

S. Greinwald, Hannover

"Puls-Elektromagnetik - Berechnung von Diagrammen zur quantitativen Interpretation einfacher Untergrund-Modelle"

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe besitzt seit ca. einem Jahr das Puls-Elektromagnetik-Gerät (=PEM) der Firma Crone Geophysics, Toronto. Dieses Gerät, das ca. 50 m Erkundungstiefe ermöglicht, hat sich im praktischen Explorationseinsatz sehr gut bewährt.

Pulsverfahren weisen gegenüber Verfahren mit kontinuierlicher sinusförmiger Anregung vor allem meßtechnische Vorteile auf. Diese rühren aus der Tatsache her, daß nicht wie bei Verfahren mit kontinuierlicher Anregung das relativ schwache Sekundärfeld des Untergrundes in Anwesenheit des starken Primärfeldes der Sendespule gemessen werden muß, sondern daß das Sekundärfeld zu einem Zeitpunkt erfaßt wird, in dem das Primärfeld abgeschaltet ist.

Folgende Vorteile lassen sich aus dieser Tatsache direkt folgern:

- a) der Dynamikumfang des Meßgerätes kann relativ klein sein.
- b) Ungenauigkeiten im Abstand zwischen Sende- und Empfangsspule, die bei vielen Explorationsverfahren die Meßgenauigkeit begrenzen, wirken sich nur mehr proportional zur Sekundärfeldstärke aus. Der durch sie verursachte Fehler ist somit wesentlich abgeschwächt.
- c) Topographisches Relief, das die Lage der Sende- und Empfangsspule zueinander beeinflußt und deshalb vermessen und korrigiert werden muß, hat nur mehr geringen Einfluß.

Der Geräuschpegel einer Messung kann dadurch von einigen Prozent des Primärfeldes auf einige Prozent des Sekundärfeldes abgesenkt werden. Dies ermöglicht bei gleichem Spulenabstand s eine wesentlich gesteigerte Erkundungstiefe bis zu $0.8 s$ für eine dünne vertikale Leiterplatte, während bei Verfahren mit kontinuierlicher Anregung $0.5 s$ kaum zu überschreiten sind. Der so mögliche geringe Spulenabstand erlaubt hohe räumliche Auflösung.

Technische Details des Gerätes.

Das PEM verwendet einen Sendeimpuls einer Grundfrequenz von ca. 22 Hz, der aus einer positiven und einer negativen Halbwelle besteht (Abb.1). Er wird von der Sendespule mit einem Dipolmoment von 4500 Am^2 abgestrahlt. Im wesentlichen induziert der rampenförmige Abschaltvorgang, während dessen das Primärfeld in der Zeit von einer Millisekunde gleichförmig vom Maximalwert auf Null herabgeregelt wird.

Im Zeitbereich von 0.1 bis 7.8 msec nach dem Abschalten des Pulses wird die Amplitude des im Untergrund induzierten und zeitlich abklingenden Sekundärfeldes in acht verschiedenen Zeitpunkten (=Kanälen) gemessen. Zur Erhöhung des Signal-Rauschabstandes werden die Daten über 110 Meßzyklen gestapelt. Die Amplitude des Sekundärfeldes wird dabei auf die Stärke des Primärfeldes am Ort der Empfangsspule bezogen. Die Einheit, in der die Amplitude angegeben wird, entspricht in Kanal 1 einem Promille der Primärfeldstärke. Sie nimmt in jedem späteren Kanal um den Faktor $\sqrt[3]{10}$ ab, sodaß in Kanal 8 die Einheit einem $1/10$ Promille entspricht.

Die für Routinemessungen bevorzugt verwandte Meßgeometrie entspricht derjenigen einer Slingram-Anordnung. Es wird also eine horizontale Sende- und Empfangsspule verwendet, die in konstantem Abstand entlang des Meßprofiles versetzt werden. Spulenabstände bis zu 75 m lassen sich auf Grund der Sendeleistung verwirklichen.

Zur Berechnung der Interpretationsdiagramme

Leider liegen für Pulsverfahren bisher kaum Hilfsmittel zur Interpretation der Daten vor. Es wurde deshalb vom Verfasser versucht, einfache Interpretationsdiagramme zur quantitativen Auswertung der Daten zu entwickeln. Auf eine vollständige Ausnützung der gesamten Meßinformation wurde dabei verzichtet.

Untergrundmodelle und Ausgangsmaterial

Vor allem zwei Untergrundmodelle waren dabei von Interesse
a) das Modell des homogenen Halbraumes. Hier sollte der

spez. Widerstand des Untergrundes angegeben werden

b) das Modell der dünnen, steil einfallenden Platte als Standardmodell eines massiven Sulfidkörpers. Es gilt den Leitwert der Platte, sowie ihre Tiefenlage zu bestimmen.

Der Grundgedanke zur Berechnung der Interpretationsdiagramme war, Ergebnisse von Modellmessungen oder Modellrechnungen unter Berücksichtigung der Energieverteilung des eingesetzten PEM-Gerätes in den Zeitbereich zu transformieren.

Als Ausgangsdaten für das Modell der dünnen Platte standen Modellmessungen von KETOLA und PURANEN (1967) zur Verfügung, die Slingram-Messungen im Frequenzbereich über dünnen Platten in Luft durchführten.

Für den homogenen Halbraum wurde auf die Ergebnisse von Modellrechnungen von FRISCHKNECHT (1967) zurückgegriffen, der unter anderem das Sekundärfeld von Slingram-Systemen über homogenem Untergrund berechnet hat.

Die Durchführung der Transformation in den Zeitbereich schließt sich eng an PALACKY (1972) an, der eine ähnliche Transformation für das INPUT-System beschrieben hat.

Darstellung des Rechenablaufs

Die Rechnungen, deren Ergebnis die in Abb. 2 und 3 gezeigten Interpretationsdiagramme sind, verlief in folgenden Schritten:

- 1) Bestimmen der Amplituden der Inphase-(=IP) und Out of Phase-(= OP) Komponente aus den Modellrechnungen oder Modellmessungen für alle dabei verwandten Frequenzen.
- 2) Interpolation der Daten für eine quasikontinuierliche Darstellung der IP- und OP-Induktionskurven als Funktion der Frequenz.
- 3) Transformation der Daten in den Zeitbereich mittels der schnellen Fouriertransformation. Man erhält so Abklingkurven, die für einen einer Deltafunktion entsprechenden Sendepuls gültig sind.
- 4) Korrektur von Fehlereinflüssen auf die Abklingkurve, die durch Fehler in den Ausgangsdaten oder durch die Fouriertransformation bedingt sind. Sie führen zu Oszillationen im späten

Teil der Kurve. Dieser Teil der Abklingkurve wurde sodann durch eine Exponentialfunktion geeigneter Steigung ersetzt.

- 5) Rücktransformation der korrigierten Abklingkurven in den Frequenzbereich.
- 6) Bestimmung der Pulsform des PEM und Interpolation für eine quasikontinuierliche Darstellung im Zeitbereich.
- 7) Differentiation und Fouriertransformation des PEM-Pulses in den Frequenzbereich. Man erhält hier die spektrale Energieverteilung für die IP- und OP-Komponente.
- 8) Multiplikation des Energiespektrums des PEM-Pulses mit den Induktionskurven des Leitermodelles.
- 9) Transformation in den Zeitbereich.
- 10) Bestimmung der Amplituden der Abklingkurve zu den vorgegebenen Ablesezeitpunkten der Meßkanäle und Umrechnung auf die gerätespezifischen Amplitudeneinheiten.
- 11) Zusammenfassung der Daten zu Interpretationsdiagrammen.

Dieses Schema wurde für fünf verschiedene Tiefenlagen der Platte zwischen 0.1 und 0.6 des Spulenabstandes und für jeweils 10 verschiedene Leitwerte der Platte durchgeführt.

Für jede der Tiefenlagen wurden sodann die Abklingkurven aller Kanäle als Funktion des Leitwertes dargestellt. Dabei zeigte sich, daß die Abklingkurven der unterschiedlichen Tiefenlagen sehr ähnliche Form aufweisen und sich durch horizontales und vertikales Verschieben praktisch zur Deckung bringen lassen. Das Ausmaß der notwendigen Verschiebungen läßt sich dem in Abb. 2 gezeigten Tiefen-Leitwert-Netz entnehmen.

Für den homogenen Halbraum, der für 12 verschiedene Leitfähigkeiten berechnet wurde, wurden die Abklingkurven direkt als Funktion der Leitfähigkeit aufgetragen.

Benutzung der Interpretationsdiagramme

Für die dünne Platte verwendet man die Maximalamplitude einer Anomalie, also die Amplitudendifferenz zwischen den seitlichen Maxima und dem zentralen Minimum. Sie entnimmt man für alle 8 Meßkanäle den Daten und markiert sie gemäß dem links in Abb. 2 angegebenen Maßstab auf einem Papierstreifen, auf dem auch der untere Endpunkt des Maßstabes angegeben wird. Dieser Streifen

wird auf dem Diagramm so in x- und y-Richtung verschoben, bis beste Anpassung der Meßwerte an die Kurven erreicht ist. Die Position des unteren Endes des Maßstabes gibt dann in dem Tiefen-Leitwert-Netz die Tiefe bezogen auf den Spulenabstand sowie das Produkt aus Spulenabstand und Leitwert an.

Beim homogenen Halbraum ist das Vorgehen sehr ähnlich. Auch hier werden die Amplituden der einzelnen Kanäle entsprechend dem in Abb. 3 angegebenen Maßstab auf einem Streifen markiert. Die Amplituden sind im hier gezeigten Leitfähigkeitsbereich negativ. Durch horizontales Verschieben des Streifens, wobei der untere Endpunkt auf der Linie -1 verbleibt, können die Meßwerte mit den Kurven zur bestmöglichen Übereinstimmung gebracht werden. Auf der Abszisse läßt sich dann das Produkt Leitfähigkeit mal (Spulenabstand)² und so bei bekanntem Spulenabstand die spez. Leitfähigkeit des Untergrundes entnehmen.

Literatur:

Frischknecht, Frank C.: Fields about an oscillating magnetic dipole over a two-layer earth. Quaterly of the Colorado School of Mines, vol. 62, nr. 1, 1967.

Ketola, M., Puranen, M.: Type curves for the interpretation of Slingram (horizontal loop) anomalies over tabular bodies. Report of investigations nr. 1, Geological Survey of Finland 1967.

Palacky, G., J.: Computer assisted interpretation of multi-channel airborne electromagnetic measurement. Diss. Univ. of Toronto, 1972.

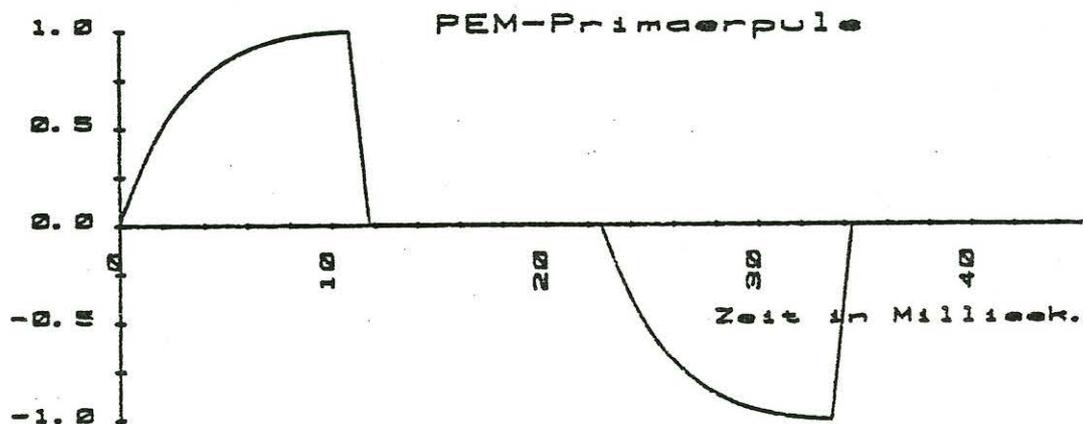


Abb. 1 Zeitlicher Verlauf des PEM-Primärpulses

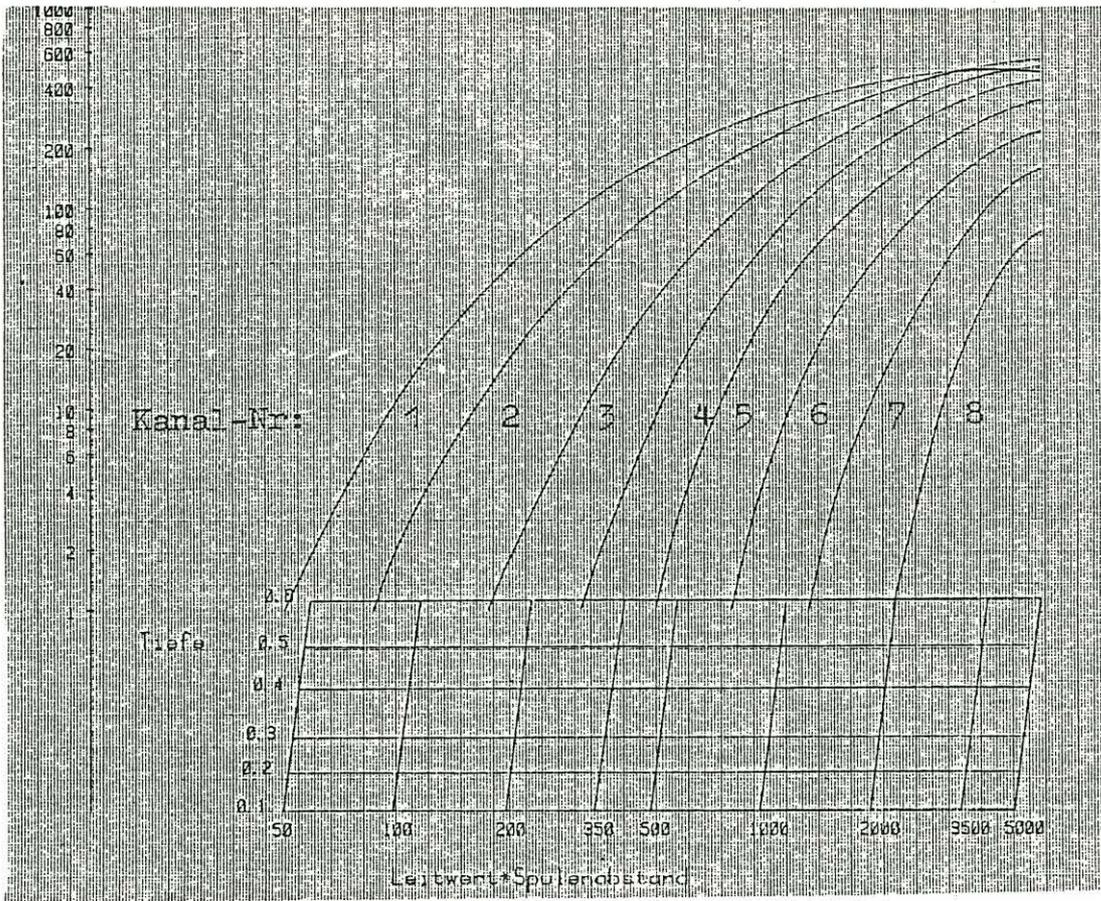


Abb. 2 Interpretationsdiagramm "vertikale Platte"

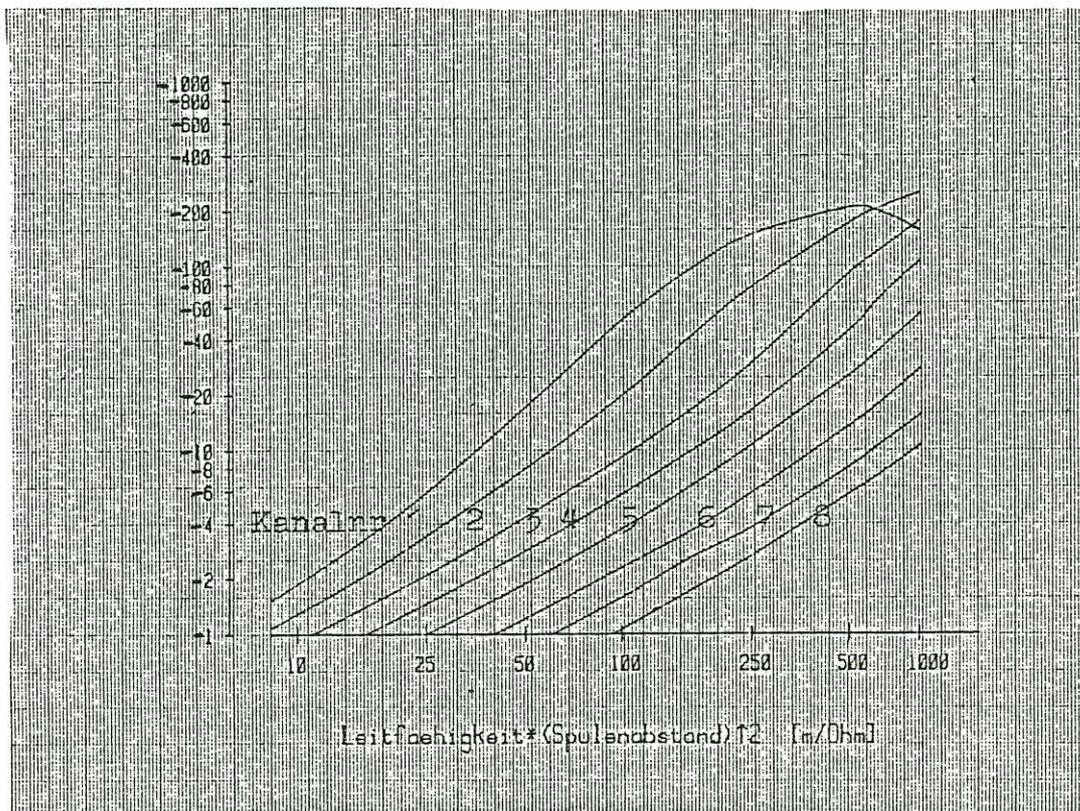


Abb. 3 Interpretationsdiagramm "homogener Halbraum"