

G. Schwarz, V. Haak

"Magnetotellurik in der Toskana/Italien"

Toskana - mit diesem Namen sind nicht nur weltberühmte Rotweine eng verknüpft, sondern auch eine der stärksten geothermischen Anomalien der Welt. Während sich bisherige geophysikalische Untersuchungen dieser Temperaturanomalie nur auf die obersten Kilometer der Erdkruste beschränkten - also auf den energiemäßig direkt ausbeutbaren Bereich - ist es Ziel dieser Untersuchungen, Aussagen über die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit in größerer Tiefe, bis in den Grenzbereich Kruste/Mantel zu gewinnen. Die Frage ist, ob die geothermische Anomalie der Toskana in einer Anomalie der elektrischen Leitfähigkeit und damit auch der Temperatur in größerer Tiefe korrespondiert.

Im Oktober 1978 wurden in einem Vorprogramm Übersichtsmessungen zur Magnetotellurik und erdmagnetischen Tiefensondierung durchgeführt. Auf deren Ergebnissen und auf ersten Ergebnissen der Refraktionsseismik (Giese et al., 1979) aufbauend, fand die Hauptmeßkampagne im Herbst 1979 statt. Magnetotellurische Messungen im Periodenbereich von 15 - 2000 s wurden auf zwei Profilen durchgeführt (Abb.1), eines quert das Gebiet von Larderello, das andere läuft gegen den östlichen Rand der Toskana. Weitere Messungen fanden an ausgewählten Punkten statt (z.B. Mt. Amiata: MTA). Die Auswahl der Meßorte war oftmals erschwert, bedingt zum einen durch die starke Topographie, zum anderen durch zahlreiche - fast ohne System - das Land kreuzende Starkstromleitungen.

Die erdmagnetische Aktivität war zur Meßzeit wechselhaft. Eine Übersicht über die Qualität des gewonnenen Meßmaterials gibt Abb. 2. An fast allen Stationen fällt eine starke Polarisierung des elektrischen Feldes auf, an der Station MAN dagegen starke künstliche Störungen im elektrischen Feld, die die Registrierungen nahezu unbrauchbar machten. Daneben zeigt die Vertikalkomponente ΔZ des erdmagnetischen Feldes ein anomales Verhalten, besonders ausgeprägt an der Station MUR, aber auch in VIL und MTA. Dies ist ein erster Hinweis auf eine anomale Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund. Das Verhältnis Vertikal- zu Horizontalkomponente des magnetischen Feldes variiert an der Station MUR zwischen 0.2 für eine Periode $T = 1000$ s und 0.7 für $T = 100$ s.

Die Verteilung der Vorzugsrichtung des induzierten elektrischen Feldes an ausgewählten Stationen (MUR, VIL, MAN, MOL, MTA und QUI) zeigt Abb. 3. Die Vorzugsrichtung - bestimmt aus den Impedanztensoren - ist im Periodenbereich zwischen 25 - 650 s sehr stabil. Die Länge der Striche ist proportional zum Verhältnis der Tensor-elemente und so skaliert, daß im Falle eines ebenen geschichteten oder homogenen Untergrundes die Striche auf einen Punkt zusammenschrumpfen. Die Vorzugsrichtungen sprechen hauptsächlich auf die Änderungen des spezifischen Widerstandes in den oberen Schichten an. Das Bild der Vorzugsrichtungen läßt darauf schließen, daß der spezifische Widerstand in den obersten Schichten an den nördlichen Stationen (MUR und VIL) wesentlich geringer ist, als an den weiter südlich gelegenen Stationen (MAN und MOL). Die Induktionspfeile - für den Periodenbereich von 25 - 650 s - an den Stationen MUR, VIL und MTA deuten auf starke Änderungen in der elektrischen Leitfähigkeit jeweils in der Nähe der Stationen hin. Der Pfeil weist von der Leitfähigkeitsanomalie weg, seine Richtung schwankt im genannten Periodenbereich um $\pm 20^\circ$.

Die integrierte Leitfähigkeit τ der Deckschicht in einem angenommenen 2-Schichtenmodell berechnet sich aus den Impedanztensoren nach Schmucker (1971) zu

$$\tau = \frac{\operatorname{Re}(z_n) - \operatorname{Im}(z_n)}{|z_n|^2}$$

Voraussetzung ist, daß die Phase von z_n zwischen 0° und 45° liegt. Für die Stationen MUR und VIL wurden aus den Impedanzen für durch H induzierte EW fließende Ströme integrierte Leitfähigkeiten berechnet, die von 600 S für $T = 100$ s auf 800 S für $T = 1000$ s anwachsen.

Die scheinbaren spezifischen Widerstände als Funktion der Periode zeigen die Abb. 4 und 5. Alle Kurven beginnen mit relativ geringen Widerstandswerten bei kurzen Perioden und steigen mit wachsender Periode bis auf etwa $100 \Omega\text{m}$ an. Die starke Polarisation des elektrischen Feldes spiegelt sich besonders in den ρ_s -Werten an der Station MUR wider.

Die tatsächliche Verteilung des spezifischen Widerstandes als Funktion der Tiefe wurde mittels eines Inversionsverfahrens nach Schmucker (1974) gewonnen. Der Fehler der Meßwerte wird durch Schraffur der Modellgrenzen zum Ausdruck gebracht.

Zur besseren Veranschaulichung sind alle Widerstandsmodelle in einem Blockdiagramm zusammengefaßt, das annähernd die geographische Verteilung der Stationen wiedergibt. Allen Modellen ist eine relativ dicke, gut leitende Schicht gemein. Eine feinere Auflösung in einzelne Schichten geringeren bzw. höheren spezifischen Widerstandes ist wegen des nach unten beschränkten Periodenbereiches nicht möglich. Fest stehen jedoch die relativ hohe integrierte Leitfähigkeit und die Unterkante der gut leitenden Schicht zum schlechter leitenden Basement. Die gut leitende Schicht ist an der Station MUR mit etwa 2 km noch relativ dünn, nimmt dann allerdings nach Süden stark an Mächtigkeit zu und erreicht Tiefen zwischen 8 und 11 km. Die Widerstandsverteilung im Basement schwankt zwischen 100 und 1000 Ωm .

Von der relativ gut bekannten Geologie her - bis in etwa 3 - 4 km Tiefe - können wir annehmen, daß die obersten Kilometer, aus sedimentären Deckschichten bestehend, gut leitend sind. Die nächst tiefer liegende Schicht aus triassischen Phylliten und Quarziten muß als schlecht leitend angesehen werden. Um weiterhin die berechneten ρ_s -Kurven zu erfüllen, muß nun allerdings eine Schicht sehr hoher Leitfähigkeit in der Übergangszone zum hochohmigen Basement eingeführt werden. Um die gesamte integrierte Leitfähigkeit ihrem Wert nach konstant zu halten, muß für diese Schicht ein spezifischer Widerstand von etwa 1 Ωm angenommen werden, d.h. in dieser Zone müssen stark poröse, mit salzhaltigen Wassern gefüllte Komplexe und Temperaturen zwischen 300° und 400° C existieren. Es ist anzunehmen, daß diese Schicht mit einem aus der Seismik bekannten Reflexionshorizont identisch ist, dessen Tiefenlage zwischen 3 und 8 km schwankt (Batini et al. 1978). Eine gut leitfähige Schicht wurde auch von Dupis et al. (1974) im Gebiet von Larderello in 10 km Tiefe gefunden.

Diese Untersuchungen wurden von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften finanziell gefördert (Vertrag Nr. 488-78-7 EG D).

Literatur:

Batini, F., P.D. Burgassi, G.M. Cameli, R. Nicolich and P. Squarci: Contribution to the study of deep lithospheric profiles: "deep" reflecting horizons in Larderello-Travale geothermal field. Mem. Soc. Geol. Ital., 1978

Dupis, A., V. Iliceto and A. Norinelli: First magnetotelluric measurements on Larderello site. Boll. Geof. Teor. Appl., 16, 137-152, 1974

Giese, P., P. Wigger, C. Morelli und R. Nicolich: Berichte Nr. 1-6, EG-Vertrag Nr. 486-78-1EGD, 1979

Schmucker, U.: Neue Rechenmethoden zur Tiefensondierung. Protokoll Kolloquium Erdmagnetische Tiefensondierung, Rothenberge/Westfalen, 1-39, 1971

Schmucker, U.: Erdmagnetische Tiefensondierung mit langperiodischen Variationen. Prot. Koll. Erdmagn. Tiefensondierung. Grafrath, 313-343, 1974

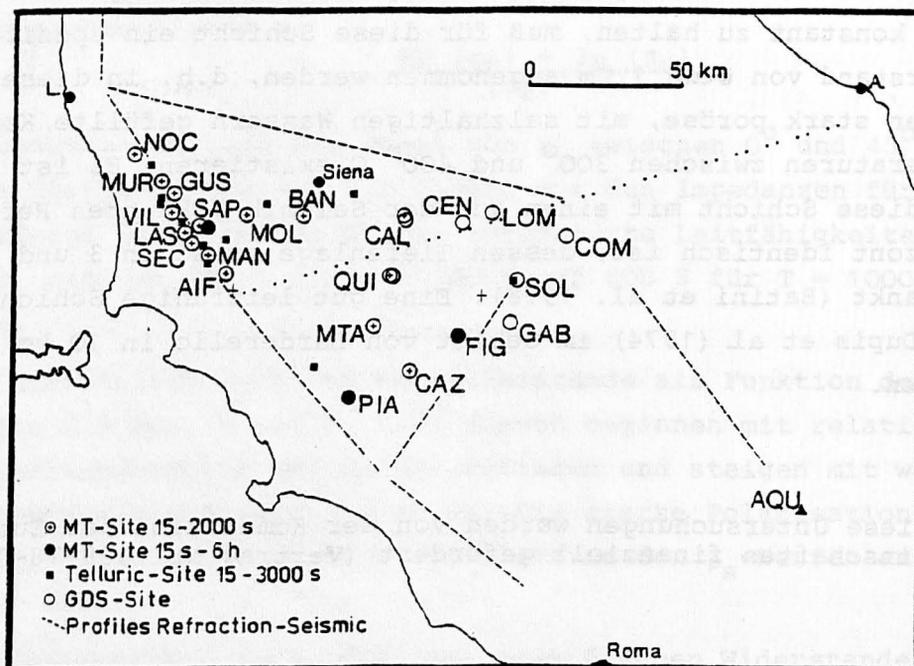


Abb. 1: Lage der Meßpunkte in der Toskana

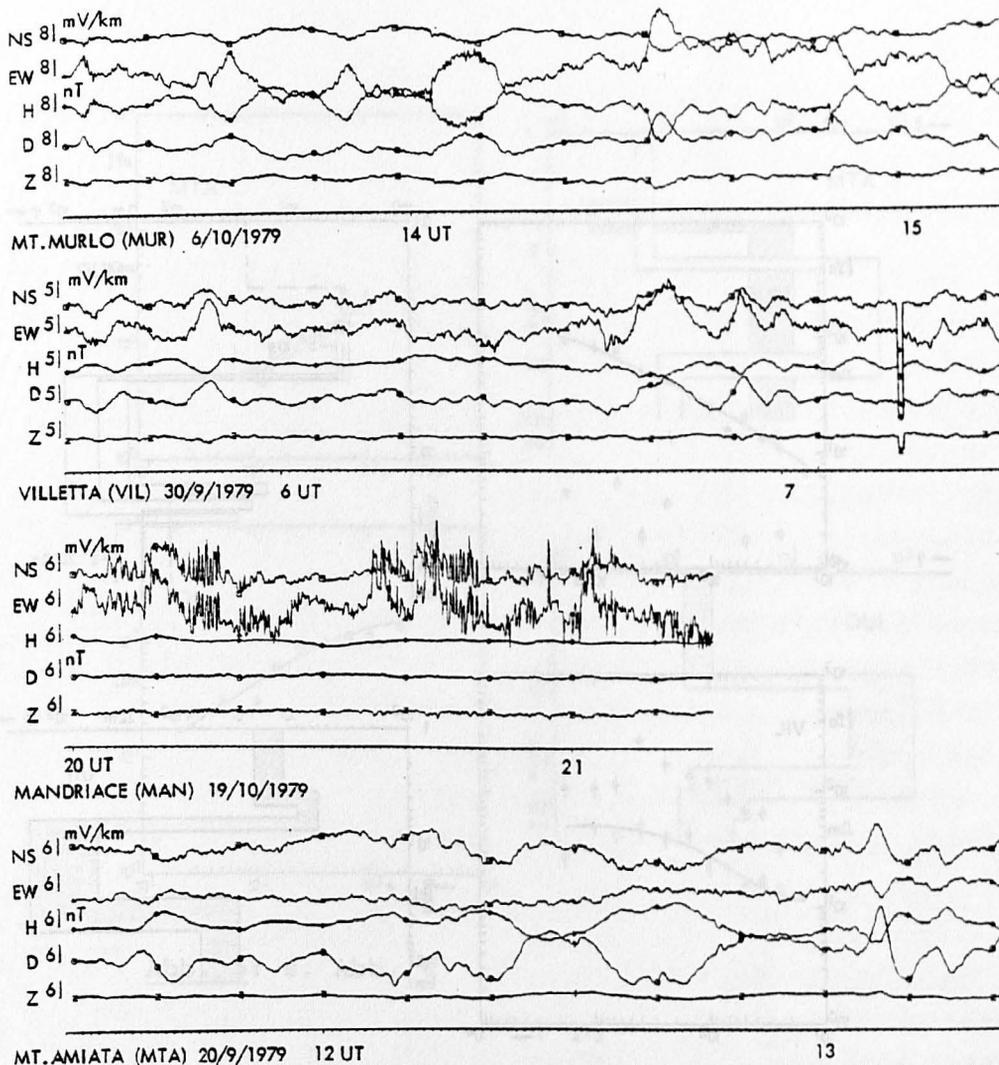


Abb. 2: Registrierbeispiel des erdelektrischen und erdmagnetischen Feldes an den Stationen MUR, VIL, MAN und MTA

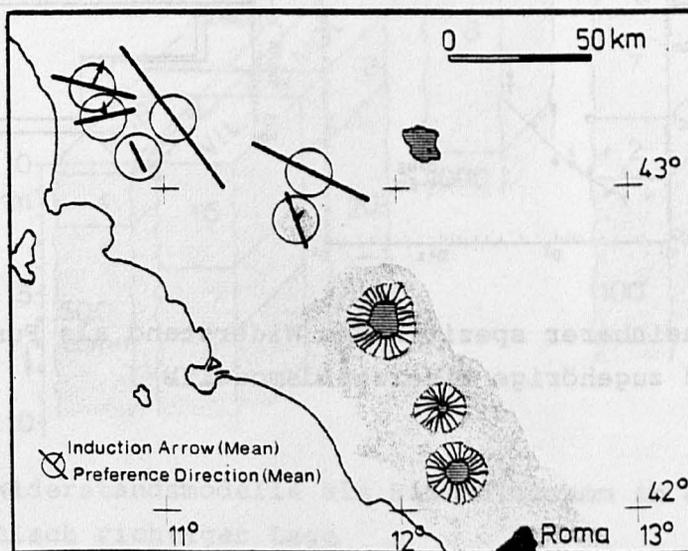


Abb. 3: Vorzugsrichtung des erdelektrischen Feldes und magnetischer Induktionspfeil für den Periodenbereich 25 - 650 s

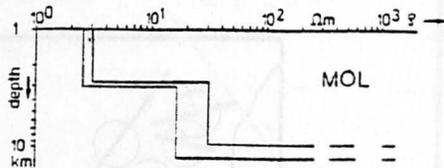
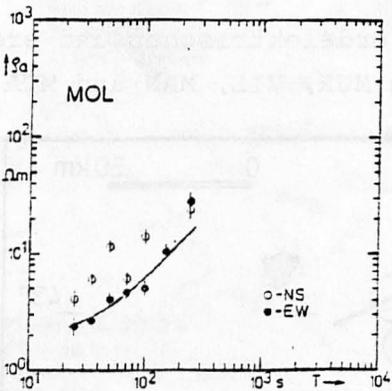
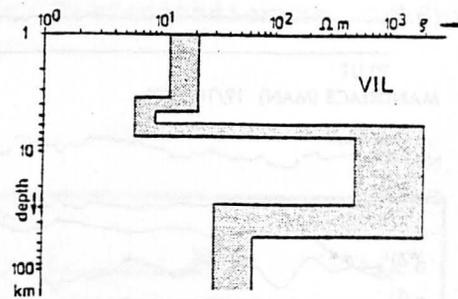
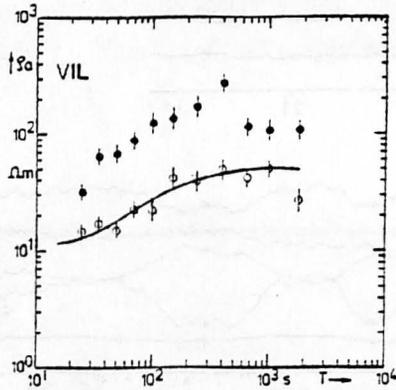
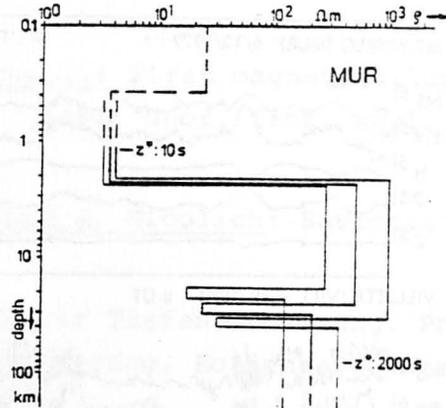
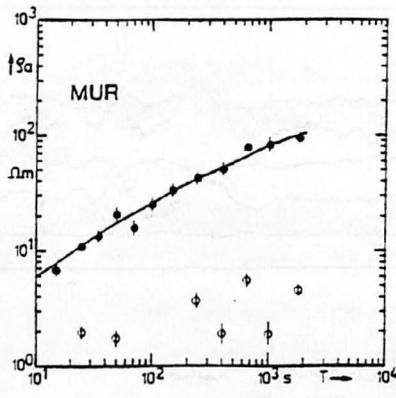


Abb. 4: Scheinbarer spezifischer Widerstand als Funktion der Periode und zugehörige Widerstandsmodelle

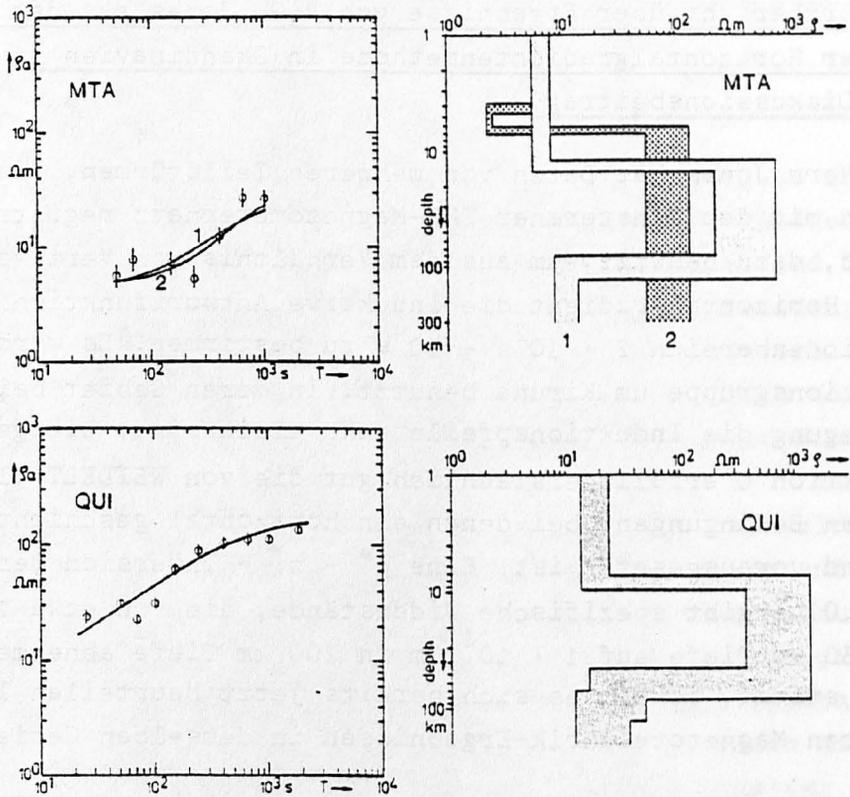


Abb. 5: s. Abb. 4

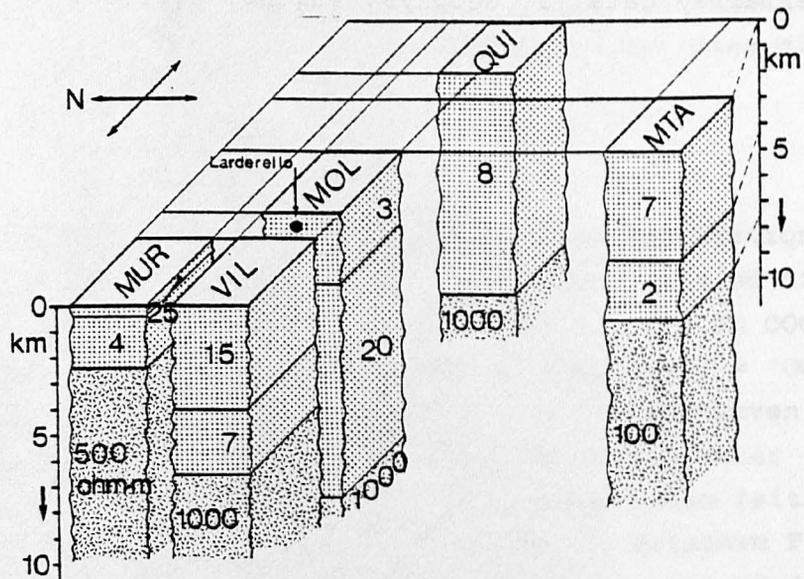


Abb. 6: Die Widerstandsmodelle als Blockdiagramm in annähernd geographisch richtiger Lage