

# Breitbandige erdmagnetische und magnetotellurische Sondierungen in Westböhmen

R. Klause, K. Murasch, G. Schwarz

Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformatik der Freien Universität Berlin

## Einleitung

Angeregt durch das Kontinentale Tiefbohrprogramm (KTB) startete die Tschechische Republik ein geowissenschaftliches Forschungsprogramm in Westböhmen, um auch das östliche Umfeld der Tiefbohrung besser beschreiben zu können. Unter anderem wurden gravimetrische Messungen, sowie reflexionsseismische Messungen entlang des Profils 9HR von der Firma Geofyzika Brno durchgeführt.

Um eine möglichst umfassende Beschreibung der Krustenstrukturen zu erhalten, bot uns die Firma Geofyzika an, die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeiten mit magnetotellurischen Messungen entlang des Profils 9HR ergänzend zu untersuchen.

Das 165 km lange Profil liegt im westlichen Teil des Böhmisches Massivs (Abb.1), dem größten zusammenhängenden Basementkomplex des mitteleuropäischen variszischen Orogens. Beginnend an der deutsch-tschechischen Grenze, südwestlich des Kirchberg-Granits, führt das Profil nordwest-südost streichend über den Eger-Graben und den Metabasit-Komplex von Marienbad, weiter durch das Tepla-Barrandium entlang der Zone von Tepla-Taus (ZTT). Der hier vorgestellte Teil des Profils endet südlich des Zentralböhmisches Plutons im Moldanubikum.

Aufgestellt wurden 44 AMT-Stationen im Abstand von 2.5-4 km, ungefähr jede vierte Station ergänzten wir durch eine MT-Apparatur, so daß 14 breitbandige Messungen zur Verfügung stehen. Verwendung fand die AMT-Apparatur GMS 05, die einen Frequenzbereich von 8192 Hz bis 1/4000s abdeckt. Zur Registrierung der niederfrequenten elektromagnetischen Signale benutzten wir MT-Apparaturen mit Fluxgate-Magnetometer (50-10000s) beziehungsweise Induktionsspulen-Magnetometer (10-4000s). Bei kombinierten AMT/MT-Meßpunkten erhielten wir damit Daten über bis zu 8 Frequenzdekaden.

## Verbesserung der Datenqualität

Die Datenqualität entlang des Profils ist leider nur sehr unzureichend. Die Ursache hierfür sind unter anderem die großen Braunkohlereviere im Norden (Stationen ZEL bis MIL), in denen alleine 40 MW elektrischer Leistung umgesetzt werden, sowie Störquellen auf dem südlichen Profilabschnitt, die nur schwer zu orten sind. Der hohe Störpegel bei gleichzeitig geringer erdmagnetischer Aktivität rief ein schlechtes Signal-Rausch Verhältnis in den Daten hervor.

Aufgrund der mangelnden Datenqualität konnten die ersten Auswerteergebnisse der AMT aus dem Feld nicht zufriedenstellen. Bisher ist mit einem quasi-robusten Online-Prozessing der Firma Metronix (genauere Angaben zu diesem Prozessing waren leider nicht zu bekommen) gearbeitet worden. Eine deutliche Verbesserung bringt die Bearbeitung der Daten mit dem Prozessingprogramm PROCMT [Metronix 1993]. Die im Frequenzbereich von 8 Hz bis 1/128s vorliegenden Zeitreihen wurden mit dem Programm visuell nach Bereichen mit besserer Datenqualität selektiert. Zur Berechnung der Spektren können zwei robuste Verfahren und ein Verfahren nach dem Kohärenzkriterium angewandt werden. Eines der robusten Verfahren geht auf die Q- und W- Algorithmen von Junge [1990] zurück, jedoch wurde die Berechnung der Gewichte durch einen modifizierten MF-Algorithmus (ursprünglich ein Huber-k-Schätzer) ersetzt. Das andere robuste Verfahren arbeitet mit dem M-Fitting von Steiner [1980]: Eine sich iterativ anpassende Gewichtsfunktion weist dem am häufigsten vorkommenden Wert das größte Gewicht zu, wobei die Kohärenz nicht eingeht. Die dritte Möglichkeit zur Berechnung des Spektrums besteht in der Anwendung des Kohärenzkriteriums, wobei durch die Festlegung eines Schwellenwertes für die Kohärenz eine Auswahl der qualitativ besseren Spektralmatrizen ermöglicht wird.

Die Abbildungen 2a bis 2d zeigen am Beispiel der Station TRI die im Feld-Prozessing berechneten Kurven und im Vergleich die wesentlich besseren Kurven aus dem nachträglich durchgeführten Prozessing. Dargestellt sind Widerstand, Phase, Induktionspfeil und Kohärenz für den Periodenbereich 0.125s-128s (Band 3 und 4). Dieses Prozessing bestand aus folgenden Schritten: Zur Verfügung standen Zeitreihen im Frequenzbereich 1/4s bis 1/128s (Band 4) und 8Hz bis 1/4s (Band 3). Sie wurden nach Bändern sortiert, in Intervalle von der Größe 1024 (Bd.3) und 4096 Punkte (Bd.4) unterteilt und diese visuell selektiert. Im Band 3 wurden 35 von insgesamt 99 Intervallen und in Band 4 11 von 17 Intervallen zur weiteren Auswertung ausgewählt. Für Band 3 wurde ein Kohärenzfaktor von 0.6 festgelegt, d.h. 60% aller berechneten Spektralmatrizen mit den höchsten Kohärenzen wurden zur weiteren Schätzung der Übertragungsfunktion herangezogen, für Band 4 ein Faktor von 0.8. Schließlich wurden die jeweiligen Spektralmatrizen berechnet. Das aus den Spektren von Band 3 und 4 zusammengesetzte Ergebnis (Abb.2b,c,d) zeigt einen deutlichen Qualitätsgewinn gegenüber dem Feldergebnis. Die Widerstände wie auch die Phasen haben sich deutlich stabilisiert, ein Kurvenverlauf ist erkennbar geworden!

Auffällig ist das Anwachsen der Fehlerbalken mit den längeren Perioden jedes einzelnen Bandes. Dies rührt daher, daß für längere Perioden weniger Spektralmatrizen gebildet werden als für kleinere Perioden und dadurch die statistische Sicherheit in den längeren Perioden abnimmt. Ob größere Auswertintervalle bei längeren Perioden das Ergebnis verbessern, bleibt noch zu klären.

Diese Qualitätszunahme der Daten durch das neue Prozessing spiegelt sich auch in den Induktionspfeilen der erdmagnetischen Tiefensondierung wider. Deren Länge und die sich unsystematisch ändernden Richtungen besonders im Periodenbereich von 0.125s bis 2s lassen noch

einen großen Einfluß von Noise in den Daten vermuten. Darauf weist auch eine im Verhältnis zu den horizontalen Komponenten große Z-Komponente in den Zeitreihen hin. Generell höheren Kohärenzen für den angesprochenen Periodenbereich machen deutlich, daß Noise korreliert, so daß Kohärenzkriterien nicht unbedingt von Vorteil sein müssen. Die Ergebnisse aus dem MT-Bereich für diese Station führen die Kurven der AMT fort, so daß man eine breitbandige Information gewinnt.

Diese ersten Erfolge der neuerlichen Auswertung lassen auf eine wesentliche Datenqualitätsverbesserung hoffen, allerdings wird nach den bisher gemachten Erfahrungen ein optimiertes Processing für die sehr stark gestörten Daten besonders im nördlichen Bereich des Profils (Braunkohletagebau) wohl kaum Verbesserung der Ergebnisse bewirken.

### **Erste Ergebnisse**

Die Ergebnisse der erdmagnetischen Tiefensondierung für verschiedene Perioden sind in Abbildung 4 dargestellt. Für lange Perioden weisen die Induktionspfeile aller Stationen tendenziell nach Süden. Dieses entspricht den Ergebnissen anderen Messungen in der Umgebung des Profils (Cerv&Pek (1993), Tauber (1993), Eisel (1993)) und deutet auf einen großregionalen EW streichenden Leiter hin. Für kürzere Perioden zeigt sich kein einheitliches Bild. Dies kann auf 3D-Strukturen hindeuten, die sich wie z.B. an den Stationen RAN, SED, OST und TRI in einem Richtungswechsel der Realpfeile widerspiegeln. Allerdings muß die mangelnde Datenqualität immer berücksichtigt werden. Betrachtet man die Induktionspfeile für 500s, weisen die Pfeile im nördlichen Teil des Profils bis zur Station TRI nach SE, weiter südöstlich schwenken die Induktionspfeile nach S ein, um bei den drei südlichsten Stationen CHL, KVA und HRD weiter nach SW zu drehen. Mit diesem Verhalten geht ein Anwachsen des Betrags einher, der eine erhöhte Leitfähigkeit im Osten vermuten läßt. Mit diesen drei Stationen überquert das Profil den Zentralböhmischen Pluton und verläßt zugleich die Böhmisches Masse. Könnte dies der Grund für das Verhalten der Induktionspfeile sein?

Die Andeutung eines SW streichenden Leiter aus dem Verhalten der Induktionspfeile und die Stetigkeit der Widerstandskurven für die YX-Richtung entlang des Profils lassen auf eine E-Polarisation in YX-Richtung schließen. Die 1D-Modelle wurden daher für diese Vorzugsrichtung gerechnet.

Die Datengrundlage bildeten die Ergebnisse aus dem Feldprocessing. Modelliert wurden Widerstandskurven und Phasenverlauf mit einem interaktiven Vorwärtsmodellierungsprogramm, dessen Modellantwort der Wait-Algorithmus zugrunde liegt. Abb. 5 zeigt die berechneten Modelle für die Stationen des Profils. Der Legende ist eine grobe Einteilung in Widerstandsklassen zu entnehmen. Aufgrund von sehr schlechter Datenqualität einiger AMT-Stationen konnten keine 1D-Modelle für größere Tiefen erstellt werden, diese Bereiche sind mit '?' gekennzeichnet. Für die Stationen SED bis CHL zeichnet sich ein gut leitender Bereich mit spezifischen Widerständen kleiner als  $500\Omega\text{m}$  ab, dessen Tief und Mächtigkeit stark variieren. Eine Korrelation mit der Erstreckung des Tepla-



Barrandiums ist zu erkennen, südlich der Station PAT kann ein deutlicher Anstieg der Widerstände beobachtet werden. Hier wird die Grenze des Tepla-Barrandiums überschritten.

Die neu prozessierten Daten lassen auf ein noch deutlicheres Bild der Leitfähigkeitskontraste und damit der Strukturen hoffen.

### Aussichten

Zur Datenverbesserung soll ein Programm von Egbert und Booker [1986] auf einige Datenbeispiele angewandt werden. Mit hoffentlich besseren Phasen soll außerdem eine Entzerrung der Impedanzen nach der Dekompositions-Methode von Groom und Bailey [1989] durchgeführt werden. Weiteres Ziel ist schließlich eine zweidimensionale Modellierung der elektrischen Strukturen auf dem Profil. Darüber hinaus wird eine integrierte Interpretation der Modelle angestrebt, die die Ergebnisse der Reflexionsseismik und der Gravimetrie einschließt. Im Herbst 1994 ist eine Fortsetzung des Profils bis zur österreichischen Grenze geplant.

### Literatur

- CERV, V., PEK, J., PECOVA, J., PRAUS, O. (1993), *Electromagnetic measurements in the vicinity of KTB drill site. Part 1: The MV result across a 2-D array*, *Studia geoph. et geod.* 37 83-102
- EGBERT, G.D. & BOOKER, J.R., (1986), *Robust estimation of geomagnetic transfer functions*, *Geophys. J. R. astr. S* (87) 173-194
- EISEL, M., (1990), *Über die Superposition von lokalen und regionalen Leitfähigkeitsstrukturen, untersucht anhand magnetotellurischer Messungen entlang eines Nord-Süd-Profiles im Nordosten der Oberpfalz*, Diplomarbeit, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt
- GROOM, R.W. & BAILEY, R.C. (1989), *Decomposition of magnetotelluric impedance tensor in presence of local three-dimensional galvanic distortion*, *J. Geophys. Res.* 94 (B2) 1913-1925
- JUNGE, A., (1990), *Robuste Schätzung bivariater Übertragungsfunktionen*, in Haak, V. und Homilius, J. (Hrsg.), *Kolloquium Elektromagnetische Tiefenforschung Hornburg*. 75-86
- PROCMT User's Guide, *Offline Processing Software For Magnetotelluric Timeseries*, (1993), Metronix GmbH, Braunschweig
- STEINER, F., (1980), *M-Fitting (fitting according to the most frequent value) and its comparison with the method of least-squares*, *Acta Geodæt., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hung.* Tomus 15, 37-44
- 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 Vogland*, Diplomarbeit, Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformatik der Freien Universität Berlin

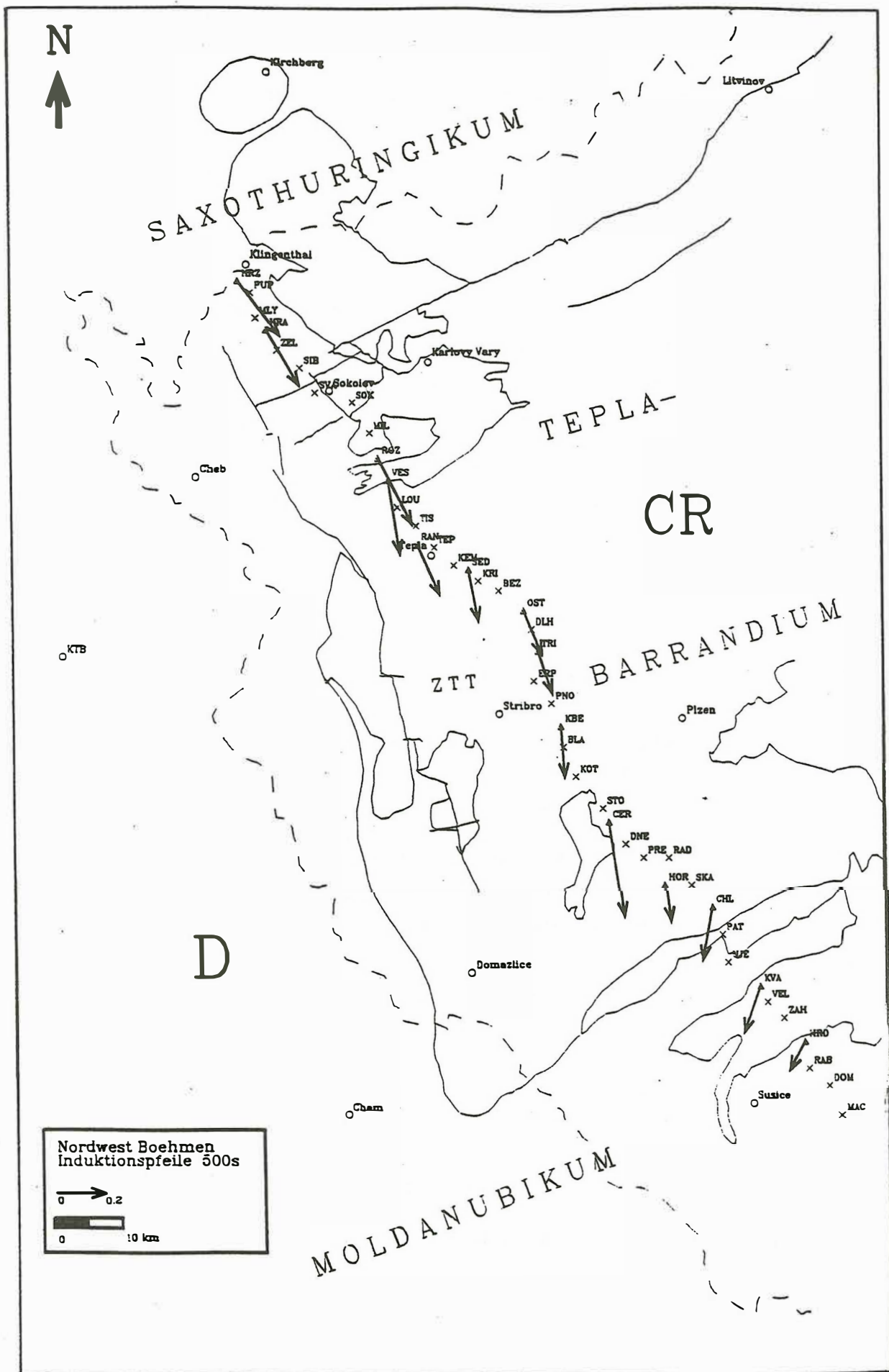


Abb. 1: Lageplan der AMT- und MT-Stationen mit den wichtigsten geologischen Einheiten und dem Realteil der Induktionspfeile für eine Periode von 500s

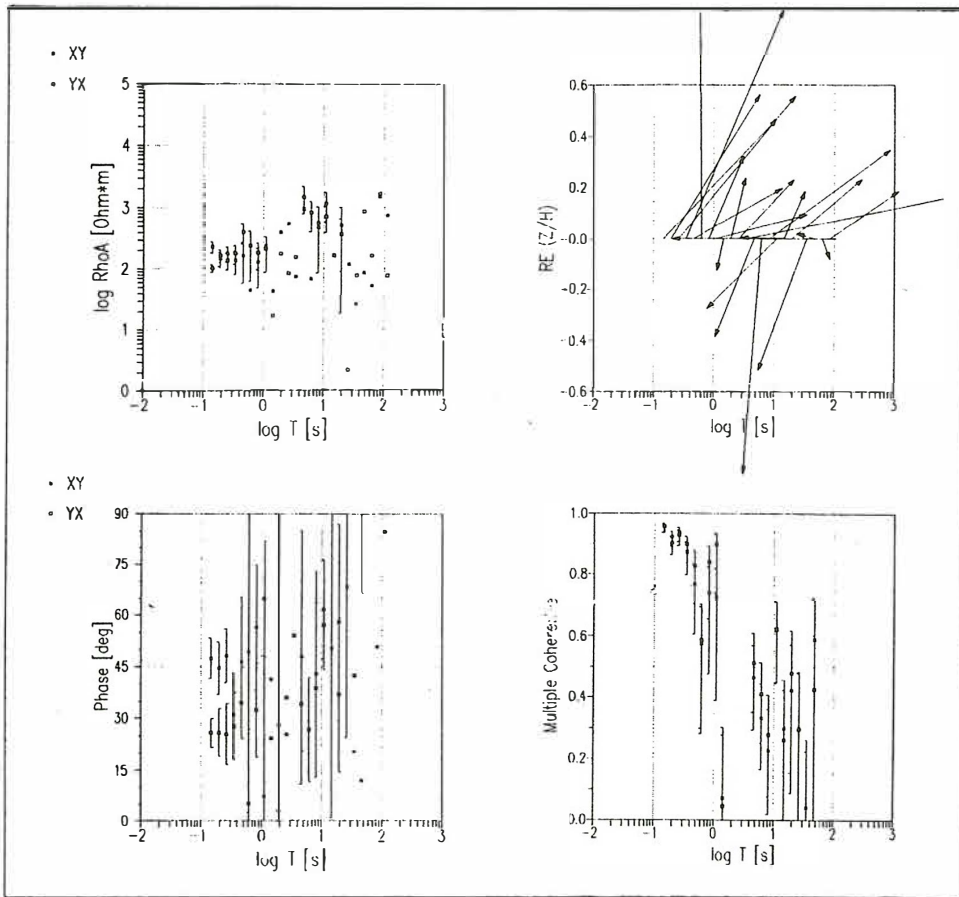


Abb.2a: Beispiel für das Feldprozessing der Station TRI. Dargestellt sind Widerstand, Phase, Induktionspfeile und Kohärenz für den Periodenbereich 0.125s-128s (Band 3 und 4).

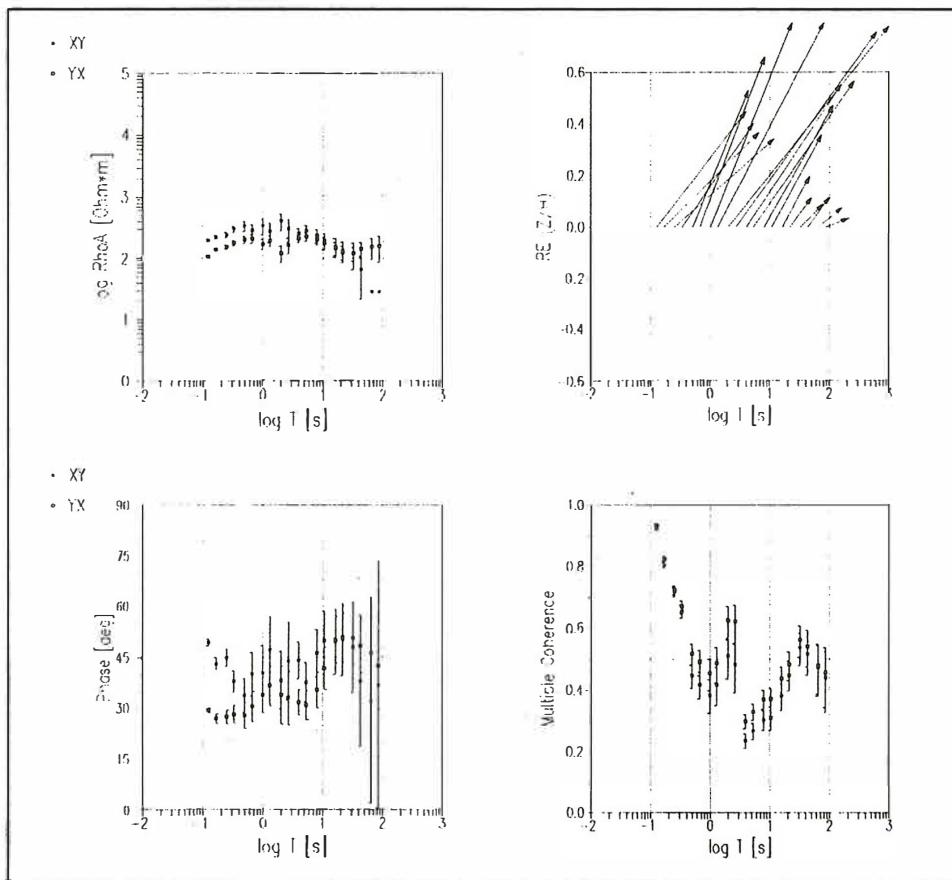


Abb.2b: Beispiel für das Prozessing nach dem Kohärenzkriterium für die Station TRI.

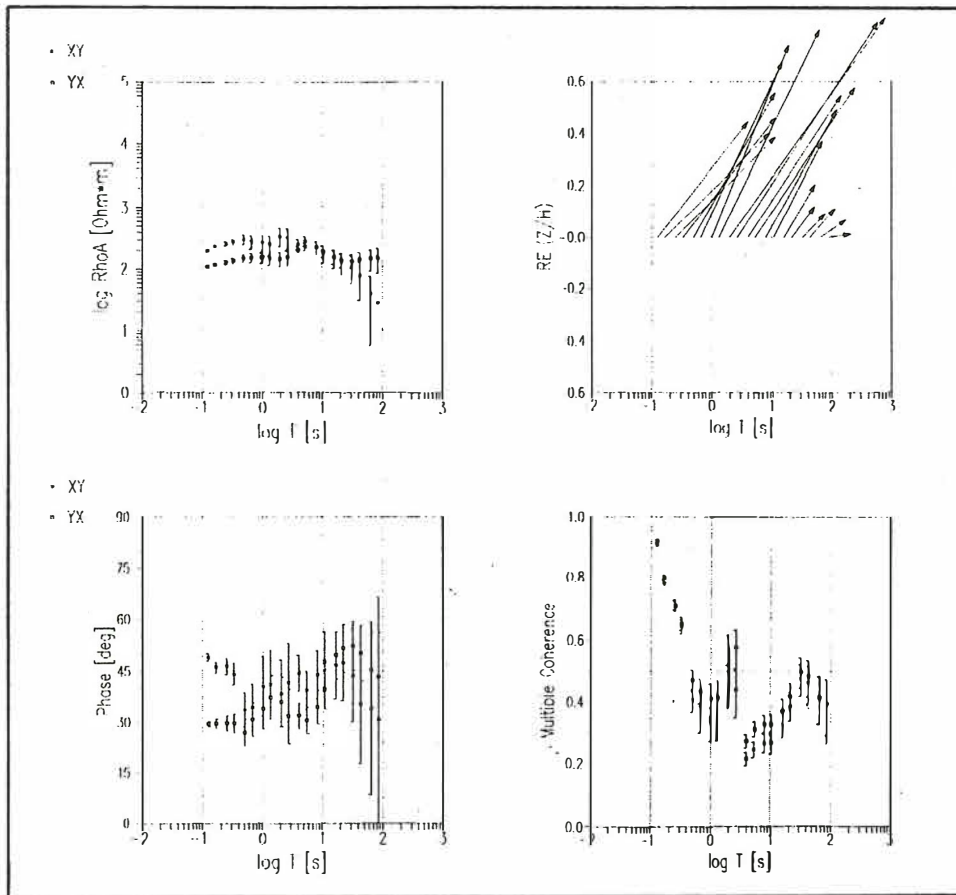


Abb.2c : Beispiel für die robuste Prozingmethode nach dem MF-Algorithmus für die Station TRI

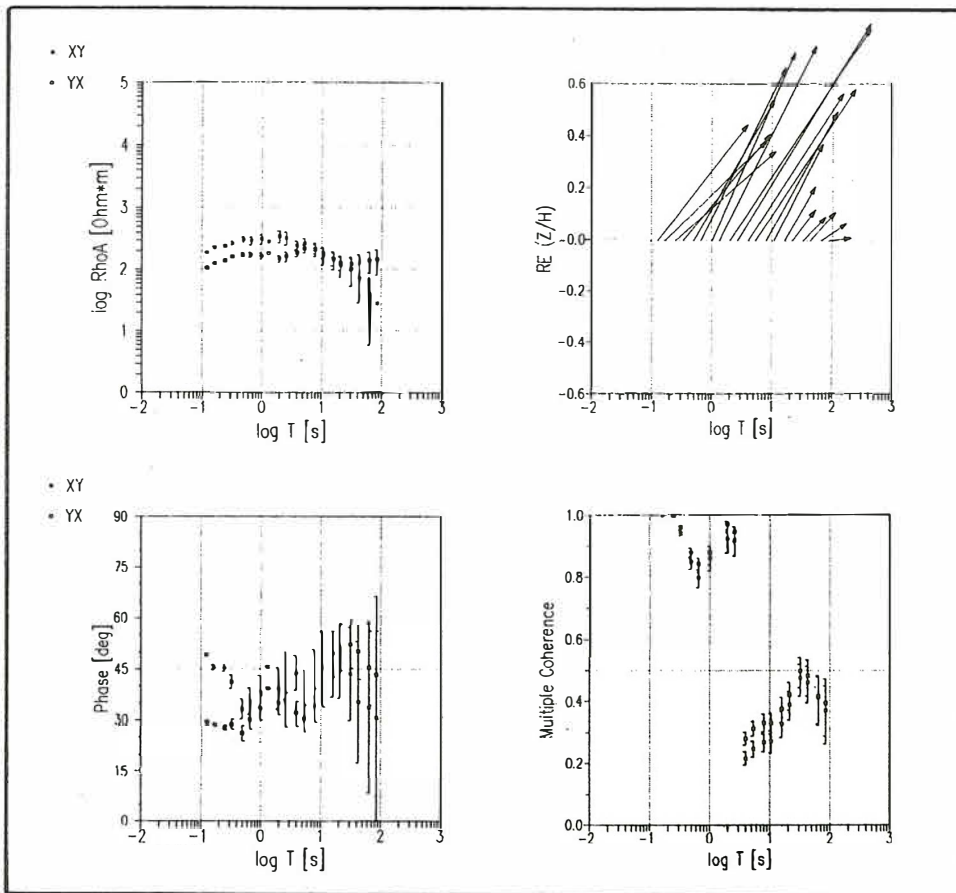


Abb.2d : Beispiel für die robuste Prozingmethode nach dem modifizierten Q- und W- Algorithmus für die Station TRI

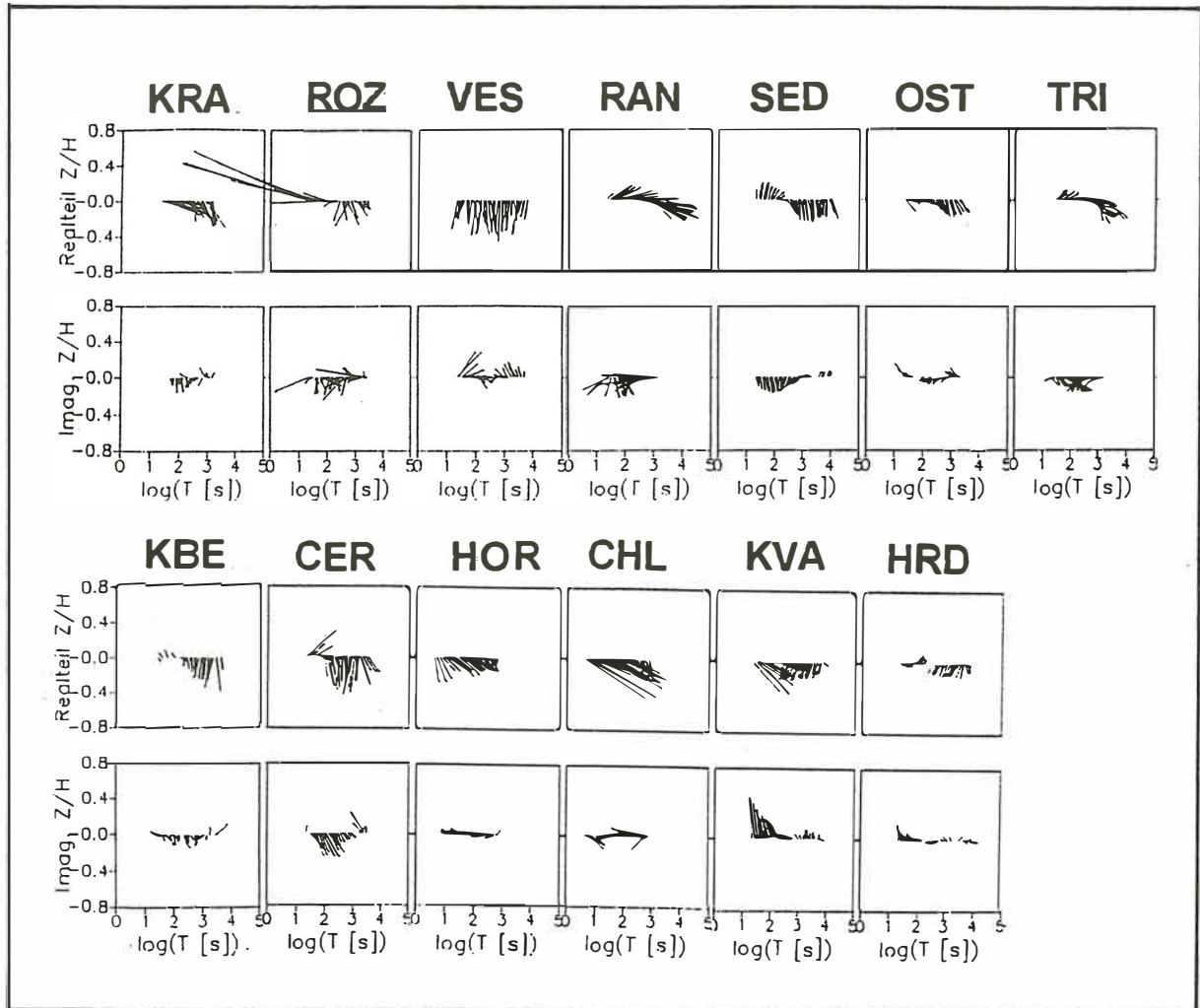


Abb. 3: Ergebnis der erdmagnetischen Tiefensondierung aller MT-Stationen von NW nach SE. Die Dominanz der NS-Ausrichtung der Induktionspfeile für höhere Perioden weist auf den guten Leiter in EW-Richtung hin.



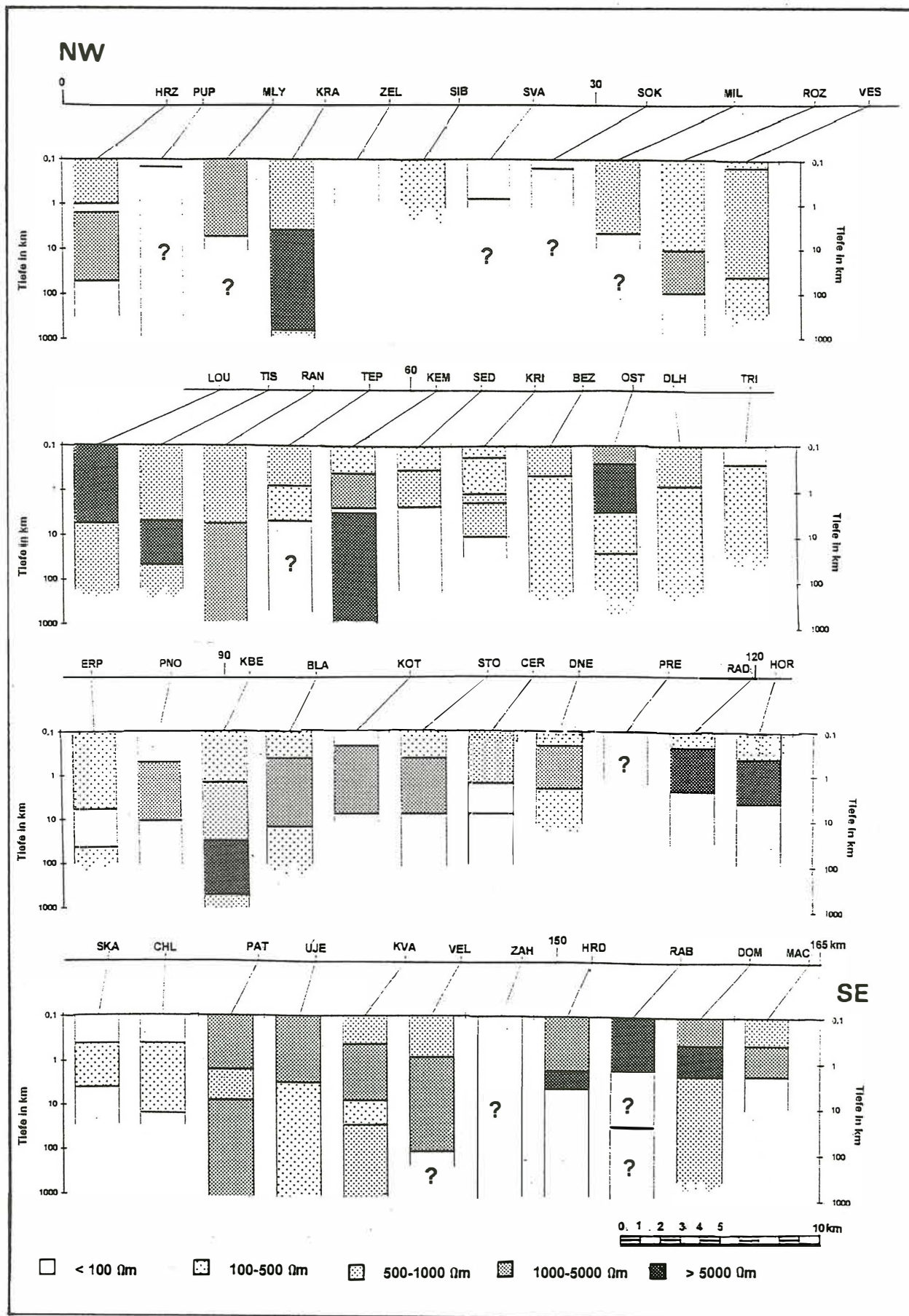


Abb.4 : 1D-Modelle NW-SE (YX). Der gutleitende Bereich (weniger als 500  $\Omega\text{m}$ , Stationen SED bis CHL) korreliert mit der Erstreckung des Tepla-Barrandiums.