

Carsten Pretzschner

Einfluß der Induzierten Polarisation auf magnetotellurische Messungen

Neben dem elektrischen Parameter Leitfähigkeit wird insbesondere der Parameter Polarisierbarkeit - der auf dem frequenzabhängigen elektrischen Verhalten von Substanzen unterhalb des Audibereiches basiert - hinsichtlich seines Einflusses auf magnetotellurische Messungen untersucht.

Der klassische Einsatz des Verfahrens der Induzierten Polarisation (IP) als geophysikalisches Erkundungsverfahren u.a. für die Suche von sulfidischen Erzimpregnationen wurde bereits in den fünfziger Jahren beschrieben (Buchheim et.al., [1958]).

Dabei spielt die IP insbesondere bei den elektromagnetischen Fernfeldmethoden zwar eine gewisse, meßmethodisch aber sehr unterschätzte Rolle.

Hohmann u. Newmann [1990] beschrieben als erste den Einfluß der IP auf das Transient-Elektromagnetik-Verfahren (TEM). Entsprechend wäre danach auch ein Einfluß der IP auf die MT zu erwarten, sodaß von uns versucht wurde, zu dessen Nachweis und zur Abschätzung der Größe dieses Einflusses Modellierungsprogramme mit komplexen Leitfähigkeiten zu entwickeln und in speziellen Feldmessungen zu überprüfen.

Polarisation

Polarisationserscheinungen treten prinzipiell an Grenzflächen auf. Es kommt entweder zu einer Änderung des elektrischen Leitungsmechanismus im Sinne einer "Elektrodenpolarisation" oder zur Blockierung der Ionenbewegung als "Membranpolarisation".

Für geophysikalische Betrachtungen besitzt die Elektrodenpolarisation wesentlich größeren Einfluß auf das Frequenzverhalten des elektrischen Widerstandes als die Membranpolarisation. Weitere Polarisationsarten wie die Aktivations-, Konzentrations- und Widerstandspolarisation sind in ihrer Wirkung so gering, daß sie weitestgehend vernachlässigt werden können.

Der komplexe elektrische Widerstand

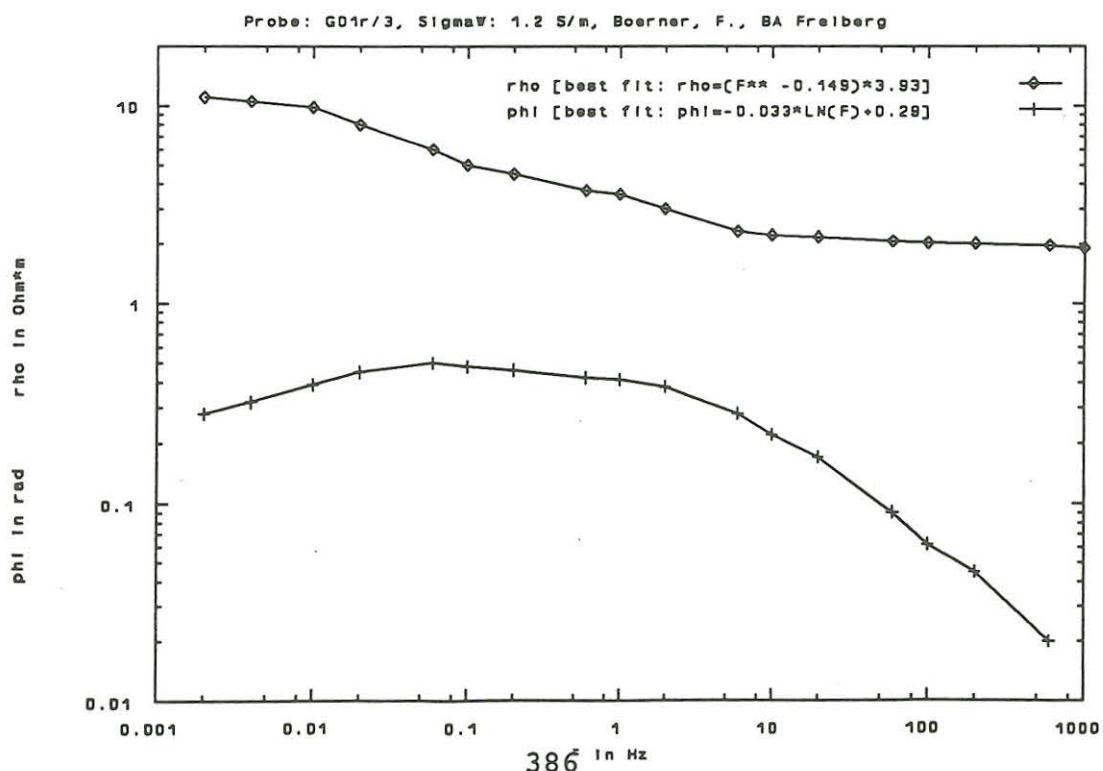
Zur Beschreibung der Frequenzabhängigkeit der Impedanz lassen sich aus der Literatur eine Vielzahl von Modellen entnehmen. Breite Anwendung findet z.B. das COLE-COLE-Modell, das die Impedanz als Funktion der Kreisfrequenz ω , der Polarisierbarkeit m , des Dispersionsindex c und der Relaxationszeit τ beschreibt:

$$Z(\omega) = R_0 \left(1 - m \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right)$$

(1)

Dieses Relaxationsmodell beschreibt das IP-Verhalten eines wassergesättigten Porengesteinsmaterials mit disseminierten Kristallen eines gutleitenden Minerals, an denen die Oberflächenpolarisation von elektrischen Feldern induziert werden kann (Pelton, et.al., [1978]). Niesner [1986] zeigte, daß die Bestimmung der COLE-COLE-Parameter auch auf Lockergesteine übertragbar ist.

Petrophysikalische Untersuchungen zur Bestimmung der Impedanz von Fest- und Lockergesteinen wurden u.a. von Börner, [1991] durchgeführt. Für die hier behandelten Modellrechnungen wurde eine typische IP-Dispersion für einen pyritreichen Schwarzschiefer (Bild 1) verwendet, für deren Beträge und Phasen Regressionsgleichungen entwickelt wurden.



Isotrope 1D-Vorwärtsmodellierung nach Wait mit komplexer Leitfähigkeit

Für den horizontal-geschichteten Halbraum mit isotropen Schichtleitfähigkeiten läßt sich auf einen Algorithmus zurückgreifen (Wait [1953]), der auch relativ einfach auf komplexe Leitfähigkeiten übertragbar ist.

Numerisch läßt sich dabei - wie folgendes Beispiel zeigt - sowohl der scheinbare spezifische Widerstand als auch die Phase mit bzw. ohne Polarisationsseffekt berechnen, sowie die daraus resultierende zeitlich meßbare Phasenverschiebung als Funktion der Periode darstellen.

Als Beispiel wurde versucht, den Einfluß einer 500 m mächtigen polarisierbaren Platte (Modell "Schwarzschiefer", Bild 1), die von der Oberfläche stufenweise bis in eine Tiefe von 15 km abgesenkt wird, auf die Ergebnisse von magnetotellurischen Tiefensondierungen abzuschätzen.

Die Platte hat dabei einen frequenzabhängigen Widerstand im Bereich von ca. $10 \Omega_m$, für den Widerstand des Liegenden bzw. Hangenden der Platte wurden $150 \Omega_m$, für das Basement $300 \Omega_m$ angenommen (Bild 2 bis 9).

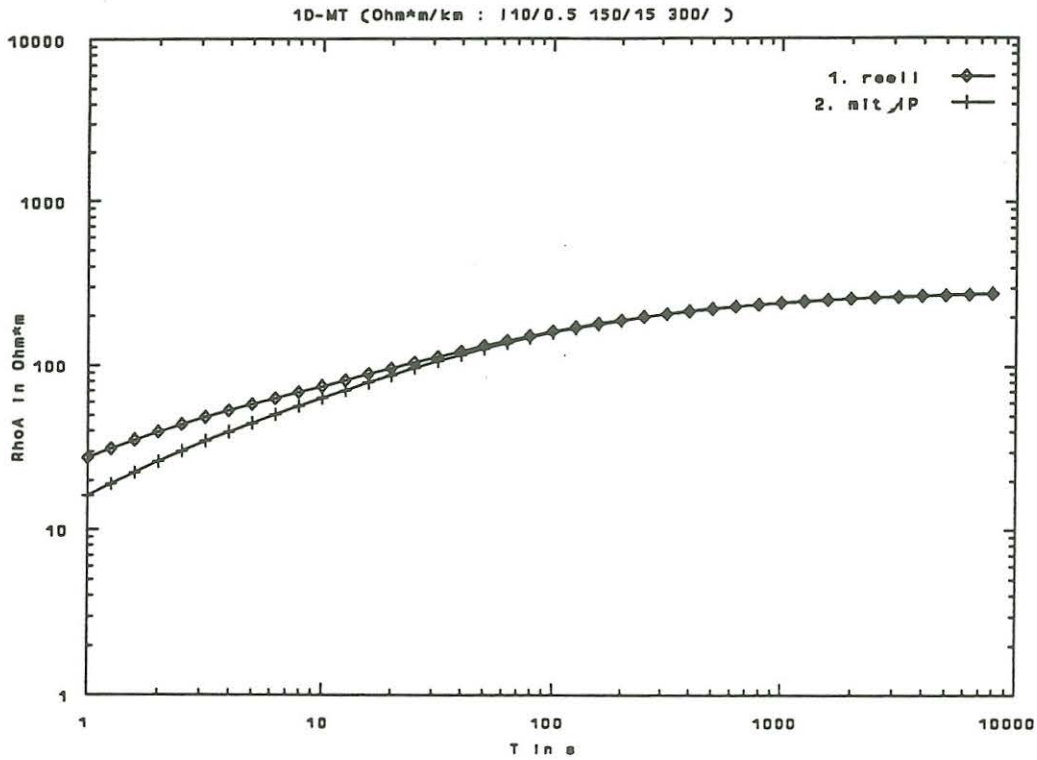


Bild 2: Betrag: polarisierbare Platte anstehend

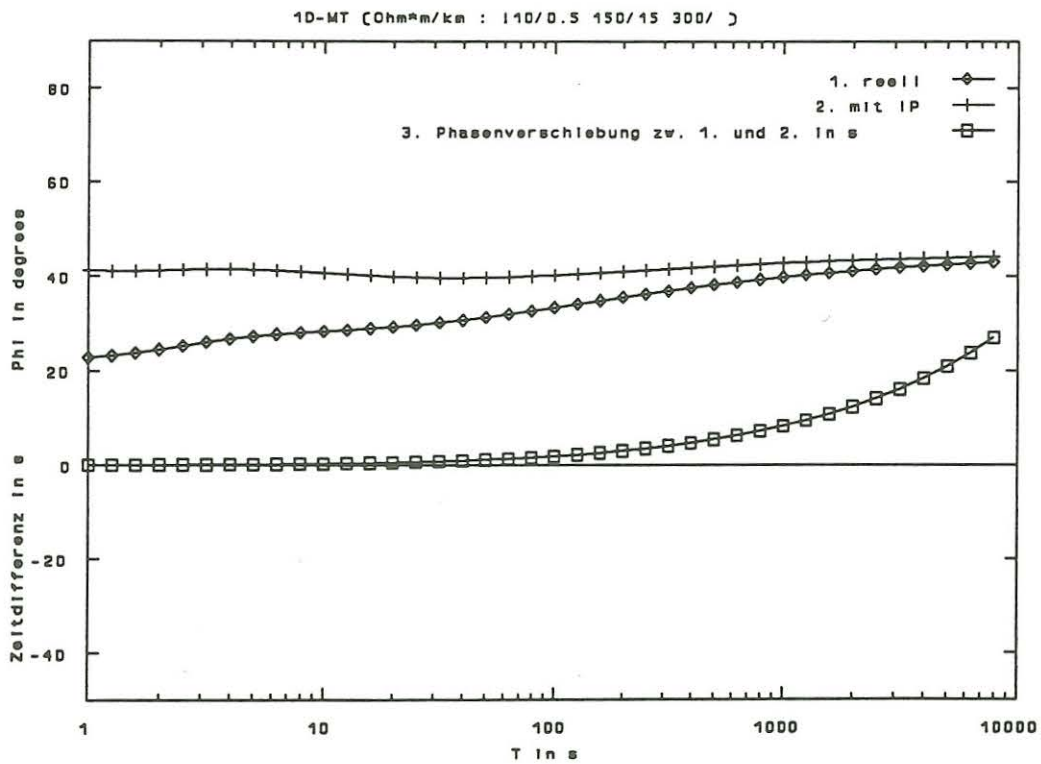


Bild 3: Phase : polarisierbare Platte anstehend

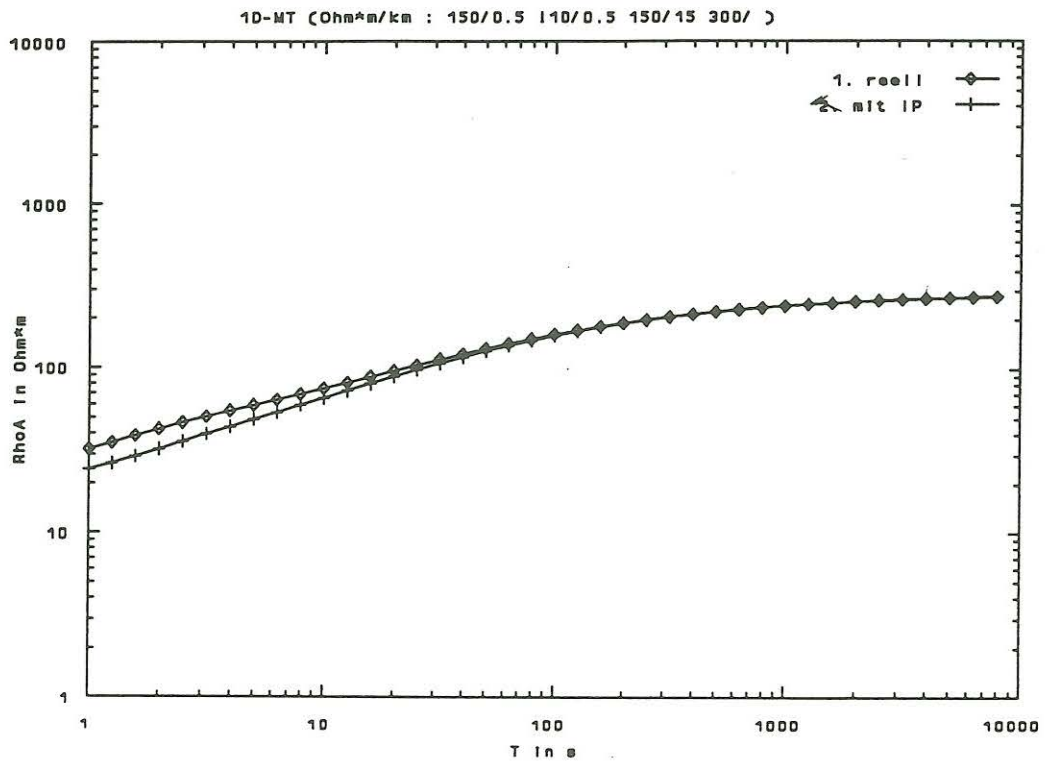


Bild 4: Betrag: polarisierbare Platte 0.5 km tief

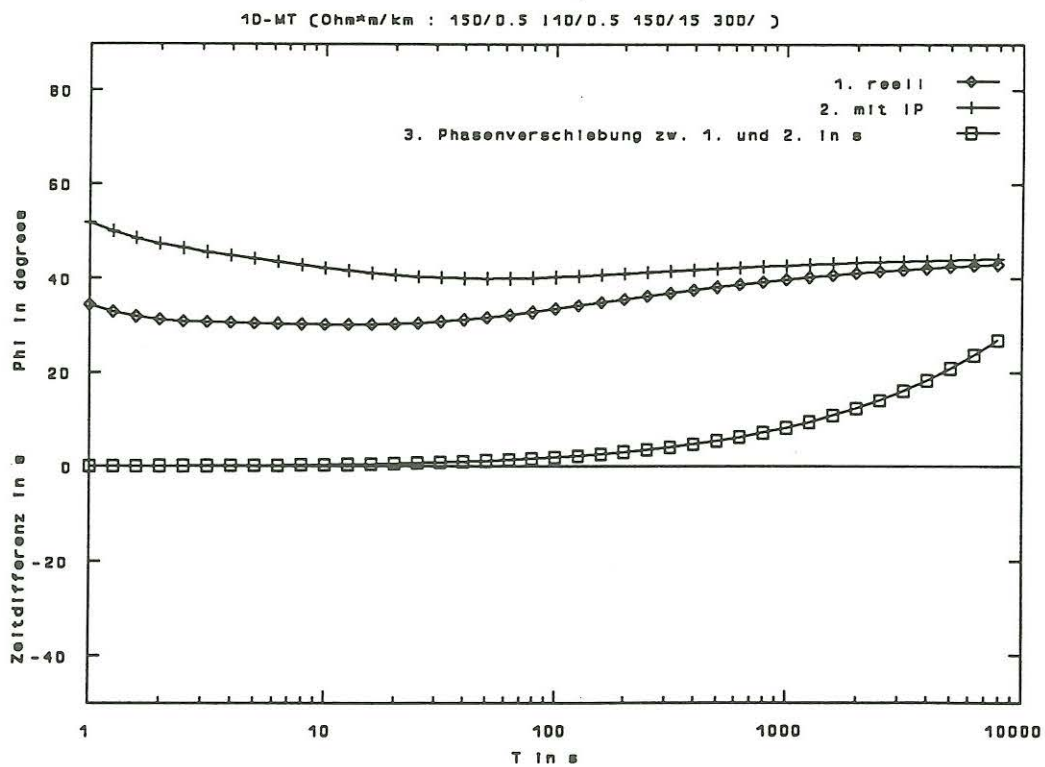


Bild 5: Phase : polarisierbare Platte in 0.5km Tiefe

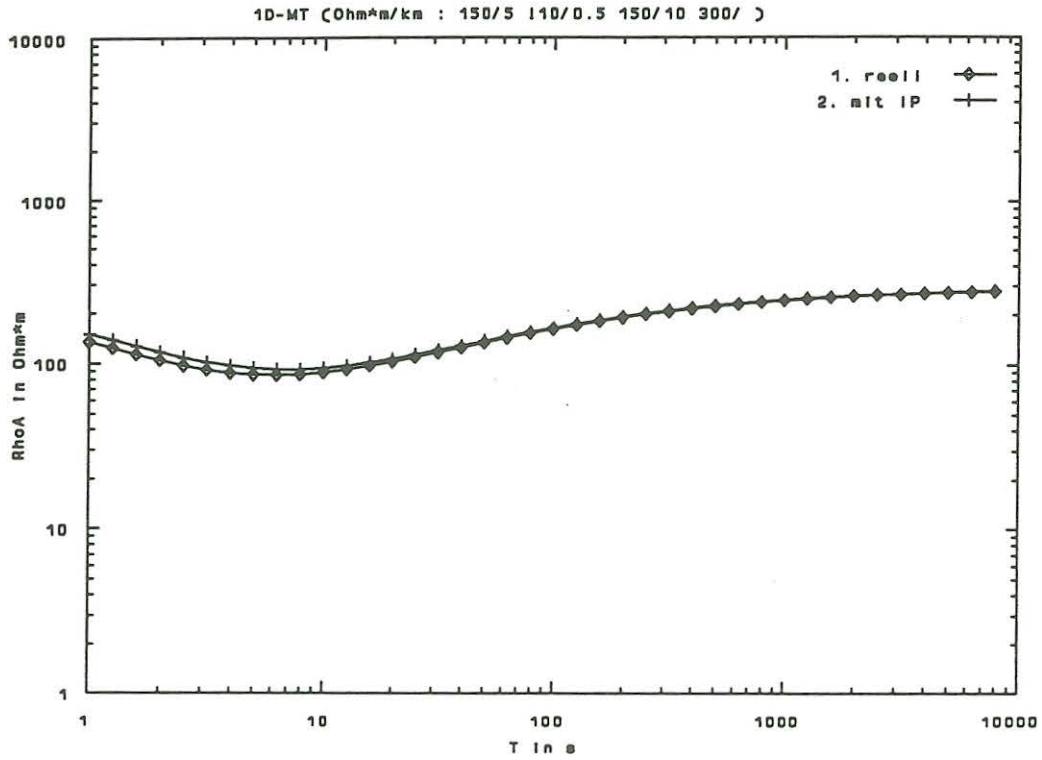


Bild 6: Betrag: polarisierbare Platte in 5 km Tiefe

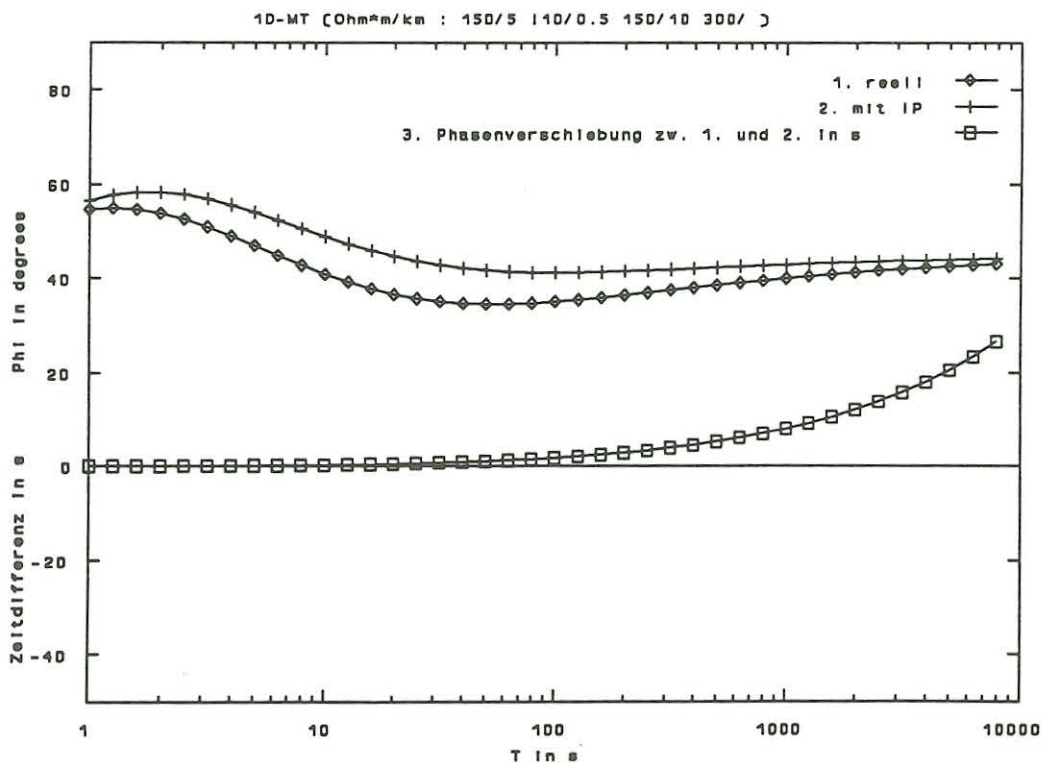


Bild 7: Phase : polarisierbare Platte in 5 km Tiefe

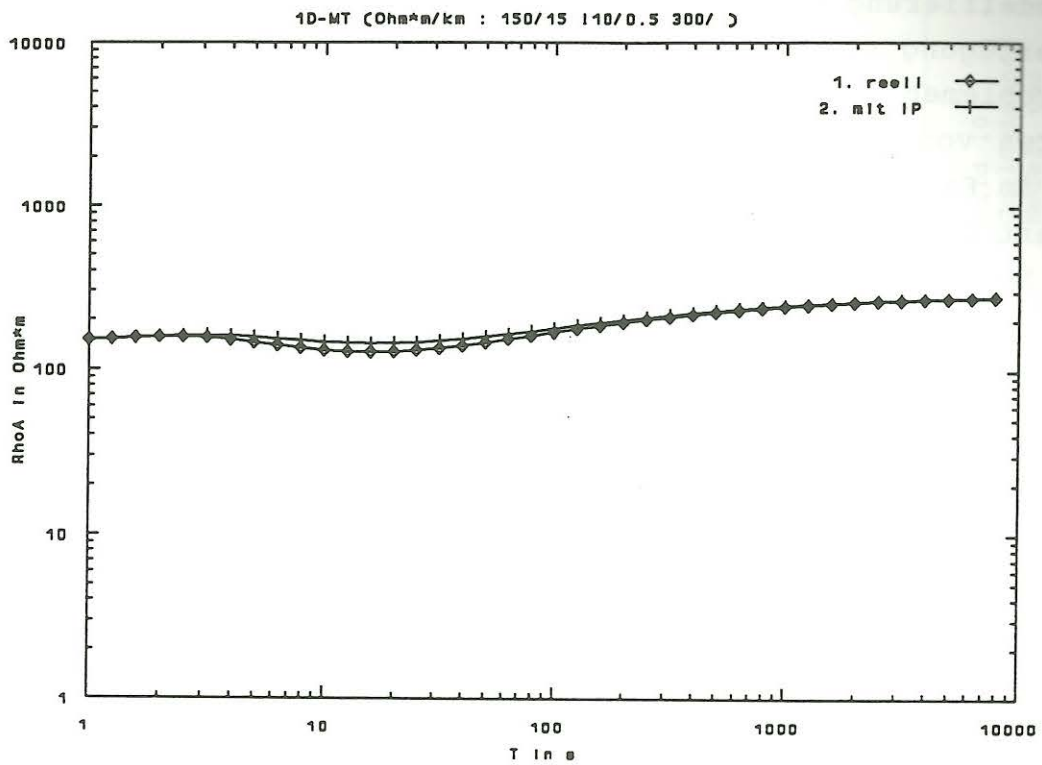


Bild 8: Betrag: polarisierbare Platte in 15 km Tiefe

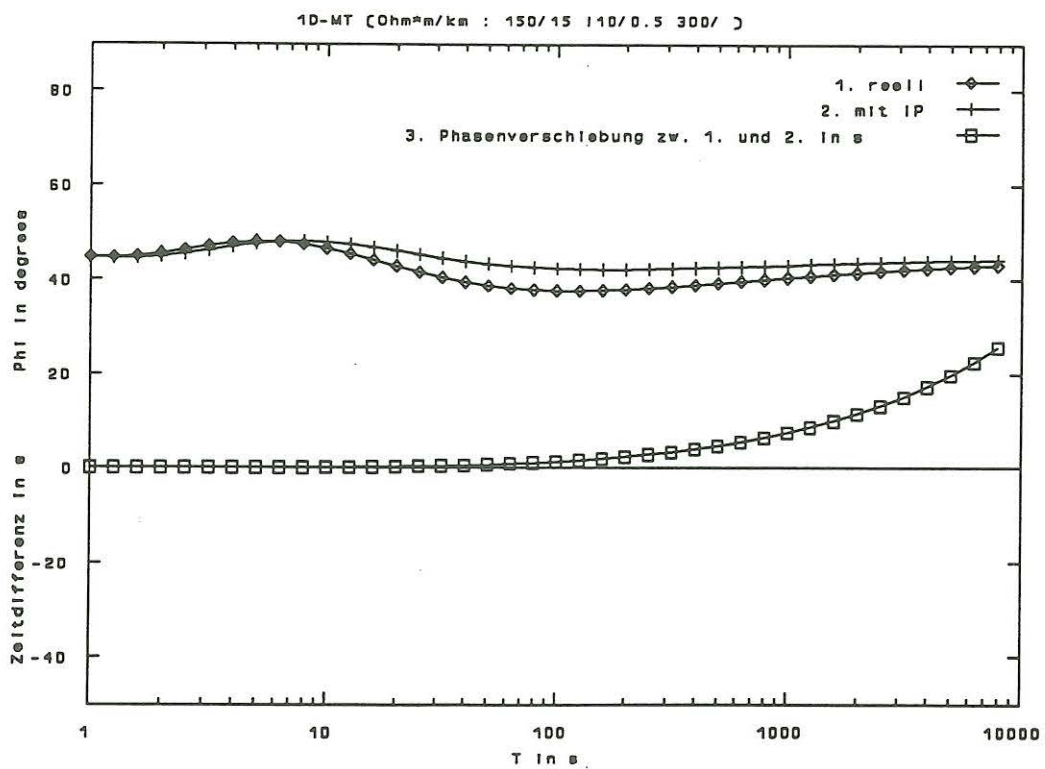


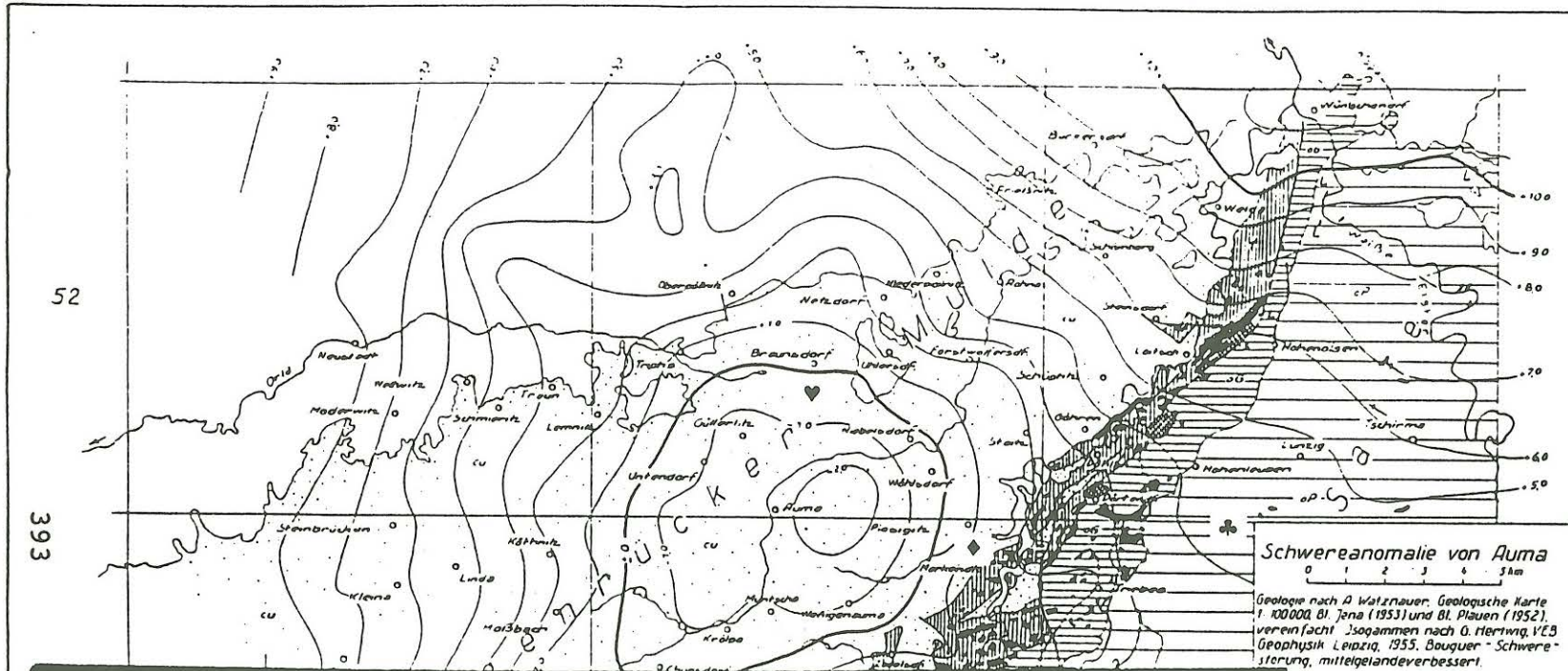
Bild 9: Phase : polarisierbare Platte in 15 km Tiefe

2-D Modellierung mit komplexer Leitfähigkeit

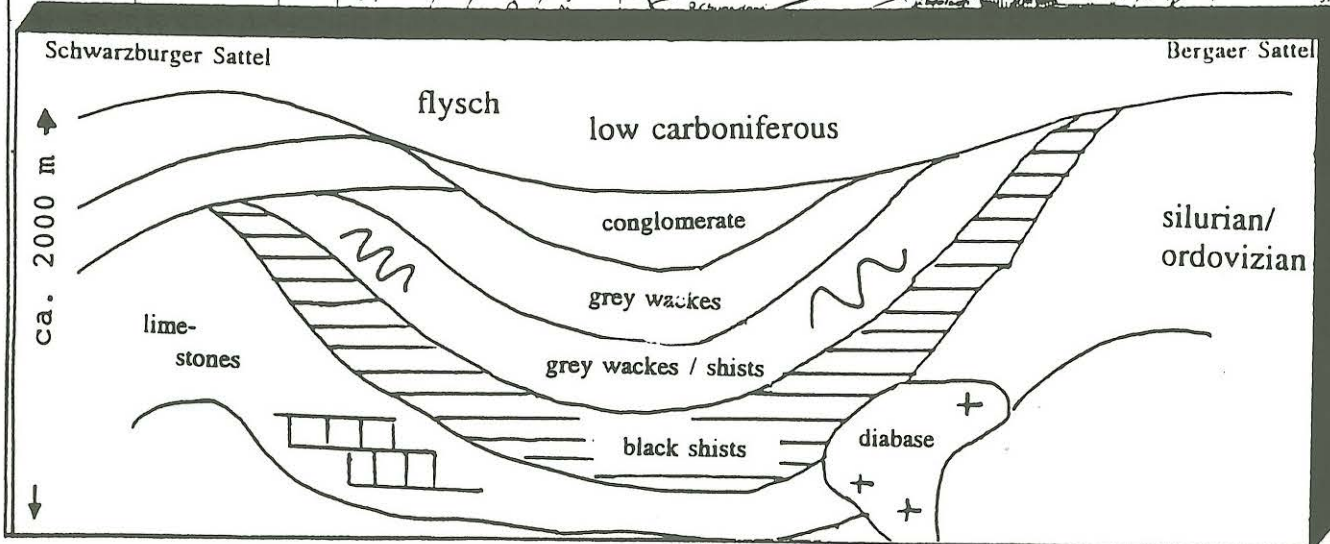
Zur Verfügung stand ein FDM-Programmpaket zur 2-D Modellierung von Problemen der Magnetotellurik (Weller, [1986]), das auf den Arbeiten von Jones und Pascoe [1971] basiert. Dieses Programm wurde im Falle der E-Polarisation (d.h. die y-Koordinate repräsentiert die elektrische Komponente in Streichrichtung) auf komplexe Leitfähigkeiten erweitert.

Zum experimentellen Nachweis bzw. als Basiswerte zur Prüfung des Programmes wurde der Ostrand der Ziegenrücker Mulde, die das östlichste Element des Thüringer Schiefergebirges bildet, gewählt. Sie ist etwa 30 km breit, und u.a. mit der "Schwereanomalie von Auma" geophysikalisch bekannt und geologisch sehr ausführlich untersucht (z.B. Lorenz, [1957]). Am SE Rand (Gebiet Merkendorf) ist das Ausstreichen eines Dach- bzw. Schwarzschiefer-Horizontes aus dem Oberdevon/Unterkarbon kartiert, im Zentrum der Mulde (Gebiet Auma) soll dieser Horizont (200 m mächtig) in einer Tiefe von ca. 2000 m verlaufen (Bild 10). Bohrergebnisse lagen keine vor.

Die interessantesten Ergebnisse der Modellrechnungen sind die Differenz der Phasen der Hx-Komponente mit bzw. ohne IP (Bild 11) und bzw. ihre "Normierung" mit der Periodendauer (Bild 12). Aus den Abbildungen wird deutlich, daß die größten Phasenverschiebungen erwartungsgemäß im Bereich des Ausstreichens der Schwarzschiefer am Muldenrand, im Periodenbereich von 0.1 bis 10s auftreten. Zeitlich meßbar werden diese jedoch erst bei Perioden größer als 100s.



- ♥ - Station Braunsdorf
- ♦ - Station Merkendorf
- ♣ - Station Triebes



- Perm - Trias
- Schwerspat, Antimon
- Porphyr, Lamprophyr
- Unterkarbon II - III (Kulm)
- sedimentäres Devon und Unterkarbon I
- Diabas und Schalstein
- Silur (Gottlandium)
- Ordovizium: Grafsenthaler Schichten
- Ordovizium: Phycodenschichten

Bild 10:
Geologisches
Modell und
Standort der MT-
Stationen am SE-
Rand der
Ziegenrucker Mulde

Differenz Hx mit bzw. ohne IP in mrad

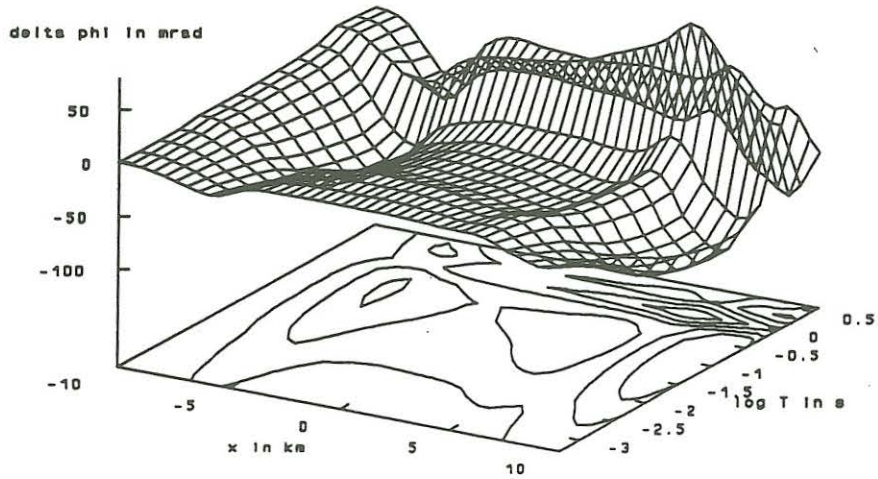


Bild 11: Berechnete Phasendifferenz durch den Einfluß der IP im Gebiet der Ziegenrücker Mulde.

Differenz Hx mit bzw. ohne IP in ms

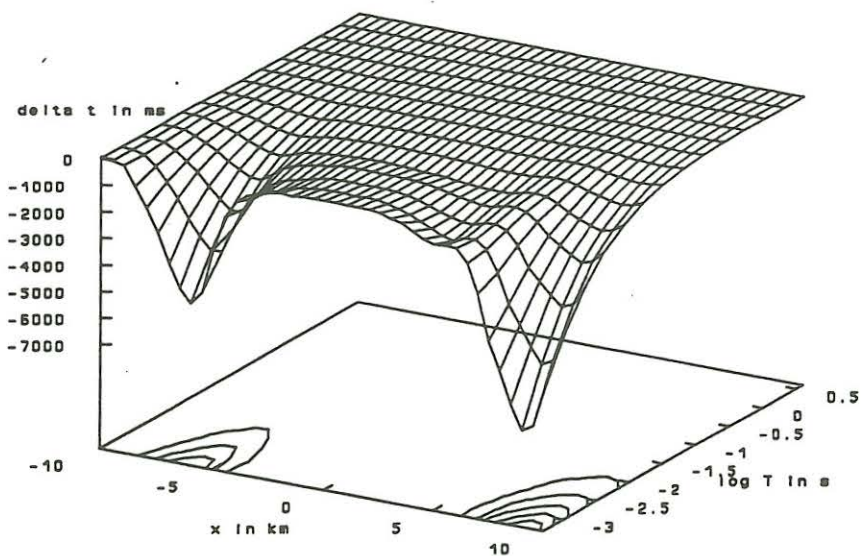


Bild 12: Berechnete Phasendifferenz für Hx in ms für das Gebiet der Ziegenrücker Mulde

Praktischer Nachweis

Zum Nachweis des berechneten Effekts wurden synchrone Registrierungen mit zwei MT-Stationen durchgeführt, die zusätzlich eine Aufzeichnung des Zeitzeichensenders DCF-77 ermöglichen.

Für die Stationen wurden folgende Standorte gewählt:

Station Braunsdorf: über dem Zentrum der Ziegenrücker Mulde
(Kulm: Schwarzschieferhorizont in 2km Tiefe,
Referenzstation)

Station Merkendorf: über dem Ausstrich des Schwarzschiefers (Un-
terkarbon: direkter Kontakt)

Station Triebes: über dem Bergaer Sattel (Ordovizium: ca. 5
km östlich vom Ausstreichen)

Als Basisstation wurde der Standort Braunsdorf (im Muldenzen-
trum/Kulm) gewählt. Die Registrierungen der Stationen Merkendorf
(am Muldenrand/Unterkarbon I) und Triebes (im Bergaer Sattel/-
Ordovizium) wurden synchron mit der Registrierung der Basissta-
tion dargestellt.

Deutlich ist dabei ein - vermutlich durch Aufladungs- und Entla-
dungsvorgänge hervorgerufenens - "Nachschleifen" der Phase der
Hx-Komponente für die Station Merkendorf erkennbar.

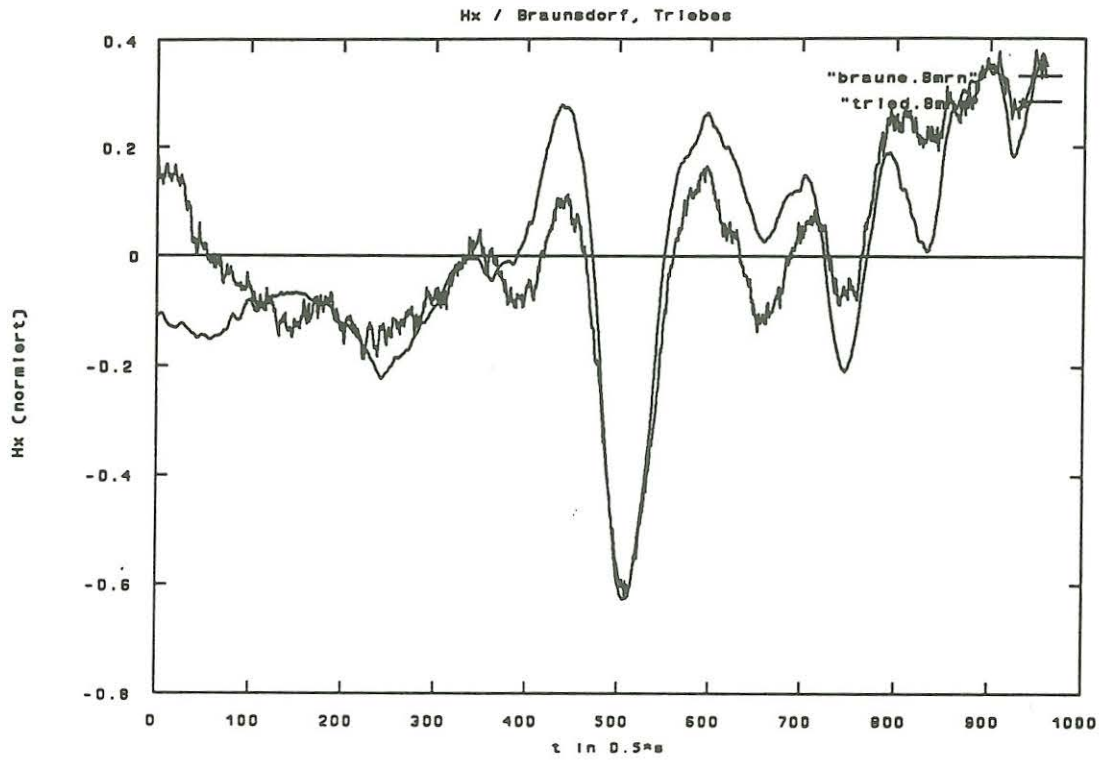


Bild 13: Synchrone Registrierungen der Hx-Komponente für die Stationen Braunsdorf und Triebes

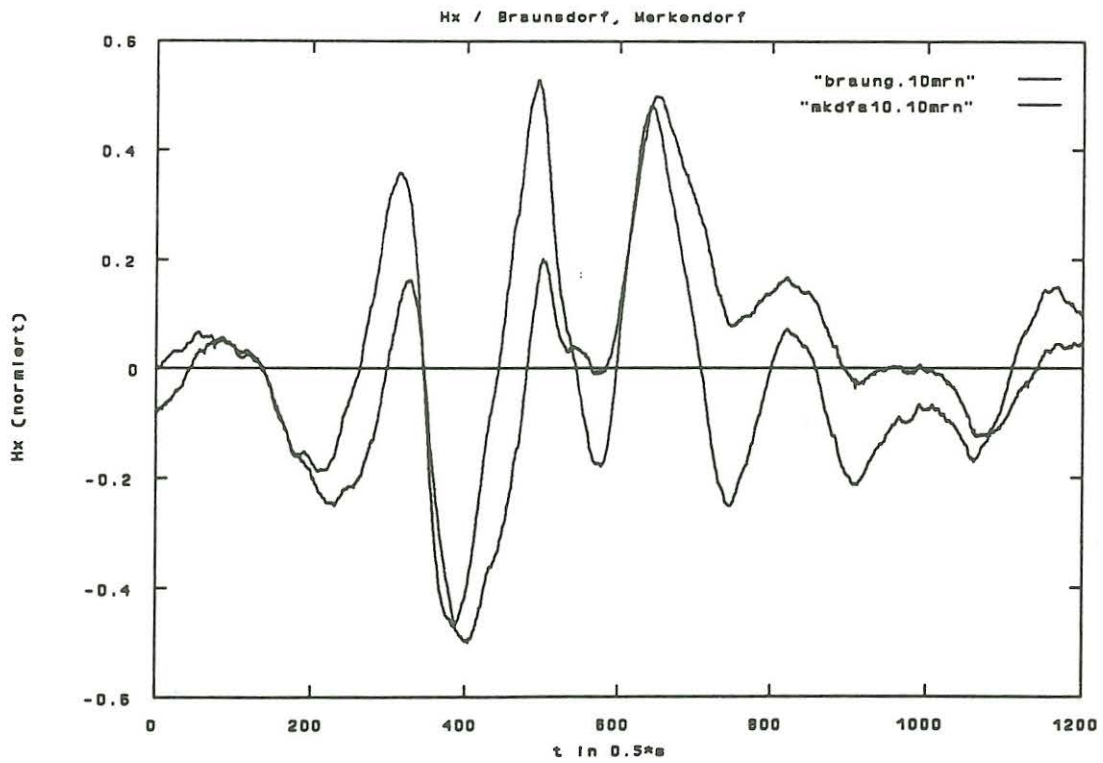


Bild 14: Synchrone Registrierungen der Hx-Komponente für die Stationen Braunsdorf und Merkendorf

Literatur

- Börner, F.**, 1991, Untersuchungen zur komplexen elektrischen Leitfähigkeit von Gesteinen im Frequenzbereich von 1 Milliherz bis 10 Kiloherz, Dissertation, Bergakademie Freiberg
- Buchheim, W., Malmqvist, D.**, 1958, Anwendung der Methode der induzierten Polarisation an Sulfidvorkommen in Nordschweden, Z. f. Geologie, Heft 7, 3-11
- Coggon, J.H.**, 1973, A comparison of IP electrode arrays, Geophysics, Vol. 38, 737-761
- Fliegel, G.**, 1980, Elektromagnetisches Wellenfeld über polarisierbarem Untergrund, Geodätische und geophysikalische Veröffentlichungen R.III, Berlin, Heft 47, 47-66
- Hohmann, G., Newmann, G.**, 1990, Transient electromagnetic responses of surficial, polarizable patches, Geophysics, Vol. 55, 1098-1100
- Jödicke, H.**, 1990, Zonen hoher elektrischer Krustenleitfähigkeit im Rhenohertzynikum und seinem nördlichen Vorland. Univ. Münster
- Jones, F. W. and Pascoe L. J.**, 1971, A general computer program to determine the perturbation of alternating electric currents in a two dimensional model of a region of uniform conductivity with an Embedded inhomogeneity, Geophys.J.R.astr.Soc.24, London, 3-30
- Lorenz, W.**, 1957, Die Schwereanomalie von Auma, Freiburger Forschungshefte, C39
- Niesner, E.**, 1986, Anwendung der Induzierten Polarisation auf nichtmetallische Materialien: Dissertation, Montanuniversität Leoben
- Pelton, W.H., Ward, S., Hallof, P., Sill, W.R., Nelson, P.**, 1978, Mineral discrimination and removal of inductive-coupling with multifrequency induced polarisation, Geophysics, Tulsa 36, 688-709
- Porstendorfer, G.**, 1987, Varianten elektromagnetischer Tiefensondierungen, Gerlands Beiträge zur Geophysik 96, 32 ff.
- Porstendorfer, G.**, 1963, Der Einfluß dünner, sehr gut leitender graphitischer Schichten in Sedimentkomplexen auf magneto-tellurische Sondierungskurven, Freiburger Forschungshefte, C233, 55-57
- Pretzschner, C.**, 1990, Algorithmen zur Modellierung der von Effekten der "Induzierten Polarisation" und des elektromagnetischen Feldes, Diplomarbeit, Bergakademie Freiberg
- Seidel, G.**, 1986, Geologie von Thüringen, Jena
- Siemon, B.**, 1991, Ein Interpretationsverfahren für induktiv schwach gekoppelte Leitfähigkeitsanomalien, dargestellt am Beispiel des Salzstockes Wesendorf im Gifhorner Trog, Dissertation, Georg-August-Universität zu Göttingen
- Snyder, D.**, 1976, A method for modeling the resistivity and IP-response of two-dimensional bodies, Geophysics, Vol. 41, 997-1015
- Weller, A.**, 1986, VLF-Modellierung mit dem Differenzenverfahren, Freiburger Forschungshefte, C414, 33-43