

D. Geophysik

KTB Oberpfalz VB -
Gesteinsphysikalische Untersuchungen

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

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

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

D. Geophysik

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

Inhaltsverzeichnis:

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

*) Anschrift der Autoren : KTB-Feldlabor
8486 Windischeschenbach

D.1 Einleitung

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

D.2 Dichte

D.2.1 Allgemeines

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

D.2.2 Dichte der Bohrkerne

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

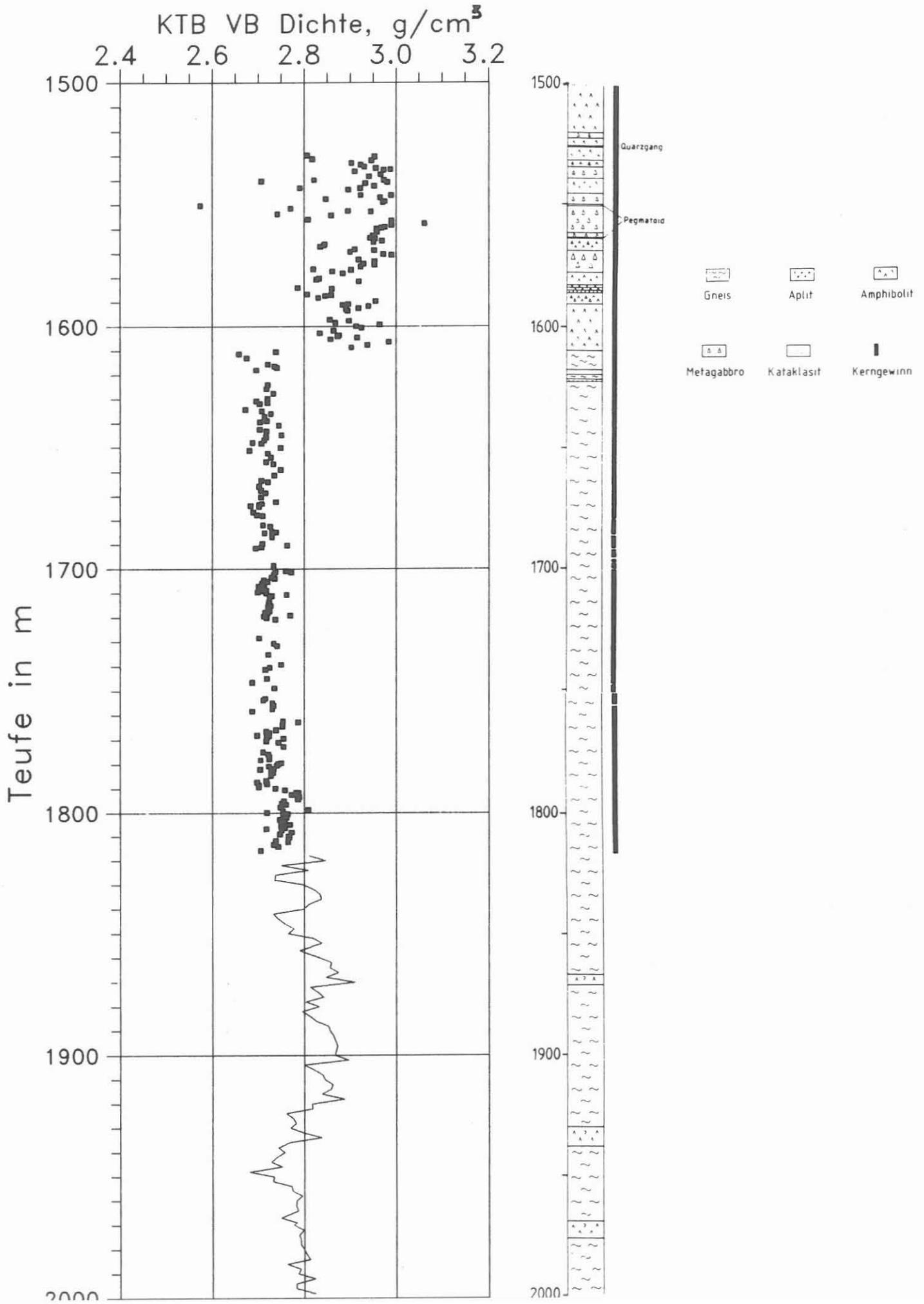
Unterhalb von 1610 m sind die Dichtewerte recht homogen mit einer mittleren Dichte vom 2.75 g/cm^3 und einem Streubereich von $2.66 - 2.86 \text{ g/cm}^3$. In diesem Abschnitt wurde eine monotone Biotit-Gneis-Serie angetroffen.

D.2.3 Dichte der Cuttings

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

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

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



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

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

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

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

D.2.4 Nachtrag: Dichte der Cuttings bis 480 m

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

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

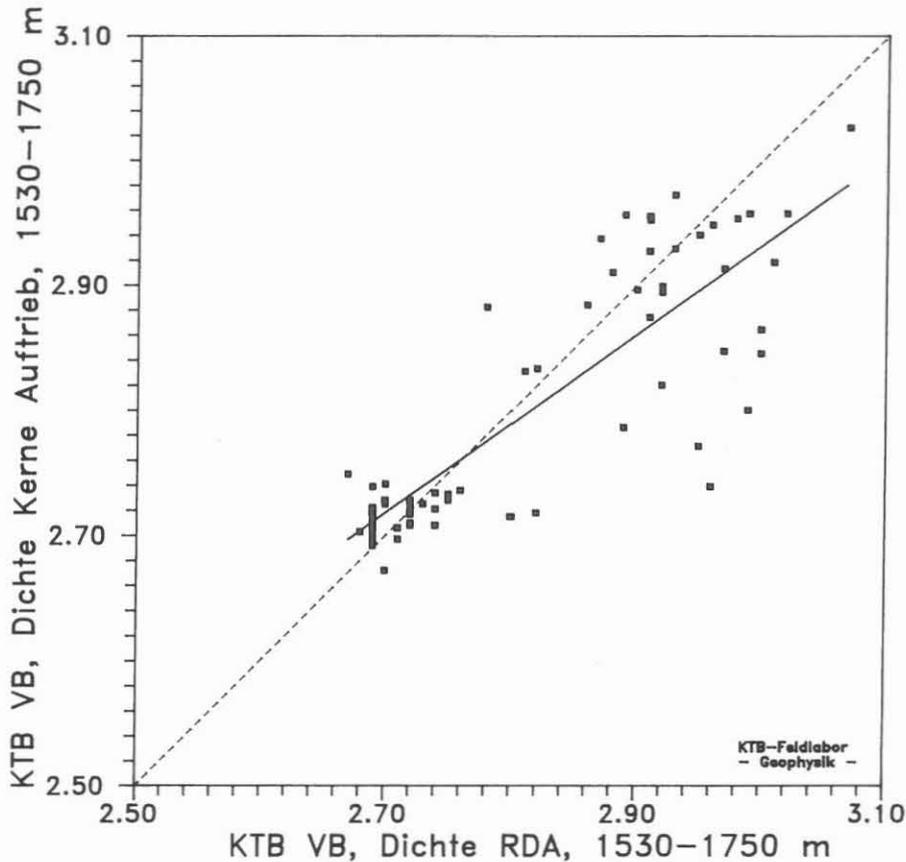
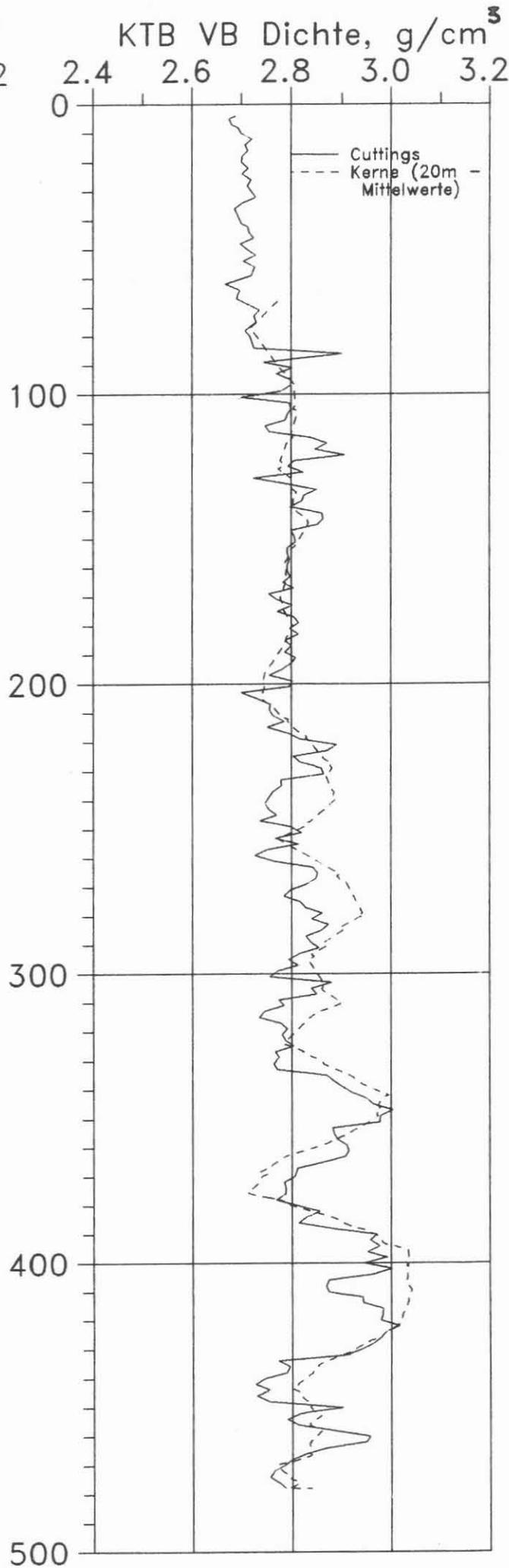
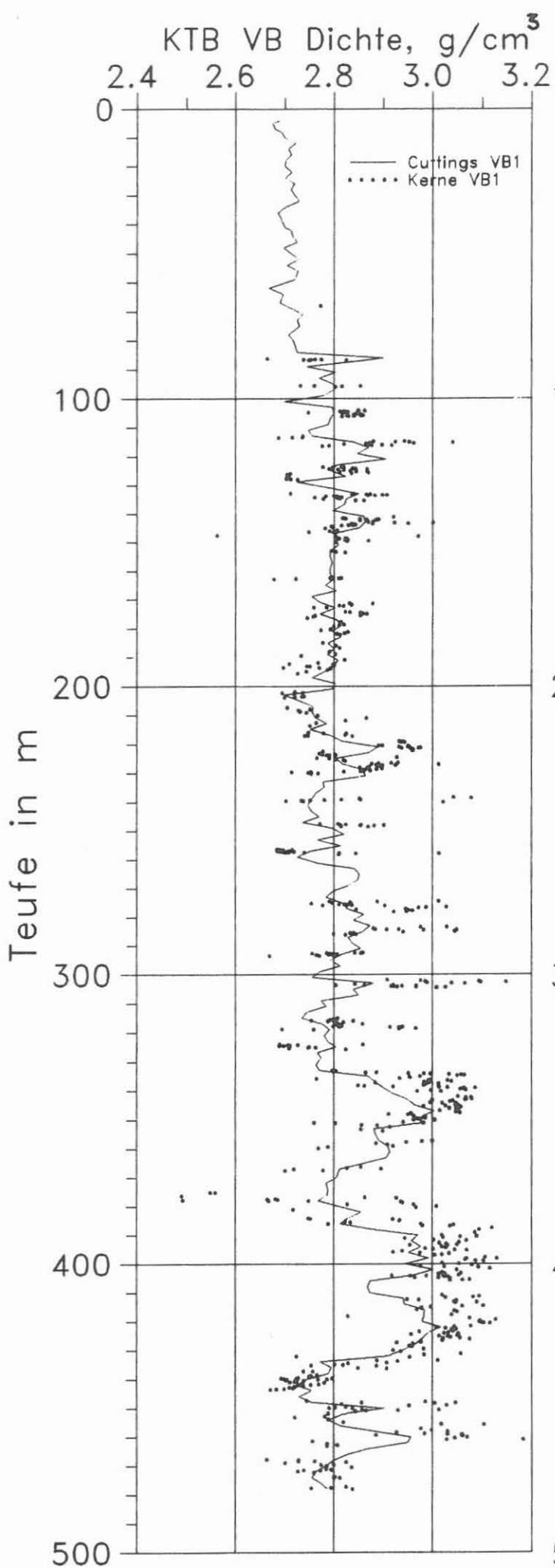


Abb.D.2.2: Cross-Plot von an Kernen mit der Auftriebsmethode gemessener Dichte gegen an Zentrifugen-Material mit der RDA-Analytik bestimmter Dichte. Durchgezogene Linie: Ausgleichsgerade, Korrelationskoeffizient: 0.84, gestrichelte Linie: 45°-Gerade.

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



D.3 Ultraschallseismik

D.3.1 Allgemeines

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

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

D.3.2 Ergebnisse

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

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

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

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

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

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

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

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

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

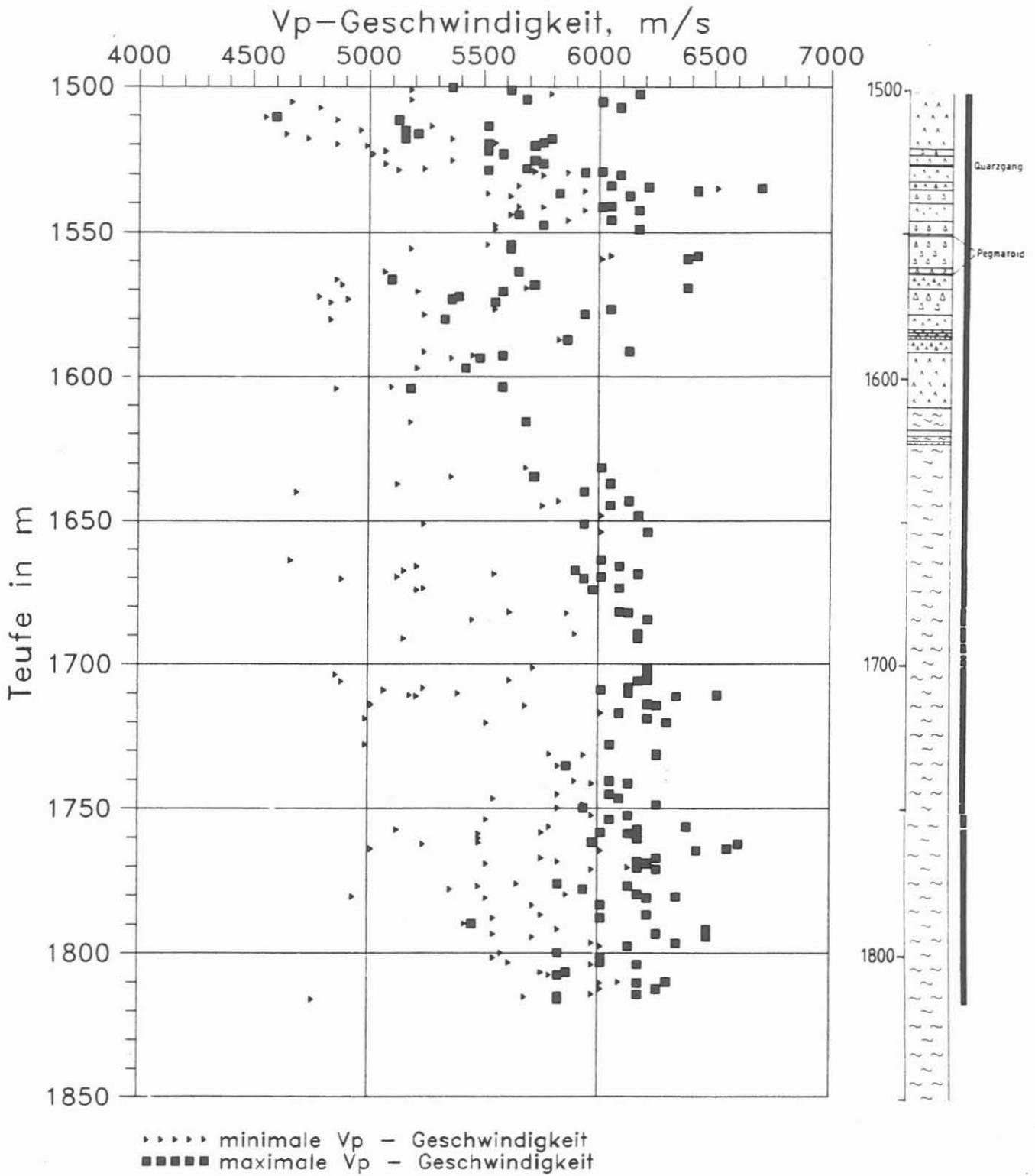


Abb. D.3.1: Teufenlog der Radialdurchschallungen von Bohrkernen

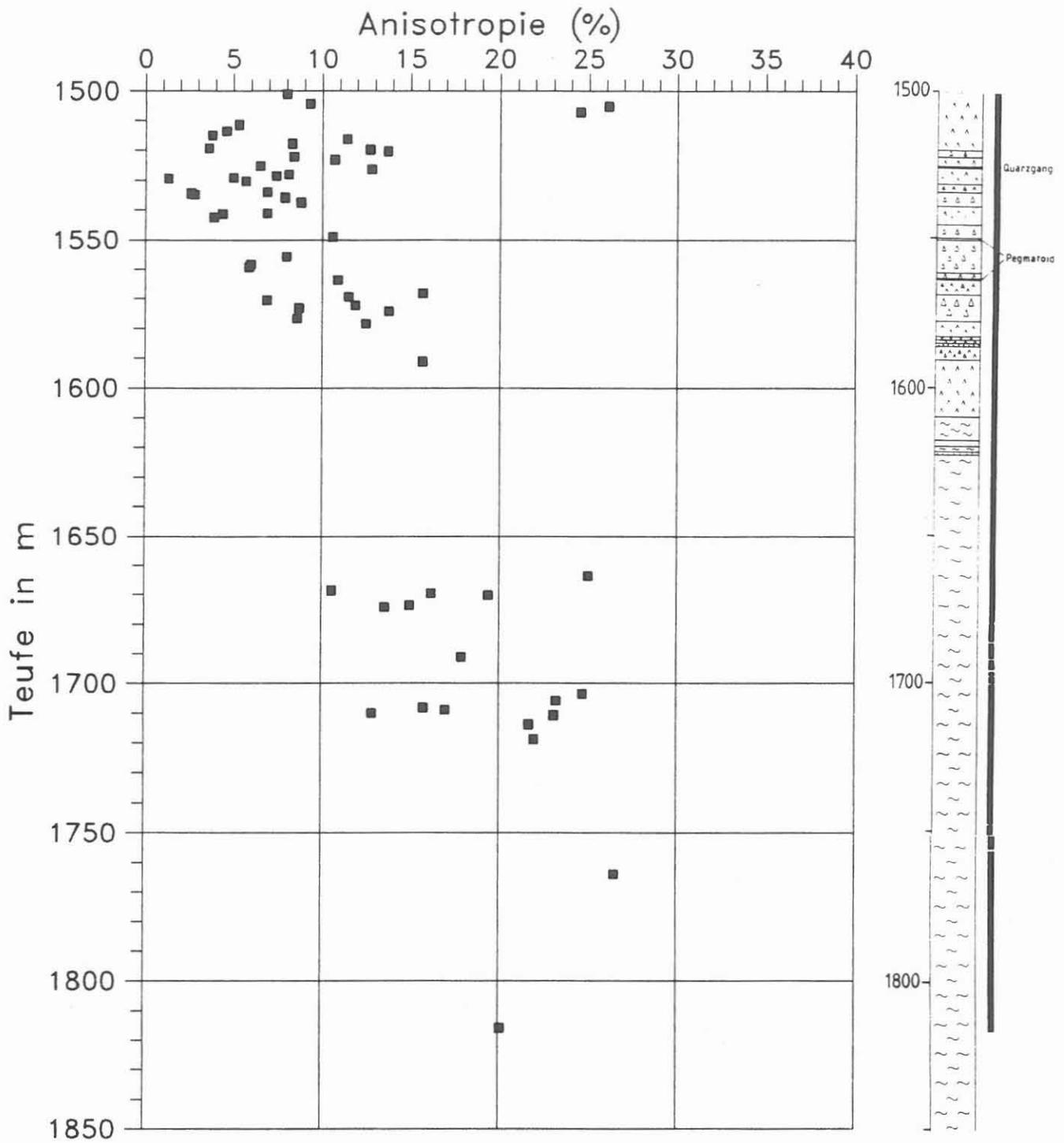


Abb. D.3.2: Anisotropie der p-Wellen-Geschwindigkeit

D.4 Wärmeleitfähigkeit

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

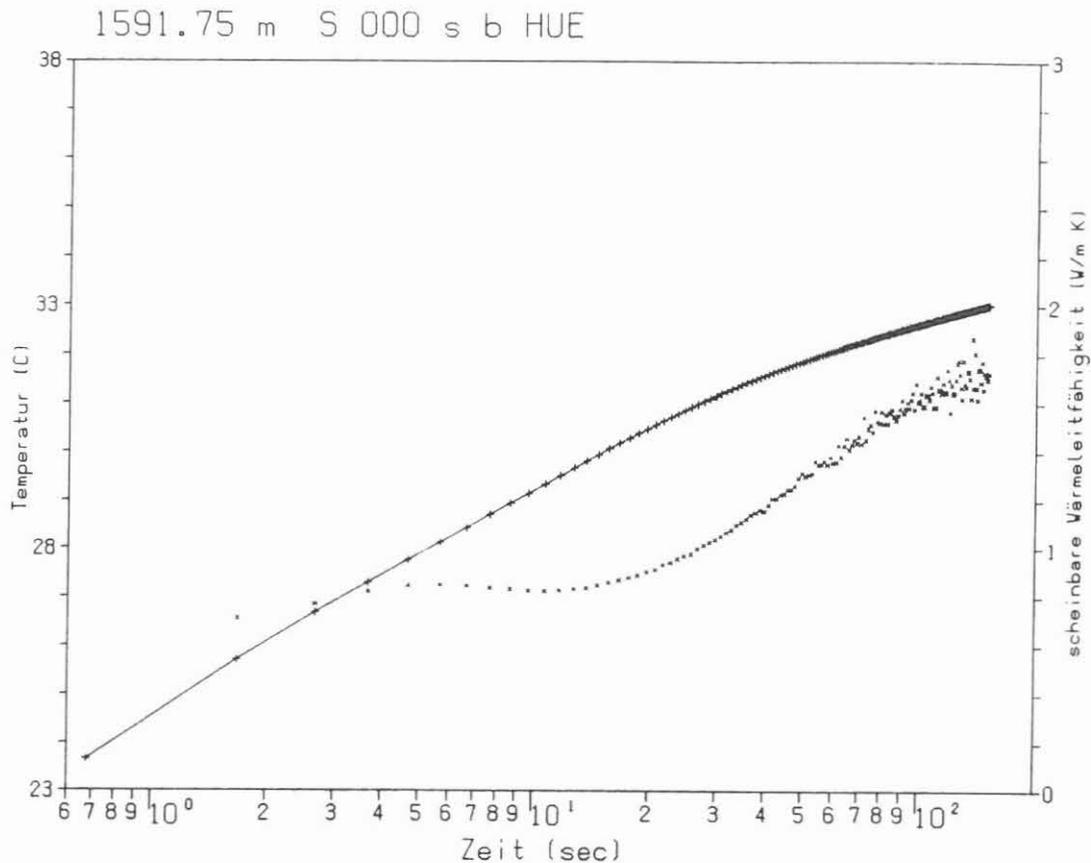


Abb. D.4.1: Aufheizkurve auf Bohrkern 1591.75 m . + = Temperaturen ; x = errechnete scheinbare WLF-Werte.

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

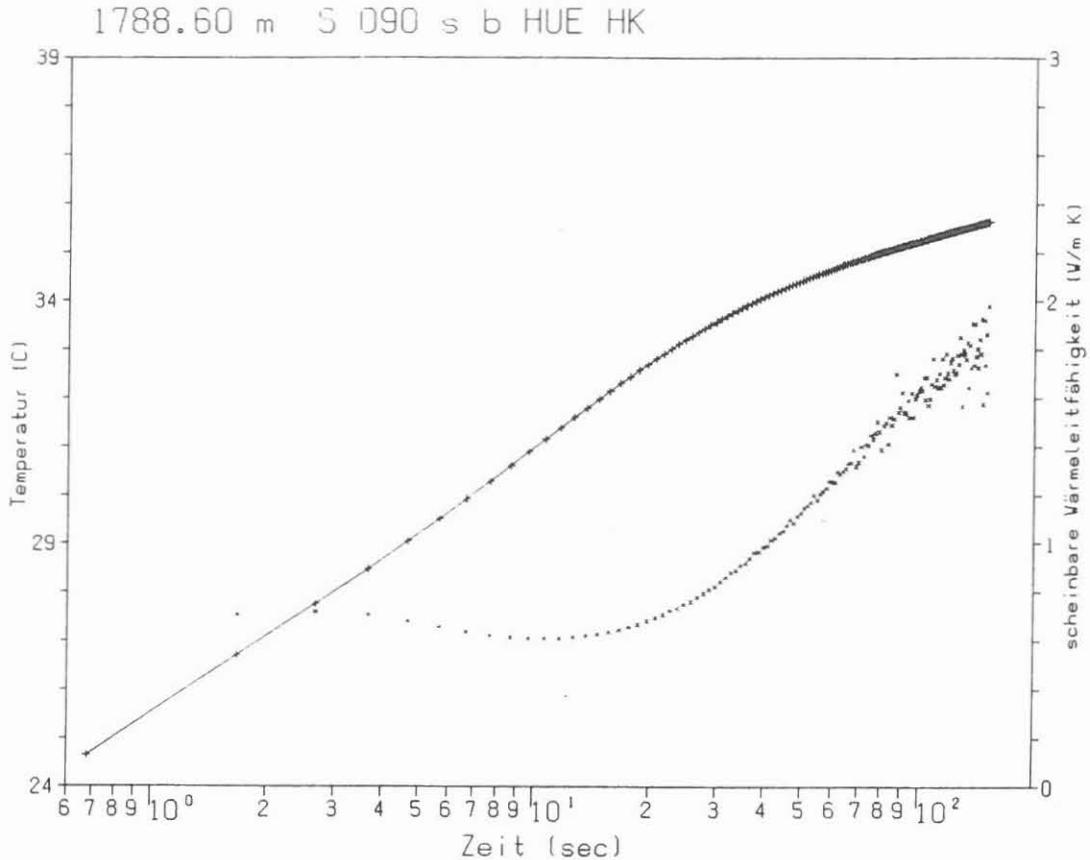
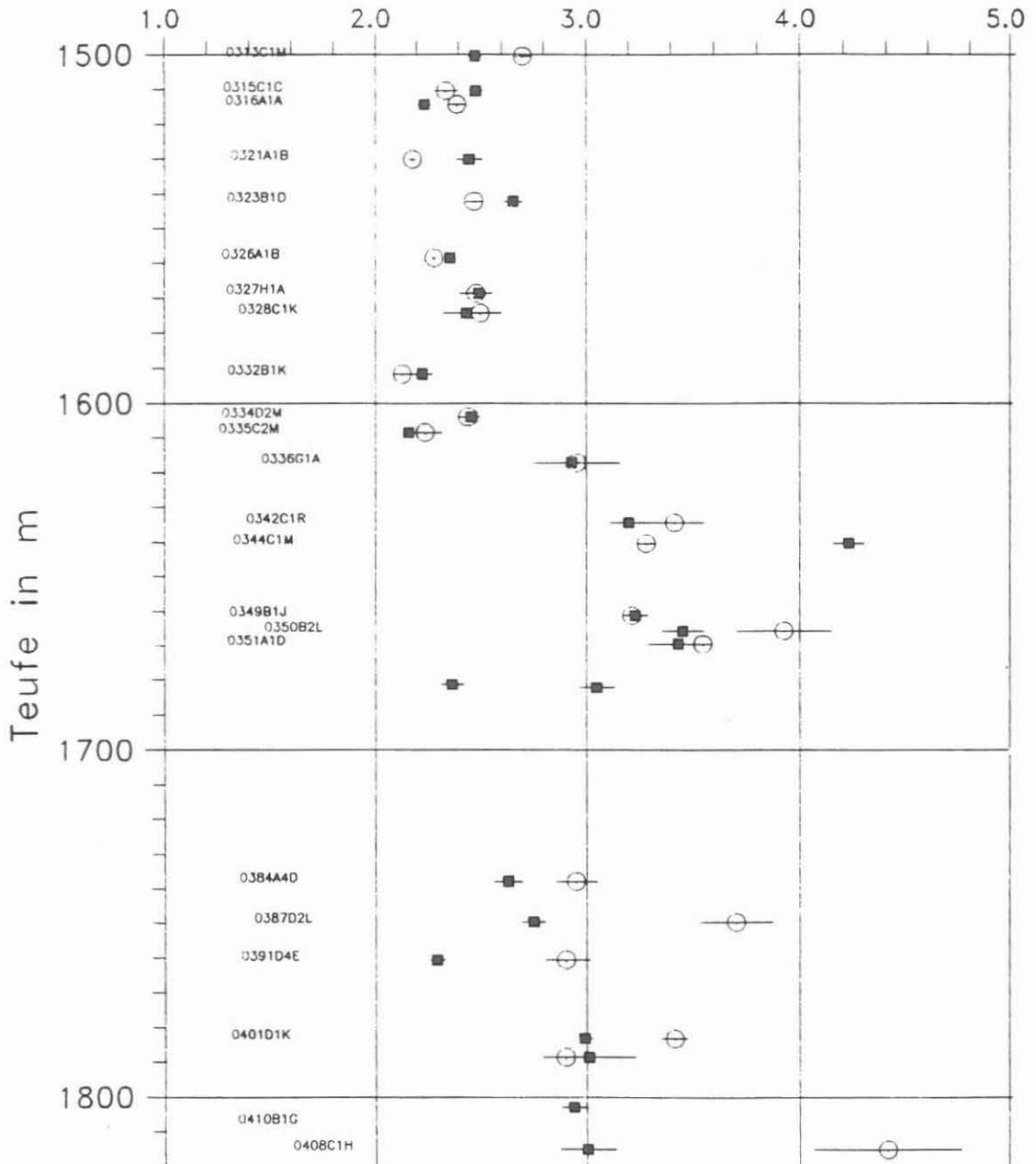


Abb. D.4.2: Aufheizkurve auf Bohrkern 1788.60 m . + = Temperaturen ; x = errechnete scheinbare WLF-Werte.

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

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

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



D.5 Natürliche remanente Magnetisierung (NRM)

D.5.1 Allgemeines

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

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

D.5.2 Beschreibung der Ergebnisse

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

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

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

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

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

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

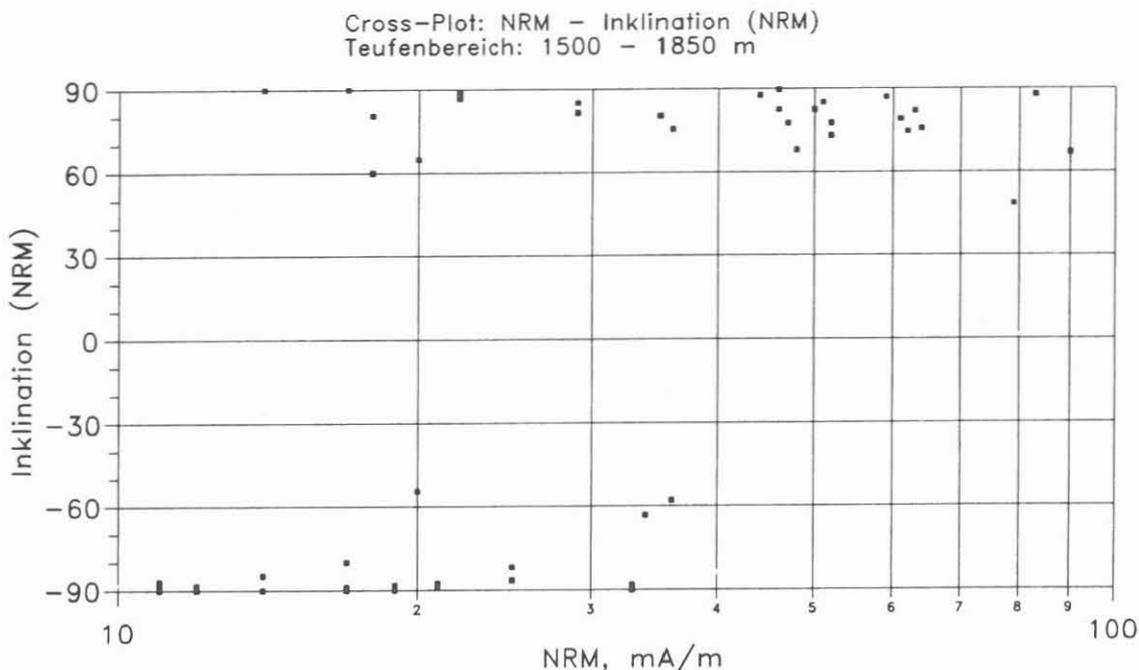


Abb. D.5.2 Cross-Plot von NRM zu Inklination (NRM).

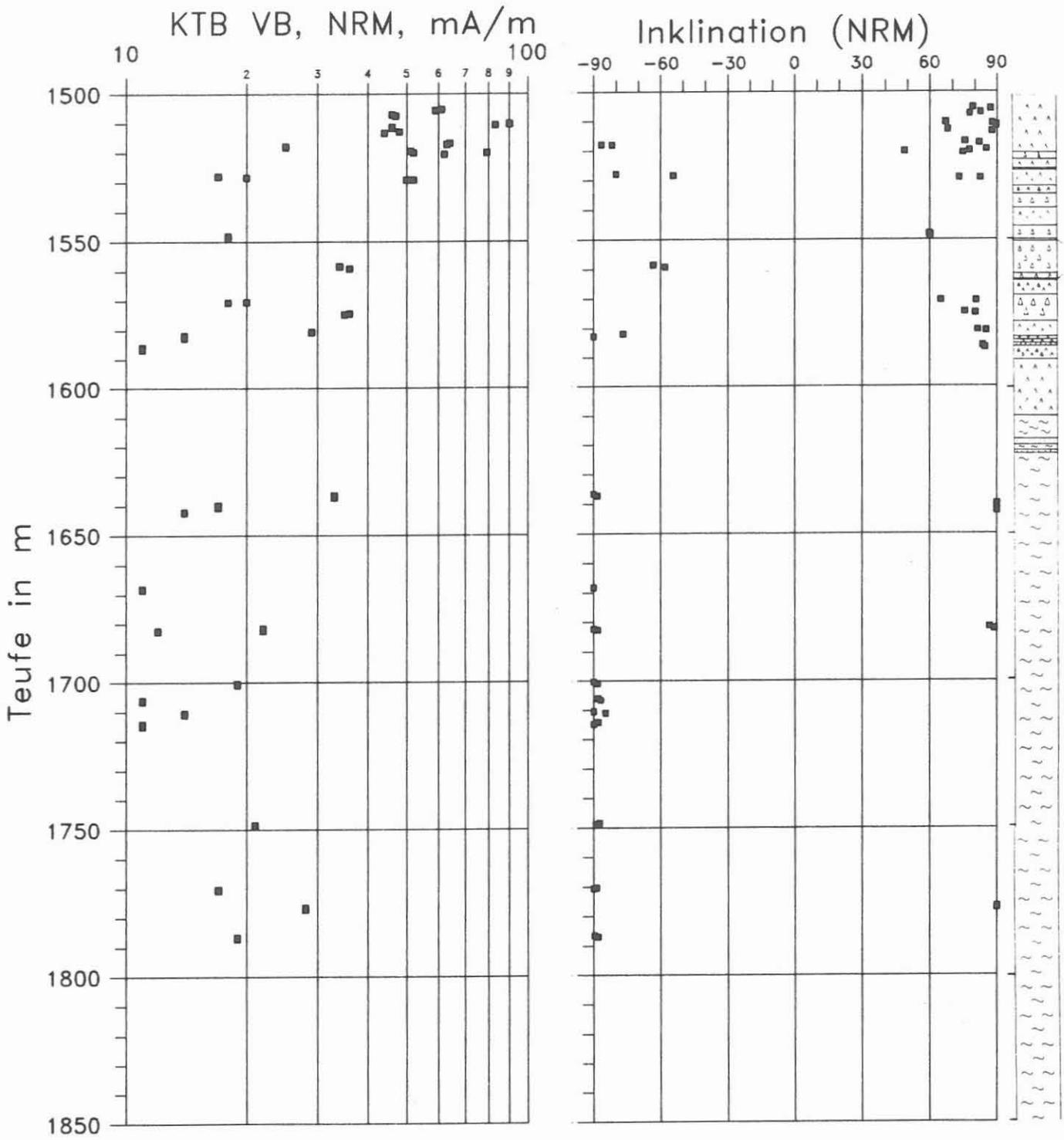


Abb. D.5.1 Teufenlog der natürlichen remanenten Magnetisierung (NRM, linke Seite). Rechte Seite: Inklination (NRM).

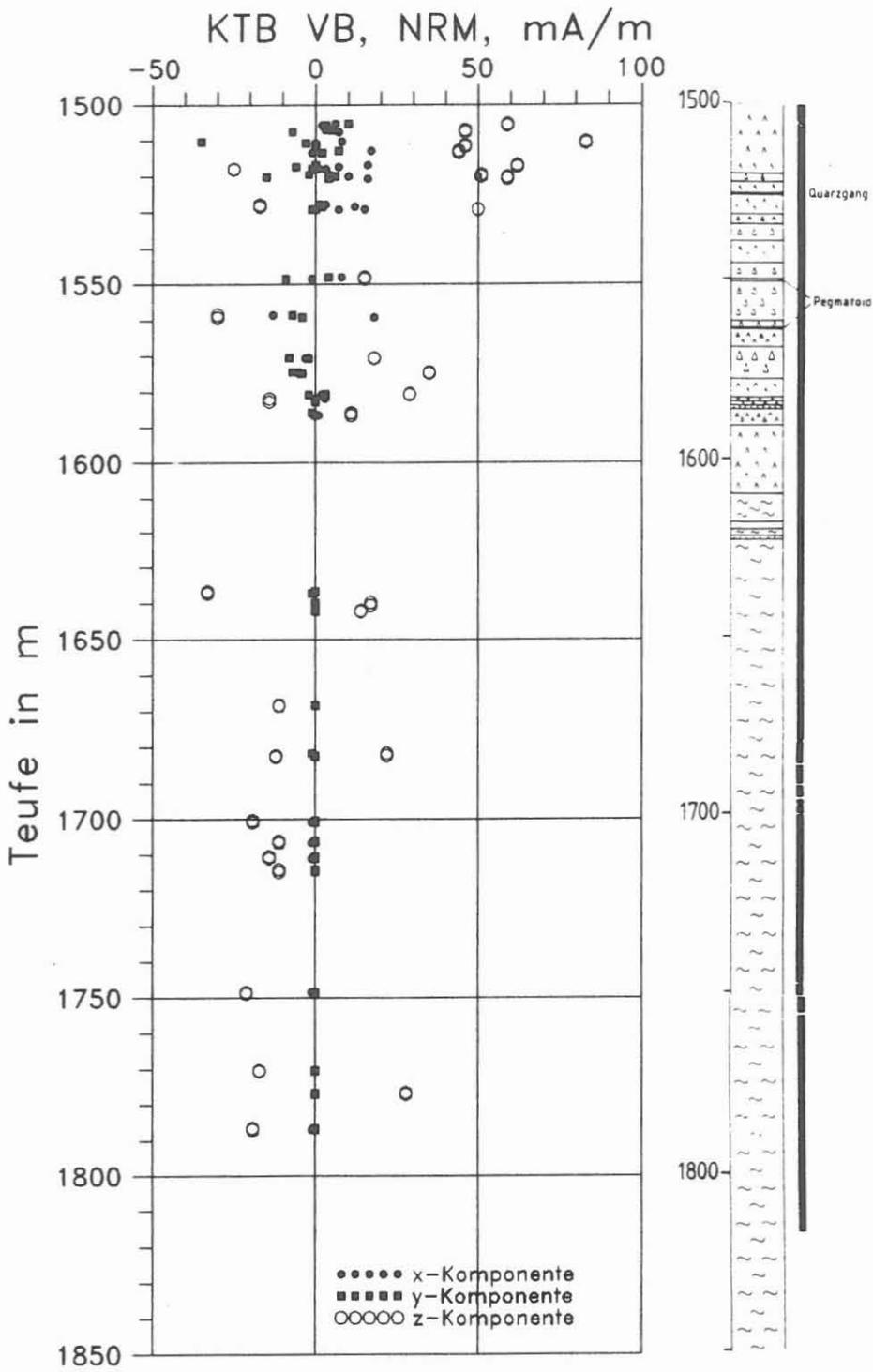


Abb. D.5.3 Teufenlog der x-, y- und z-Komponenten der natürlichen remanenten Magnetisierung.

D.6. Suszeptibilität

D.6.1. Allgemeines

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

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

D.6.2. Suszeptibilität der Bohrkern

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

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

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

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

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

D.6.3. Suszeptibilität der Cuttings

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

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

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

D.6.4. Vergleich von Suszeptibilität und Dichte

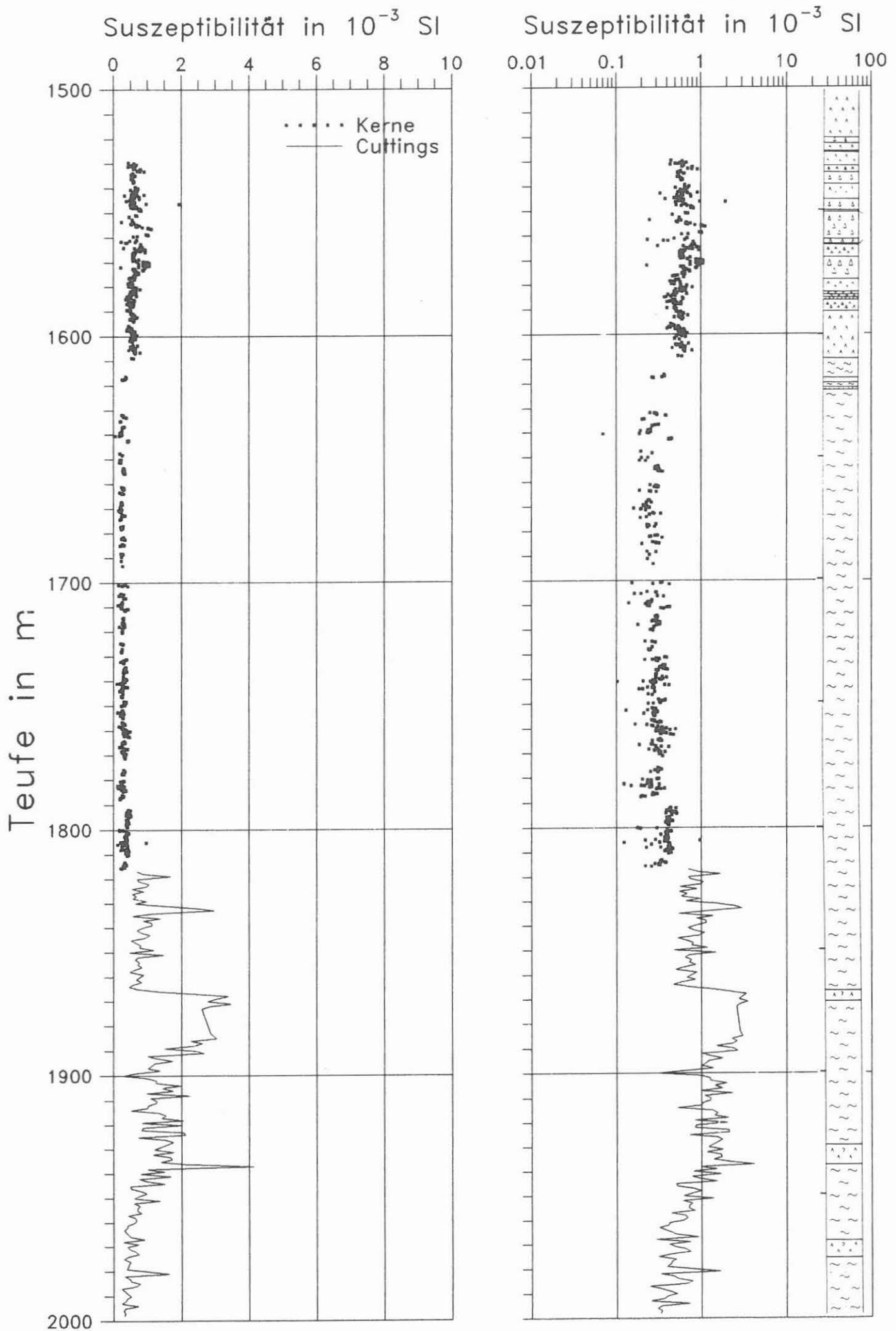
Die Abbildung D.6.2 zeigt einen Cross-Plot zwischen gemessener Suszeptibilität und Dichte. Die hier dargestellten Messungen wurden an Kern-Material durchgeführt. Zu den Teufen, die durch die Dichtemessungen belegt sind - den mittleren Teufen des gemessenen Kernstückes - wurden die vorhandenen Meßwerte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

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

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

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

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



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

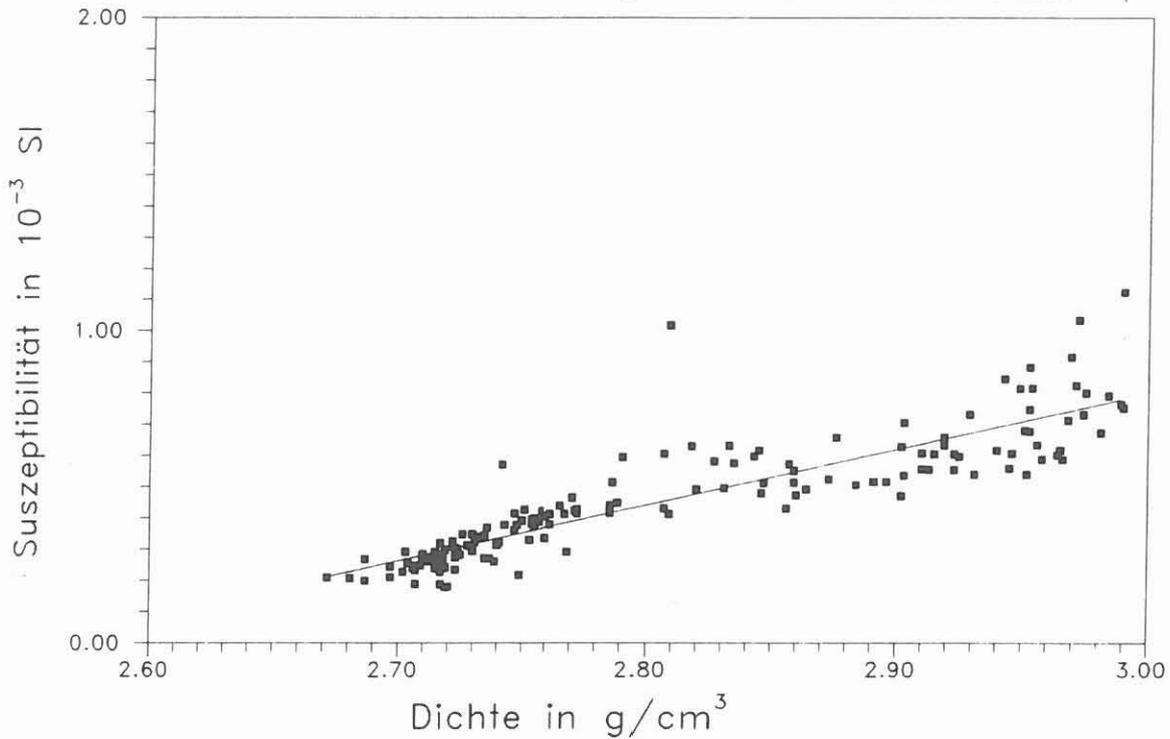


Abb. D.6.2 : Cross-Plot der Suszeptibilität gegenüber der Dichte. Messungen an Bohrkernen. (Messungen der gleichen Teufe sind gegenübergestellt, die Teufenangleichung der beiden Datensätze ist im Text erläutert).

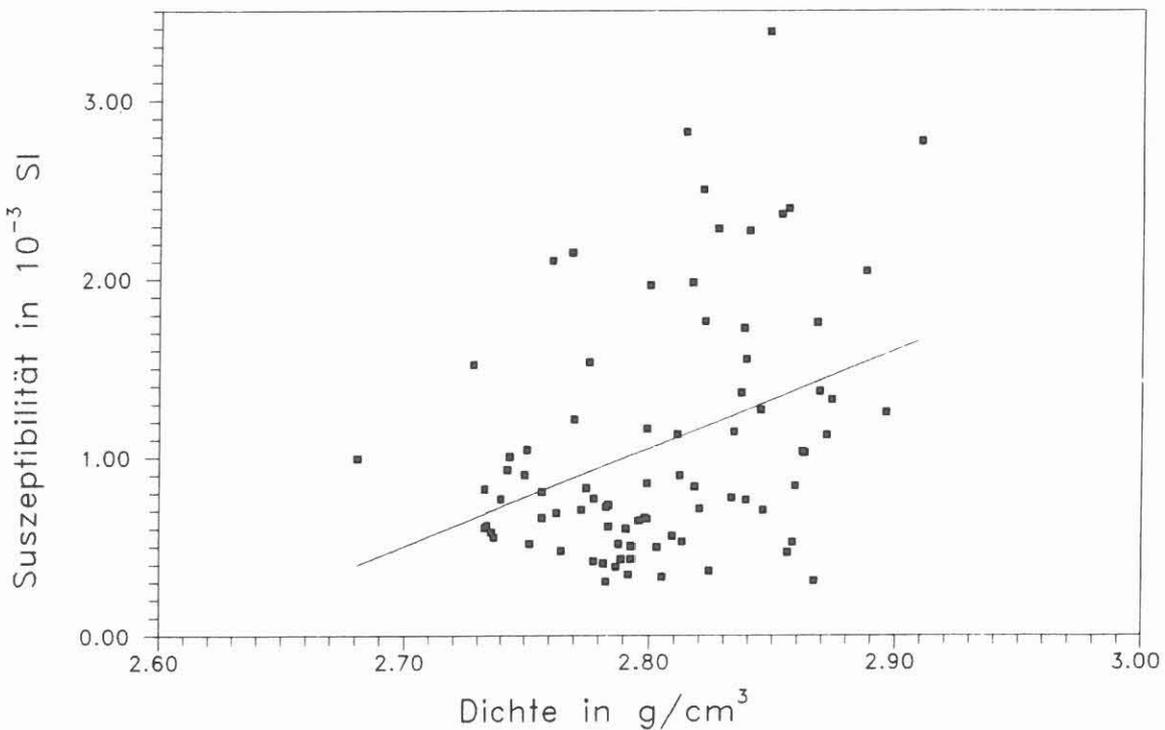


Abb. D.6.3 : Cross-Plot der Suszeptibilität gegenüber der Dichte. Messungen an Cuttings-Material. Die Messwerte lagen aus gleichen Teufen vor.

D.7 Spannungsnachwirkungsuntersuchungen - anelastische Retardation und Relaxationszeit

D.7.1 Allgemeines

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

D.7.2 Berechnung der Relaxationszeit

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

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

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

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

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

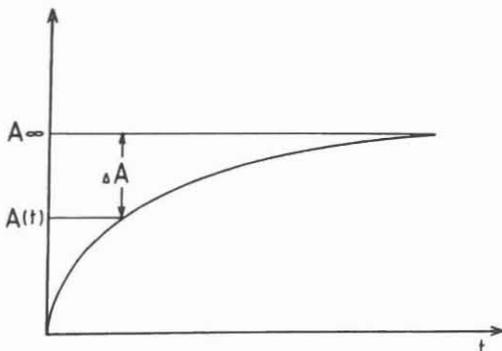


Abb. D.7.1:

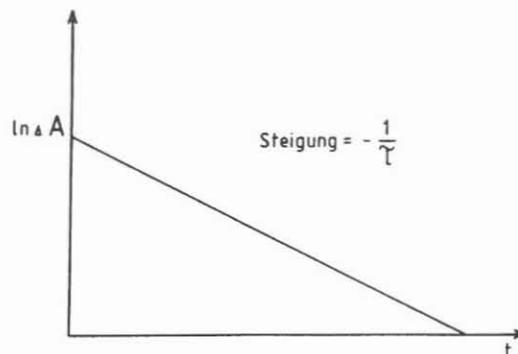


Abb. D.7.2:

D.7.3 Meßergebnisse

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

Probe 390:

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

Probe 402:

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

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

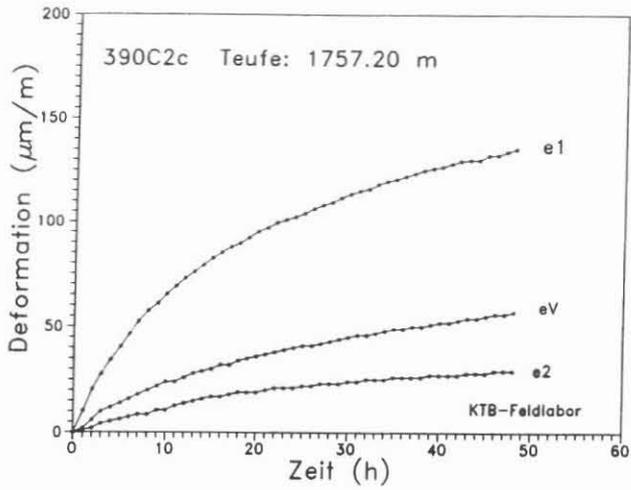


Abb. D.7.3:

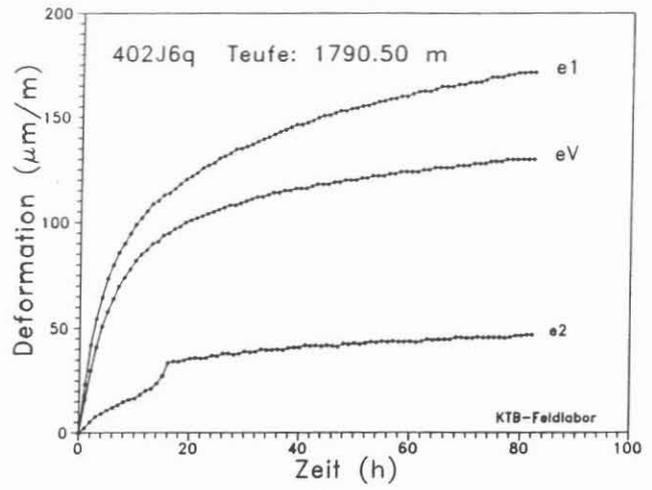


Abb. D.7.4:

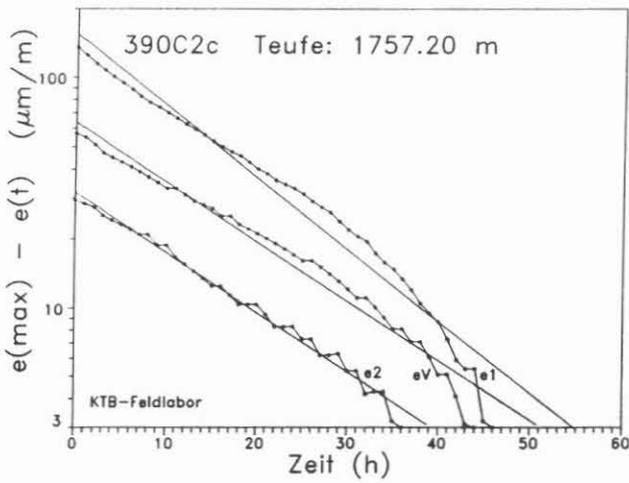


Abb. D.7.5:

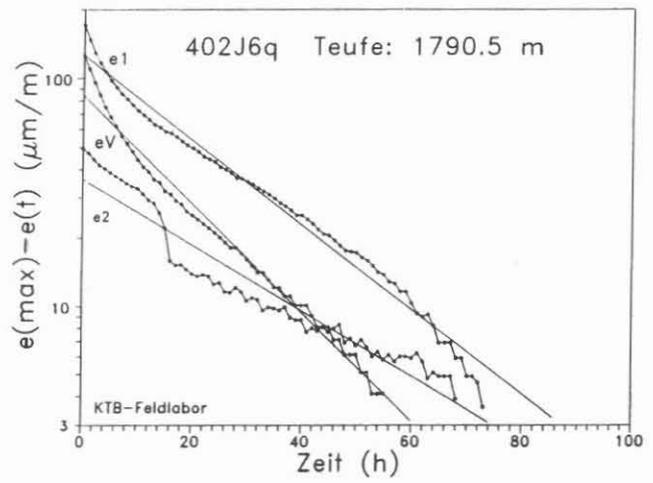


Abb. D.7.6:

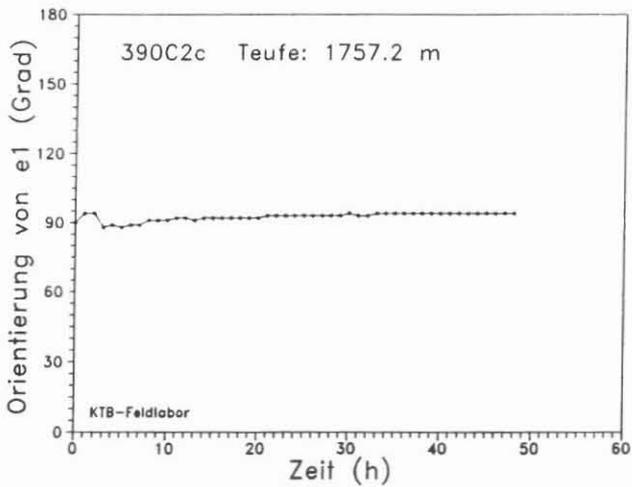


Abb. D.7.7:

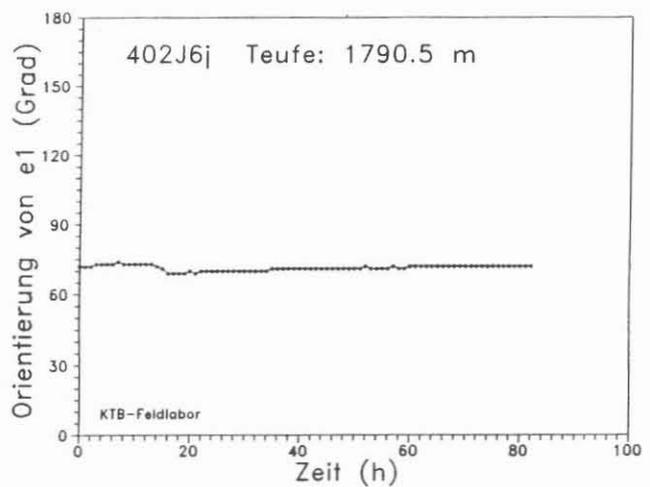


Abb. D.7.8:

D.8 Literaturverzeichnis

- BÜCKER, Ch., Eigner, K.-H., Rauch, E., Rauen, A., Wienand, J. & K.E. Wolter, (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich 0-480 m: D. Geophysik.- KTB-Report 88-1, : D1-D42, Hannover.
- BÜCKER, Ch., (1987): Die Anomalien der Schwere im Bereich der kontinentalen Tiefbohrlokation (KTB) Oberpfalz und ihre Interpretation. Dissertation, Inst. f. Allg. u. Ang. Geophysik, Fakultät für Geowissenschaften, LMU München.
- PUCHER, R. & G. STETTNER (1985): Die Interpretation der aeromagnetischen Anomalie bei Erbdorf/Oberpfalz in Verbindung mit magnetischen Untersuchungen am Boden.- Bericht, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, Archiv BGR/NLFB Nr. 97918.
- RAUEN, A., E. Lippmann, E. Huenges, Ch. Bücken, J. Wienand & K.E. Wolter (1988): Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530 m: D. Geophysik.- KTB-Report 88-6, :D1-D60, Hannover.
- WIENAND, J., K.E. Wolter, A.Rauen, K.-H. Eigner & Ch. Bücken, (1988) : Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich 480-992 m: D. Geophysik. - KTB-Report 88-2: D1 - D59, Hannover.
- WOLTER, K.E., AULBACH, E. & H. BERCKHEMER (1988): Spannungsnachwirkungsuntersuchungen: Messung der Retardation und der akustischen Emission: D. Geophysik.- KTB-Report 88-6, : D47-D60, Hannover.