol.%)	9.75	21.11	21.10	19.37
Wasserstoff (VOL.%)	7.73	5.67	5.61	5.99
Helium (Vol.%)	0.72	0.79	0.76	0.76

Die Messungen belegen ebenfalls die Ergebnisse der kontinuierlichen Gasanalyse: starke Methan- und Heliumanreicherungen sowie den gleichen Trend bei den Methan/Heliumverhältnissen (vgl. Abb. C.5.9 - Probe * = Preussag-Sampler).

Aufgrund der Stickstoff/Argonverhältnisse ist neben der Methan- und Heliumzufuhr auch ein Stickstoffzutritt erfolgt. Die leichten Kohlendioxidanreicherungen sprechen für eine Abnahme des pH-Wertes in den Fluidproben. Auffällig ist der sehr hohe Wasserstoffgehalt mit über 38 Vol.% aus dem Geocom-Probennehmer vom 13.12.1988.

In Abb. C.5.11 ist die Zusammensetzung der Gasphasen aus den Fluid-Samplern in einem Dreiecksdiagramm dargestellt.

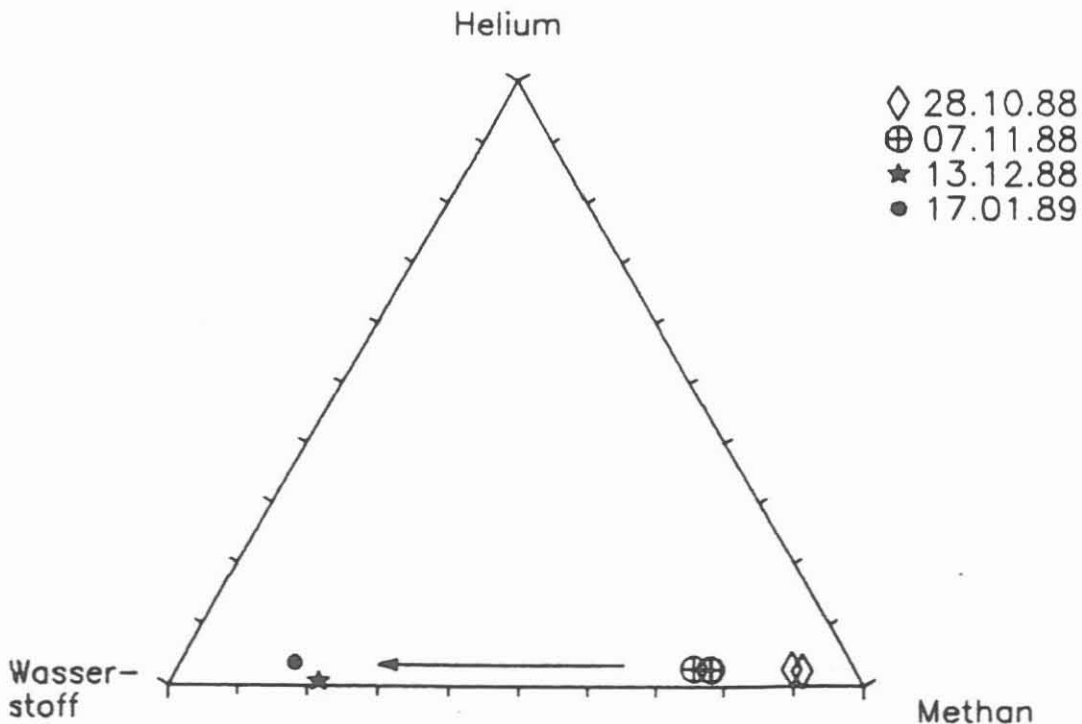


Abb. C.5.11: Zusammensetzung der Gasphasen aus den verschiedenen Fluid-Samplern bei 3447 m in einem Helium-Methan-Wasserstoff-Dreieck

Anhand dieser Darstellung kann festgestellt werden, daß sich die relativen Mengen-Verhältnisse der aus der offenen Kluft freigesetzten Gasphase mit fortschreitender Zeit zu höheren Wasserstoff-Anteilen verschieben. Die Ursache dieser Änderung konnte noch nicht geklärt werden.

C.6 Schriftenverzeichnis

- HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., STROH, A. & TAPPER, M. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 0 - 480 m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover.
- HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D., STROH, A. & TAPPER, M. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 480 bis 992 m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover. KTB-Report, 88-2: C1-C107, Hannover.
- HOMANN, K.D., HEINSCHILD, H.J., STROH, A. & TAPPER, M. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 1998m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover. KTB-Report, 88-9: C1-C88, Hannover.
- HOMANN, K.D. und MÜLLER, H. (1989): Wechselwirkung zwischen Dehydril HT-Bohrspülung und Gesteinsmehl. Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1709 bis 2500m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover. KTB-Report, 89-2: F1-F45, Hannover.
- STROH, A. (1988): Quantitative röntgenographische Phasenanalyse von Gesteinen und Mineralgemischen. Unveröff. Dissertation, Gießen 1988
- STROH, A., HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D. & TAPPER, M. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover. KTB-Report, 88-6: C1-C109, Hannover.

STROH, A., HEINSCHILD, H.J., HOMANN, K.D, TAPPER, M.& ZIMMER, M. (1989): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1709 bis 2500 m. - In: EMMERMANN, R., DIETRICH, H.-G., HEINISCH, M., WÖHRL, T. (Hrsg.): KTB-Report, 88-1: C1-C73, Hannover.KTB-Report, 89-2: C1-C104, Hannover.

C.7 Danksagung

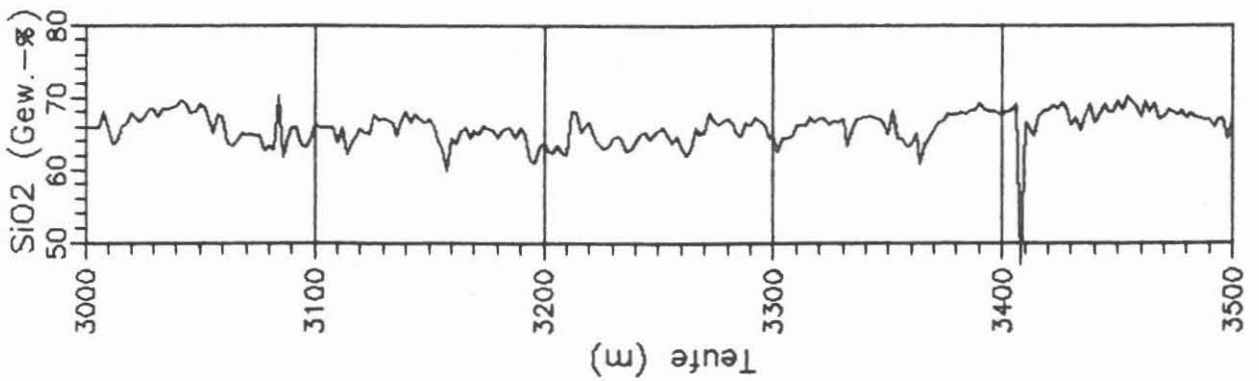
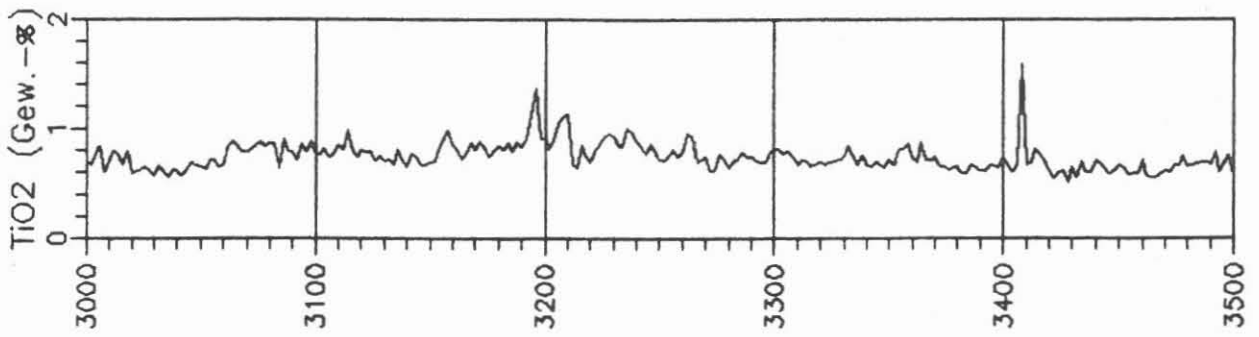
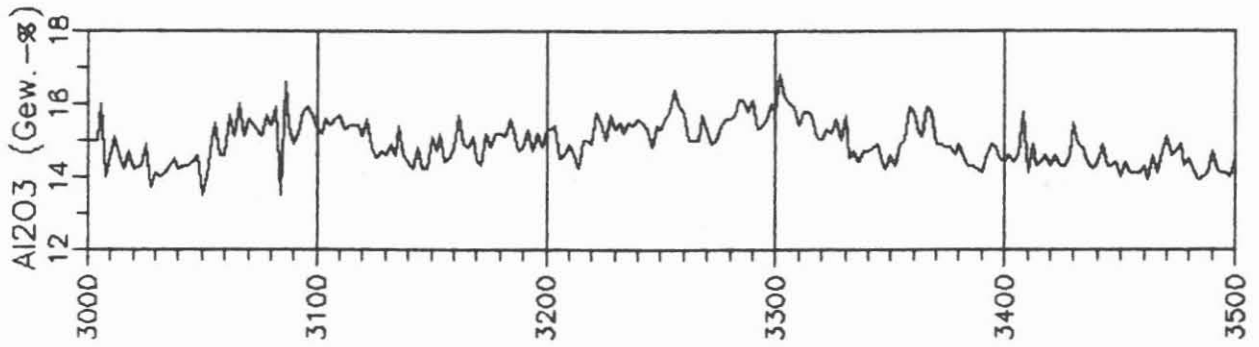
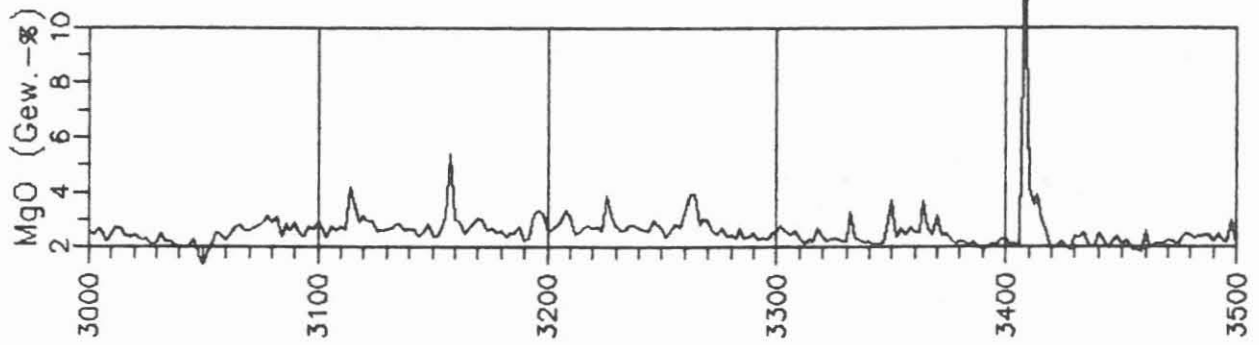
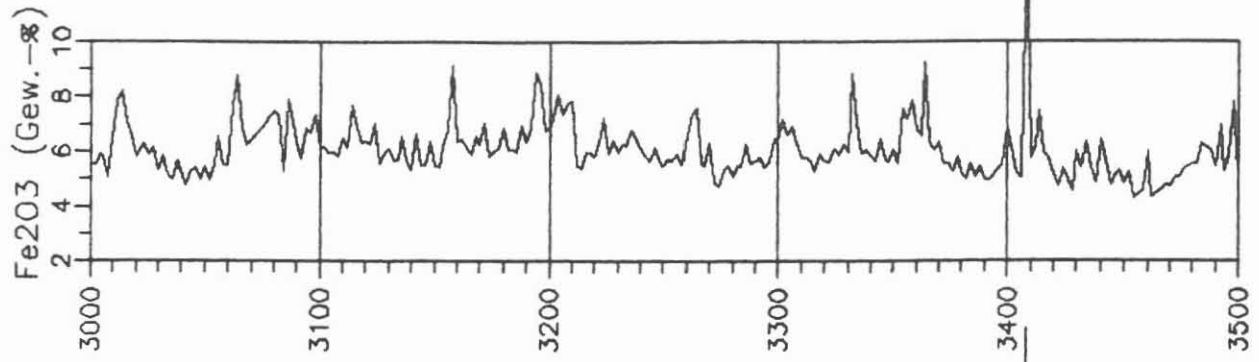
Unser Dank gilt den technischen Mitarbeitern der Geochemiegruppe im Feldlabor, Frau A. Heinschild, Herrn H. Kamm, Herrn R. Lippert, Herrn S. Merz, Frau B. Weber. Für die kritische Durchsicht des Manuskripts danken wir Frau Dr. H. Müller, Herrn Prof. Dr. R. Emmermann und Herrn Dr. Lauterjung.

C.8 Anhang

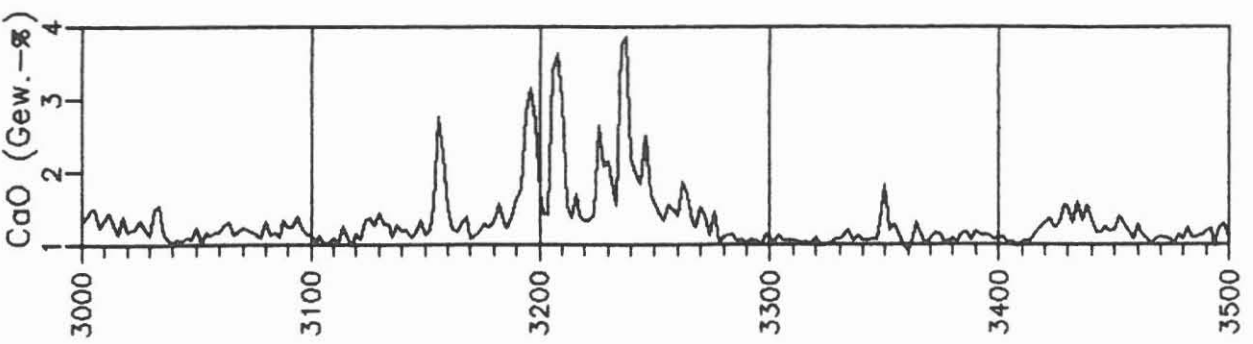
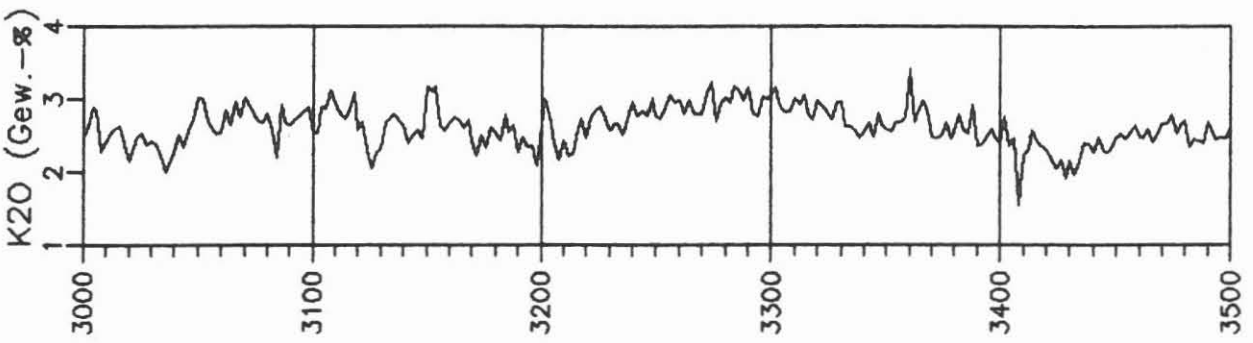
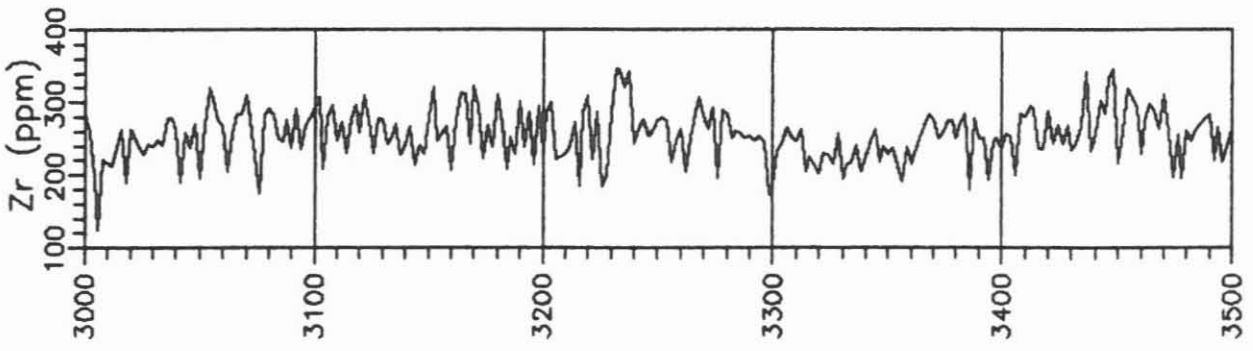
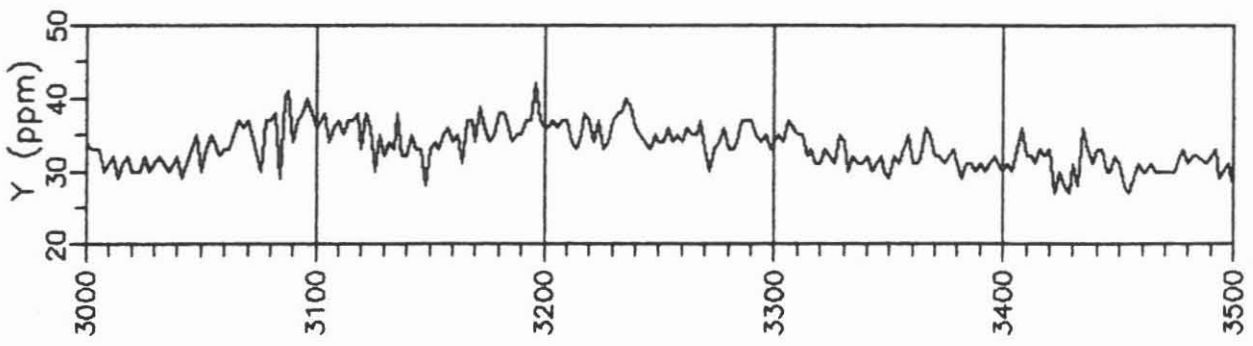
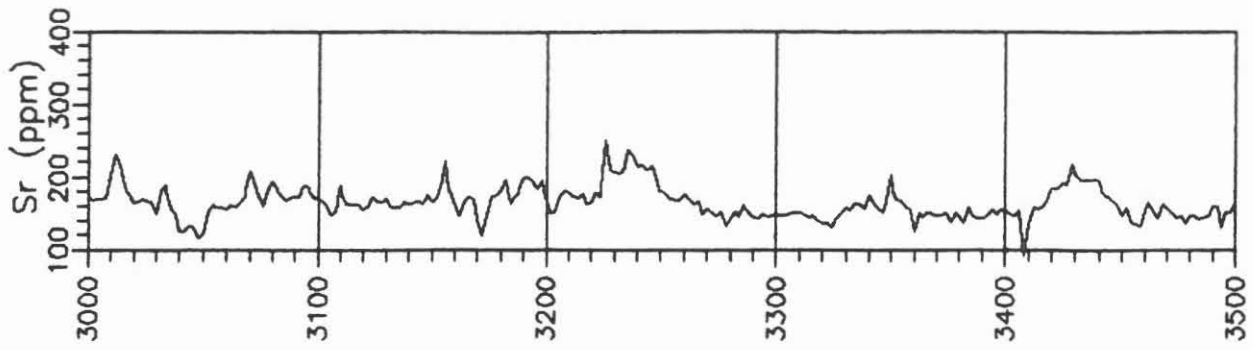
- C.8.1 Tiefenlogs RFA Analysen
- C.8.2 Tiefenlogs RDA Analysen
- C.8.3 Tiefenlogs der Kationen-, Chlorid- und Sulfatgehalte der Bohrspülung
- C.8.3.1 Zusammenfassung der Spülungseinleitungen im Teufenbereich 3009.7 - 3503.3 m
- C.8.4 Tiefenlogs ausgewählter Gase und bohrtechnischer Parameter

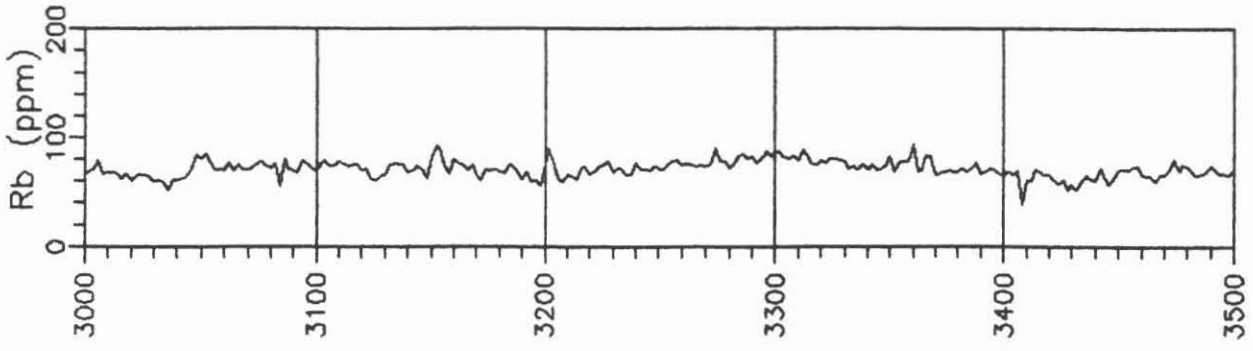
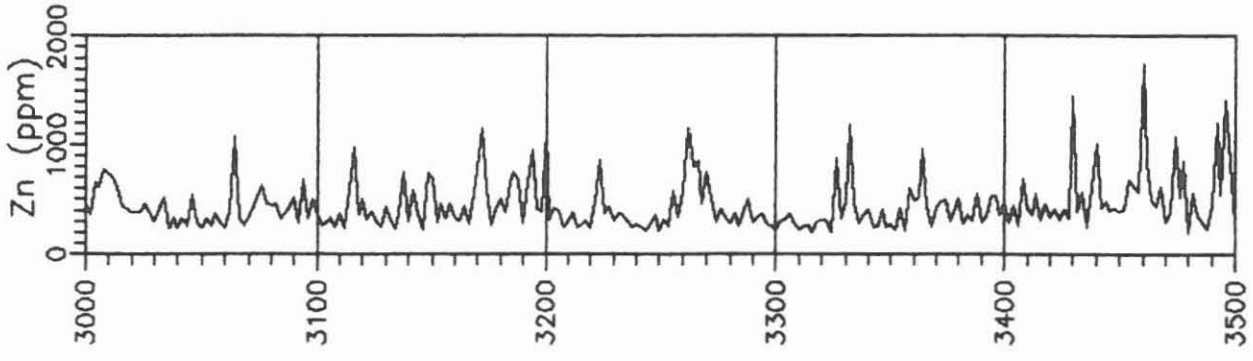
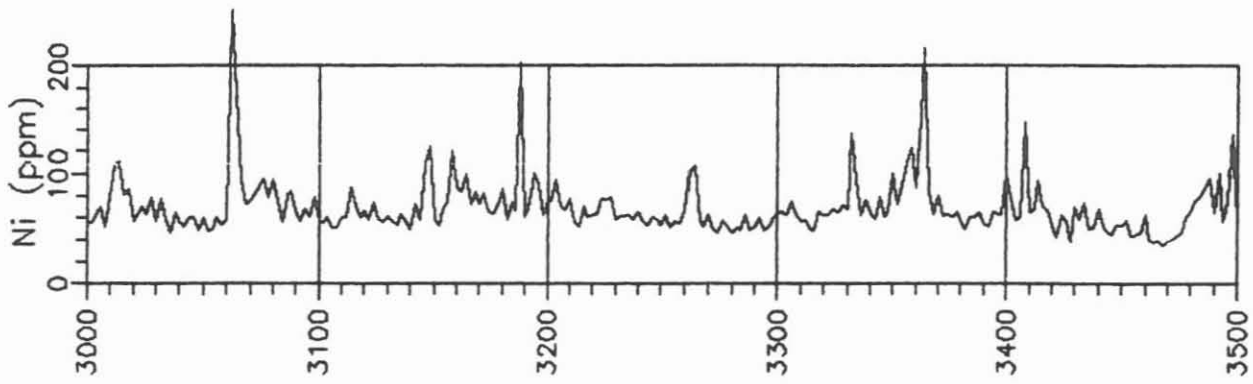
C.8.1

Tiefenlogs RFA Analysen (1:2000)



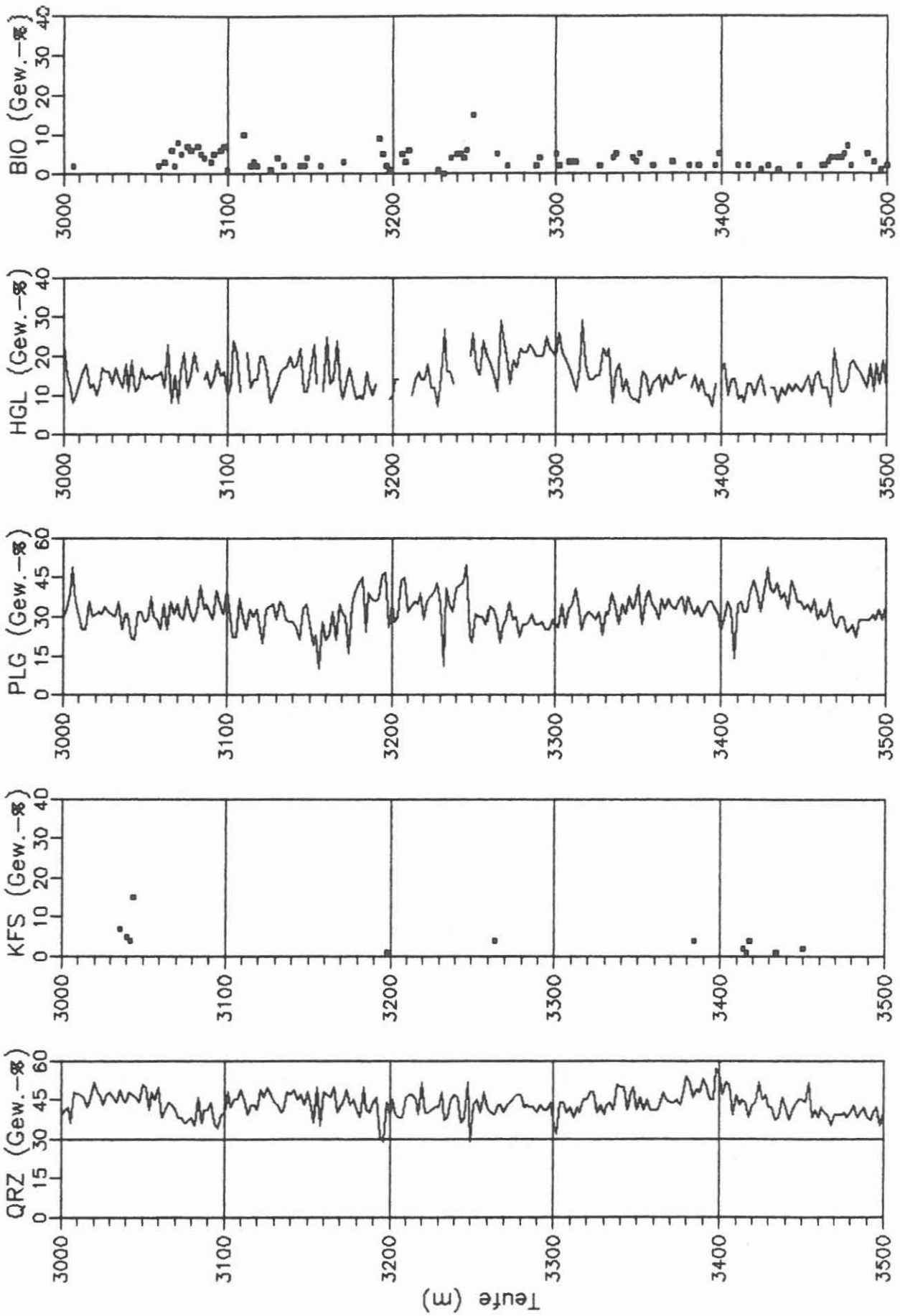
Teufe (m)

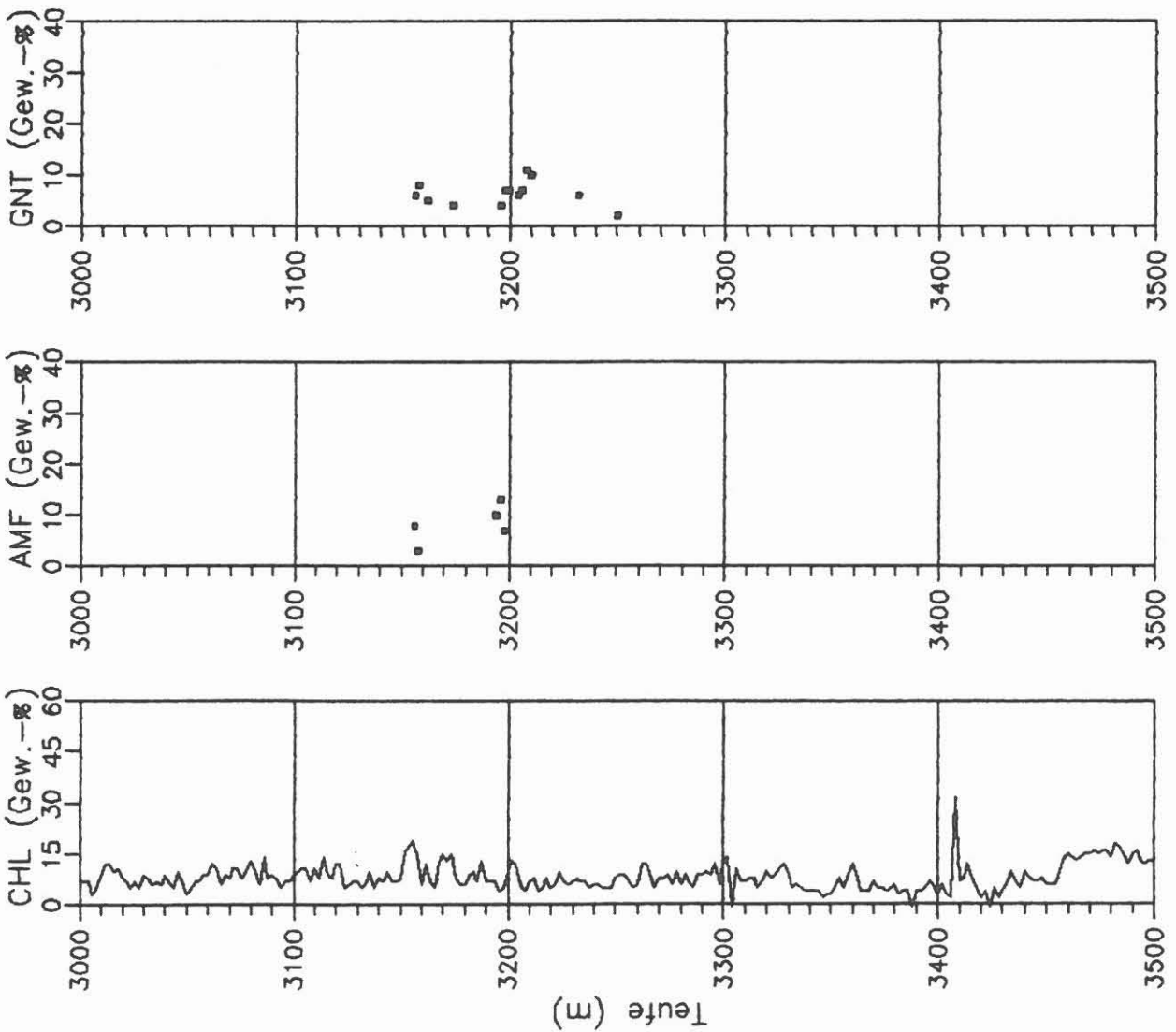




C.8.2

Tiefenlogs RDA Analysen (1:2000)



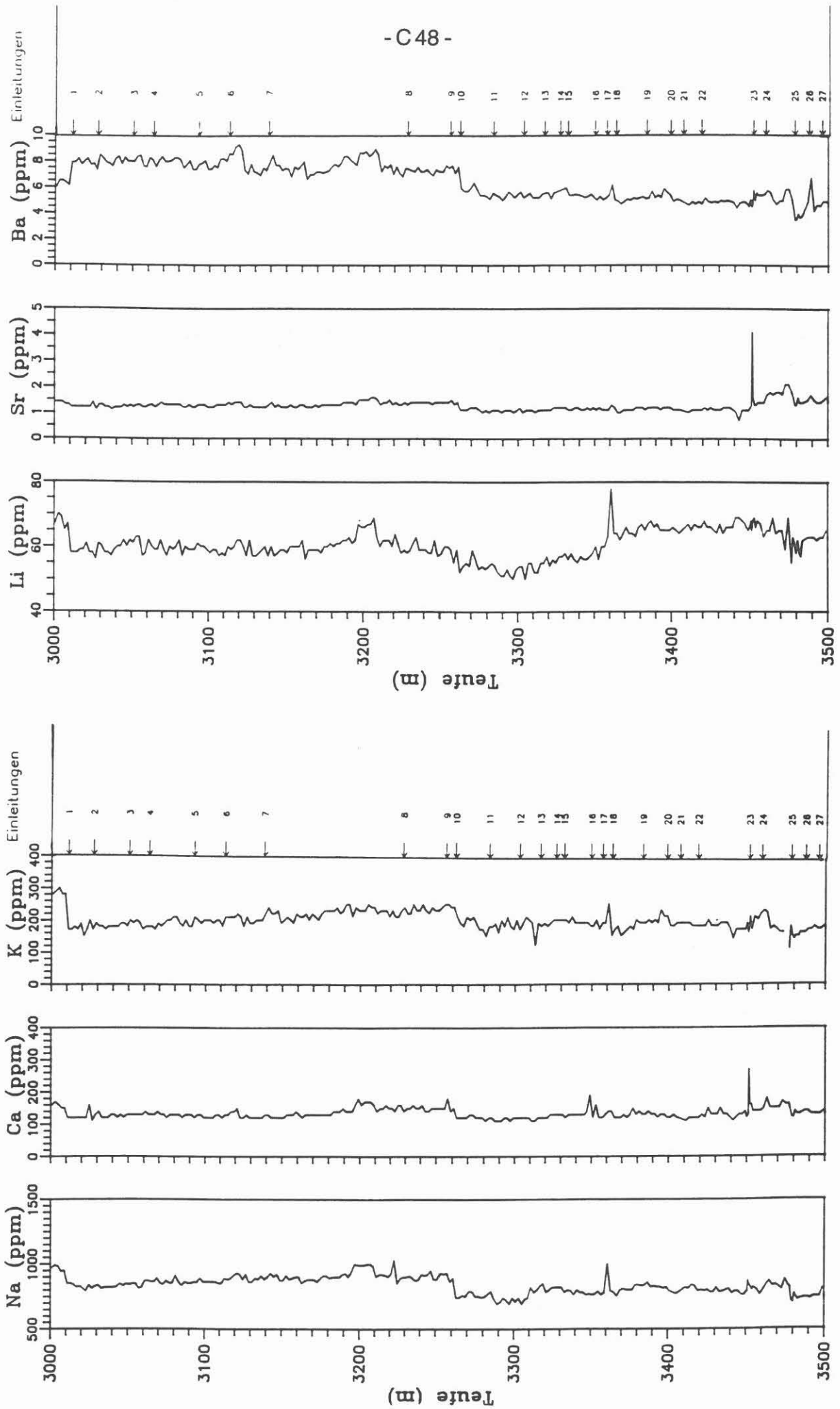


- C 47 -

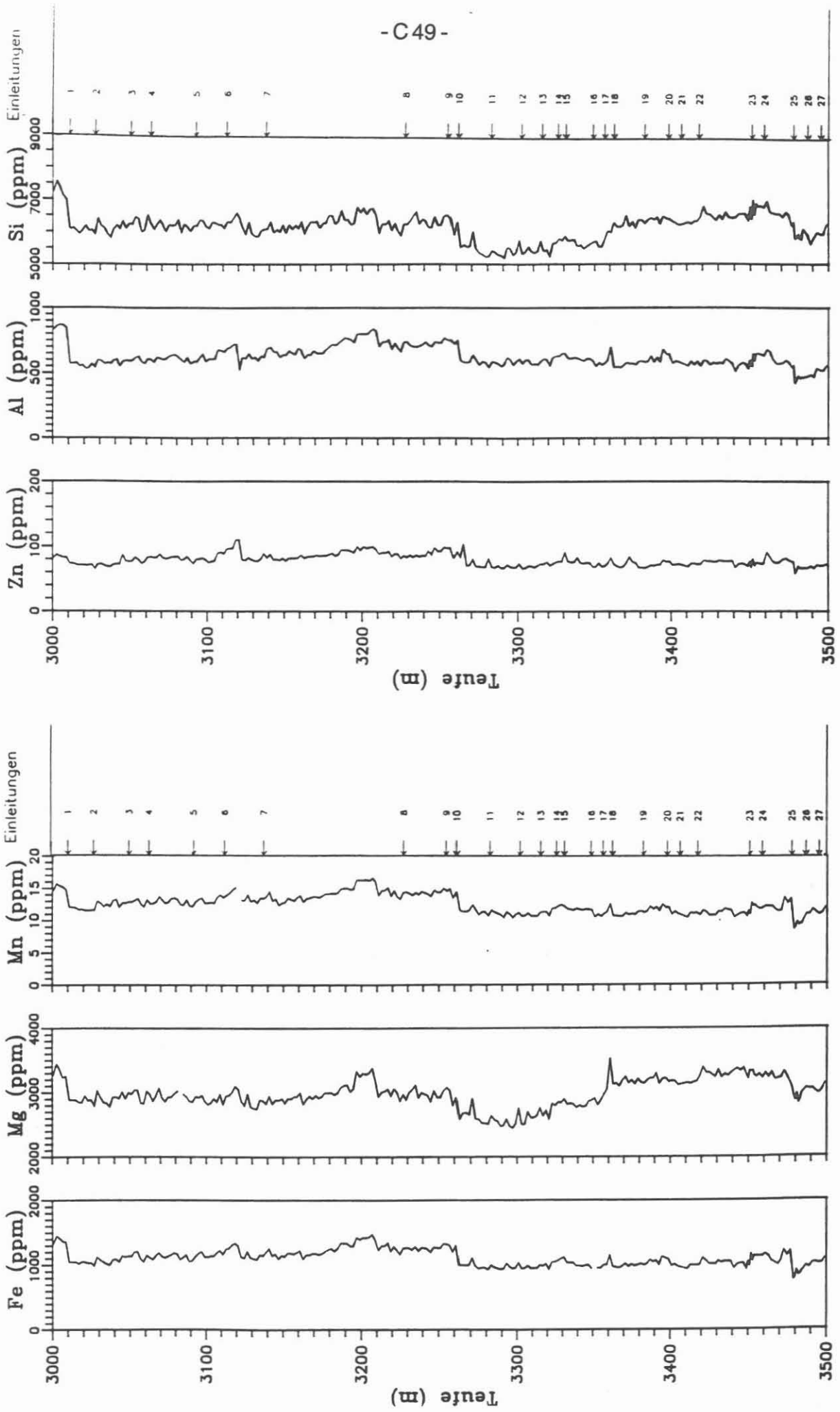
C.8.3

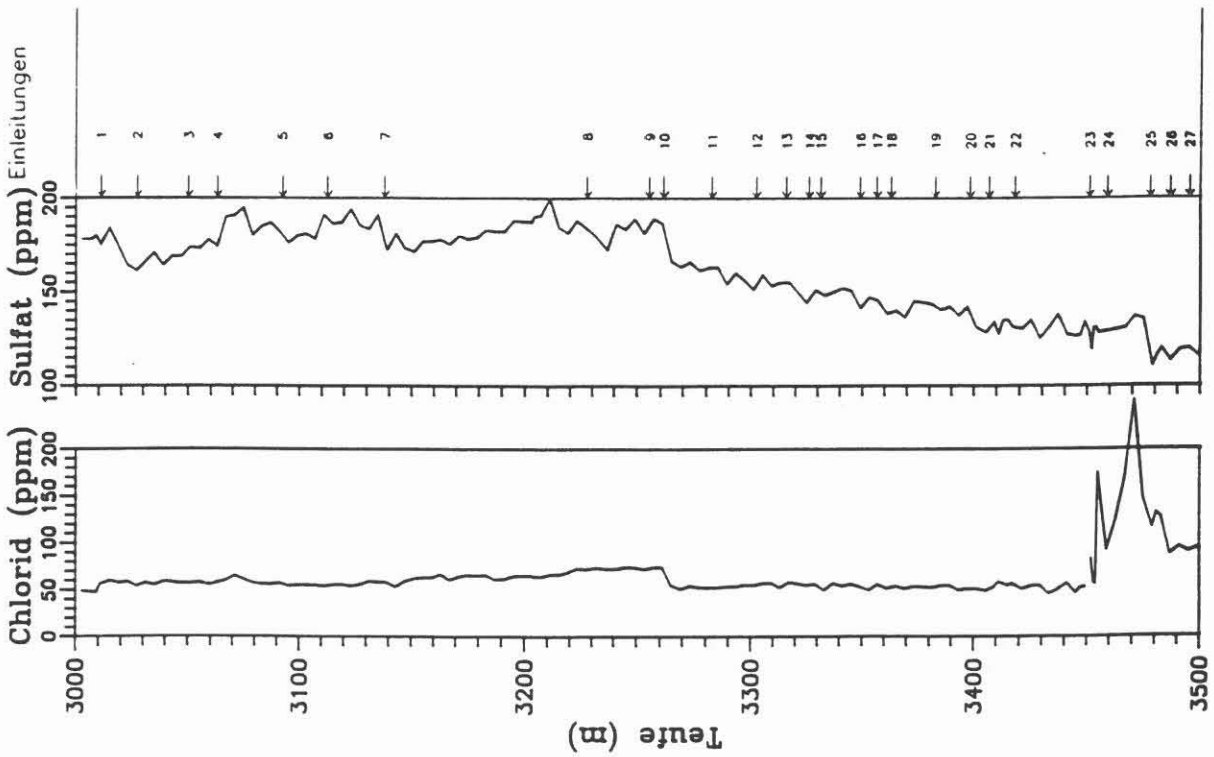
Tiefenlogs der Kationen- und Anionenanalysen (1:2000)

- C48 -



- C49 -





C.8.3.1 Zusammenfassung der Spülungseinleitungen im Teufenbereich 3009.7 - 3503.3 m.

Nr.:	Datum	Teufe (m)	Technische Einleitungen	TCV (m ³)	pH-Wert
1	13.09.88	3010.7	8m ³ 1.25% D-HT 5kg NaOH	88	10.3
	15.09.88	3010.7	20m ³ 2.5% D-HT	88	
2	17.09.88	3027	8m ³ 2.0% D-HT	102	10.4
3	18.09.88	3050	5kg NaOH	98	10.4
4	19.09.88	3063	5kg NaOH	96	10.3
5	22.09.88	3092.3	10m ³ 2.0% D-HT 5kg NaOH	101	10.3
6	23.09.88	3112.8	10kg NaOH	99	10.3
7	26.09.88	3138	10m ³ x(?) D-HT 5kg NaOH	104	10.4
8	01.10.88	3228.1	10m ³ 2.25% D-HT 6m ³ Wasser 10kg NaOH	105	10.3
9	02.10.88	3255.4	5m ³ Wasser 10kg NaOH	101	10.4
10	03.10.88	3261.8	10kg NaOH	100	10.5
	04.10.88	3261.8	16m ³ 1.8% D-HT	100	10.5
11	05.10.88	3282.8	10m ³ 0.8% D-HT	92	10.4
12	06.10.88	3302.4	10m ³ 0.8% D-HT 5m ³ 2.5% D-HT	97	10.3
13	07.10.88	3316	5m ³ 2.5% D-HT	96	10.4
14	08.10.88	3326.4	3m ³ 1.8% D-HT	94	10.6
15	09.10.88	3331.4	5m ³ 2.5% D-HT	98	10.5
16	12.10.88	3349	5m ³ 2.5% D-HT	98	10.5
17	13.10.88	3356.8	20m ³ 2.5% D-HT	99	10.2
18	14.10.88	3362.9	10m ³ 2.5% D-HT 30kg NaOH	98	10.2

C.8.3.1 Fortsetzung

Nr.:	Datum	Teufe (m)	Technische Einleitungen	TCV (m ³)	pH-Wert
19	16.10.88	3382.8	2m ³ 2.5% D-HT 10kg NaOH	96	10.3
20	17.10.88	3398.6	2m ³ 2.5% D-HT	96	10.4
21	19.10.88	3406.7	7m ³ 2.5% D-HT	99	10.3
22	23.10.88	3418.2	5m ³ 2.5% D-HT	99	10.4
23	26.10.88	3451	12m ³ 2.5% D-HT	98	10.3
24	27.10.88	3459.1	4m ³ Wasser 10kg NaOH	99	10.3
25	28.10.88	3477.7	2m ³ Wasser (?) NaOH	96	10.3
	30.10.88	3478.3	12m ³ Wasser	100	10.6
	31.10.88	3478.3	3m ³ Tankspülung 4m ³ Wasser	95	10.5
26	01.11.88	3486.9	15m ³ 2.5% D-HT	99	10.4
	03.11.88	3486.9	3m ³ 1.0% D-HT	100	10.4
	07.11.88	3486.9	5m ³ 2.8% D-HT	95	10.2
27	08.11.88	3495.2	2m ³ 2.8% D-HT	99	10.1

C.8.4

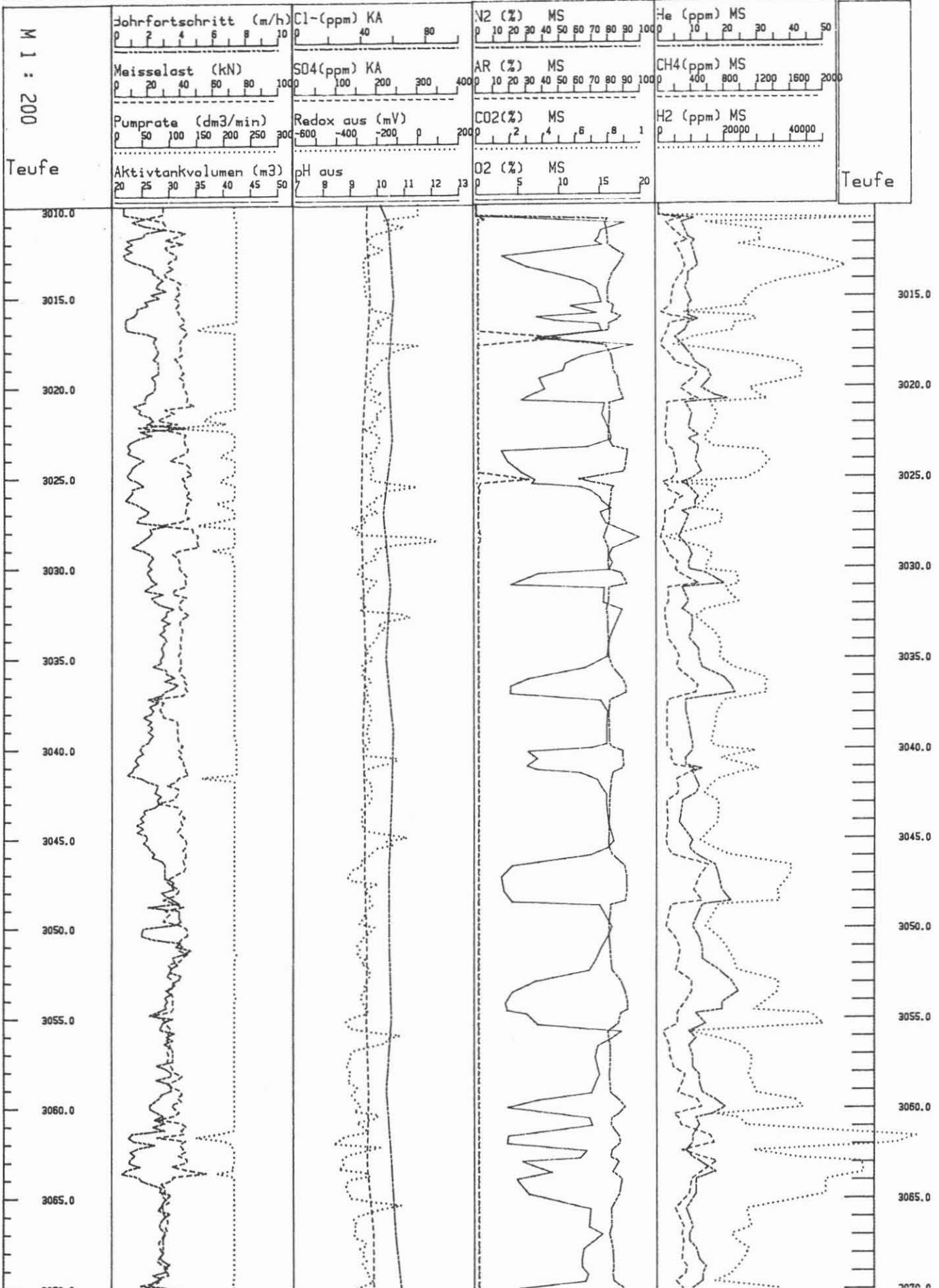
Tiefenlogs ausgewählter Gase und bohrtechnischer
Parameter

ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

29.09.88
3010 - 3070m

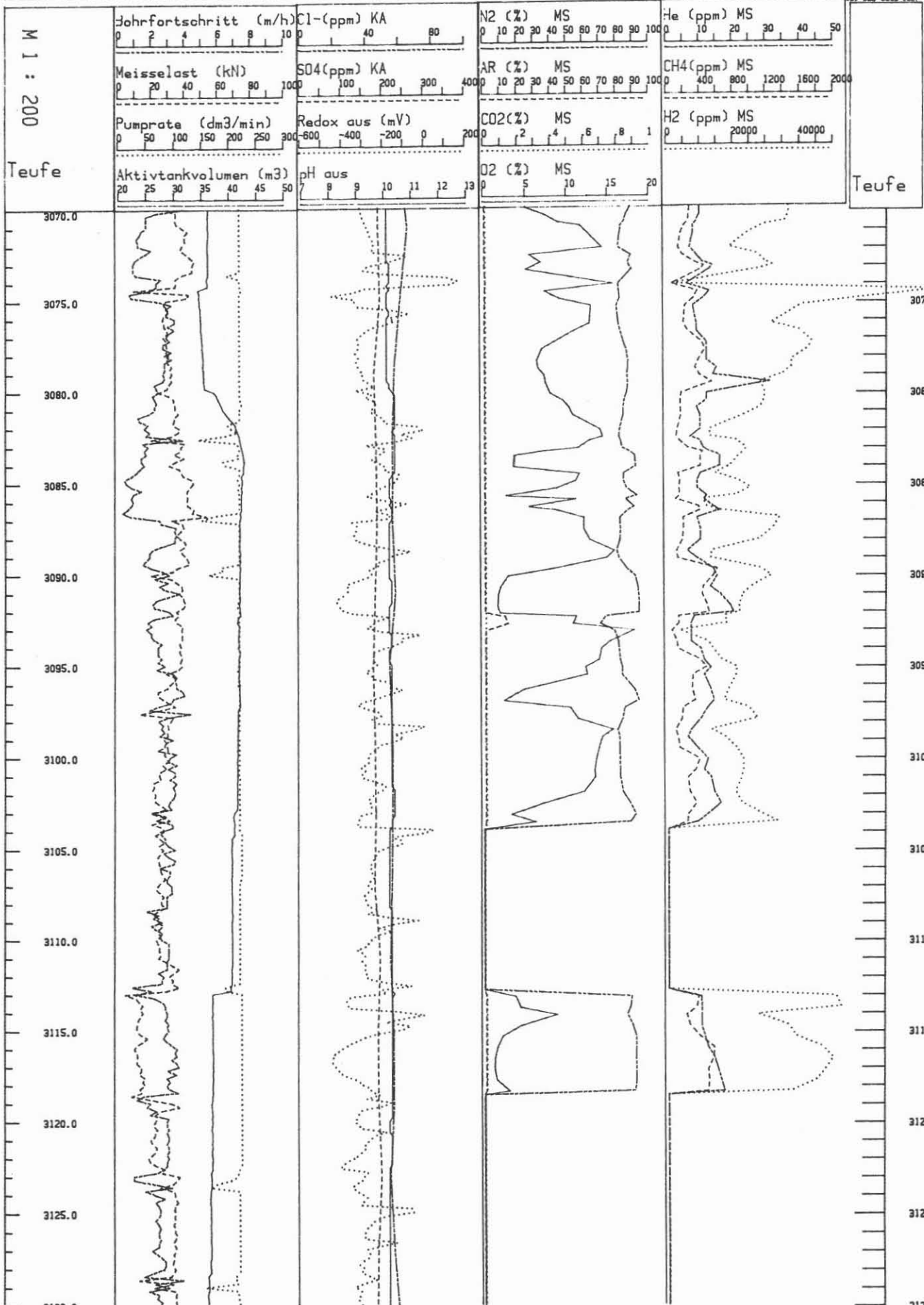


ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log 3070 - 3130m

28.09.88



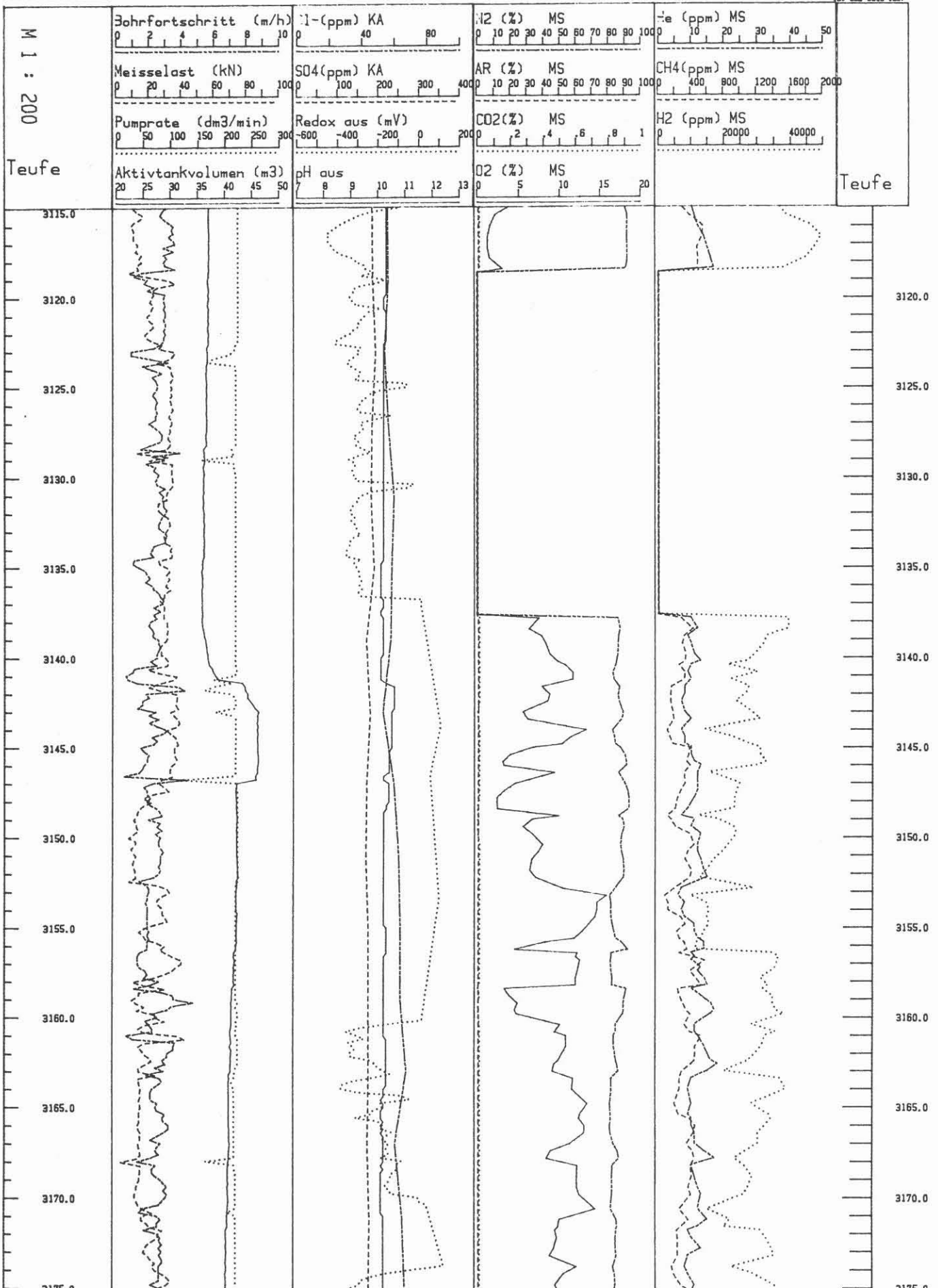
ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

29.09.88

3115 - 3175m

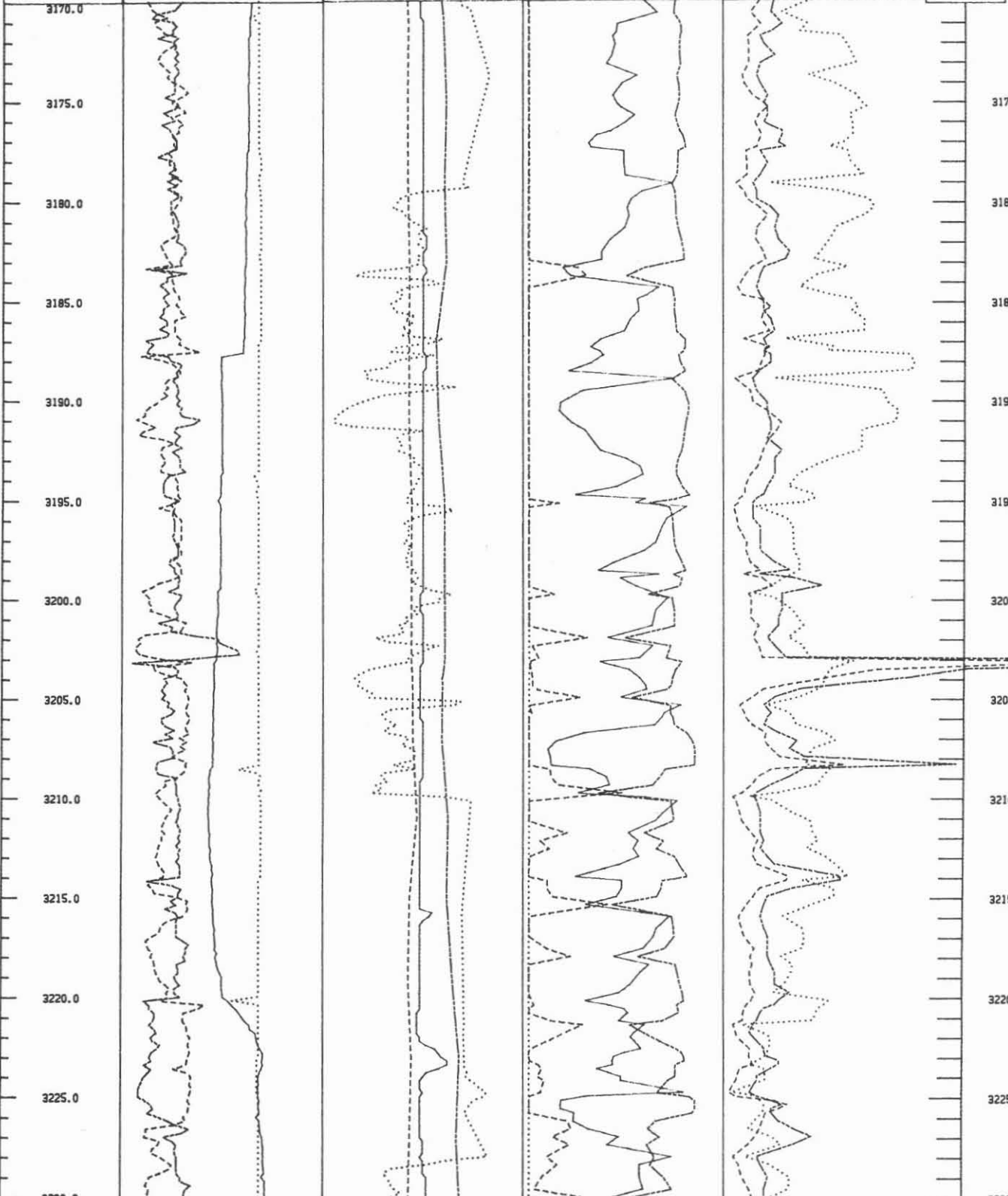
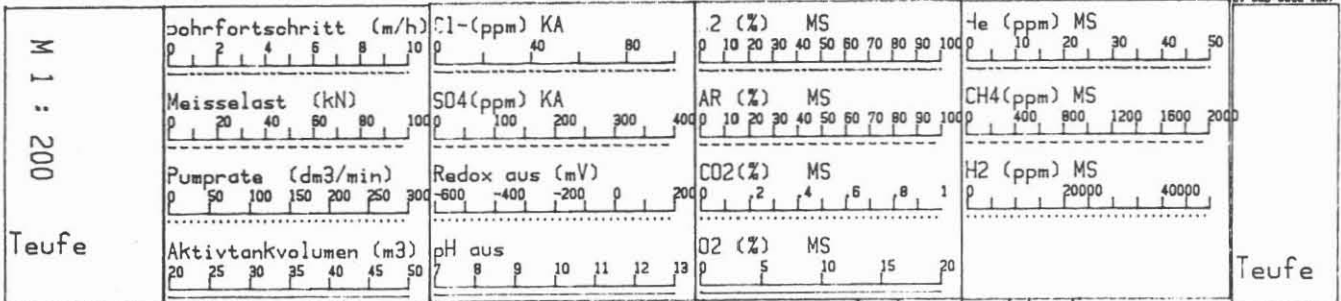


ARGE
GEO-data
NL Boreid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

03.10.88
3170 - 3230m



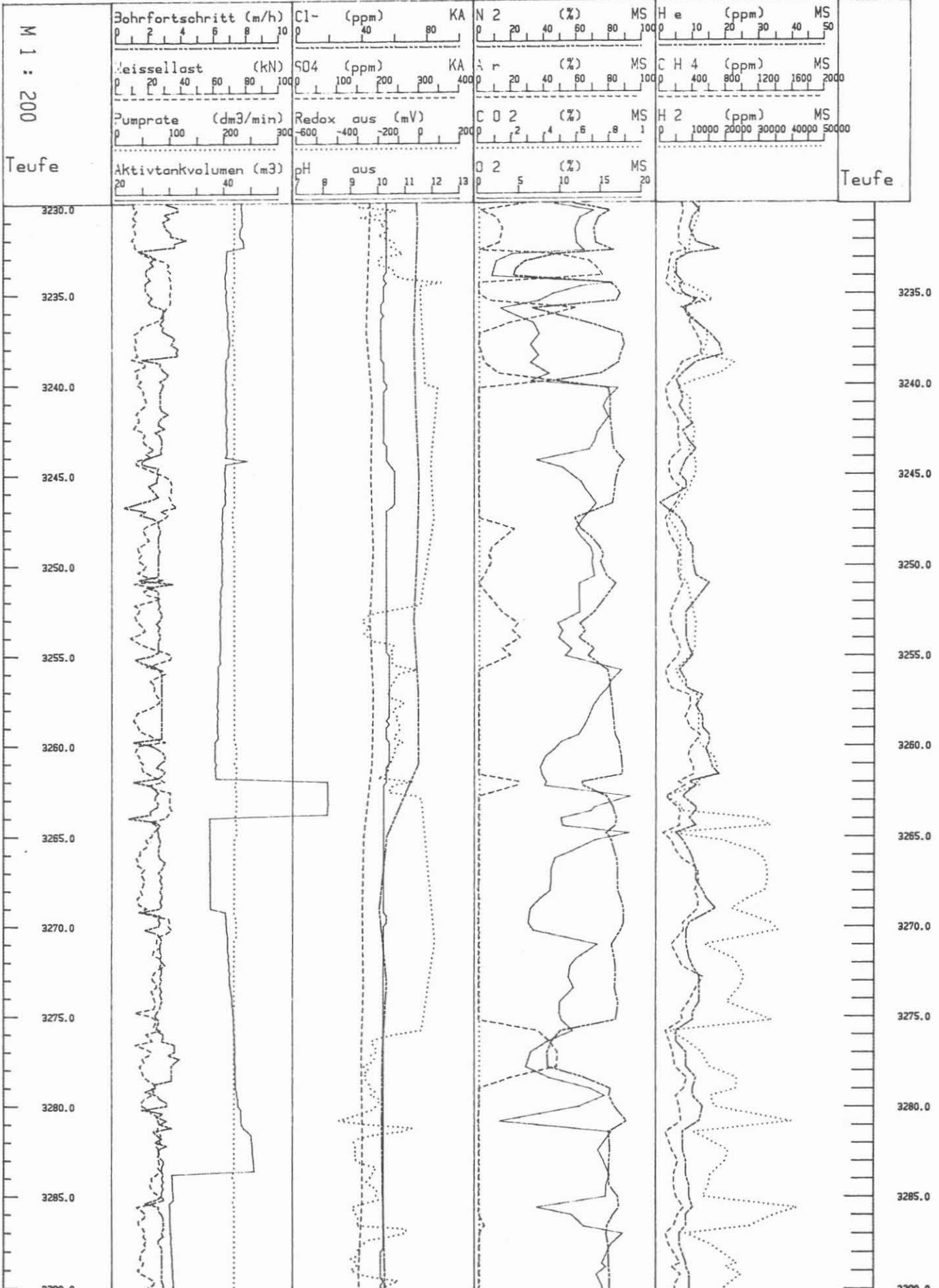
ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log 3230 - 3290m

26.10.88

CC 520-Date 1897

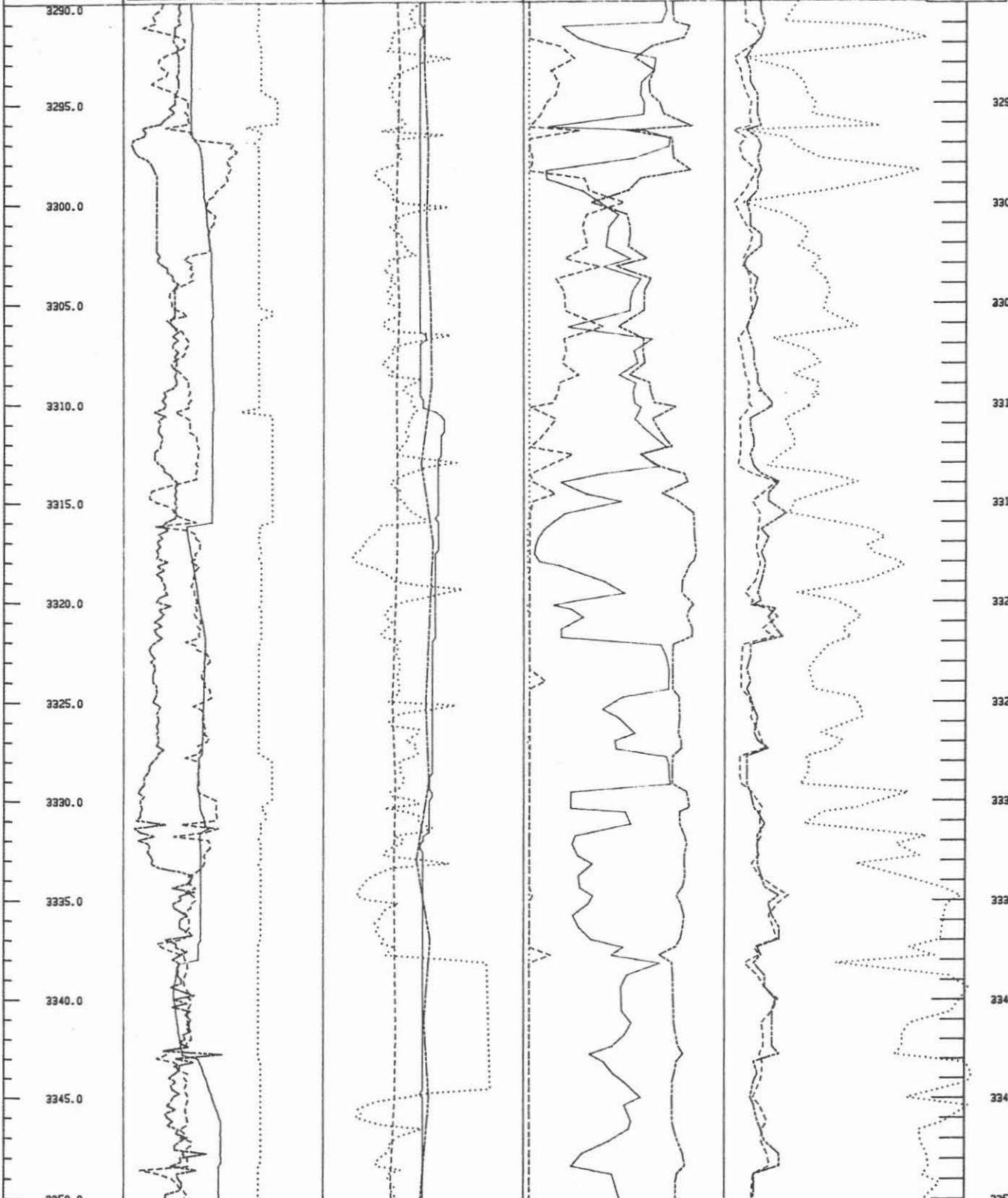
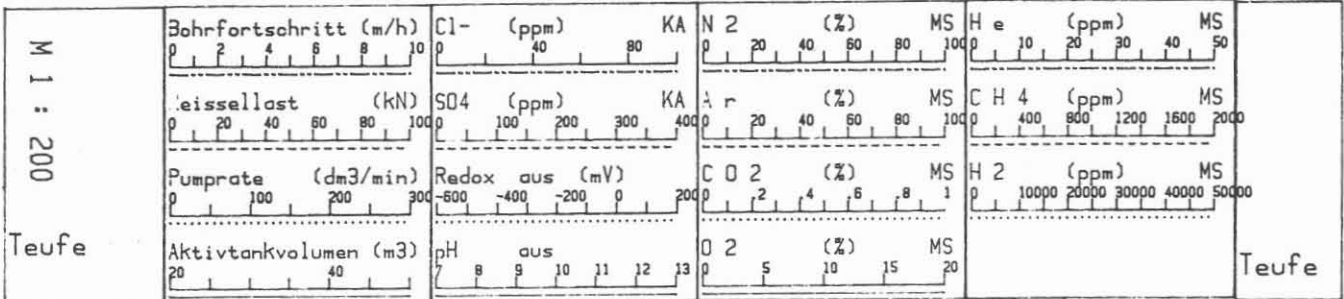


ARGE
CEO-data
NL Boreid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

26.10.88
3290 - 3350m



ARGE
GEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

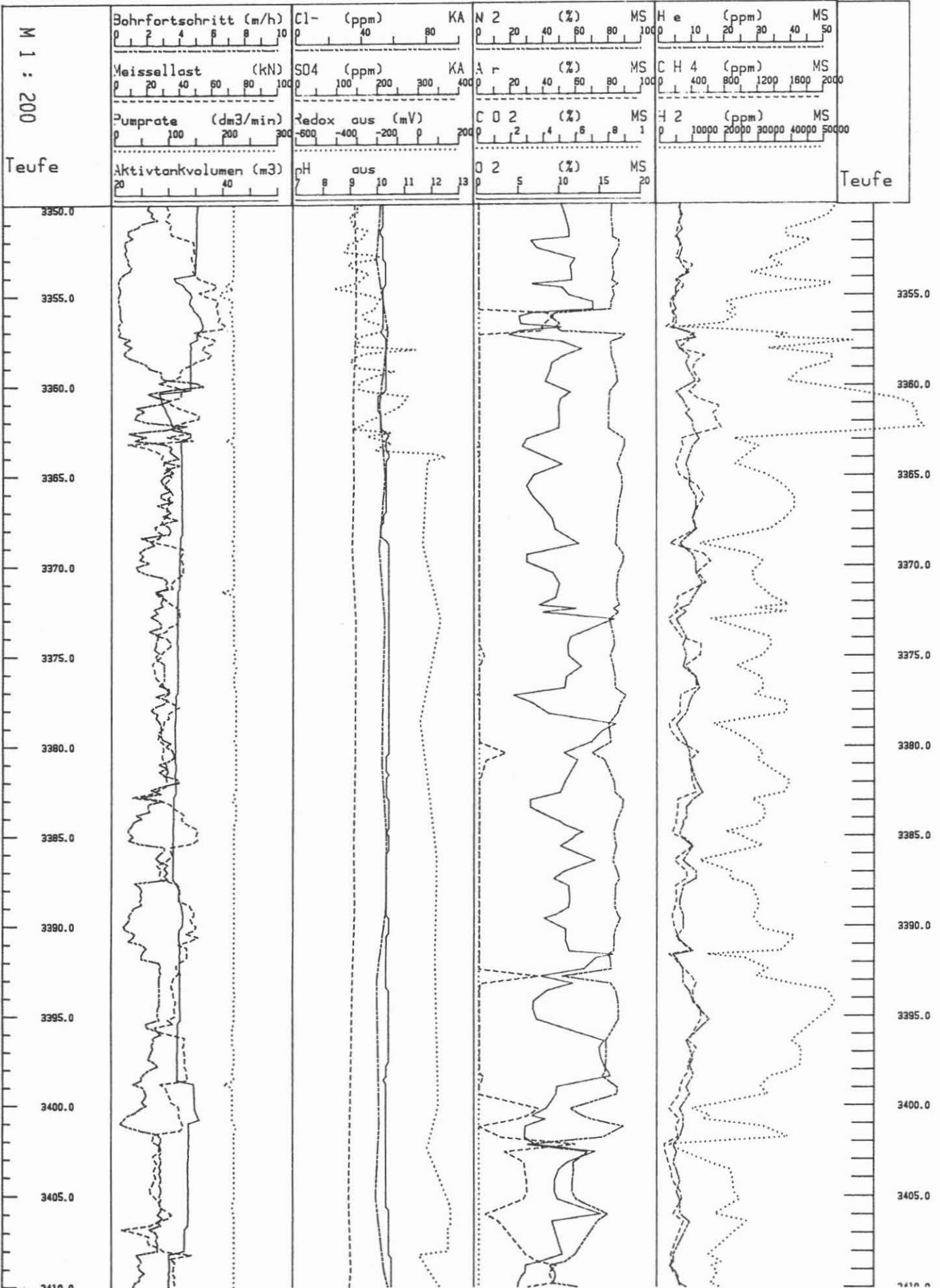
KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

26.10.88

3350 - 3410m

(C) GEO-Data 1987



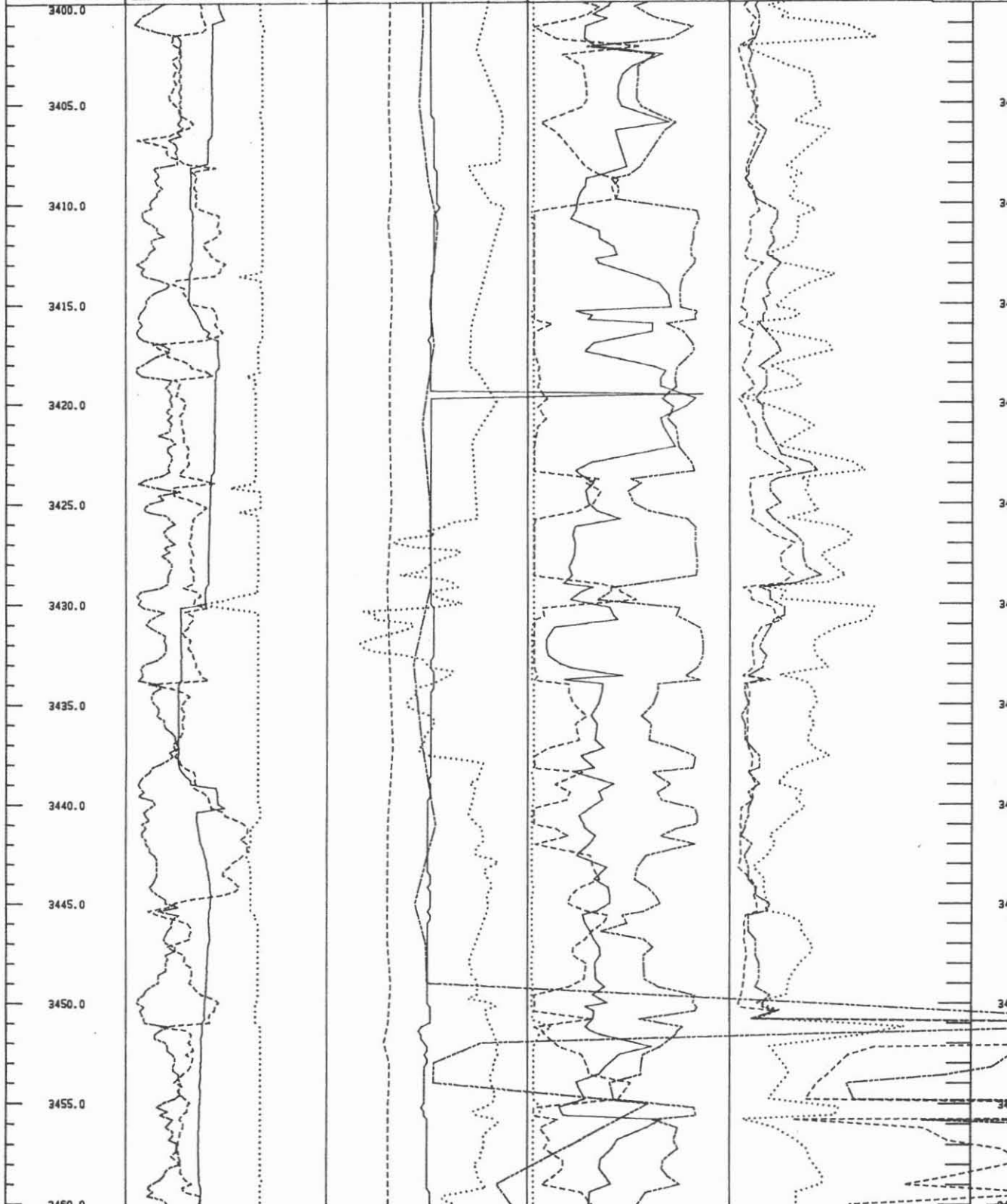
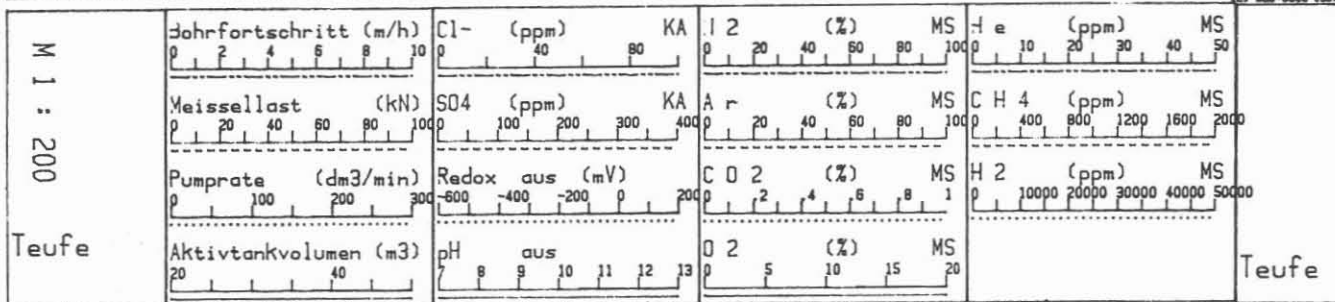
ARGE
GEO-data
NL Boreid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

3400 - 3460m

30.10.88



ARGE
CEO-data
NL Baroid
PREUSSAG

KTB Oberpfalz VB 1a

NLFB/KTB/
Geotechnisches Log

02.12.88
3460 - 3520m

