

S. GREINWALD

"Über eine neue Modellapparatur für die elektromagnetische Erz-  
exploration"

1. Einleitung

In der BGR wird ein Projekt zur Verbesserung der Interpretation und Erhöhung der Erkundungstiefe elektromagnetischer Prospektionsverfahren durchgeführt, das in folgende drei Arbeitsbereiche gliedert ist:

- a) Praktische Geländemessungen zum Vergleich verschiedener bekannter Explorationsverfahren
- b) Modellrechnungen für die bekannten Verfahren (Slingram, Turam) über leitenden Einlagerungen in leitenden Medien
- c) Aufbau einer Modellapparatur und Durchführung von Modellmessungen über komplizierten Widerstandsverteilungen wie dicken Platten, Doppelleitern und ähnlichem, die der Modellrechnung nur schwer zugänglich sind.

Im folgenden soll über den Aufbau des Modelltanks sowie erste Meßergebnisse berichtet werden.

2. Beschreibung der Modellanlage

2.1 Mechanischer und elektrischer Aufbau

Der aus Kunststoff gefertigte Modelltank hat die Außenabmessungen 4,8 x 3,8 x 1,5 m (Länge mal Breite mal Höhe). Er steht in einer Schirmkabine, die elektromagnetische Wechselfelder über 5 kHz um bis zu 80 dB abschwächt. Die lichte Höhe der Schirmkabine ist 2,9 m.

Im Mittelfeld des Tanks befindet sich eine Halterung aus Kunststoff zur Aufnahme der als Modellkörper dienenden dünnen und dicken leitfähigen Platten. Mittels dieser Halterung lassen sich die Platten in ihrer Höhe, ihrem Streichen und Einfallen verändern und so den gewünschten Modellparametern anpassen.

Freitragend über die volle Breite des Tanks verläuft ein aus glasfaserverstärktem Kunststoff gefertigter Träger, an dem die Modellmeßsysteme befestigt werden. Dieser Träger kann auf zur Längsachse des Tanks parallelen Schienen mittels Schrittschaltmotoren mit einer Schrittweite von 0,15 mm über die volle Tanklänge positioniert werden.

Die Steuerung der Modellapparatur erfolgt über einen Hewlett-Packard Tischrechner 9825. Als Meßsender dient ein über den IEEE-Bus vom Rechner in Amplitude und Frequenz steuerbarer Synthesizer mit nachgeschaltetem Leistungsverstärker (Ausgangsleistung 10 W). Als Meßempfänger wird ein Netzwerkanalysator verwendet, der die Amplitude und Phase des Empfangssignals bezogen auf ein Referenzsignal bestimmt und dessen Meßergebnisse direkt vom Rechner in digitaler Form übernommen werden. Bei einer Bandbreite von 10 Hz weist der Empfänger eine Empfindlichkeit von 1  $\mu$ V auf. Zur Vermeidung von Übertragungsverlusten in den Kabeln zwischen dem Meßsystem und dem Empfänger ist ein Meßverstärker in unmittelbarer Nähe des Meßsystems eingebaut. Das Blockschaltbild Abb. 1 veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau.

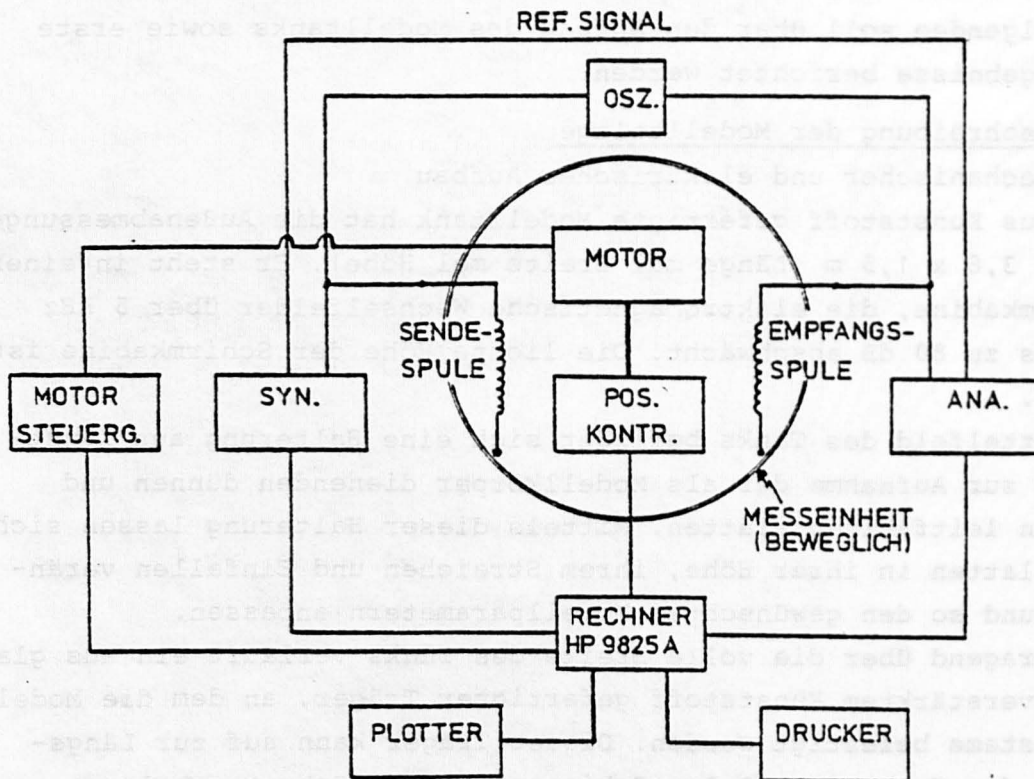


Abb. 1: ELEKTROMAGNETISCHE MODELLAPPARATUR (SCHEMATISCH)

## 2.2 Meßsysteme

Im Modell sollen vor allem die in der Prospektion üblichen elektromagnetischen Verfahren simuliert werden, die meist mit zwei koplaren Spulen arbeiten, einem vertikalen Sendedipol und einem vertikalen Empfangsdipol. Diese Anordnung entspricht z.B. dem Slingram-System sowie einem Teilsystem des Dighem II-Meßgerätes für den Helicopter-Einsatz. Daneben kommen bei den Prospektionsverfahren aus der Luft auch koaxiale horizontale Spulenkongfigurationen in Betracht.

Bei den Modellsystemen liegen die Spulenabstände zwischen 0,2 und 0,1 m, die Durchmesser der Spulen bei 0,02 bis 0,012 m.

Besondere Sorgfalt wurde auf die elektrostatische Abschirmung der Spulensysteme gelegt, nachdem bei Testmessungen festgestellt worden war, daß über einigen Kilohertz Meßfrequenz unerwünschte kapazitive Kopplungen zwischen Sende- und Empfangsspule stärker sein können als die gewünschte induktive Kopplung.

Alle Meßsysteme sind als Multifrequenzsysteme konzipiert, d.h. sie lassen sich in einem weiten Frequenzbereich einsetzen.

Für Messungen in Luft über Metall- und Graphitplatten liegt der nutzbare Frequenzbereich meist zwischen 60 und 20 000 Hz. Der Einsatz mehrerer Frequenzen entspricht dem modernen Trend in der Erzexploration, durch Variation der Meßfrequenz und damit des Induktionsparameters  $W$  das Sekundärfeld des gesuchten besseren Leiters (Erzkörpers) möglichst deutlich vom Sekundärfeld der leitenden Umgebung zu trennen. Ein einziger Induktionsparameter als Maß für die Kopplung des Meßsystems mit dem Untergrund läßt sich nur für einfache Modelle angeben. Für ein Slingram-System über einer dünnen leitenden Platte in der Luft ergibt er sich

$$W = 2\pi F \cdot \mu_0 \cdot A \cdot S \cdot T$$

und für dasselbe System über einem homogenen Halbraum

$$W = 2\pi F \cdot \mu_0 \cdot A^2 \cdot S$$

mit  $S$ : Leitfähigkeit des Halbraums bzw. der Platte

$A$ : Spulenabstand

$T$ : Dicke der Platte

$F$ : Meßfrequenz.

Tiefe/SpA 0.2 Streichen 98 Einfallen 98  
 Inphasekomponente in %

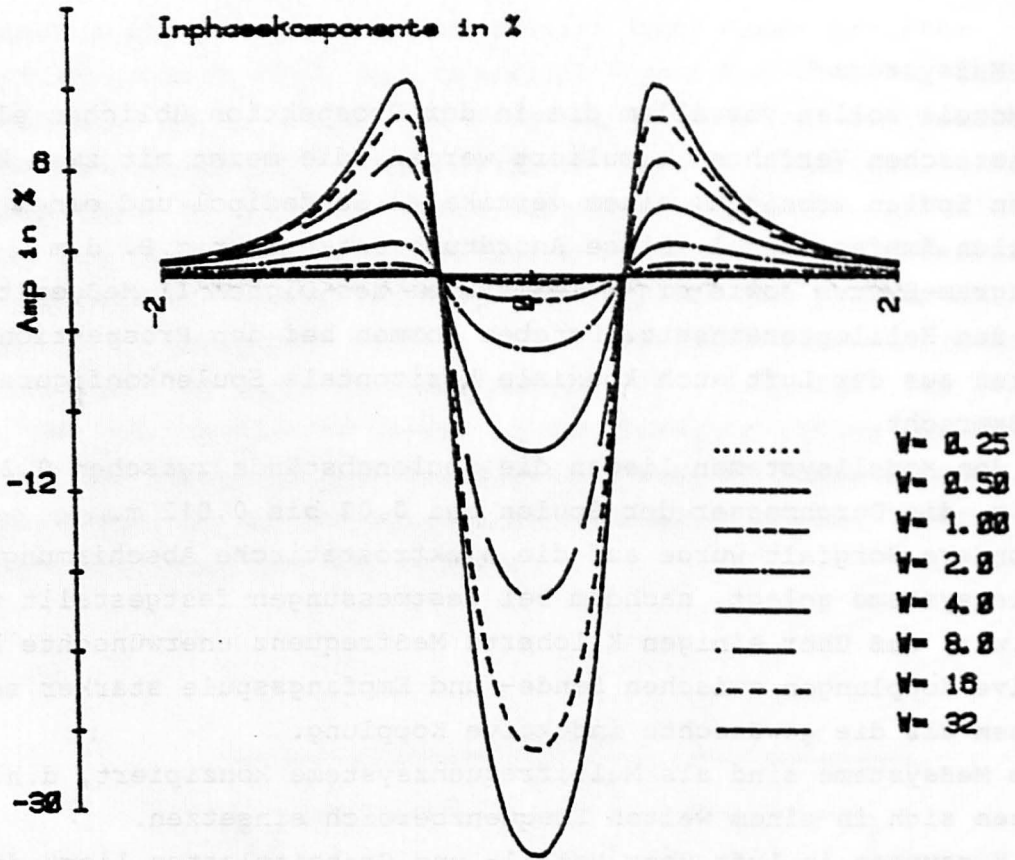


Abb.: 2a

Outphasekomponente in %

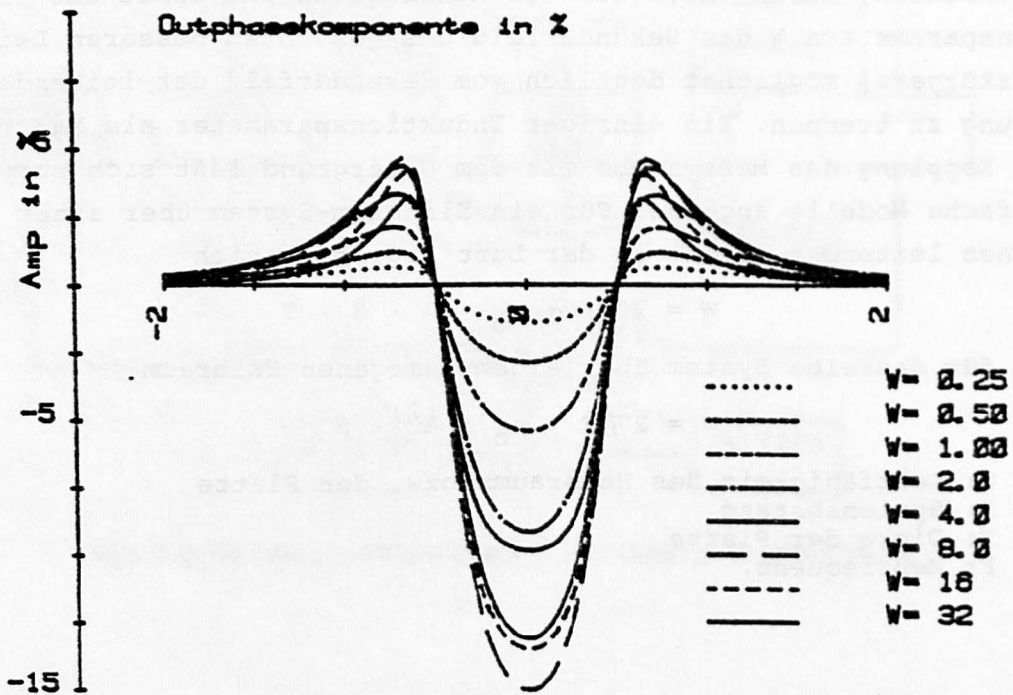


Abb.: 2b Slingram - Anomalie ueber duenner Platte

Im Modell können bis zu 8 unterschiedliche Frequenzen in einem Lauf gemessen werden und damit bei einfachen Modellen bis zu 8 verschiedene Induktionszahlen. Abb. 2 a zeigt die Ergebnisse eines Meßlaufs für die Inphase-, Abb. 2 b die Ergebnisse für die Out-of-Phase-Komponente über einer dünnen Platte in einer Tiefe von 0,2 Spulenabständen und für die Induktionszahlen 0,25 bis 32. Bei der Durchführung von Messungen aus der Luft treten wegen der notwendigen Flughöhe von mindestens dreißig Metern und den bei Helikoptersystemen üblichen Spulenabständen von ca. 10 m nur sehr kleine Änderungen der Kopplung zwischen Sende- und Empfangsspule auf. Die Maximalamplituden betragen z.B. bei einem Abstand von drei Spulenabständen zwischen einer leitenden dünnen Platte und dem Meßsystem nur noch 400 ppm in der Inphase- und 200 ppm in der Out-of-Phase-Komponente. Um den für diese und höhere Empfindlichkeiten notwendigen Dynamikumfang von mehr als  $1:10^5$  (entsprechend 100 dB) zu erreichen, wird das Primärfeld der Sendespule im Bereich der Empfangsspule durch Gegenkopplung stark reduziert. Nach dem augenblicklichen Stand unserer Meßtechnik läßt sich so ein Meßrauschen von wenigen ppm verwirklichen.

### 3. Meßergebnisse

Zur Überprüfung der Modellapparatur wurde mit Testmessungen zur Bestimmung systematischer Störeinflüsse begonnen. Es ergab sich, daß ein einschränkender Randeffect durch die geringe Schirmraumhöhe gegeben ist. Decke und Boden der Schirmkabine führen dann zu Meßfehlern, wenn bei Slingram-Systemen Spulenabstände von 0,4 m überschritten werden.

Aussagen über die Meßgenauigkeit lassen sich durch Vergleich unserer Ergebnisse mit Daten anderer aus der Literatur bekannten Autoren (z.B. KETOLA) und mit Werten aus Modellrechnungen erhalten. Es zeigt sich, daß bei Slingrammessungen der Meßfehler unter 1 % der Primärfeldamplitude liegt.

Nach Test- und Eichmessungen über dünnen Platten begannen Messungen über dicken Platten. Ein Ergebnis ist, daß die bei der Prospektion übliche Regel, daß über mächtigen, guten Leitern die Anomaliebreite, d.h. der Abstand zwischen den Nulldurchgängen gleich dem Spulenabstand plus der Dicke des Leiters ist (siehe Abb. 3 a), nur für geringe Tiefen bis etwa 0,3 Spulenabstände gilt. Für größere Tiefen wird durch Verschieben der Anomalie in den positiven Bereich der Abstand der Nulldurchgänge sogar deutlich schmaler (Abb. 3 b).

Vergleich duenne - dicke Platte Tiefe  $\varnothing 2$  SpA

Dicke d. Platte  $\varnothing 5$  SpA =  $\varnothing 25$  =

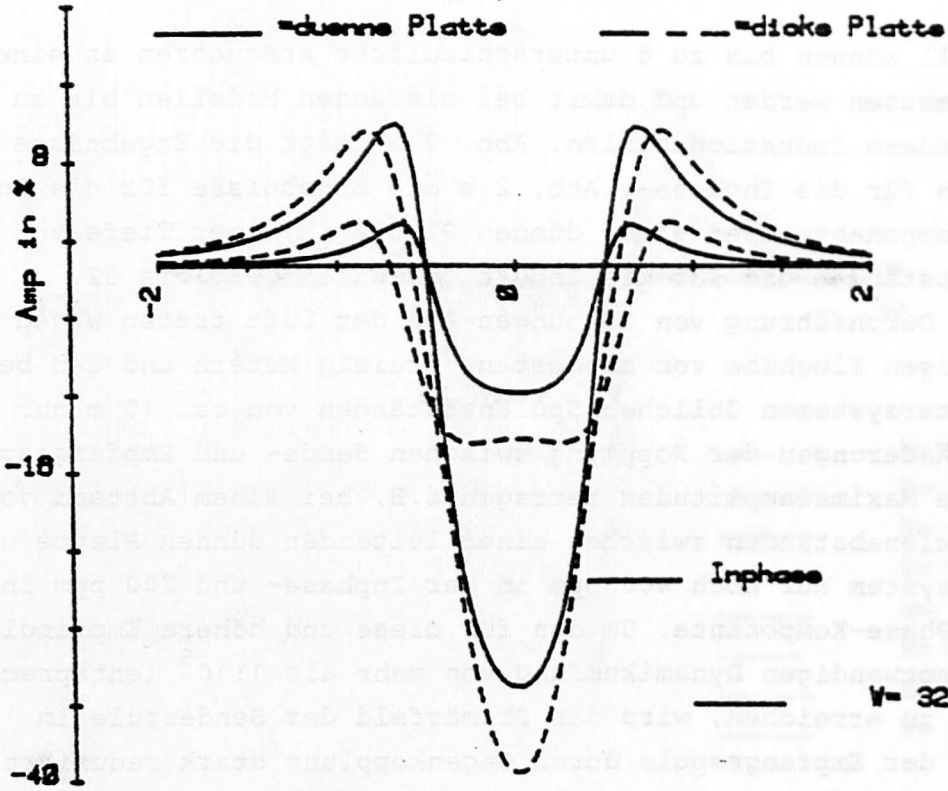


Abb.: 3a

Vergleich duenne - dicke Platte Tiefe  $\varnothing 8$  SpA

Dicke d. Platte  $\varnothing 5$  SpA =  $\varnothing 25$  =

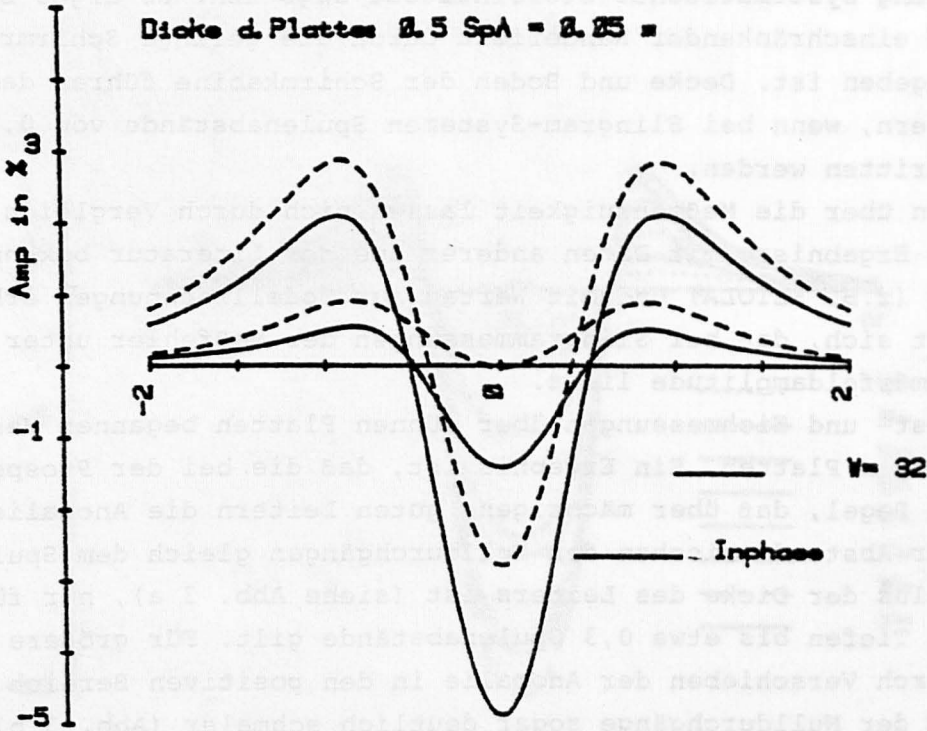
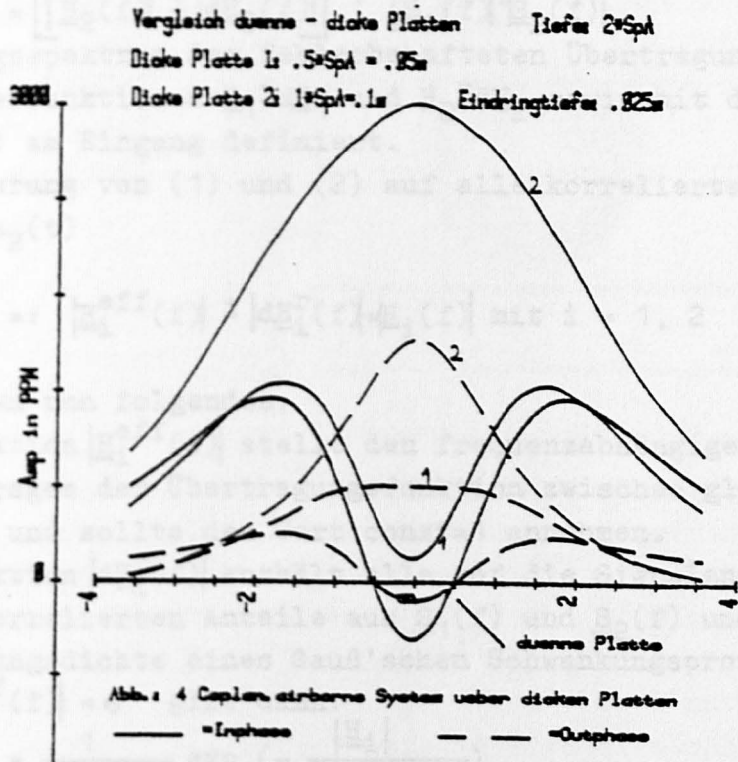


Abb.: 3b Slingraz ueber duennen und dicken Platten

Besonders deutliche Hinweise auf die Dicke eines Leiters zeigen sich beim Einsatz koplanarer Systeme mit kleinen Spulenabständen und großen Abständen zwischen Meßsystem und Leiter (airborne). Während über dünnen Platten auch die Messung aus der Luft die für Slingram-Daten typische Anomalieform mit einem zentralen Minimum aufweist, beobachtet man über dicken Platten neben einer deutlichen Zunahme der Anomalieamplitude mit steigender Plattendicke und abnehmender Eindringtiefe der Felder ein Ausfüllen des Minimums in der Inphase- und Out-of-Phase-Komponente und schließlich das Auftreten eines zentralen Maximums (siehe Abb. 4). In allen Fällen reagiert die Out-of-Phase-Komponente deutlich stärker auf die Veränderung der Geometrie des Leiters als die Inphase-Komponente.

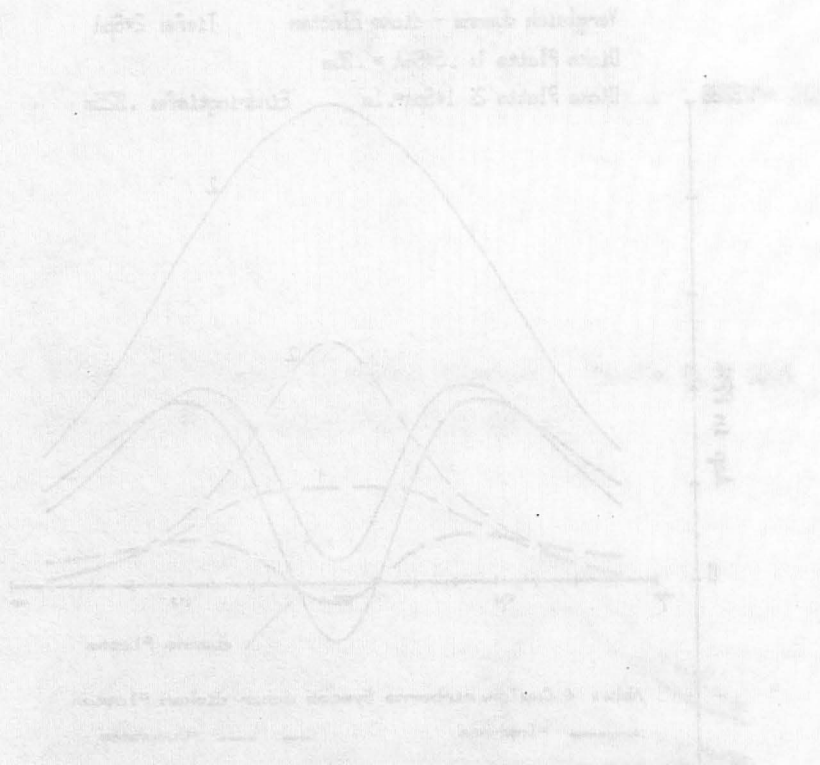


#### 4. Geplante Arbeiten

Nach den Messungen über Leitern in nichtleitender Umgebung sind Messungen über Leitern in leitender Flüssigkeit geplant. Dabei sollen auch Modellmessungen im Zeitbereich, d.h. für Transientenverfahren durchgeführt werden, da solche Meßverfahren große meßtechnische Vorteile aufweisen und deswegen in der Explorationsgeophysik zunehmend an Gewicht gewinnen.

Literatur:

KETOLA, M., M. PURANEN: Type curves for the interpretation of Slingram (horizontal loop) anomalies over tabular bodies. Geological Survey of Finland, Report of Investigations No.1, 1967.



4. Geologische Beispiele

Nach den Messungen über Leitern in nichtleitender Umgebung sind Messungen über Leitern in leitender Umgebung möglich. Dabei sollen auch Kabelmessungen im Leiternetz, d.h. die Transparenzverfahren durchgeföhrt werden, da solche Messverfahren große technische Vorteile aufweisen und besonders in der Explorationsphysik zunehmend an Gewicht gewinnen.