

D. Geophysik

KTB Oberpfalz VB –  
Gesteinsphysikalische Untersuchungen

C. Bucker  
K.-H. Eigner  
E. Rauch  
J. Wienand  
K. Wolter

## Inhalt

1. Einleitung
2. Dichte
3. Seismische Geschwindigkeit
4. Remanente Magnetisierung
5. Magnetische Suszeptibilität

### 1. Einleitung

Ziel der Messung physikalischer Eigenschaften von Bohrkernen, von Kernbruchstücken und von Bohrklein im Feldlabor ist die erste Erfassung wichtiger petrophysikalischer Kenngrößen in Abhängigkeit von der Teufe und der Lithologie.

Sie dient weiterhin zur

- Charakterisierung der Lithologie
- Korrelation mit Bohrlochmessungen
- Interpretation von Bohrlochmessungen
- Interpretation der Oberflächen-Geophysik
- Auswahl von Proben für spezielle Untersuchungen

Derzeit ist die Messung folgender Parameter im Feldlabor vorgesehen:

- Dichte
- Seismische Geschwindigkeiten
- Magnetische Suszeptibilität
- Remanente Magnetisierung
- Elektrische Leitfähigkeit
- Wärmeleitfähigkeit
- Natürliche Gammastrahlung
- Porosität

Außerdem sollen Spannungs-Nachwirkungs-Messungen und akustische Emissionsmessungen durchgeführt werden.

Die physikalischen Parameter werden möglichst an unbearbeiteten Kernen gemessen werden, um eine Beeinflussung des Probenmaterials durch Bohren und Sägen zu minimieren. Sie sollten auch sobald wie möglich nach der Gewinnung des Probenmaterials gemessen werden, um etwaige zeitliche Veränderungen auszuschließen. Die Parameter werden unter Normalbedingungen (Druck und Temperatur im Feldlabor) bestimmt und sind wegen der Druckentlastung und der Abkühlung nur bedingt mit den in situ-Werten zu vergleichen.

Eine möglichst kontinuierliche Erfassung der physikalischen Eigenschaften wird angestrebt. Dies erfordert aus Zeit- und Personalgründen eine weitgehende Automatisierung der Messungen mit Transport der Proben durch rechnergesteuerte Schrittmotoren und eine entsprechende Datenerfassung.

Die Planung der apparativen Ausrüstung für das Feldlabor begann im Sommer 1986, die Entwicklung der ersten Meßapparaturen im Winter 86/87.

Im September 1987 konnten mit Beginn der KTB-Vorbohrung im provisorischen Feldlabor in der Volksschule in Windischeschenbach Apparaturen zur Messung der Dichte, der seismischen Geschwindigkeiten, der magnetischen Suszeptibilität und der remanenten Magnetisierung aufgestellt und in Betrieb genommen werden.

Vorläufige Ergebnisse der Messungen an dem bisher gewonnenen Probenmaterial (Bohrkerne und Bohrklein) bis in die Teufe von 480 m werden nachfolgend dargestellt.

#### Zur Teufenzuordnung der Meßergebnisse

##### Bohrkerne

Sofern keine Kernverluste auftreten, kann die Teufe recht exakt angegeben werden.

Leider waren größere Verluste die Regel. In einem derartigen Fall wird der Kerngewinn vereinbarungsgemäß nach oben "geschoben" und so an den Kopf des Kernmarsches angehängt. Man tut also so, als ob der obere Teil des Kernmarsches Gewinn war und der Verlust nur den unteren Teil betrifft. Dadurch ergeben sich zwangsläufig Ungewißheiten in der Teufe von einigen Metern.

Eine Teufenkorrektur kann erst nach Auswertung der akustischen Televiever-Logs erfolgen.

##### Cuttings

Das Bohrklein (Cuttings) liegt in Form von getrockneten Mischproben vor, d.h. nicht nach Korngröße sortiert (ca. 0.2 - 10 mm). Auch die Teufe, die der Probe zugeordnet ist, ist eine "Mischteufe", in der auch ein nicht bekannter Anteil von Nachfall (also von Material aus geringeren Teufen) enthalten sein kann. Ebenso ist zu berücksichtigen, daß die Aufstiegszeit insbesondere bei größeren Cuttings abhängig ist von Gewicht, Größe und Form der einzelnen Körner. Bei der Probennahme der Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB wird die berechnete Aufstiegszeit berücksichtigt, sodaß nur noch geringe, in der Regel zu vernachlässigende Teufenkorrekturen erforderlich wären.



### 2.2.2 Dichtebestimmung des Bohrkleins mit dem Pyknometer

Zur Bestimmung der Dichte von Bohrklein wird das Pyknometer einmal mit reinem Wasser und einmal mit einem Gemisch aus Wasser und Bohrklein in einem genau definierten Volumen gewogen. Zusammen mit dem Gewicht des Bohrkleins und der bekannten Dichte von Wasser (bei der entsprechenden Meßtemperatur) läßt sich die Dichte des Bohrkleins bestimmen (Abb.2.2).

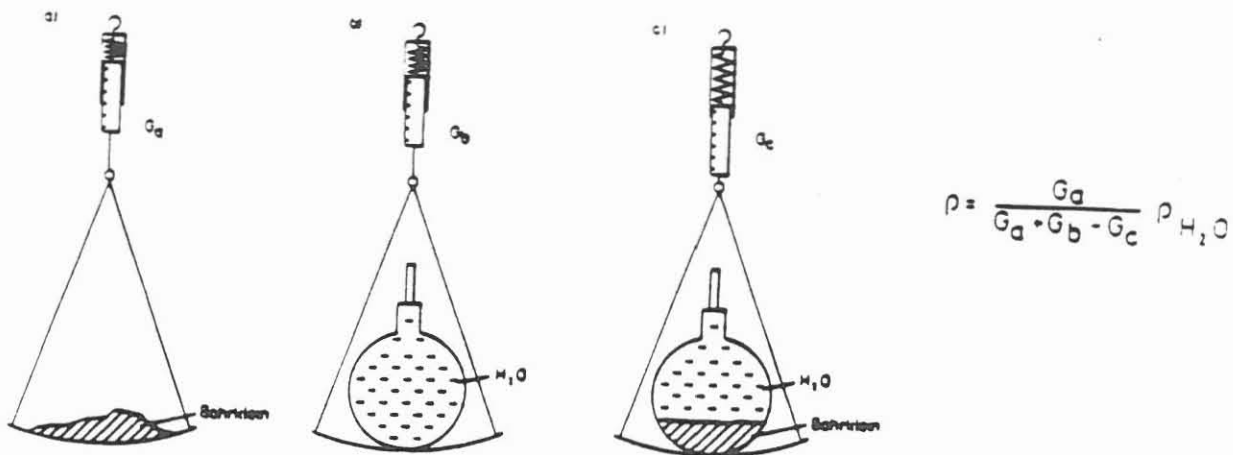


Abb. 2.2: Meßprinzip Pyknometermethode

### 2.3 Beschreibung der Meßergebnisse

Im oberen Bereich der Bohrung bis zur Teufe 480m wurde die Dichte sowohl an den erbohrten Kernen als auch an entnommenem Bohrklein bestimmt. Die Dichtebestimmung der Bohrkerne erfolgte nach dem Prinzip von Archimedes, die des Bohrkleins mit dem Pyknometer.

Der Fehlerbereich für die Pyknometermessungen beträgt etwa 2% und für die Dichtebestimmung nach dem Archimedischen Prinzip etwa 5%. In der Log-Darstellung wurden sämtliche Dichtewerte gegen die Teufe aufgetragen. Zur Übersicht wurde eine Darstellung im Maßstab 1:2000 (Abb. 2.3 und 2.4) gewählt. Die Meßergebnisse sind nochmals in 50 m-Schritten in einem vergrößerten Maßstab (Abb. 1.5 a-e) dargestellt. Beim Vergleich der Daten läßt sich sagen, daß die Bohrkleindichte generell etwas niedriger liegt als die Dichte der Bohrkerne. Dies ist dadurch zu erklären, daß es sich bei dem Bohrklein um Mischproben handelt, in denen auch Nachfall mit geringerer Dichte aus dem oberen Teufenbereich enthalten sein kann. Zudem ist ein Verlust von sehr kleinen Mineralen hoher Dichte, wie z.B.  $Fe_3O_4$ ,  $FeS$  denkbar, die durch das Schüttelsieb fallen. Aus diesem Grund treten markante Dichteunterschiede bei den Bohrkerne deutlicher hervor.

### 2.3.1 Dichte der Bohrkerne

Die Dichte an den Bohrkernen konnte nur lückenhaft bestimmt werden, da in den oberen 480 m sehr hohe Kernverluste auftraten. So stand bis zu einer Teufe von 68 m kein Kernmaterial zur Verfügung. Auch ließ sich aufgrund der Kernqualität teilweise keine Dichte bestimmen, da die Bohrkerne auseinanderfielen, sobald sie mit Wasser in Berührung kamen.

Für die Dichte stellt sich eine generelle Tendenz heraus: Diese nimmt bis ungefähr 463 Meter zu. Ab hier nehmen die Dichtewerte wieder ab. Zwischen 387 und 432 Metern ist ein Bereich deutlich erhöhter Dichte zu erkennen. Lithologisch ist dieser Bereich durch das Auftreten von Granatamphiboliten gekennzeichnet.

Die an den Bohrkernen gemessenen Dichten liegen zwischen minimal 2.49 und maximal 3.18 g/cm<sup>3</sup>. Der minimale Dichtewert tritt in einer Teufe von 377.5-378.5 Metern auf. Es handelt sich hier um einen Kataklasit. Der maximale Dichtewert stammt aus dem Teufenbereich von 460 bis 461 Metern. Hierbei handelt es sich um einen vergrünten, granatführenden Amphibolit.

### 2.3.2 Dichte des Bohrkleins

Die Dichte des Bohrkleins (Cuttings) wurde lückenlos in 1 m - Abständen über den gesamten Teufenbereich bis 480 m gemessen. Die Meßwerte stellen allerdings keine repräsentativen Dichtewerte aus dem jeweiligen Teufenbereich dar. Da es sich um Mischproben handelt, kann auch nur eine Mischdichte ermittelt werden. Hierdurch kommen die markanten Unterschiede, wie sie bei den Bohrkernen auftreten, nicht heraus.

In einer Teufe von 387-432 Metern ist beim Bohrklein ein Bereich erhöhter Dichte zu erkennen, der auch bei den Dichtemessungen der Bohrkerne deutlich auftritt. Im oberen Bereich der Bohrung treten stellenweise sehr niedrige Dichtewerte auf. Aus diesem Teufenbereich konnten keine Bohrkerne gewonnen werden. Am niedrigsten sind die Dichtewerte im Teufenbereich von 8 bis 9 Metern. Die Tendenz, die sich bei den Bohrkernen abzeichnete, daß die Dichte mit der Teufe zunimmt, ist auch schwach beim Bohrklein zu erkennen. Die Dichtewerte des Bohrkleins liegen zwischen 2.54 und 3.06 g/cm<sup>3</sup>. Die Teufenangaben der Extremwerte bei Bohrklein und Bohrkernen stimmen nicht überein. Im Bereich von 376 bis 378 Metern, in dem die Dichtewerte der Bohrkerne minimal sind, weisen die Dichtewerte des Bohrkleins zwar auch ein lokales, aber nicht so deutliches Minimum auf. Das Dichte-Maximum bei den Bohrkernen liegt knapp unter 461 Metern, während beim Bohrklein in diesem Bereich nichts Auffälliges zu erkennen ist. Das Dichte-Maximum des Bohrkleins liegt bei 298 Metern. Ein Vergleich mit den Bohrkernen läßt sich allerdings hier nicht ziehen, da aus diesem Bereich kein Kernmaterial zur Verfügung steht.



- D 7 -

Dichte (Bohrkerne) in  $\text{g}/\text{cm}^3$

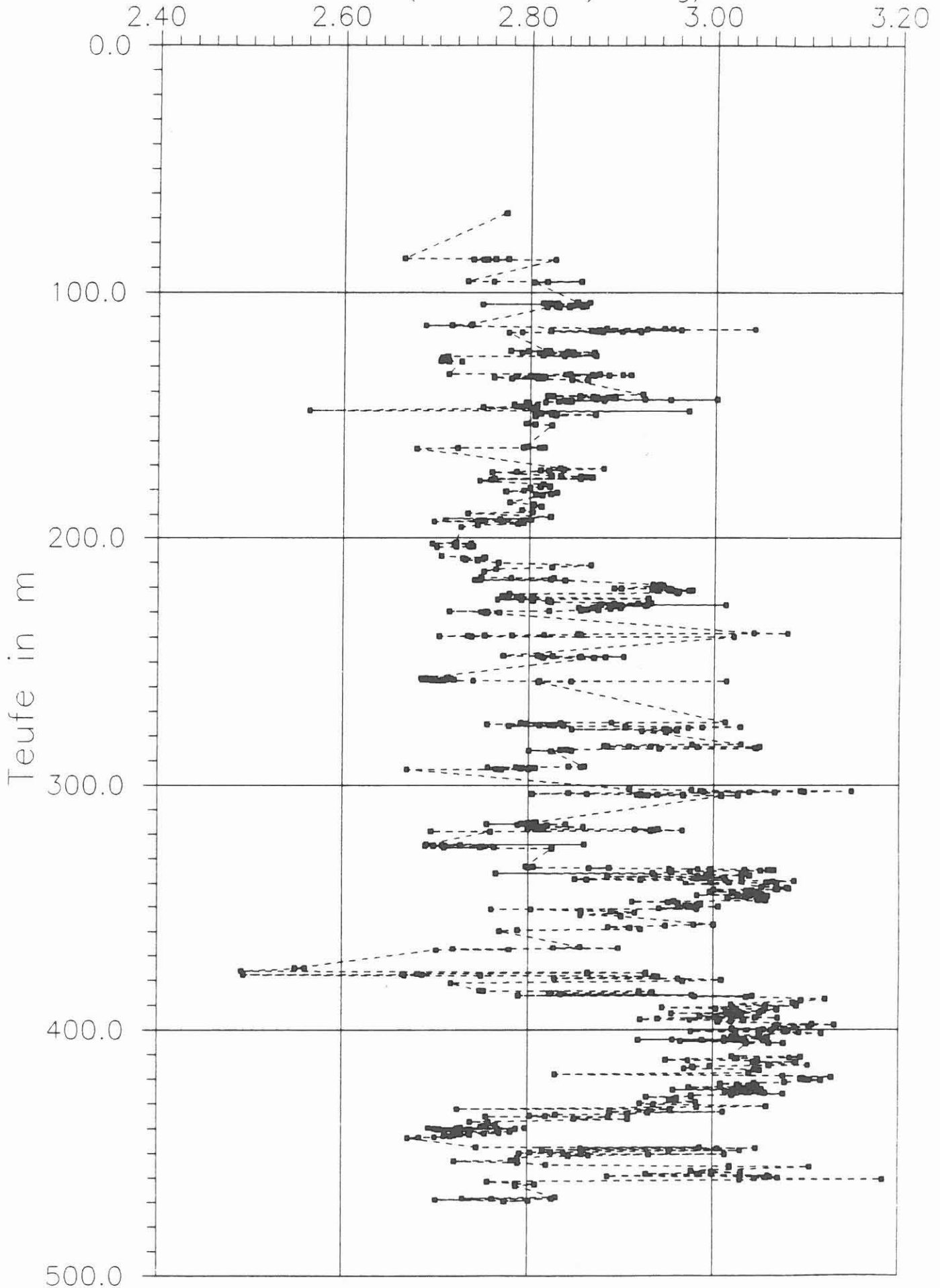


Abb. 2.3.

- D 8 -

KTB VB Dichte Bohrklein, g/cm<sup>3</sup>

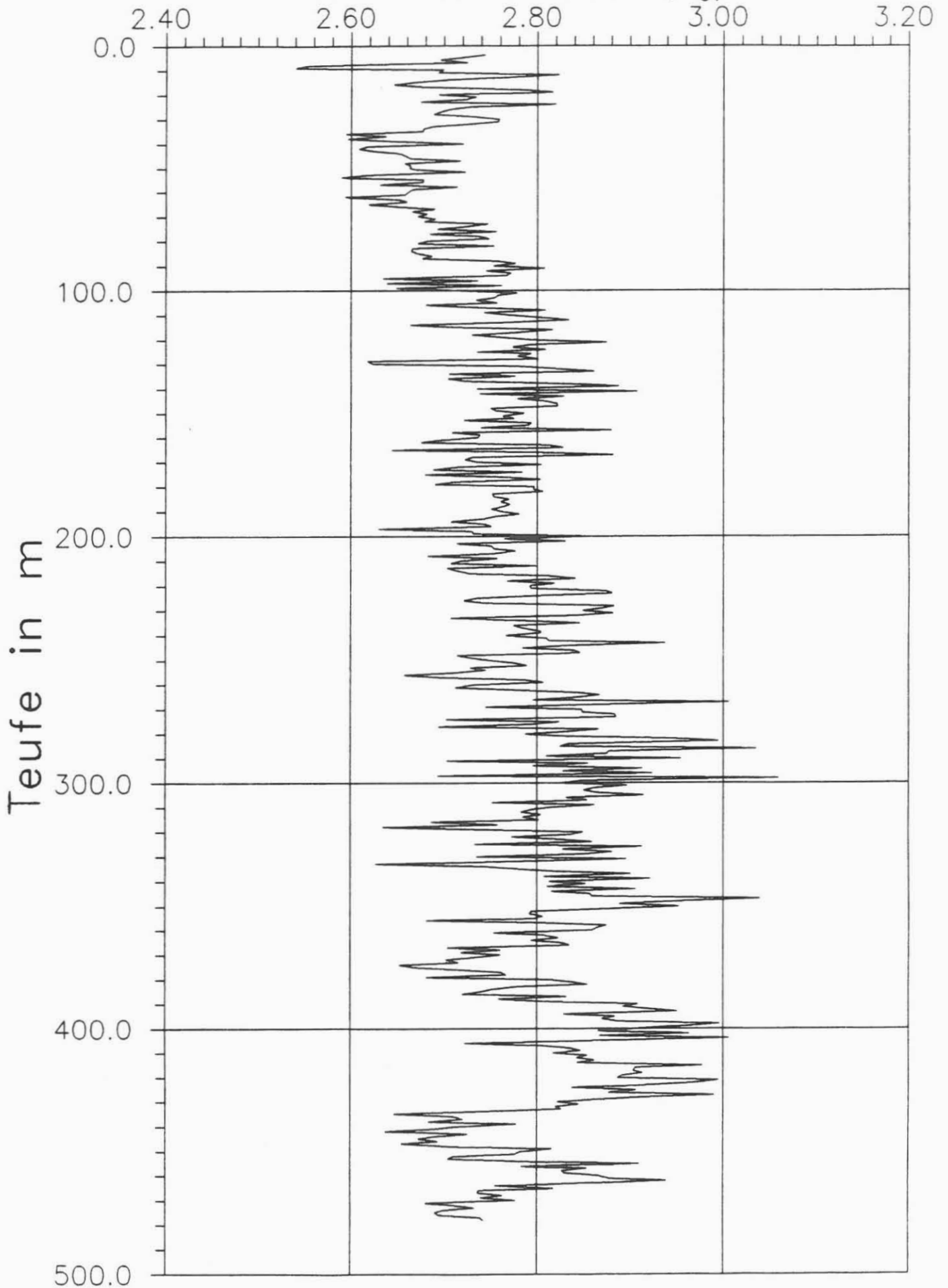


Abb. 2.4.



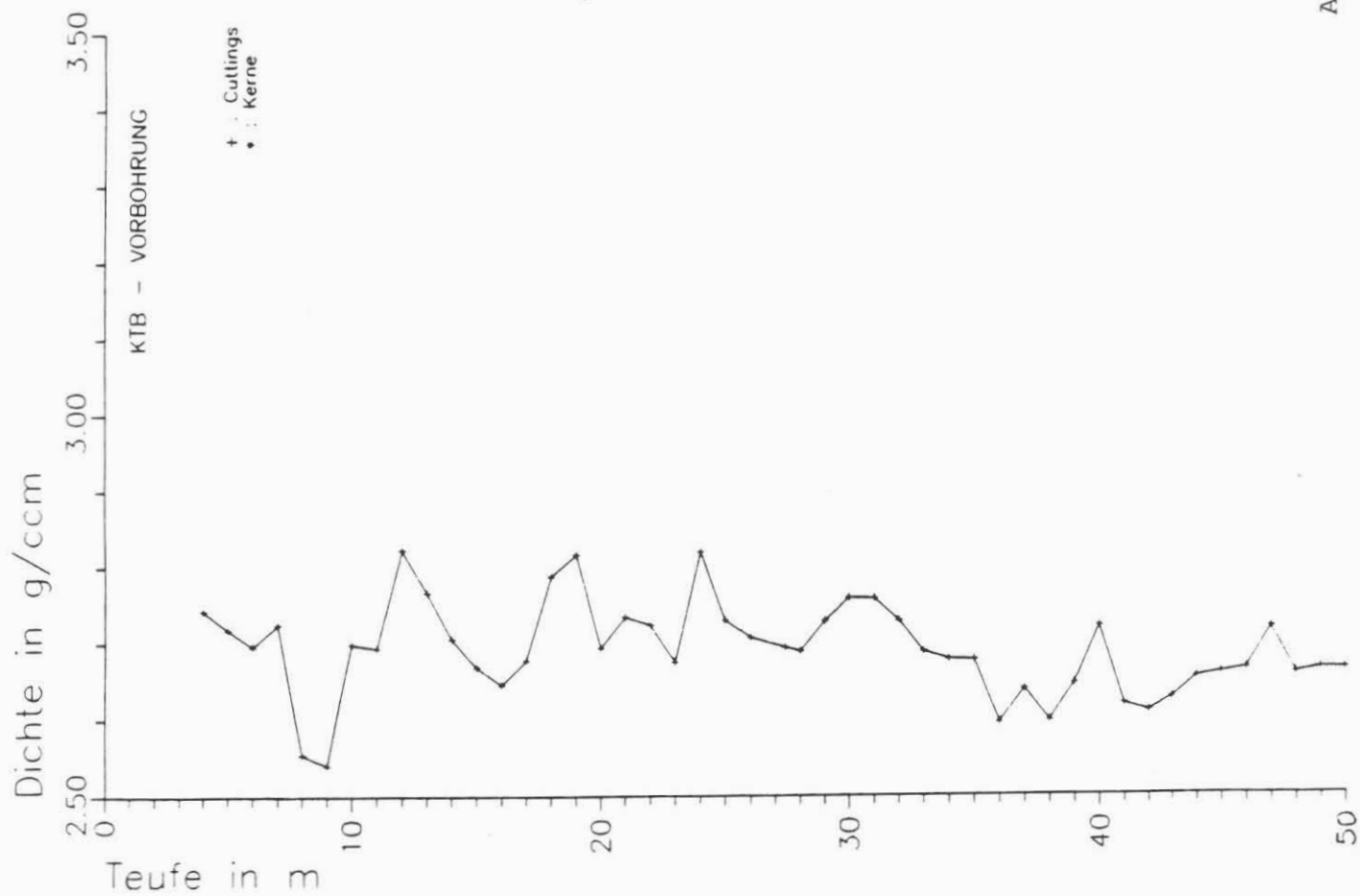
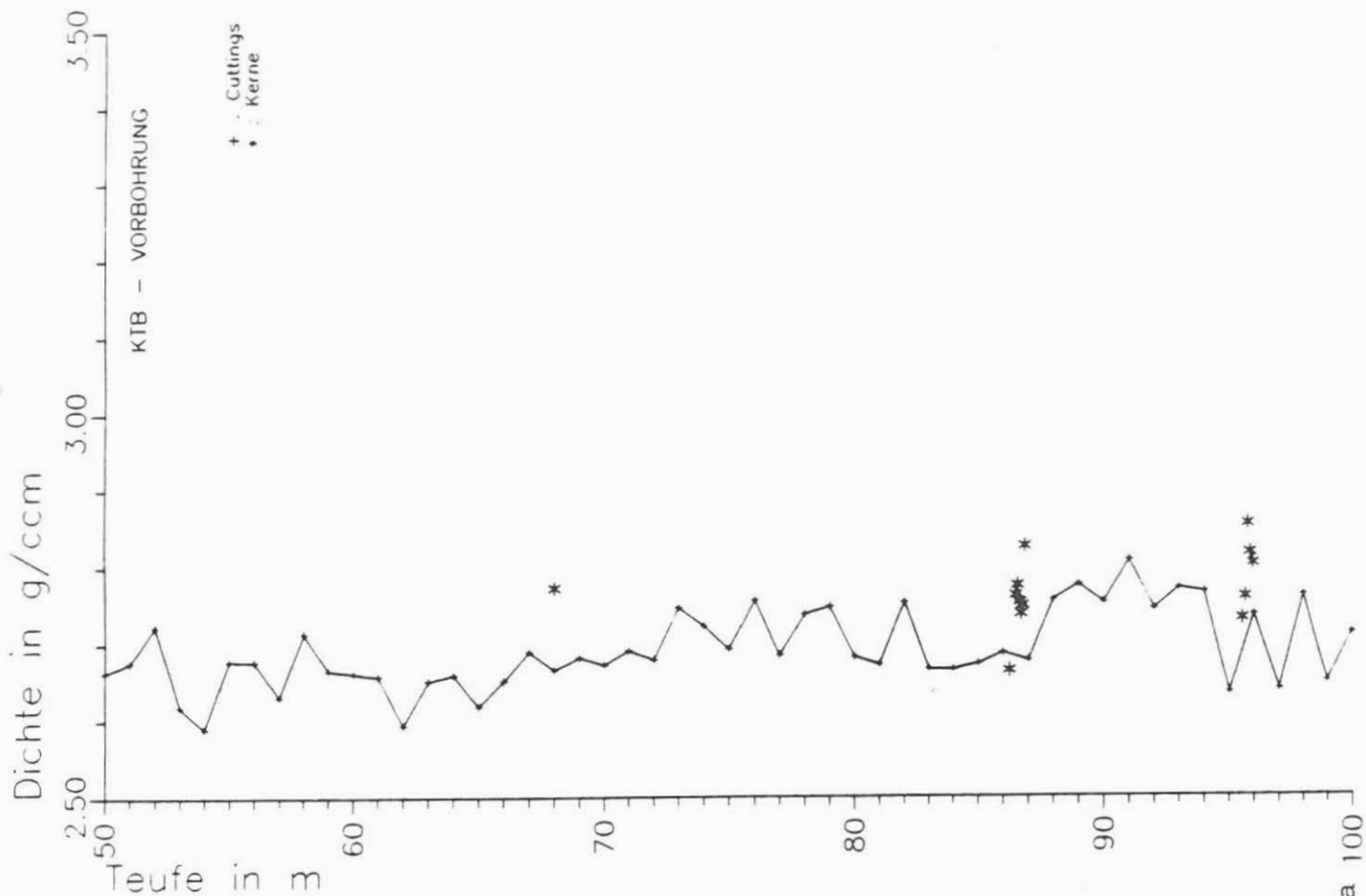


Abb. 2.5 a 100

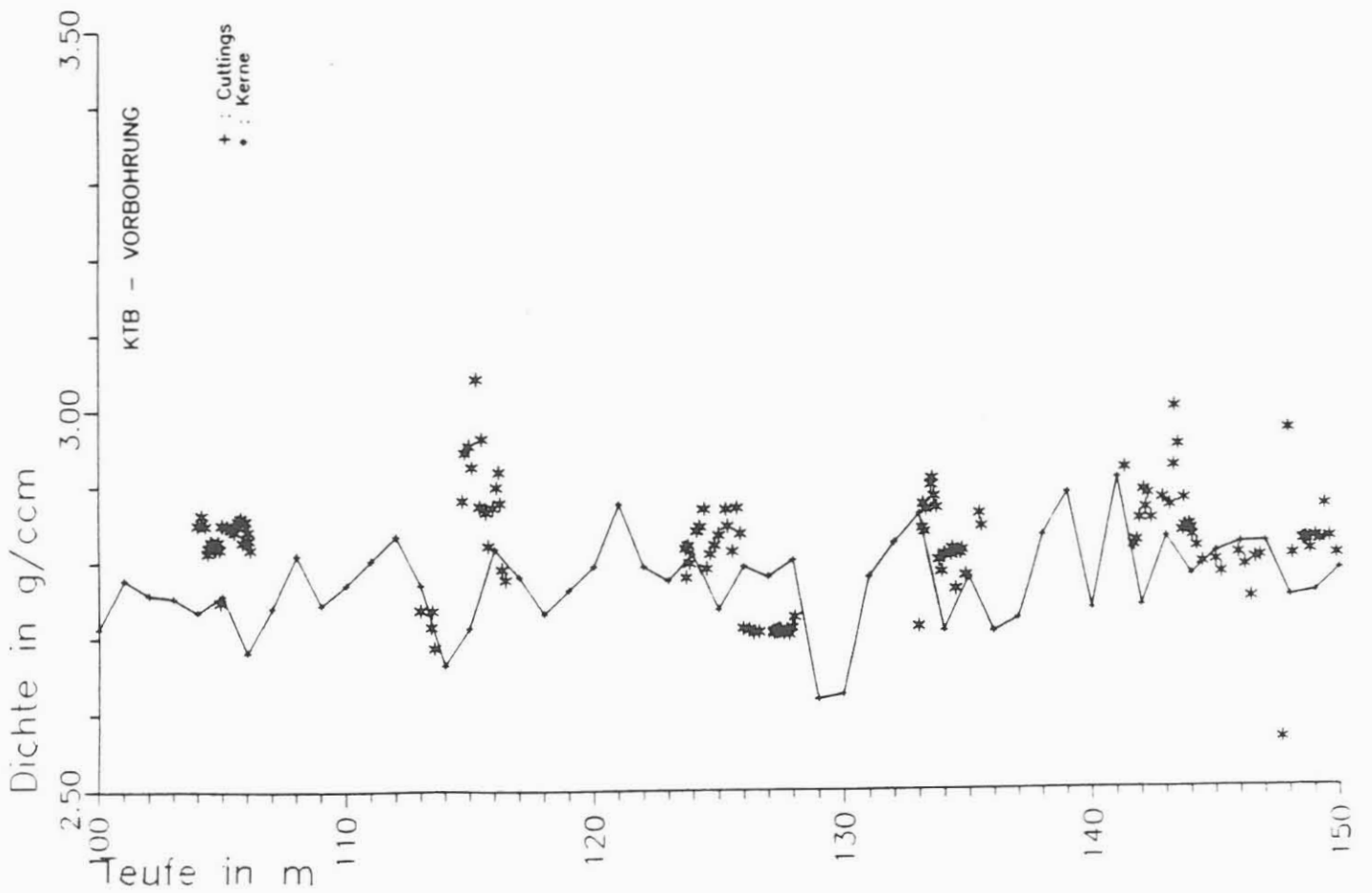
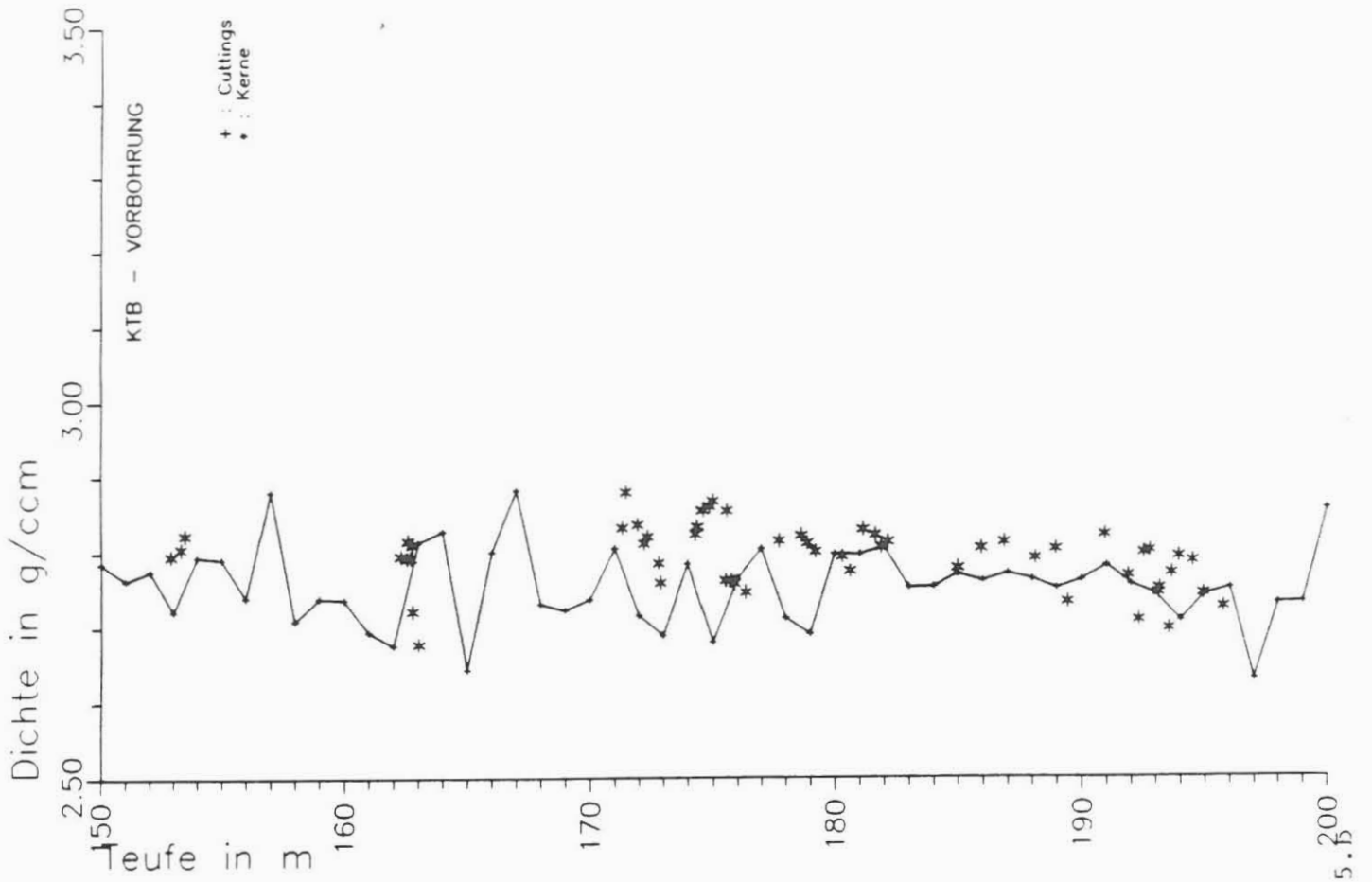


Abb. 2.5.10

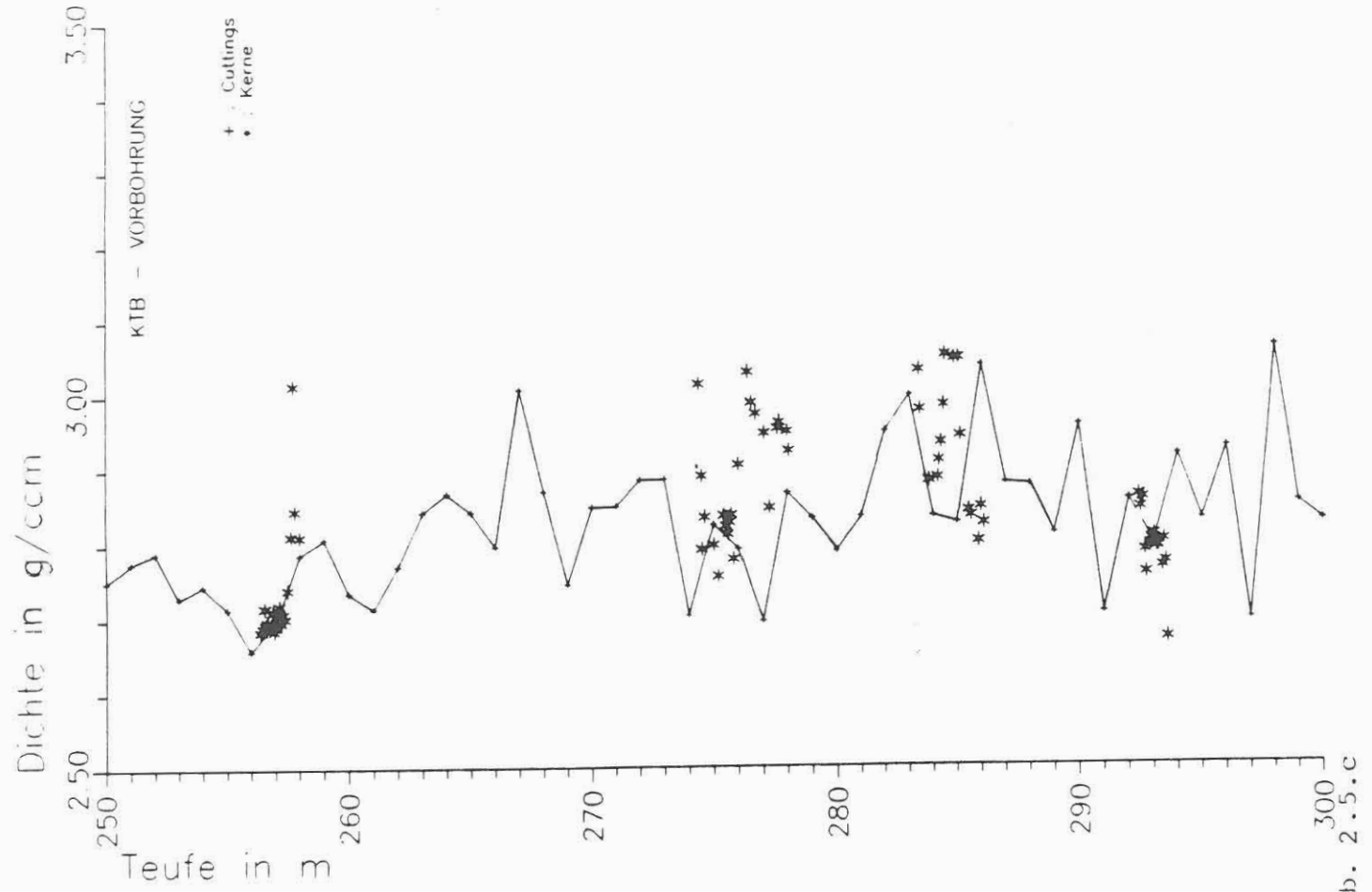
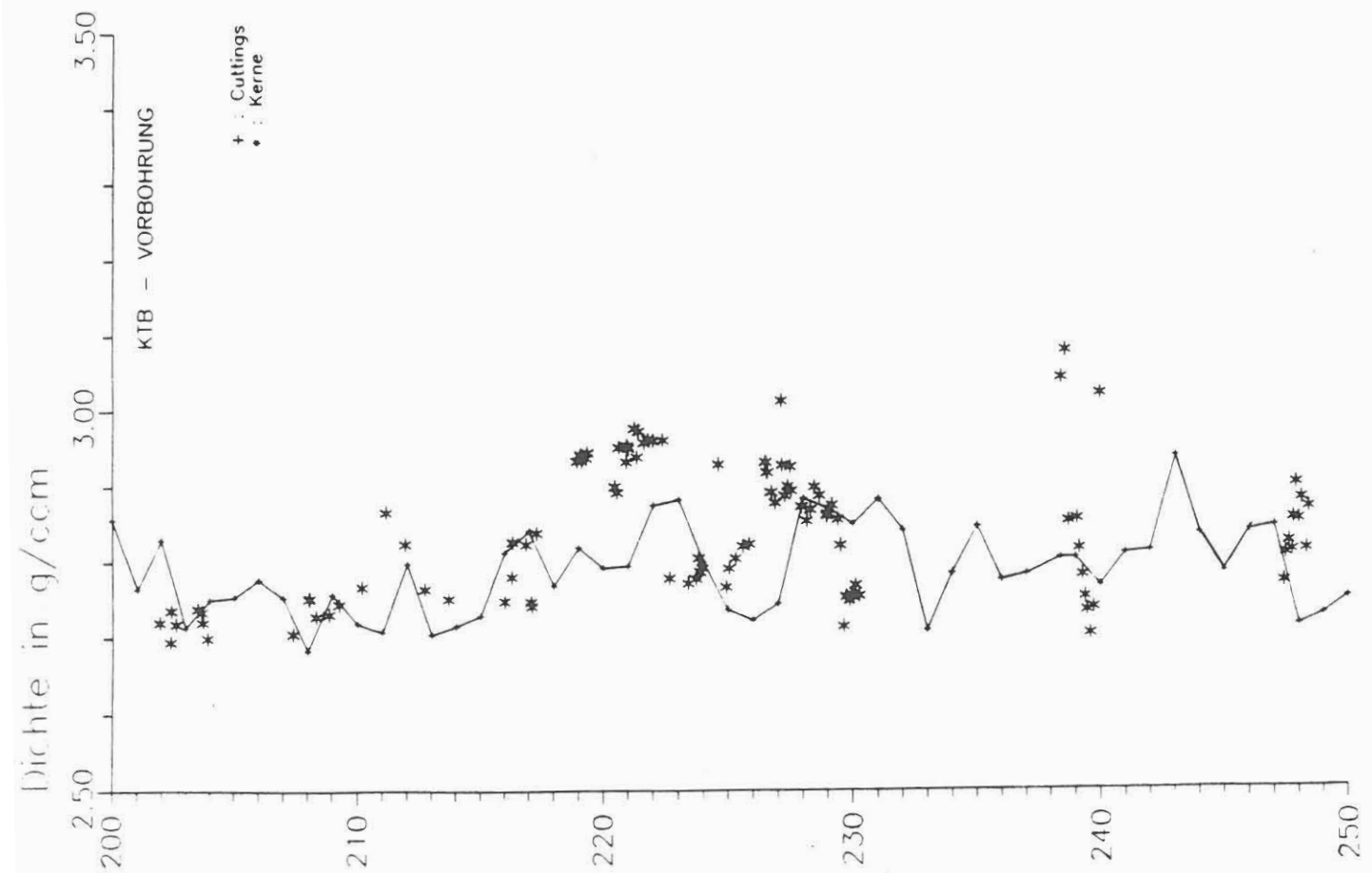


Abb. 2.5.c



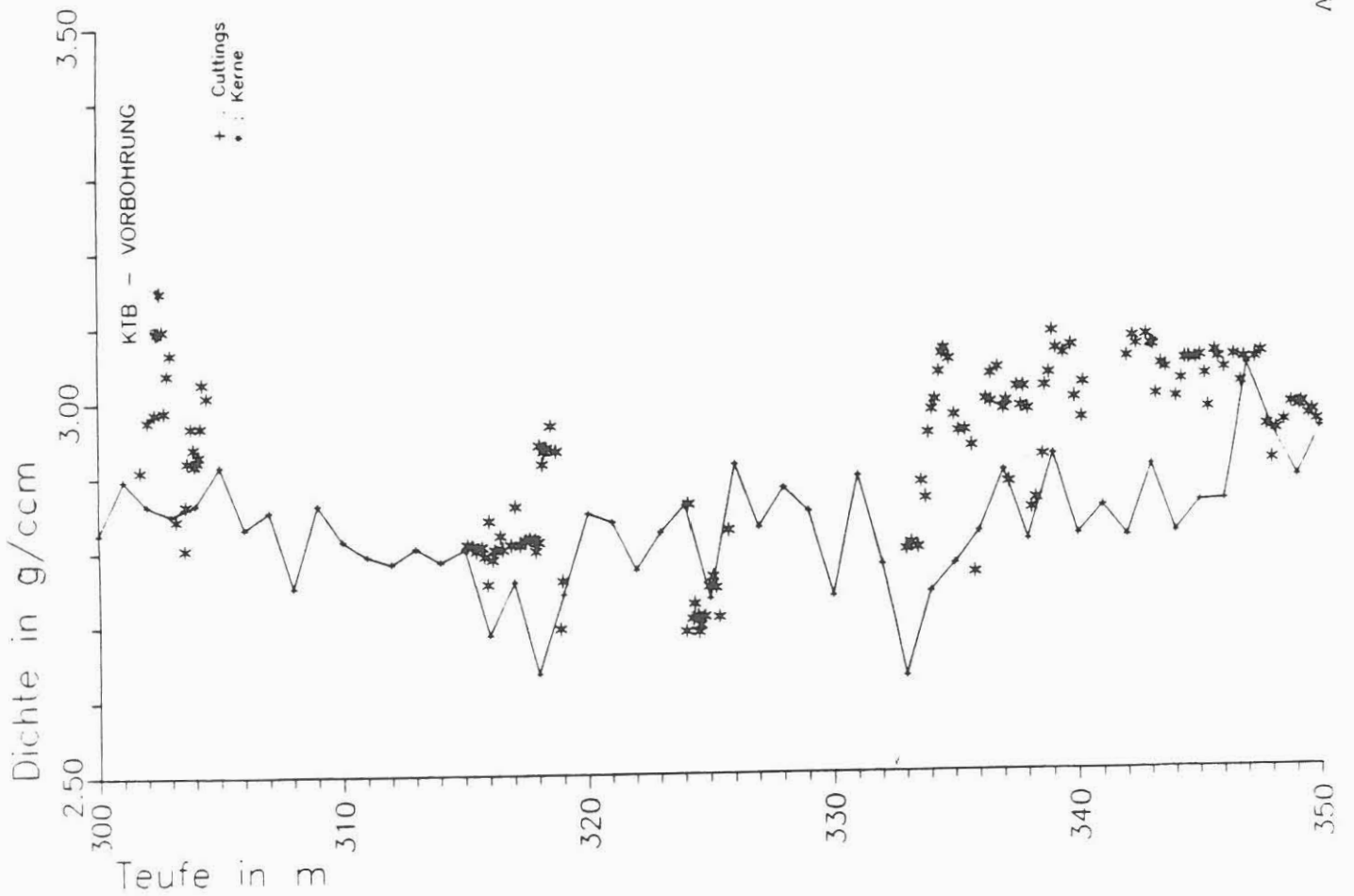
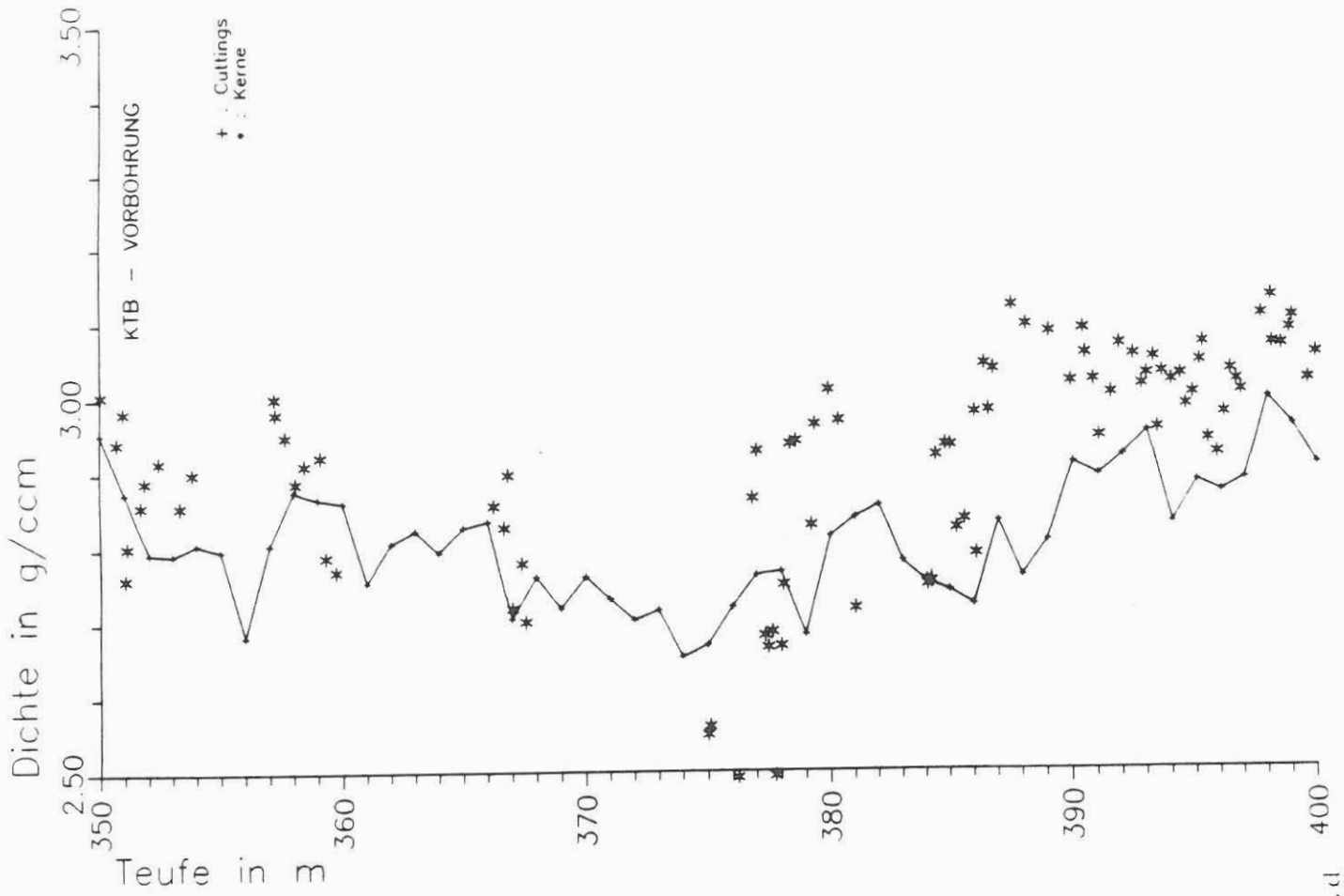


Abb. 2.5.d

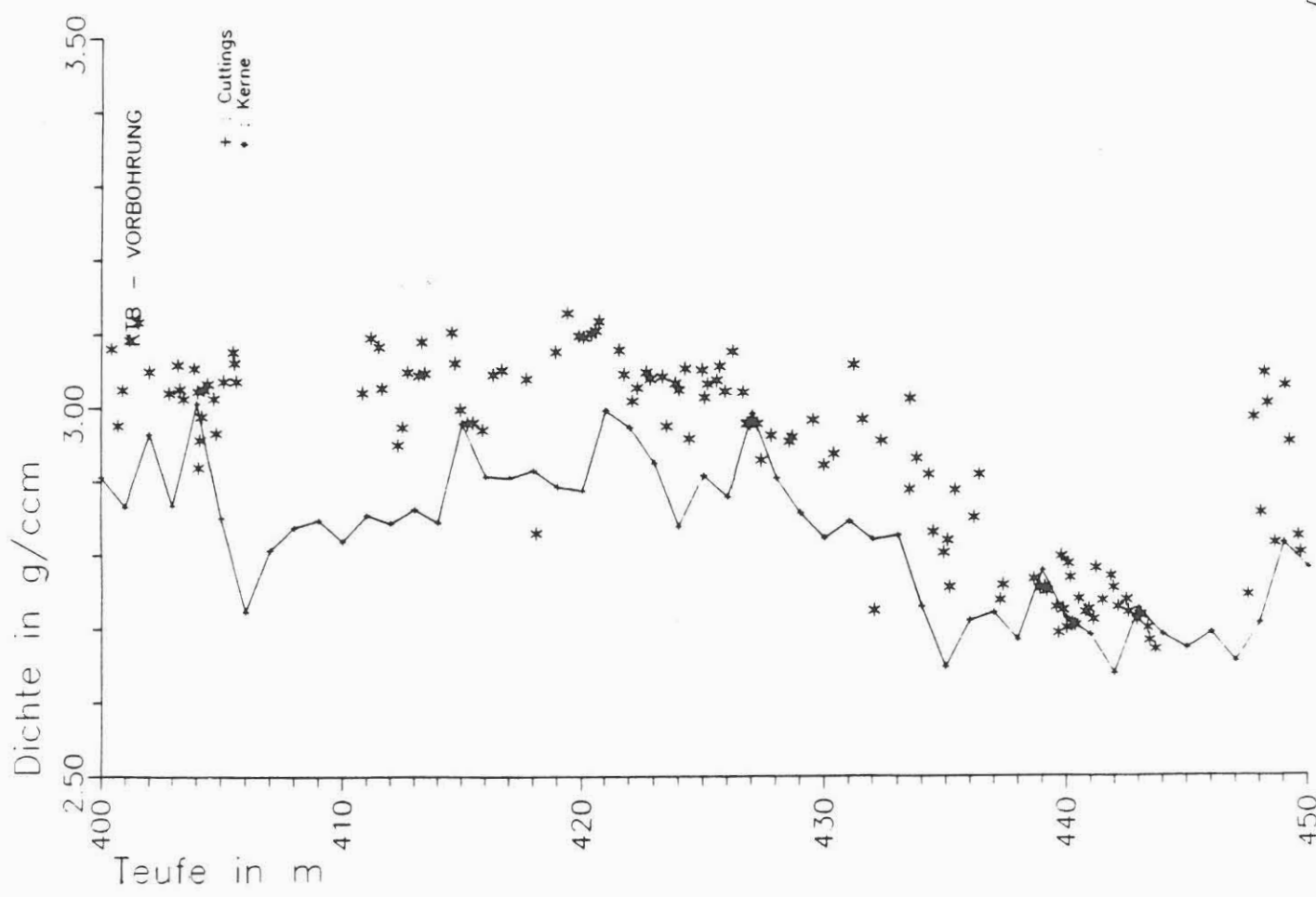
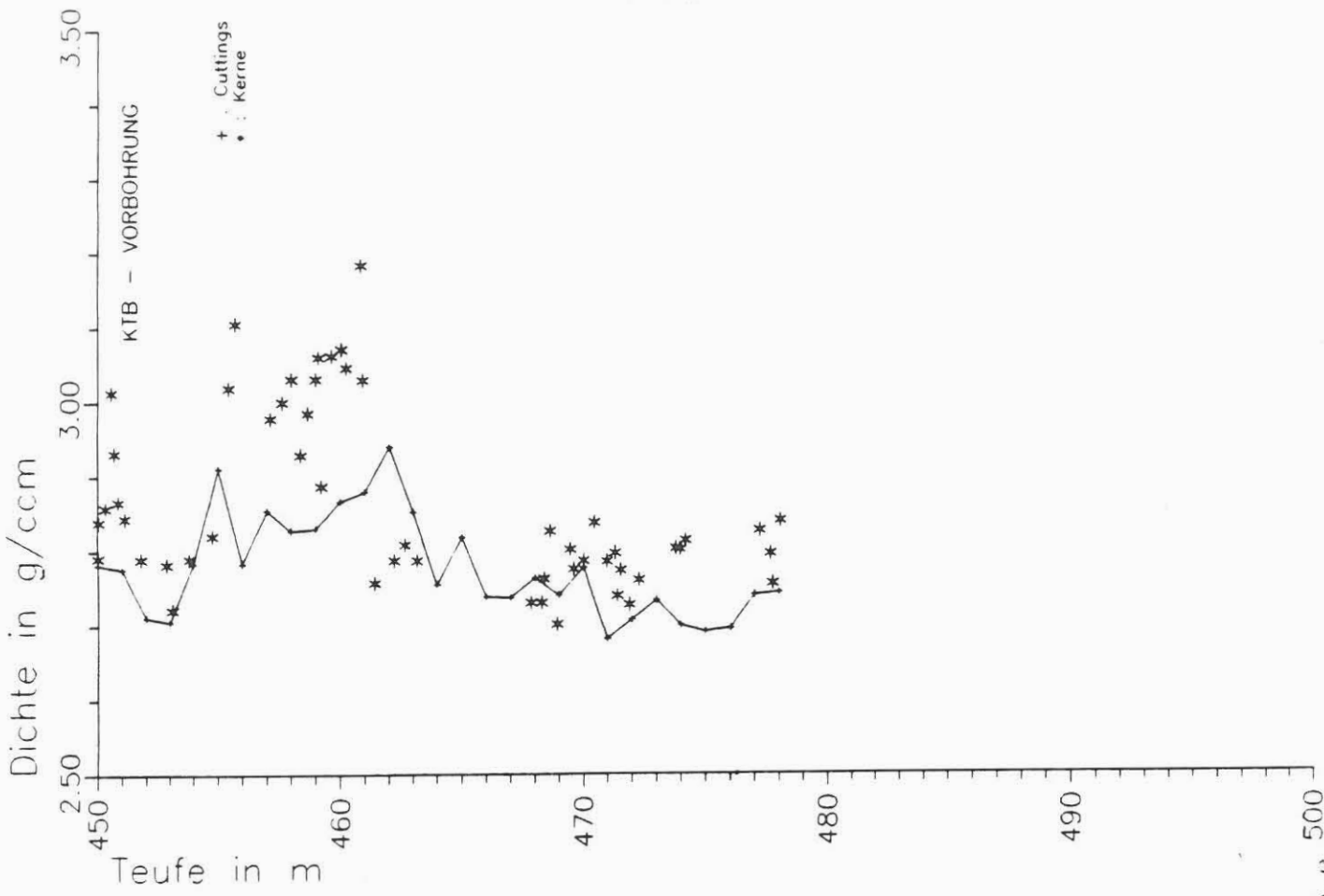


Abb. 2.5.e

### 3. Ultraschallseismik

#### 3.1 Allgemeines

Die Geschwindigkeiten von Ultraschallwellen sind wichtige petrophysikalische Kenngrößen. Sie werden nicht nur durch den Chemismus und den Mineralbestand der Gesteine, sondern auch in hohem Maße durch deren Porosität (einschließlich Porengeometrie und Porenfüllung), sowie den Temperatur-, Druck- und Spannungszustand bestimmt.

Es ist zwar nicht anzunehmen, daß Ultraschallmessungen an Bohrkernen bei Normalbedingungen zu den gleichen Werten führen, wie seismische in-situ-Messungen oder akustische Bohrlochmessungen. Aus den Unterschieden zu den Bohrlochmessungen können aber Rückschlüsse auf die Veränderung der Proben im Vergleich zum in-situ-Zustand gezogen werden (mechanische Beanspruchung durch den Bohrvorgang, Druckentlastung, Temperaturschock, Veränderung der Porenfüllung).

Ultraschallmessungen liefern weiterhin Kriterien für die gezielte Auswahl geeigneter Proben für Spezialuntersuchungen anderer Gruppen, z.B. für Untersuchungen der Eigenspannungen, der Porosität und Permeabilität, sowie von  $V_p$  und  $V_s$  bei hohen Drücken und Temperaturen. Schließlich dienen sie auch als Referenzmessungen zur Kontrolle der fortschreitenden Gefügeauflockerung der Bohrkerns mittels Wiederholungsmessungen. Aus diesem Grund sollten sie auch besonders schnell nach der Kernentnahme durchgeführt werden.

#### 3.2 P-Wellengeschwindigkeit in radialer Kernrichtung

##### 3.2.1 Meßprinzip

Zur Bestimmung der P-Wellengeschwindigkeit in Radialrichtung werden die unbearbeiteten Kerne mittels Ultraschallschwingern längs eines Durchmessers durchschallt. Die beiden Schwinger werden mit dem Kern unter Wasser in Kontakt gebracht. Schwingerabstand und Signallaufzeit werden gemessen und hieraus die Geschwindigkeit bestimmt (Abb.3.1.). Zur Ermittlung der Anisotropie wird unter verschiedenen Kernazimuten gemessen. Die Variation in z-Richtung wird durch Verschiebung des Schwingerpaares längs des Kerns erfaßt.

##### 3.2.2 Meßtechnik

Verwendet werden hochbedämpfte 1 MHz-Schwinger (Typ H1N der Firma Krautkrämer), die ein relativ breitbandiges Signal abstrahlen. Die Ansteuerung und Signalregistrierung erfolgte im Überbrückungsprogramm mit kommerziellen Ultraschallgeräten (USL33 bzw. USIP11 der Firma Krautkrämer).

### 3.2.3 Beschreibung der Ergebnisse

Die Abbildung 3.2. gibt einen Überblick über die ersten vorläufigen Meßergebnisse bis zu einer Teufe von 478.5 m. Vorhandene Lücken sind begründet durch mangelnden Kerngewinn, schlechte Kernbeschaffenheit bzw. den großen Zeitaufwand für jede Messung bei der derzeitigen Instrumentierung. Die Abbildungen 3.3.a und 3.3.b geben dieselben Messungen in einem dichter vermessenen Teufenbereich wieder. Die dargestellten Geschwindigkeiten sind Mittelwerte über verschiedene Azimute bei der betreffenden Teufe, hierbei wurde über bis zu 20 Geschwindigkeits-Bestimmungen gemittelt. Bei schwer durchschallbaren Kernen liegt der angegebene Mittelwert wahrscheinlich eher zu hoch. In den Abbildungen wurde nicht unterschieden, ob über viele oder wenige Einzelmessungen gemittelt wurde.

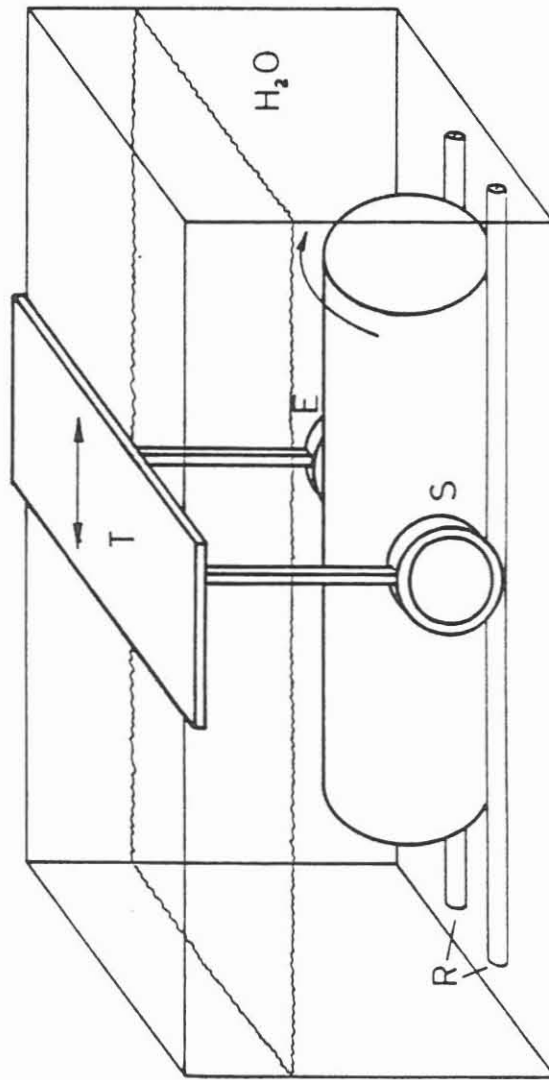
Es werden starke kleinräumige Geschwindigkeitsschwankungen beobachtet, die für das Reflexionsvermögen bei in-situ Messungen von Bedeutung sein dürften. Der Mittelwert über die oberen 478.5 m beträgt 5549 m/s mit einer Standardabweichung von  $\sigma = 454$  m/s.

Viele Kerne im hier vorgestellten Teufenbereich besitzen eine deutliche azimutale Anisotropie (z.B. 17% für Kern 68F80 mit der Teufe 458m, Abb. 3.4.). Sie korrespondiert mit steil stehenden Schieferflächen. Der Betrag der Anisotropie übersteigt oft deutlich die möglichen Meßfehler.

Eine Korrelation zwischen Geschwindigkeit und der Lithologie ist zum Teil möglich. So scheinen z.B. graphitführende Gneise durch niedrige, granatführende Gneise und Amphibolite durch hohe Geschwindigkeiten gekennzeichnet zu sein.



# Prinzip der Geschwindigkeitsmessung $v_{p,radial}$



R = Rollenlager für Kernrotation  
T = Translationswagen

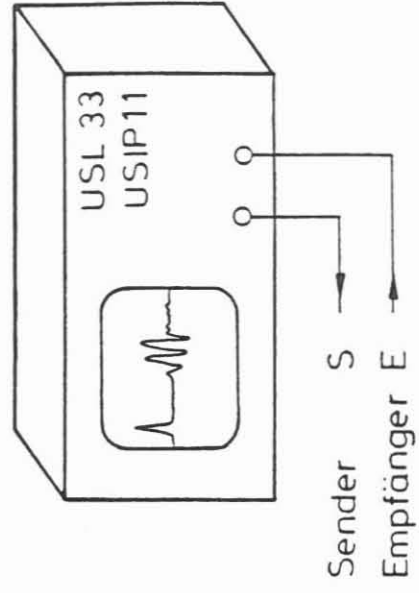


Abb. 3.1. Versuchsaufbau zur Messung der seismischen P-Wellengeschwindigkeit

KTB VB  $V_p$ -Geschwindigkeit in m/s

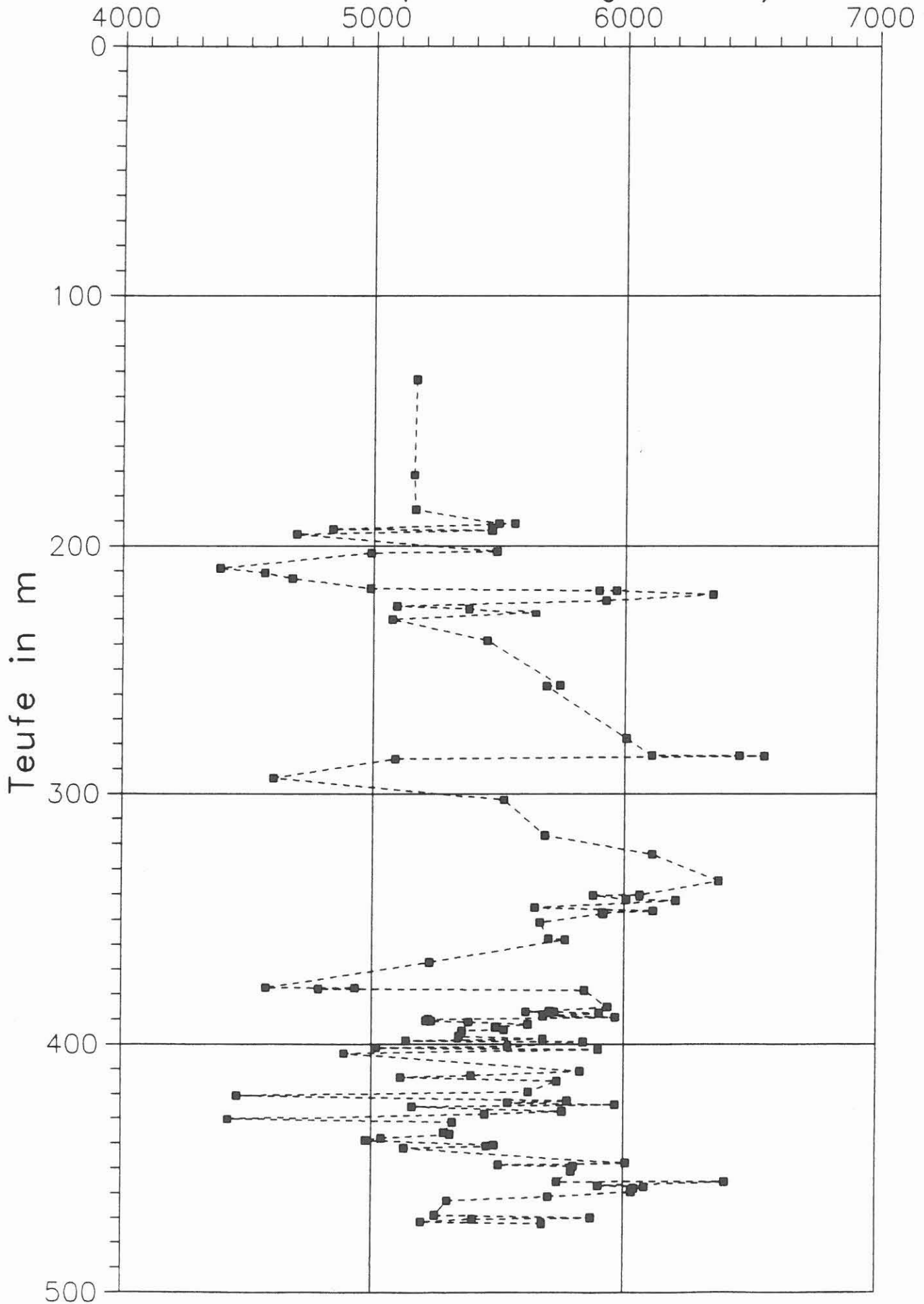


Abb. 3.2.

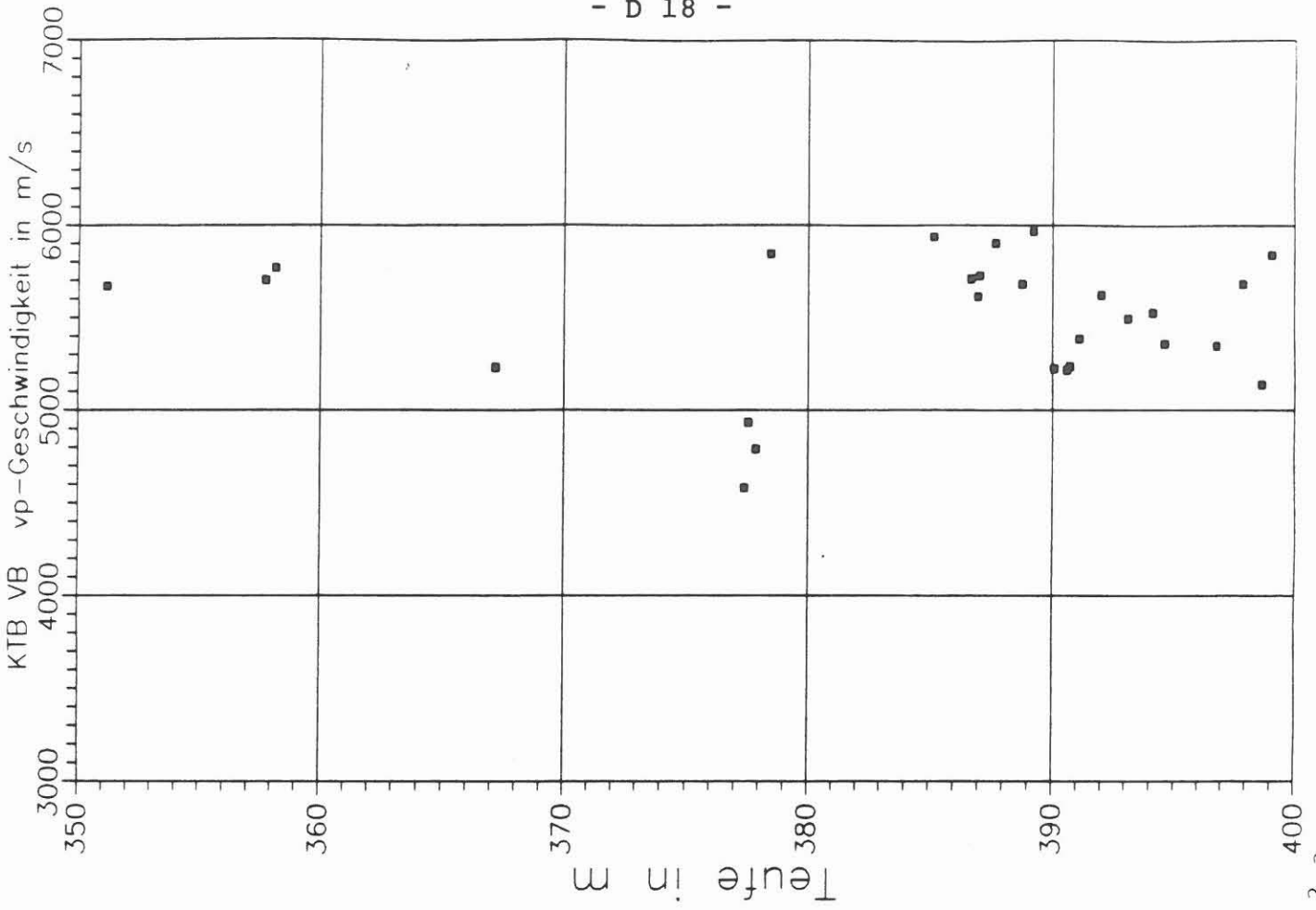
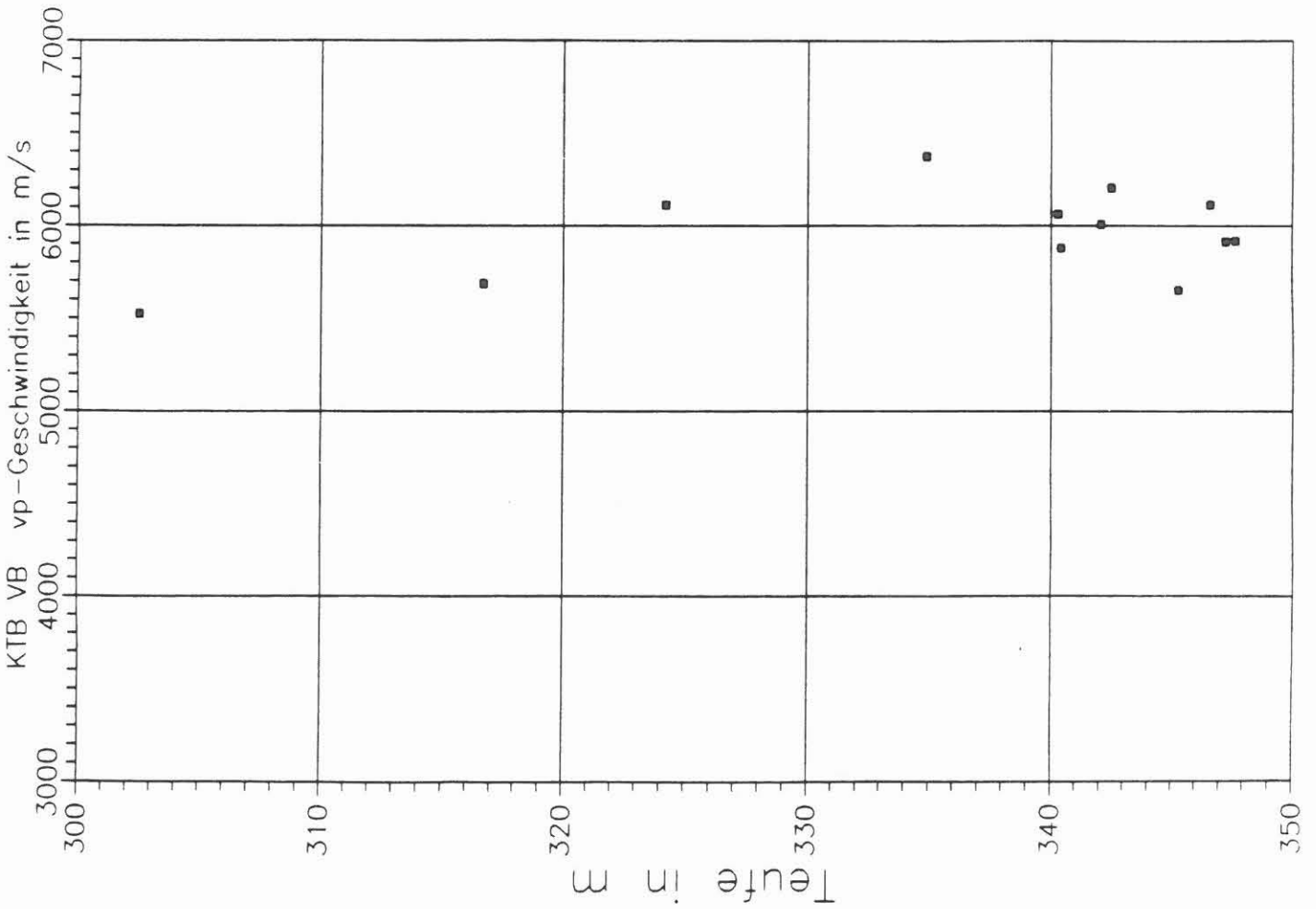


Abb. 3.3.a

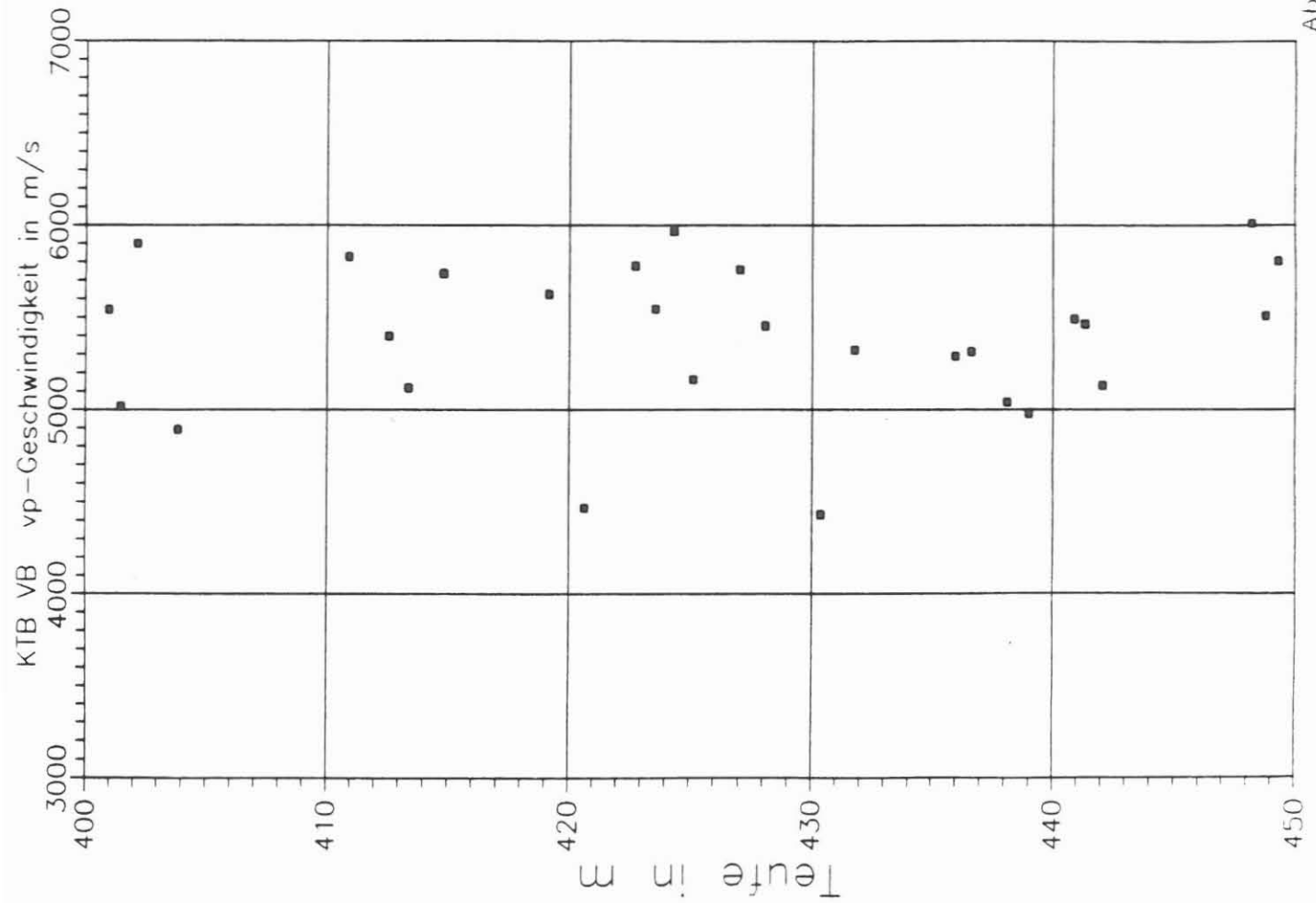
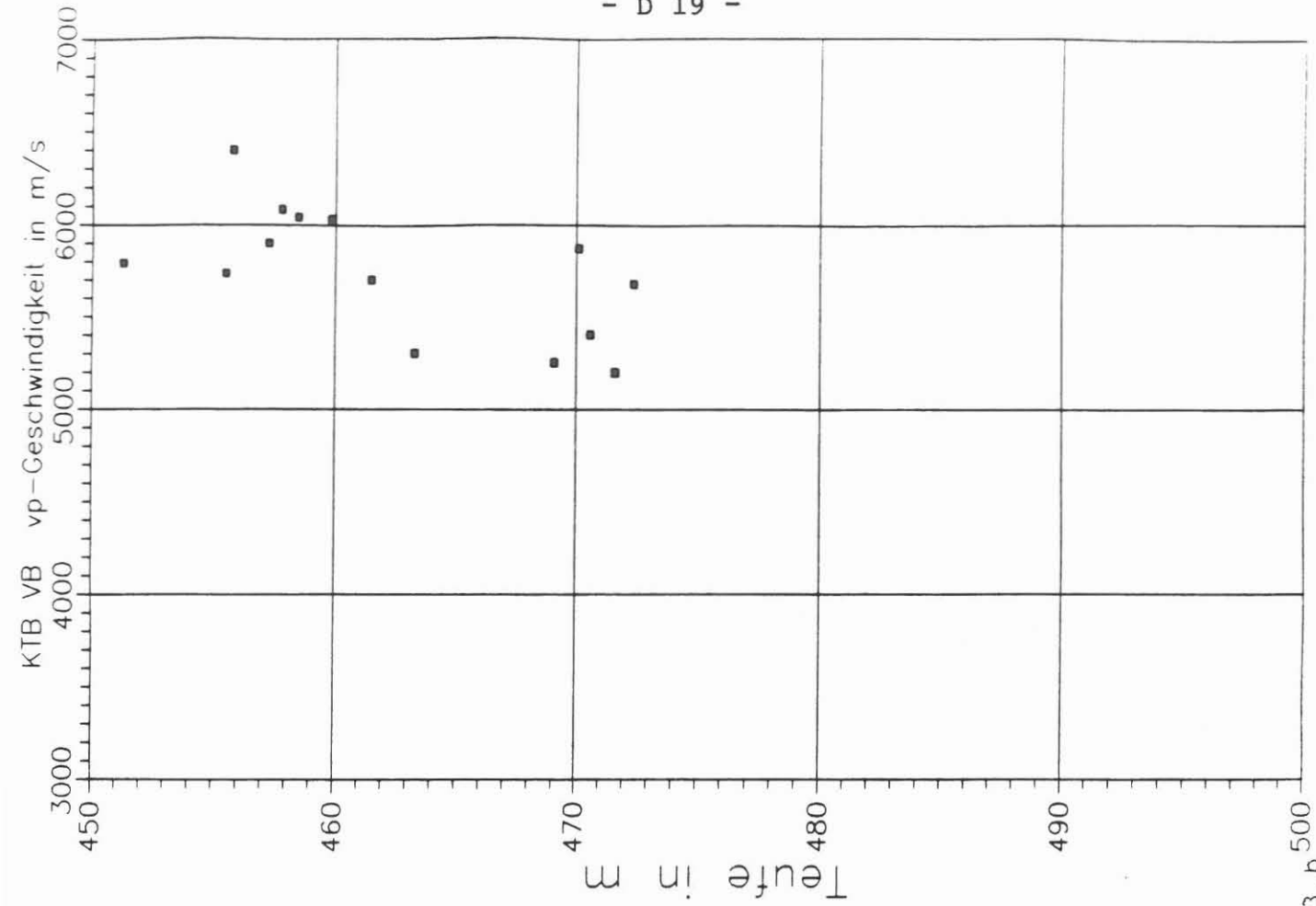


Abb. 3 . 3 . b

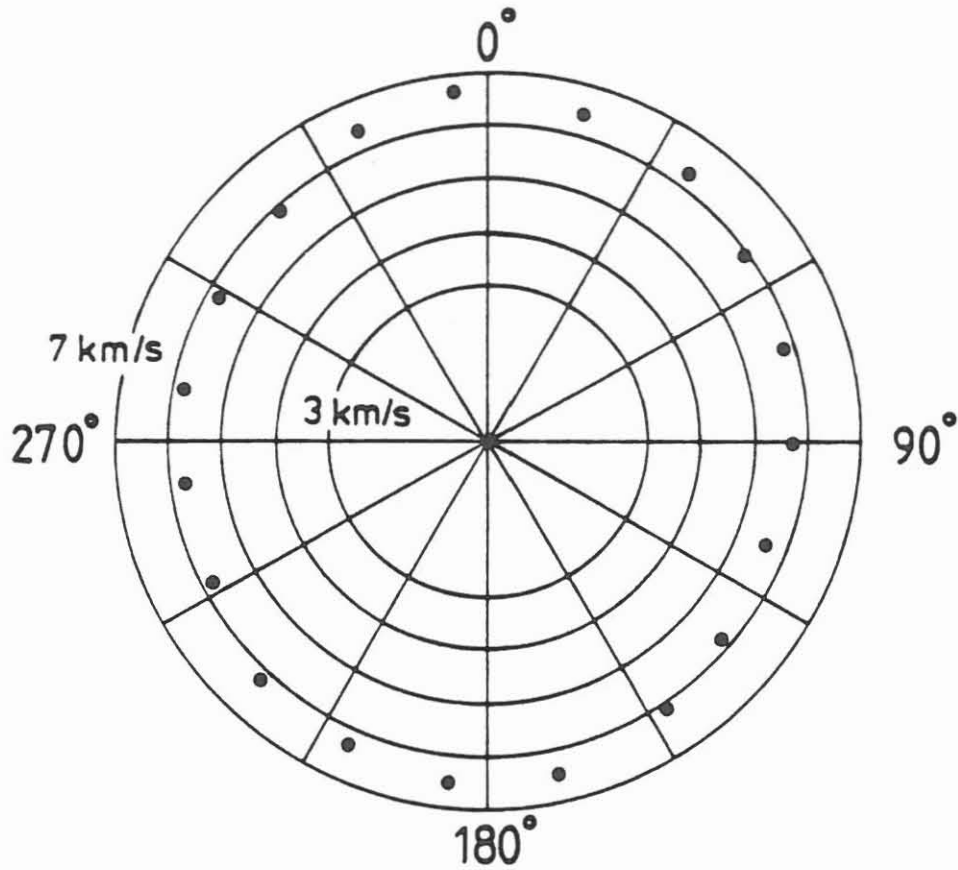


Abb. 3.4. Azimutale Anisotropie der P-Wellengeschwindigkeit.  
Kernstück 68F80 aus einer Teufe von 458 m.

Das Kernstück ist nicht orientiert, d.h. Azimut  $0^\circ$  ist zunächst eine willkürliche Richtungsvorgabe bis zur Nachorientierung des Bohrkernmaterials.

## 4. Natürliche remanente Magnetisierung der Bohrkerne (NRM)

### 4.1 Allgemeines

Für die Interpretation magnetischer Anomalien und für den Paläomagnetismus ist die Magnetisierung der Gesteine ein wichtiger Parameter. Sie setzt sich zusammen aus einem durch das heutige Erdmagnetfeld induzierten Anteil (proportional zur Suszeptibilität und parallel zum heutigen Erdfeld) und einem remanenten Anteil, der beliebig gerichtet sein kann.

Die Magnetisierung der Gesteine wird durch eine kleine Gruppe von natürlichen ferrimagnetischen Mineralien bestimmt, unter denen der Magnetit und die Titanomagnetite, der Hämatit und der Magnetkies zu den wichtigsten zählen.

Viele Vererzungszone sind mit Anreicherungen an Magnetit oder Magnetkies verbunden, sodaß durch Vermessung der Suszeptibilität im Bohrloch und an den Bohrkernen solche Zonen erkannt werden können.

Die ferrimagnetischen Erzkomponenten können auch eine remanente Magnetisierung tragen. Dadurch können vererzte Zonen erkannt werden. Die remanente Magnetisierung wird ebenfalls für paläomagnetische Untersuchungen vermessen und kann Aufschluß über das Alter von Gesteinsumbildungen geben.

Die magnetischen Messungen sind nicht destruktiv und können sowohl an unbehandelten Bohrkernen als auch an Kernfragmenten durchgeführt werden.

### 4.2 Meßprinzip

Zur Bestimmung der remanenten Magnetisierung der Bohrkerne wird das magnetische Streufeld in der Umgebung der Kerne in axialer und in radialer Richtung gemessen. Aus den gemessenen Feldkomponenten kann dann, mit bestimmten Einschränkungen und unter gewissen Voraussetzungen (z. B.  $\pm$  homogene Magnetisierung der Kerne), die remanente Magnetisierung der Bohrkerne berechnet werden. Bei nicht azimuthal orientierten Kernen kann außer dem Betrag der Magnetisierung nur die Inklination im terrestrischen Koordinatensystem angegeben werden.

### 4.3 Meßtechnik

Zur Messung der magnetischen Streufelder werden die Bohrkerne kontinuierlich mittels Schrittmotoren an Förstersonden in geeigneter Anordnung (Abb.4.1.) vorbeigezogen und schrittweise um  $360^\circ$  rotiert. Um induzierte Magnetisierungen und andere äußere Störungen möglichst gering zu halten, wird das Erdmagnetfeld durch eine 3-fach  $\mu$ -Metall-Abschirmung am Ort der Probe und der Sonden weitgehend abgeschirmt (Abb.4.2). Zusätzlich ist die gesamte Meßanordnung in Ost-West-Richtung orientiert. Die Meßwerte der Förstersonden werden über einen A/D-Wandler zusammen mit Angaben über die Teufe (durch die Schrittmotorensteuerung) und die Geometrie der Kerne in einen PC-Rechner übertragen und für eine erste Bewertung gleich anschließend graphisch dargestellt. Mit einem Rechenprogramm und Eichfaktoren (erhalten aus

künstlichen, definiert magnetisierten Gips-Basaltsand-Kernen) werden die gemessenen Werte in Magnetisierungswerte umgerechnet, ausgedruckt und für die weitere Verwendung auf Disketten gespeichert. Ein Graphik-Programm ermöglicht die Darstellung der aus den Meßwerten berechneten Magnetisierungen und Inklinationen gegenüber der Teufe in frei wählbaren Maßstäben (z.B. 1:200).

Die am Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München entwickelte Apparatur zur automatisierten Vermessung der magnetischen Streufelder von Bohrkernen hat sich auch im Dauerbetrieb bewährt. Die derzeit erreichbare Empfindlichkeit von ca. 1 nT kann als zufriedenstellend angesehen werden.

#### 4.4 Beschreibung der Ergebnisse

Die ersten vorläufigen Meßergebnisse aus der Tiefbohrung KTB Oberpfalz VB bis zu einer Teufe von 478.5 m liegen inzwischen vor. Allerdings konnte durch Kernverluste und aufgrund teilweise schlechter Konsistenz der Bohrkern der Teufenbereich nicht gleichmäßig vermessen werden; zum Teil konnten auch über ganze Teufenabschnitte keine Meßwerte gewonnen werden (Lücken in den Diagrammen), da die Bohrkern zu schwach magnetisiert waren, um mit der Meßanordnung noch auswertbare Daten zu liefern (NRM < 5 mA/m). Aufgetragen wurden daher nur NRM-Werte > 5 mA/m.

Die mittlere Magnetisierung der Bohrkern liegt bei ca. 0.3 A/m (vgl. Abb. 4.3). Besonders hohe Magnetisierungswerte wurden im Teufenbereich von 200-300 m gemessen mit Werten von über 10 A/m. Die Ursache für diese hohen Magnetisierungen muß durch Spezialuntersuchungen und durch Korrelation mit den Ergebnissen der Erz-mikroskopie geklärt werden.

Die mittlere Inklination der NRM der Bohrkern liegt relativ steil bei ca 80°. Diese steilen Inklinationen könnten möglicherweise mit dem in der Bohrung häufig angetroffenen steilen Lagenverband korrespondieren. Ein Vergleich mit der Auswertung der Gefügeuntersuchungen sollte hier Aufklärung bringen. Es ist aber auch nicht auszuschließen, daß die steilen Inklinationen zum Teil durch das Kernrohr bei der Kernentnahme verursacht werden.

Auffallend in der Darstellung der Inklination mit der Teufe (Abb. 4.5) sind einige Bereiche mit negativer Inklination (bei 70 m, 115 m, 225 m und 395 m). Ob aufgrund dieser negativen Inklinationen auf eine inverse Magnetisierung der entsprechenden Bohrkern geschlossen werden kann, muß noch durch spezielle Untersuchungen geklärt werden. Möglicherweise ist es hier zu Fehlern bei den Kernorientierungen (oben und unten vertauscht) gekommen, was noch überprüft werden muß.



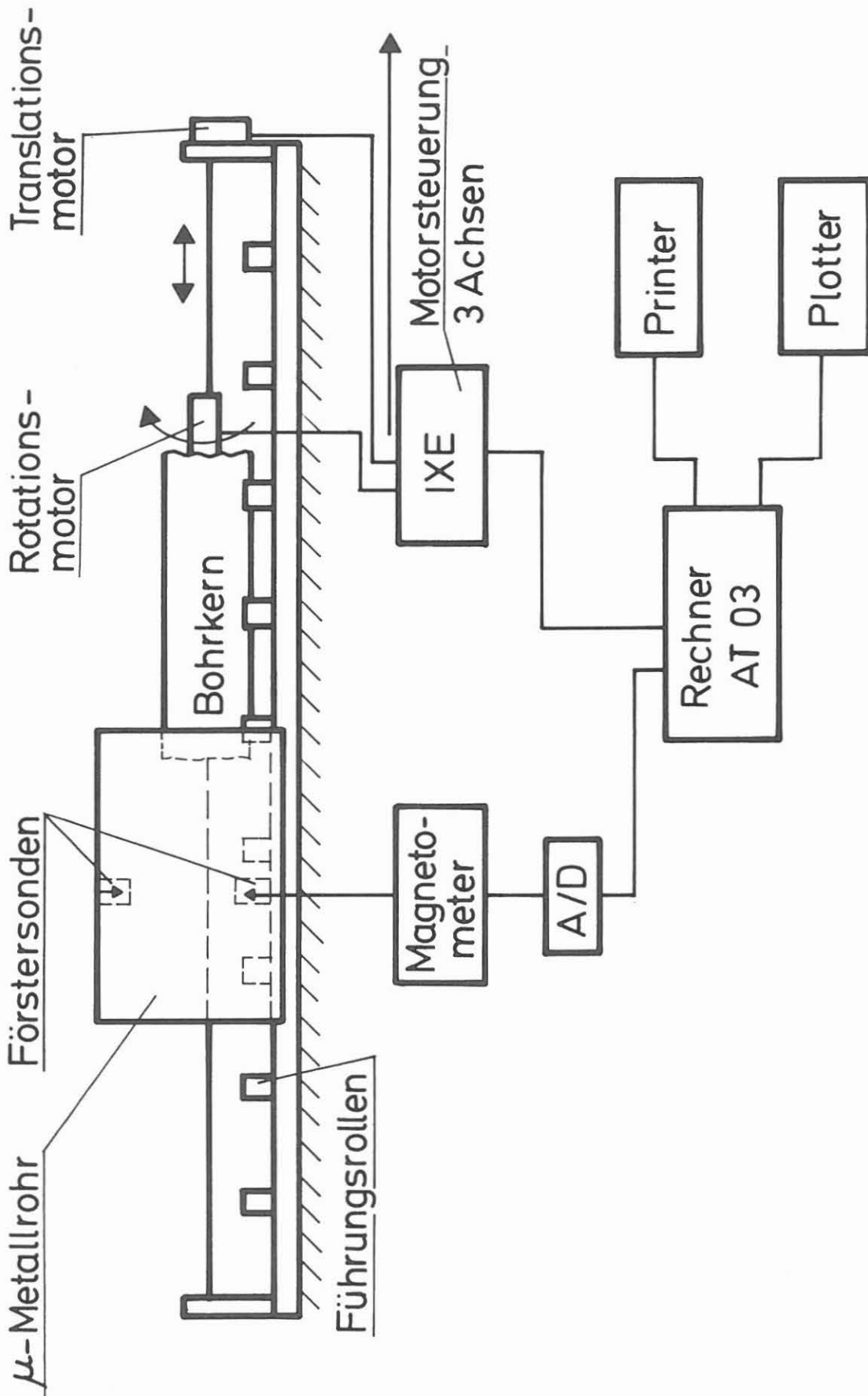


Abb. 4.1: Schematischer Aufbau zur Messung der remanenten Magnetisierung von Bohrkernen.

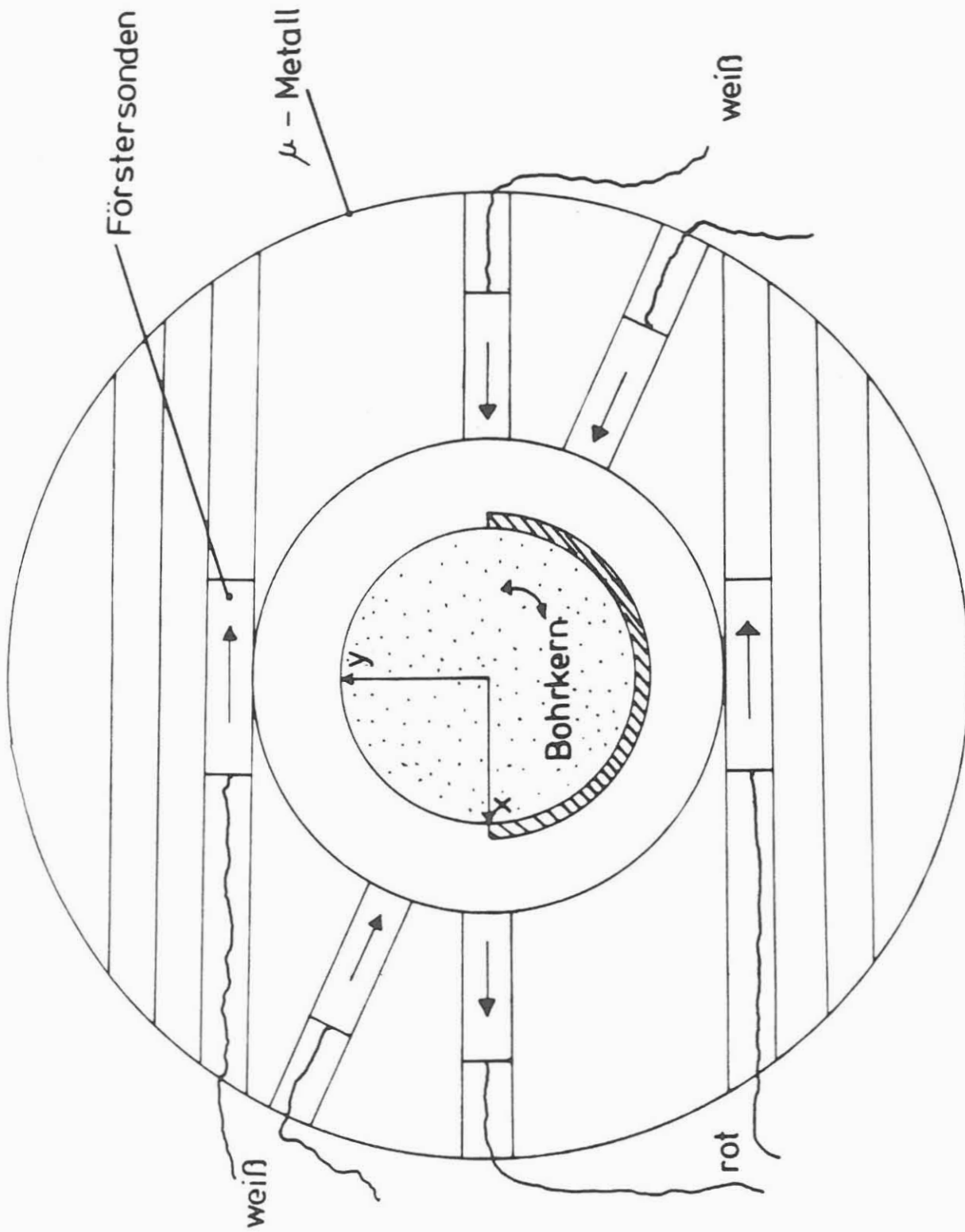


Abb. 4.2. Anordnung der Förstersonden in der Apparatur zur Messung der remanenten Magnetisierung von Bohrkernen.

KTB VB NRM in mA/m

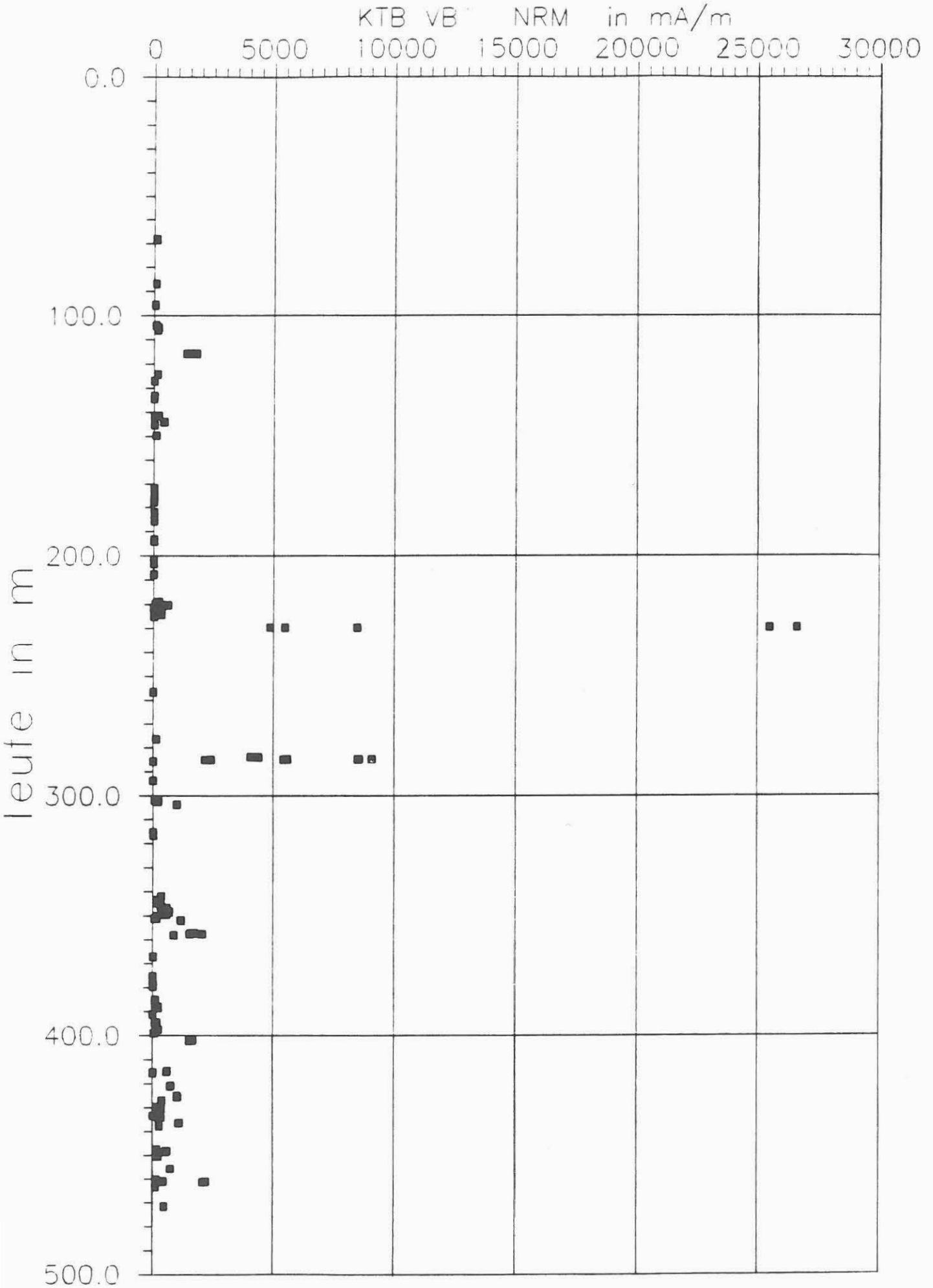


Abb. 4.3.

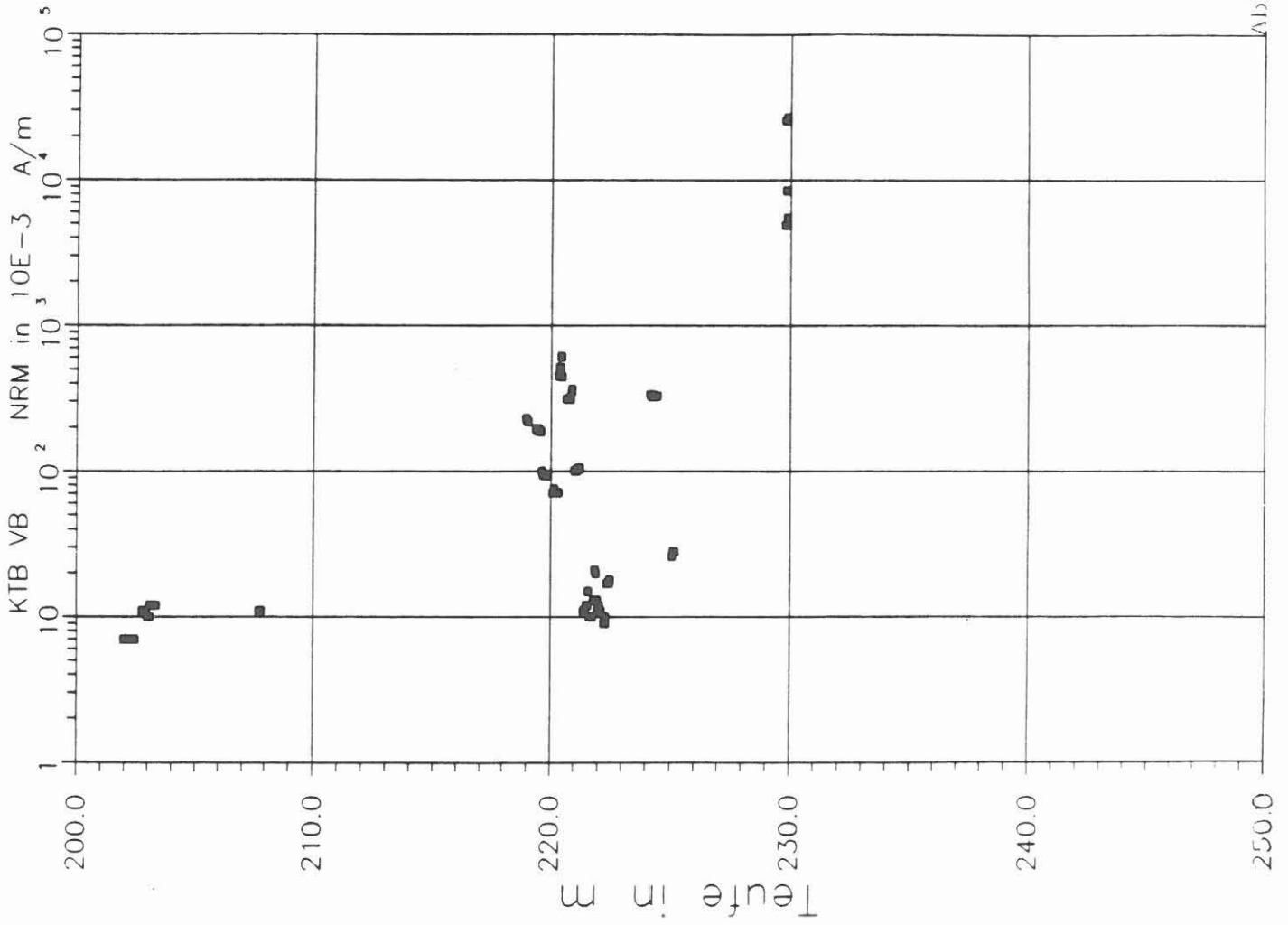
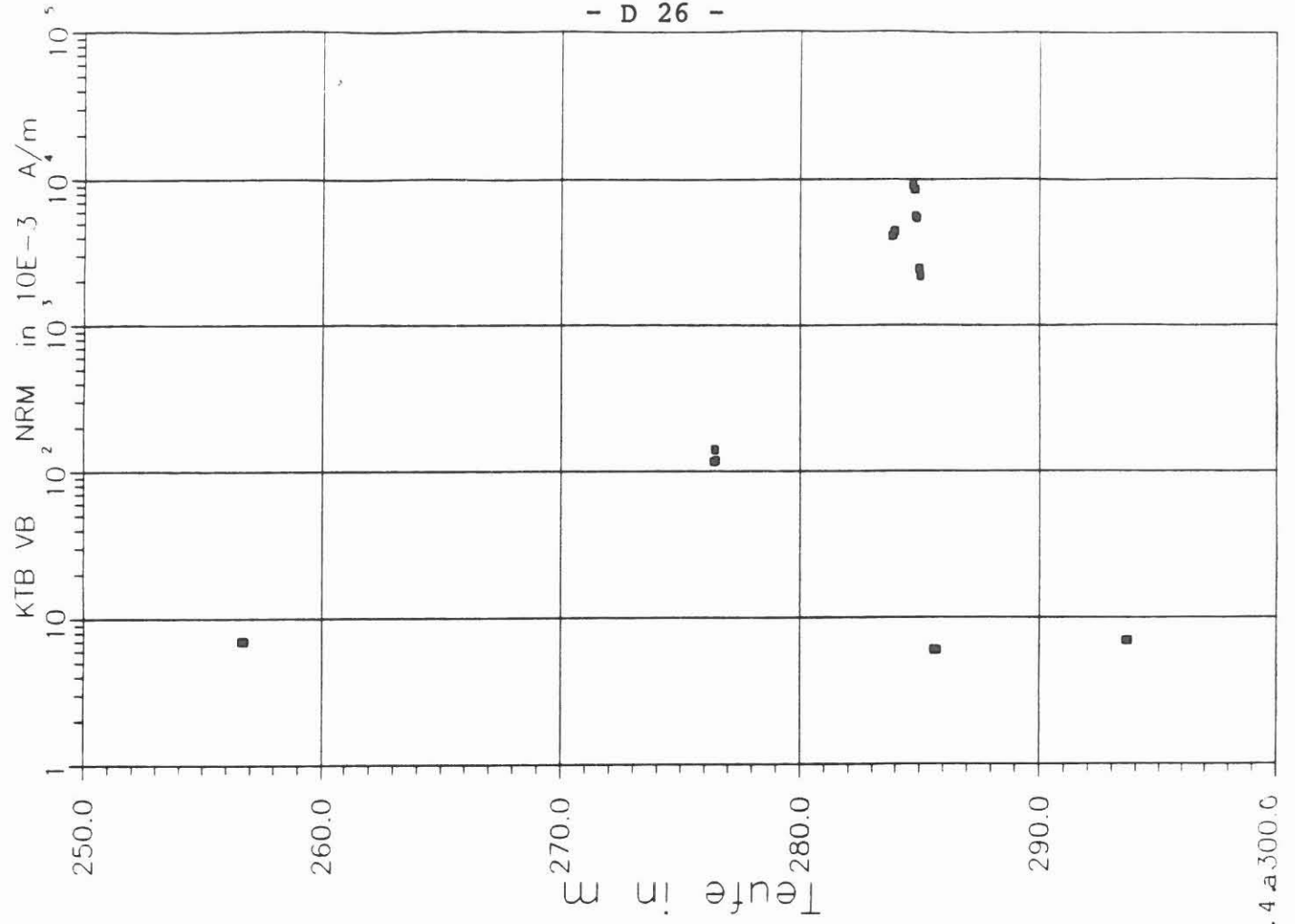


Abb. 4.4 a 300.0

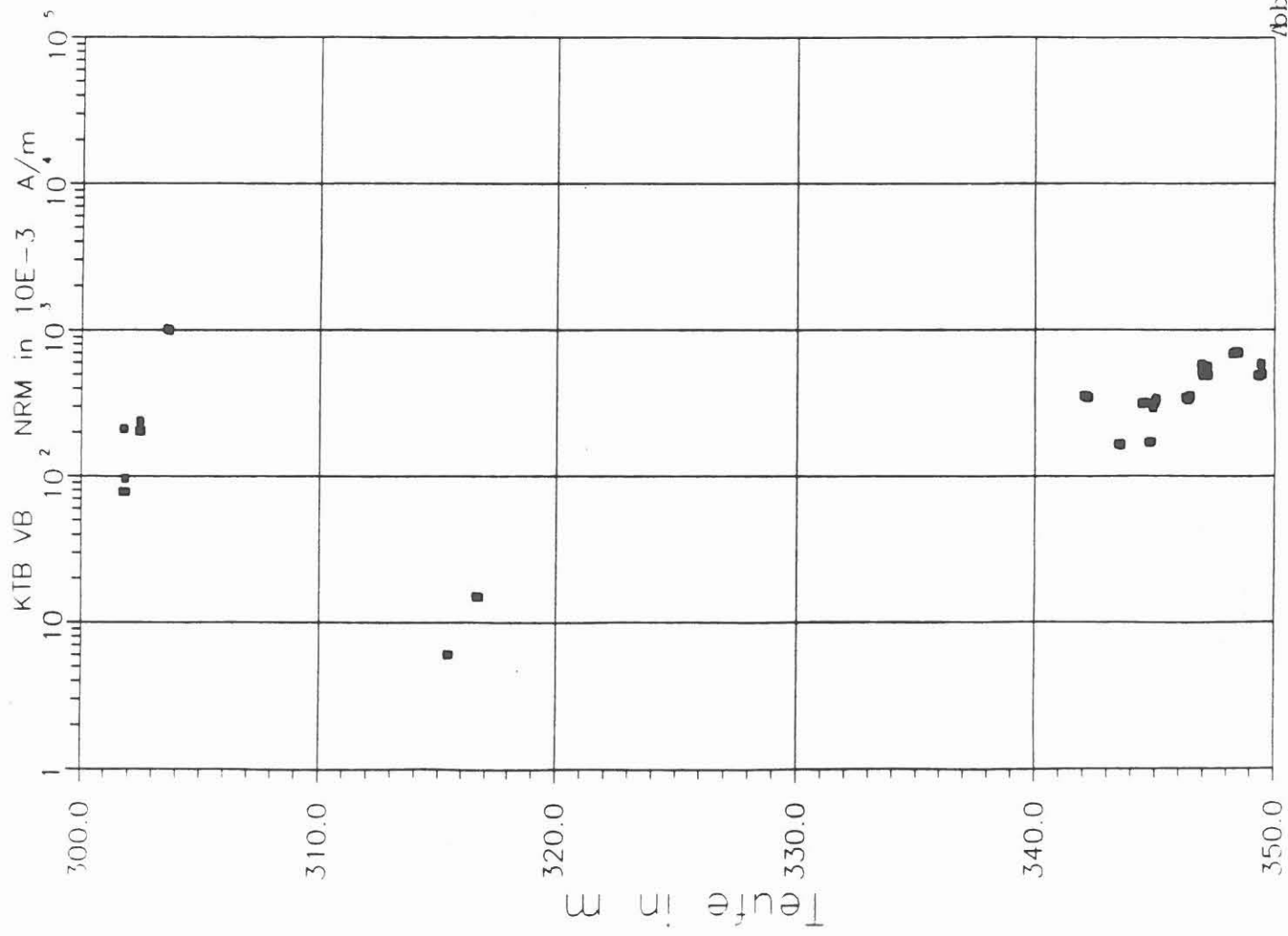
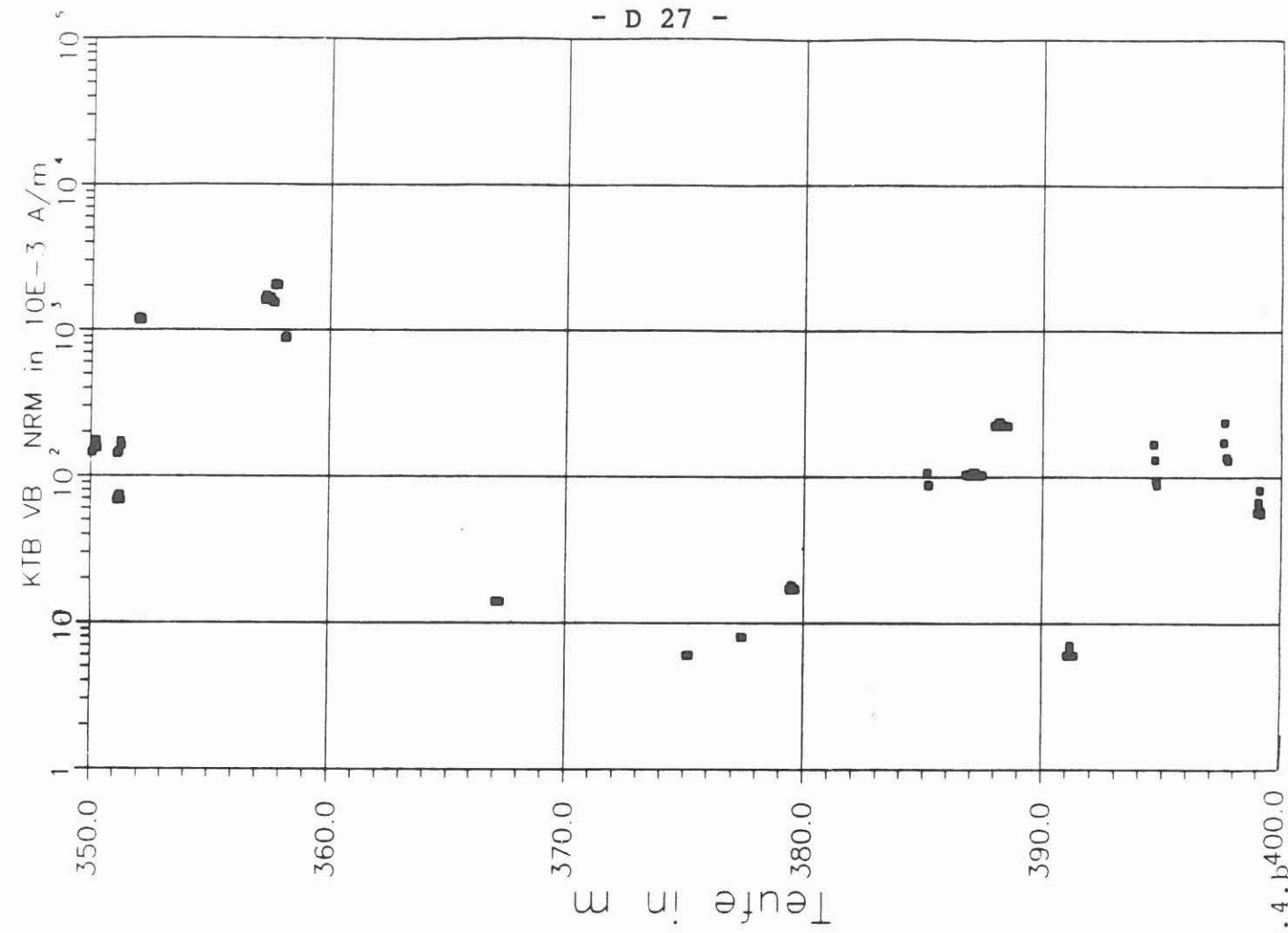


Abb. 4.4.4.b400.0

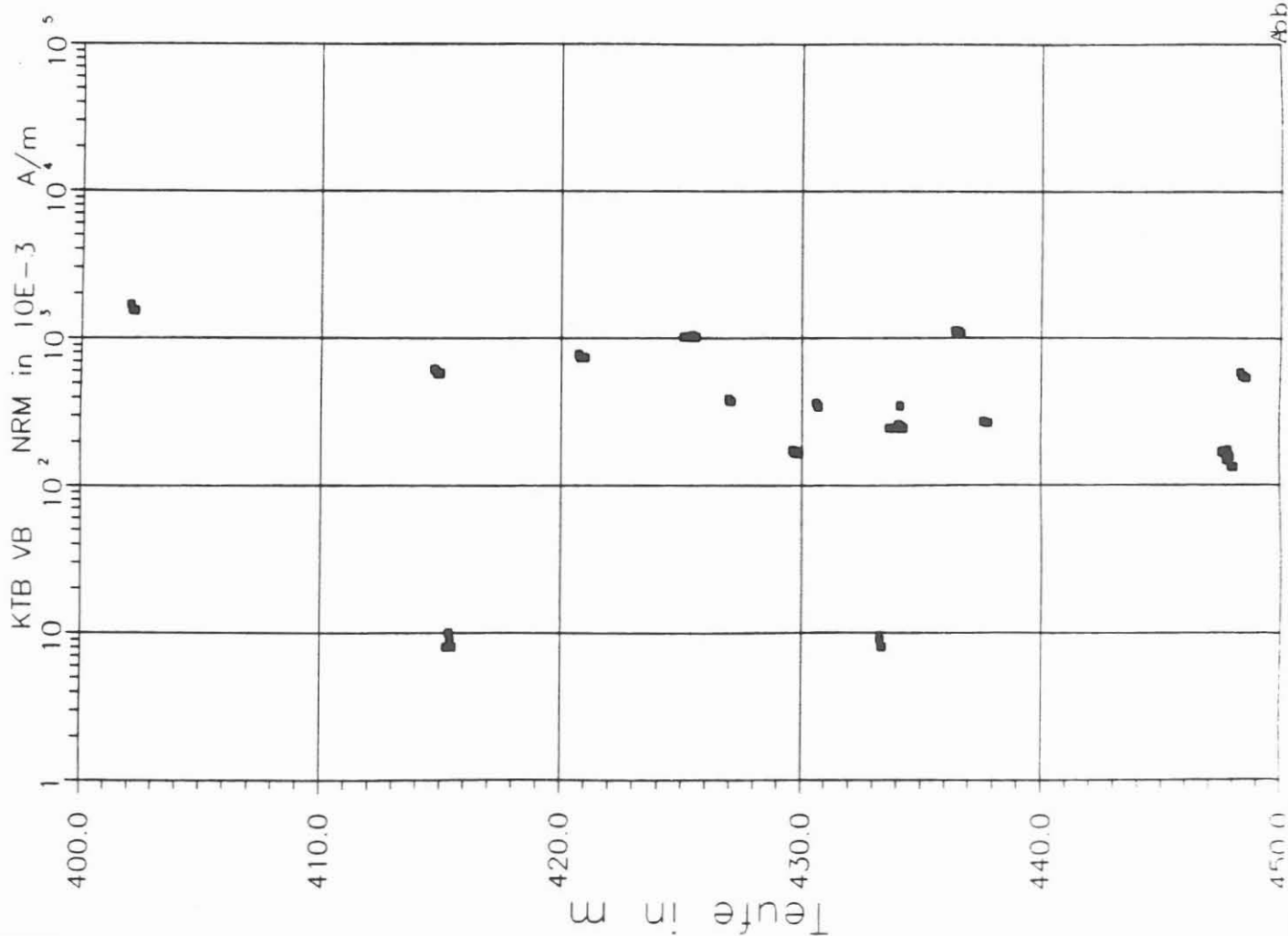
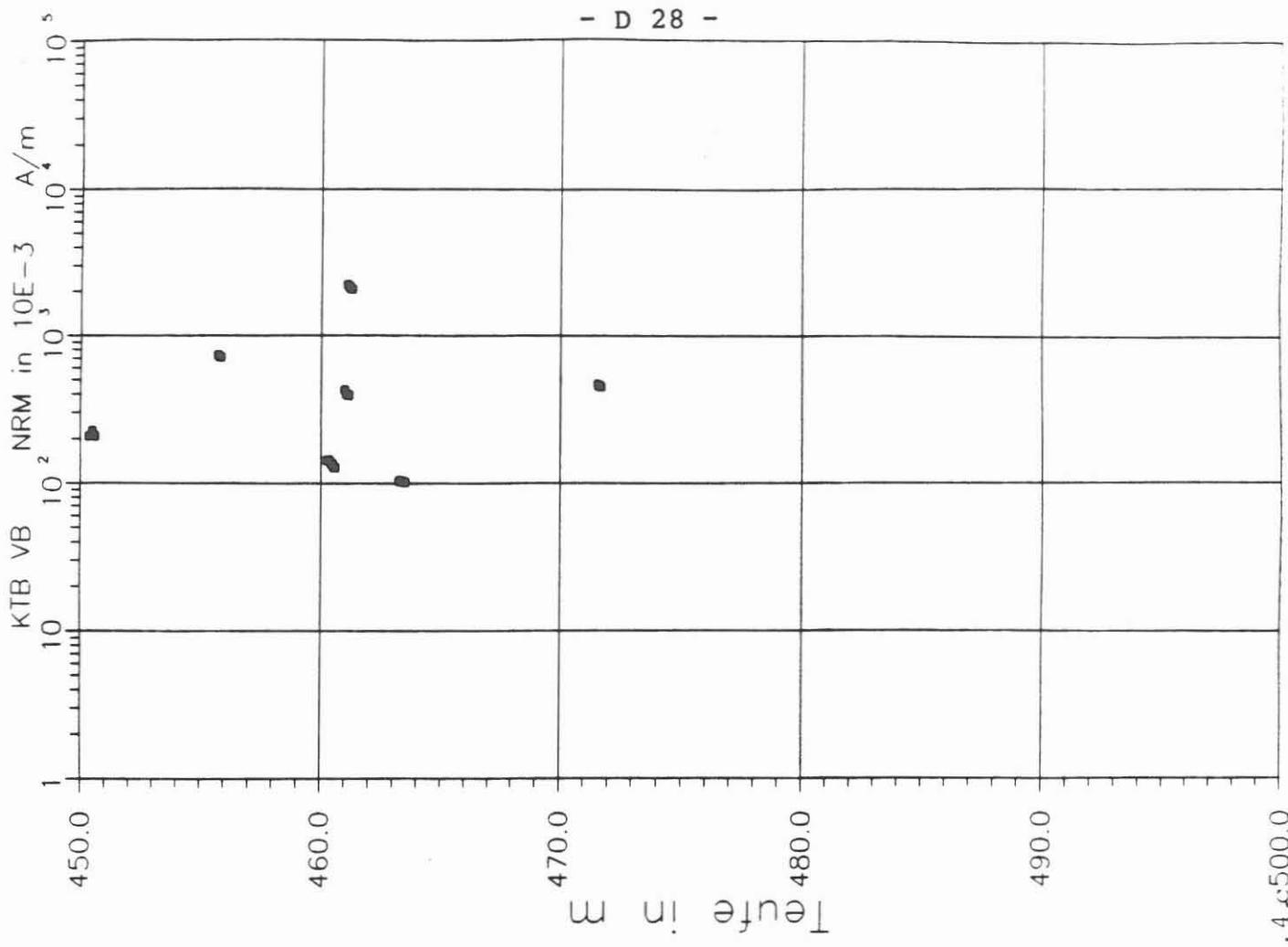


Abb. 4.4 c500.0

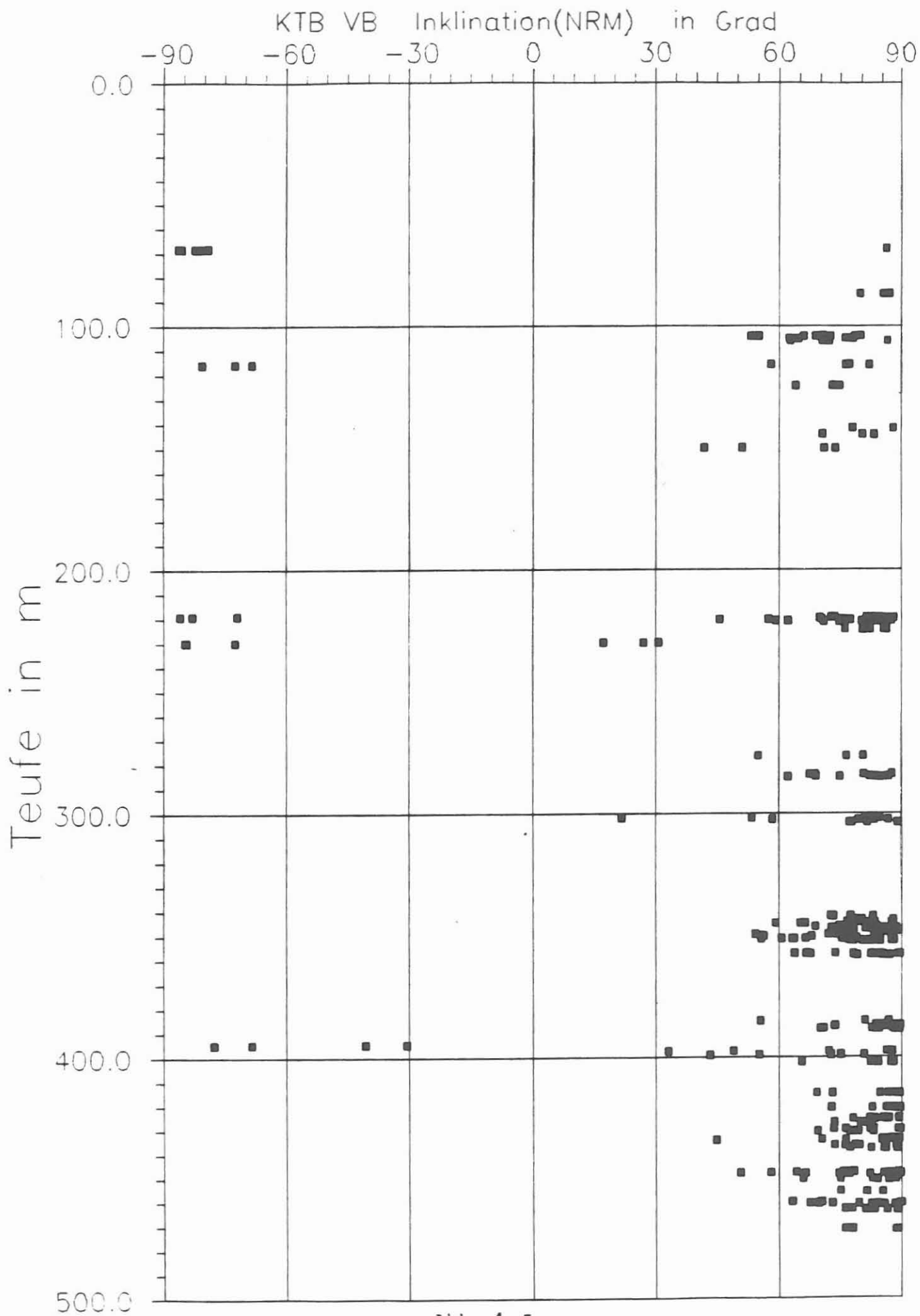


Abb. 4.5.



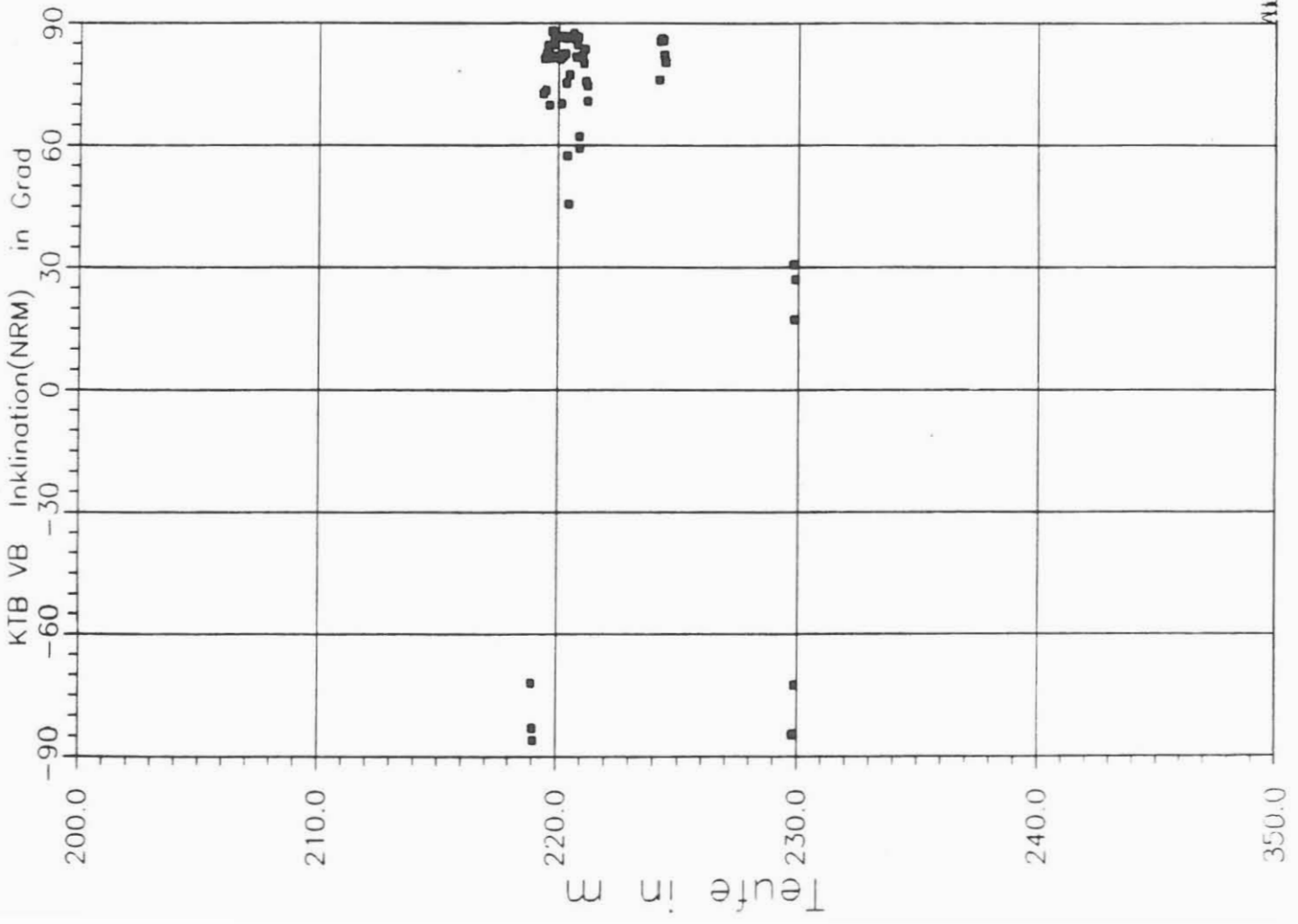
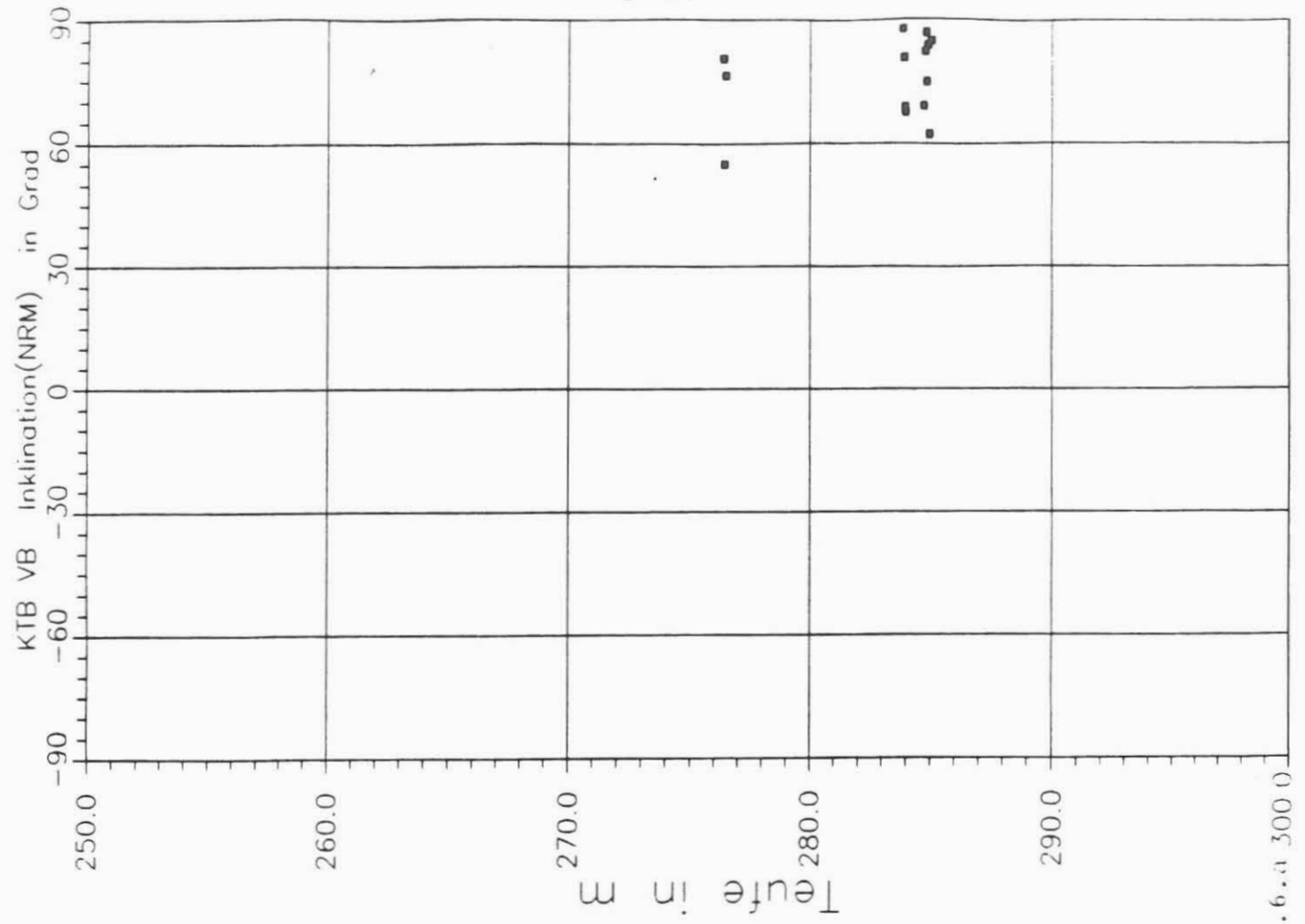


Abb. 4.6.a) 300.0

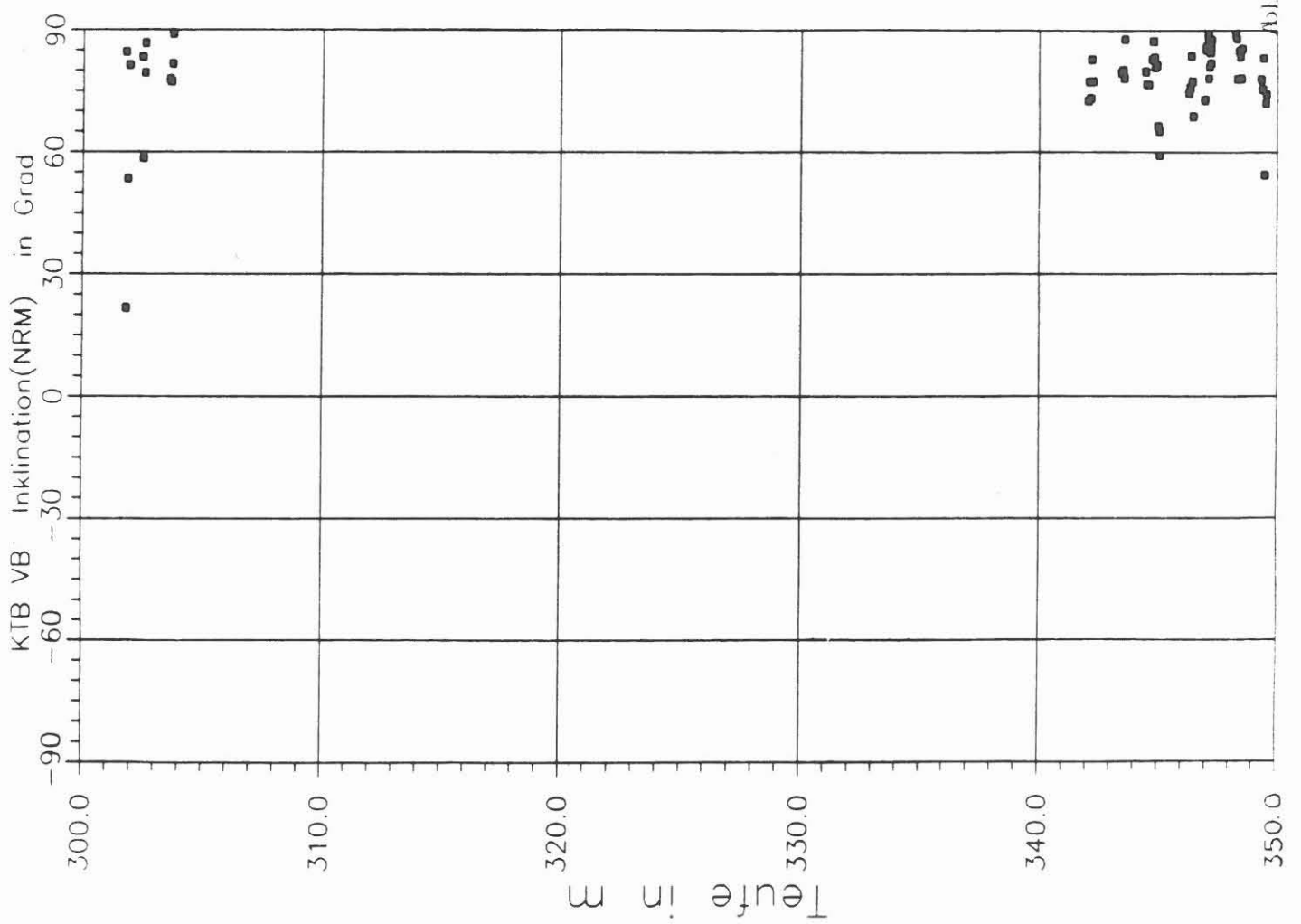
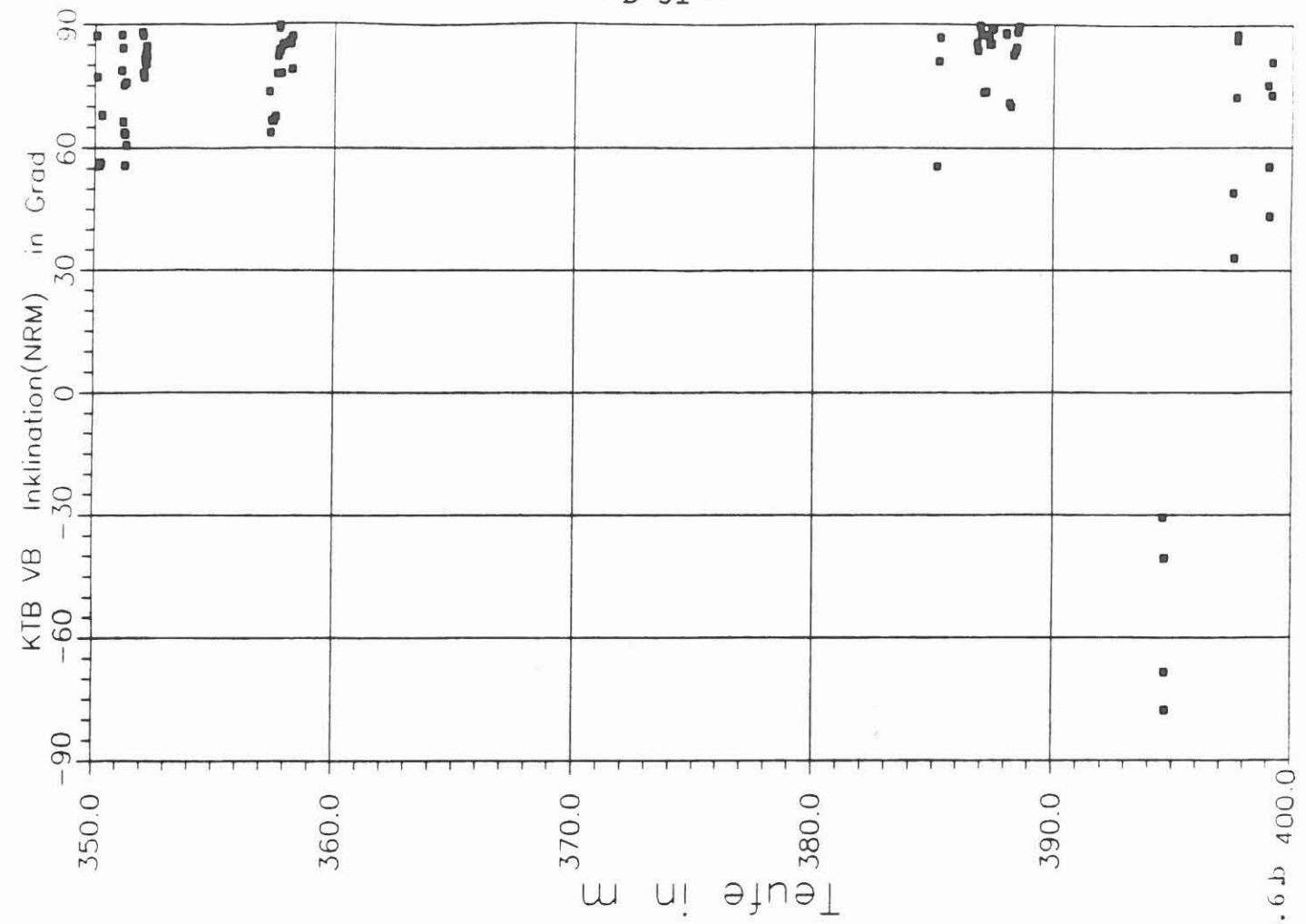


Abb. 4.6b

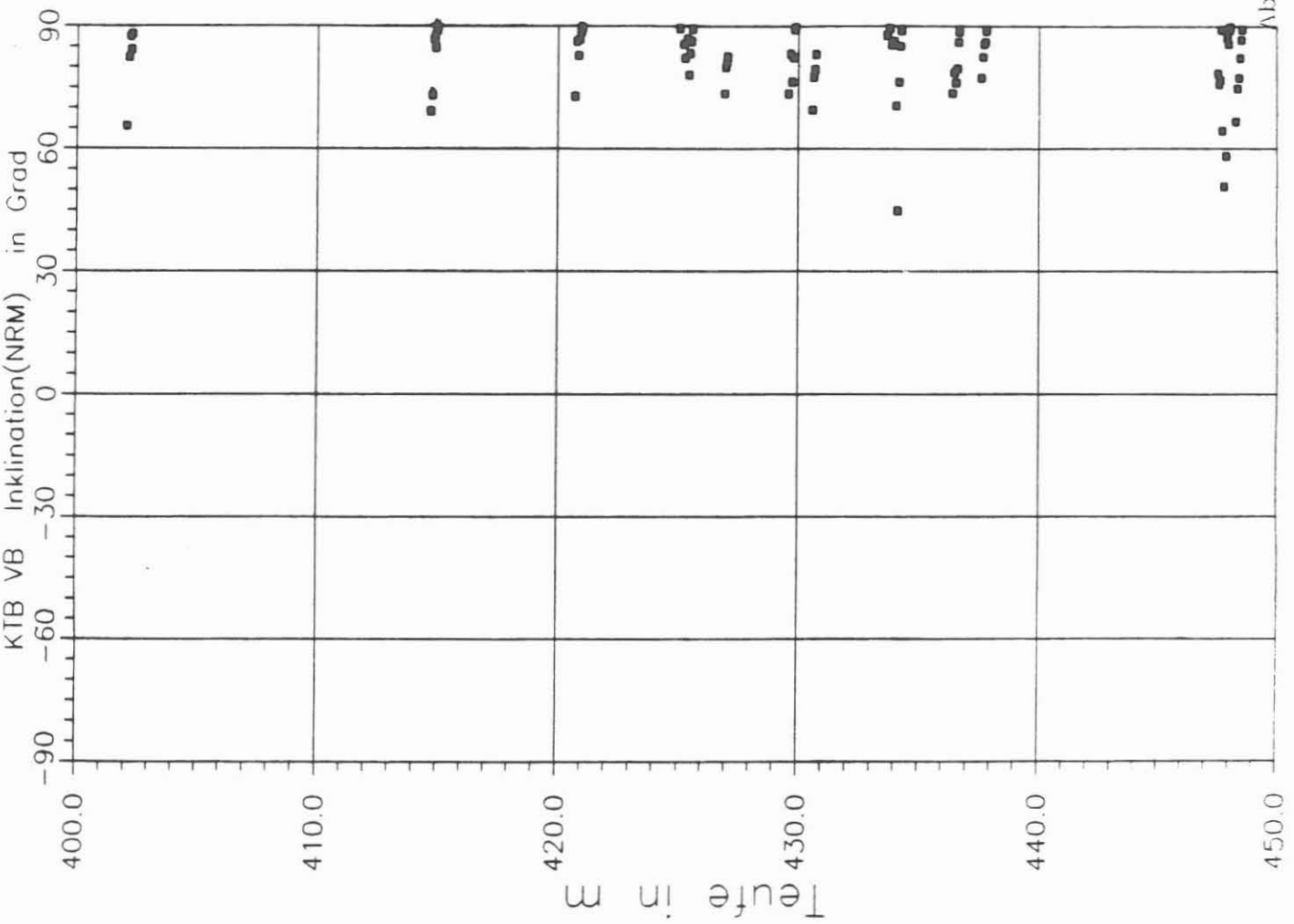
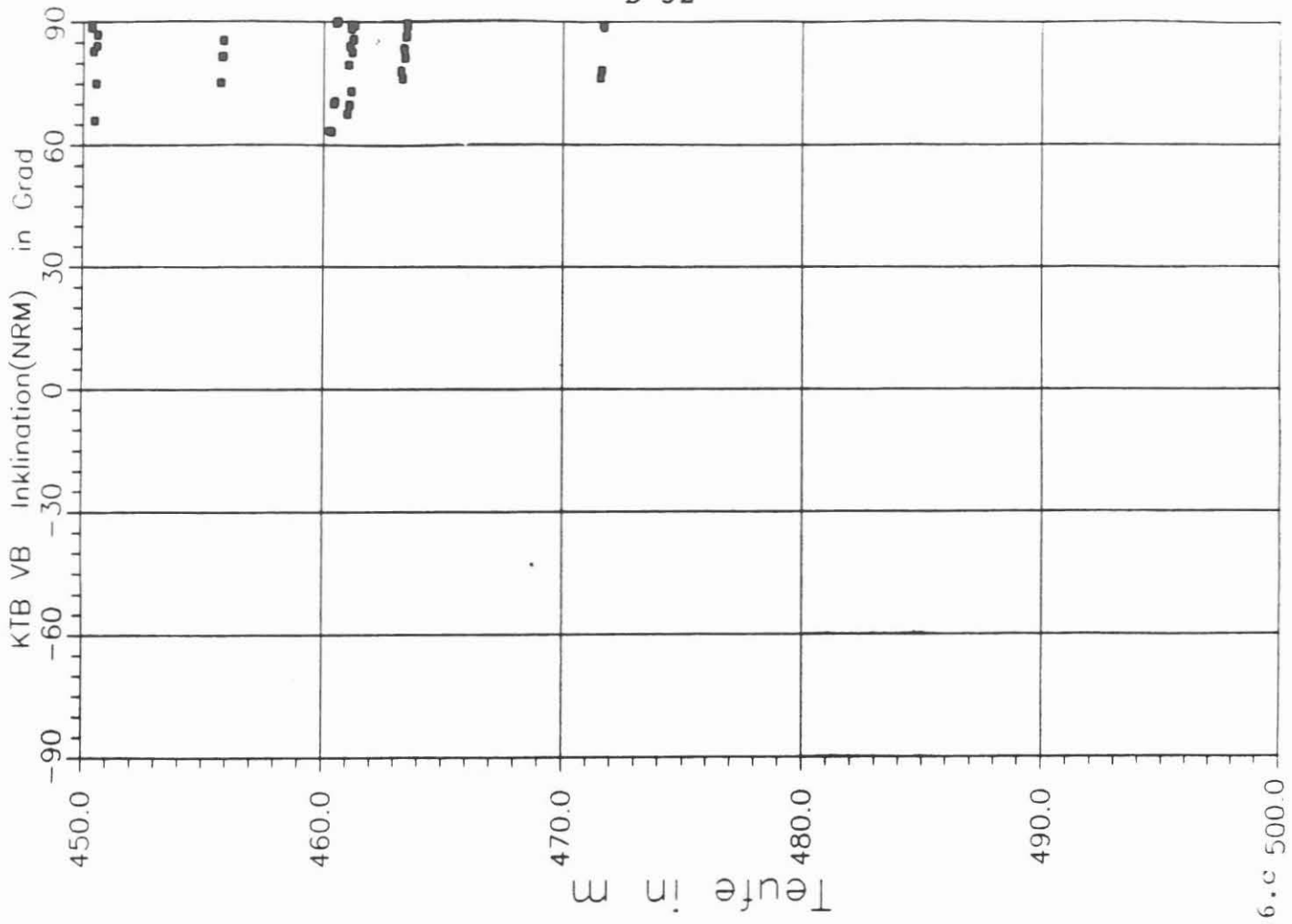


Abb. 4.6.c 500.0

## 5. Magnetische Suszeptibilität

### 5.1. Meßprinzip

Die Suszeptibilität sowohl an Bohrkernen als auch an Bohrklein wird über das gleiche Meßgerät (Kappameter M.S.2. der Firma Bartington) registriert. Dieses Gerät arbeitet induktiv. Die Probe wird in den Einflußbereich einer Spule gebracht; in Abhängigkeit von der Suszeptibilität der Probe wird die Induktivität der Spule verändert und damit ein Schwingkreis verstimmt. Dieser Effekt ist ein Maß für die zu messende Suszeptibilität.

### 5.2. Suszeptibilitätsmessungen an Bohrkernen

Für die Messungen wird ein Sensor in Form einer Spule verwendet (Innendurchmesser 133 mm), durch die der Bohrkern geschoben wird. Die Meßpunktabstände liegen bei 1 cm über den gesamten Kern. Sowohl die Steuerung der Messung über Schrittmotoren als auch die Meßwerterfassung und Abspeicherung auf Diskette erfolgt rechnerunterstützt (Siehe Abb. 5.1.). Nach Normierung auf den Kerndurchmesser wird der Meßwert als Suszeptibilität in SI-Einheiten abgespeichert.

Aus einem auf diese Weise erhaltenen Profil werden ein oder auch mehrere charakteristische Werte mit der zugehörigen Teufe abgelesen und dann in Form eines Logs dargestellt. In der Abbildung 5.2. ist das Übersichts-Log der Kerne im Teufenmaßstab 1:2000 und in linearer Darstellung der Suszeptibilitäten gezeigt.

Auf den ersten Blick fällt ein starkes Maximum bei ca. 118 m auf. Hier liegt die Suszeptibilität bei etwa 0.15 SI-Einheiten. Im Teufenbereich von etwa 105 m bis 150 m lassen sich einige sehr ausgeprägte Maxima erkennen. Lithologisch durchteuft die Bohrung hier einen Bereich mit kalifeldspatreichen Amphiboliten, die teilweise sehr hohe Magnetit-Gehalte aufweisen. In größeren Teufen unterhalb 150 m sind die Schwankungen der Suszeptibilität wesentlich kleiner, auch die hier auftretenden Maxima liegen deutlich unter den hohen Suszeptibilitäts-Werten bei ca. 118 m Teufe.

In den Abbildungen 5.4.a bis 5.4.e sind die Suszeptibilitäten von Bohrkernen und Bohrklein in ein gemeinsames Log im vergrößerten Teufenmaßstab eingetragen. In dieser logarithmischen Darstellung lassen sich auch die schwachen Suszeptibilitäten mit Werten  $< 0.001$  SI-Einheiten auflösen.

### 5.3. Suszeptibilitätsmessungen an Bohrklein

Die Bohrklein-Proben liegen in Form von getrockneten Mischproben vor. Mit diesen Mischproben werden kleine (ca. 8.5 cm<sup>3</sup> große) Kunststoffbehälter gefüllt und der Inhalt gewogen. Ein spezieller Sensor des Suszeptibilitäts-Meßgerätes ist für die Aufnahme dieser genormten Döschen vorgesehen.

Die so erhaltenen Meßwerte werden auf ein bestimmtes Volumen normiert und stellen dann die Volumen-Suszeptibilität oder einfach die Suszeptibilität in SI-Einheiten dar. Aus den ebenfalls ermittelten Probengewichten können auch Massen-Suszeptibilitäten (durch Normierung auf die Probenmasse) angegeben werden. Die Meßpunktabstände betragen in der Regel 1 Meter, entsprechend dem angelieferten Probenmaterial des gewaschenen, gesiebten und getrockneten Bohrkleins.

Die Abbildung 5.3. zeigt die Werte der Suszeptibilität, gemessen an Cuttings in einem Übersichts-Plot im Teufenmaßstab 1:2000. Auch hier fällt zunächst der Bereich von 105 m bis etwa 150 m als ein Bereich mit stark wechselnden Werten auf. Der größte Suszeptibilitäts-Wert ist bei etwa 122 m erreicht, und liegt damit um ca. 4 m unter der Teufe für das Maximum aus den Messungen an den Kernen. Diese Differenz in der Teufe läßt sich gut mit dem Kernverlust erklären, der bei diesem Kernmarsch immerhin bei 6.88 m liegt. Außerdem liegt das Maximum um fast den Faktor 10 unter dem Betrag des Maximums aus den Kernmessungen. Dies ist wiederum mit den Eigenschaften der Mischproben erklärbar, die ja stets einen größeren Teufenbereich umfassen. Dadurch können bei den Bohrklein-Messungen geringmächtige Lagen von Materialien mit erhöhter Suszeptibilität schlechter erfasst werden. Vermutlich aus dem gleichen Grund ist das Bohrklein-Diagramm in Teufen über ca. 150 m wesentlich gleichförmiger und zeigt wesentlich weniger deutliche Peaks als das Log der Kerne.

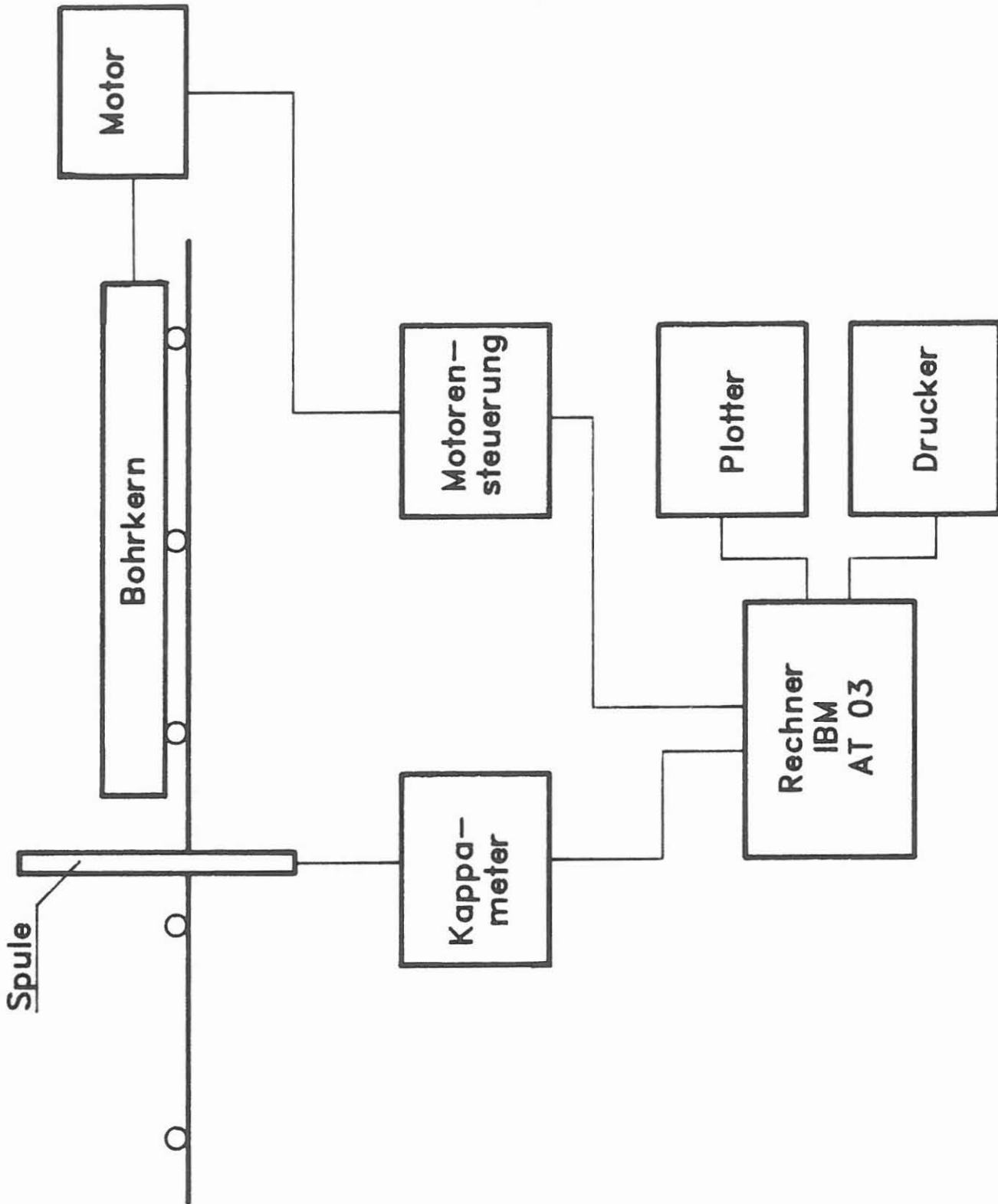


Abb. 5.1.: Schematischer Aufbau zur Messung der magnetischen Suszeptibilität von Bohrkernen.

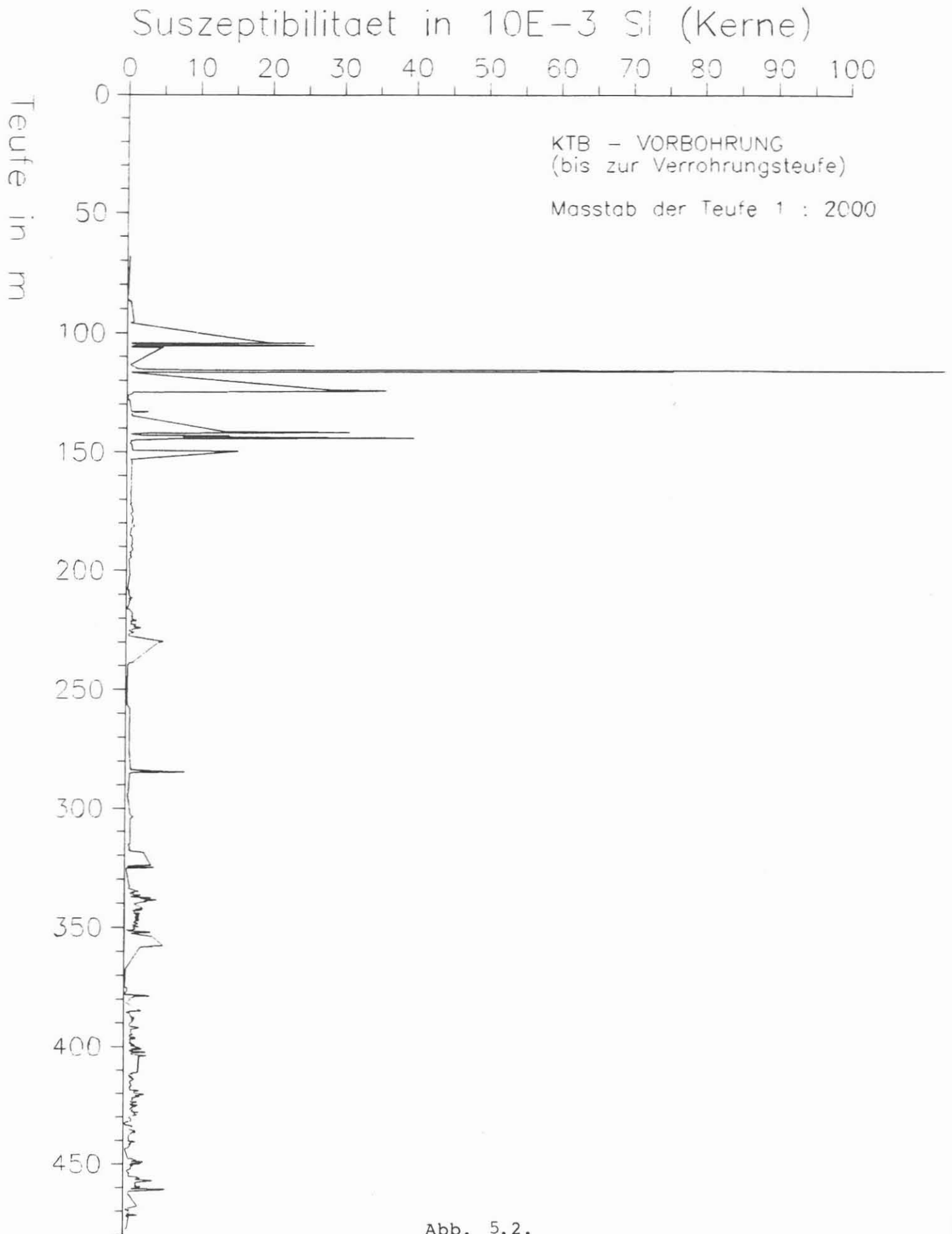


Abb. 5.2.



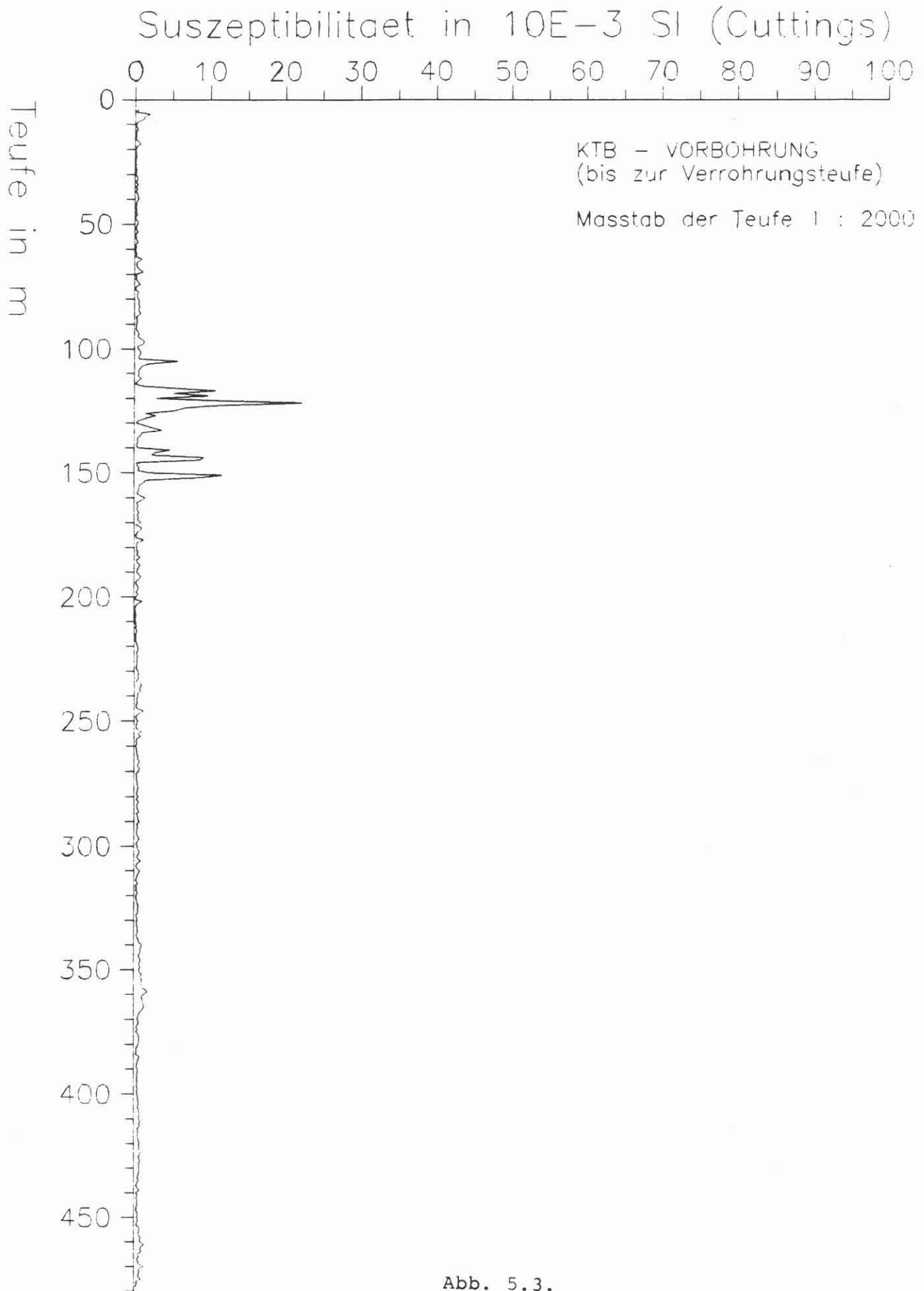


Abb. 5.3.

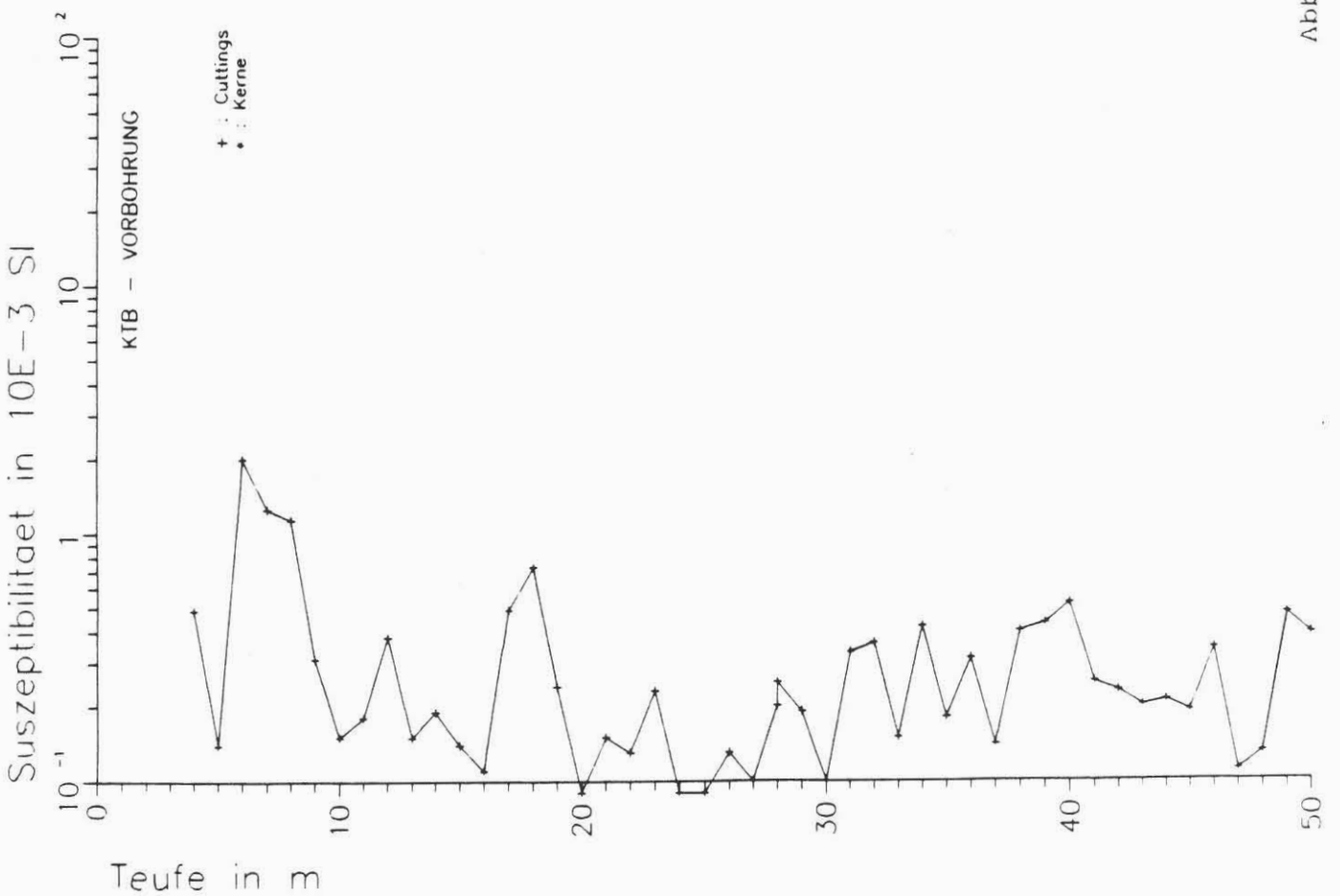
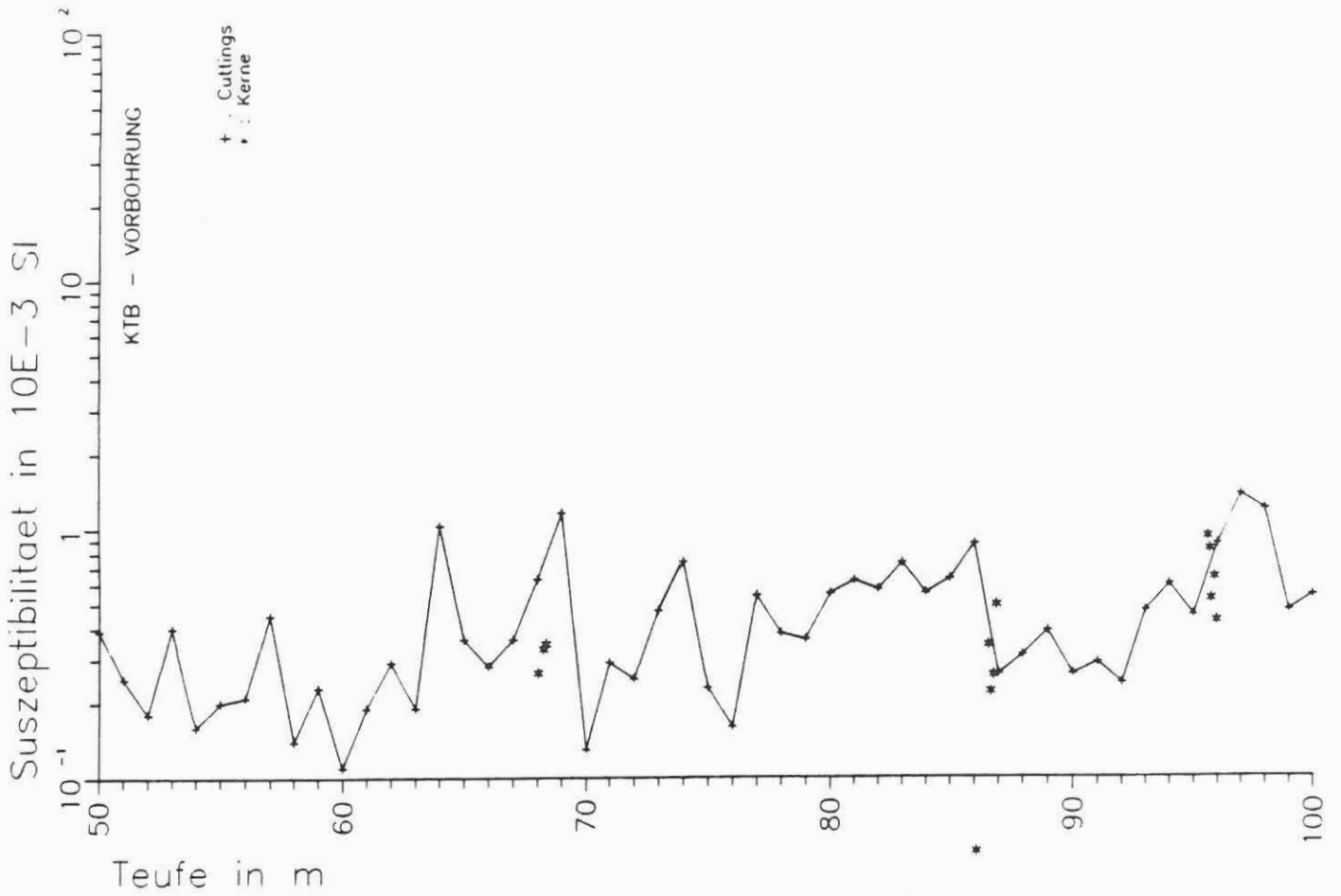


Abb. 5.4. a

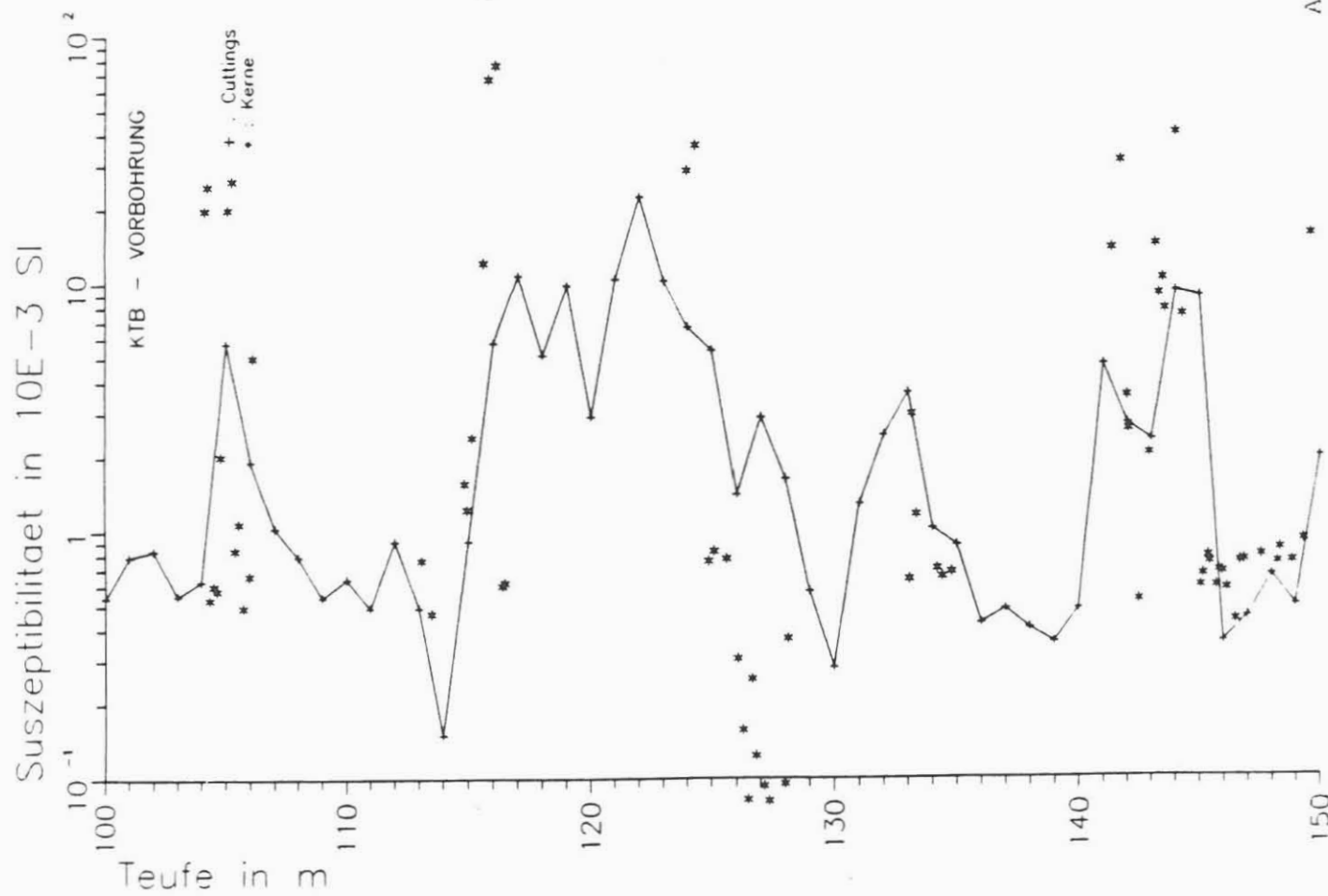
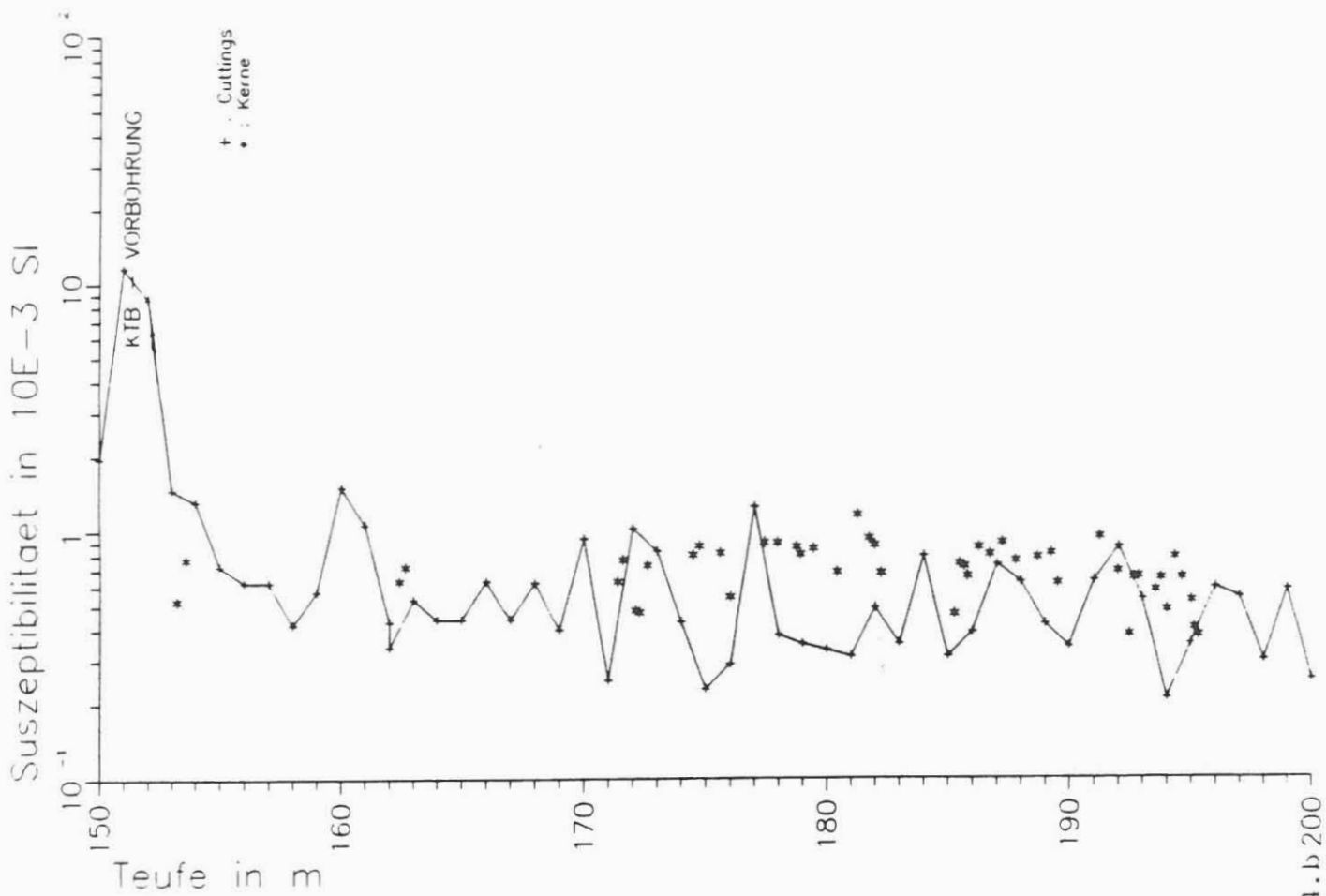


Abb. 5.4.b 200

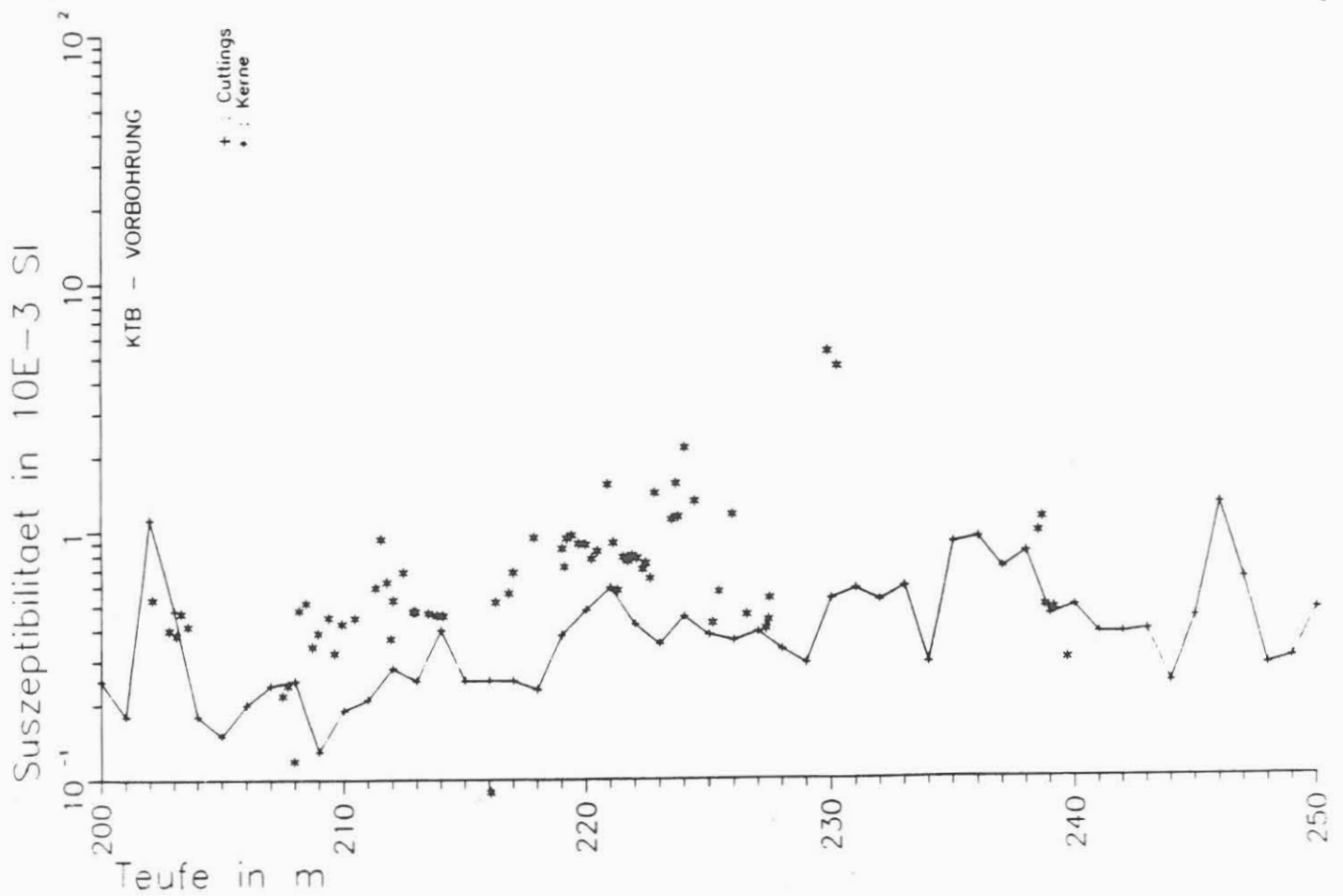
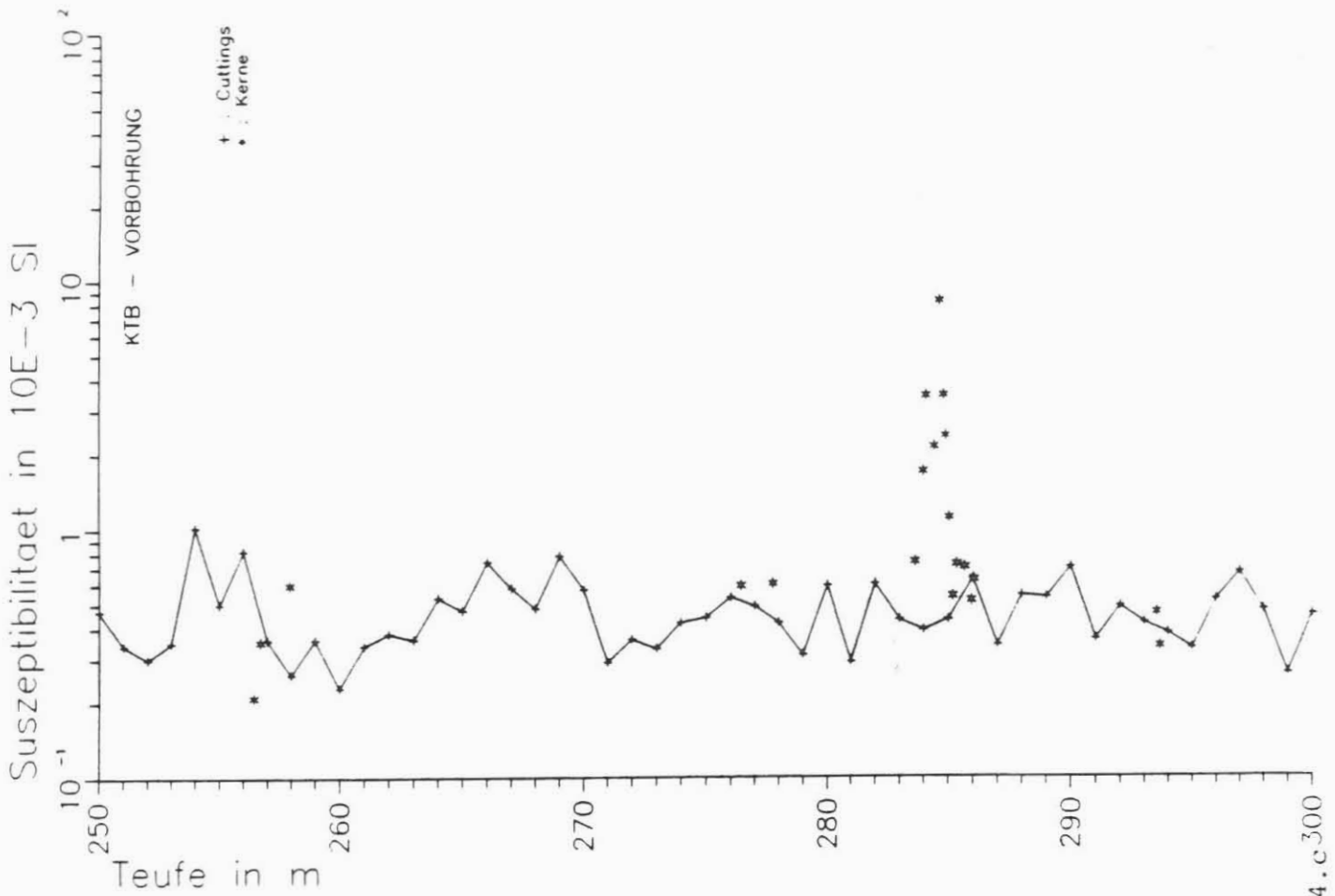


Abb. 5.4.c300

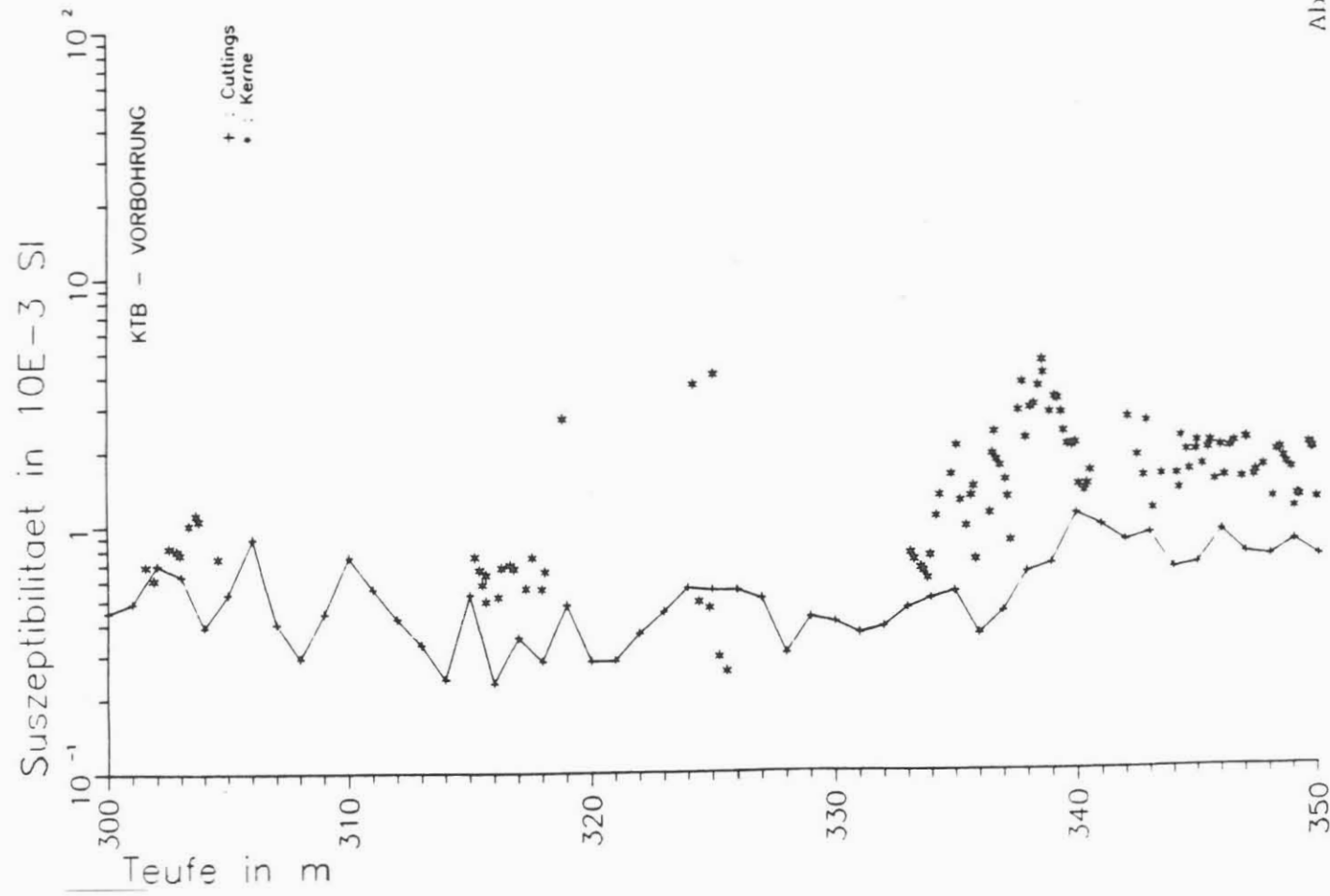
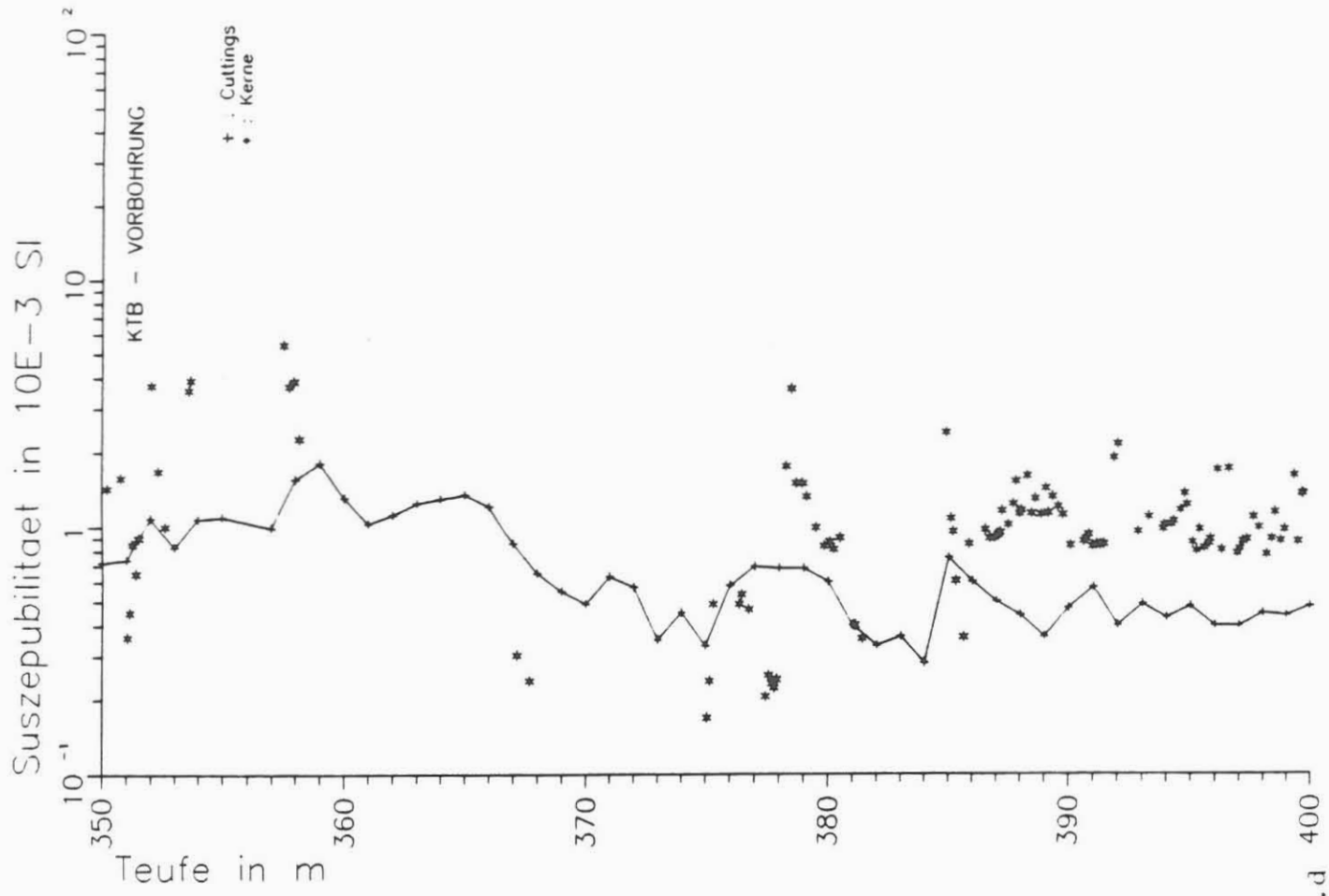


Abb. 5.4.d

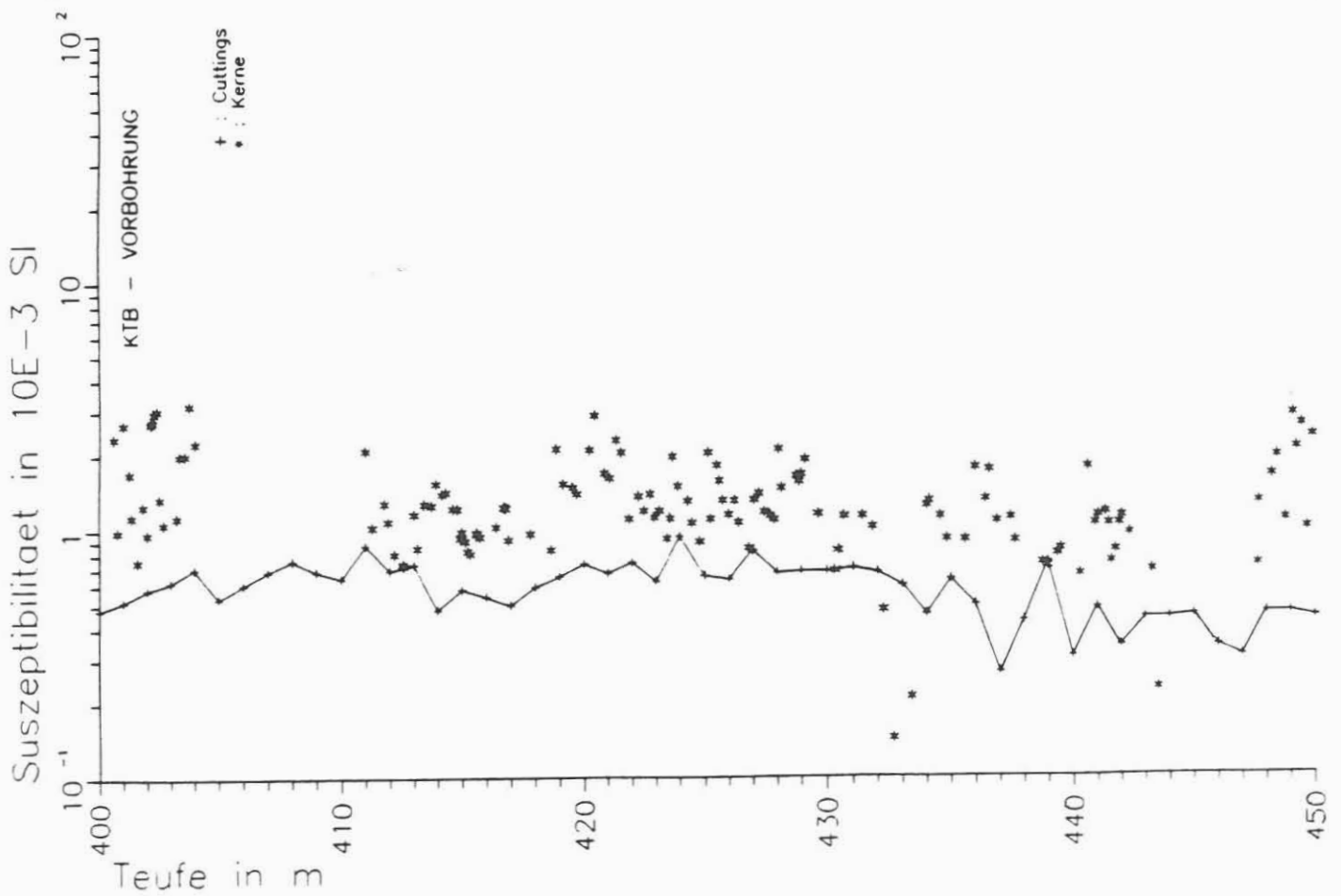
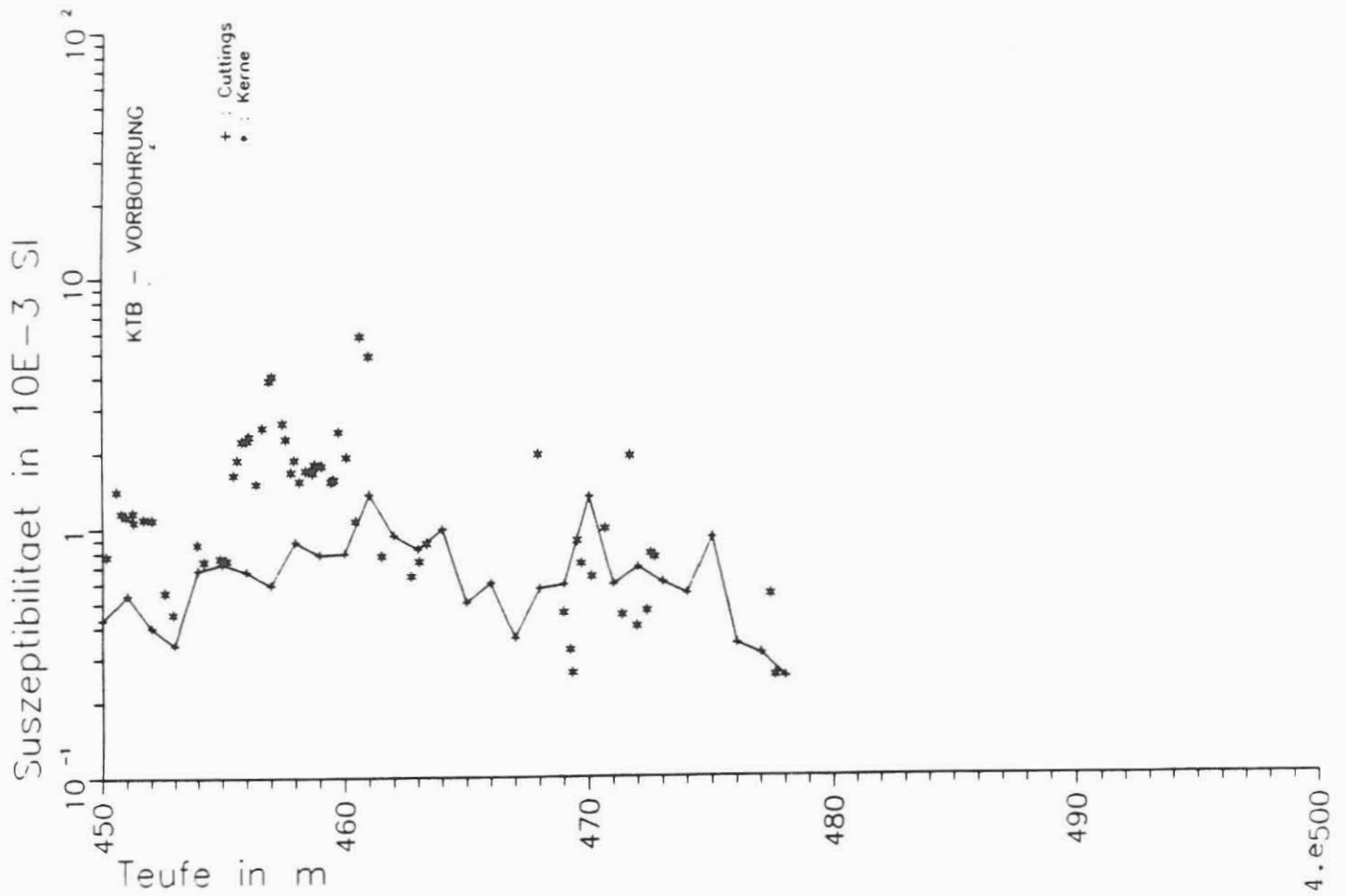


Abb. 5.4.e500