

S. TREFZER, V. RATH

"Der Topographie-Einfluß bei VLF-Messungen"

Der Einfluß der Topographie auf künstliche elektromagnetische VLF-Wechselfelder ist bisher in der Literatur in größerem Umfange von zwei Autoren, Karous (1979) und Eberle (1981) beschrieben worden.

Vor einer Gegenüberstellung beider Methoden zur Korrektur des Topographieeffektes soll jedoch zunächst auf die gemeinsamen Ausgangsbedingungen beider zugrundeliegenden Denkmodelle kurz eingegangen werden.

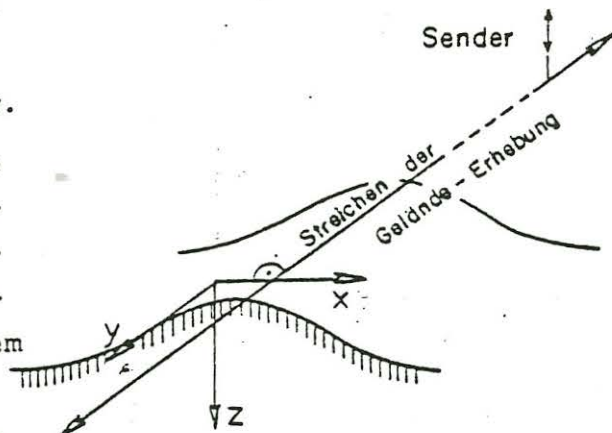
Bei einer großen Sender-Empfänger-Distanz herrscht am Meßort selbst ein homogener ebener Einfall des abgestrahlten VLF-Längstwellenfeldes.

Ein Topographieeinfluß macht sich auf die bei der VLF-Methode ausschließlich gemessenen Magnetfelder nur im Falle der E-Polarisation bemerkbar, d.h. wenn die Streichrichtung des zwei-dimensionalen Geländereiefs parallel zur Sender-Empfänger-Richtung liegt.

In H-polarisierender Richtung macht sich dagegen ein Topographieeffekt nicht bemerkbar.

Über der geneigten Oberfläche eines nicht vollständig leitfähigen Untergrundes mit eindimensionaler Leitfähigkeitsverteilung überlagert sich dem horizontal-polarisierten Primär-Magnetfeld ein phasenverschobenes Sekundärfeld.

Die so entstehende Polarisationsellipse des Gesamtfeldes ist durch zwei Meßparameter hinreichend bestimmt; - den Winkel ihrer großen Halbachse mit der großen Halbachse mit der Horizontalen (Kippwinkel, Realteil) - und das Verhältnis der Magnetfeldanteile beider Halbachsenrichtungen (Elliptizität, Imaginärteil), welche beide von orthogonal angeordneten Zweispulen-Messsystemen (VLF, AFMAG) direkt bestimmt werden können.



Verfahren nach Karous

Profilrichtung und Polarisationsrichtung des Magnetfeldes liegen in x-Richtung des Koordinatensystems.

Das in y-Richtung induzierte E-Feld erfährt entsprechend der durch den Widerstand des Untergrundes vorgegebenen Dämpfung  $k'$  eine Abnahme mit der Tiefe in z-Richtung.

$$E_x(z) = \left(\frac{\omega\mu}{\sigma}\right)^{1/2} \cdot H(z=0) \cdot e^{(i\frac{\pi}{4} - k'z)} \quad , \quad k' = (0,5\omega\mu\sigma)^{1/2}$$

Die induzierten Stöme fließen somit in Streichrichtung, in hangparalleler Orientierung, mit einer Tiefenerstreckung, die durch die Eindringtiefe  $p = 1/k'$  gegeben ist.

Nach dem Biot-Savart'schen Gesetz erhält man das am Meßort  $x_0$  induzierte Sekundär-Magnetfeld durch Integration über die Stromdichte längs einer angenommenen wirksamen Leiterlänge  $a'$  dieser relief-abhängigen Stromverteilung.

Dieses Magnetfeld ist jedoch nicht nur von der Stromdichte im Bereich des Meßpunktes alleine bestimmt, sondern entsprechend einer  $1/r^2$ -Abhängigkeit des Feldes auch von den im Abstand  $\Delta x = x_0 - x_n$  im Untergrund fließenden Linienströmen, weshalb auch eine Integration in x-Richtung vorgenommen werden muß.

Für den realistischeren Fall der Dämpfung erhält Karous mittels einer numerischen Lösung des Integrals für das Verhältnis der Magnetfeldanteile :

$$RE\left\{\frac{H_z}{H_R}\right\} = \frac{k_4 \Delta x}{2\pi} \cdot \sum_{-n}^n k_4 (k' \Delta x) \cdot \arctan \left[ \frac{a \cdot f(\Delta x)}{(\Delta x \cdot f^2(\Delta x) + (\Delta x)^2 + a^2)^{1/2}} \right]$$

$k_4$  ist eine empirisch ermittelte einfache rationale Funktion, die innerhalb des für die Praxis relevanten Parameterbereiches eine gute Näherung für den Term der Dämpfung darstellt:

$$k_4 = \left[ \sum_{m=0}^4 (k \cdot \Delta x)^m \right]^{-1/2}$$

Dabei ist  $n$  die Anzahl der vor und hinter dem Meßpunkt zu berücksichtigenden Topographie-Stellen und ist sinnvollerweise durch die Größe des Induktionsraumes limitiert, welcher seinerseits vom spezifischen Gesteinswiderstand des Untergrundes abhängig ist.  $f(\Delta x)$  ist die Funktion der Relief-Oberkante.

Setzt man das so gewonnene Verhältnis der Magnetfeld-Komponenten in die Formeln für Kippwinkel und Elliptizität ein (Stratton 1941), so ergibt sich der allein durch die Topographie verursachte Anteil der VLF-Meßparameter.

Verfahren nach Eberle

Die vom einfallenden magnetischen Primärfeld erzeugten Induktionsströme im Untergrund beschränken sich aufgrund des Skineffektes auf eine dünne Oberflächenschicht, deren Mächtigkeit verglichen mit der Wellenlänge vorliegender Höhenschwankungen als sehr gering anzusehen ist. Die tieferen Schichten des Berginneren können dadurch als feldfrei angesehen werden, weshalb nach Eberle in guter Näherung von einer vollständigen Reflexion der auf die Hangfläche auftreffenden Primärwelle ausgegangen werden kann. (Betrag des komplexwertigen Reflexionskoeffizienten  $|R| \approx 1$ )

Das komplexe Verhältnis von Vertikal- und resultierender Horizontalkomponente ist

$$\frac{H_z}{H_0} = \frac{R \cdot \sin 2\tau}{1 + R \cdot \sin 2\tau}$$

' $\tau$ ' ist der Auftreffwinkel auf die Hangfläche des längs des Poynting-Vektors in den Untergrund abfließenden Wellenanteils, variiert deshalb mit den Änderungen der Hangneigung und ist die für den Topographieeffekt einzig maßgebliche Größe.

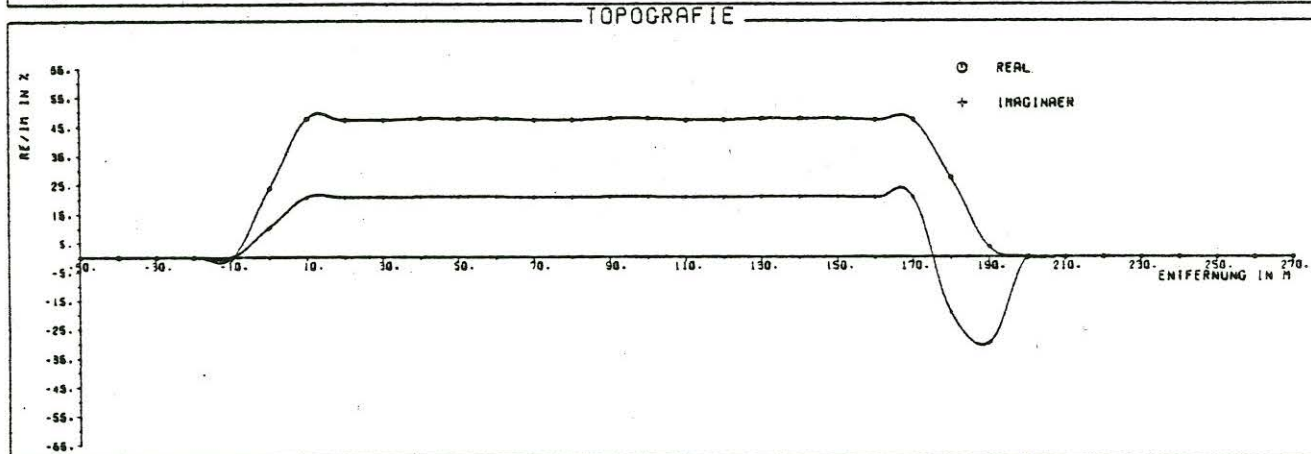
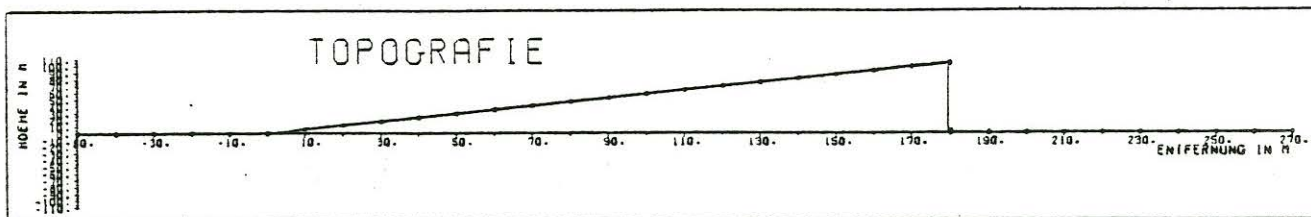
Bei vollständiger Reflexion ergibt sich für den Betrag der normierten Vertikalkomponente näherungsweise  $\left| \frac{H_z}{H_R} \right| \approx \cot \tau$   
 Durch Einsetzen in die Ausdrücke für Kippwinkel und

Elliptizität ergibt sich für den geländeabhängigen Kippwinkelanteil  $\theta_{top}$  oder  $RE_{top} = 0,5 \arctan \left( \frac{\sqrt{2}}{\tan \tau - \cot \tau} \right)$   
 und in guter Näherung analog

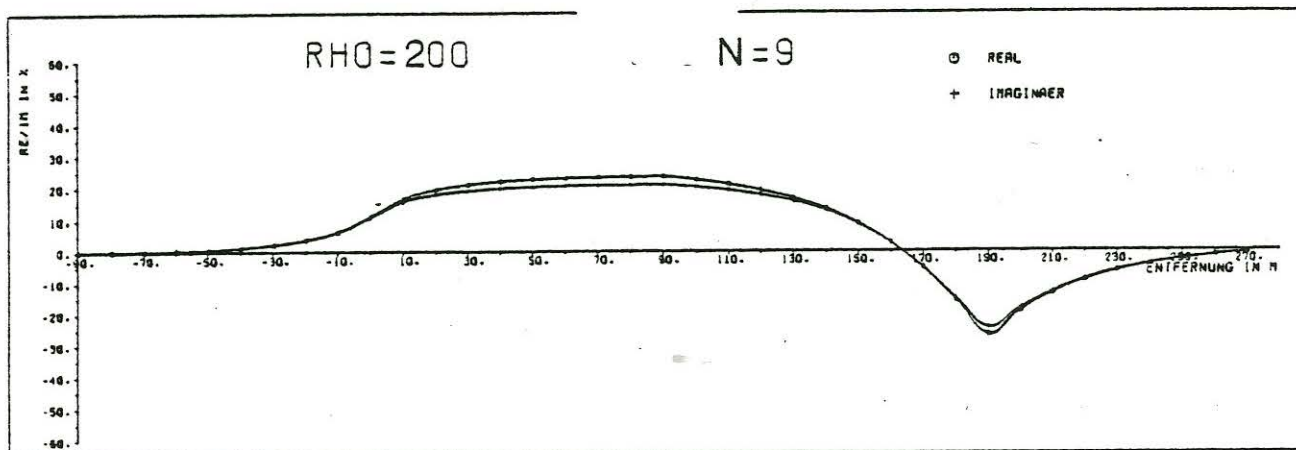
für die Elliptizität  $\epsilon_{top}$  oder  $IM_{top} \approx 0,25 \cdot \sqrt{2} \cdot \cot \tau$

Vergleichend läßt sich sagen, daß das in der Anwendung einfachere Eberle-Verfahren bei der Reduktion von Geländemessungen keine Schwankungen der Leitfähigkeit inhomogenen Untergrundes berücksichtigt. Es berechnet ausgehend von im wesentlichen strahlen-optischen Gesetzmäßigkeiten einen topographischen Effekt, welcher gewissermaßen als die erste Ableitung des Höhenlinien-Querschnitts aufgefaßt werden kann.

Hingegen macht Karous bei seiner Methode Induktionvorgänge in definierten, größeren Eindringtiefen des Magnetfeldes im Hanguntergrund verantwortlich und ermöglicht aufgrund der Berücksichtigung mehrerer Parameter ( $\omega, \sigma, k, \alpha$ ) eine bessere Anpassung an die komplizierteren geländeüblichen Bedingungen.



EBERLE



KAROUS

Für eine Gegenüberstellung beider Verfahren wurden einige geometrisch einfache Topographiemodelle vorgegeben, welche durch ein Rechenprogramm ausgewertet und graphisch dargestellt sind. (s. Abb.)

Im obersten Fenster der Abb. ist das vorgegebene assymetrische Gelände-Relief dargestellt.

Das mittlere Fenster zeigt die aus diesem Relief resultierenden Prozent-Beträge des Real- und Imaginärteils, - berechnet nach der Eberle-Methode.

Unten ist die Auswertung nach dem Karous-Verfahren dargestellt, wobei als Einflußbereich wirksamer Topographie neun Stützstellen, - als homogener Widerstand des festen Untergrundes  $\rho = 200 \Omega_m$  in Rechnung gesetzt wurden.

Literatur:

- Karous, M. R., 1979. (Geoexploration, 17: 33- 42)
- Eberle, D., 1981. (Geoexploration, 19: 103-114)
- 1977. Diss. Univ. München