

E. STEVELING

"Modellrechnungen zur vertikalen Gradientensondierung mit erdmagnetischen Variationen in einer Tiefbohrung"

Im Rahmen des "Kontinentalen Tiefbohrprogramms" soll in der Bundesrepublik eine etwa 10 km tiefe Forschungsbohrung abgeteuft werden. Es ist vorgesehen, in dieser Bohrung ein triaxiales Fluxgate-magnetometer zu versenken und damit die Variationen des erdmagnetischen Feldes zu registrieren. Mit den folgenden Ergebnissen von Modellrechnungen wird gezeigt, unter welchen Voraussetzungen eine Abschwächung des horizontalen Variationsfeldes aufgrund des Skineffektes meßbar ist. Aus der Tiefenabhängigkeit von Amplitude und Phasendrehung der horizontalen Magnetfelder kann die integrierte Leitfähigkeit des Deckgebirges und die vertikale Widerstandsverteilung der tieferen Gesteinsschichten ermittelt werden. Die in der Magnetotellurik übliche Messung des erdelektrischen Feldes an der Erdoberfläche wird so durch Messungen des Vertikalgradienten der horizontalen Schwankungen des erdmagnetischen Feldes in einem Bohrloch ersetzt. Dargestellt wird in den Abbildungen der komplexe Dämpfungsfaktor

$$\delta = \frac{\text{horizontales Magnetfeld übertage}}{\text{horizontales Magnetfeld untertage}}$$

1. Kristalliner Untergrund

Das Modell in Abb.1 soll repräsentativ für einen kristallinen Untergrund mit geringer sedimentärer Bedeckung sein. Der spez. Widerstand der 100 m mächtigen Deckschicht variiert zwischen 0.5 und 1000 Ωm , d.h. die integrierte Leitfähigkeit schwankt von 200 bis 0.1 Siemens. Unter dieser Deckschicht folgen 19.9 km mit 1000 Ωm , 30 km mit 100 Ωm und ein abschließender Halbraum mit 20 Ωm .

Im oberen Teil der Abb.1 wird $\text{Re}(\delta)$ in 0.1 km Tiefe, also direkt unter der Deckschicht, als Funktion der Periode für 11 verschiedene spez. Widerstände der Deckschicht dargestellt. Man kann davon ausgehen, daß eine 5%ige Dämpfung nachzuweisen ist. Diese Grenze ist gestrichelt eingezeichnet. Nur die Kurve für 0.5 Ωm liegt für den gesamten Periodenbereich $1\text{s} < T < 1000\text{s}$ unterhalb der Grenze, d.h. nur für eine derart gutleitende Deckschicht ($\hat{=} 200$ Siemens) ist im gesamten Periodenbereich der Skineffekt bereits unter der Deckschicht meßbar. Im gesamten Periodenbereich nicht meßbar (in dieser Tiefe) ist der Skineffekt für eine Bedeckung mit $\rho \geq 200 \Omega\text{m}$.

Der untere Teil der Abb. 1 soll klären, wann es bei dem zugrundegelegten Modell noch sinnvoll ist, das horizontale Magnetfeld bis zu 10 km Tiefe unterhalb der Deckschicht zu registrieren. Dazu ist die durch den schlechten Leiter ($1000 \Omega\text{m}$) zwischen 0.1 und 10 km Tiefe zusätzlich erfolgte Dämpfung ($\Delta\text{Re}(\delta)$) aufgetragen worden.

Setzt man wieder die 5%-Nachweisgrenze an, so ist zu erkennen, daß von 0.1 bis 10 km Tiefe für $T > 25\text{s}$ praktisch keine zusätzliche Dämpfung erfolgt. Je kürzer dann die Periode und je höher der Widerstand der Deckschicht ist, desto größer wird der Dämpfungsanteil des schlechten Leiters bis in 10 km Tiefe. Dabei ist aber zu beachten, daß für $T = 1\text{s}$ extreme Anforderungen an das Magnetometer gestellt werden. Wegen der geringen Anregungsenergie bei kurzen Perioden müßte sein Auflösungsvermögen 0.005 nT betragen.

2. Forschungsbohrung Urach

Aus Messungen im Bohrloch und magnetotellurischen Sondierungen in der Umgebung kann ein Widerstandsmodell der Forschungsbohrung Urach zusammengestellt werden (Abb.2). In dieser Bohrung wurde das Kristallin erst in etwa 1600 m Tiefe erreicht. Es existiert bei Urach ein relativ mächtiges Sediment mittlerer Leitfähigkeit über einem Kristallin, das ebenfalls verhältnismäßig gutleitend ist. Damit sind hier die Aussichten für eine erfolgreiche Vertikalsondierung günstiger als unter den in den vorangegangenen Modellrechnungen betrachteten Bedingungen.

Neben dem Modell sind Real- und Imaginärteil des Dämpfungsfaktors als Funktion der Tiefe z für den Periodenbereich $1\text{s} \leq T \leq 1000\text{s}$ dargestellt. Für alle Perioden ist der Realteil größer als der Imaginärteil. Wir betrachten hier nur $\text{Re}(\delta)$. Unter Beachtung der 5%-Grenze ist für alle Perioden der Skineffekt ab 500 m Tiefe nachweisbar. Bis zur Kristallinoberkante nimmt die Dämpfung noch stark zu. Die weitere Dämpfung im Kristallin bis zum Bohrlochtiefsten in 3334 m Tiefe könnte dann nur noch mit Perioden $< 10\text{s}$ nachgewiesen werden. Damit bietet sich die Forschungsbohrung Urach für eine Vertikalsondierung an.

3. Norddeutsches Sedimentbecken

Die günstigsten Voraussetzungen zur Vertikalsondierung bieten Tiefbohrungen im Norddeutschen Sedimentbecken. Dies liegt an den im Modell mit $\rho = 2\Omega\text{m}$ und einer Mächtigkeit von 4 km angenommenen über-

aus gutleitenden Sedimenten (Abb.3). Das hat eine Verschiebung der Sondierungsperioden zu längeren Perioden hin zur Folge. Im Periodenbereich von 8s-24 h ist die Anregungsenergie entscheidend höher

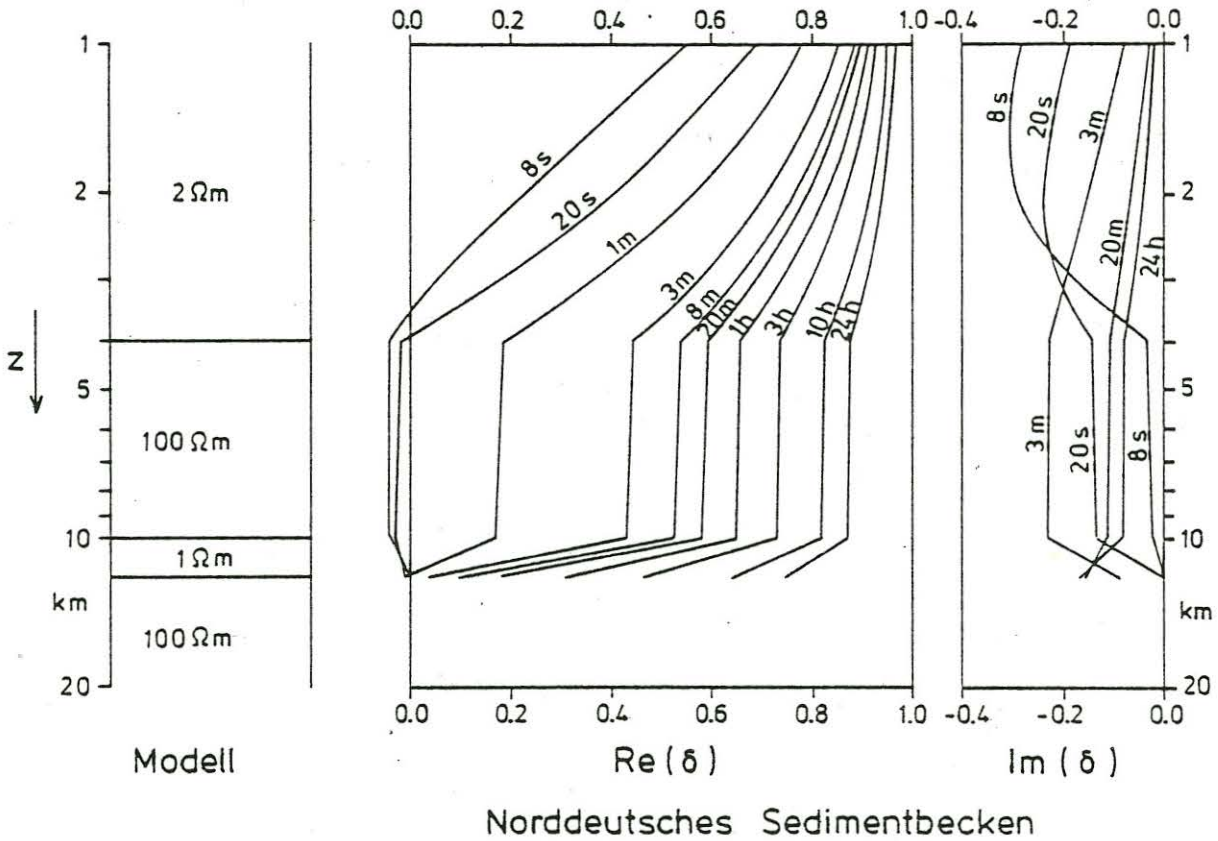


Abb.3: Für ein Widerstandsmodell des Norddeutschen Sedimentbeckens berechnete Dämpfungsfaktoren δ als Funktion der Tiefe z im Periodenbereich 8s-24 h.

als im Bereich 1s-1000s, so daß hier die Zunahme der Dämpfung von 1 bis 4 km Tiefe gut mit einem Fluxgatemagnetometer beobachtet werden könnte. Die weitere Dämpfung durch die hochohmige Schicht ($100 \Omega m$) in 4-10 km Tiefe ist dagegen durch eine tiefere Versenkung des Magnetometers bis in 10 km Tiefe nicht mehr nachzuweisen.

Auch hier wird wieder deutlich, daß es genügt, das Bohrlochmagnetometer bis zum Übergang der gutleitenden Deckschicht zum schlechten Leiter zu versenken.