

A. JUNGE

Einige Ausführungen zu Messungen tellurischer Felder mit Hilfe einer Erdgasleitung

Es ist seit längerem bekannt, daß erdmagnetische Variationen den elektrischen Zustand von Erdgasleitungen beeinflussen (s.a. Campbell, 1980). Am Beispiel eines 1-2m unter der Oberfläche vergrabenen, 101 km langen Segments der Ruhrgas-Leitung RG 26 in der Oberpfalz zwischen Waidhaus und Nürnberg (Abb. 2) soll die Möglichkeit einer großräumigen magnetotellurischen Tiefensondierung aufgezeigt werden.

Im Winter 1982/83 wurde zusammen mit den Komponenten der magnetischen und tellurischen Variationen H , D , Z , E_N , E_E als zusätzliche Meßgröße das Bohr/Boden-Potential U_R , welches zwischen dem gegenüber dem umgebenen Erdreich elektrisch isolierten Rohrmantel und einer in unmittelbarer Nähe vergrabenen $Cu/CuSO_4$ -Elektrode abgegriffen wird (Abb. 1 Mitte), an drei verschiedenen Orten längs der Leitung kontinuierlich aufgezeichnet. Die Station GSB lag über jurassischen Sedimenten, VOH und WAI im Kristallin des Oberpfälzer Waldes (Abb. 2); bei Nürnberg und Waidhaus befanden sich elektrische Trennstellen (Abb. 1, links), wobei für einen Zeitraum von 6 Wochen die Trennstelle in Waidhaus überbrückt und dadurch die Leitung etwa 50 km in den Bereich der CSSR hinein elektrisch verlängert wurde.

Der Registrierausschnitt in Abb. 3 zeigt einen ssc mit Variationen von mehreren 100 nT in H und D . Die Schwankungen von U_R in GSB sind sehr gut mit der zeitlichen Ableitung von H korreliert und betragen mehrere Volt, während in WAI U_R sehr klein bleibt (veränderter Maßstab!) und sich GSB gegenüber eine Phasenumkehr andeutet. Die Nord-Süd-Komponente E_N des tellurischen Feldes übertrifft in ihren Variationen deutlich die Ost-West-Komponente E_E .

In der Analyse werden Perioden zwischen 6 min und 1 h untersucht. Direkte Induktion im Rohrmantel darf deshalb trotz

des geringen spezifischen Widerstandes des Stahlrohrmantels, $\rho \sim 0,18 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$, vernachlässigt werden. Bei perfekter Isolierung gegen das umgebende Erdreich entspricht der Rohrmantel einer Äquipotentialfläche im tellurischen Feld. Abb. 4 zeigt den Potentialverlauf über homogenem Untergrund längs der Leitung bei magnetischer Anregung in Nord-Richtung. Schwankungen von U_R spiegeln demnach tellurische Variationen wieder, wobei Amplitude und Phase von U_R vom Ort y und der Länge l der Rohrleitung abhängen. So sollte zwischen zwei Punkten beiderseits des Knotenpunktes P eine Phasenumkehr von 180° im zeitlichen Verlauf von U_R erscheinen. Wird die Rohrleitung elektrisch verlängert, wandert P in Richtung der überbrückten Trennstelle. Für die verschiedenen Rohrlängen l_1 und l_2 tritt dann an einem Ort l_0 nahe P die gleiche Phasenumkehr auf.

Unter der Voraussetzung einer linearen Abhängigkeit zwischen U_R und den zeitlichen Ableitungen von H und D wird im Frequenzbereich ein bivariater Ansatz unternommen,

$$U_R(f, y) = \alpha(f, y)H(f) + \beta(f, y)D(f) + \delta U_R(f) \quad (1)$$

mit δU_R als unkorreliertem Anteil von U_R ; das anregende Magnetfeld zeigte sich im Meßgebiet räumlich homogen, so daß auf eine Ortsabhängigkeit verzichtet wird. D erwies sich als nicht korreliert mit U_R , so daß auf die Übertragungsfunktion β nicht näher eingegangen wird. In Abb. 5 ist α für die Station WAI im Frequenzbereich zwischen 1 und 10 cph in der komplexen Ebene aufgetragen. Die Punkte beziehen sich auf die Registrierperiode mit, die Kreuze auf den Zeitraum ohne elektrische Verlängerung der Rohrleitung. Die für jede Frequenz klar erkennbare 180° -Phasenverschiebung (Spiegelung am Ursprung des Koordinatenkreuzes) wird, ebenso wie die unterschiedlichen Amplituden, auf eine Verschiebung des Knotenpunktes (Abb. 4) zurückgeführt.

Das Modell der Rohrleitung als Äquipotentialfläche läßt die Berechnung eines mittleren tellurischen Feldes $\bar{E}_{y_1,2}(f)$ zwischen zwei Orten y_1 und y_2 , an denen U_R gemessen wurde, zu:

$$\bar{E}_{y_1,2}(f) = [U_R(f, y_1) - U_R(f, y_2)] / [y_1 - y_2] \quad (2)$$

Der Vergleich von (1) und (2) mit dem üblichen Ansatz für das tellurische Feld,

$$E_y(f) = Z_{yx}(f)H(f) + Z_{yy}(f)D(f) \quad (3)$$

ergibt

$$\bar{Z}_{yx_{1,2}}(f) = [\alpha(f, y_1) - \alpha(f, y_2)] / [y_1 - y_2] \quad (4)$$

als neue Möglichkeit, Schätzwerte einer mittleren Impedanz $\bar{Z}_{yx_{1,2}}$ zwischen y_1 und y_2 zu bestimmen.

Abb. 6 gibt eine Übersicht über die zwischen den jeweiligen Stationen nach (4) ermittelten Impedanzen unter Berücksichtigung der zwei verschieden langen Rohrleitungssegmente. Bei perfekter Isolierung der Leitung sollte die Impedanz zwischen zwei Orten unabhängig von der Rohrlänge sein! Jedoch nimmt \bar{Z}_{yx} zwischen VOH und WAI nach Zuschalten der CSSR-Leitung sowohl für Imaginär- als auch Realteil ab, für \bar{Z}_{yx} zwischen GSB und VOH tritt der umgekehrte Effekt auf. Während die zum Teil negativen Werte nicht erklärt werden können, wird die Abnahme der Impedanz zwischen VOH und WAI auf zusätzliche Fehlstellen in der Rohrisolierung östlich der Trennstelle und den daraus resultierenden höheren Leckstrom zurückgeführt. In diesem Fall entspricht die Rohrleitung nur näherungsweise einer Äquipotentialfläche und aus (2) wird eine Ungleichung. Tatsächlich wurden in VOH gemäß der Anordnung in Abb. 1 (Mitte) Stromschwankungen bis zu 50 A gemessen.

Die beobachtete Phasenumkehr in WAI ermutigte jedoch auf der Grundlage des Modells der Äquipotentialfläche zu einer $\beta^* - z^*$ -Darstellung der Impedanz im Frequenzbereich zwischen 1 und 10 cph nach Schmucker (1979) in Abb. 7. Für ihre Berechnung nach (4) wurden dabei die Übertragungsfunktionen der Stationen GSB und WAI bei zugeschalteter CSSR-Leitung verwendet. Ein deutlicher Anstieg des scheinbaren spezifischen Widerstandes von 20 bis 60 Ωm mit abnehmender Tiefe zwischen 110 und 100 km

wird fortgesetzt von einer stabilen Zone mit $50-60 \Omega\text{m}$ bis zu einer Tiefe von 60 km. Ausführlichere Untersuchungen müssen klären, ob diese, zunächst vernünftig scheinenden Ergebnisse für regionale magnetotellurische Studien verwertbar sind.

Literatur:

Campbell, W.H.: Observation of electric currents in the Alaska oil pipeline resulting from auroral electrojet current sources, Geophys. J.R. Astron. Soc. 61, 437-449, 1980

Schmucker, U.: Erdmagnetische Variationen und die elektrische Leitfähigkeit in tieferen Schichten der Erde, Sitzungsberichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (Hg. K.H. Olsen), Sonderheft 4: Beiträge zur Geowissenschaft, 1979

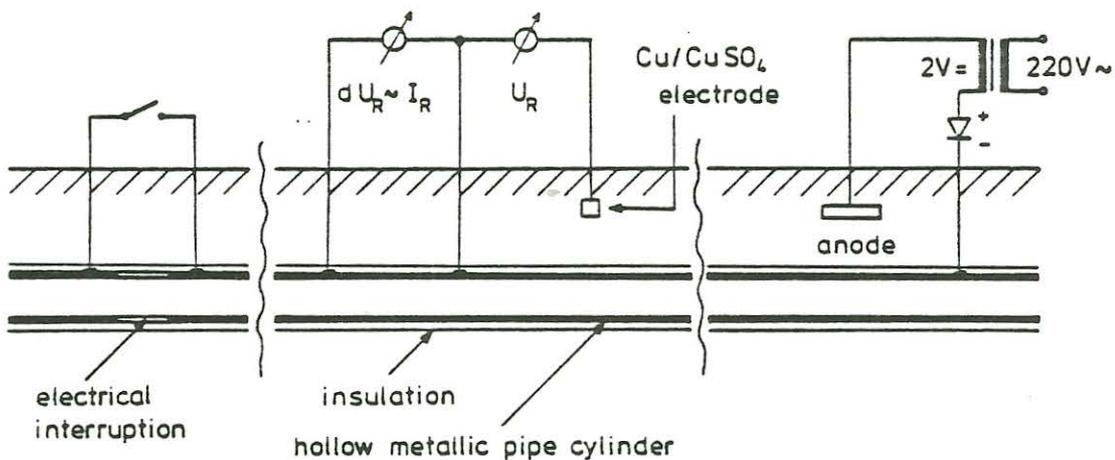


Abb. 1: Prinzip des kathodischen Korrosionsschutzes (rechts), Messung des Rohr/Boden-Potentials U_R und des Rohrstroms I_R (mitte), sowie Überbrückung der elektrischen Trennstelle (links).

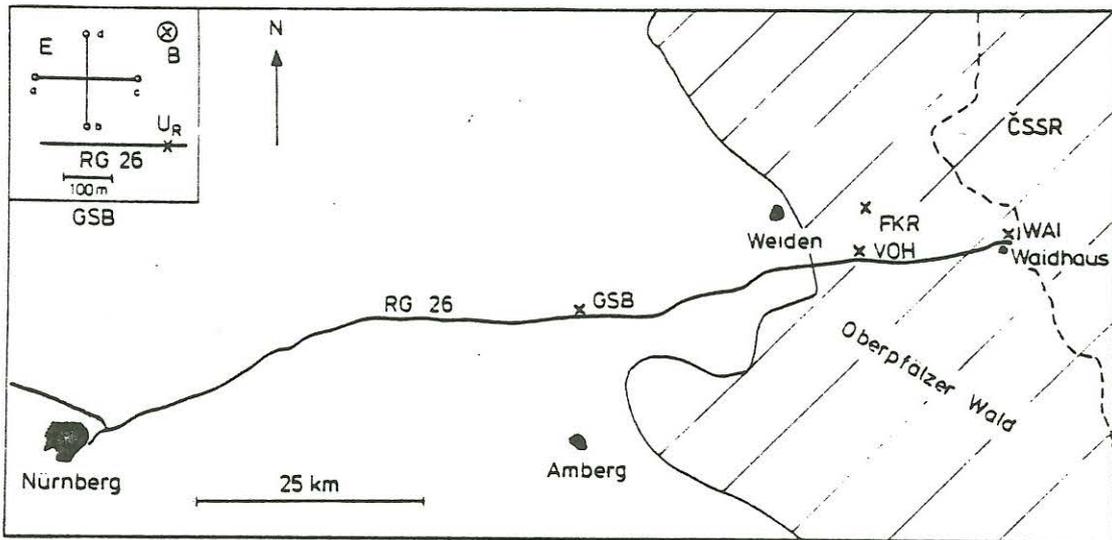


Abb. 2: Lage der Meßstationen entlang der Ruhrgasleitung RG 26 sowie Anordnung der Meßapparaturen im Gelände bei GSB (links oben) mit B Magnetfeldsensor, E (a, b, c, d) Tellurikelektroden, U_R Rohr/Boden-Potential). Schraffiert: Paläozokikum des Oberpfälzer Waldes, weiß: mesozoische Sedimente.

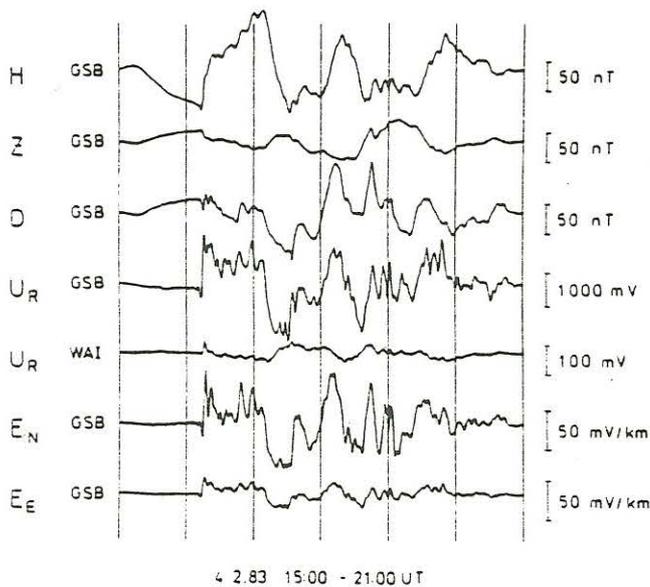


Abb. 3: Ein ssc am 4. Feb. 1983 um 16.14 UT für die Stationen WAI und GSB. H, D, Z: Komponenten des erdmagnetischen Feldes, U_R : Rohr/Boden-Potential, E_N , E_E : Komponenten des tellurischen Feldes. Der Abstand zwischen zwei Zeitmarken beträgt 1 h.

Abb. 4: Potentialverlauf bei magnetischer Anregung in N-Richtung über einem homogenen Halbraum. Die Variationen von U_R werden allein durch U_S bestimmt. Verschieden lange Leitungsegmente l_1 und l_2 ergeben unterschiedliche Potentialdifferenzen U_R .

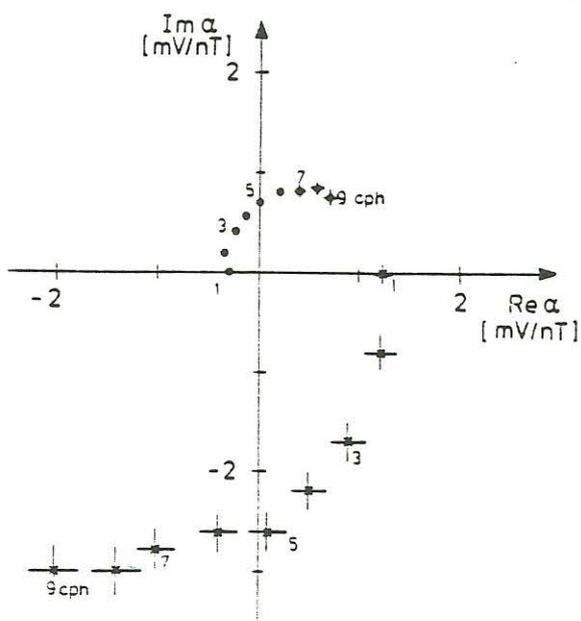
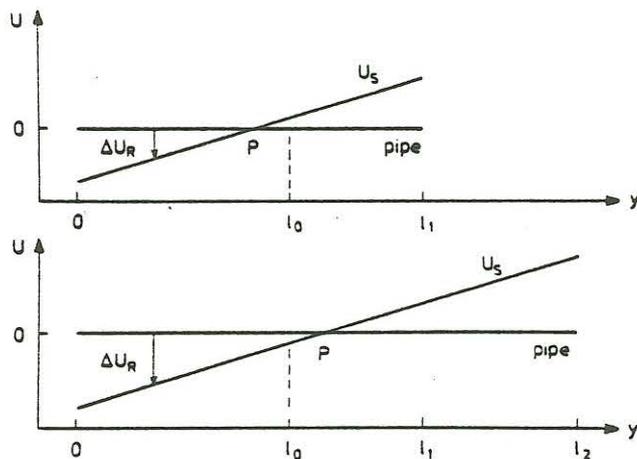


Abb. 5: 180° -Phasenverschiebung der Übertragungsfunktion α (1) an der Station WAI für Frequenzen von 1 - 9 cph, aufgetragen in der komplexen Ebene. Punkte mit, Kreuze ohne elektrische Verlängerung in die CSSR.

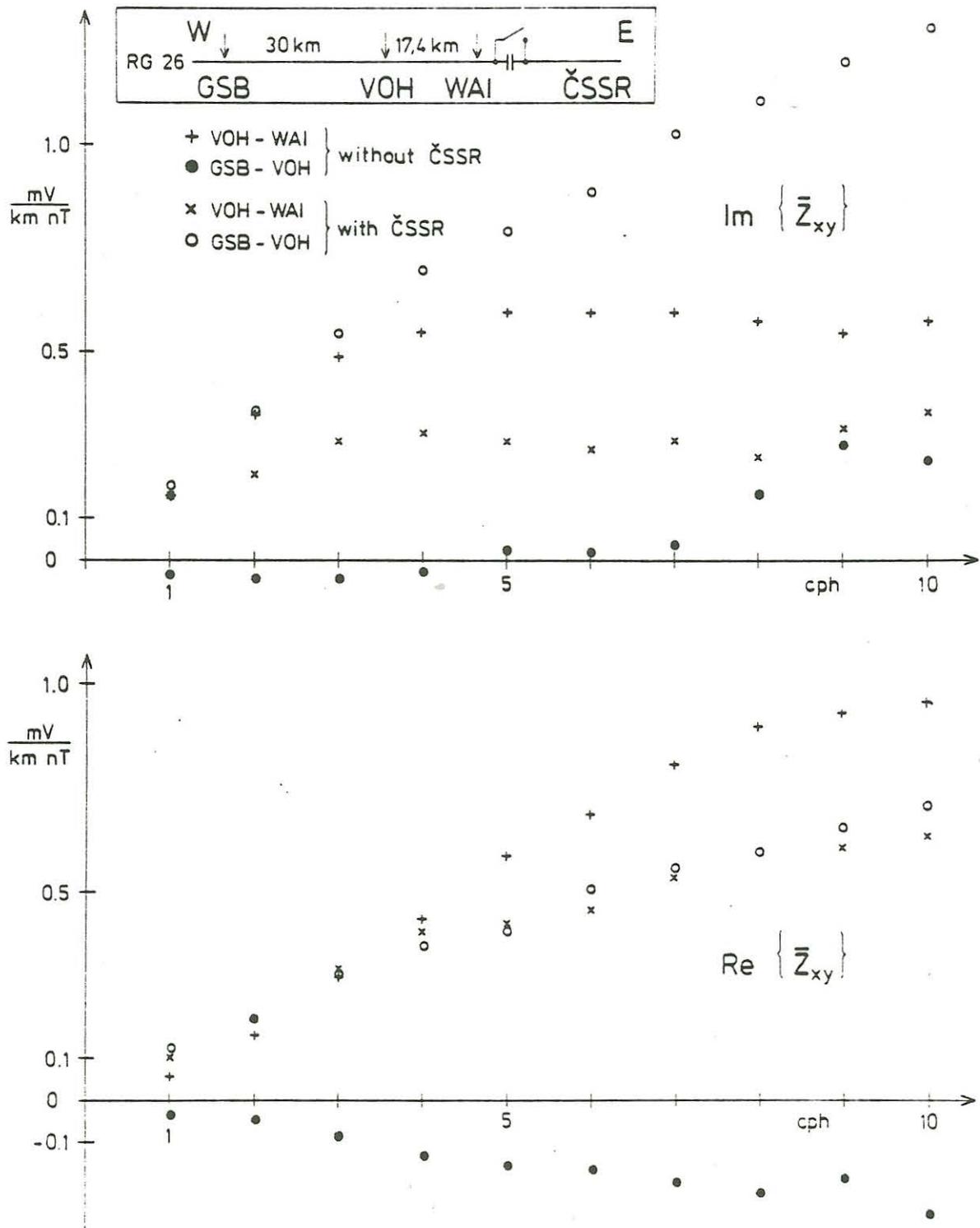


Abb. 6: Real- und Imaginärteil der mittleren Impedanz \bar{Z}_{xy} nach (4) mit und ohne zugeschalteter CSSR-Leitung zwischen den Stationen GSB und VOH bzw. VOH und WAI für Frequenzen von 1-10 cph.

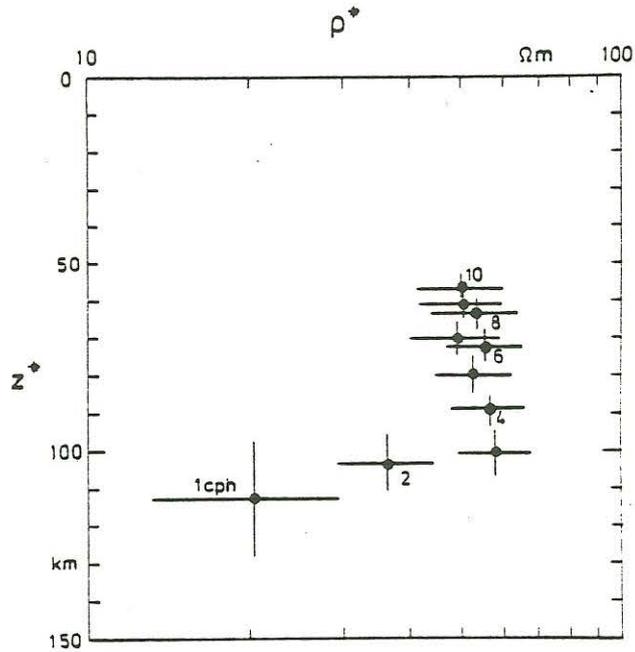


Abb. 7: Komplexe Eindringtiefen für den Frequenzbereich von 1 - 10 cph, berechnet nach (4) aus Übertragungsfunktionen an den Stationen GSB und WAI bei zugeschalteter CSSR-Leitung.