

# Leitfähigkeitsmodelle zum MT-Profil Oberpfalz-Vogtland

Sebastian Tauber

Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformatik der Freien Universität Berlin

## Einleitung

Die Freie Universität Berlin führte in Zusammenarbeit mit der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt, der Bergakademie Freiberg und dem Erdmagnetischen Observatorium Niemegk in den Jahren 1988, 1989 und 1991 im Südosten Deutschlands magnetotellurische Messungen durch. Die Meßpunkte liegen auf einem 160 km langen Nord-Süd-Profil, das sich vom Oberpfälzer Wald in Bayern bis in das Vogtland in Thüringen erstreckt. Dabei quert das Profil den zentralen Bereich des Moldanubikums sowie das gesamte Saxothuringikum und endet an der Mitteldeutschen Kristallinzone, dem Übergangsbereich von Saxothuringikum und Rhenoharzynikum (siehe Abb. 1).

Die Auswertung der Zeitreihen erfolgte über eine manuelle Auswahl von Effekten, die fourieranalysiert und zu bandgemittelten Spektren zusammengefaßt wurden. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die Spektren der einzelnen Effekte aufgrund einer optischen Beurteilung von Kohärenz und Güte der Sondierungskurven gestapelt.

Im folgenden werden die Ergebnisse der erdmagnetischen Tiefensondierung und der Magnetotellurik vorgestellt und diskutiert. Eine ausführliche Darstellung der Resultate findet sich bei TAUBER (1993). Es sei schon an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß sich für die beiden Methoden keine gemeinsame Streichrichtung finden läßt.

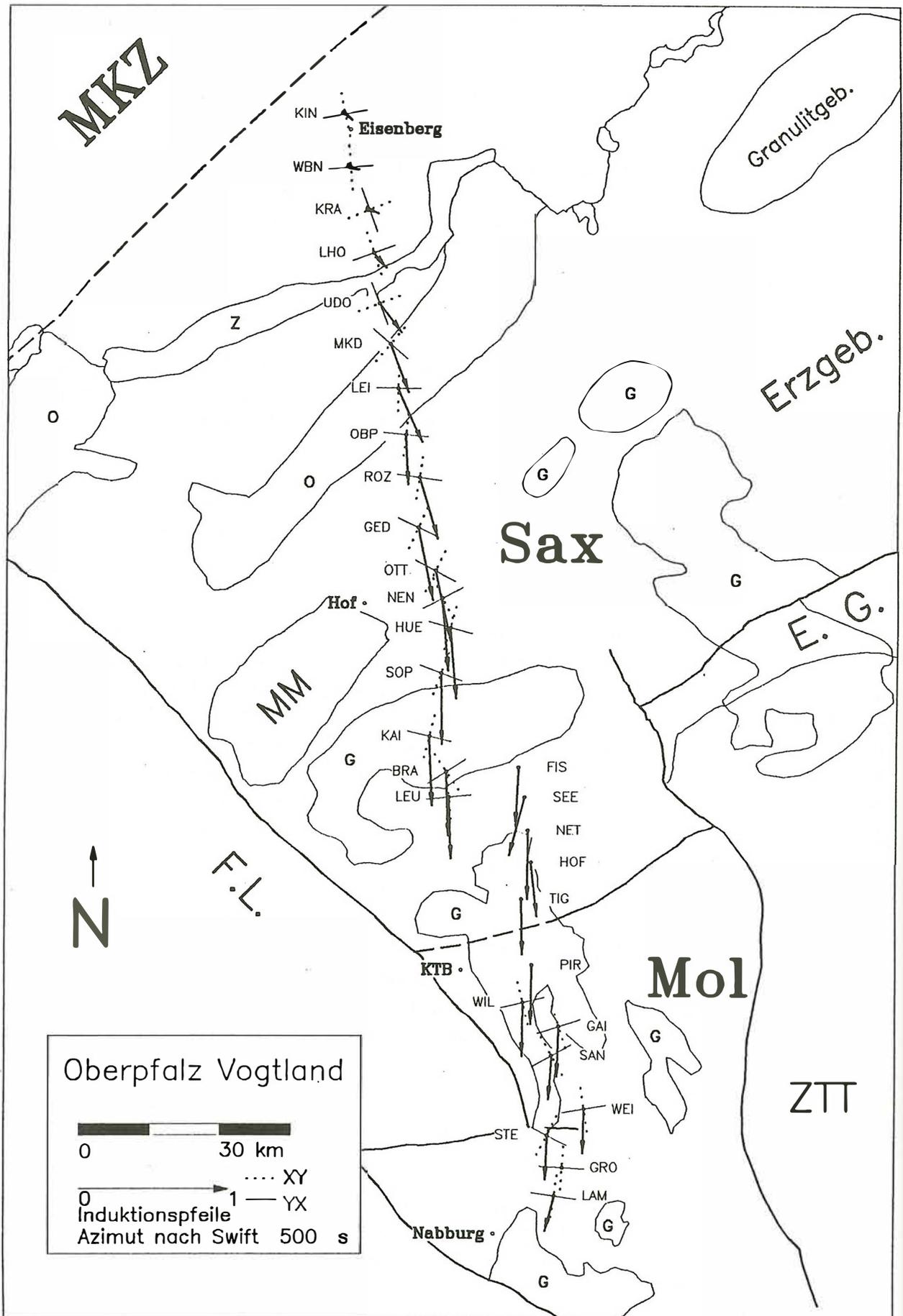
## Erdmagnetische Tiefensondierung

Die erdmagnetische Tiefensondierung hat ergeben, daß die Induktionspfeile des gesamten 160 km langen Nord-Süd-Profiles nach Süden zeigen und damit eine großräumige E-W streichende Leitfähigkeitsanomalie andeuten. Ihre maximale Länge erreichen die Induktionspfeile bei Perioden von 500 bis 600 s. In ihrem räumlichen Verhalten weisen die Induktionspfeile ein breites Maximum auf und erreichen im mittleren Teil des Profils Werte für das Z/H-Verhältnis von bis zu 0,4. Zur Mitteldeutschen Kristallinzone klingt dieses Maximum rasch ab, nach Süden hin fällt es sehr viel schwächer ab. In Abb. 1 ist dieses Verhalten exemplarisch für die Periode von 500 s zu sehen.

Anschließend wurde mit dem finite Elemente Programm PW2D von WANNAMAKER ET AL. (1987) eine zweidimensionale Modellrechnung durchgeführt.

Die wesentliche Struktur der in Abb. 2a und 2b gezeigten Modelle ist ein nahezu flächiger guter Leiter mit einem nach Süden gerichteten Widerstandsgradienten, wobei die Blöcke gleichen Widerstandes E-W streichen. Aus der räumlichen Variation der Induktionspfeile ergibt sich ein Verhältnis der Widerstände im Norden zu denen im Süden von ca. 1:130. Diese Kenngröße mußte bei der Modellierung eingehalten werden, um eine befriedigende Anpassung für die Induktionspfeile zu erzielen. Die absoluten Werte dieses lateralen Widerstandsgradienten bedingt der Widerstandscontrast zur umgebenden Kruste.

Abb. 1: (Nächste Seite) Induktionspfeile und Swiftwinkel für die Periode von 500 s unterlegt mit dem Stationslageplan und einer Skizze der regionalen Geologie. Das Profil verläuft von der Mitteldeutschen Kristallinzone (MKZ), über das Saxothuringikum (Sax) bis in das Moldanubikum (Mol). Das Zechstein (Z) markiert die südliche Berandung des Thüringer Beckens. Das Ordovizium (O) gibt die Kerne der alt-paläozoischen Antiklinalen wieder. Weitere geologische Körper sind die spätvariszisch intrudierten Granite (G), die Deckenkomplexe der Münchberger Gneissmasse (MM) und der Zone Tepla Taus (ZTT), sowie der Eger Graben (EG) und die Fränkische Linie (FL). Zur Orientierung ist die Kontinentale Tiefbohrung (KTB) mit verzeichnet.



Vor dem Hintergrund von 2500  $\Omega\text{m}$  für die Erdkruste und die obere Lithosphäre (bis 85 km Tiefe) betragen die Widerstände des eingebetteten guten Leiters 0,2  $\Omega\text{m}$  am nördlichen und 26  $\Omega\text{m}$  am südlichen Zipfel des Profils. Das Maximum der integrierten Leitfähigkeit dieser Schicht beträgt 5000 Siemens und befindet sich am Südrand der Mitteldeutschen Kristallinzone. Nach Süden nimmt die integrierte Leitfähigkeit ab und hat im Moldanubikum, auf der Höhe der Kontinentalen Tiefbohrung, nur noch einen Wert von 100 Siemens.

Die Teufe dieser gut leitfähigen Schicht wurde zwischen 11 und 25 km variiert. Dabei zeigte sich, daß die Phasen und die Induktionspfeile, insbesondere der Nulldurchgang des Imaginärpfeils, im südlichen Teil des Profils besser durch eine in 25 km Tiefe (Modell B) gelegene gut leitfähige Schicht angepaßt werden, die Induktionspfeile im nördlichen Abschnitt des Profils jedoch besser von einer in 11 km Tiefe (Modell A) gelegenen gut leitfähigen Schicht. Ein Vergleich von Meß- und Modellkurven der beiden Modelle ist in Abb. 5a und 5b wiedergegeben.

### Magnetotellurik

In den magnetotellurischen Ergebnissen zeigt sich, daß die  $\rho_s$ -Kurven eine starke Anisotropie aufweisen. Sowohl im Moldanubikum als auch im nördlichen Teil des Saxothuringikum sind die scheinbaren spezifischen Widerstände  $\rho_{yx}$  in E-W Richtung um ein Vielfaches größer als die scheinbaren spezifischen Widerstände  $\rho_{xy}$  in N-S Richtung. Das durchschnittliche Verhältnis von  $\rho_{xy}/\rho_{yx}$  beträgt 1:30.

Die Frage ob das Aufspalten der  $\rho_s$ -Kurven auf einen Static Shift zurückzuführen ist kann verneint werden, denn einerseits ist dieses Phänomen einheitlich über einen weiten Teil des Profils zu beobachten und daher nicht mit lokalen Effekten eines Static Shifts zu erklären, zum anderen wird die Anisotropie der  $\rho_s$ -Kurven zu kürzeren Perioden hin deutlich geringer.

Es ist also ein anisotrop geschichteter oder ein zumindest zweidimensional strukturierter Untergrund anzunehmen. Dazu wurde eine eindimensionale anisotrope Modellierung nach DEKKER und HASTIE (1980) vorgenommen<sup>1</sup>. Mit dem in Tab. 1 angegebenen anisotropen 1D Modell können die Sondierungskurven gut angepaßt werden (siehe Abb. 3). Der spezifische Widerstand ist maximal in E-W Richtung ( $\rho_{max}$ ) und minimal in N-S Richtung ( $\rho_{min}$ ).

EISEL (1992) hat in einem Vergleich gezeigt, daß ein anisotrop geschichteter Untergrund bei ausreichend mächtiger isotropen Überdeckung ebenfalls zweidimensional durch vertikal stehende Lamellen modelliert werden kann.

Dazu muß die Dicke und der spezifische Widerstand der Lamellen so gewählt werden, daß der Widerstand der Parallelschaltung der Lamellen  $\rho_{\parallel}$ , dies entspricht dem Widerstand für die E-Polarisation, gleich  $\rho_{min}$  ist. Beim Widerstand für die B-Polarisation muß der Widerstand der Reihenschaltung der Lamellen  $\rho_{\perp}$  gleich  $\rho_{max}$  sein.

h	$\rho_{xy}$ (NS)	$\rho_{yx}$ (EW)
0,7 km	1200 $\Omega\text{m}$	
9,8 km	2440 $\Omega\text{m}$	4230 $\Omega\text{m}$
0,7 km	100 $\Omega\text{m}$	
860 km	430 $\Omega\text{m}$	2250 $\Omega\text{m}$
$\infty$	500 $\Omega\text{m}$	

Tab. 1: Anisotropes 1D Modell

1 Der Algorithmus von DEKKER & HASTIE (1980) bietet die Möglichkeit geschichtete 1D Modelle mit von Schicht zu Schicht wechselnder Anisotropierichtung zu berechnen. In dem in Tab. 1 gezeigten Modell sind die Richtungen der Anisotropie der einzelnen Schichten parallel. Die Sondierungskurven für die XY- und YX-Komponente des anisotropen Modells lassen sich in diesem Fall auch durch zwei isotrope 1D Modelle berechnen, da die Moden der beiden Anregungsrichtungen entkoppeln.

Da im Untersuchungsgebiet die kleinere Widerstandskomponente  $\rho_{xy} = \rho_{min}$  in etwa N-S gerichtet ist, ist bei der 2D Modellierung der Anisotropie ebenfalls eine N-S Streichrichtung für die vertikalen Lamellen anzunehmen. Dies ist jedoch nicht in Einklang zu bringen mit der aus den Induktionspfeilen gefolgerten E-W Streichrichtung.

Versucht man trotzdem beide Phänomene in einem 2D Modell zu vereinigen, indem man die gut leitfähige Schicht in E-W streichende gut und schlecht leitende Blöcke untergliedert, wie dies in Modell C in Abb. 4 gezeigt wird, so hat das zur Folge, daß die scheinbaren Widerstände der B-Polarisation vergrößert werden und die der E-Polarisation nahezu unverändert bleiben (siehe Abb. 7). Für die Verbesserung der Modellanpassung ist jedoch das entgegengesetzte Verhalten erforderlich.

### Schlußfolgerung

Für die im Untersuchungsgebiet beobachtete Anisotropie der  $\rho_s$ -Kurven ist eine in etwa N-S streichende anisotrope oder lamellierte 2D Struktur anzunehmen. Die aus der Anisotropie zu schließende N-S streichende Leitfähigkeitsstruktur steht damit senkrecht zu dem aus den Induktionspfeilen gefolgerten E-W streichenden Leitfähigkeitsgradienten. Die gesamte Untergrundstruktur ist daher als 3D oder 2D anisotrop anzusehen. Eine angemessene Behandlung des Problems besteht daher in einer dreidimensionalen oder 2D anisotropen Modellierung, wie dies von PEK (1994) für Böhmen getan wurde.

### Literatur

- DEKKER, D. L. & HASTIE, L. M. (1980): Magnetotellurik impedances of an anisotropic layered Earth modell. – *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 61, S. 11-20.
- EISEL, M. (1992): Effekte lateral anisotroper Leitfähigkeitsstrukturen in der MT. – In: *Prot. 14. Koll. „Elektromagnetische Tiefenforschung“*, Borkheide, S. 279-288.
- PEK, J. (1994): 2D numerical modelling of magnetotelluric fields in anisotropic structures - an FD algorithm. – In: *Prot. 15. Koll. „Elektromagnetische Tiefenforschung“*, Höchst (dieser Band).
- WANNAMAKER, P. E., STODT, J.A. & RIJO, L. (1987): *PW2D, Finite Element program for solution of magnetotelluric responses of two-dimensional earth resistivity structur. User Documentation.* – Earth Science Laboratory University of Utha Research Institute.
- TAUBER, S. (1993): *Die Leitfähigkeitsverteilung in den nördlichen Varisziden untersucht mit den Methoden der Magnetotellurik und der geomagnetischen Tiefensondierung auf einem Profil vom Oberpfälzer Wald ins Vogtland.* – Diplomarbeit, Freie Universität Berlin.

### Modell A

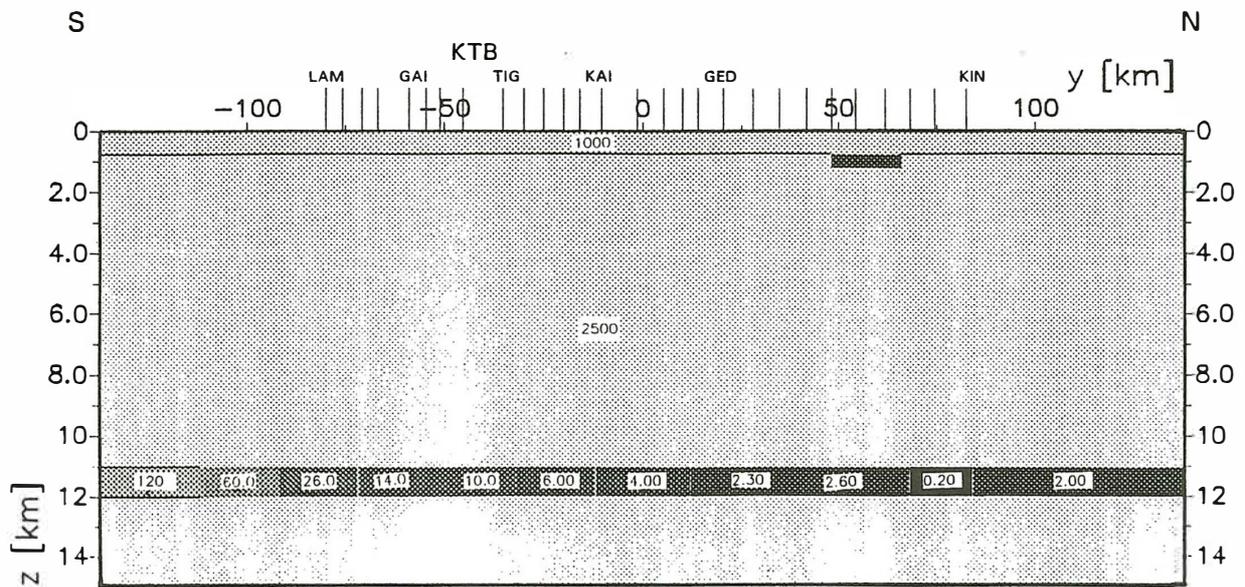


Abb. 2a: Modell A: guter Leiter in 11 km Tiefe. Die Zahlenwerte geben die spezifische Widerstände in  $\Omega\text{m}$  wieder. Ein Vergleich von Meß- und Modelldaten wird für die benannten Stationenpunkte in der Abb. 5a gegeben.

### Modell B

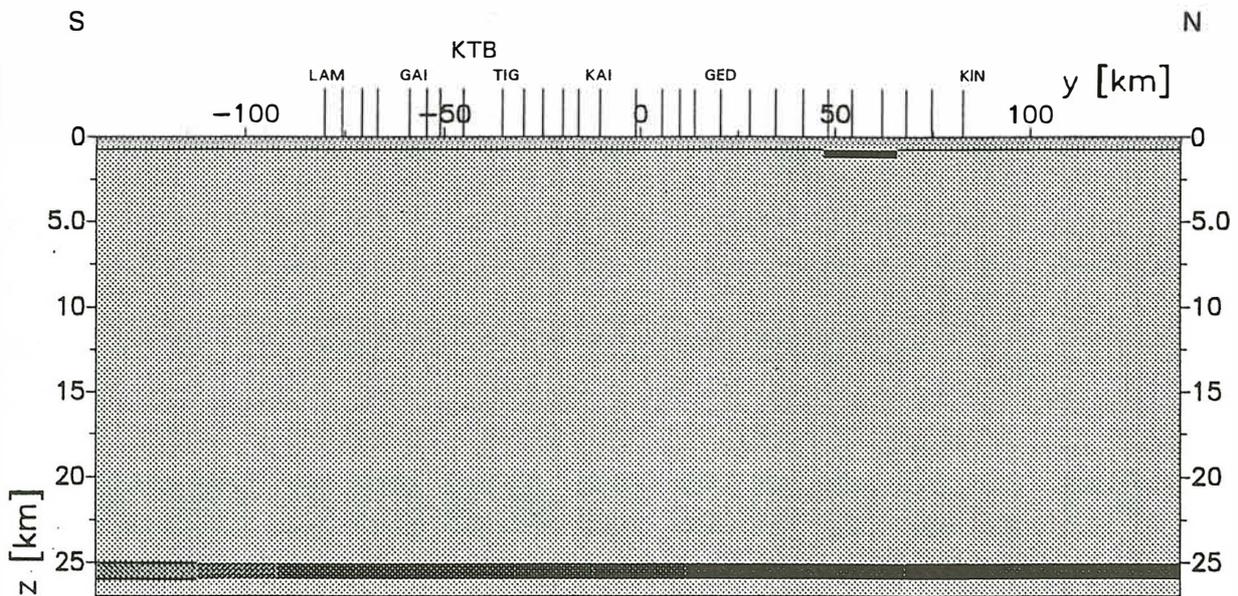


Abb. 2b: Modell B: guter Leiter in 25 km Tiefe. Abgesehen von der Tiefe des guten Leiters ist das Modell B identisch mit Modell A. Ein Vergleich von Meß- und Modelldaten findet sich in Abb. 5b.

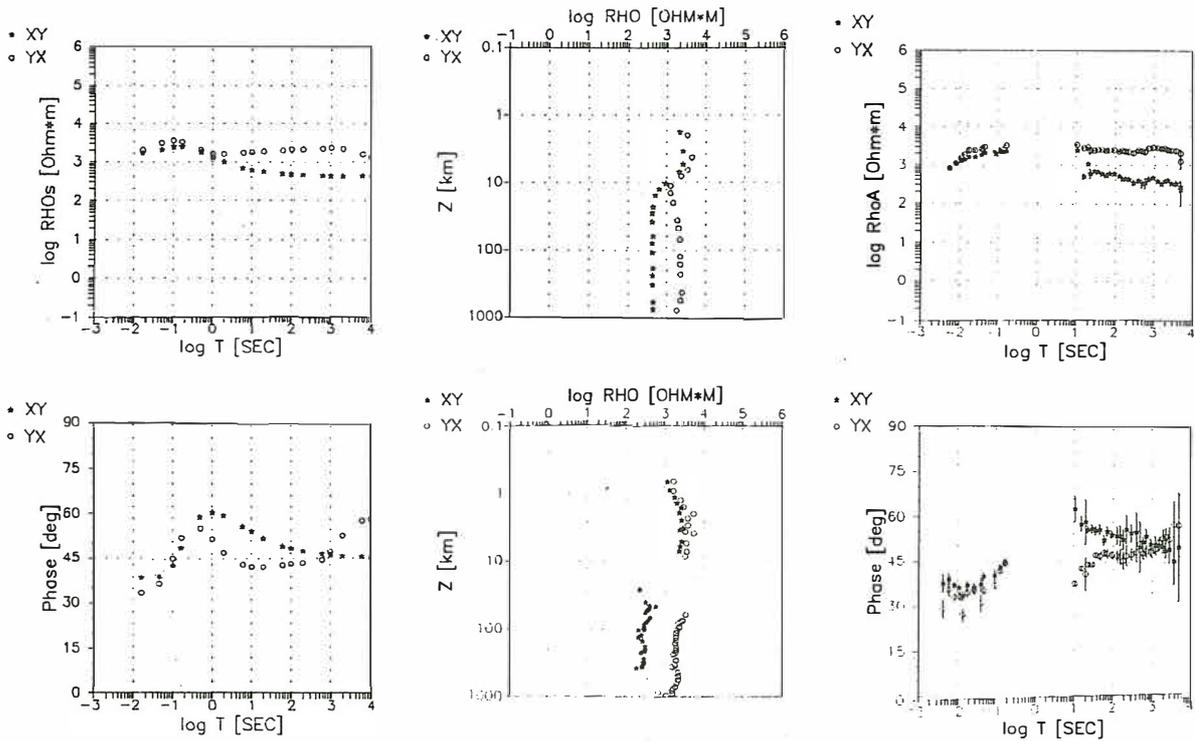


Abb. 3: Vergleich von Meß- und Modelldaten für das in Tab. 1 angegebene anisotrope 1D Modell. Dargestellt sind der scheinbare spezifische Widerstand, die Phase und die Bostick Transformierte. Die Modellkurven sind links und in der Mitte oben dargestellt, die Meßwerte rechts und in der Mitte unten.

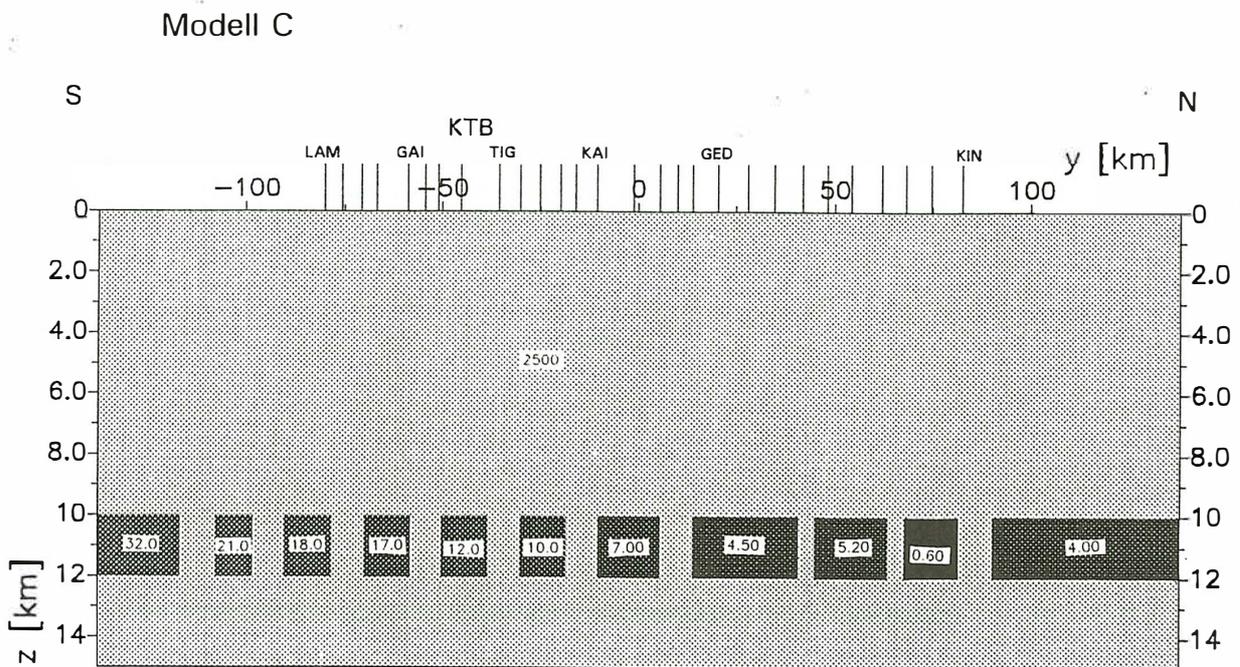


Abb. 4: Modell C: der gute Leiter von Modell A wurde leicht modifiziert und in gut und schlecht leitende Blöcke segmentiert. Die Modellantwort ist für ausgewählte Stationen in Abb. 5c wiedergegeben.

## Modell A

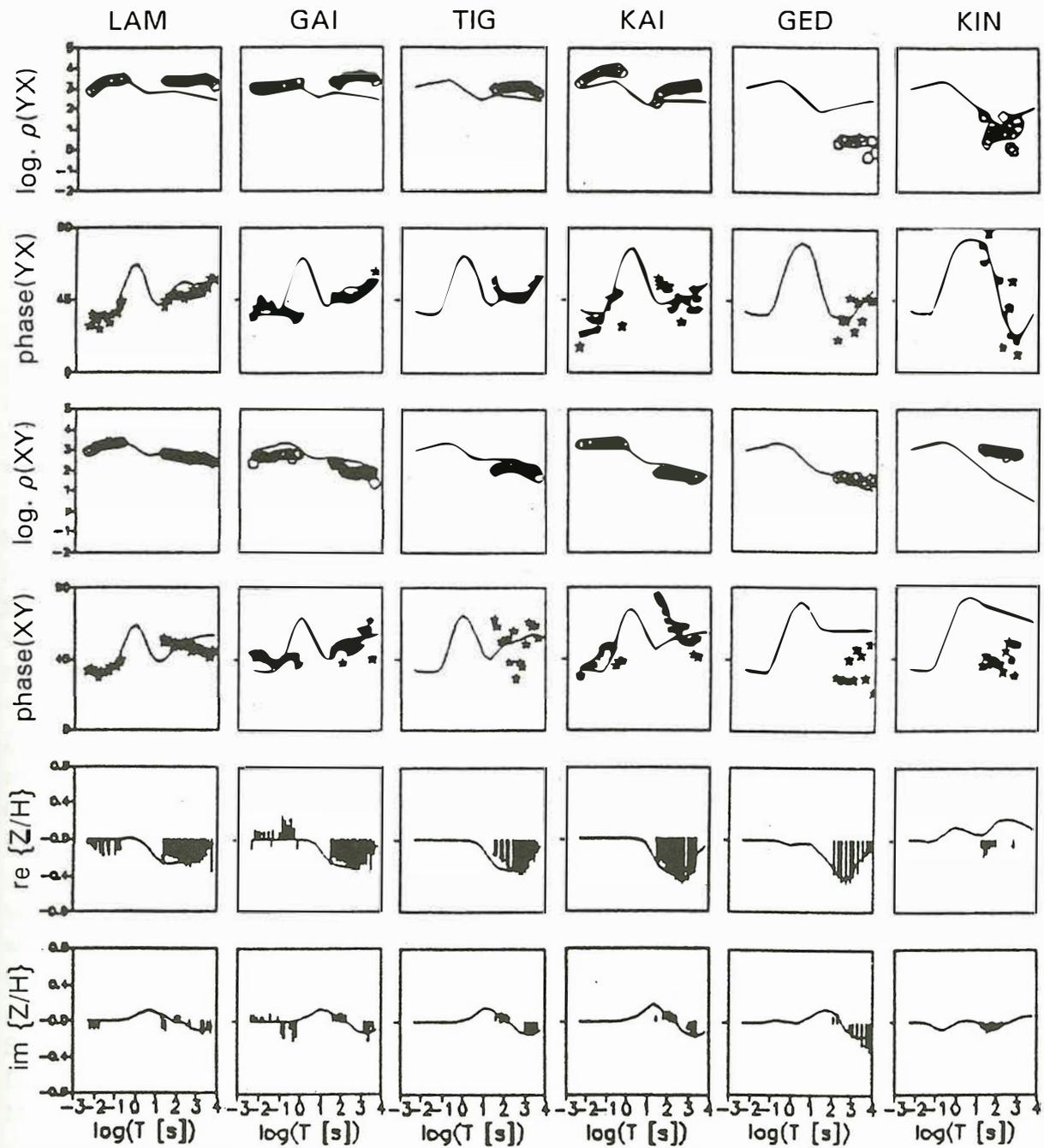


Abb. 5a: Vergleich von Meß- und Modelldaten für das Modell A. Die Meßwerte werden durch Symbole dargestellt, die Modellkurven durch die durchgezogene Linie. Die Abfolge der Bilder von oben nach unten ist: der scheinbare spezifische Widerstand und die Phase der E- (oben) und der B-Polarisation (mitte), ausgewertet jeweils in einem festem N-S, E-W Koordinatensystem. In den beiden unteren Bildern sind die auf die N-S Richtung des Profils projizierten Real- und Imaginärpfeile zu sehen.

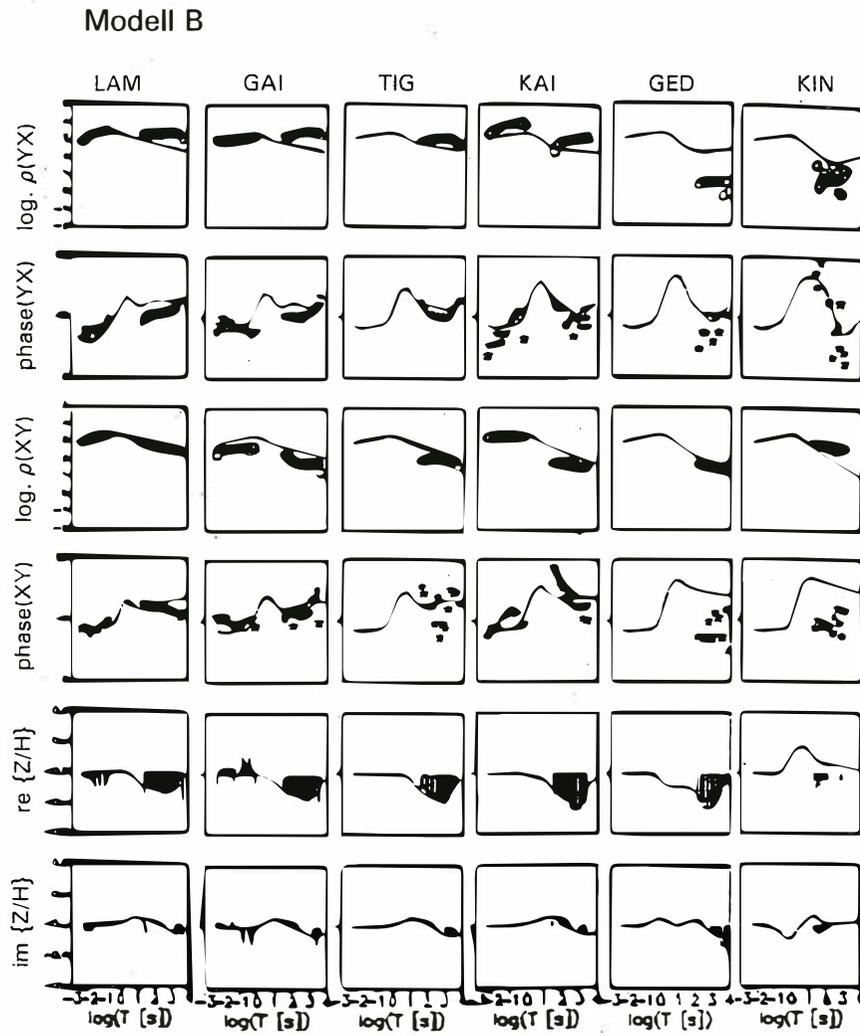


Abb. 5b: Vergleich von Meß- und Modelldaten für das Modell B. Erläuterungen siehe Abb. 5a.

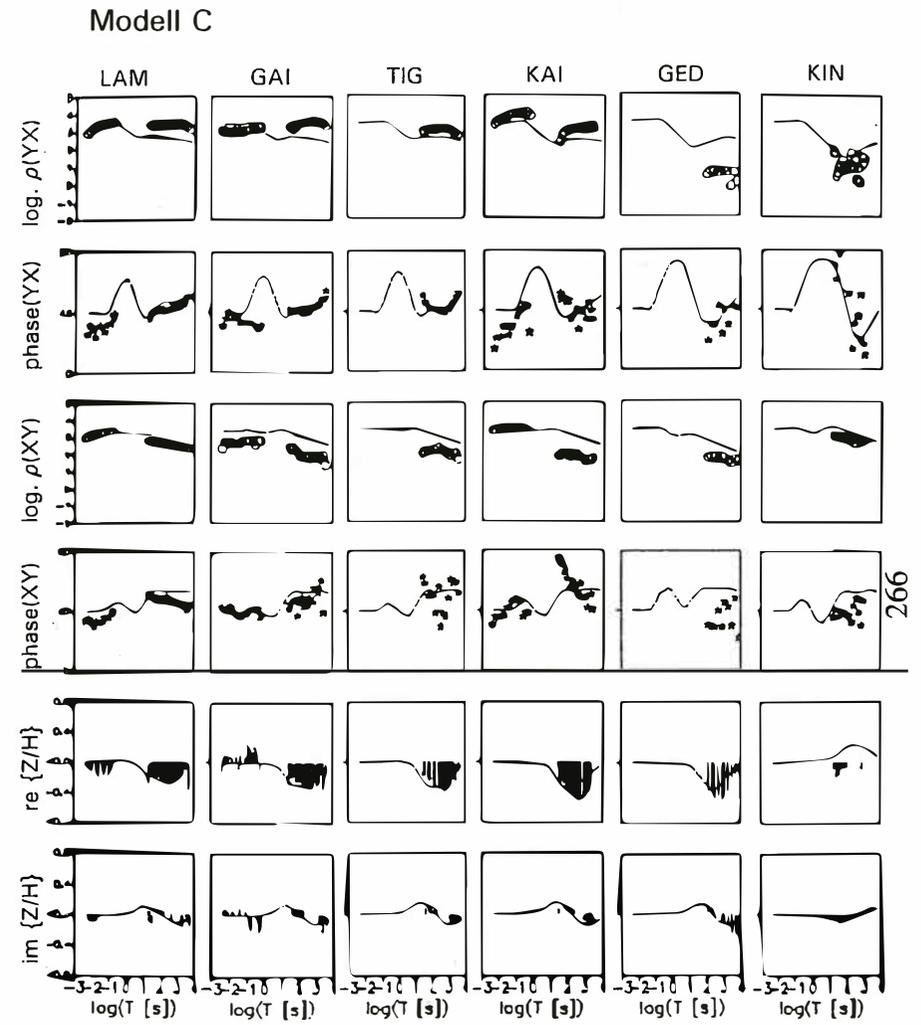


Abb. 5c: Vergleich von Meß- und Modelldaten für das Modell C. Erläuterungen siehe Abb. 5a.