

Magnetotellurische Untersuchungen
an der Fränkischen Linie
und im Umfeld der KTB-Lokation

H. Brasse
G. Fischer
F. Leonhardt
P.-A. Schnegg



MAGNETOTELLURISCHE UNTERSUCHUNGEN AN DER FRÄNKISCHEN LINIE UND IM UMFELD DER KTB-LOKATION

H. Brasse^{*}, G. Fischer⁺, F. Leonhardt^{*}, P.-A. Schnegg⁺

Zusammenfassung

In den Jahren 1986/87 wurden - im Rahmen einer Diplomarbeit an der TU Berlin - audiomagnetotellurische (AMT) Untersuchungen auf Profilen über die Fränkische Linie und die Zone Erbdorf-Vohenstrauß (ZEV) in der Oberpfalz durchgeführt (Leonhardt, 1987). Zielsetzung war zunächst, Aussagen über ein eventuelles Einfallen der Fränkischen Linie nach Nordosten zu liefern, wie es sich in gravimetrischen Daten andeutete (Bücker & Soffel, in: Weber & Vollbrecht, 1986). Aufgrund der Wahl Windisch-Eschenbachs als Lokation der Kontinentalen Tiefbohrung wurden die Untersuchungen nach Osten bis zum Falkenberger Granit ausgedehnt. Der Frequenzbereich von etwa 4-1000 Hz der verwendeten Apparatur erwies sich allerdings als nicht ausreichend, so daß vom Observatoire Cantonal in Neuchâtel längerperiodische Sondierungen (bis $T \approx 30$ s) an ausgewählten Stationen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse werden in Form von Pseudo-Tiefenprofilen dargestellt und liefern ebenso wie eine zweidimensionale Modellrechnung Hinweise auf ein steiles Einfallen der Fränkischen Linie nach Nordosten. Die ZEV erscheint als komplizierte dreidimensionale Leitfähigkeitsstruktur mit Einlagerungen von Schichten geringen spezifischen Widerstands in mehreren hundert Metern Tiefe, die auf Graphitvorkommen zurückgeführt werden.

Die Meßkampagne

Die Sondierungen wurden mit einer vom Observatoire Cantonal (Neuchâtel) entwickelten Apparatur durchgeführt. Sie arbeitete zur Zeit der Kampagne in einem Frequenzbereich von etwa 4-1000 Hz; das baugleiche Gerät in Neuchâtel erlaubt die Registrierung erdmagnetischer und tellurischer Variationen bis zu Perioden von $T \approx 100$ s. Als Sensoren

* Institut für Angewandte Geophysik, Ackerstr. 71-76, D-1000 Berlin 65

+ Observatoire Cantonal, Rue de l'Observatoire 58, CH-2000 Neuchâtel

für das erdmagnetische Feld wurden Induktionsspulen-Magnetometer CM 216 E (hochfrequenter Bereich) und CM 11 E (niederfrequenter Bereich) der Firma ECA verwendet. Die digitalisierten Zeitreihen werden auf Disketten gespeichert, die Verarbeitung der Daten erfolgt "on-line", so daß bereits im Gelände ein Überblick über die Datenqualität und die magnetotellurischen Übertragungsfunktionen möglich ist (Schnegg & Fischer, 1980).

In Abb. 1 ist die Lage der Stationen in einem Gauß-Krüger-Koordinatensystem dargestellt. Als geologische Strukturen sind ferner eingetragen der Verlauf der Fränkischen Linie, welche die Grenze zwischen Mesozoikum im Westen und dem Paläozoikum im Osten markiert, sowie die Amphibolite (punktiert) auf der ZEV. Die Sondierungen an der Bohrlokation sind mit KTB bis KTB3 bezeichnet.

Die Datenqualität an den Stationen war sehr unterschiedlich. Während westlich der Fränkischen Linie auf den mesozoischen Sedimenten nur geringe künstliche Störungen zu verzeichnen waren (vgl. Abb. 2), zeigten sich alle Punkte auf der ZEV als überaus stark gestört (50 Hz und Oberwellen). Das traf insbesondere auf das Gebiet im engeren Umkreis der Bohrlokation zu (vgl. Abb. 3), wo sich vor allem der Einfluß einer in der Nähe vorbeiführenden 380 kV-Leitung bemerkbar macht.

Darstellung der Meßergebnisse und qualitative Interpretation

Westlich der Fränkischen Linie zeigen die Sondierungskurven im hochfrequenten Bereich eindimensionalen Charakter (Abb. 4). Dargestellt ist nicht die üblicherweise verwendete magnetotellurische Phase

$$\psi = \arctan \left(\frac{\text{Im } Z}{\text{Re } Z} \right) ,$$

sondern $\varphi = \pi/4 - \psi$ nach Fischer et al. (1981). In den Darstellungen der AMT-Registrierungen sind die Impedanzensorelemente jeweils um den Swiftwinkel gedreht. Die Fränkische Linie wird an nahegelegenen Stationen auf mesozoischem Untergrund als ausgeprägte Anomalie sichtbar (vgl. Abb. 5 für den Meßpunkt A6); ihr Einfluß ist bereits am Meßpunkt A4 (Abb. 4) ab Frequenzen von etwa 100 Hz zu erkennen. Für die Station A6 sind in Abb. 5 zusätzlich die ρ^*-z^* - und die Bostick-Transformation als erste Annäherungen an die Widerstands-Tiefenverteilung aufgetragen. Die Stationen auf der ZEV (z. B. A17 in Abb. 6) sind durch stark

anisotrope Sondierungskurven gekennzeichnet, wobei die Anisotropie mit $A = |Z_{xy} / Z_{yx}|$ definiert ist. Auffallend ist die Existenz eines guten Leiters (an der Station A17 nur in einer Komponente zu erkennen), wie er auch schon bei Drews (1986) in der aktiven Audiomagnetotellurik zum Ausdruck kommt. Er zeigte sich an fast allen Stationen dieses Meßprogramms und wird vermutlich erklärt durch das Auftreten von Graphiten, wie sie in der Bohrung Püllersreuth in einigen hundert Metern Tiefe und mittlerweile auch in der KTB-Vorbohrung angetroffen wurden.

Leonhardt (1987) nimmt eine Dimensionalitätsanalyse der Daten nach einem Verfahren von Ranganayaki (1984) vor. Danach ist insbesondere der östliche Teil der ZEV - also auch das engere Umfeld der KTB-Lokation - als dreidimensional anzusehen, ersichtlich aus hohen Werten von $S \gg 0.3$ des Skew-Faktors. Leonhardt stellt scheinbare spezifische Widerstände ρ_{det} und Phasen φ_{det} , berechnet aus der Invarianten

$$\text{Det}(\underline{Z}) = Z_{xx} Z_{yy} - Z_{xy} Z_{yx}$$

nach Ranganayaki (1984) als Pseudo-Tiefenprofile dar. Ein Beispiel für das Profil A (gebildet aus den Stationen A1 - A20 sowie FAL) ist in Abb. 7 dargestellt. Deutlich erkennbar sind die Fränkische Linie (im Bereich der Station A7) als Leitfähigkeitssprung mit höheren scheinbaren Widerständen im Osten, die inhomogene Struktur der ZEV sowie deren östliche Begrenzung mit dem Übergang zum Falkenberger Granit (Stationen A20 und FAL). Betrachtet man die Pseudotiefen-Darstellung von ρ_{det} und φ_{det} , so ist im gesamten Meßgebiet in größerer Tiefe ein Bereich erhöhter Leitfähigkeit festzustellen, der an der Fränkischen Linie bis nahe an die Oberfläche reicht. Deutlicher als im Profil A wird ein steiles Einfallen der Fränkischen Linie im südlich gelegenen Profil C mit den Stationen C1 - C9 (Abb. 8).

Modellrechnung für die Stationen an der Fränkischen Linie

Das Einfallen der Fränkischen Linie nach Nordosten wird auch bei den längeren MT-Perioden bestätigt. Der dreidimensionale (3-D) Charakter der Strukturen östlich der Linie verbietet jedoch die Ableitung eines

durchgehenden 2-D Modells. Es werden daher zunächst nur, wie im Beispiel der Abb. 9, bei jeder der einzelnen Stationen die Daten der H-Polarisation (Magnetfeld in Richtung der Fränkischen Linie) mit 1-D Modellen interpretiert. Wegen der Stetigkeit der E-Feld-Komponente gibt bekanntlich die E-Polarisation ein besseres "mittleres Bild" einer komplizierten Struktur. Schnegg et al. (1986) haben jedoch gezeigt, daß in den meisten Fällen bei einer 2-D Struktur die H-Polarisation sich auf viel kürzeren Distanzen dem lokalen Charakter einer Struktur angleichen kann. Aus den Daten dieser Polarisation wird also zunächst durch einfaches Nebeneinanderlegen der 1-D Modelle eine 2-D Struktur abgeleitet. Schon in dieser provisorischen Struktur (Abb. 10) ist das Einfallen der Fränkischen Linie nach Nordosten gut erkennbar. Das Modell wird dann in eine allgemeine 2-D Struktur verwandelt (Abb. 11), mit dem Ziel, die Gesamtheit der Daten der H-Polarisation widerzugeben. Östlich der Station A10 muß angenommen werden, daß das abgeleitete 2-D Modell der Realität keineswegs entsprechen kann. Westlich davon wird man jedoch aus der guten Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Daten (Abb. 12) schließen dürfen, daß das Modell der Abb. 11 über die wahre Struktur auf der Fränkischen Linie selbst und deren westliche Flanke einigen Aufschluß gibt. Auf diesem Profilabschnitt lassen sich nämlich auch die Daten der E-Polarisation mit dem Modell recht gut erklären. Insbesondere ist wieder das Einfallen des guten Leiters nach Nordosten gut dokumentiert.

In diesem Zusammenhang darf vielleicht auch die Frage gestellt werden, ob das Einfallen nach Nordosten an der Fränkischen Linie nicht eher als eine Überschiebungstendenz der metamorphen Gesteine von Nordosten nach Südwesten angesehen werden soll.

Literatur

- Drews, C. : Ermittlung der Tiefenverteilung der elektrischen Leitfähigkeit in der Oberpfalz mit Hilfe der aktiven Audiomagnetotellurik, Diplomarbeit TU Braunschweig, 1986.
- Fischer, G., Schnegg, P.-A., Peguiron, M. & Le Quang, B.V. : An analytic one-dimensional magnetotelluric inversion scheme, *Geophys. J. R. astr. Soc.* , 67, 257-278, 1981.
- Leonhardt, F. : Audiomagnetotellurische Untersuchungen in der Oberpfalz, Diplomarbeit TU Berlin, 1987.

- Ranganayaki, R.P. : An interpretive analysis of magnetotelluric data, *Geophysics*, 49, 1730-1748, 1984.
- Schnegg, P.-A. & Fischer, G. : On-line determination of apparent resistivity in magnetotelluric soundings, in : *Protokoll Kolloquium Elektromagnetische Tiefenforschung* (Hg. V. Haak & J. Homilius), Berlin-Lichtenrade, 1980.
- Schnegg, P.-A., Fischer, G., Le Quang, B.V. & Weaver, J.T. : Investigation of a buried vertical Fault with natural and controlled source AMT, *Annales Geophysicae*, 4B, 139-144, 1986.
- Weber, K. & Vollbrecht, A. (Hg.) : *Ergebnisse der Vorerkundungsarbeiten - Lokation Oberpfalz*, 2. KTB-Kolloquium, Seeheim/Odenwald, Göttingen, 1986.

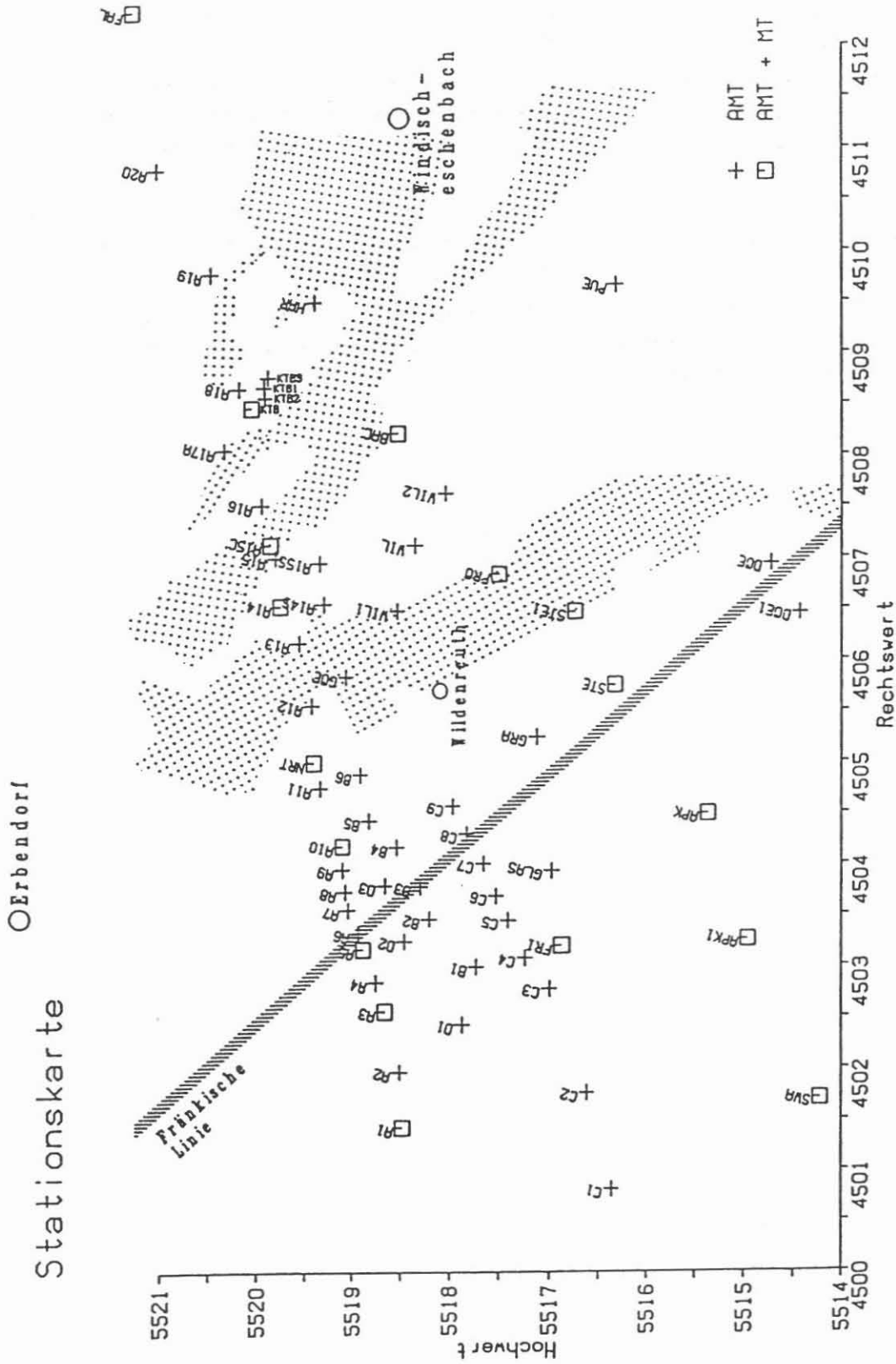


Abb. 1: Karte der AMT- und MT-Stationen mit Gauß-Krüger-Koordinaten und schematischer Darstellung von Fränkischer Linie und Amphibolit-Vorkommen (Punktraster)

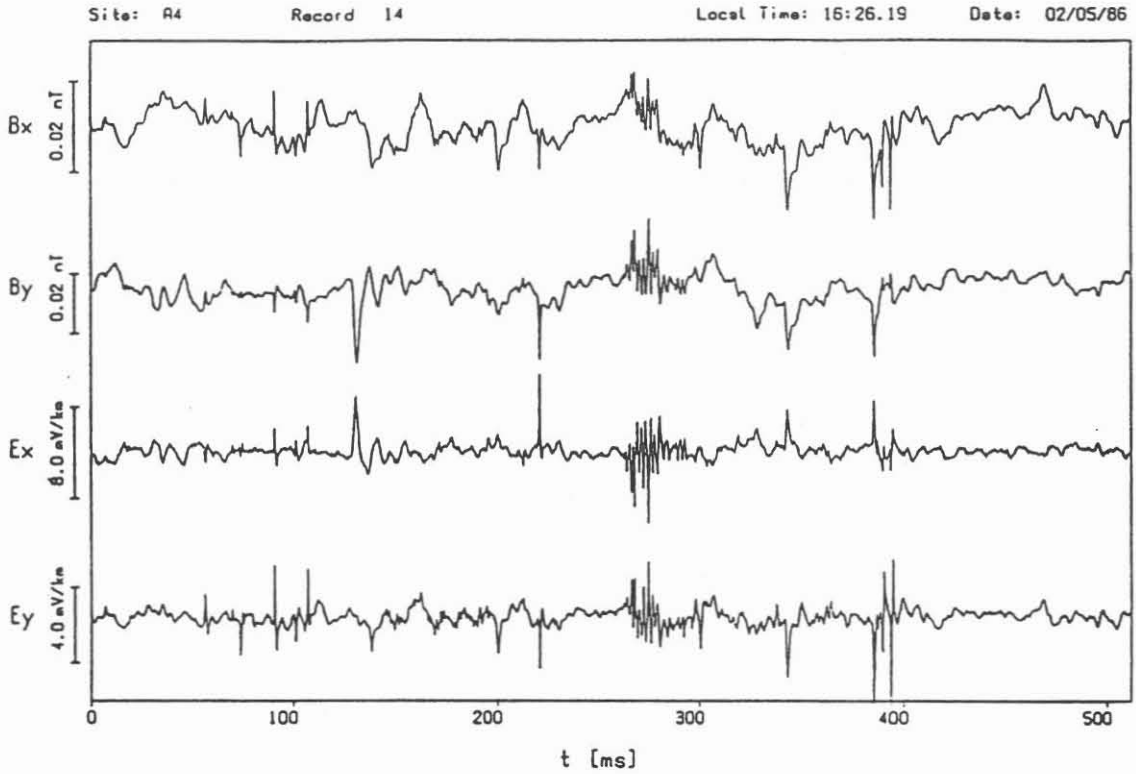


Abb. 2: Wenig gestörte audiomagnetotellurische Zeitreihen an der Station A4 (westlich der Fränkischen Linie)

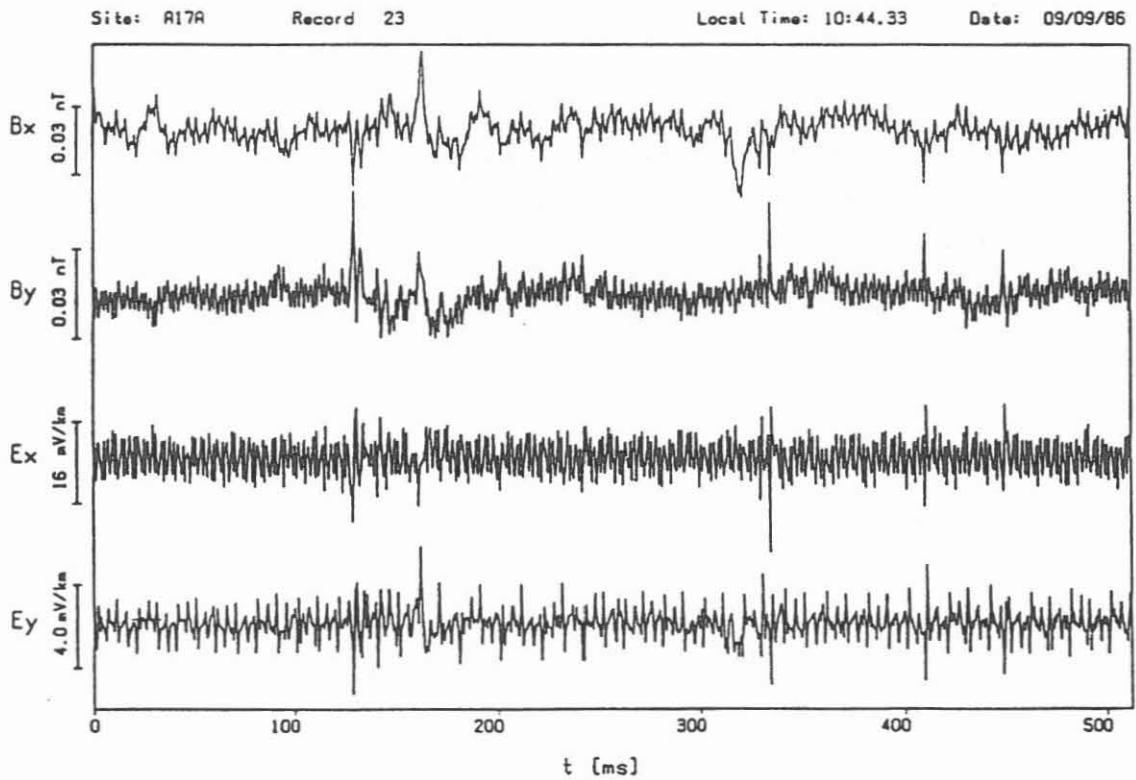


Abb. 3: Stark gestörte AMT-Registrierung an der Station A17 (nahe der KTB-Lokation)

Station : A4 x RHORxy o RHORyx
 x PHLxy o PHLyx
 a = Swift

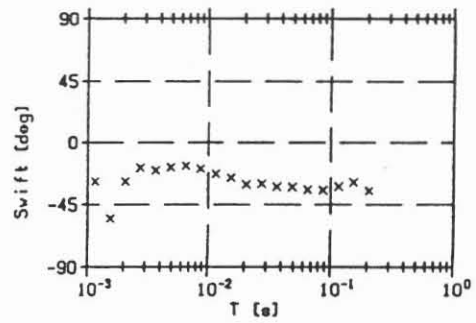
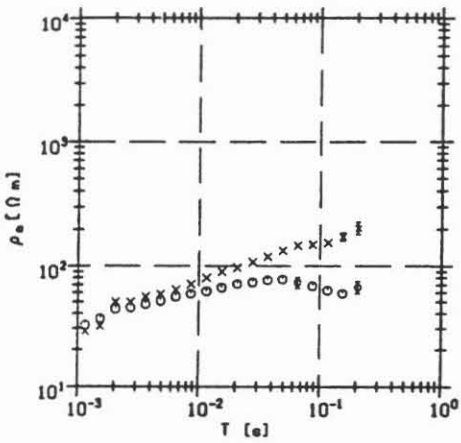
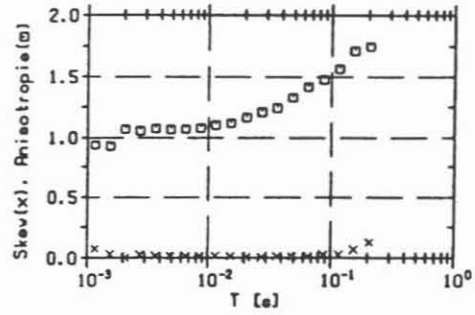
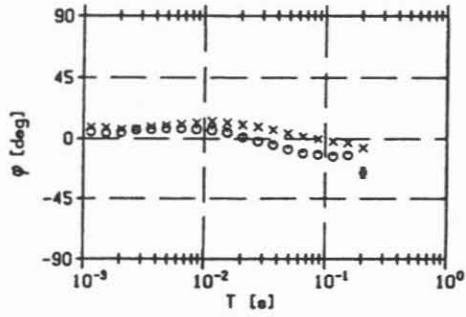
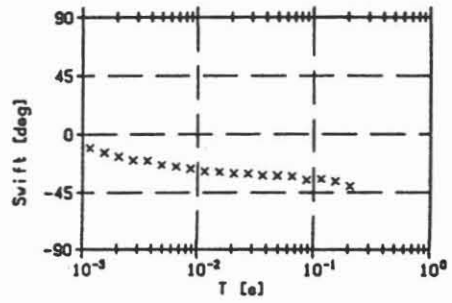
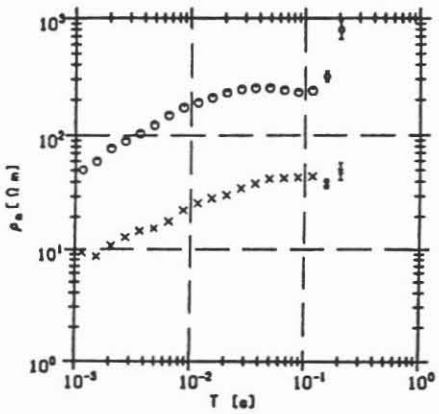
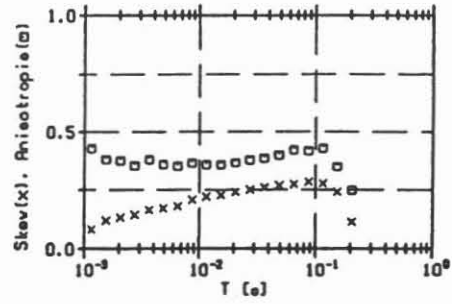
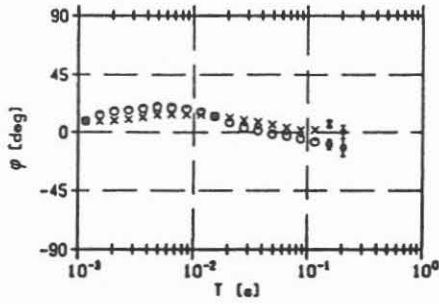
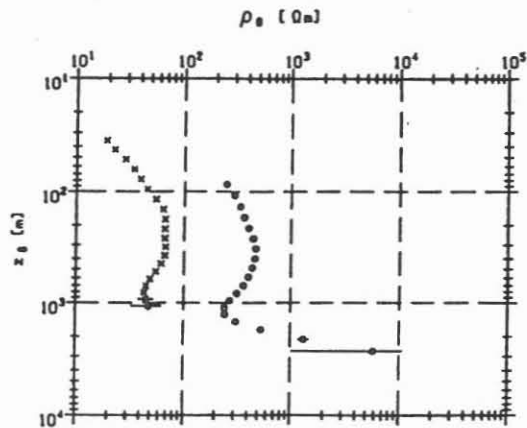


Abb. 4: Scheinbare spezifische Widerstände und Phasen sowie Swift-Winkel, Skew und Anisotropie für den AMT-Frequenzbereich an der Station A4 westlich der Fränkischen Linie

Station : A6 x RHO_{Rxy} o RHO_{Ryx}
 x PHI_{Lxy} o PHI_{Lyx}
 a = Swift



Station : A6 x RHO_{Rxy} o RHO_{Ryx}
 a = Swift



Station : A6 x RHO_{Rxy} o RHO_{Ryx}
 a = Swift

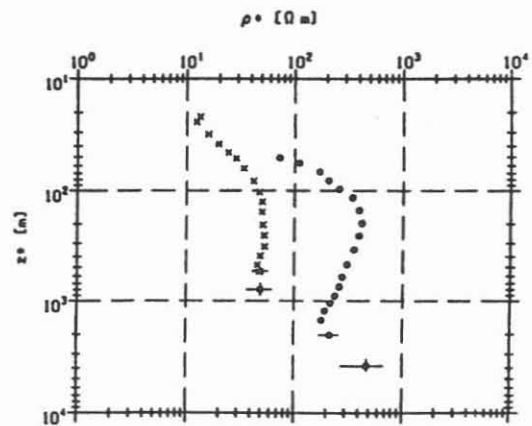


Abb. 5: Sondierungskurven (AMT) unmittelbar an der Fränkischen Linie mit $\rho^* - z^*$ - und Bostick-Transformation $\rho_B - z_B$

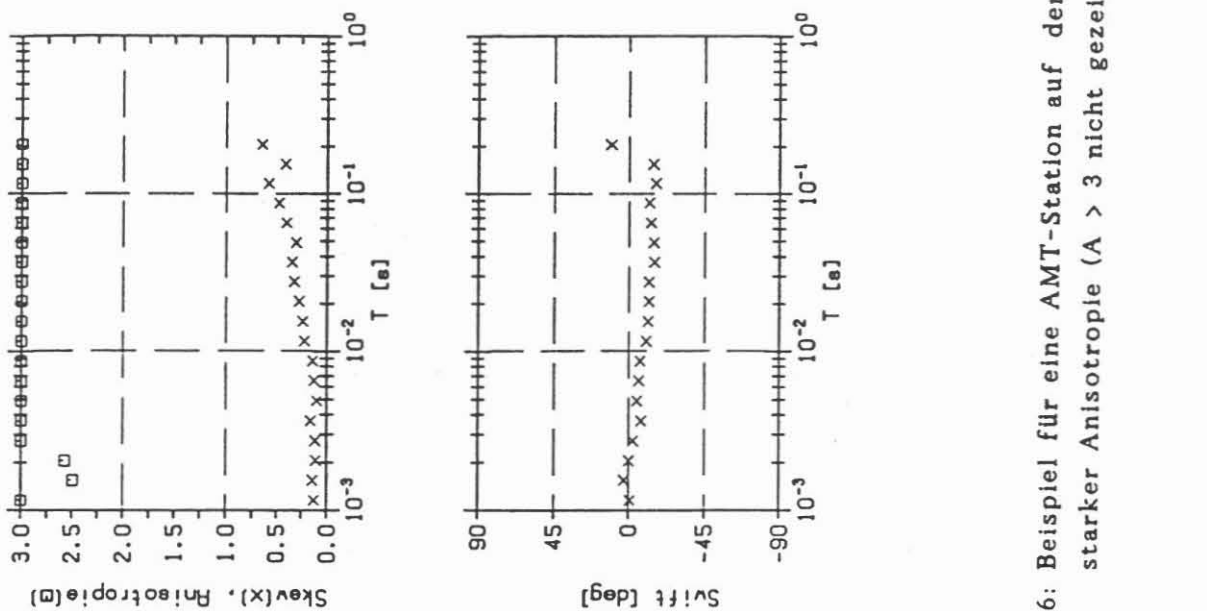
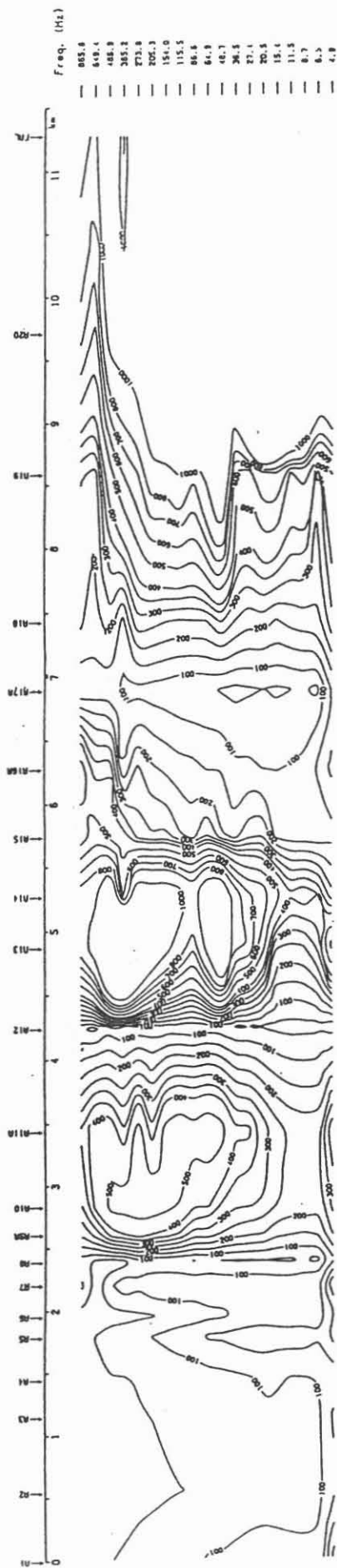


Abb. 6: Beispiel für eine AMT-Station auf der ZEV mit starker Anisotropie ($A > 3$ nicht gezeichnet)

Pseudo-Tiefenprofil A
Rho- Δ et.



Pseudo-Tiefenprofil A
Phi- Δ et.

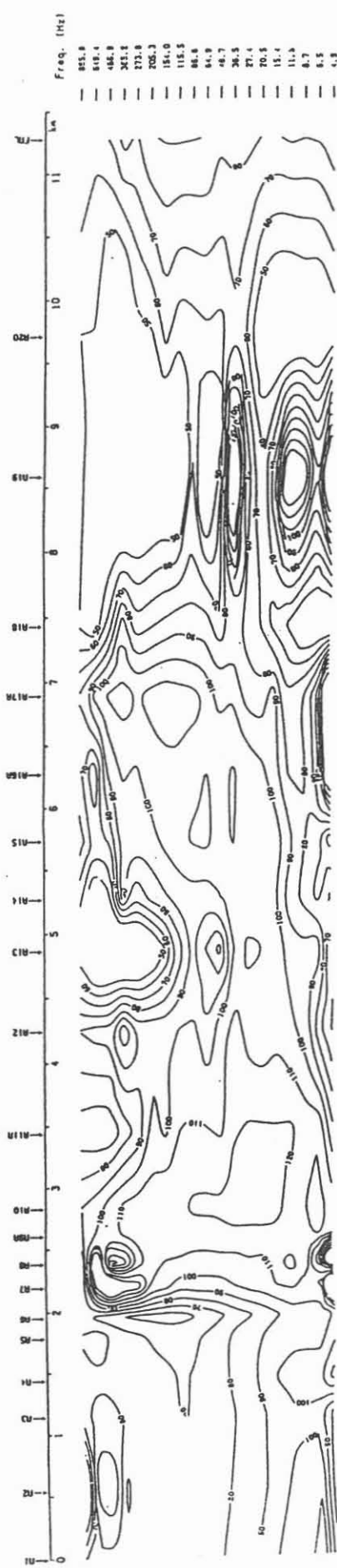
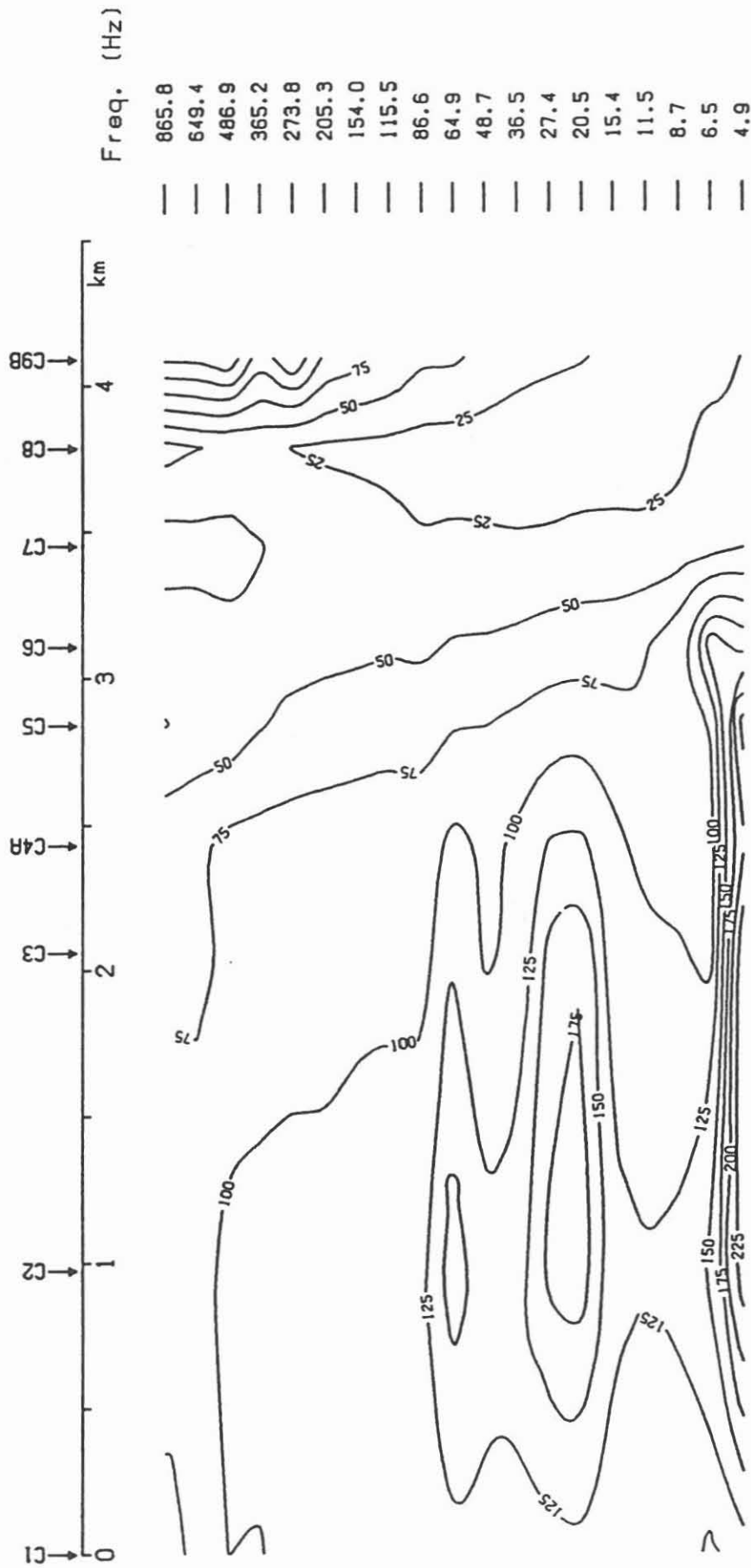


Abb. 7: Pseudo-Tiefenprofil A für $\rho_{\Delta et}$ und $\phi_{\Delta et}$

Pseudo-Tiefenprofil C
Rho-Det.



Rengenyek i
Rho-Det

Abb. 8: Pseudo-Tiefenprofil C für ρ_{det}

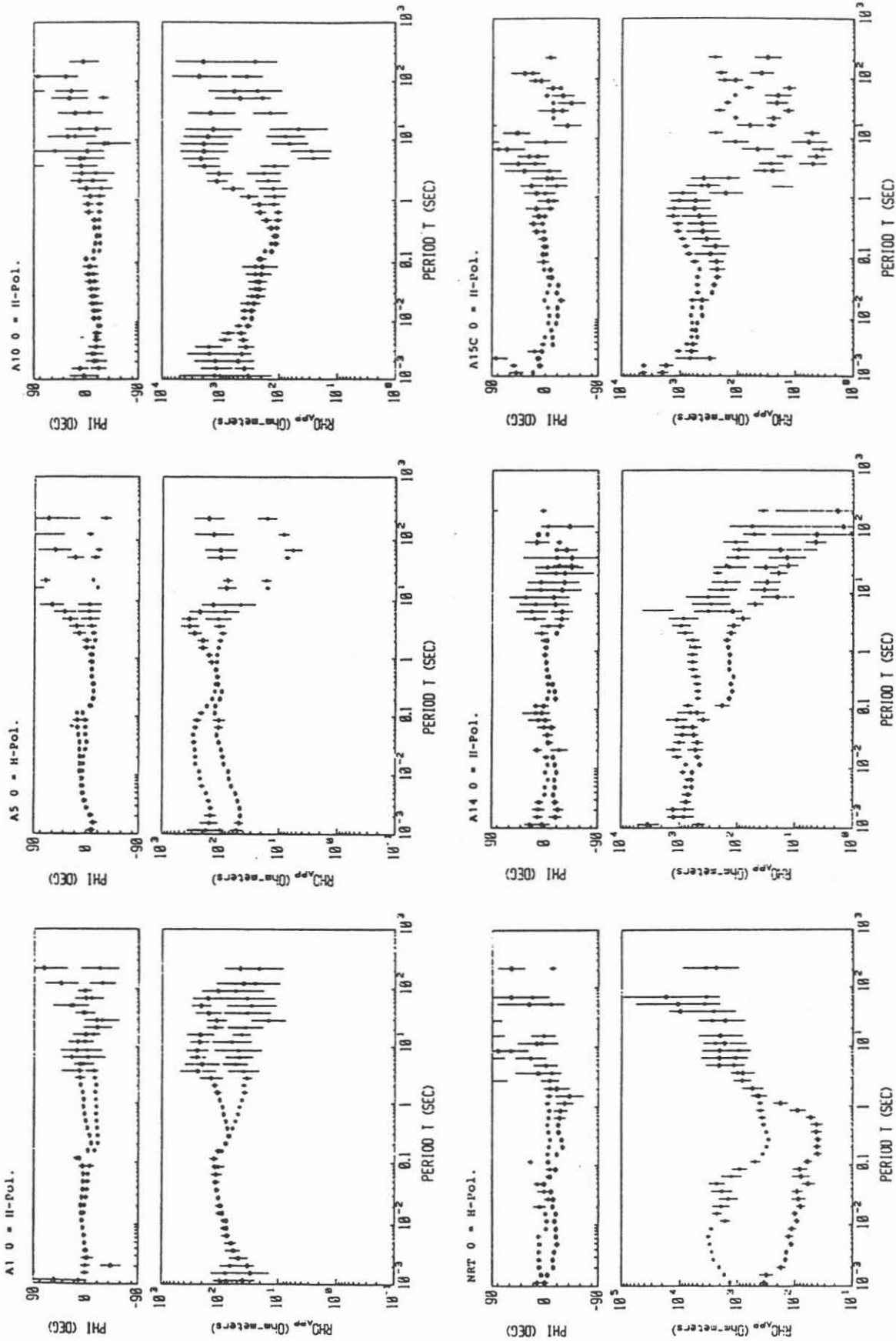


Abb. 9: MT- und AMT-Sondierungskurven an den Stationen A1, A5, A10, NRT, A14 und A15C

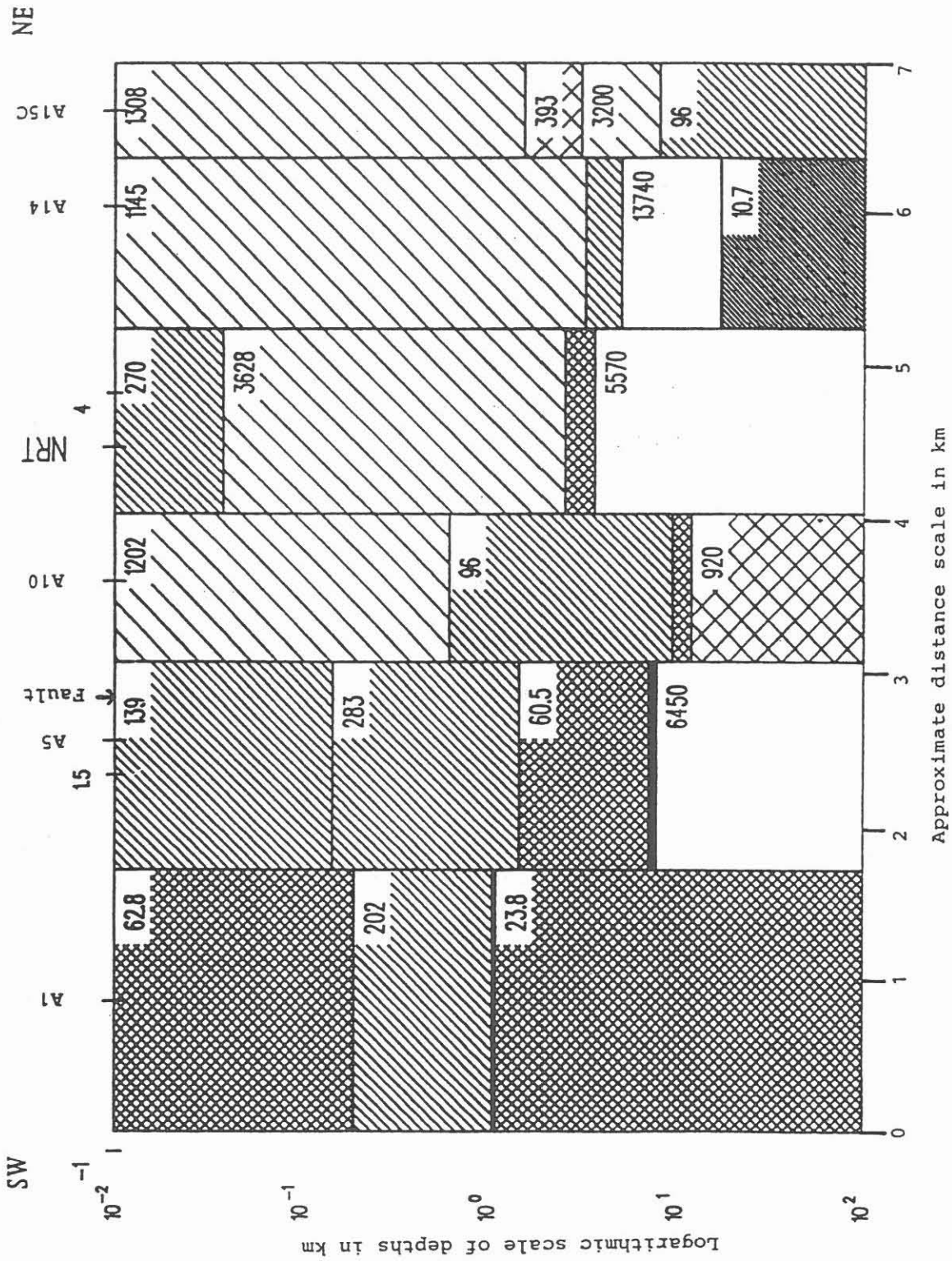


Abb. 10: Zweidimensionales Ausgangsmodell für Profil A

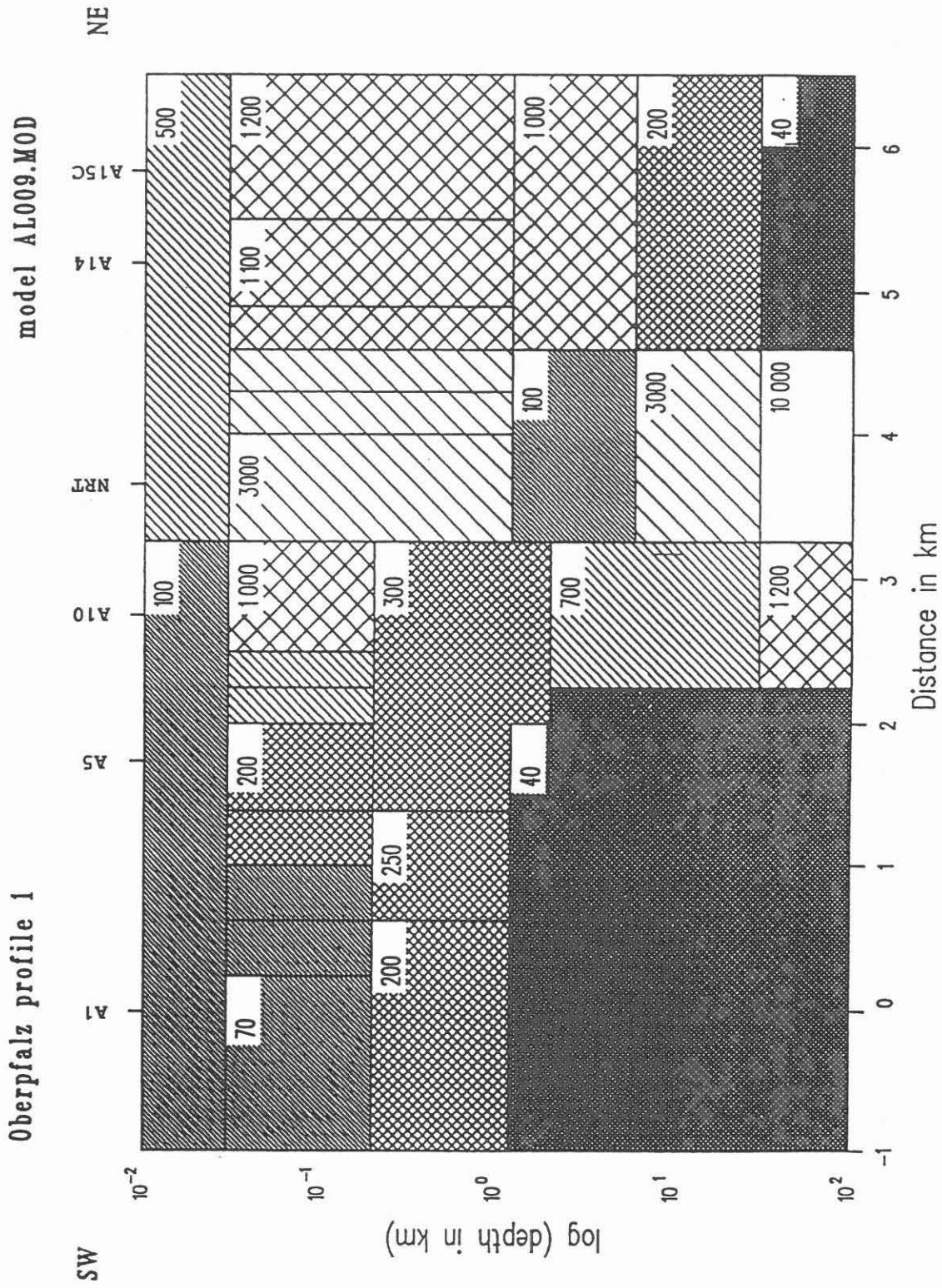


Abb. 11: Verbessertes 2-D Modell für Profil A, abgeleitet aus den Daten der H-Polarisation

NE

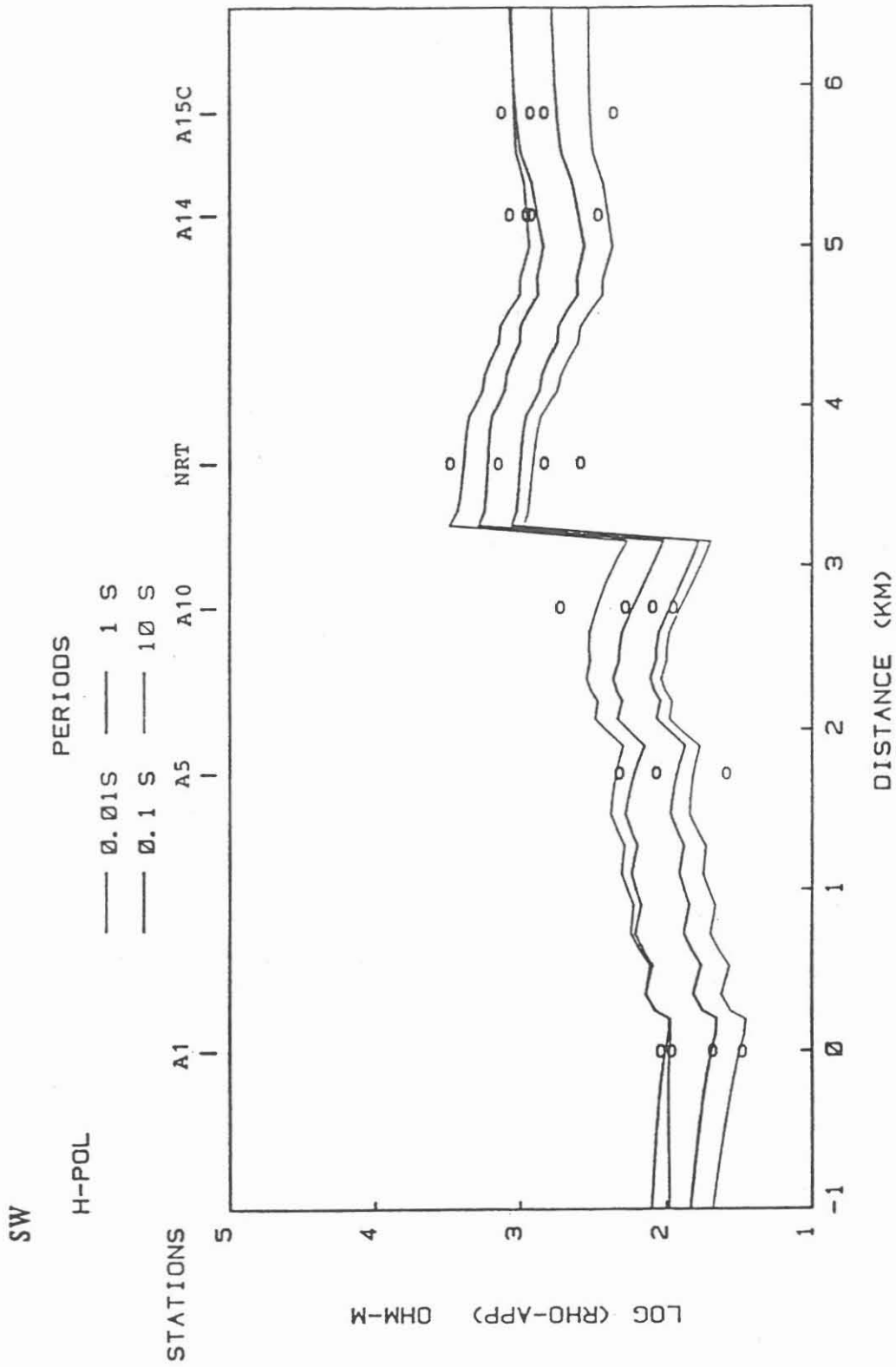


Abb. 12: Verhalten des 2-D Modells der Abb. 11 in der H-Polarisation
(durchgezogene Kurve) und entsprechende Meßpunkte