

Magnetik

TFM (Triaxial Fluxgate Magnetometer) - Messungen  
in der KTB-Oberpfalz VB von 1180 m bis 2750 m.  
Meßergebnisse und erste Interpretation

Wilhelm BOSUM und Helmut GEIPEL

Abstract

Three-component gyro-oriented fluxgate magnetometer measurements have been carried out during the program under discussion between 1180 and 2750 m. The system worked satisfactory, after some IC had been exchanged, which obviously due to aging had caused erroneous values during the preceding measuring campaign. Information on the magnetic properties of the penetrated rocks and a magnetic classification yields the magnetic log, i.e. the continuous record of one (or more) components. Magnetic anomalies are observed in the range of garnet-amphibolites, meta-gabbros, meta-ultramafics and several types of gneisses. By the stationary 3-D-measurements magnetic source bodies in the neighbourhood of the borehole are indicated, which best can be read of the anomaly vector plot. The 3-D method was further developed to continuous 3-D-logging by an appropriate measuring arrangement, thus resulting in continuous 3-D-profiles of all magnetic elements sampled every 15 cm. To demonstrate the results clearly polar plots were used. Examples are shown. In a next step the calculation of the position of magnetic source bodies in the neighbourhood and the direction of magnetization within penetrated source bodies shall be carried out based on the continuous 3-D-profiles. Also during this measuring campaign the former experience was proved that the magnetic field is most quiet during night-time. Obviously technical magnetic disturbances from the environment intersperse during the day.

---

Anschrift der Autoren: Prof. Dr. W. Bosum, H. Geipel,  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,  
Postfach 51 01 53, D-3000 Hannover 51

## 1. Einleitung

Wie dem KTB-Bericht 88-7 (BOSUM 1988) zu entnehmen ist, lieferte das 3D-Magnetometer während der Meßphase 3000 m ab 1210 m Teufe bei "Innentemperaturen" zwischen 40° und 45° keine brauchbaren Werte, obwohl die Sonde bis zu Temperaturen von 70° (Förstersonde) bzw. 90° (Kreiselsystem) ausgelegt ist. Sorgfältige Überprüfungen im Labor zeigten nun, daß in der Tat verschiedene elektronische Bauelemente (IC) ihre ursprüngliche Temperaturspezifikation nicht mehr besitzen, eine Erfahrung, die auf eine Alterung von hoch- bzw. "höher"-Temperaturelementen schließen läßt und die allgemein für die Sondenentwicklung und den langfristigen Einsatz der Sonden in der KTB beachtet werden sollte.

Nachdem die o.g. elektronischen Bausteine ausgewechselt, Thermoschalter eingebaut und im Labor Temperaturtests erfolgreich verlaufen waren, wurde die Sonde in der KTB zunächst im Juni 1989 ab Teufe 1190 m wieder eingesetzt. Bis zu 2759 m entsprechend einer Temperatur von ca. 82° konnten Messungen ausgeführt werden, dann schaltete sich die Sonde aufgrund des eingebauten Thermoschalters ab. Dabei wurden bis 2003 m 3-Komponenten-(3D)-Messungen, bis 2759 m Messungen der Komponente parallel der Bohrlochachse (Magnetik-Log Z) vorgenommen. Während eines zweiten Meßeinsatzes im Januar 1990 konnte dann auch der Bereich zwischen 1180 m und 2710 m durch 3-D-Messungen abgedeckt werden, so daß nunmehr ein vollständiges kreisellorientiertes 3-D-Log der Bohrung bis 2710 m vorliegt, und zwar sowohl durch stationäre 3-D-Messungen (Sonde in ruhiger Position) in 10 m Abstand als auch durch kontinuierliche 3-D-Messungen bei fahrender Sonde mit einer Datenrate von ca. 15 cm Abstand.

## 2. Das Magnetik-Log

Das in die Vertikale umgerechnete Magnetik-Z-Log ist in den Abbildungen 1-4 im Maßstab 1:2000 wiedergegeben.

Eine Korrelation mit dem petrographischen Profil (EMMERMANN et al. 1988/89) liefert folgende Deutung: die engräumigen Anomalien bis 1258 m werden durch den Granat-Amphibolit verursacht, der magnetisch ruhige Bereich zwischen 1258 m und 1280 m durch den Meta-Gabbro, der offensichtlich unmagnetisch (!) ist. Der anschließende magnetische Bereich bis 1333 m, der dieselbe magnetische Charakteristik wie das Magnetik-Log bis 1258 m zeigt, kann wieder durch Granat-Amphibolit erklärt werden, lokal tritt hier zwischen 1296 und 1299 m Meta-Gabbro mit höheren Magnetisierungen hervor (vergl. oben: unmagnet. Meta-Gabbro zwischen 1258 und 1280 m), aber auch der Meta-Gabbro zwischen 1323 und 1330 m ist magnetisch. Der insgesamt schwachmagnetische Bereich zwischen 1333 und 1358 m wird wieder von unmagnetischem Meta-Gabbro eingenommen.

Ab 1358 m beobachtet man kräftige Anomalien, die bis 1475 m reichen. Im Bohrprofil ist eine Wechsellagerung von Granat-Amphibolit, Meta-Gabbro und Meta-Ultramafitit verzeichnet. Die besonders kräftigen Anomalien zwischen 1378 und 1385 m, 1400 und 1414 m, bei 1449 und 1459 m werden offensichtlich durch den Meta-Ultramafitit verursacht, magnetische und petrographische Grenzen stimmen innerhalb der Teufenfehler überein.

Zwischen 1475 und 1510 m ist die Korrelation nicht klar: z.T. fallen un- bzw. schwachmagnetische Bereiche mit Granat-Amphibolit, z.T. mit Meta-Gabbro zusammen, der lokal stärker magnetische Bereich zwischen 1480 und 1485 m liegt im Grenzbereich beider Typen. Dieser Bereich sollte gemeinsam zwi-

schen Petrographen und Magnetikern diskutiert werden, ebenso wie das unterschiedliche magnetische Verhalten der Meta-Gabbros (2 Varietäten?).

Die Magnetisierung klingt etwa ab 1580 m aus. Interessant und gesteinsmagnetisch zu untersuchen ist dieser Übergangsbereich von bevorzugt basischem Material zu Gneis in der magnetischen Charakteristik, zu erwarten wäre eine klare Grenze gewesen. Das Magnetik-Log zeigt unterhalb 1580 m zunächst nur äußerst schwache Anomalien, die laut petrographischem Log durch Gneise verursacht werden.

Magnetische Indikationen finden sich dann zwischen 2258 und 2277 m, 2302 und 2340 m, 2358 und 2368 m. Offensichtlich handelt es sich um unterschiedliche Gneis-Varietäten. Eine Diskussion mit dem Petrographen ist hier notwendig, um sie im einzelnen anzusprechen.

Ab 2470 m bzw. nach einer kleinen Unterbrechung ab 2480 m werden wieder stärkere Anomalien bis ca. 2550 m, dann noch einmal zwischen 2620 und 2665 m beobachtet, neben schmalen magnetischen Lagen, die unmittelbar dem Magnetik-Log entnommen werden können. Sie könnten durch amphibolitische Einschaltungen bzw. "Übergänge zu Amphiboliten", wie sie im lithologischen Profil verzeichnet sind, hervorgerufen werden.

Die Anomalien zwischen 1785 m und ca. 1890 m werden wesentlich durch den im ursprünglichen Bohrloch VBl steckenden "Fisch" (Bohrgestänge und Bohrturbine) verursacht.

### 3. 3-D-Messungen

#### 3.1 Die stationäre 3-D-Messung

Die 3-D-Messung, also die Messung des Magnetfeldes in Richtung der x-, y- (senkrecht zur Bohrlochsonde) und z- (parallel zur Bohrlochsonde) Achse des Sondentripels wird unter Verwendung der Werte des Azimutes (der y-Achse) und der Neigungen der x- und y-Achse in die Werte für X (E-W-Komponente des Erdfeldes), Y (N-S-Komponente) und Z (Vertikal-Komponente) umgerechnet, aus denen unter Abzug des Normalfeldes die Komponenten der Anomalievektoren errechnet werden.

Die Bestimmung des Normalfeldes ist wegen der magnetisch gestörten Umgebung der Bohrung, aber auch wegen des Einflusses des Kabels mit einer gewissen Unsicherheit behaftet (BOSUM et al. 1988a). So wurde im oberen Teufenbereich bis 1200 m mit  $F_0 = 47.850 \text{ nT}$ ,  $Z_0 = 43.500 \text{ nT}$ ,  $H_0 = 19.950 \text{ nT}$  ( $F_0$ : Totalintensität,  $Z_0$ : Vertikalintensität,  $H_0$ : Horizontalintensität des Normalfeldes) gerechnet. Dieser Wert mußte für den im vorliegenden Bericht ausgewerteten Teufenabschnitt von 1190 bis 2710 m korrigiert werden, wie aus dem Vergleich der Feldgrößen im Überlappungsbereich und ihrem Verlauf in ungestörter Umgebung folgte. Die verwendeten Werte sind zwischen 1190-2003 m  $Z_0 = 44.000 \text{ nT}$ ,  $H_0 = 20.700 \text{ nT}$ , zwischen 1980 und 2710 m  $Z_0 = 44.300 \text{ nT}$ ,  $H_0 = 20.230 \text{ nT}$ . Der Sprung im Teufenbereich 1200 m wird durch die Verwendung eines anderen Kabels mit offensichtlich stärkerer Magnetisierung erklärt, die Änderung bei 2000 m ist möglicherweise ebenfalls auf eine Änderung der magnetischen Eigenschaft des Kabels zurückzuführen.

Betrachtet man das Magnetik-Log, aber auch das Z-3-D-Profil (Abb. 7), so beobachtet man eine kontinuierliche, lineare Zunahme des Z-Feldes mit der Teufe um etwa  $30 \text{ nT}/100 \text{ m}$ . Diese

ist wesentlich größer als die vom Erdfeld verursachte Zunahme, die ca. 2 nT/100 m beträgt. Da derselbe Effekt auch in der 3-D-Vermessung der Fluxgate-Sonde der TU-Braunschweig (KUHNKE, mdl. Mitteilung) beobachtet wurde, kann es sich nicht um einen sondenspezifischen oder um einen Temperatur-Effekt handeln. Möglich wäre dagegen ein Einfluß der viskosen Magnetisierung des Kabels, zunehmend mit größerer Länge und Einwirkung des erdmagnetischen Feldes. Eine Erklärung durch den Einfluß des Störkörpers von Erbdorf soll noch abgeschätzt werden.

Aufgrund dieser Beobachtungen ist geplant, die jetzt vorliegenden 3-D-Einzelergebnisse geschlossen nochmals zu überarbeiten, um auch schwächere Anomalien herauszuarbeiten. Die in diesem Bericht angesprochenen stärkeren Anomalien werden dadurch jedoch sicher nicht beeinflusst.

Die stationäre 3-D-Messung wird an jeweils einem Punkt in größeren Abständen (5 m - 10 m) ausgeführt.

Die Ergebnisse sind in den Abb. 5-9 für X, Y, Z, T und H dargestellt. Sie spiegeln im wesentlichen die in Zusammenhang mit dem Magnetik-Log angesprochenen und durch Gesteinswechsel erklärten magnetischen Anomalienmuster (ruhige - gestörte Felder) wider.

Zur Diskussion der Ergebnisse ist es vorteilhaft, die Störfeldvektoren, also die Anomalievektoren, erhalten aus den Komponenten von X, Y, Z nach Abzug des Normalfeldes, zu betrachten.

Anschaulich ist die Vektordarstellung in den Abb. 10 und 11 (Störfeldvektoren im Vertikalschnitt in ihrer "wahren" Länge) und Abb. 12 (Störfeldvektoren in Horizontalebene). Die gleichzeitige Betrachtung der Polardiagramme in Abb. 13 und 14 für die entsprechenden Teufen erleichtert das Verständnis.

Zwischen 1200 und 1600 m, 2250-2350 m und 2450-2650 m ist das magnetische Feld durch die durchteuften magnetischen Gesteine bestimmt. Eine Berechnung der Magnetisierung aus den Anomalien ist hier geplant. Während in diesen Bereichen die Störfeldvektoren stark streuen, gibt es andere Abschnitte, die eine allmähliche Variation der Vektoren zeigen, z.B. zwischen 1600 und 1920 m, zwischen 2000 und 2120 m. Ursache sind vermutlich magnetische Störkörper in der Umgebung der Bohrung, z.B. auch die zunächst durchteuften und dann aufgrund der steilen Foliation über längere Abschnitte fast parallel der Bohrung verlaufenden magnetischen Lagen. Hier sollen Störkörper-Berechnungen angestellt werden, die auch tektonisch wichtige Ergebnisse liefern können.

### 3.2 3-D-Logging

Die in 3.1 behandelte stationäre 3-D-Messung erfolgt bei ruhender Sonde. Jeweils zehn Messungen der verschiedenen Größen (Kreisel-, Neigungs- und Förstersondentripel-Messungen) erfolgen in einer Position, so daß Ergebnisse hoher Genauigkeit erhalten werden. Nachteilig bei diesen Messungen ist jedoch der größere Zeitbedarf und auch der relativ große Meßpunkt-Abstand; letzterer bedeutet eine mangelhafte räumliche Auflösung der Anomalien und damit geringere stratigraphisch/lithologische Aussagen.

Daher entstand der Gedanke einer kontinuierlichen 3-D-Messung (BOSUM et al. 1988b). Diese wurde durch entsprechende Meßtechnik verifiziert, zunächst im Teufenbereich bis 470 m erprobt und aufgrund der guten Ergebnisse dann in der KTB-VB fortgeführt, so daß nunmehr ein komplettes 3-D-Profil (Meßpunkt-Abstand ca. 15 cm) vorliegt.

Die Auswertung erforderte einige Software-Entwicklung, insbesondere mußte eine geeignete Darstellung der Ergebnisse

gefunden werden. Die für stationäre Messungen anschauliche Darstellung von Anomalie-Vektoren scheidet hier aufgrund der eng beieinander liegenden Meßpunkte aus. Stattdessen wurden neben den kontinuierlichen 3-D-Profilplots (s. Abb. 15-19) Polardiagramme erprobt, die sich in der Tat als geeignet erwiesen.

Die Abb. 20 und 21 zeigen zwei Ergebnisse als Beispiele. Abb. 20 stammt aus dem magnetisch gestörten Bereich zwischen 1358-1378 m und zeigt eine klare Vorzugsrichtung bei etwa N75°E. Abb. 21 aus dem magnetisch ruhigen Bereich zwischen 1620 und 1680 m zeigt eine Vorzugsrichtung bei ca. N300°E. Bisher wurden Polardiagramme abschnittsweise für den Teufenbereich 500-1680 m konstruiert. Sie sollen für die gesamte vermessene Bohrung erstellt und weiter ausgewertet werden. So sollen aus ihnen in den Bereichen magnetischer Gesteine die Richtung der Magnetisierung errechnet und in den magnetisch "ruhigen" Zonen Aussagen über die verursachenden Störkörper in der Umgebung gemacht werden.

#### 4. Allgemeines

Die während der ersten Messungen 1987 (BOSUM et al. 1988a) aufgetretenen Spannungsschwankungen in der Stromversorgung und dadurch entstehende magnetische Störungen wurden nicht mehr beobachtet. Es traten jedoch weiterhin Streuungen bis zu 100 nT der magnetischen Werte (während der stationären Messung in ruhiger Position) auf, die Einstreuungen von außerhalb sein müssen, da sie in zwei unabhängig arbeitenden Meßelementen beobachtet wurden. Die Störungen lassen in den Abendstunden nach, während der vorangegangenen Meßphase, die teilweise die Nachtstunden mit einschloß, waren sie nachts vollkommen verschwunden. Diese vermutlich aus der Umgebung

einstreuenden Störungen lassen sich daher wohl kaum beseitigen, jedoch ihr Einfluß durch Wahl günstiger Meßzeit reduzieren.

## 5. Literaturverzeichnis

- BOSUM, W. (1988): Magnetische Messungen in der Bohrung KTB-VB Oberpfalz mit Hilfe eines 3-Komponenten-Bohrlochmagnetometers. Teufenbereich 490 m - 1210 m (Bohrlochmeßphase 3000 m). - In: DRAXLER, J.K. & HÄNEL, R.: KTB Report 88-7, 141-147, NLfB, Hannover.
- BOSUM, W.; HAHN, A., GEIPEL, H. & ROLF, C. (1988a): Bericht über magnetische Messungen in der Bohrung KTB-VB Oberpfalz mit Hilfe eines 3-Komponenten Bohrlochmagnetometers und gesteinsmagnetische Untersuchungen. Teufenbereich 30 m-470 m. - DFG-Forschungsvorhaben. NLfB, Hannover, unveröff.
- BOSUM, W.; HAHN, A.; GEIPEL, H. & ROLF, C. (1988b): Bericht: Die Erforschung magnetischer Diskontinuitäten mit Hilfe bohrlochmagnetometrischer und gesteinsmagnetischer Untersuchungen in der Bohrung KTB-VB Oberpfalz. Teufenbereich: 30 m - 1210 m. - DFG-Forschungsvorhaben im SPP KTB. Hannover, unveröff.
- EMMERMANN, R.; DIETRICH, H.-G.; HEINISCH, M. & WÖHRL, TH. (1988, 1989): Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor. Teufenbereiche von 992-1530 m (KTB Report 88-6), 1530-1998 m (KTB Report 88-9) und 1709-2500 m (KTB Report 89-2), Hannover.

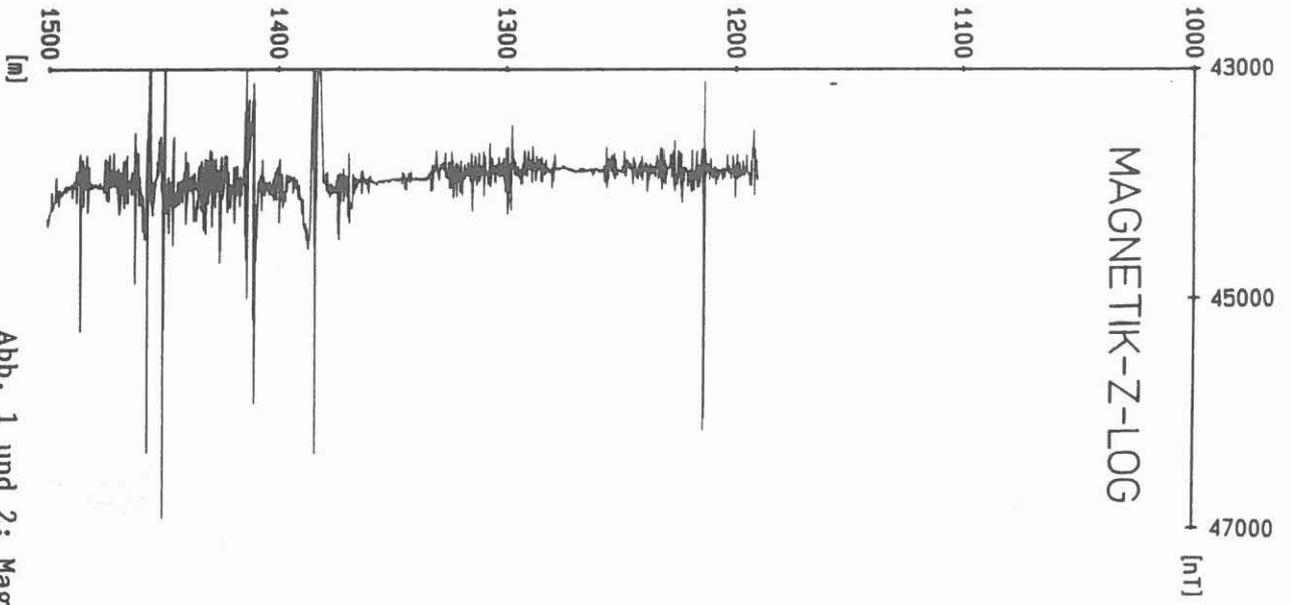


Abb. 1

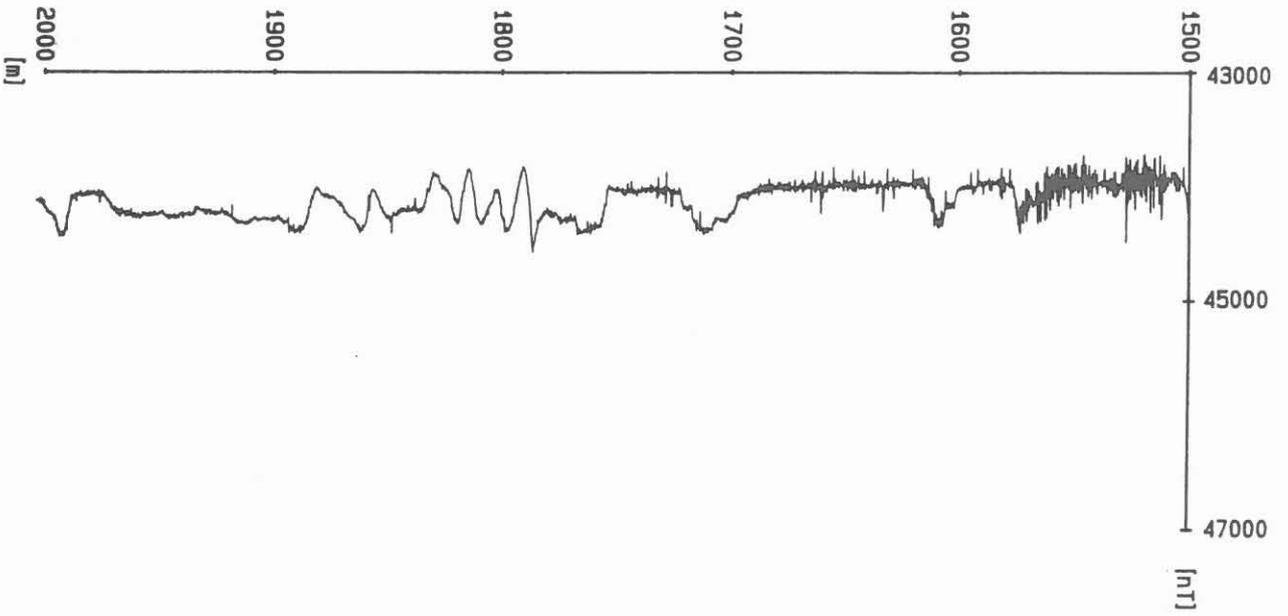


Abb. 2

Abb. 1 und 2: Magnetik Log, Z-Komponente

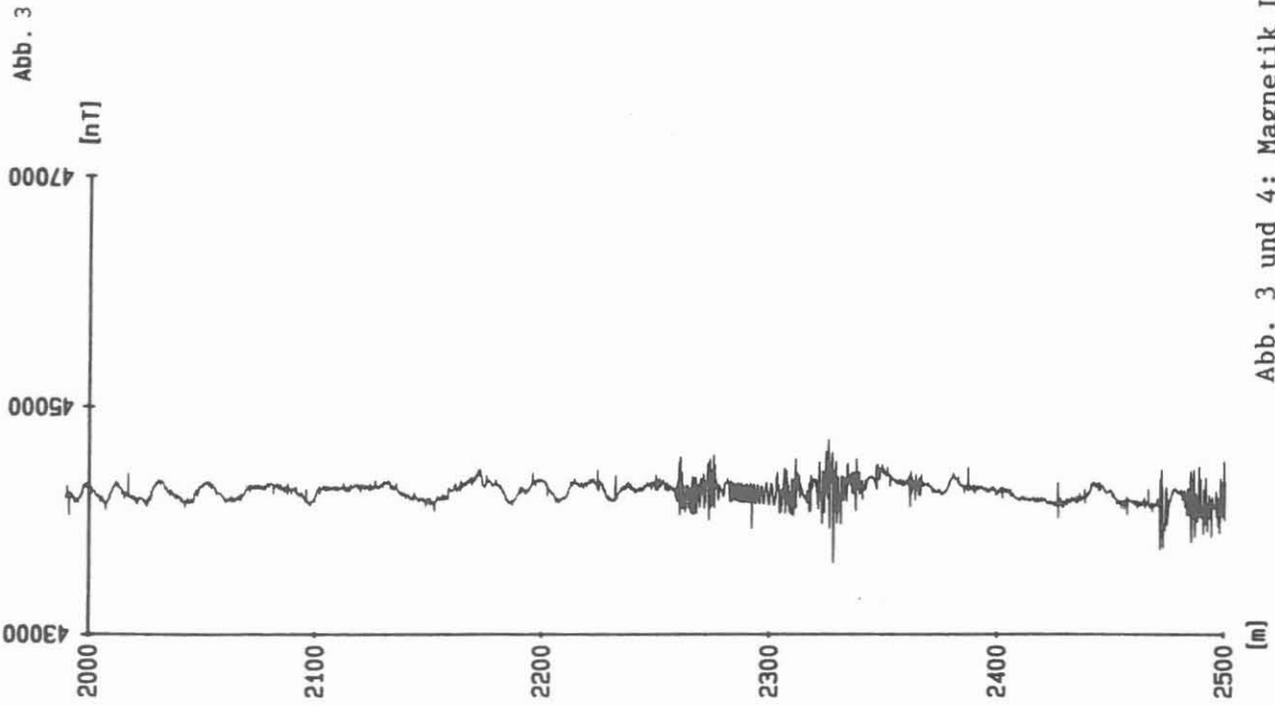
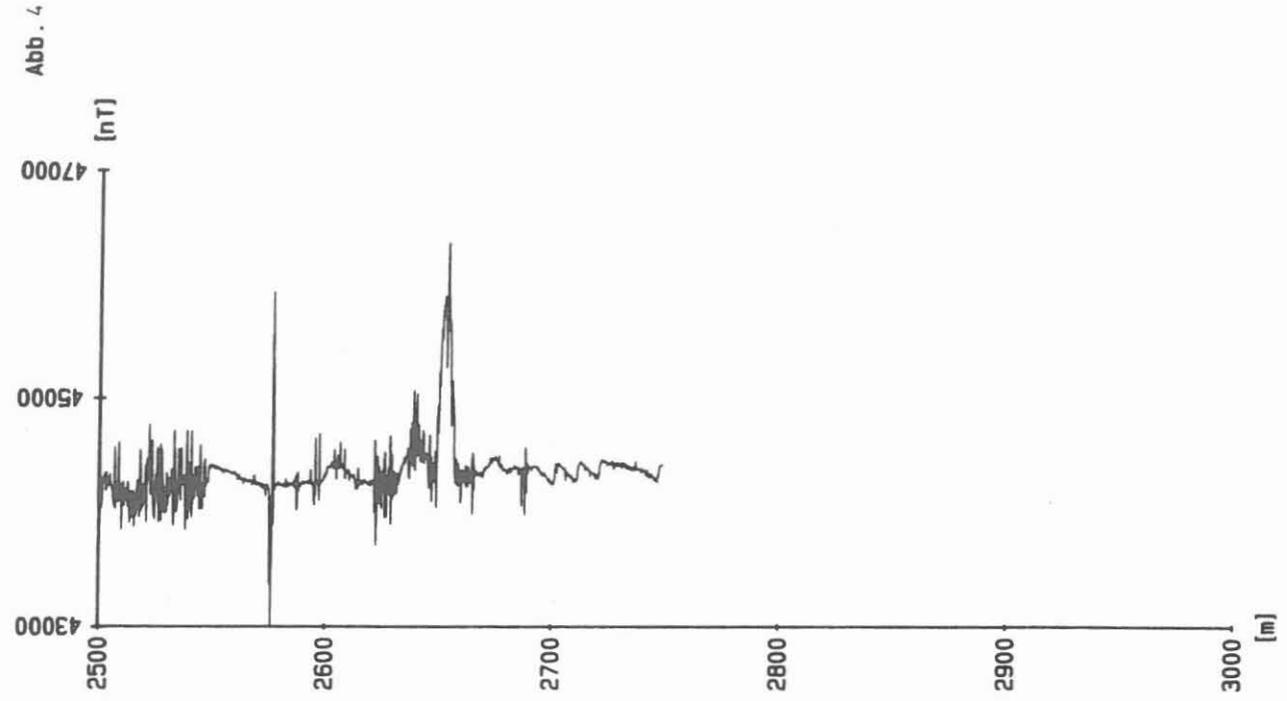


Abb. 3 und 4: Magnetik Log, Z-Komponente

KTB-OBERPFALZ VB  
3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

Abb. 5a

STATIONÄRE MESSUNGEN

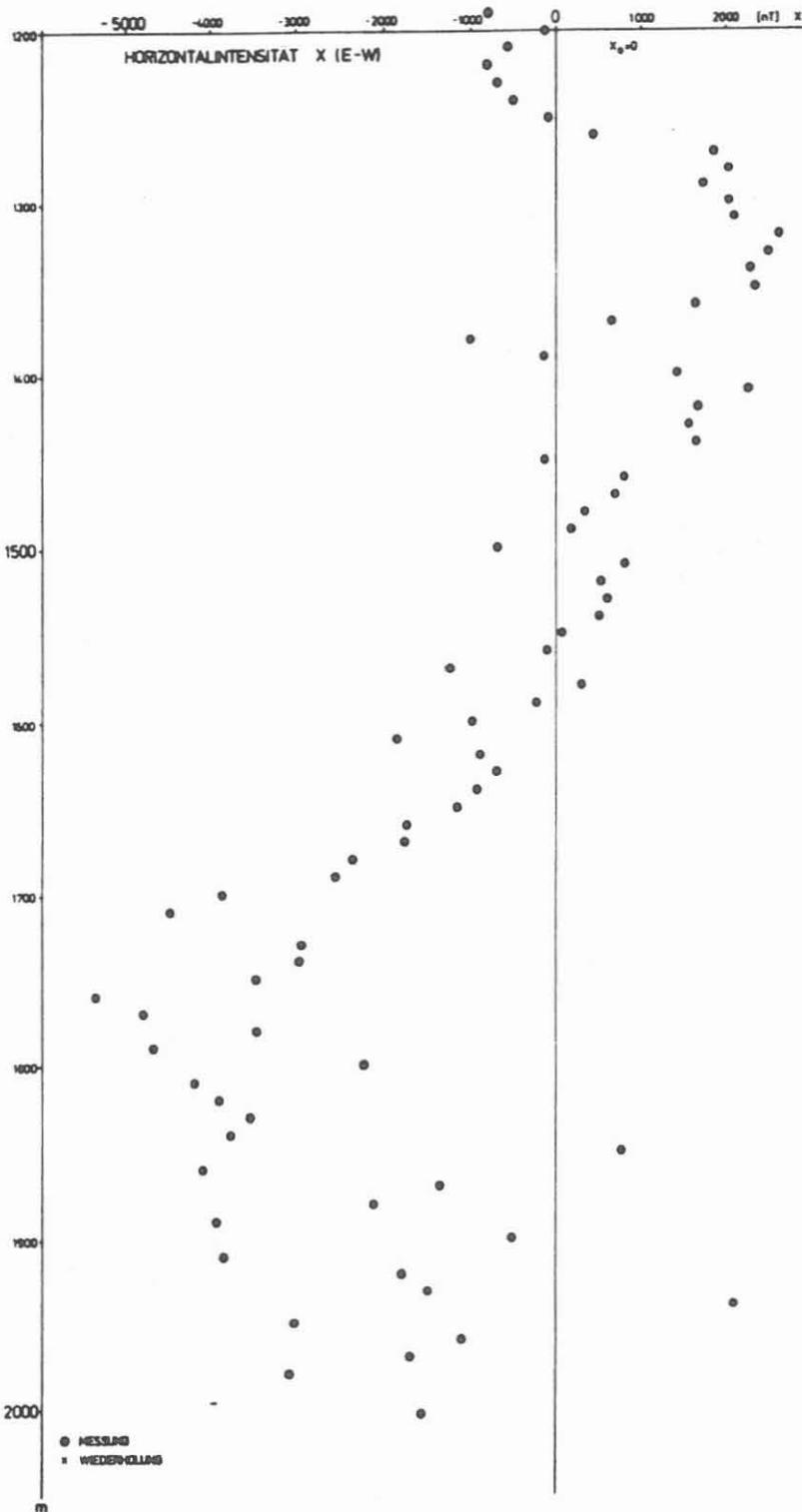


Abb. 5a: Horizontalintensität X (E-W)

# KTB-OBERPFALZ VB 3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

Abb. 5b

STATIONÄRE MESSUNGEN

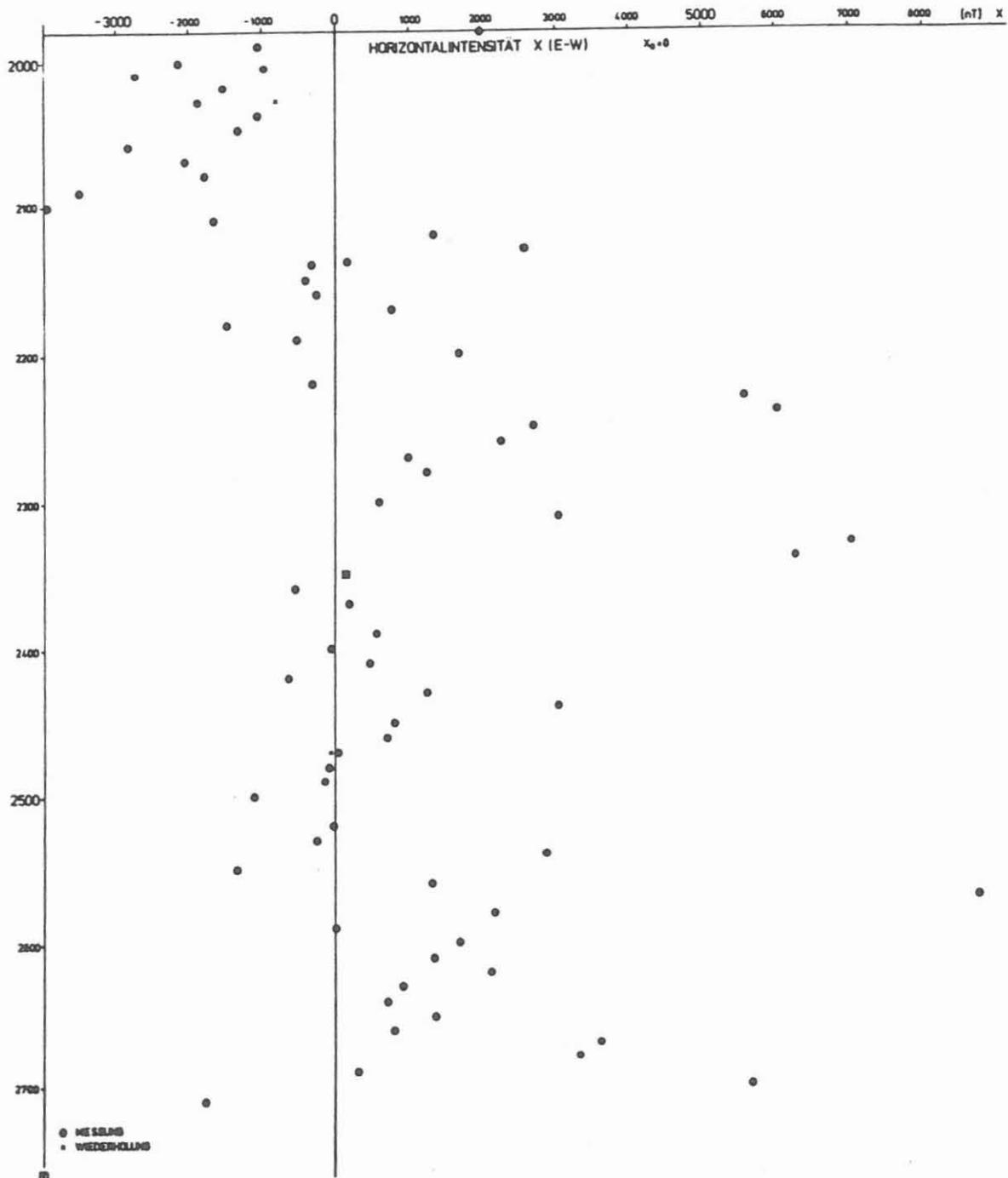


Abb. 5b: Horizontalintensität X (E-W)

# KTB-OBERPFALZ VB 3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

STATIONÄRE MESSUNGEN

Abb. 6a

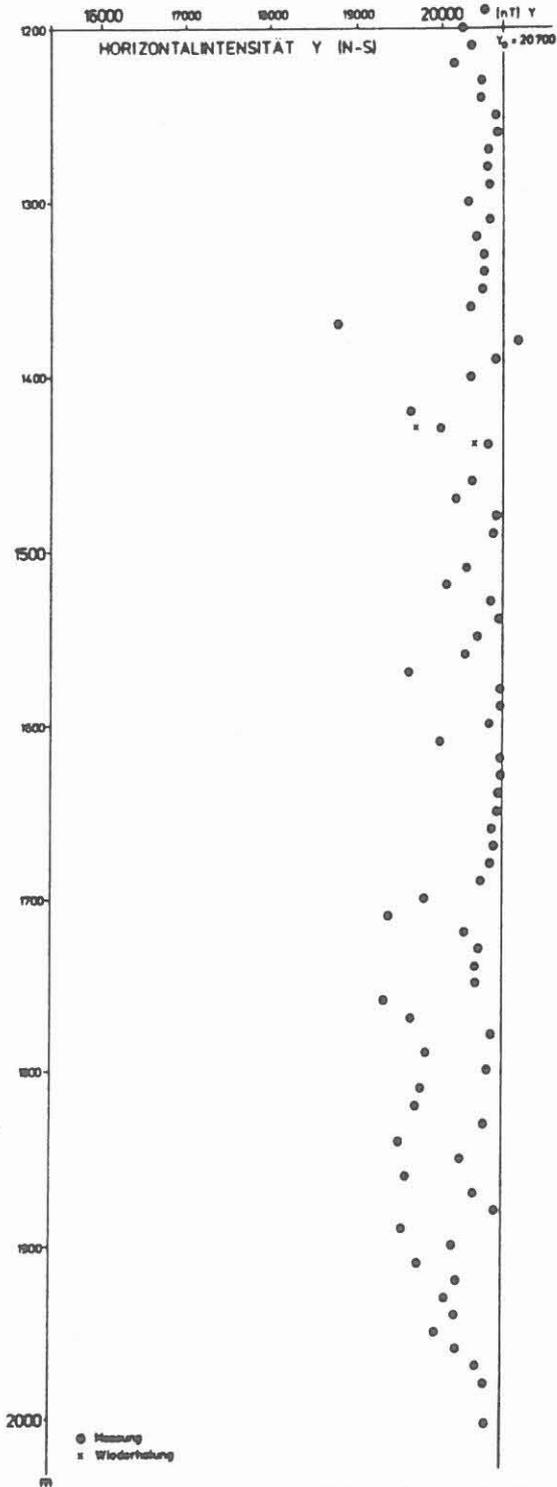


Abb. 6b

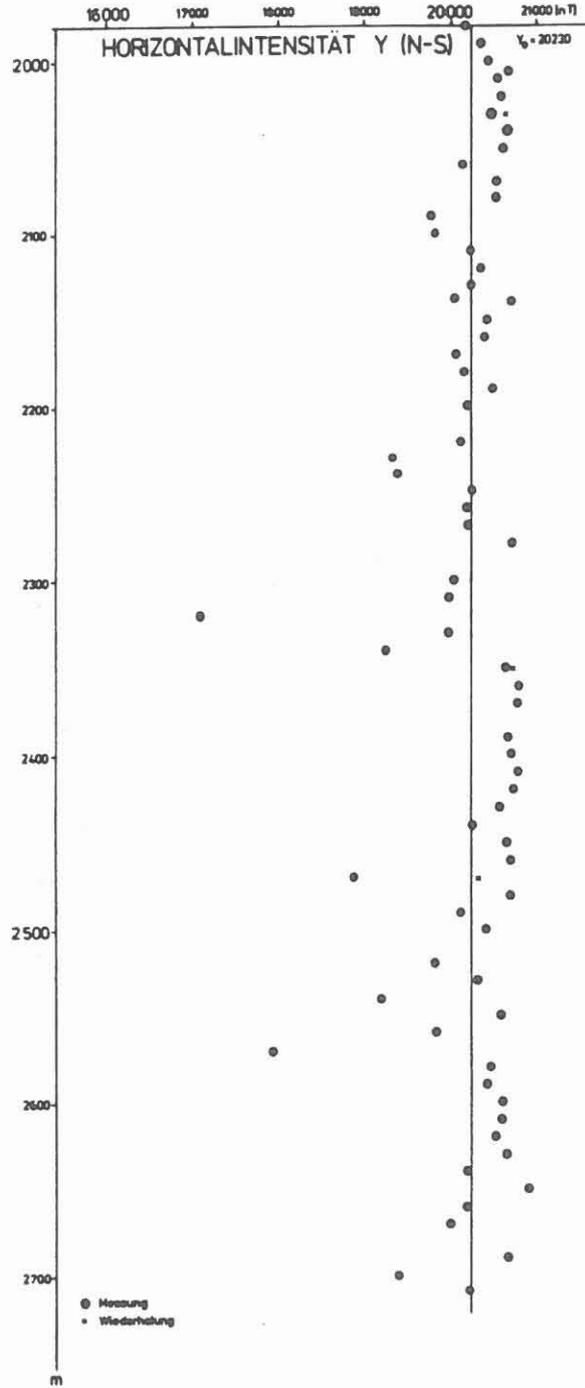


Abb. 6a und 6b: Horizontalintensität Y (N-S)

# KTB-OBERPFALZ VB 3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

STATIONÄRE MESSUNGEN

Abb. 7a

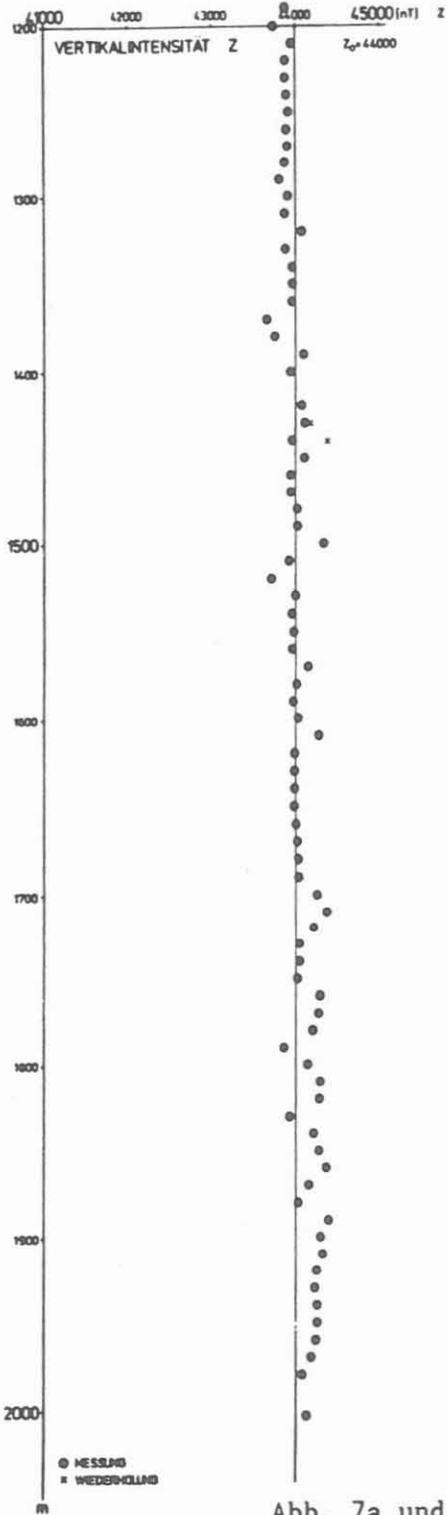


Abb. 7b

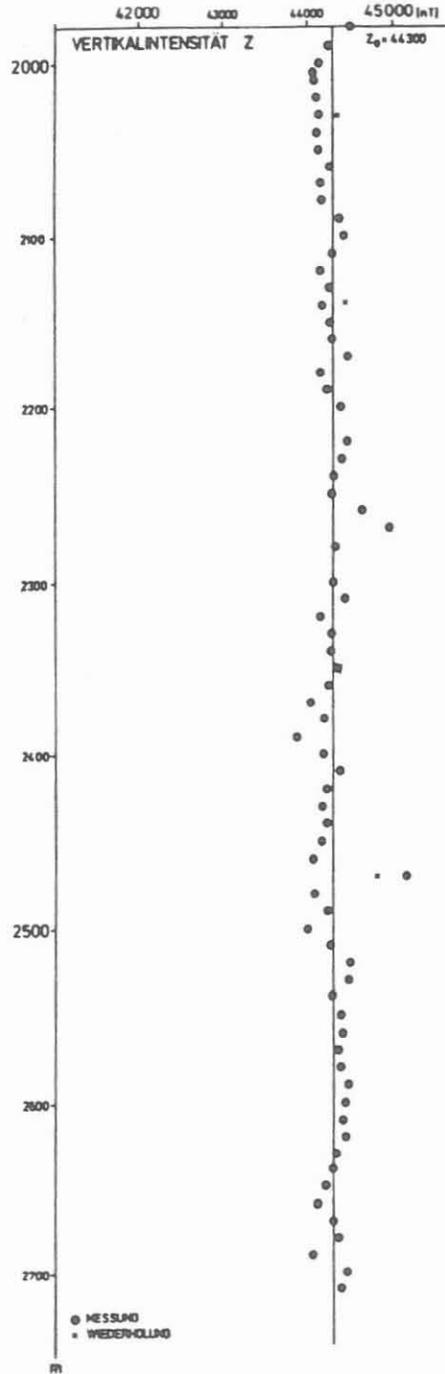


Abb. 7a und 7b: Vertikalintensität Z

# KTB-OBERPFALZ VB 3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

STATIONÄRE MESSUNGEN

Abb. 8a

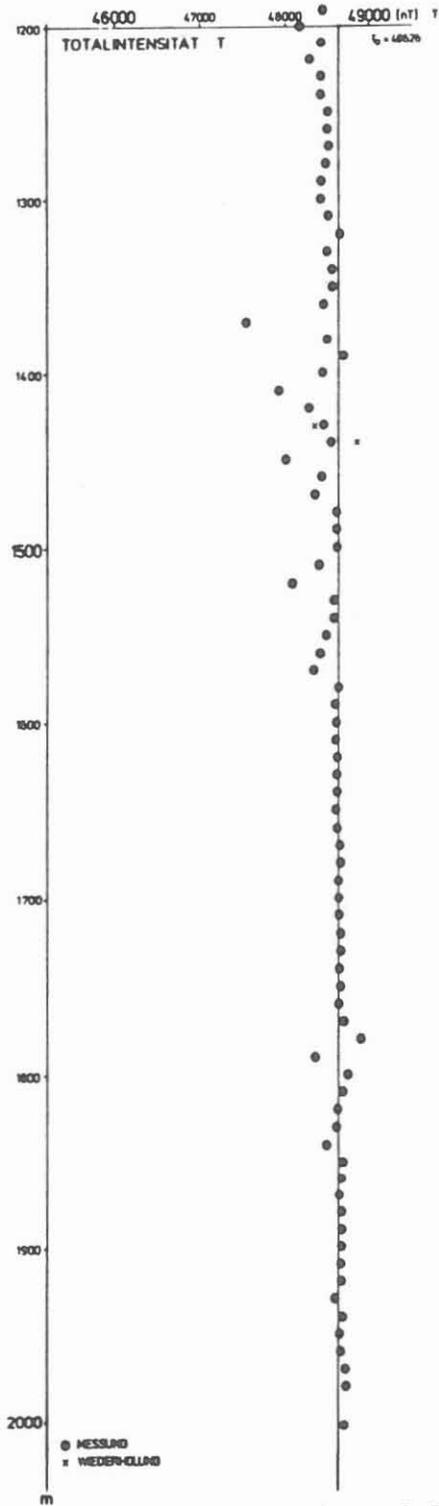


Abb. 8b

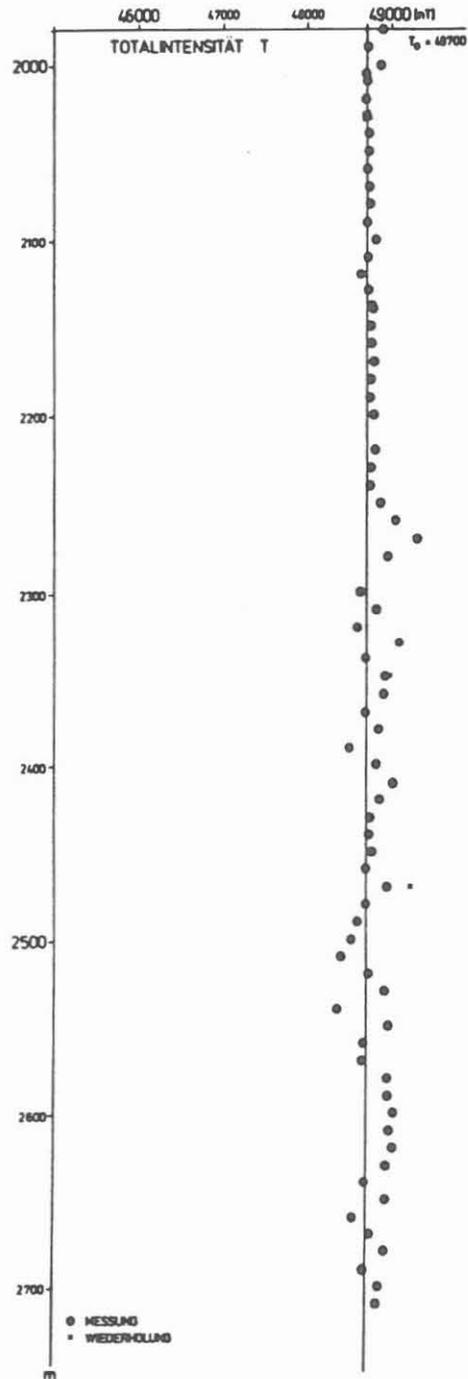


Abb. 8a und 8b: Totalintensität T

# KTB-OBERPFALZ VB 3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

STATIONÄRE MESSUNGEN

Abb. 9a

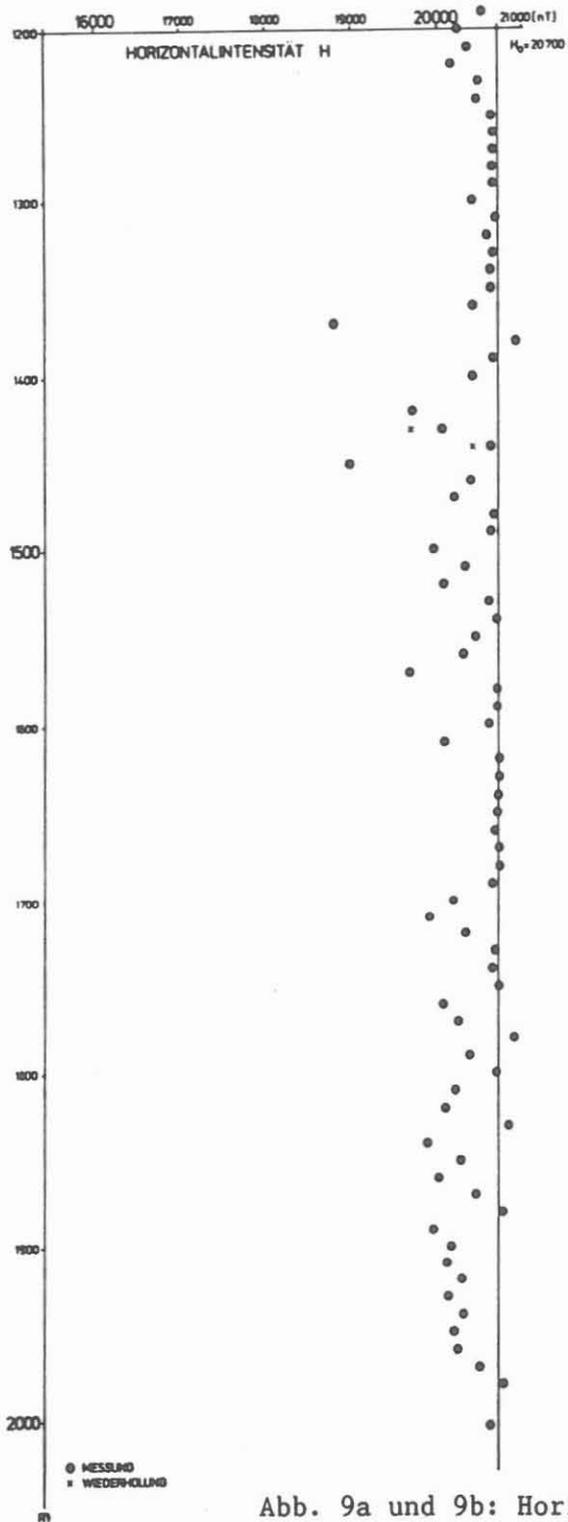


Abb. 9b

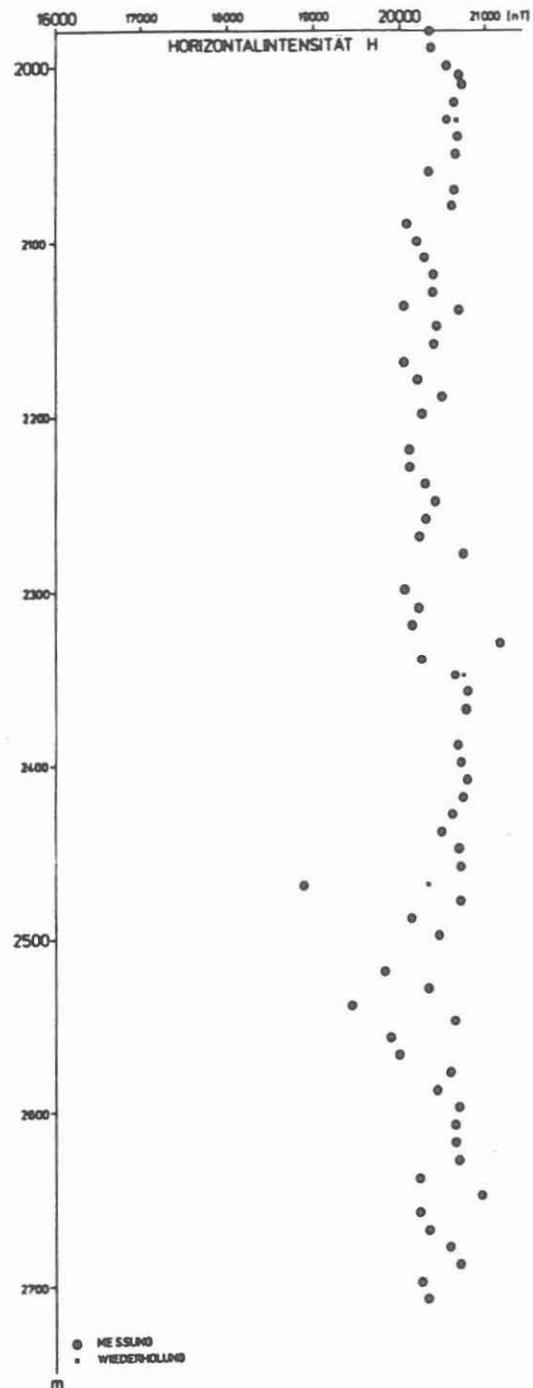


Abb. 9a und 9b: Horizontalintensität H

KTB-OBERPFALZ VB  
3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

Abb. 10

STATIONÄRE MESSUNGEN

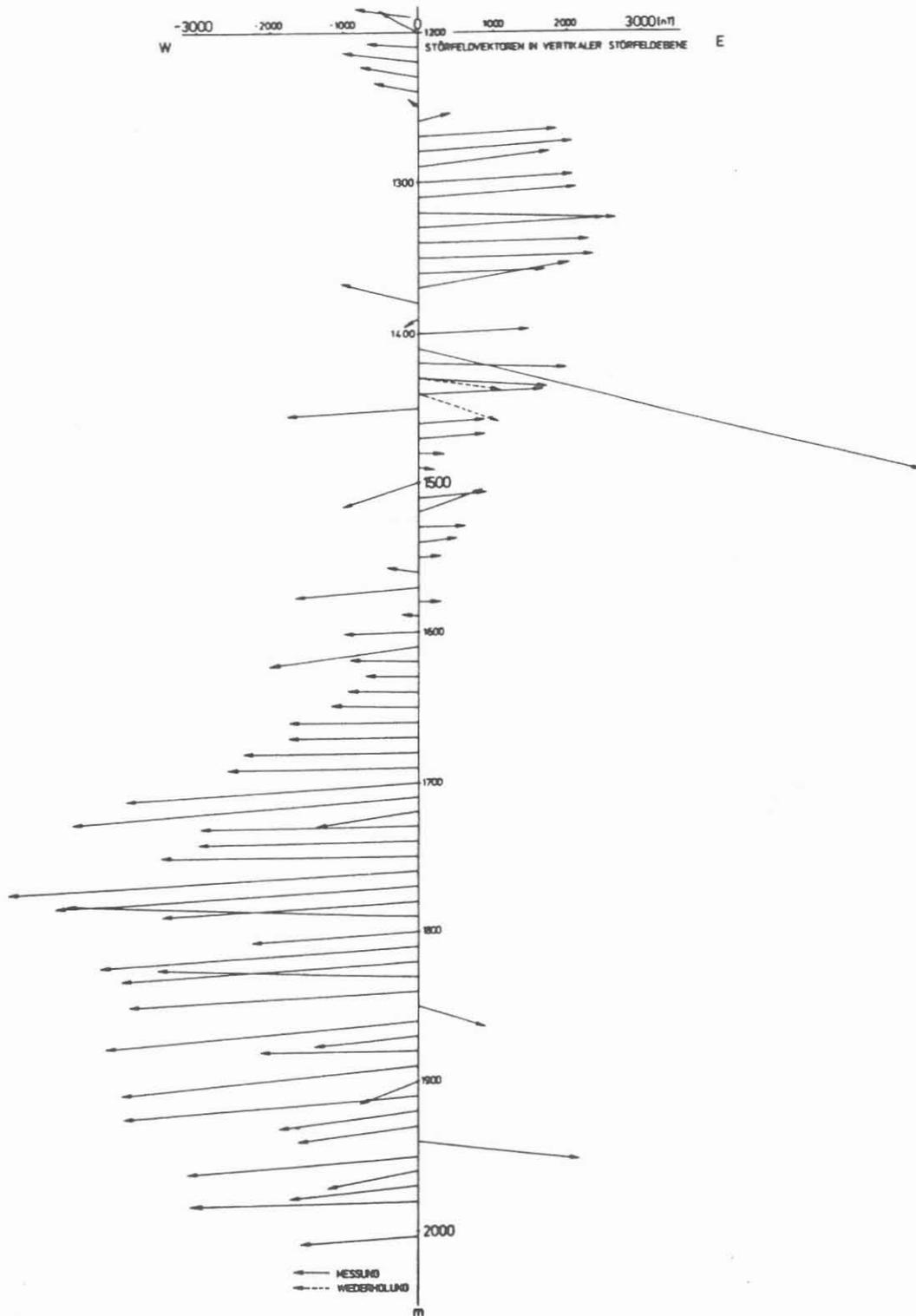


Abb. 10: Störfeldvektoren im Vertikalschnitt

KTB-OBERPFALZ VB  
3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

Abb. 11

STATIONÄRE MESSUNGEN

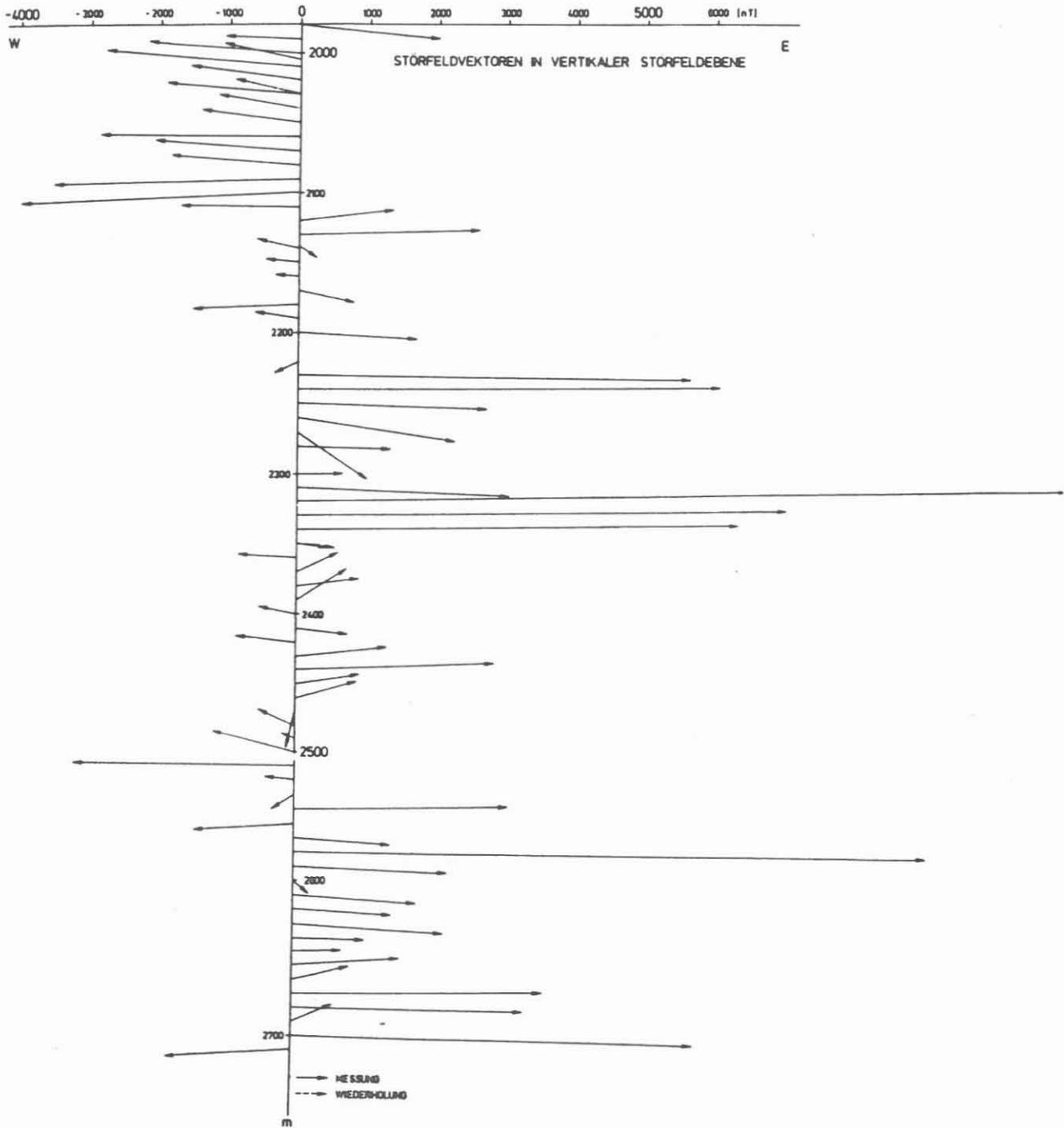


Abb. 11: Störfeldvektoren in vertikaler Ebene

KTB-OBERPFALZ VB  
3-D-BOHRLOCHMAGNETIK

STATIONÄRE MESSUNGEN

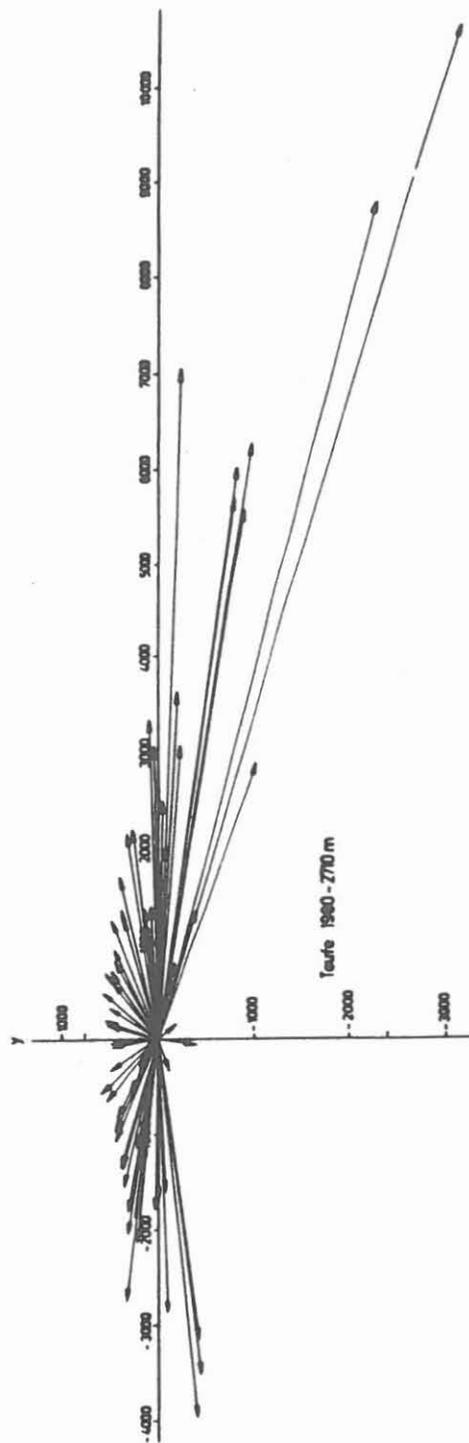
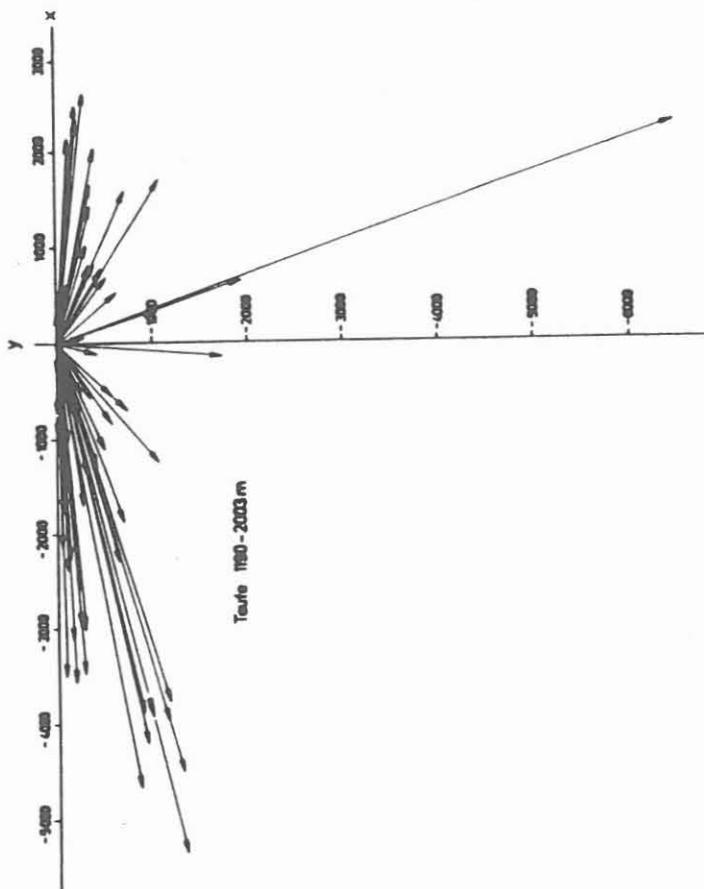
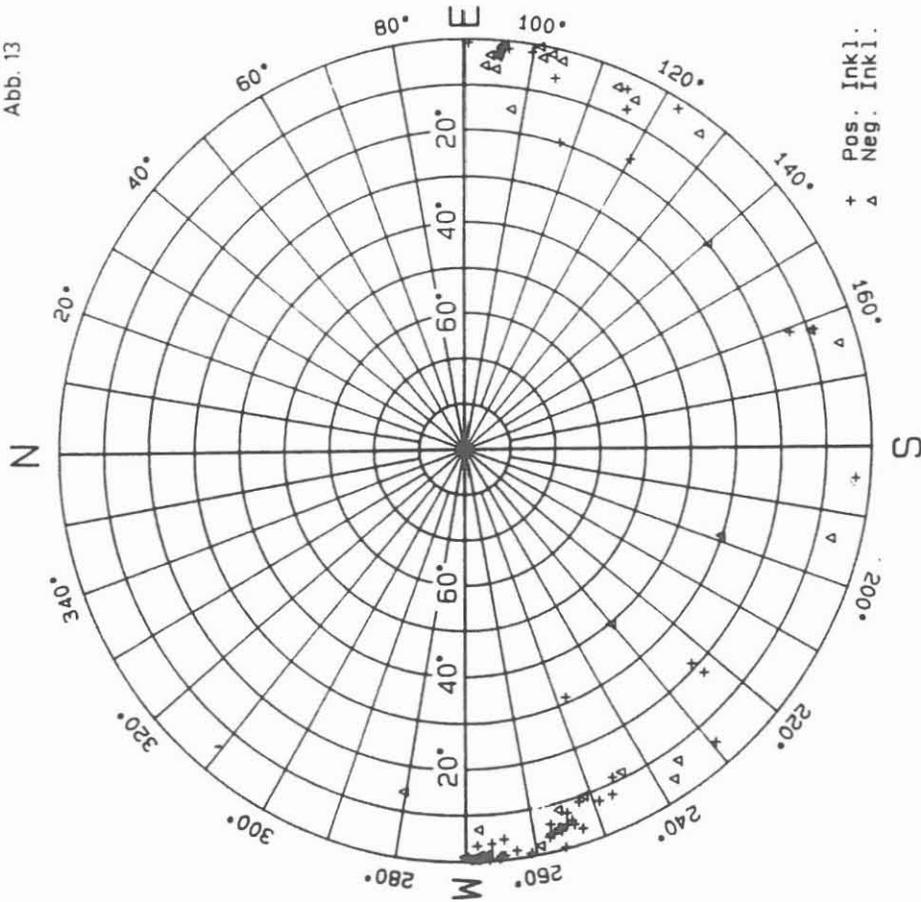


Abb. 12: Störfeldvektoren in horizontaler Ebene

KTB - OBERPFALZ VB  
3-D-BOHRLOCHMAGNETIK  
STATIONÄRE MESSUNGEN

Störfeldvektoren nach Azimut und Neigung

Abb. 13



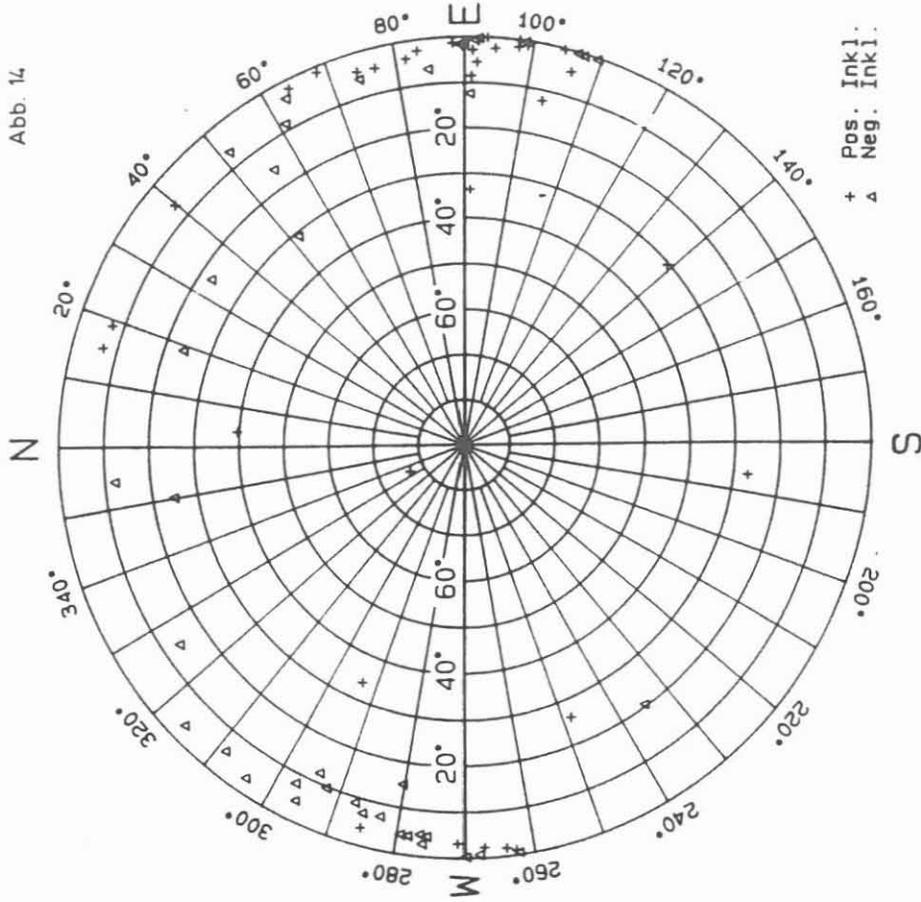
Tiefenbereich: 1190 - 2003 m

Abb. 13 und 14: Störfeldvektoren nach Azimut und Neigung

KTB-OBERPFALZ VB  
3-D-BOHRLOCHMAGNETIK  
STATIONÄRE MESSUNGEN

Störfeldvektoren nach Azimut und Neigung

Abb. 14



Tiefenbereich: 1980 - 2710 m

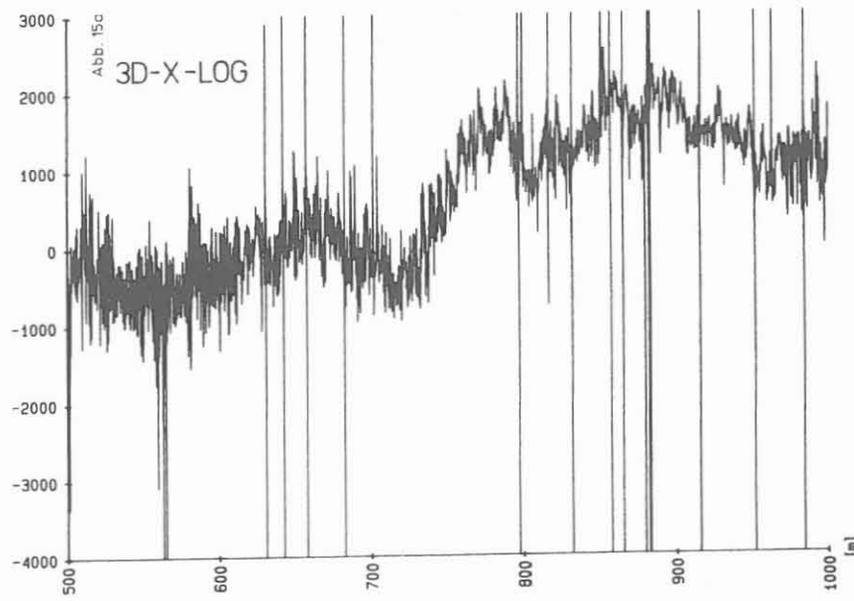
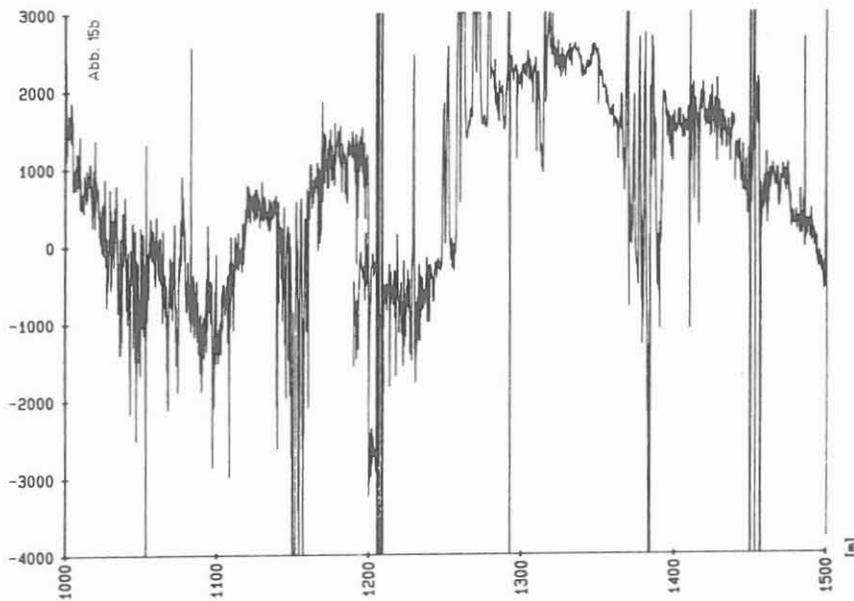
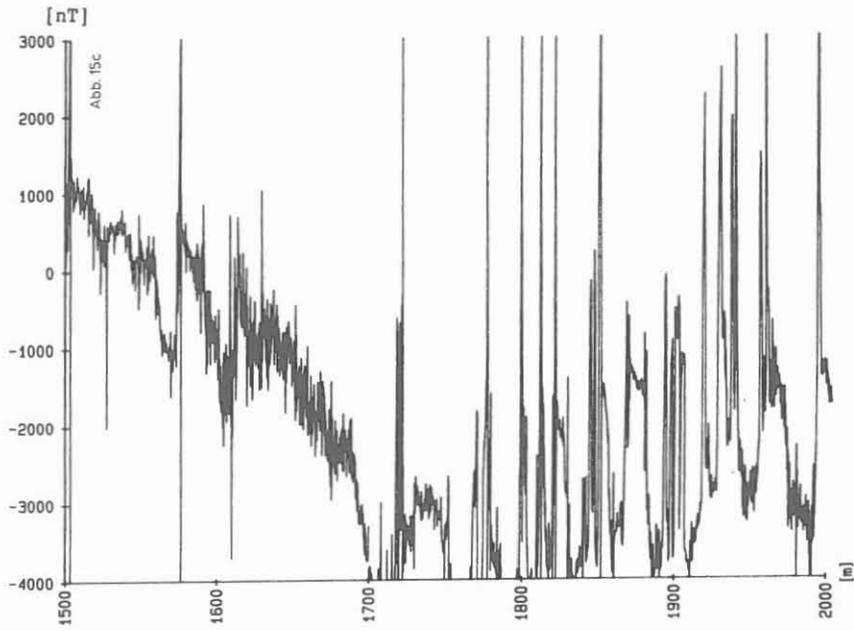


Abb. 15a - c: 3D - Log, X-Komponente

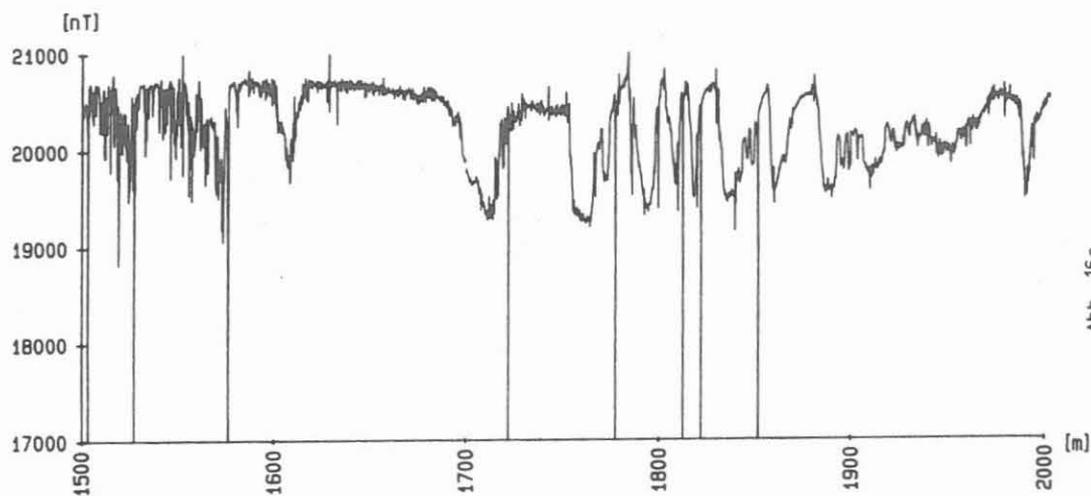


Abb. 16c

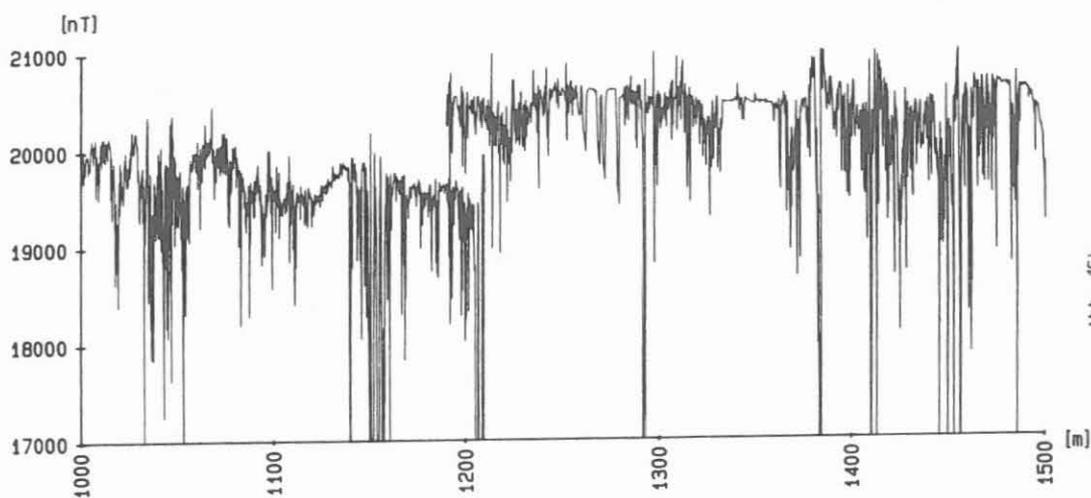


Abb. 16b

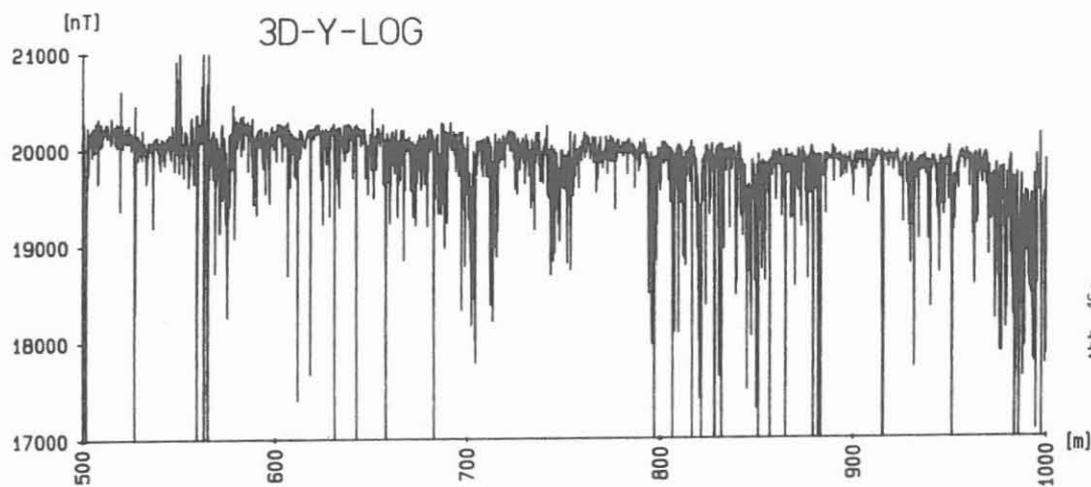


Abb. 16a

Abb. 16a - c: 3D - Log, Y-Komponente

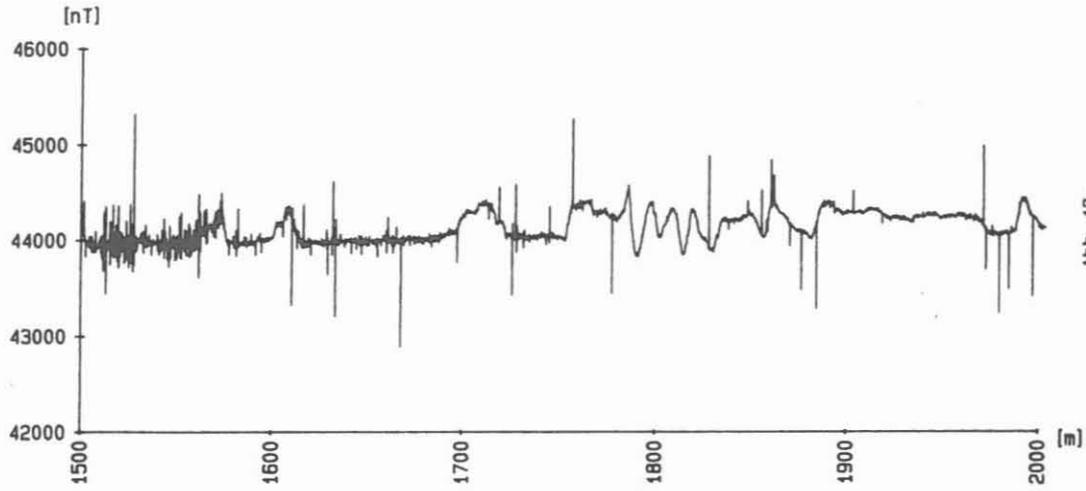


Abb. 17c

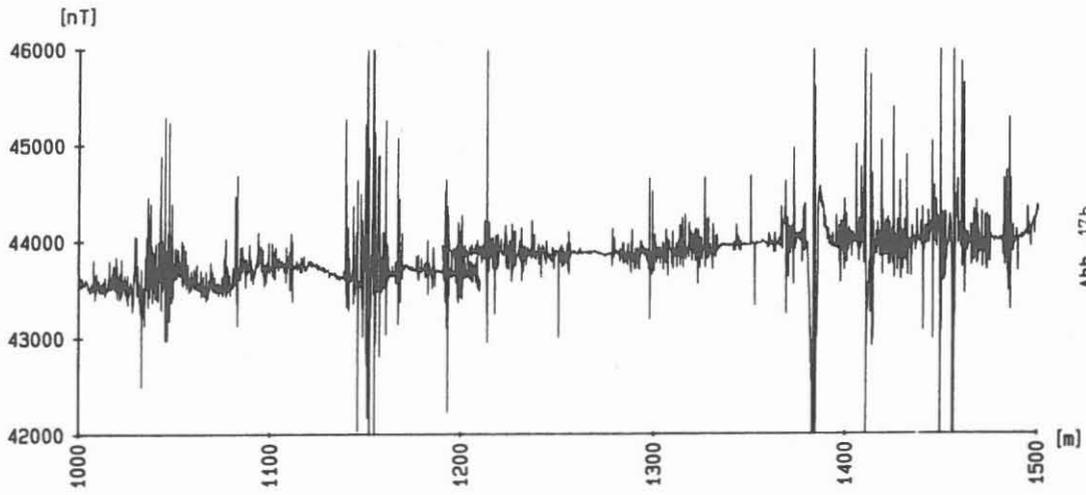


Abb. 17b

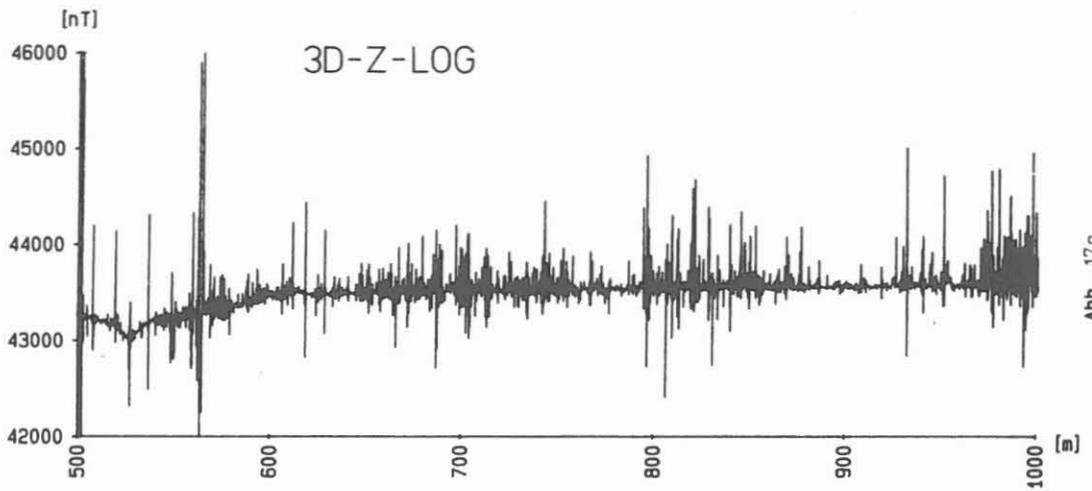


Abb. 17a

Abb. 17a - c: 3D - Log, Z-Komponente

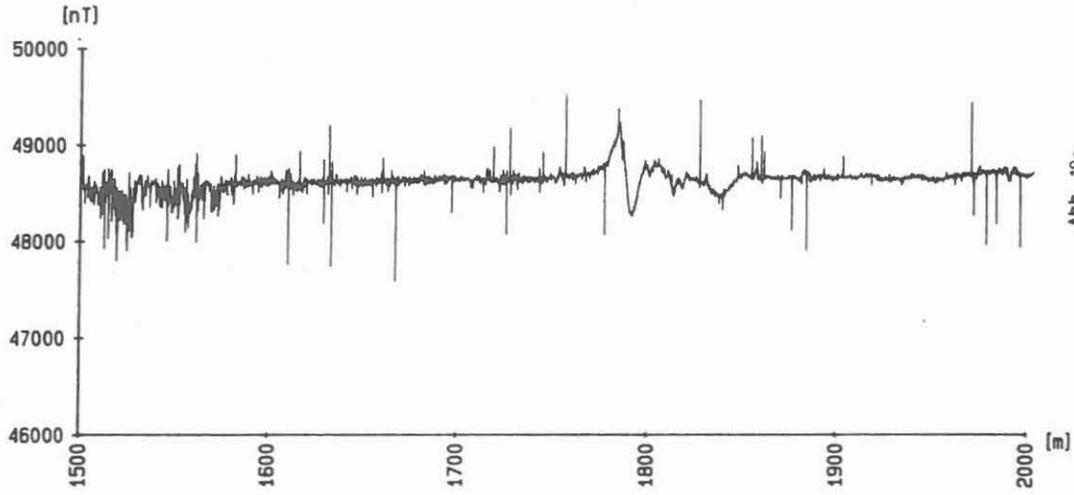


Abb. 18c

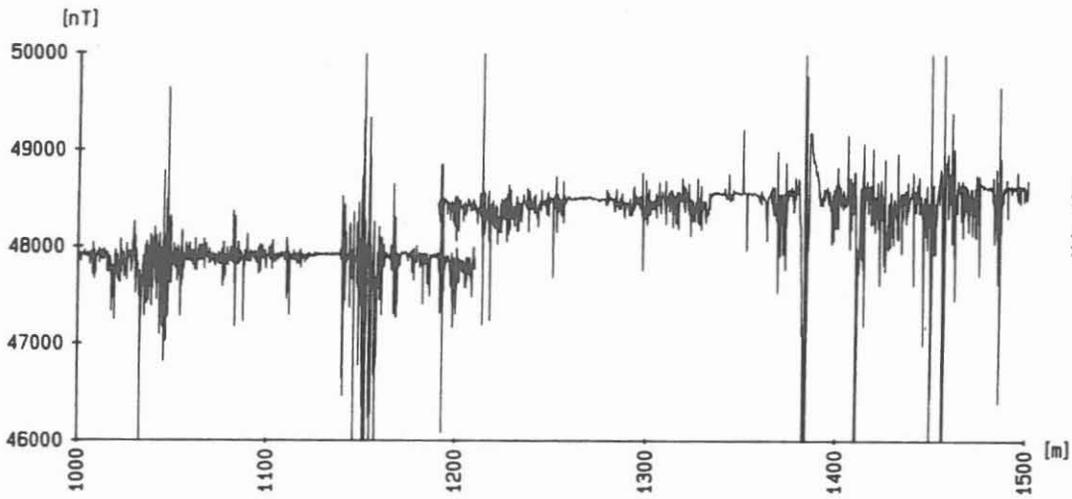


Abb. 18b

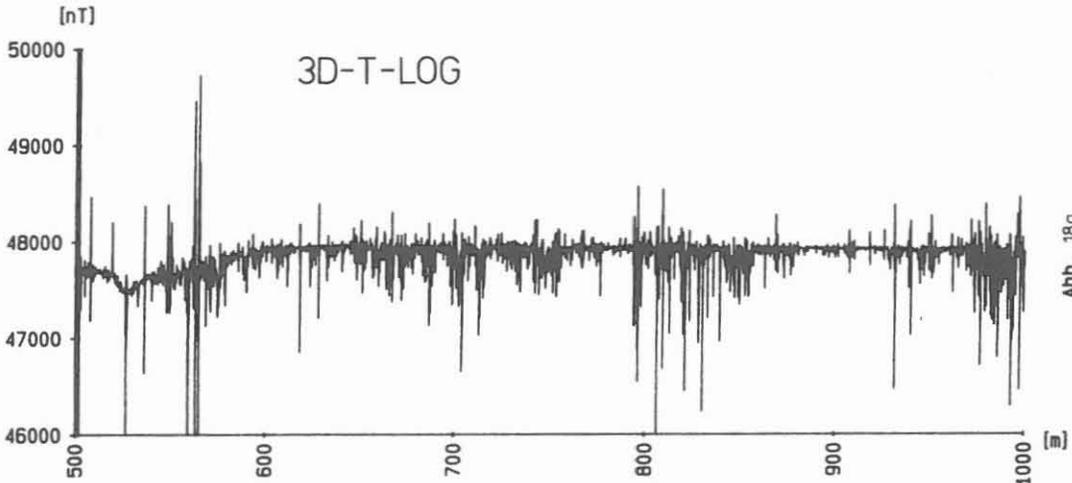


Abb. 18a

Abb. 18a - c: 3D - Log, Totalintensität T

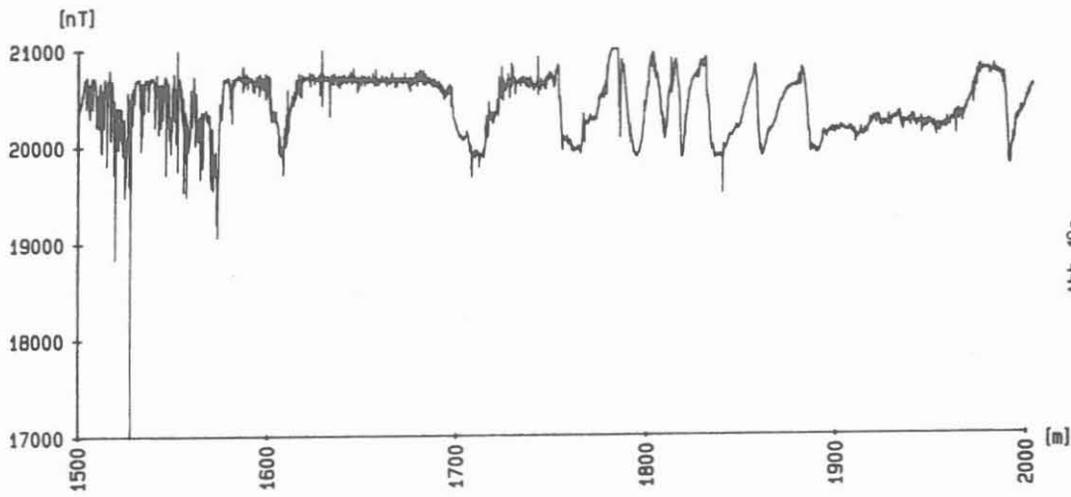


Abb. 19c

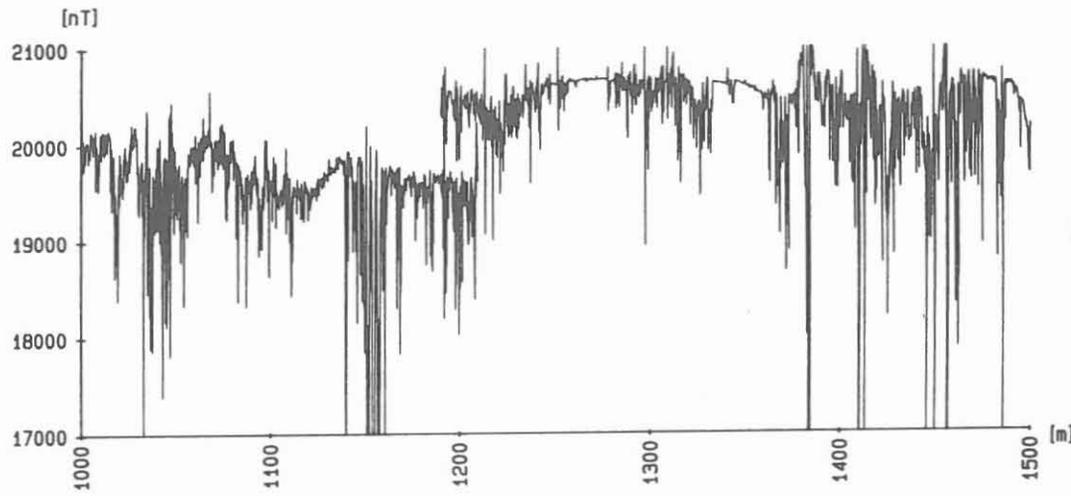


Abb. 19b

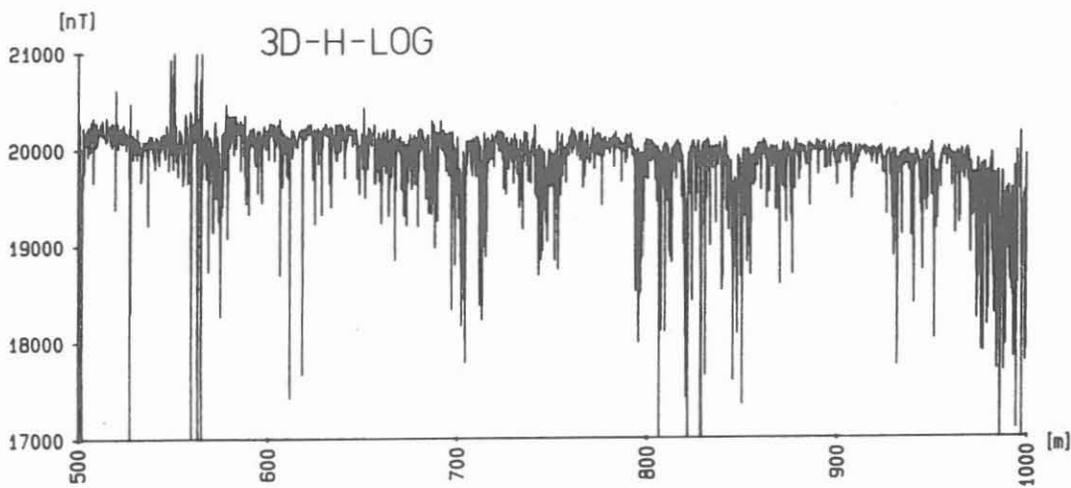


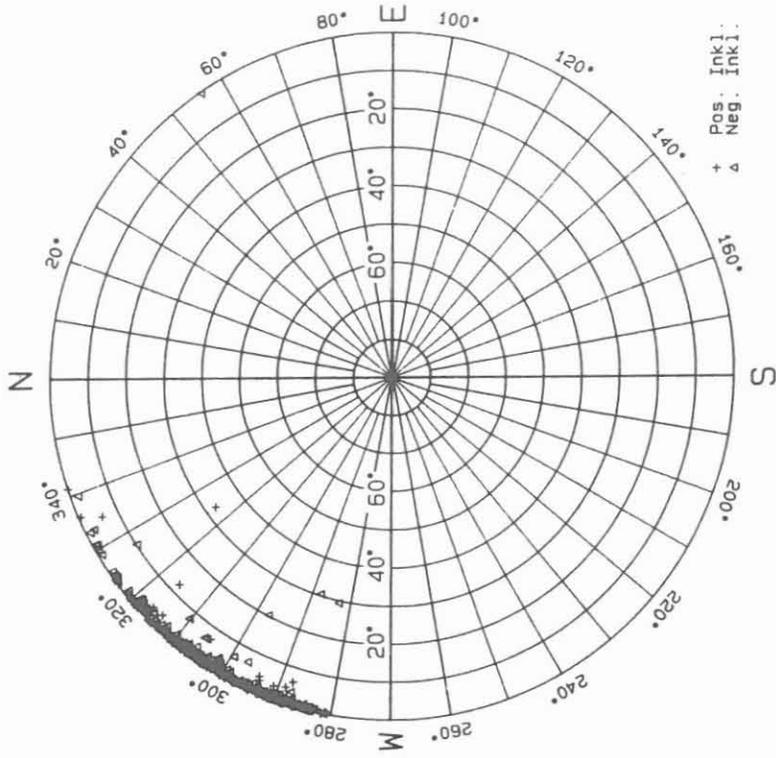
Abb. 19a

Abb. 19a - c: 3D - Log, Horizontalintensität H

Abb. 21

KTB-OBERPFALZ VB  
3-D-BOHRLOCHMAGNETIK  
3-D-LOGGING  
(Abstand ca. 15 cm)

Störfeldvektoren nach Azimut und Neigung

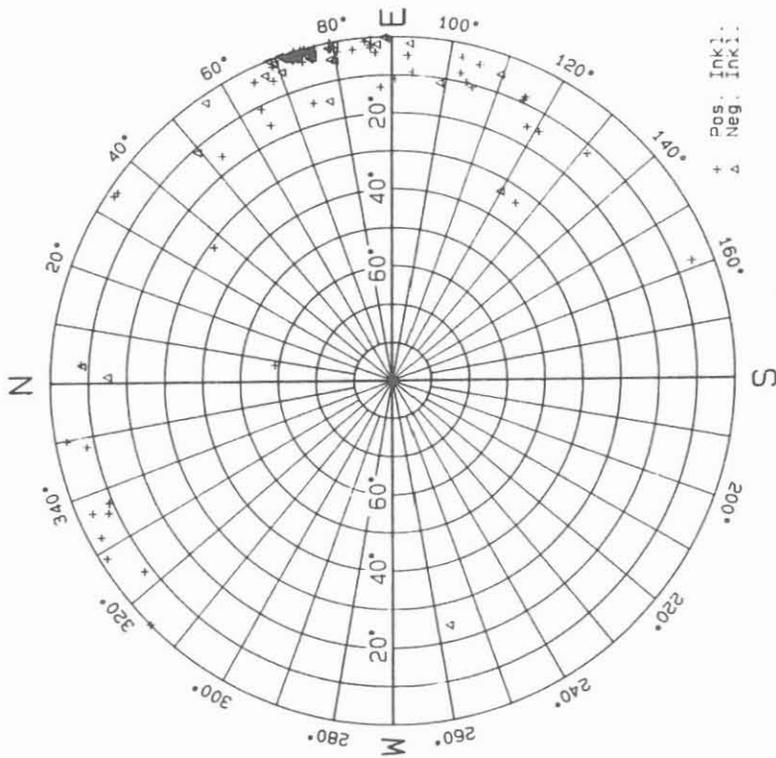


Tiefenbereich: 1620 - 1680 m

Abb. 20

KTB-OBERPFALZ  
3-D-BOHRLOCHMAGNETIK  
3-D-LOGGING  
(Abstand ca. 15 cm)

Störfeldvektoren nach Azimut und Neigung



Tiefenbereich: 1358 - 1378 m

Abb. 20 und 21: 3D-Logging, Störfeldvektoren nach Azimut und Neigung