

T. Radić

Konzept und Erprobung einer  $\mu P$  gesteuerten IP - Apparatur

Die Frage nach der Polarisierbarkeit eines Gesteins ist gleichbedeutend mit der nach dessen komplexem spezifischen Widerstand im Frequenzbereich. 11 Frequenzen genügen dabei, das nicht sehr detailreiche Widerstandsspektrum zwischen 0.1 und 10 Hz zu erfassen. Mit der Wahl des Frequenzbereichsverfahrens ist es möglich, die gesamte Sendeenergie nacheinander auf jede Frequenz zu konzentrieren.

Für eine 4 - Pol - Sondenanordnung und dem nebenstehenden Meßprinzip ist eine

$\rho_s(f)$  - Bestimmung möglich:

$$\rho_s(f) = K \cdot R^* \cdot U_U(f) / U_I(f)$$

K : Geometriefaktor

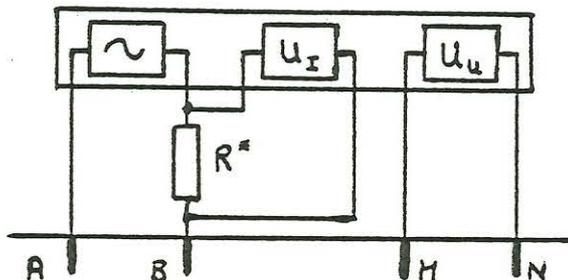


Abb.1

Um den IP - Effekt gut erfassen zu können, müssen Phasendifferenzen zwischen  $U(f)$  und  $I(f)$  von  $\sim 0.1^\circ$  und Änderungen des Betrages von  $\rho_s(f)$  von  $< 0.5\%$  aufgelöst werden.

Die bisherigen rein analogen IP - Meßgeräte können diesen Anforderungen aus verschiedenen Gründen kaum gerecht werden. Durch Verwendung von Analog/Digital - Wandlern in Verbindung mit einem Microcomputer ist es möglich, die Probleme teilweise zu umgehen, oder sie zumindest in numerische zu transformieren, wie die der Noiseverminderung.

Die Signalform  $i(t_i)$  ist in einer Wertetabelle (eine Periode mit 256 Werten je 8-Bit) enthalten. Werden die Tabellenwerte nacheinander und wiederholt in gleichen Abständen  $\Delta t$  über einen A/D - Wandler ausgegeben und nach Bedarf verstärkt, so entsteht ein kontinuierliches monofrequentes Signal. Die Frequenz ist dabei nur von  $\Delta t$  abhängig.

Zeitgleich wird mit zwei identischen A/D - Wandlern  $U_U(t)$  und  $U_I(t)$  digitalisiert. Die komplexen Frequenzgangunterschiede beider Wandler werden vom Programm korrigiert.

Somit ist auch keine absolute Eichung der A/D - Wandler nötig, da nur das Spannungsverhältnis  $U_U(f)/U_I(f)$  von Interesse ist.

Der von den Alias - Filtern nicht restlos beseitigte 50 Hz Noise wird numerisch und realtime herausgefiltert:

$$U(t) = U(t)_{50\text{Hz}} + U(t+T/2)_{50\text{Hz}} \quad T: \text{Periode des 50 Hz Noise}$$

Die bereinigten Zeitreihen können dann mit einer Methode nach Kertz (Haak, 1968) ausgewertet werden. Für zwei gleichfrequente Zeitreihen liefert diese Methode im Endergebnis den Betrag von  $U_U/U_I$  und die Phasendifferenz. Die Ergebnisse werden anschließend ausgedruckt.

Die Verstärkung ist digital regelbar und wird vom  $\mu\text{P}$  automatisch bestimmt. Gleiches gilt für die Beseitigung des Gleichspannungsanteils, der das Nutzsignal überlagert.

Der gesamte Meßvorgang kann auf einem Oszillographen (X-Y-Darstellung) mitverfolgt werden, was eine Fehlererkennung erheblich erleichtert. Dazu werden die digitalisierten und gefilterten Meßwerte wieder in analoge zurückverwandelt.

#### Ergebnisse:

Zur Erprobung wurden eine Reihe von künstlichen und natürlichen Proben in einem sandgefüllten Trog untersucht. Der spezifische Widerstand des feuchten Sandes lag bei  $\sim 200 \Omega\text{m}$ . Es wurden kleine, nicht polarisierbare  $\text{CuSO}_4$ -Sonden verwendet. Abb.2 zeigt ein typisches Profil über einem handstückgroßen, mit seiner Oberseite 3 cm tiefen, Pyrit. Gut erfaßt wird auch der geometrisch bedingte negative IP- Effekt, hier durch die geringe laterale Erstreckung des Störkörpers verursacht.

Bei graphitischen Proben konnte eine starke Abhängigkeit des Widerstandsspektrums vom Graphitgehalt nachgewiesen werden. Dabei wandert das im Phasenspektrum auftretende Maximum mit steigendem Graphitgehalt von hohen Frequenzen zu niedrigeren. Ähnliches gilt auch für sulfidische Vererzungen (Abb.3 und 4). Hierbei scheinen Struktur und Textur des Gesteins eine bedeutendere Rolle zu spielen als das Material selbst.

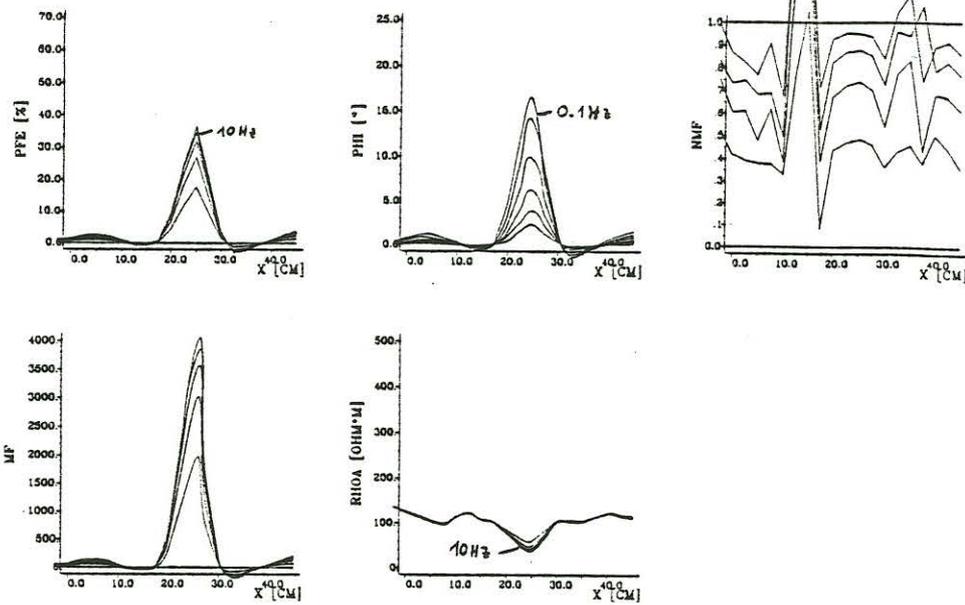


Abb. 2 Profil über einen Pyrit (im Trog)

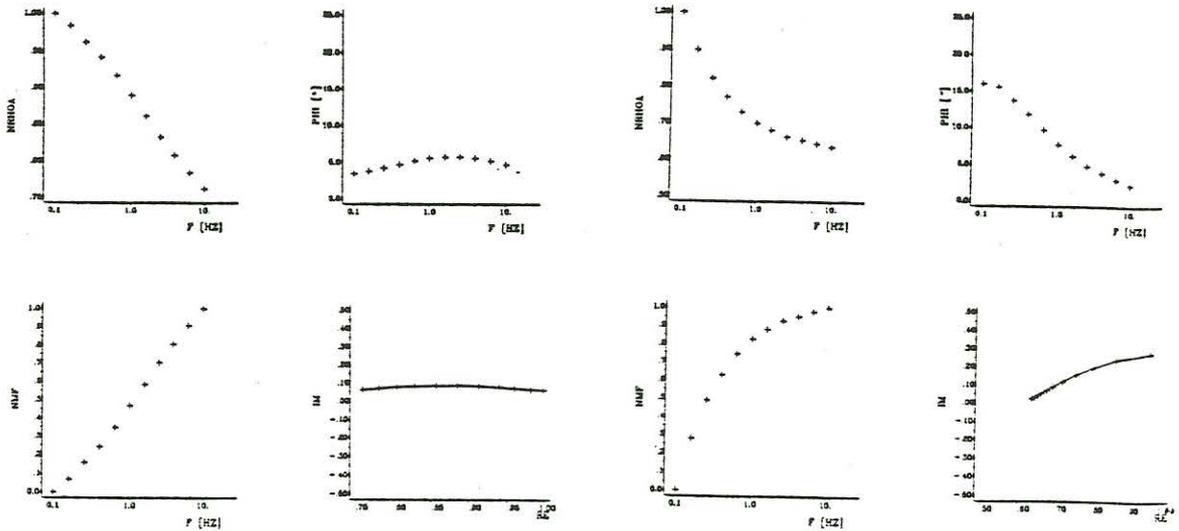


Abb. 3.5.3 Inv.No. 1476, Pyrit und Magnetkies,  
Kaveltroa Strassa (Schweden), Dichte:  $1.5 \text{ gcm}^{-3}$   
Masse: 1.11 kg, Maße: 12 / 9 / 5.5 cm, Messung:  
quer

Abb. 3.5.21 Inv.No. - , großer Pyrit

Abb. 3/4 Spektren von zwei Pyriten: links geringe, rechts höhere Dichte

Graphit und massives Sulfid können daher nur dann unterschieden werden, wenn Gesetzmäßigkeiten gefunden werden können, die die Vielfalt der möglichen Erscheinungsformen einer Lagerstätte nachhaltig einschränken.

Zwischen der Phasenverschiebung  $\bar{\varphi}$ , gemittelt über alle Frequenzen, und dem Frequenzeffekt besteht ein linearer Zusammenhang:

$\bar{\varphi}$		FE	
1°	≅	4%	Trog
1°	≅	5%	Gelände

Die größten bisher gemessenen Phasenverschiebungen und Frequenzeffekte sind:

$\bar{\varphi}$		FE	
12°	≅	48%	Trog
5°	≅	25%	Gelände (bisher wenige Messungen)

Abb. 5 gibt die Ergebnisse der Messungen an einem anisotropen Erz wieder. Dabei wurde die Sonden-Elektroden-Konfiguration aus einer Lage parallel zur optisch sichtbaren Regelung jeweils um 15° gedreht und  $\varrho_s(f, \varphi)$  bestimmt. Es zeigte sich, daß die Anisotropie des IP - Effekts 10-fach größer ist als die von  $\varrho_s$ . Das Spektrum ändert zudem seinen Charakter.

Die bisherigen Geländemessungen bestätigen die Modellmessungen gut. So konnten auch hier die Materialabhängigkeit in den Spektren entlang von Profilen und die typischen Nebenminima bei Vererzungen mit geringer lateraler Erstreckung nachgewiesen werden. Auffälligster Unterschied zu den Modellmessungen ist, daß die im Gelände gewonnenen Spektren deutlich sanftere Kurvenverläufe aufweisen, was durch die bei großen Auslagen auftretende Überlagerung verschiedener Gesteinspektren verursacht wird.

Zur Auswertung der Spektren wurde eine Kurvenanpassung mit der Warburg - Gleichung (Pelton, 1978) vorgenommen, aus der 4 Parameter gewonnen werden können:

$$\varrho(f) = \varrho_0 \cdot (1 - m(1 - 1/(1 + (i \cdot f \cdot \tau)^c)))$$

$\rho_0$  : spezifischer Widerstand für  $f = 0$  Hz

$m$  : Chargeability

$\tau$  : } Materialeigenschaften  
 $c$  : }

Die Gleichung erwies sich als gut geeignet, die bisher beobachtete Vielfalt der Kurvenformen anzupassen.

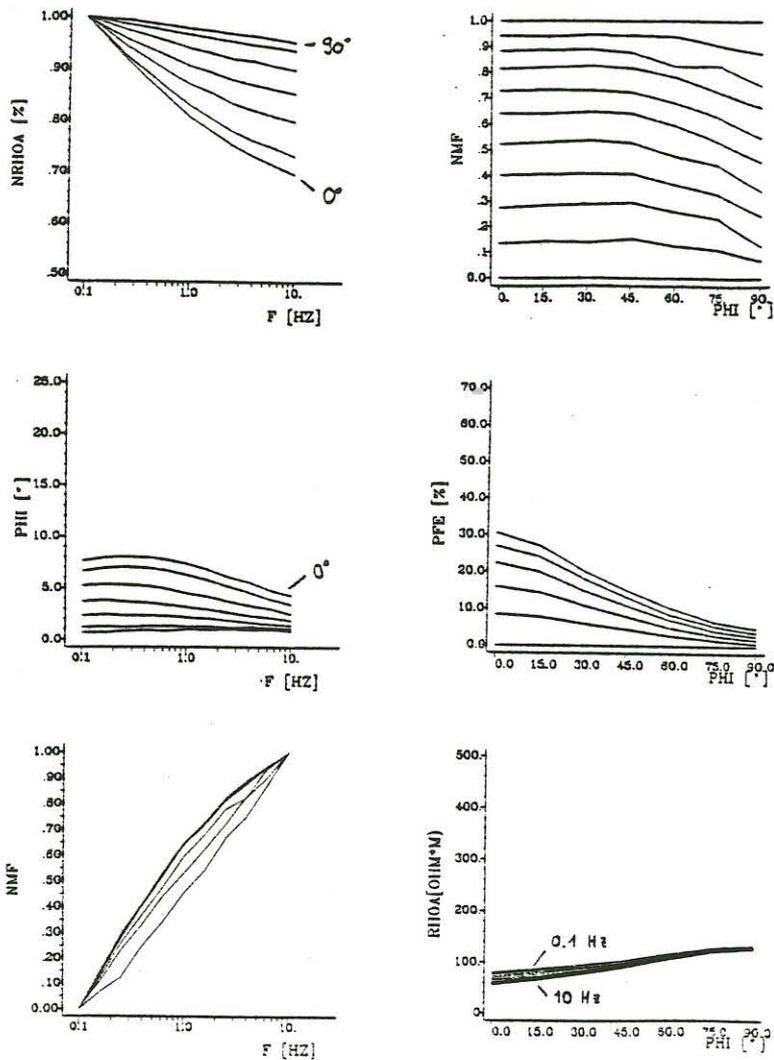


Abb. 5 Der komplexe Widerstand  $\rho_s(f)$  - bestimmt mit einer um verschiedene Winkel zur optisch sichtbaren Regelung der Probe gedrehten Wenneranordnung.

links : Spektren von Betrag und Phase bei verschiedenen Drehwinkeln (durchgezogene Linien).

rechts: PFE und  $\rho_s$  als Funktion des Drehwinkels bei verschiedenen Frequenzen.

Nachbemerkung zu den Abbildungen:

"Prozentualer Frequenzeffekt"

$$\text{PFE} = 100 \cdot (\varrho_s(0.1 \text{ Hz}) - \varrho_s(10 \text{ Hz})) / \varrho_s(0.1 \text{ Hz})$$

Die Widerstandsabnahme zwischen der niedrigsten und der höchsten verwendeten Frequenz ist ein Maß für die Stärke des IP - Effekts. Wird statt der höchsten Frequenz eine niedrigere verwendet, so läßt sich die Abhängigkeit des Frequenzeffekts von der Frequenz untersuchen.

"Metallfaktor"

$$\text{MF} = 2 \cdot \pi \cdot 10^3 \text{ PFE} / \varrho_s(0.1 \text{ Hz})$$

Der MF dient der Unterscheidung gutleitender (z.B. vererzter) und schlechtleitender Materialien mit gleichem FE.

$$\text{NMF} = (\varrho_s(0.1 \text{ Hz}) - \varrho_s(f)) / (\varrho_s(0.1 \text{ Hz}) - \varrho_s(10 \text{ Hz}))$$

Die Normierung von  $\varrho_s(f)$  auf das Intervall (0,1) ermöglicht es, das Spektrum eines polarisierbaren Materials unabhängig vom Abstand Probe - Sondenordnung zu untersuchen.

Literatur

- Bertin, J.            Experimental and Theoretical Aspects of Induced  
Loeb, J.             Polarisation, Vol.1, Gebr. Bornträger, Berlin,  
                         Stuttgart, 1976.
- Haak, V.             Beschreibung und Anwendung von Verfahren zur  
                         Auswertung von Registrierungen des induzierten  
                         erdelektrischen Feldes längs eines Profils durch  
                         die West-Hälfte des Oberrhein-Grabens (Dipl.  
                         Arbeit), München, 1968.
- Pelton, W.H.        Mineral Discrimination and Removal of Induced  
                         Coupling with Multifrequency IP, Geophysics,  
                         43, 588-609, 1978.
- Radić, T.            Bau und Programmierung eines mikrocomputerge-  
                         steuerten digitalen Meßgeräts zur Bestimmung

des komplexen Gesteinswiderstandes durch induzierte Polarisation und dessen Erprobung im sandgefüllten Trog, Diplomarbeit FU - Berlin, 1984.

- Seidel, U.            Entwicklung und Erprobung einer mikroprozessor-gesteuerten Meßapparatur zur Untersuchung der Induzierten Polarisation im Frequenzbereich sowie vergleichende Geländemessungen, Diplomarbeit FU - Berlin, 1984.
- Sumner, J.S.        Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration, Elsevier Scientific Publishing Company, Oxford, 1976.
- Wait, J.R.           Complex Conductivity of Disseminated Spheroidal Ore Grains, Gerlands Beiträge zur Geophysik, 92, 49-69, Leipzig, 1983.
- Wong, J.            An Electrochemical Model of the Induced-Polarization Phenomenon in Disseminated Sulfid Ores, Geophysics, 44, 1245-1265, 1979.
- Wong, J.,  
Strangway, D.W.    Induced Polarization in Disseminated Sulfide Ores Containing Elongated Mineralization, Geophysics, 46, 1258-1268, 1981.
- Zonge, K.L.,  
Wynn, J.C.         Recent Advances and Applications in Complex Resistivity Measurements, Geophysics, 40, 851-864, 1975.