

U. BREYMANN, Braunschweig

"Magnetotellurische Messungen an einem kreissymmetrischen Salzstock"

Dienstag, den 12.03.1974

Dies ist ein kurzer Bericht über die magnetotellurische Vermessung eines Salzstockes. Die Messungen erfolgten im Rahmen einer Diplomarbeit und sollen theoretische Untersuchungen ergänzen, auf die Herr H. RODEMANN später eingehen wird.

Es wurde der Salzstock von Höfer (bei Celle) ausgewählt, der einen nahezu kreisförmigen Querschnitt aufweist und aufgrund anderer geophysikalischer Untersuchungen (Seismik, Gravimetrie) ziemlich gut bekannt ist. Derartige Ergebnisse blieben bisher aber unberücksichtigt, da die magnetotellurischen Messungen möglichst unvoreingenommen gedeutet werden sollen.

Besonderes Interesse gilt der Lokalisierung der Flanken des Salzstocks. Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, wurden die Registrierungen an 11 Punkten auf einen unter  $0\ 14^{\circ}\text{N}$  verlaufenden Profil vorgenommen. Da die Messungen von Punkt 7 bis 11 erst kurz vor Beginn des Kolloquiums beendet wurden, kann an dieser Stelle nur über eine erste Auswertung der Stationen 1 bis 6 berichtet werden.

In Fig. 1 gibt die annähernd kreisförmige Linie die Projektion des Salzstockes auf die Erdoberfläche wieder, wie sie uns von der Bundesanstalt für Bodenforschung mitgeteilt wurde. Das Profil wurde so gelegt, daß es einerseits möglichst symmetrisch zur vermuteten Form des Salzstocks lag und andererseits die elektrischen Störungen, verursacht durch Fabriken, Haushalte usw., möglichst klein blieben. Gemessen wurden jeweils die senkrecht und parallel zum Profil verlaufenden elektromagnetischen Horizontalkomponenten:

$$H_{\parallel} , H_{\perp} , E_{\parallel} , E_{\perp} .$$

Das Magnetfeld  $H$  wurde mit zwei Spulen und das elektrische Feld  $E$  mit 4  $\text{Cu-CuSO}_4$ -Sonden gemessen. Eine genauere Beschreibung

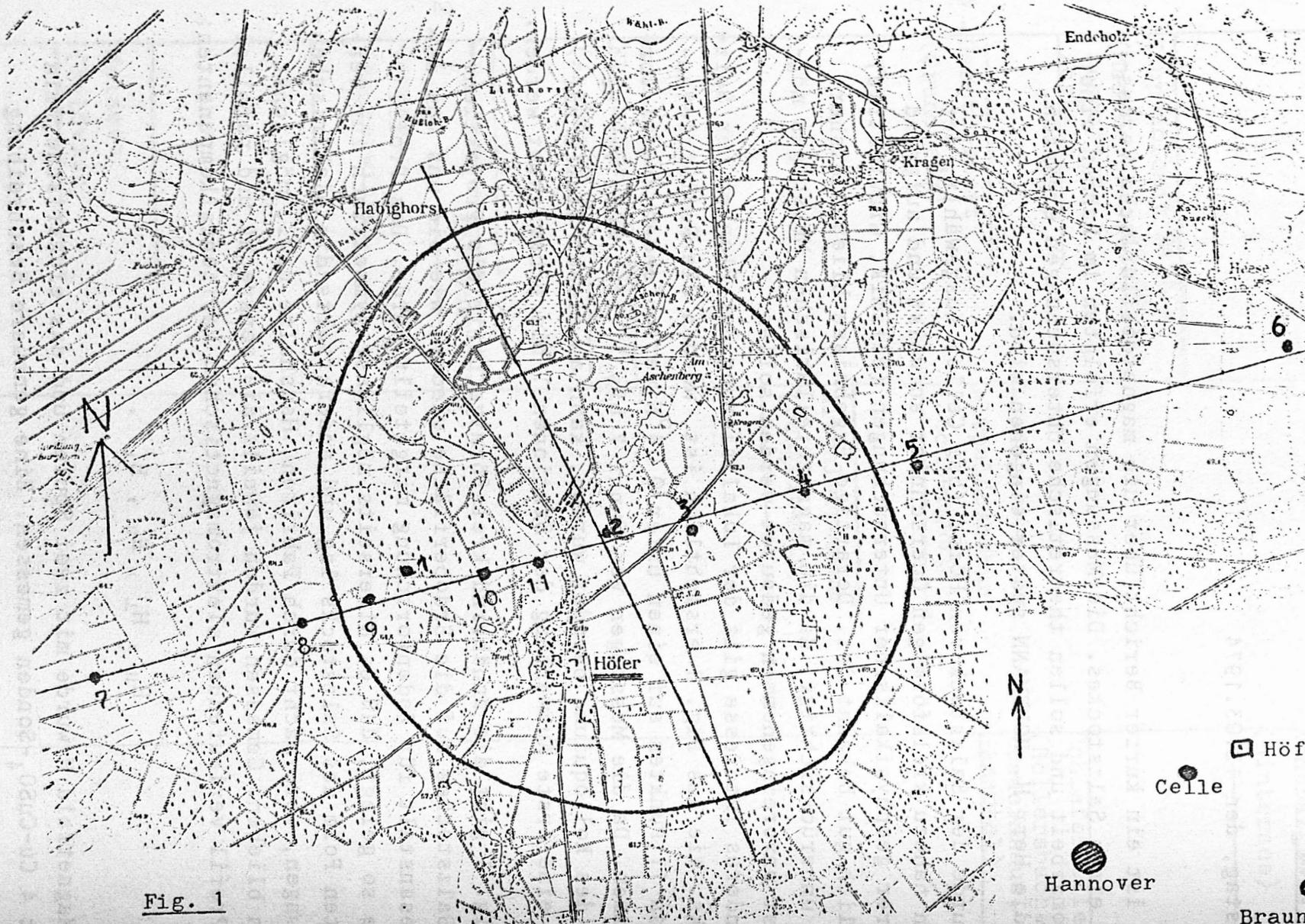


Fig. 1  
( 1:40.000 )

der Meßeinrichtung bringt Herr V. WAGENITZ im nächsten Vortrag. Die Meßdauer betrug insgesamt ca. 11 Wochen, das ist 1 Woche/Meßpunkt. Die Messungen wurden immer in zwei unabhängigen Periodenbereichen durchgeführt, und zwar im Bereich 1-160s und im Bereich 9-1100s, in den Zeichnungen dargestellt durch  $\Theta$  bzw.  $\Delta$ .

Aus den gemessenen Komponenten läßt sich nach bestimmten Verfahren ein komplexer, frequenzabhängiger Impedanztensor  $Z$  bestimmen:

$$E_{\parallel} = Z_{11} H_{\parallel} + Z_{12} H_{\perp}$$

$$E_{\perp} = Z_{21} H_{\parallel} + Z_{22} H_{\perp} \quad .$$

Für diesen Impedanztensor kann man jetzt eine Hauptachsentransformation durchführen. Falls eine Vorzugsrichtung der Leitfähigkeit vorhanden ist, ergibt sich als Folge der Hauptachsentransformation ein periodenabhängiger Drehwinkel, für den die Hauptdiagonalelemente zum Minimum und die Nebendiagonalelemente zum Maximum werden.

In der Fig. 3, die sich als Beispiel auf Meßpunkt 4 bezieht, ist ein Beispiel für den Verlauf eines Drehwinkels wiedergegeben. Abgesehen von den kurzperiodischen Werten ergibt sich ein ziemlich konstanter Verlauf bei etwa  $-20^{\circ}$ . Die über alle Stationen gemittelten Drehwinkel liegen bei ungefähr  $-10^{\circ}$ . Hieraus folgt die in Fig. 1 durch die Linie unter  $N 24^{\circ}W$  verlaufende Vorzugsrichtung. Durch sie wird der Salzstock recht gut in zwei symmetrische Hälften geteilt.

Aus den gedrehten Tensorkomponenten  $Z'_{11}$ ,  $Z'_{12}$ ,  $Z'_{21}$ ,  $Z'_{22}$  wurde noch der Anisotropiekoeffizient  $\chi$  bestimmt:

$$\chi = \frac{Z'_{11} + Z'_{22}}{Z'_{12} - Z'_{21}}$$

Dieser sollte klein sein (etwa kleiner als 0,3) bei ein- und zweidimensionalen Leitfähigkeitsstrukturen. Wie die Fig. 3 zeigt,

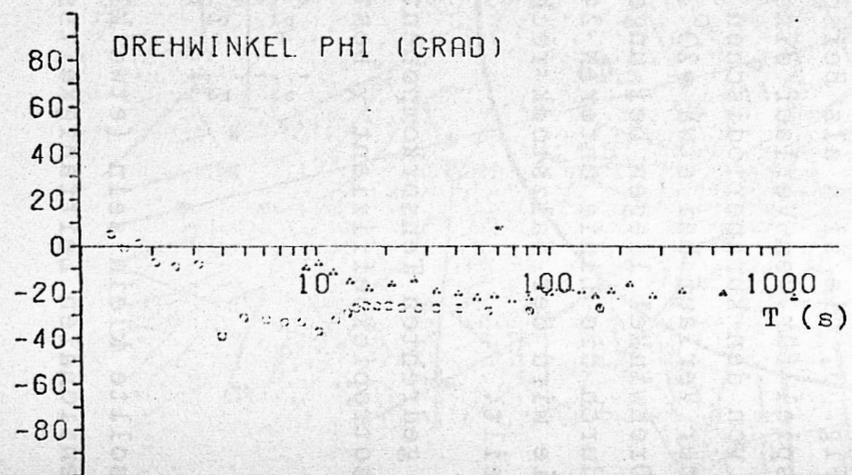
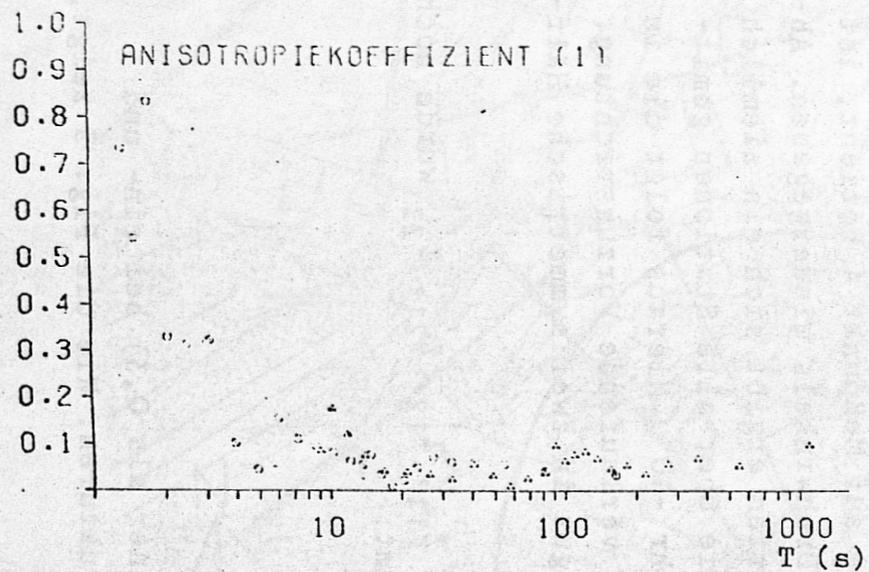


Fig. 3

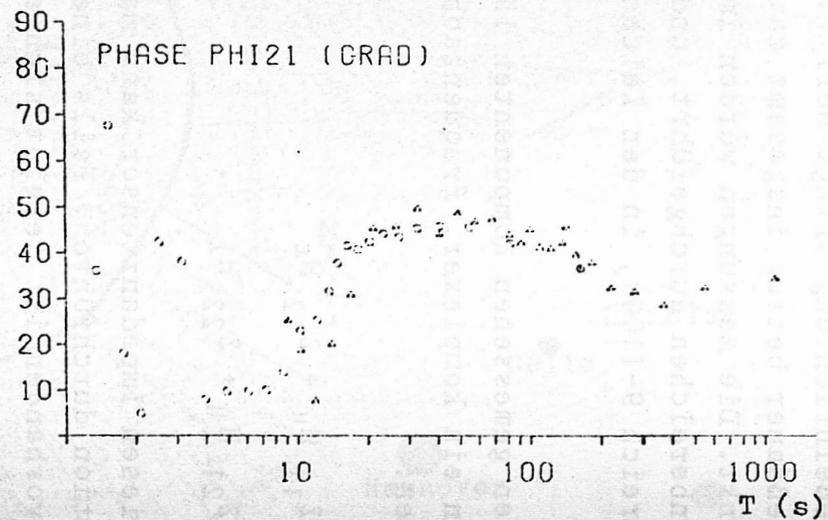
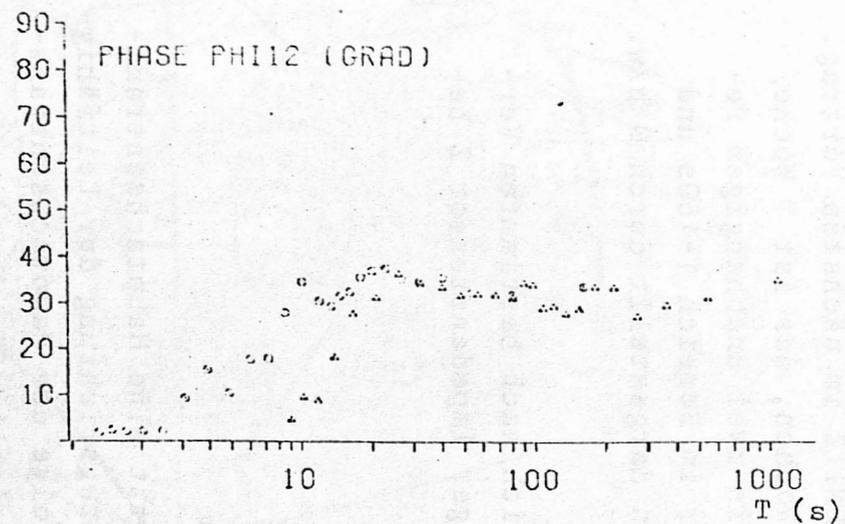


Fig. 4 (  $\text{PHI}_{12} = \text{PHI}_{\parallel}$  ;  $\text{PHI}_{21} = \text{PHI}_{\perp}$  )

trifft dies für Punkt 4 auch zu. Die großen  $\chi$ -Werte bei den kurzen Perioden sind vermutlich auf künstliche Störungen in den E-Feld Registrierungen zurückzuführen.

Aus den gedrehten Tensorkomponenten wurden dann noch scheinbare Widerstände und Phasenfunktionen berechnet. In Anlehnung an 2-dimensionale Leitfähigkeitsverteilungen bekommt man:

$$\text{RHO}_{S\parallel} = \rho_{EP} = 0,2 \cdot T \cdot |Z'_{12}|^2$$

für den Fall der E-Polarisation, wobei die E-Komponente parallel und die H-Komponente senkrecht zur Vorzugsrichtung (i.a. senkrecht zur Richtung des Profils) betrachtet werden.

Entsprechend bekommt man für den Fall der H-Polarisation:

$$\text{RHO}_{S\perp} = \rho_{HP} = 0,2 \cdot T \cdot |Z'_{21}|^2 .$$

Ein Vergleich von  $\text{RHO}_{S\parallel}$  und  $\text{RHO}_{S\perp}$  anhand der Fig. 5 und 6 ergibt einen Unterschied von etwa einem Faktor 5. Diese Tatsache, das Vorhandensein einer klaren Vorzugsrichtung und kleine Werte des Anisotropiekoeffizienten bedeuten, daß Punkt 4 im Bereich einer im wesentlichen 2-dimensionalen Leitfähigkeitsverteilung liegt. Die Phasenfunktionen werden berechnet nach:

$$\text{PHI}_{\parallel} = \arctan Z'_{12} \quad (\text{E-Polarisation})$$

$$\text{PHI}_{\perp} = \arctan Z'_{21} \quad (\text{H-Polarisation})$$

Ein Beispiel für Station 4 ist in Fig. 4 dargestellt. Sämtliche Rechnungen wurden nach einem Programm von Herrn I. SCHEELKE durchgeführt.

Die Anpassung der beiden Frequenzbänder in den Zeichnungen ist i.a. recht gut. An den Enden treten manchmal Abweichungen auf, die vermutlich auf das Auswerteverfahren zurückzuführen sind. Hier sind noch genauere Untersuchungen notwendig.

In der geschilderten Weise wurden die Messungen für alle sechs Stationen ausgewertet.

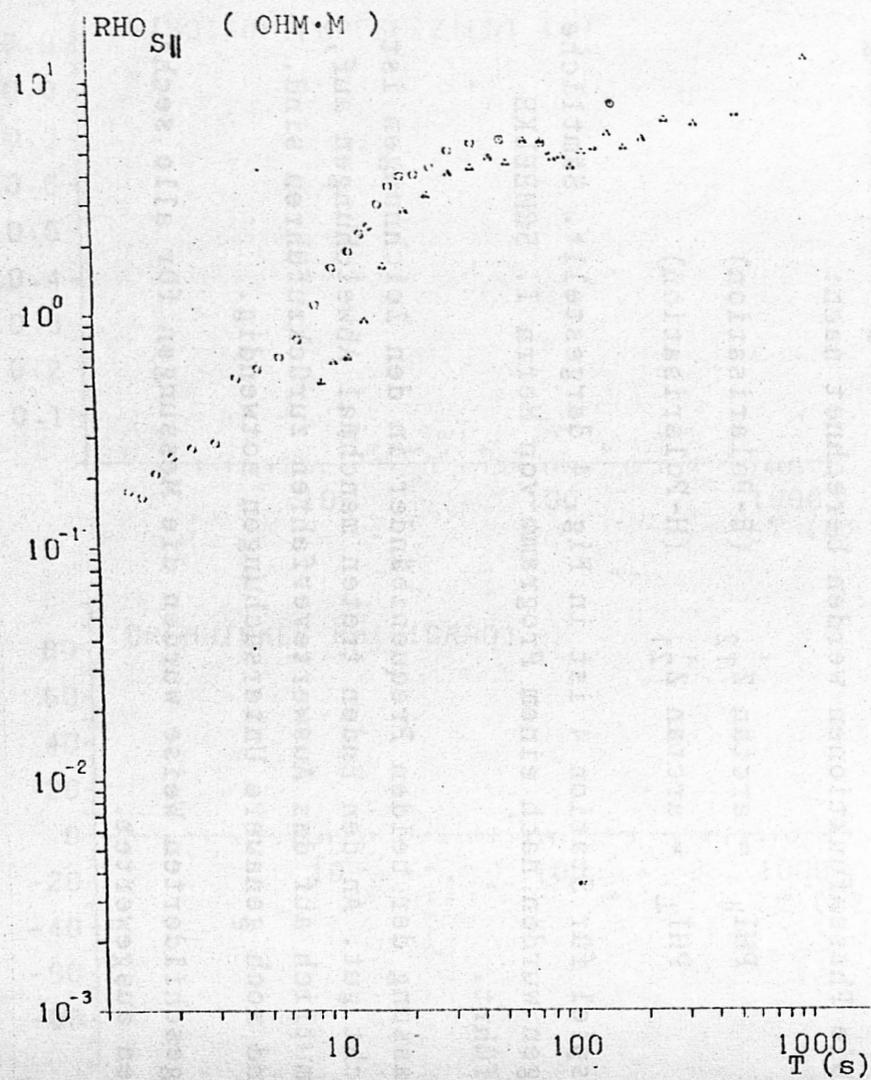


Fig. 5

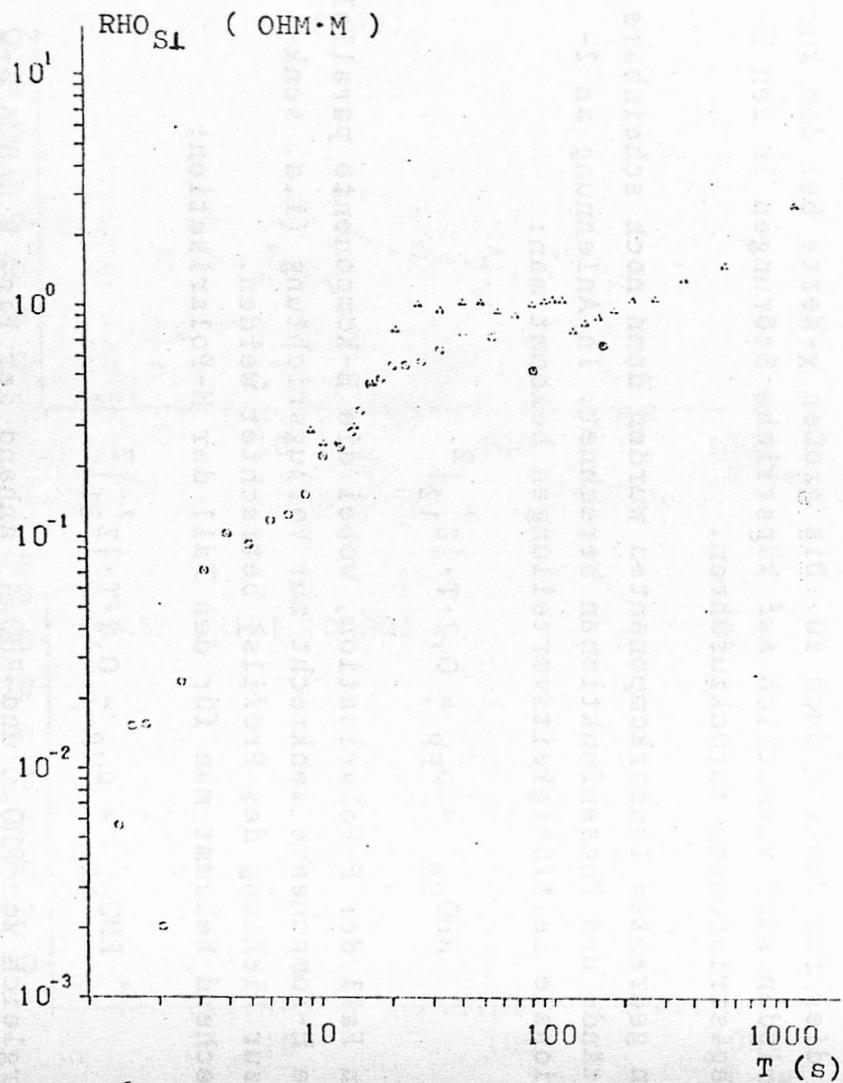


Fig. 6

Um einen ersten Überblick zu bekommen, wurden die Linien gleichen scheinbaren Widerstandes (Isolinien) über dem Profil aufgetragen. Dazu eine Vorbemerkung: Bei einem zweidimensionalen Leitfähigkeitssprung verläuft  $\text{RHO}_{S\parallel}$  stetig (E-Polarisation),  $\text{RHO}_{S\perp}$  (H-Polarisation) jedoch erleidet einen Sprung. In Fig. 2

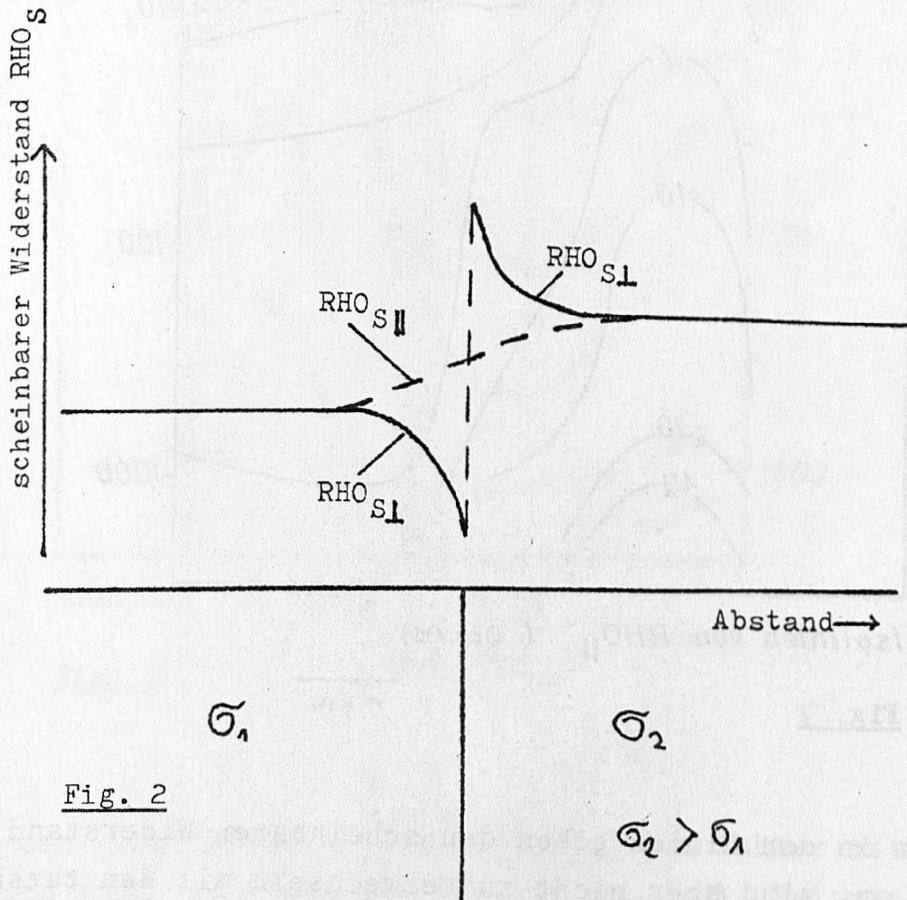
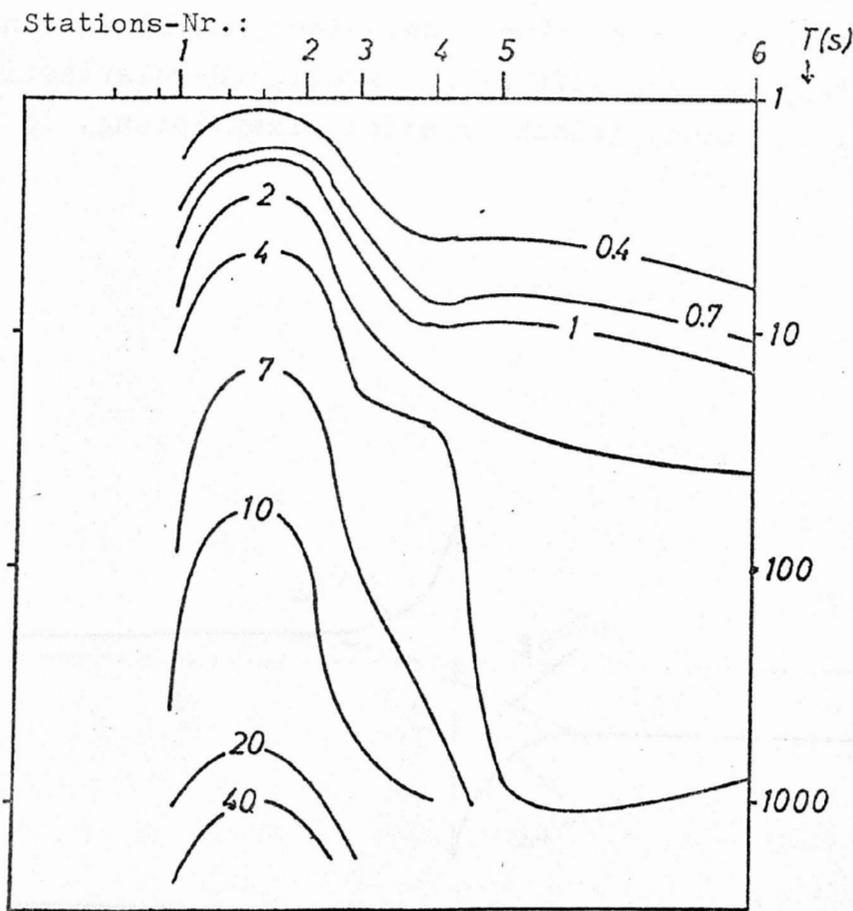


Fig. 2

ist über zwei Viertelräumen mit verschiedenen Leitfähigkeiten  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$   $\text{RHO}_{S\parallel}$  und  $\text{RHO}_{S\perp}$  aufgetragen. Man kann also auch in den Isolinienbildern erwarten, daß die Isolinien für  $\text{RHO}_{S\perp}$  die Flanken des Salzstockes schärfer wiedergeben.

Fig. 7 zeigt die Isolinien von  $\text{RHO}_{S\parallel}$  aufgetragen gegen die Periode T in Sekunden.



Isolinien von  $RHO_{II}$  ( Ohm·m)

Fig. 7

1 km

Die Zahlen in den Linien geben den scheinbaren Widerstand in Ohmmetern an, sind aber nicht zu verwechseln mit den tatsächlichen Widerständen im Untergrund. Der scheinbare Widerstand nähert sich nur bei ausgedehnten 2-dimensionalen Strukturen dem tatsächlichen Widerstand an. Hier handelt es sich jedoch um eine dreidimensionale Struktur, wenn auch an den Flanken zweidimensionale Effekte auftreten. In Fig. 7 zeichnet sich der Salzstock ab, der Verlauf der Linien ist jedoch noch unvollständig, da nur die Stationen 1 bis 6 zu ihnen beigetragen haben.

Weit deutlicher ist, wie erwartet, der Meßeffect bei den Isolinien von  $RHO_{S\perp}$  in Fig. 8. Die Diskontinuität an den Flanken des Salzstockes zeichnet sich scharf ab. Der Verlauf der Linien

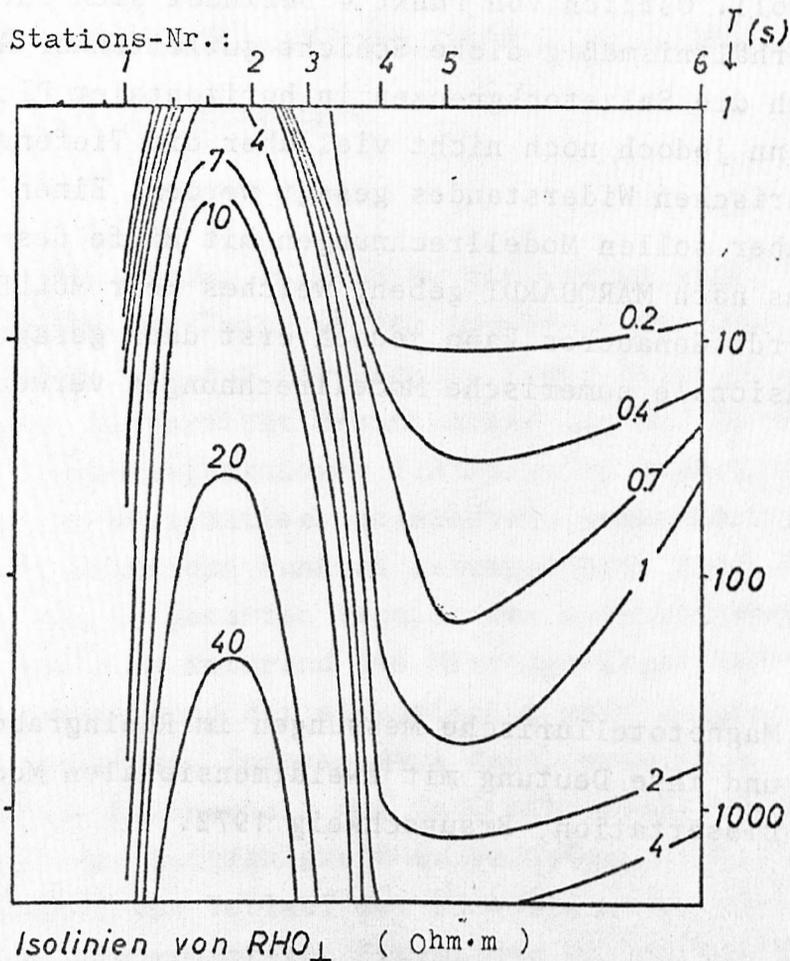


Fig. 8

zwischen den Meßpunkten ist interpoliert, der Fehler ist jedoch nicht allzu groß, weil aus den  $RHO_S$ -Kurven (vgl. Beispiel in Fig. 5 und 6) nicht nur die  $(RHO_S, T)$  Wertepaare sondern auch die Steigung der Isolinien entnommen werden kann. Sehr steile Isolinien entsprechen einem sehr flachen Verlauf der  $RHO_S$ -Kurve.

In Anlehnung an Vorstellungen bei zweidimensionalen Verteilungen lassen sich Fig. 7 und 8 wie folgt interpretieren: Der Salzstock von Höfer hat in seinem mittleren Bereich auf einer Länge von etwa 1,7 km eine nur geringe Sedimentmächtigkeit. Während in diesem Gebiet die Oberkante ziemlich flach verläuft, fällt sie an beiden Seiten zum äußeren Rand ab. Der Abfall dürfte auf der Ostflanke flacher sein als auf der Westflanke, die durch die Aus-

wertung der vor kurzem vorgenommenen Messungen genauer lokalisiert werden soll. Östlich von Punkt 4 befindet sich unter dem Profil eine verhältnismäßig dicke Schicht gutleitender Sedimente. Obwohl sich die Salzstockgrenzen in horizontaler Richtung abzeichnen, kann jedoch noch nicht viel über die Tiefenverteilung des elektrischen Widerstandes gesagt werden. Einen ersten Überblick darüber sollen Modellrechnungen mit Hilfe des Näherungsverfahrens nach MARQUARDT geben, welches Herr MÜLLER noch beschreiben wird. Genaueres kann jedoch erst dann gesagt werden, wenn dreidimensionale numerische Modellrechnungen verwendet werden.

### Literatur

SCHEELKE, I.: Magnetotellurische Messungen im Rheingraben und ihre Deutung mit zweidimensionalen Modellen, Dissertation, Braunschweig 1972.