

T. Radić

Auswertung des Skineffekts bei Wechselstromsondierungen zur Korrektur möglicher Gleichstromverzerrungen

Gleichstromverzerrungen verfälschen sowohl die Ergebnisse der Magnetotellurik wie der Geoelektrik. Ihre Bedeutung ist je nach Meßgebiete sehr unterschiedlich, kann jedoch zur Fehlerquelle erster Ordnung werden.

Im Rahmen des durch die DFG geförderten Sonderforschungsbereichs 69 : " Geowissenschaftliche Probleme in ariden und semiariden Gebieten " wurden bei den elektrischen Sondierungen in den sudanesischen Arbeitsgebieten Hinweise auf starke Verzerrungen gefunden. Ein Beispiel für eine gleichstromverzerrte AMT-Messung findet sich bei BURKHARDT et al. (1990). Ein Versatz der Sondenauslage um nur 50 m resultierte in einer Änderung des Niveaus der spezifischen Widerstände einer Komponente um den Faktor 5 bei unveränderter Phase.

Ohne zusätzliche Informationen über die Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund ist es prinzipiell nicht möglich die Verzerrung der Widerstände der AMT wie auch der DC-Geoelektrik zu korrigieren.

Das oben angesprochene Extrembeispiel zeigt jedoch an, daß die Ursache der Verzerrung zumindest in diesem Fall primär in oberflächennahen Inhomogenitäten zu suchen ist. Diese Annahme wird auch durch kleinräumige refraktionsseismische Untersuchungen (BURKHARDT et al., 1990) und Radarmessungen (ERGENZINGER et al., 1990) gestützt, die zeigen, daß die Quellen der Verzerrung in jetzt sandverfüllten, eiszeitlich angelegten Entwässerungssystemen zu suchen sind. Die laterale Erstreckung dieser Einschnitte in den verfestigten Sand bzw. Sandstein beträgt meist nur wenige Meter, erreicht in Einzelfällen jedoch auch einige hundert Meter (NIEDERLEITHINGER, 1990). Die lateral stark variierenden Gesteinsparameter führen im Wechselspiel mit dem derzeitigen ariden bis semiariden Klima der Region gerade in den oberflächennahen Bereichen zu starken Variationen der Feuchtigkeit und mithin zu großen lateralen Widerstandscontrasten.

Ein von HAAK (1978) zur Beschreibung der Ursachen des DC-Shifts der MT verwandtes Modell (Abb. 1) kann trotz der unterschiedlichen Dimensionen leicht auf die hiesige Problematik übertragen werden.

Die "ideale" Gleichstromverzerrung wird somit von einer oberflächennahen kleinräumigen Struktur mit gegenüber der Umgebung deutlich abweichender Leitfähigkeit verursacht. Im Bereich einer solchen "Linse" werden die entlang der Sondestrecken gemessenen Spannungen unter- bzw. überschätzt.

Sofern der Induktionsraum groß gegen die Abmessung der Inhomogenität ist, sind die Phasen der AMT und auch die bei Wechselstromsondierungen auftretenden induktiven Effekte von der Inhomogenität unbeeinflusst.

Abbildung 2 zeigt für eine im Humar Basin (BUSSERT et al., 1990) gewonnene Sondierung Betrag und Phase des spezifischen Widerstandes für verschiedenen Frequenzen als Funktion der Elektrodenauslage. Bei kleinen Auslageweiten unter 100m zeigen die nicht verschwindenden Phasen geringe Polarisationserscheinungen an, die zu größeren Auslagen von Induktionseffekten vollständig überlagert werden.

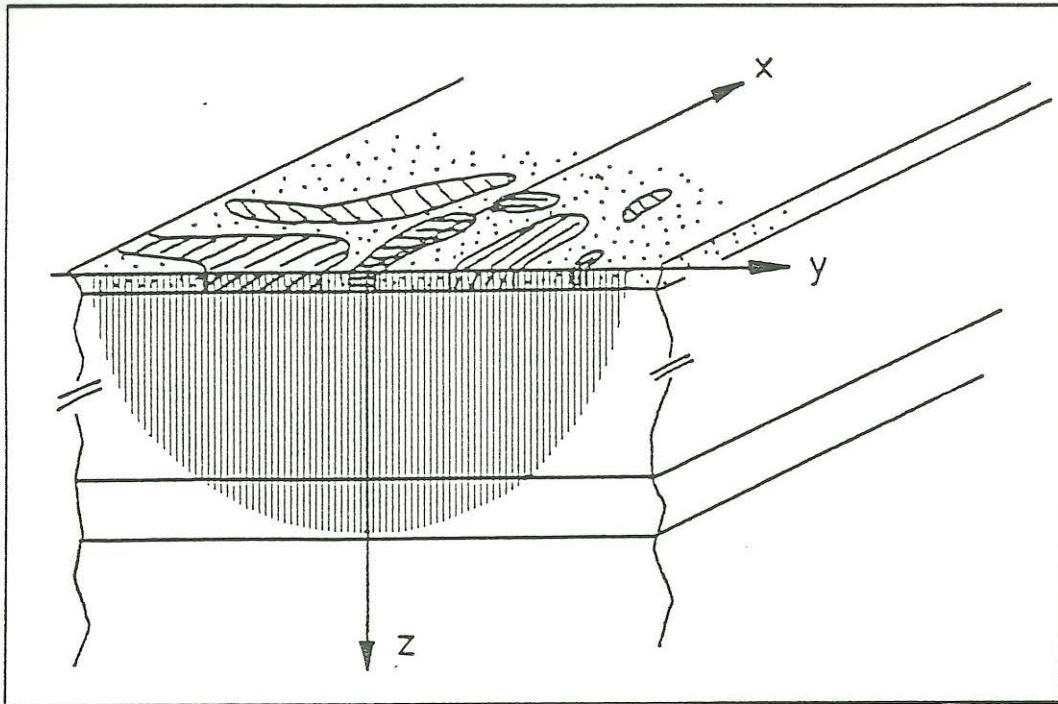
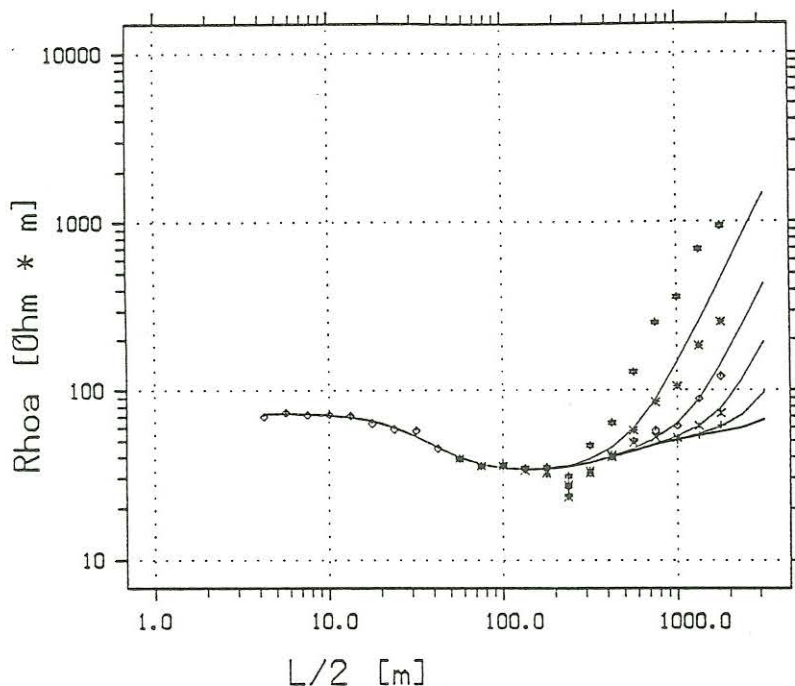


Abb. 1 Modell zur Beschreibung der Ursachen von Gleichstromverzerrung bei Schlumbergersondierungen und audiomagnetotellurischen Messungen (in Anlehnung an HAAK, 1978). Die relevanten Leitfähigkeitsinhomogenitäten sind oberflächennah und kleinräumig im Verhältnis zur Skin-Tiefe bzw. zur verwendeten Elektrodenauslage.

Diese lassen sich leicht an den übersteilen Anstiegen des Widerstandes und der charakteristischen Frequenzabhängigkeit von Betrag und Phase identifizieren. Sämtliche Meßwerte einer Sondierung müssen, abgesehen von IP-Effekten und im Rahmen der Meßgenauigkeit, mit einem frequenzinvarianten Untergrundmodell erklärt werden können. Bemerkenswert ist, daß bei dieser wie bei einer Vielzahl anderer Wechselstromsondierungen die gefundenen Untergrundmodelle eine gute Anpassung der 'quasi'-Gleichstromsondierung ($\rho_s (L/2, 0.16 \text{ Hz})$) ermöglichen, seltener jedoch gleichzeitig die gemessenen Induktionserscheinungen richtig vorhersagen.

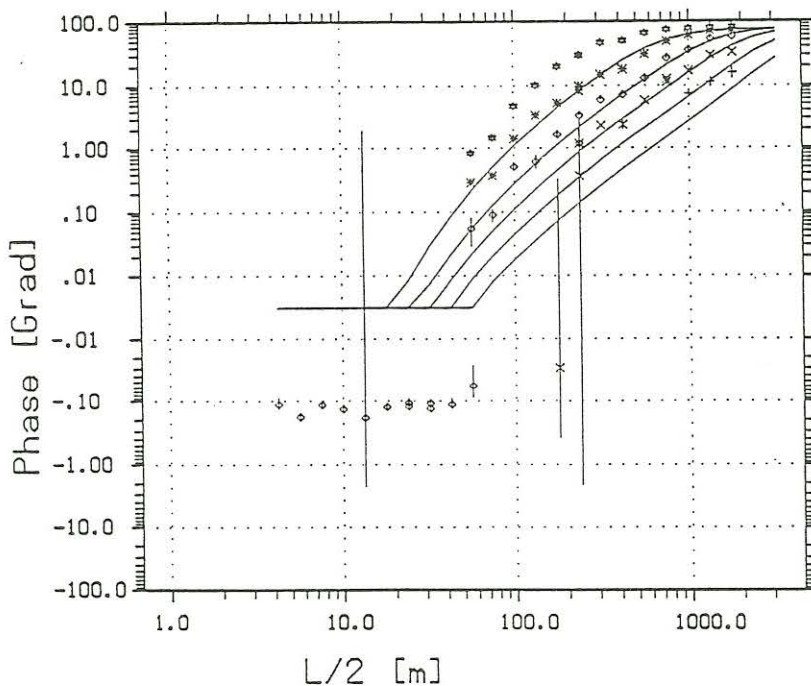
Entsprechend dem Verzerrungsmodell (Abb. 1) sind offensichtlich die gemessenen Beträge des Widerstandes systematisch zu groß. Unter Nutzung der verzerrungs-invarianten Induktionserscheinungen kann der reellwertige Gleichstromverzerrungsfaktor D über eine Minimierung bestimmt werden.



SUDAN
25.3.89

Layer	Resistivity [Ohm*m]	Thickness [m]
1.	73.0	15.0
2.	32.0	200.0
3.	60.0	

- ☆ 10.0 Hz
- * 2.51 Hz
- ◇ 1.00 Hz
- × 0.40 Hz
- + 0.16 Hz



SUDAN
25.3.89

Layer	Resistivity [Ohm*m]	Thickness [m]
1.	73.0	15.0
2.	32.0	200.0
3.	60.0	

- ☆ 10.0 Hz
- * 2.51 Hz
- ◇ 1.00 Hz
- × 0.40 Hz
- + 0.16 Hz

Abb. 2 Beispiel für eine Wechselstromsondierung nach Schlumberger. Betrag und Phase des komplexwertigen scheinbaren spezifischen Widerstandes sind dargestellt als Funktion der Elektrodenauslagenweite für 5 Frequenzen zwischen 0.16 und 10 Hz. Zur Modellierung der Induktionseffekte konnte ein 1-D AC-Programm verwendet werden, daß uns von Prof. Weidelt (Braunschweig) zur Verfügung gestellt wurde. Die Modellkurven (durchgezogene Linien) approximieren gut die 'quasi' Gleichstromwiderstände ($\rho_s(0.16 \text{ Hz})$), unterschätzen jedoch die bei großen Auslagen induktiv bedingten Anstiege der Widerstände und Phasen.

Es gilt,

$$\sum_{L/2,f} [d * |\rho_s^{ms}| - |\rho_s^{md}|]^2 + \sum_{L/2,f} [\varphi_s^{ms} - \varphi_s^{md}]^2 \rightarrow \text{Min.}$$

genau dann, wenn :

$$d \rightarrow D$$

$$\rho_s^{md} \rightarrow \rho_s^{wr}$$

$$\varphi_s^{md} \rightarrow \varphi_s^{wr}$$

md : Modellwert
 ms : Messwert
 wr : wahrer Wert

Zur Berechnung von Wechselstrommodellkurven konnte ein 1-D AC-Geoelektrikprogramm eingesetzt werden, daß uns von Prof. Weidelt (Braunschweig) zur Verfügung gestellt wurde.

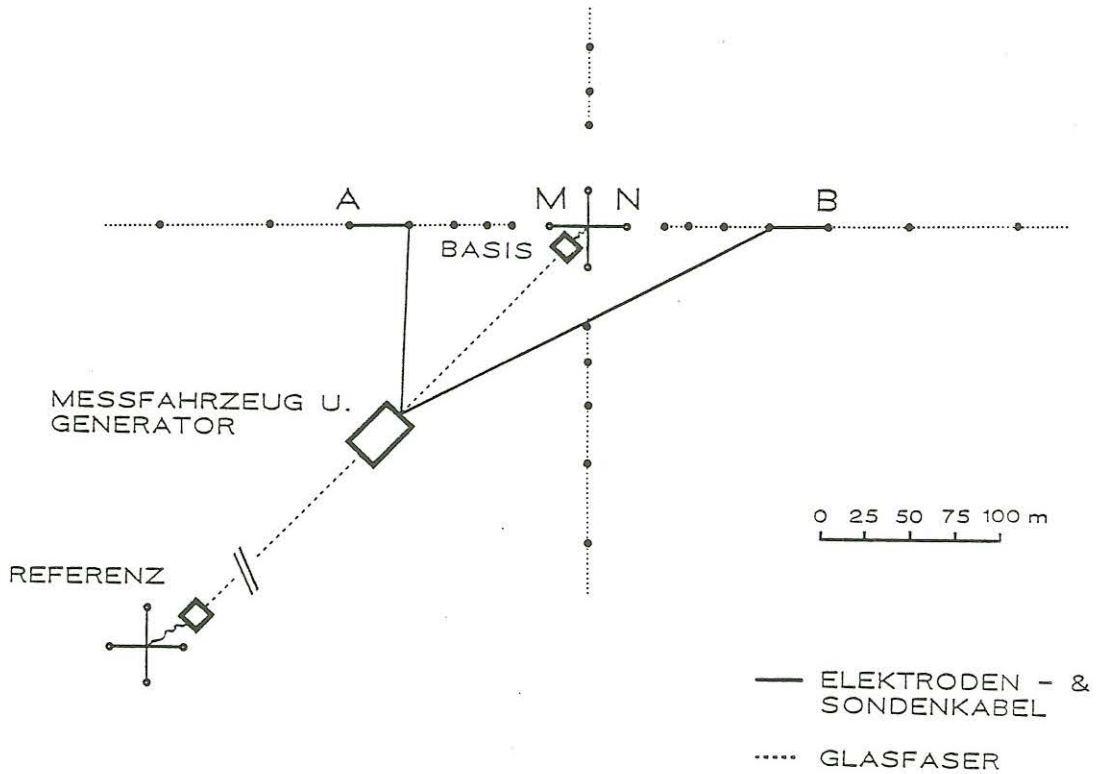
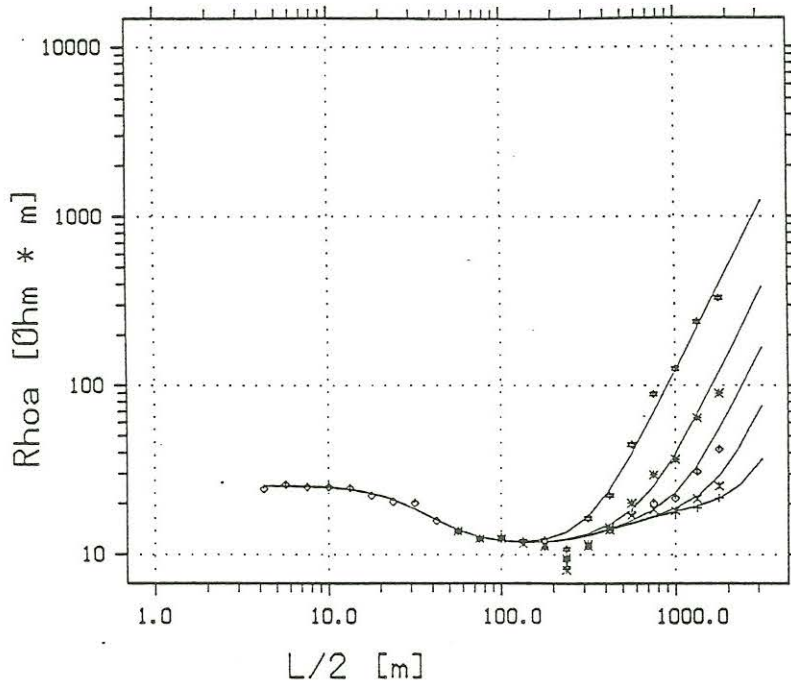


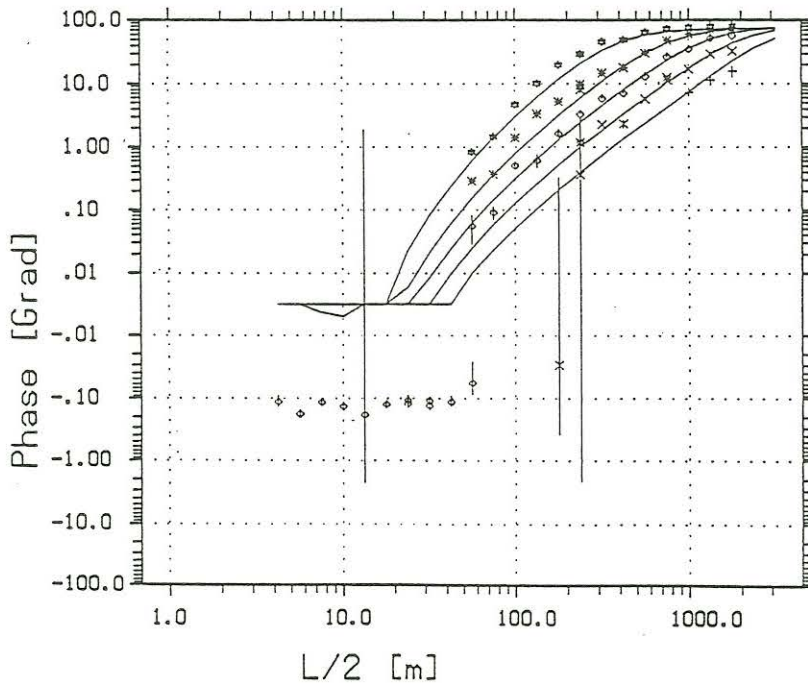
Abb. 3 Meßanordnung für Wechselstromsondierungen, mit Verlauf der Elektroden- und Sondenkabel. Fahrzeug, Rechner und Generator sind unter 45 Grad zur Auslage, in etwa 100 m Entfernung von der Basis Remote Unit angeordnet. Zur optimalen Entkopplung sind beide Einheiten über Glasfaser verbunden. Zur Anwendung der Methode der geoelektrischen Referenztechnik kann in 1400 m Entfernung eine weitere Meßstation aufgestellt werden (vgl. RADIC, 1988).



SUDAN
25.3.89

Layer	Resistivity [Ohm*m]	Thickness [m]
1.	25.6	15.0
2.	11.2	200.0
3.	21.0	

- ☆ 10.0 Hz
- ✱ 2.51 Hz
- ◇ 1.00 Hz
- × 0.40 Hz
- + 0.16 Hz



SUDAN
25.3.89

Layer	Resistivity [Ohm*m]	Thickness [m]
1.	25.6	15.0
2.	11.2	200.0
3.	21.0	

- ☆ 10.0 Hz
- ✱ 2.51 Hz
- ◇ 1.00 Hz
- × 0.40 Hz
- + 0.16 Hz

Abb. 4 Entzerrte Wechselstromsondierung aus Abb. 2. Die Modellkurven approximieren sowohl die 'quasi'-Gleichstromwiderstände als auch die gemessenen Induktionseffekte. Die korrigierten Widerstände wie auch die Widerstände des Untergrundmodells sind um den Gleichstrom - Verzerrungsfaktor D niedriger als die in Abb. 2 wiedergegebenen Meßwerte.

Für die Gewinnung vertrauenswürdiger Meßwerte muß auch der Verlauf der Sonden- und Elektrodenkabel berücksichtigt werden. Die für die Messungen verwendete Anordnung (Abb. 3) ist ohne nennenswerten Einmessaufwand schnell auszubringen und in den Modellrechnungen gut zu modellieren.

Das iterativ gewonnene Ergebnis der Entzerrung liefert einen Wert von $D \sim 0.35$ und ist in Abbildung 4 wiedergegeben. Die Anpassung ist gegenüber der nicht korrigierten Sondierungskurve deutlich besser geworden. Leichte systematische Abweichungen sind nur noch in der Phase zu beobachten.

Die induktiven Effekte liefern somit zusätzliche Informationen, die über die aus Gleichstrommessungen gewonnen hinausgehen und die bei Gültigkeit des Verzerrungsmodells eine Korrektur der Gleichstromverzerrung ermöglichen. Der hieraus ermittelte Verzerrungsfaktor D sollte jedoch auch zur Entzerrung audiomagnetotellurischer Daten geeignet sein.

Prinzipiell könnte die Methode noch verallgemeinert werden etwa dahingehend oberflächennahe Inhomogenitäten zu orten. Dazu müßten die nach Korrektur des DC-Shifts noch verbleibenden, nicht meßfehlerbedingten Abweichungen der Meßwerte zu den Modellkurven mit Hilfe eines 2-D AC-Geoelektrikprogramms ausgewertet werden. Ähnlich einem tomographischen Verfahren würde ein Bereich im Untergrund in Abhängigkeit der verwendeten Auslage und zusätzlich in Abhängigkeit von der verwendeten Frequenz in unterschiedlichem Maß Einfluß auf die gemessenen scheinbaren spezifischen Widerstände nehmen.

Literatur :

BURKHARDT, H., BRASSE, H., FIEDLER-VOLMER, R., HAUBMANN, U., KALKBRENNER, M., RADIC, T., & SCHUSTER, K. (1990) : The application of seismic, geoelectric and audiomagnetotelluric methods to tectonic and hydrogeological problems in SW-Egypt and NW-Sudan.- Berliner Geowiss. Abh. (A), 120, 453-504, Berlin.

BUSSERT, R., BRASSE, H., RADIC, T., & RAYNOLDS, P.-O. (1990) : Sedimentation and structural style of a rift-structure in northern Sudan : The Humar basin.- Berliner Geowiss. Abh. (A), 120, 89-108, Berlin.

ERGENZINGER, P., JONAS, M., SCHWENKROS, B., BLINDOW, N., & TYSSSEN, F. (1990) : Application of the electromagnetic reflection technique for geomorphological and hydrological studies in northern Sudan.- Berliner Geowiss. Abh. (A), 120, 327-350, Berlin.

HAAK, V. (1978) : Interpretations-Verfahren für die Magnetotellurik unter besonderer Berücksichtigung lateral variierender elektrischer Leitfähigkeiten im Erdinneren und eines räumlich inhomogenen induzierenden Magnetfelds.- Abh. Bayer. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., Neue Folge 158, München.

NIEDERLEITHINGER, E. (1990) : Zweidimensionale Modellrechnungen zur Untersuchung oberflächennaher Inhomogenitäten in der Geoelektrik.- Dipl. Arb., Inst. f. Ang. Geoph. d. Tech. Univ. Berlin.

RADIĆ, T. (1988) : Geoelektrische Messungen in SW-Ägypten mit einer digitalen Frequenzbereichs-Geoelektrik, sowie erste Erfahrungen mit einer Referentechnik (Mehrkanal-Geoelektrik) zur Verminderung von künstlichen und natürlichen (tellurischen) Störungen.- In HAAK, V. & HOMILIUS, J. (1988): Protokoll über das 12. Kolloquium - Elektromagnetische Tiefenforschung, Königstein (Taunus), 207-216, Institut für Meteorologie und Geophysik, J. W.Goethe-Universität Frankfurt am Main.