

K. Bahr

Erste Ergebnisse der langperiodischen Magnetotellurik in den Alpen: Eine 200 km mächtige Lithosphäre?

Über das Projekt "Auflösung der Asthenosphäre in elektromagnetischen Sondierungen" wurde im Mitteilungsblatt der DGG ausführlich berichtet (Bahr, 1992). Dort wird auch diskutiert, daß "Asthenosphäre" eigentlich kein Begriff aus der Elektromagnetik ist. Für unsere Explorationsmethode bedeutet die Suche nach der Asthenosphäre die Auflösung einer elektrisch gut leitenden Schicht im obersten Mantel mit der Einschränkung, daß die elektromagnetischen Felder bereits durch Sedimentbecken und/oder Leiter in der mittleren Kruste (ERCEUGT, 1992) abgeschwächt werden. In Norddeutschland wird dadurch die Suche nach der Asthenosphäre unmöglich gemacht, im Rheinischen Schiefergebirge zumindest erschwert. An dieser Stelle sollen nur die wichtigsten Ergebnisse der Messungen in den Alpen zusammengefaßt werden.

SUHALDOC et al. (1991) und BABUSKA et al (1988) haben unabhängig voneinander in Tiefen zwischen 70 und 200 km die Oberkante einer Schicht verringerter seismischer Geschwindigkeiten in Mitteleuropa kartiert, die als Asthenosphäre interpretiert wurde. Trotz deutlicher Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Gruppen - Babuskas Asthenosphäre liegt nahezu überall tiefer - haben beide ein Minimum der Lithosphärenmächtigkeit unter dem Rheinischen Schiefergebirge und ein Maximum unter den Alpen gefunden.

Abb. 1a zeigt ein scheinbares Widerstands - Tiefenprofil (Darstellung von gemessenen Übertragungsfunktionen) der Station RAB im Rheinischen Schiefergebirge gemeinsam mit einem Leitfähigkeitsmodell, das diese Daten erklären soll, und mit diesem Modell berechnete Modelldaten. Das Modell enthält sowohl einen guten Leiter in der mittleren Kruste als auch im obersten Mantel. Der 1. gute Leiter ist sehr deutlich in den Daten zu erkennen, während der Effekt des 2. Leiters im obersten Mantel nur gering ist. Mit Studien zum Auflösungsvermögen der EM Sondierungen bei RAB (Bahr 1988, 1992) habe ich versucht zu zeigen, daß der Einbau des 2. Leiters dennoch keine Überinterpretation darstellt.

Bei der Auswertung der langperiodischen Messungen an zwei Stationen in den Alpen - URBA im Finsteraarhornmassiv und ENZI im Großvenedigermassiv - wurden alle neueren Konzepte benutzt. Dies sind im einzelnen: Analyse der langperiodischen elektromagnetischen Felder mit robusten Verfahren, Bestimmung des Verzerrungstensors durch Vergleich von magnetotellurischer und magnetischer Sq Impedanz, davon ausgehend die Ableitung zweier von Verzerrungseffekten befreiter Widerstands-Tiefenprofile. Diese sind sich untereinander recht ähnlich, hier soll nur daßjenige der Station ENZI im Großvenedigermassiv vorgestellt werden (Abb. 1b).

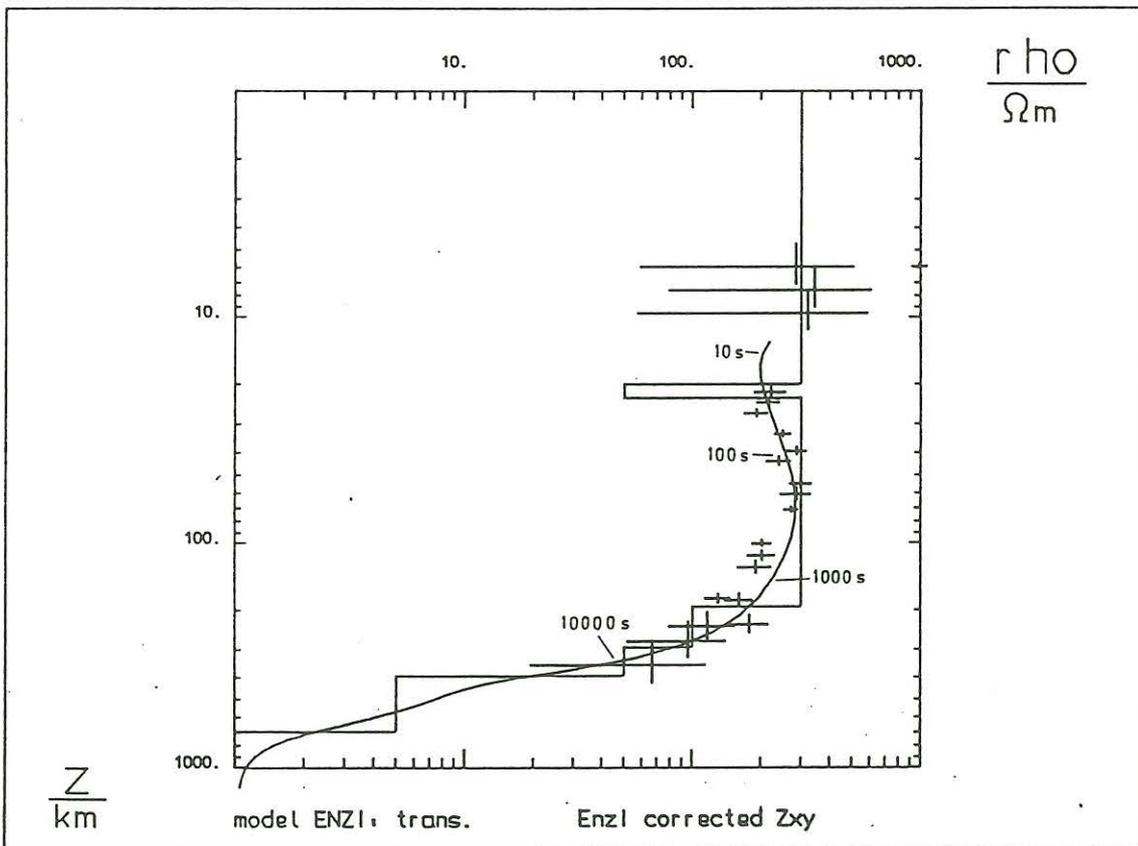
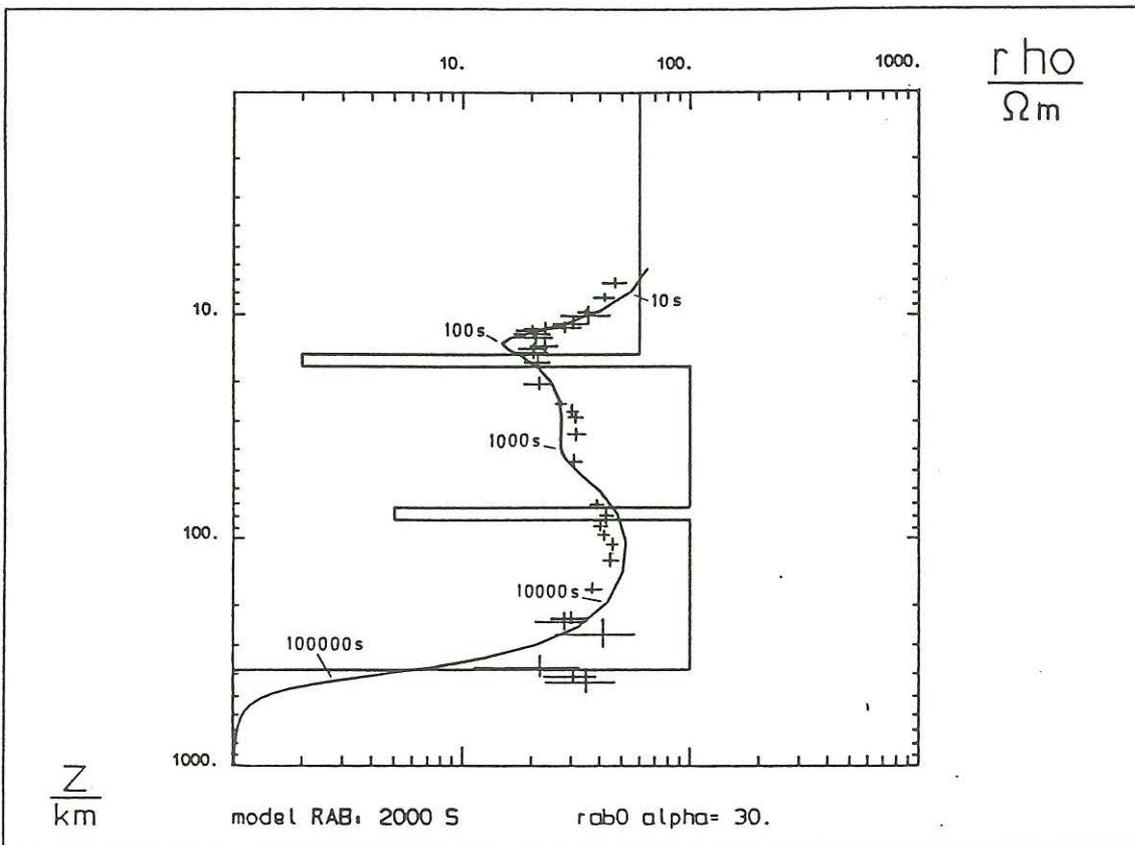


Abb. 1: 1a, oben: Anpassung eines Modells an gemessene Übertragungsfunktionen der Station RAB im Westerwald. Die gemessenen Daten als modifizierter scheinbarer Widerstand  $\rho^*$  und Schwerpunkttiefe  $z^*$ , das "beste" Modell und die aus diesem gewonnenen Modelldaten. 1b, Unten: Übertragungsfunktionen und angepaßtes Modell der Station ENZI in den Hohen Tauern.

# MT tensor decomposition

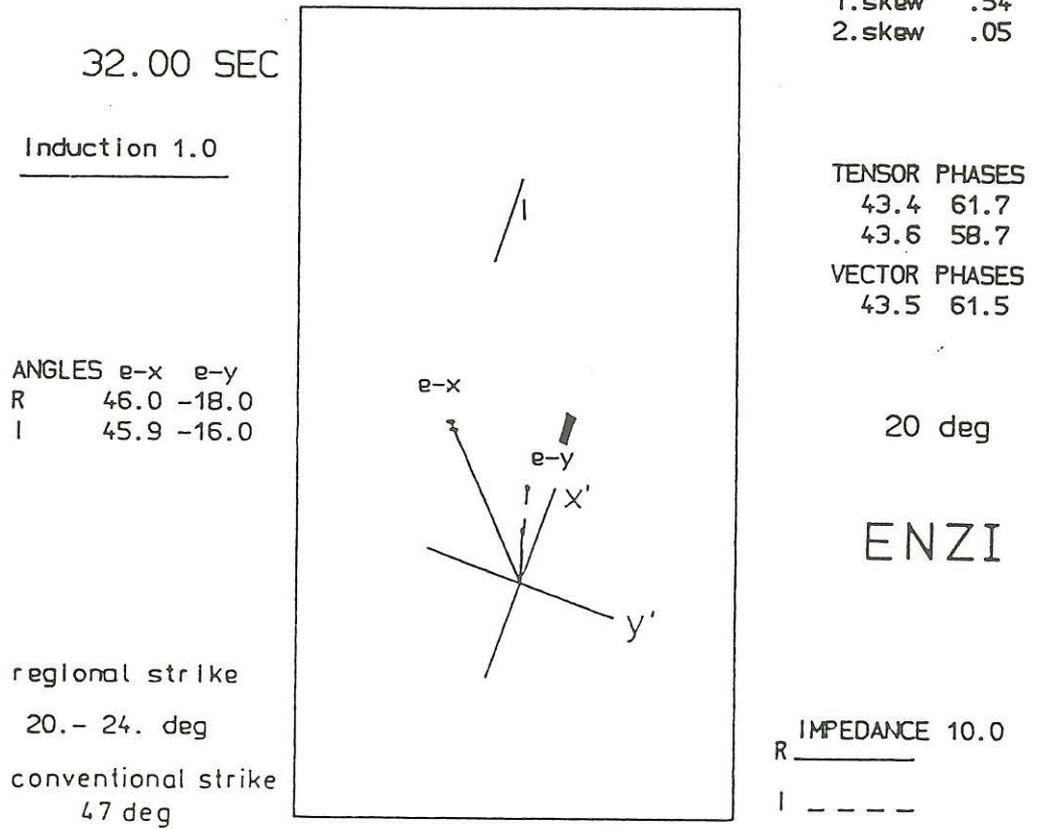
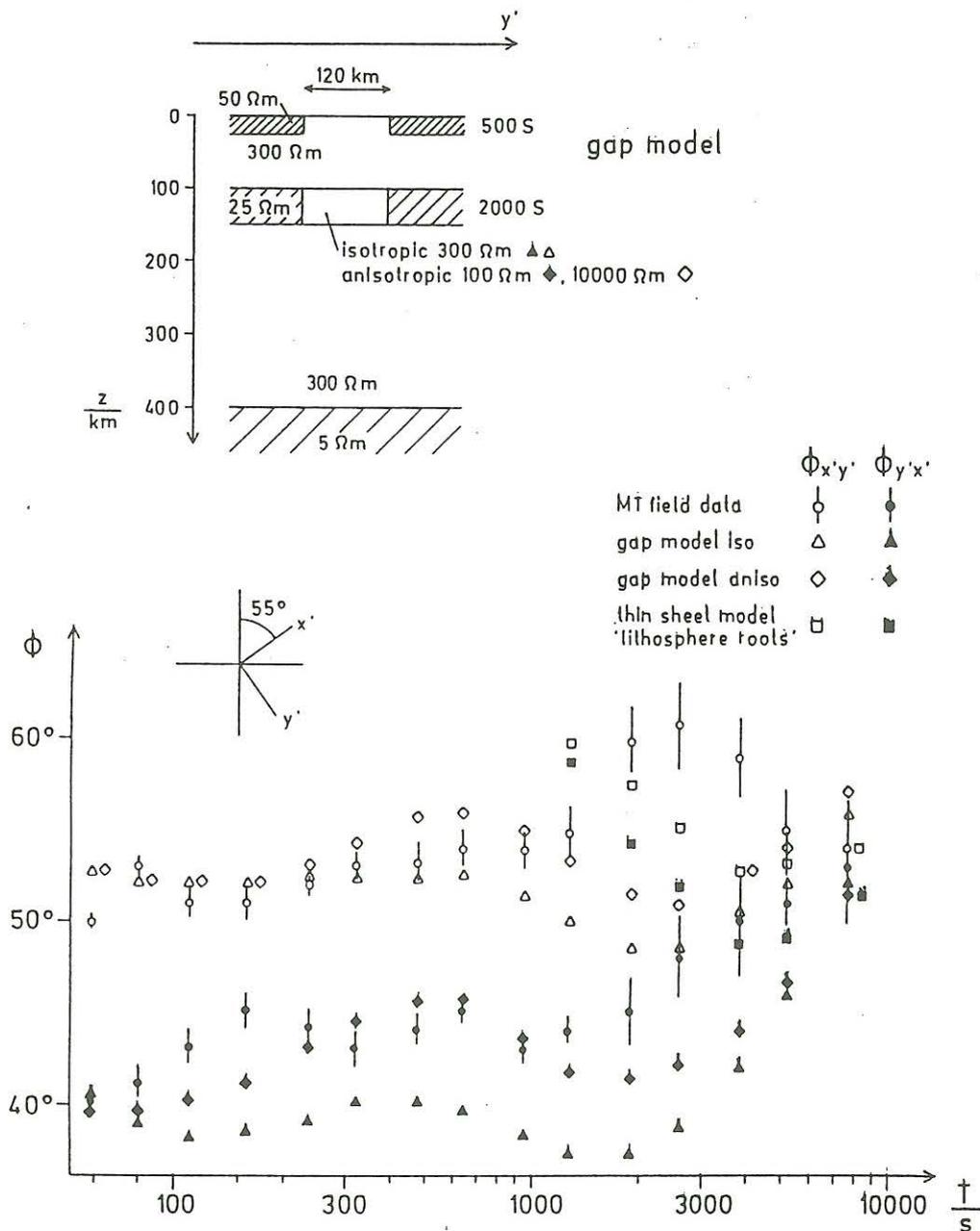


Abb. 2: Dekomposition des Impedanztensors der Station ENZI in den Hohen Tauern für die Periode 32 s. Mittlerer Kasten: Oben: Induktionspfeil. Unten: tellurische Vektoren im rotierten Koordinatensystem. Rechts: Phasen der vier Impedanztensorelemente und "Phasen der tellurischen Vektoren" im rotierten Koordinatensystem. 1. skew, 2. skew bezeichnen die Schiefe nach SWIFT und die phasenabhängige Schiefe. Links: Verzerrungswinkel der beiden tellurischen Vektoren, getrennt für Realteil (R) und Imaginärteil (I). Genäuerere Erklärung aller Parameter bei GROOM und BAHR (1992).

Diesem entnimmt man sofort das Ergebnis der Suche nach der Asthenosphäre unter den Alpen: Beide leitfähigen Schichten, die unter dem Rheinischen Schiefergebirge identifiziert worden waren, fehlen hier. Der spezifische Widerstand bleibt bis in 200 km Tiefe nahezu konstant bei 300 Ohm\*m. Bei ENZI tritt in 20 km eine leitfähige Zwischenschicht auf, aber ihre integrierte Leitfähigkeit beträgt nur 60 Siemens, und dies ist mit dem Krustenleiter unter dem Rheinischen Schiefergebirge nicht vergleichbar. Von 200 bis 400 km nimmt der Widerstand auf Werte um 10 Ohm\*m ab; ob diese stufenweise oder in Form eines stetigen Überganges geschieht, kann mit diesen Daten nicht entschieden werden.

Die Schiefe nach SWIFT liegt über einen weiten Periodenbereich um 0.5. Eine "Dekomposition des Impedanztensors" (Groom und Bahr, 1992) fördert dennoch eine zweidimensionale Struktur zutage, die etwa 20° WNW-ESE streicht (Abb. 2), in Übereinstimmung mit der Tektonischen Hauptrichtung, der "Insubrischen Linie". Diese Streichrichtung wird von den Induktionspfeilen gestützt.



**Abb. 3:** Unten: Phasen der tellurischen Vektoren der Station URBA in den Westalpen. Felddaten mit Vertrauensbereichen, Modelldaten für das oben gezeigte 2D Modell sowie für das Modell einer in 100 km Tiefe durch zwei Alpenwurzeln unterbrochenen Asthenosphäre mit der selben integrierten Leitfähigkeit von 2000S (Quadrate). Oben: Vereinfachtes 2D Modell. Die Widerstände und Mächtigkeiten der beiden unterbrochenen Leiter sind nur aus modelltechnischen Gründen so gewählt worden, aussagefähig sind allein die resultierenden integrierten Leitfähigkeiten.

Die Phasen der beiden Hauptrichtungen unterscheiden sich bei beiden Alpenstationen für Perioden zwischen 32s und 3000s um etwa  $15^\circ$ . Sie sind in Abb. 3 dargestellt (jetzt für die andere Station, URBA im Finsteraarhornmassiv, deshalb wird ein dem SW-NE Streichen der Westalpen angepaßtes Koordinatensystem verwendet). Diese Phasen werden durch ein zweidimensionales Leitfähigkeitsmodell erklärt, in dem sowohl ein intrakrustaler Leiter wie ein Leiter in 100 km Tiefe durch die Alpen unterbrochen werden (Abb. 3, oben) - die Verhältnisse bei RAB werden also als etwa repräsentativ für die Lithosphäre ausserhalb der Alpen betrachtet. Die Phasen werden über einen weiten Periodenbereich durch eine elektrisch anisotrope Alpenwurzel am besten erklärt (Karos in Abb. 3); dabei ist der Widerstand senkrecht zum Streichen sehr viel geringer als parallel zum Streichen. Diese Anisotropie ist aber vermutlich nicht als Materialeigenschaft zu verstehen, sondern als geometrischer Effekt von Strukturen, die im Streichen der Alpen liegen.

Können diese Strukturen schräg oder sogar senkrecht in die Asthenosphäre eingedrungene Lithosphärenplatten sein, wie es VIEL et al (1991) aus der Analyse teleseismischer Laufzeitresiduen suggerieren? Die Übereinstimmung in der Tiefe und Streichrichtung zwischen dem magnetotellurischen Ergebnis für die Westalpen und den teleseismischen Messungen von VIEL et al (1991) ist jedenfalls bemerkenswert, obwohl die aus seismischen und elektrischen Parametern bestimmten Tiefen nicht notwendig übereinstimmen müssen (SCHMELING, 1985).

Bei ganz langen Perioden ( $> 2500$  s) schließlich werden die Phasen besser durch das alternative Modell einer leitfähigen Schicht in 100 km Tiefe erklärt, die durch zwei "Alpenwurzeln" unterbrochen wird (Quadrate in Abb. 3). Dafür wurde das Dünne-Schicht-Programm von VASSEUR und WEIDELT (1977) mit einer Zellengröße von  $40 \times 40$  km verwendet. Die Anisotropie reduziert sich bei den den langen Perioden entsprechenden Eindringtiefen ab 100 km also auf ein einziges leitendes "Loch" zwischen den geringer leitenden Alpenwurzeln. Abb. 4 zeigt die mit dem Modell berechneten Induktionspfeile für die Periode 2500s. Natürlich können wegen der geringen Zahl (zwei!) der Stationen alle Modelle die wirkliche Leitfähigkeitsverteilung nur näherungsweise illustrieren.

### Literatur

- Babuska, V, Plomerova, J. and Pajdusák, P. (1988): Lithosphere - asthenosphere in Central Europe. Model derived from P residuals. In: G. Nolet and B. Dost (Editors): Proceedings of the fourth Workshop on the European Geotraverse Project, Strasbourg, pp 37-48.
- Bahr, K. (1988): Sehen wir die Asthenosphäre in Mitteleuropa? In: V. Haak und J. Homilius (Hrsg): Protokoll Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Königstein/Taunus, 1.3.-3.3.1988. NLFb Hannover, 63-66.

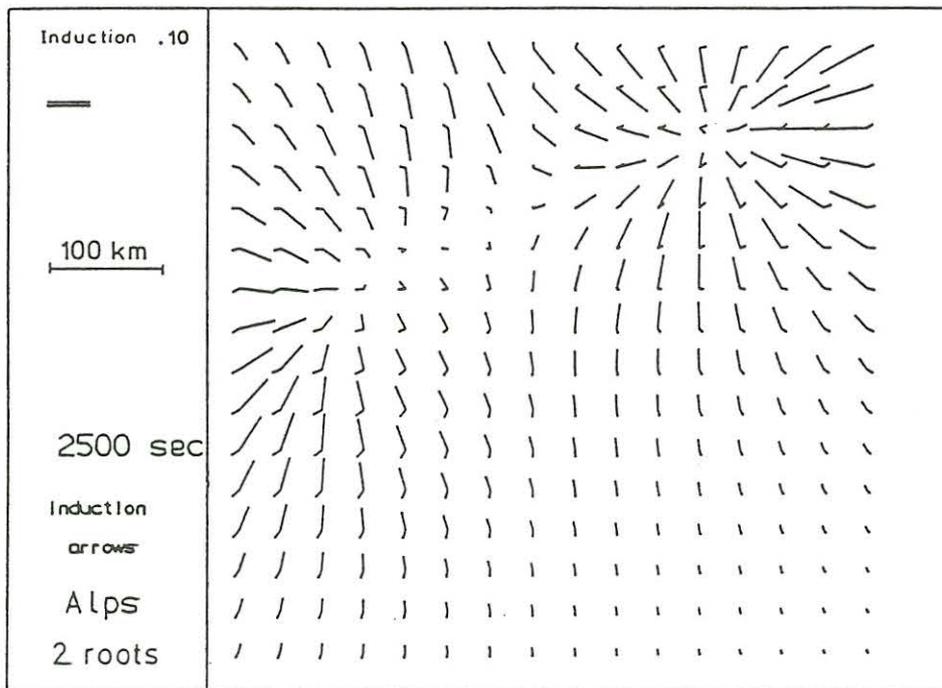


Abb. 4: Mit dem Programm von VASSEUR und WEIDELT (1977) berechnete Induktionspfeile im anomalen Bereich eines 640\*640 km großen Gitters. Die vertikale Leitfähigkeitsverteilung wird (mit Ausnahme des Krustenleiters) in Abb. 3, oben beschrieben. Eine "dünne Schicht" mit der integrierten Leitfähigkeit 2000S in 100 km Tiefe wird durch zwei etwa kreisförmige Strukturen von 120 km Durchmesser unterbrochen. Der Imaginärpfeil ist in allen Zellen der kleinere von beiden Pfeilen.

- Bahr, K. (1992): Auflösung der Asthenosphäre in elektromagnetischen Sondierungen. DGG Mittlg. 3/92 Münster.
- ERCEUGT group (1992): An electrical resistivity transect from the Alps to the Baltic Sea (Central segment of the Egt). - Tectonophysics 207: 123-139.
- Groom, R.W. and Bahr, K. (1992): Corrections for near surface effects: decomposition of the magnetotelluric impedance tensor and scaling corrections for regional resistivities: a tutorial. Surveys in Geophysics, 13, 341-379.
- Schmeling, H. (1986): Numerical models on the influence of partial melt on elastic, anelastic and electrical properties of rocks. Part II: electrical conductivity. - Phys. Earth Planet. Int. 43: 123-136.
- Suhaldoc, P., Panza, G.F., and Müller, St., (1990): Physical properties of the lithosphere-asthenosphere system in Europe. Tectonophysics, 176, 123-135.
- Vasseur, G., and Weidelt, P. (1977): Bimodal electromagnetic induction in non-uniform thin sheets with an application to the northern Pyrenean induction anomaly. Geophys. J. R. astr. Soc., 51, 669-690..
- Viel, L., Berkheimer, H., and Mueller, St. (1991): Some structural features of the Alpine lithospheric root. - Tectonophysics 195: 412-436.