

H. Brasse

Audiomagnetotellurik im Rahmen eines geowissenschaftlichen  
Gemeinschaftsprojekts zur Erforschung des Nubischen Aquifersystems

Seit Mitte des Jahres 1985 existiert auch am Institut für Angewandte Geophysik der Technischen Universität Berlin eine Apparatur zur Aufzeichnung und Bearbeitung audiomagnetotellurischer Signale, die im Rahmen des Sonderforschungsbereiches (SFB) 69 "Geowissenschaftliche Probleme Arider Gebiete" eingesetzt wird. Im folgenden Beitrag sollen dieses Projekt kurz dargestellt und erste Erfahrungen eines Geländeaufenthaltes in Ägypten im Januar/Februar 1986 geschildert werden.

Eine der wesentlichen Aufgaben des SFB, der seit 1981 an der TU und der FU Berlin eingerichtet ist, besteht in der Erforschung des Nubischen Aquifersystems, welches sich über eine Fläche von 2 Mill. km<sup>2</sup> in den Ländern Ägypten, Sudan, Libyen und Tschad in der Ostsahara erstreckt. Die Geophysik führt dabei Untersuchungen in kleinräumigen, exemplarisch ausgewählten Gebieten mit verschiedenen Methoden unter dem Aspekt der gemeinsamen Interpretation der gewonnenen Daten durch (Behrens et al., 1984). Eingesetzt werden Fallgewichtsseismik, Geoelektrik, Bodenmagnetik und, seit neuerem, Audiomagnetotellurik. Ziel ist vor allem die Bestimmung von Aquiferoberfläche und -mächtigkeit sowie von Tiefenlage und Struktur des Grundgebirges. Dazu werden auch von der General Petroleum Company of Egypt (GPC) durchgeführte aeromagnetische und gravimetrische Messungen ausgewertet. Ebenso konnten die Ergebnisse von Bohrungen der GPC - die zur Erkundung der Grundwassersituation in SW-Ägypten abgeteuft wurden und jeweils das Basemant erreichten - benutzt werden.

Im Januar/Februar 1986 kam erstmalig die neue Audiomagnetotellurik (AMT)-Apparatur zum Einsatz. Sie wurde vom Observatoire Cantonal in Neuchâtel erstellt und ist baugleich mit der dort schon seit längerem eingesetzten Anlage (Schnegg and Fischer, 1980). Als Magnetfeldsensoren werden Induktionsspulen-Magnetometer der Fa. ECA, Frankreich, benutzt. Die Aufzeichnung der Daten erfolgt Mikrocomputer-gesteuert, eine Vorauswertung findet gleich im Gelände statt; die Zeitreihen werden auf Disketten gespeichert. Die Anlage arbeitet im Frequenzbereich ~4-1000 Hz, so daß der hauptsächlichliche Anwen-

dungsbereich in der Erkundung der Tiefenlage des Basements bis etwa  $z \approx 1$  km liegt. Zur Erfassung der Aquiferoberfläche wird die Geoelektrik herangezogen - eine gemeinsame Interpretation der Ergebnisse beider Verfahren ist angestrebt.

Die zurückliegende Feldkampagne in Südägypten diente dazu, die Eignung der AMT unter den dortigen geologischen und geographischen Bedingungen zu prüfen, einen Überblick über das Signalangebot der Atmosferics zu erhalten und Testmessungen an Bohrungen der GPC durchzuführen, in denen das Kristallin in 420 m, 205 m und 700 m Tiefe angetroffen wurde und resistivity logs vorhanden waren. Messgebiet im engeren Sinne war ein System Ost-West streichender Störungen, die aus Satellitenbildinterpretationen und früheren Geländeaufnahmen des hydrogeologischen Teilprojekts lokalisiert waren (Schneider, 1985). Es interessierte nun der Versatzbetrag in der Tiefenlage des Basements, welcher vor allem die Vorstellung eines Grundwasserzustroms vom Niltal in die Libysche Wüste bewerten sollte.

In der Abb. 1 ist ein Registrierbeispiel für die erdmagnetischen und die tellurischen Horizontalkomponenten  $B_x, B_y, E_x, E_y$  dargestellt. Bemerkenswert ist das gänzliche Fehlen von technischen Störsignalen, wie sie in Mitteleuropa das Bild fast jeder AMT-Aufzeichnung dominieren. Auffällig ist ein stärkeres hochfrequentes Rauschen im  $E_y$ -Kanal; es hat seine Ursache offensichtlich in einer mangelhaften Ankopplung an den Untergrund, die auch nicht durch sehr tiefes Eingraben und Befeuchten der Sonden - wie im anderen tellurischen Kanal - beseitigt werden konnte. Allgemein stellen die extrem hohen Oberflächenwiderstände im vollariden Klima ein großes Problem - auch für die Geoelektrik - dar. Liegt der Grundwasserspiegel tiefer als etwa 10 m, ergeben sich Übergangswiderstände von  $R \gg 1 \text{ M}\Omega$ . Ein weiteres Problem schafft der nur selten ruhende, starke Wind, wie er für die Wendekreiswüsten charakteristisch ist; in Verbindung mit der sehr geringen Luftfeuchte führt er zu starken elektrostatischen Aufladungseffekten. Alle Sensoren und Kabel mußten soweit als möglich vergraben werden.

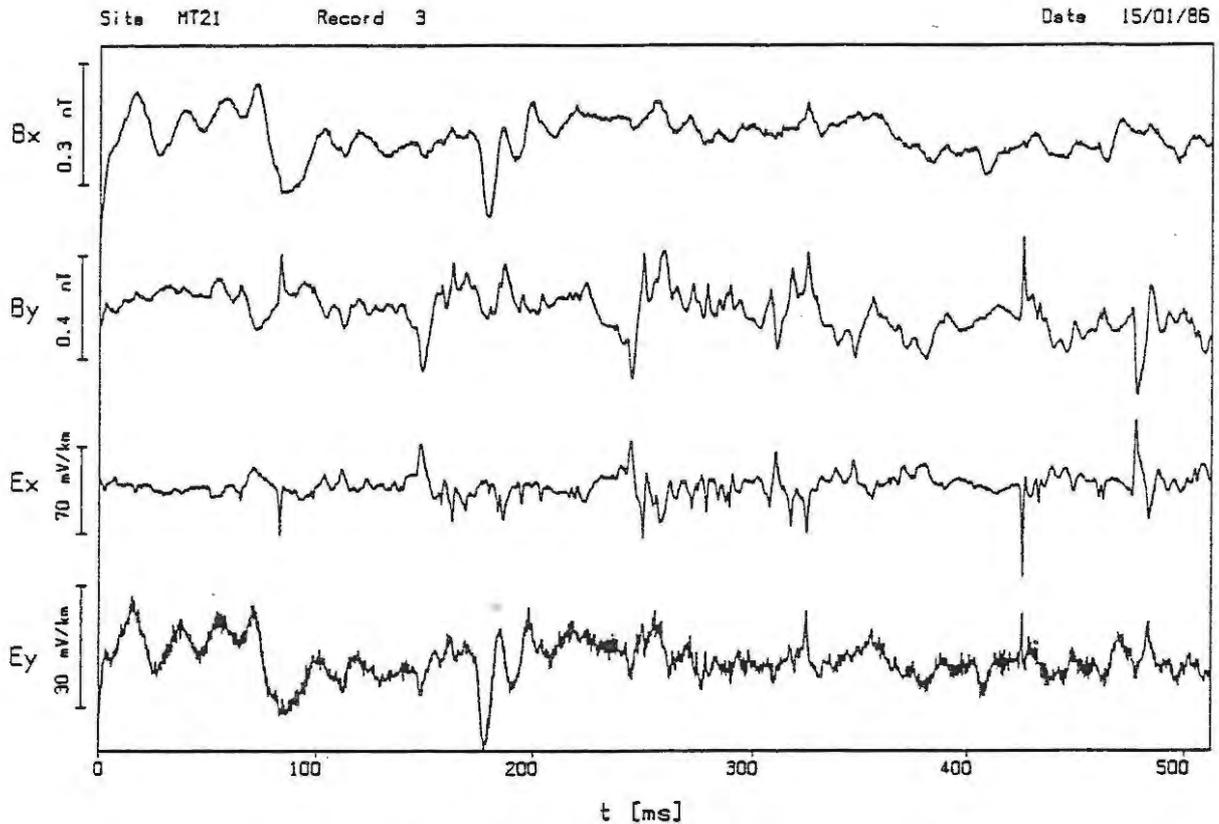


Abb.1: Beispiel einer AMT-Registrierung in der Oase Bir Tarfawi (MT21), Süd-Ägypten

In der Abb. 2 sind der scheinbare spezifische Widerstand und die Phase  $\varphi$  der Impedanz als Funktion der Periode  $T$  für den Oasenmeßpunkt Bir Tarfawi aufgetragen; dabei sind  $\rho_a$  und  $\varphi$  aus der Invarianten  $\bar{Z}$  des Impedanztensors  $\underline{Z}$  berechnet:

$$\bar{Z} = (Z_{xy} - Z_{yx}) / 2 .$$

Dargestellt ist die Phase  $\varphi = \pi/4 - \psi$ , wobei  $\psi$  die übliche in der Magnetotellurik verwendete Phase bedeutet (Fischer et al., 1981).

Die  $\rho_a(T)$ -Kurve zeigt hier einen beinahe modellhaften Verlauf, lediglich für die kürzeste Periode weicht der scheinbare spez. Widerstand stark ab. Hier erkennt man den Einfluß der schlechten Ankopplung im  $E_y$ -Kanal (vgl. Abb. 1). Die Phase

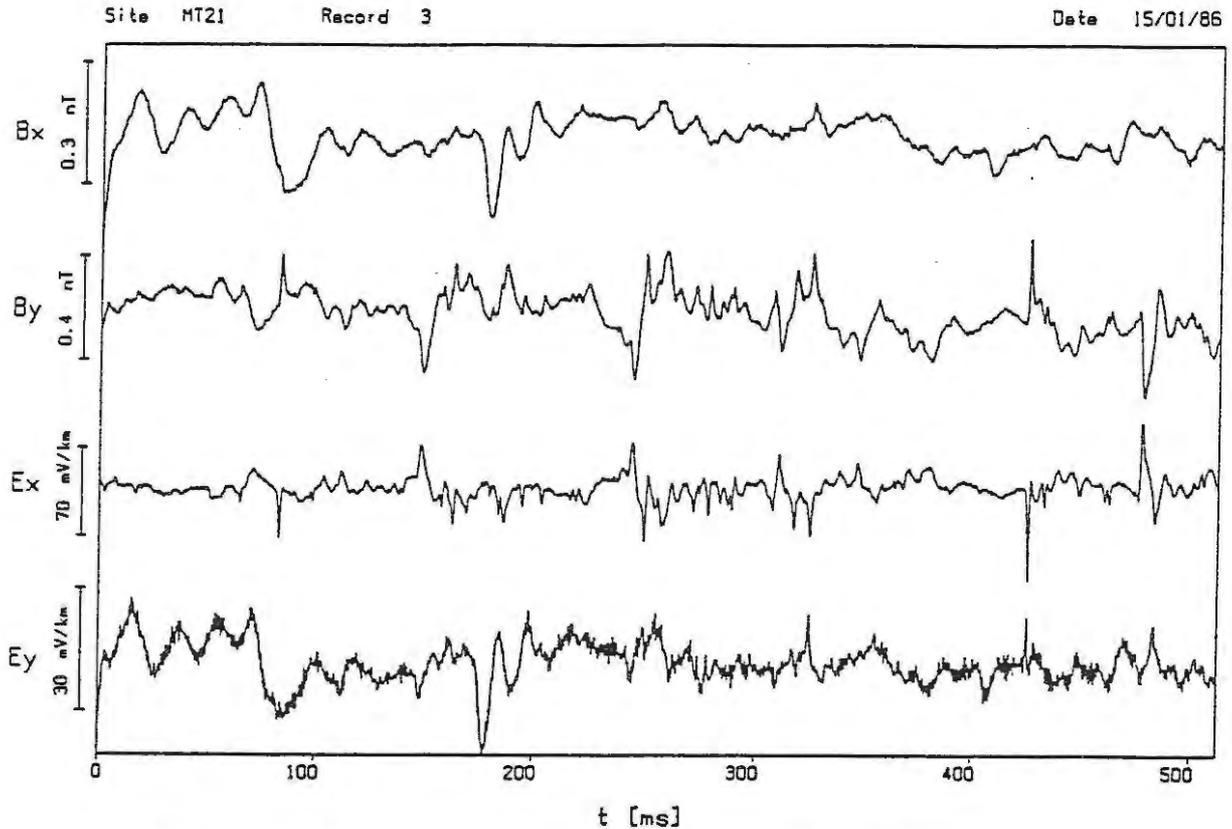


Abb.1: Beispiel einer AMT-Registrierung in der Oase Bir Tarfawi (MT21), Süd-Ägypten

In der Abb. 2 sind der scheinbare spezifische Widerstand und die Phase  $\varphi$  der Impedanz als Funktion der Periode  $T$  für den Oasenmeßpunkt Bir Tarfawi aufgetragen; dabei sind  $\rho_a$  und  $\varphi$  aus der Invarianten  $\bar{Z}$  des Impedanztensors  $\underline{Z}$  berechnet:

$$\bar{Z} = (Z_{xy} - Z_{yx}) / 2 .$$

Dargestellt ist die Phase  $\varphi = \pi/4 - \psi$ , wobei  $\psi$  die übliche in der Magnetotellurik verwendete Phase bedeutet (Fischer et al., 1981).

Die  $\rho_a(T)$ -Kurve zeigt hier einen beinahe modellhaften Verlauf, lediglich für die kürzeste Periode weicht der scheinbare spez. Widerstand stark ab. Hier erkennt man den Einfluß der schlechten Ankopplung im  $E_y$ -Kanal (vgl. Abb. 1). Die Phase

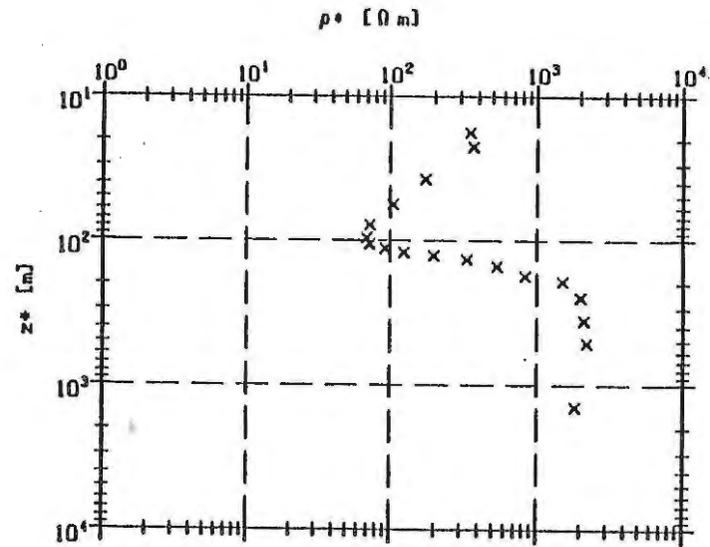
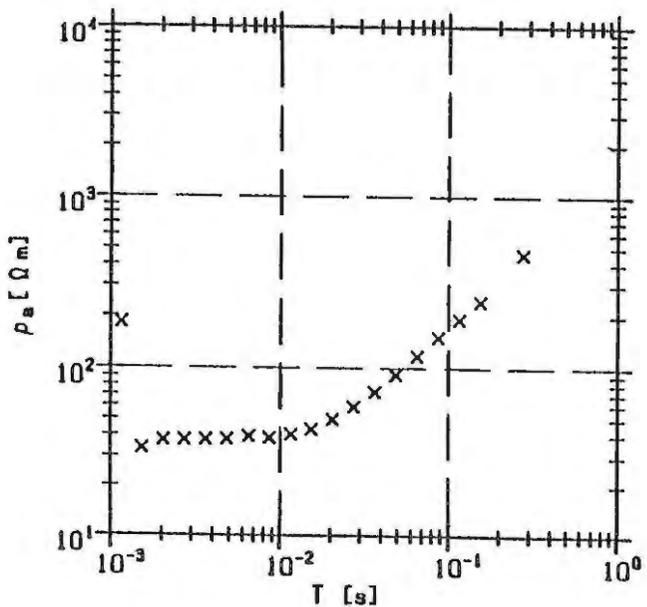
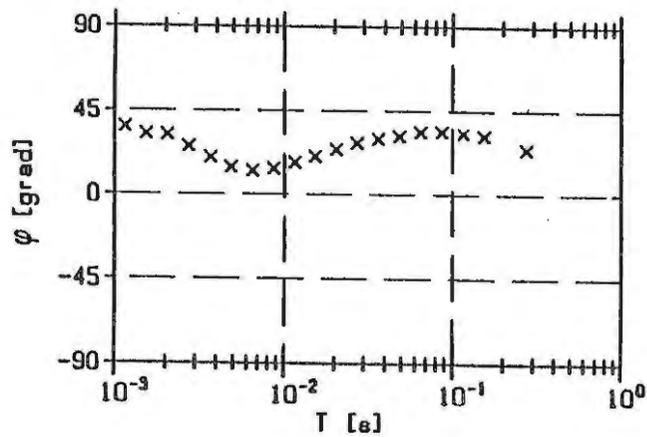


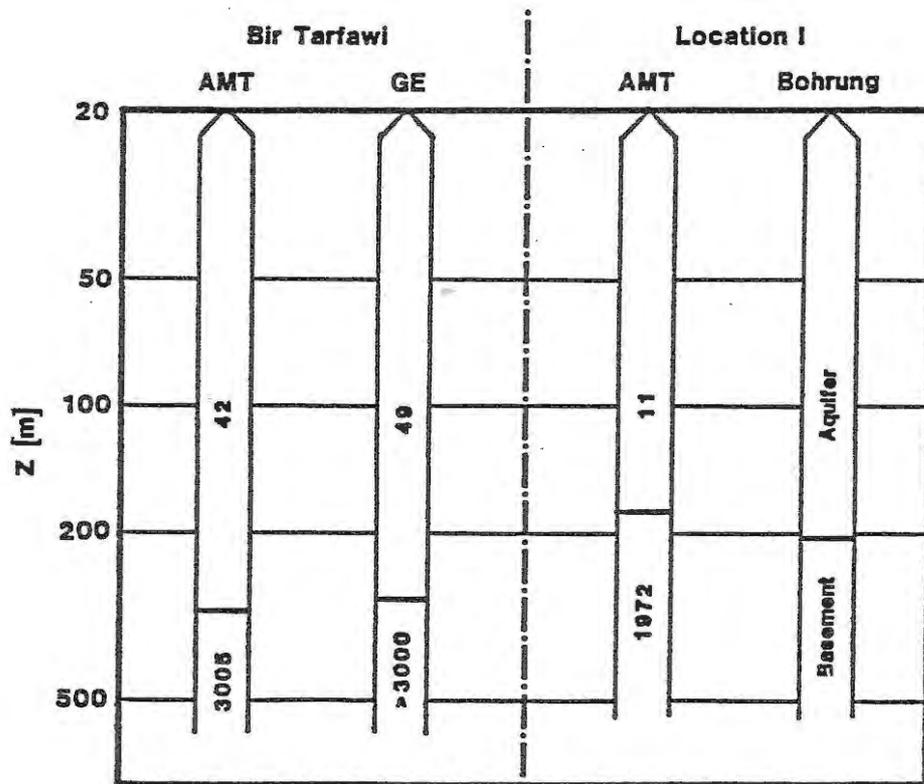
Abb.2 (links): Scheinbarer spez. Widerstand  $\rho_a$  und Phase  $\varphi$  als Funktion der Periode  $T$  für die Station Bir Tarfawi (MT21)

Abb.3 (rechts): Scheinbares Widerstands-Tiefen-Profil  $\rho^*-z^*$  für die Station Bir Tarfawi. Die kürzeste Periode ist nicht eingetragen.

Dargestellt sind jeweils die aus der Drehinvarianten  $\bar{Z}$  berechneten Größen. Der Untergrund konnte hier in guter Näherung als eindimensional betrachtet werden.

deutet auf eine hochohmige Bedeckung hin. Da die Werte für  $\varphi$  bei kurzen Perioden an fast allen Stationen zu hoch erschienen, wobei die Ursache dafür noch nicht klar ist, sollte sie in diesem Zusammenhang nicht überinterpretiert werden.

Eine erste Annäherung an die gesuchte Widerstands-Tiefen-Verteilung gibt die  $\rho^*-z^*$ -Transformation (Schmucker und Weidelt, 1975). Für die Station Bir Tarfawi (Abb. 3) erkennt man den starken Anstieg von  $\rho^*$  für  $z > 100$  m, der den Einfluß des hochohmigen Basements wiedergibt - er stellte sich als typisch für die meisten der untersuchten Gebiete dieser Meßkampagne heraus. Nach Abb. 2 ist allein die Phase verantwortlich für den Widerstandsabfall bis in Tiefen von  $z \approx 100$  m.



**Abb.4:** Vergleich von ersten 1-D Modellen der AMT mit einer Geoelektrik-Tiefensondierung (GE) in Bir Tarfawi (links) und einer Bohrung (rechts). Die Zahlen bedeuten die spez. Widerstände in  $\Omega$ m.

Schließlich wurden für einige der Meßpunkte 1-D Modelle gerechnet, und zwar zunächst nur mit der Invarianten des spezifischen Widerstandes ohne Berücksichtigung der Phase. Abb. 4 zeigt 2-Schichtmodelle, welche die beste Anpassung  $\xi$  an die Daten ergaben (Fischer and Le Quang, 1981b), einmal für die Station Bir Tarfawi und zum anderen für eine Messung neben der GPC-Bohrung Location I, welche etwa 50 km von Bir Tarfawi entfernt liegt. Sie traf das Basement in 205 m Tiefe an, für die AMT ergeben sich Tiefen von  $z \approx 180$  m. Der recht niedrige Widerstand des Aquifers erklärt sich aus dem Abpumpen des Grundwassers und Bewässerung einer mittlerweile dort angelegten Plantage, was eine leichte Versalzung des Grundwassers nach sich zog. Der ungestörte Grundwasserspiegel wurde bei Abteufen der Bohrung bei  $z = 11$  m gefunden.

In Bir Tarfawi wurde die AMT-Registrierung mit den Ergebnissen einer früheren Gleichstromgeoelektrik-Sondierung verglichen (Behrens et al., 1984). In sehr guter Übereinstimmung liefern beide Verfahren eine Basement-Tiefe von  $z \approx 300$  m. Der Grundwasserspiegel wurde von der Geoelektrik bei  $z = 4$  m ermittelt, was auch die hohe Qualität der AMT-Daten an einer solchen Oasen-Station erklärt. Die Messungen an dem Eingangs erwähnten Störungssystem sind noch nicht vollständig ausgewertet; in einem weiteren Geländeeinsatz gegen Ende 1986 soll es weiter mit den Methoden der Seismik, Geoelektrik und AMT erkundet werden.

#### Literatur

- Behrens, J., Burkhardt, H., Erbas, K., Fiedler-Volmer, R., Kalkbrenner, M., Lorenz, B. und Schulz-Ohlberg, J.: Geophysical investigations in the arid region of SW-Egypt and NW-Sudan, Berliner geow. Abh., A, 50, 441-457, 1984
- Fischer, G., Schnegg, P.-A., Peguiron, M. & Le Quang, B.V.: An analytic one-dimensional magnetotelluric inversion scheme, Geophys. J. R. astr. Soc., 67, 257-278, 1981
- Fischer, G. and Le Quang, B.V.: Topography and minimization of the standard deviation in one-dimensional magnetotelluric modelling, Geophys. J. R. astr. Soc., 67, 279-292, 1981
- Schmucker, U. and Weidelt, P.: Aarhus Lecture Notes, 1975
- Schnegg, P.-A. and Fischer, G.: On-line determination of apparent resistivity in magnetotelluric sounding, Protokoll Kolloquium ET Berlin-Lichtenrade, 173-184, 1980
- Schneider, M.: Hydrogeologie des Nubischen Aquifersystems am Südrand des Dakhla-Beckens, Südägypten/Nordsudan, Diss. TU Berlin, 1985