

K.-M. Strack

'All Time' Definition des scheinbaren spezifischen Widerstandes
für die LOTEM-Methode

Bei der ersten Betrachtung der LOTEM-Methode taucht immer wieder die Frage nach einer Definition des scheinbaren spezifischen Widerstandes, die für alle Zeiten gültig ist, auf. In diesem Beitrag möchte ich die Bedeutung und Möglichkeiten einer solchen Definition aufzeigen, insbesondere da ich glaube, daß die eigentliche Bedeutung einer eindeutigen Funktion des scheinbaren spezifischen Widerstandes für alle Zeiten in den Veröffentlichungen von Cheng (1986) und Spies (1986) überbewertet wird. Dieses liegt hauptsächlich daran, daß die Interpretation zum größten Teil mit Inversionsverfahren durchgeführt wird. Bei der Inversion werden jedoch exakt berechenbare Spannungen (bzw. die direkt proportionalen 'early time' scheinbaren Widerstände) angepaßt, und dem Programm ist es somit 'egal', welche Größen miteinander verglichen werden. Vorteil einer scheinbaren Widerstandsdefinition für alle Zeiten wäre die Erstellung von Pseudoprofilschnitten bzw. direkten Tiefendarstellungen in Form von Konturdiagrammen bzw. Sektionen ähnlich seismischer Sektionen.

Sheriff's (1984) Definition des scheinbaren Widerstandes kann auch folgendermaßen ausgedrückt werden:

Der scheinbare spezifische Widerstand ist der Widerstand eines homogenen Halbraums, der unter den gleichen geometrischen Bedingungen die gemessene Spannung liefert.

Generell gilt diese Definition für alle geoelektrischen Verfahren. Für die LOTEM-Methode ist jedoch die Spannung des Halbraums in einer höheren Potenz als 1 abhängig vom Widerstand des Untergrundes.

$$V(t) = \frac{3 M_o A y}{2 \pi r^5} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{u}{\sqrt{2}} \right) - \sqrt{\frac{2}{\pi}} u \left(1 + \frac{u^2}{3} \right) e^{-u^2/2} \right] \quad (1)$$

$$u = \frac{2 \pi r}{\tau} \quad \text{und} \quad \tau^2 = \frac{8 \pi^2 \rho t}{\mu_o}$$

Hierbei ist M_0 das Dipolmoment (Strom x Dipollänge), A die äquivalente Spulenfläche des Empfängers, y und r sind die Ortskoordinaten des Empfängers und t die Zeit.

Obwohl $V(t)$ eindeutig lösbar ist für alle Widerstandswerte und alle Zeiten t , kann man jedoch den Widerstand ρ als Funktion der Zeit nicht eindeutig für alle Zeiten bestimmen, was mit der oben erwähnten Abhängigkeit der Meßspannung vom Widerstand abhängt. Daher bildet man die zeitlichen Grenzwerte obiger Gleichung für Zeiten $t \rightarrow 0$ und $t \rightarrow \infty$ ('early time' und $t \rightarrow \infty$ 'late time'). Man erhält somit zwei asymptotische scheinbare Widerstandsformeln, die obige Definition erfüllen.

$$\frac{\rho_a^{\text{E.T.}}}{\rho_1} = \frac{V(t)_m}{V(t)_{\text{E.T.}}^{\text{H.S.}}} \quad \text{oder} \quad \rho_a^{\text{E.T.}} = \frac{2\pi r^5}{3M_0 A y} V(t)_m \quad (2)$$

$$\frac{\rho_a^{\text{L.T.}}}{\rho_1} = \left(\frac{V(t)_{\text{L.T.}}^{\text{H.S.}}}{V(t)_m} \right)^{2/3} \quad \text{oder} \quad \rho_a^{\text{L.T.}} = \left(\frac{M_0 A y}{40\pi\sqrt{\pi} V(t)_m} \right)^{2/3} \left(\frac{\mu_0}{t} \right)^{5/3} \quad (3)$$

wobei $\rho_a^{\text{E.T.}}$ = 'early time' scheinbarer Widerstand und

$\rho_a^{\text{L.T.}}$ = 'late time' scheinbarer Widerstand,

$V(t)_m$ = Meßspannung

Für die scheinbare Widerstandsdefinition, die für alle Zeiten gültig ist, sollen die gleichen Randbedingungen wie für obige Definition gelten, nämlich: $\rho_a \rightarrow \rho_1$ für $t \rightarrow 0$ und $\rho_a \rightarrow \rho_n$ für $t \rightarrow \infty$, wobei ρ_n der Widerstand der n-ten Schicht ist.

Definition I:

Die unmittelbarste Definition ist die von Kaufman (Kaufman und Keller, 1983)

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = \left(\frac{V_{\text{H.S.}}^{\text{H.S.}}(t)}{V_m(t)} \right)^{2/3}, \quad \text{wobei } \rho_1 \text{ der Widerstand der ersten Schicht ist.} \quad (4)$$

Da diese Definition für $t \rightarrow \infty$ gleich der 'late time' ρ_a -Formel ist, ergibt sich für $t \rightarrow \infty$, $\rho_a = \rho_n$. Für $t \rightarrow 0$ nähert sich die gemessene Spannung der Halbraumspannung mit dem Widerstand der ersten Schicht. Die erste Randbedingung ist somit auch erfüllt. Sollte t jedoch nur in der Nähe von 0 oder die erste Schicht sehr dünn sein, so ist es notwendig, den Widerstand der ersten Schicht zu wissen, da aufgrund des Exponenten ρ_1 nicht aus der Formel verschwindet. Dies ist ein wesentlicher Nachteil, da man bei Feldmessungen in der Regel den Widerstand der ersten Schicht nicht kennt.

Definition II:

Eine weitere Methode, eine ρ_a -Formel für den gesamten Zeitraum zu erhalten, basiert auf dem von Stoyer (1982) vorgeschlagenen Verfahren:

Der scheinbare Widerstand ist das Verhältnis einer Funktion der gemessenen Spannung zu der gleichen Funktion der Spannung eines homogenen Halbraumes mit dem Widerstand ρ_H multipliziert mit ρ_H .

$$\rho_a = \rho_H \frac{F(\rho_a^{E.T.}, \rho_a^{L.T.})}{F(\rho_a^{E.T.}, \rho_a^{L.T.})_H} \quad (5)$$

wobei $F(\rho_a^{E.T.}, \rho_a^{L.T.}) = \rho_a^{E.T.} \frac{t_c^2}{t^2 + t_c^2} + \rho_a^{L.T.} \frac{t^2}{t^2 + t_c^2}$

mit $\rho_a^{E.T.}, \rho_a^{L.T.}$ = Scheinbarer Widerstand nach Gleichung
und

t_c = Zeitpunkt des kleinsten Abstandes zwischen
der 'early time'- und 'late time'-Kurve

Diese Definition erfüllt ebenso wie die erste beide Randbedingungen. Nachteil ist jedoch, daß 'early' und 'late time' ρ_a -Werte ausgerechnet werden müssen.

Definition III:

Für die dritte Definition kann man die ursprüngliche Definition des scheinbaren Widerstandes ansetzen. Ohne jegliche Kenntnis obiger Widerstandsformeln kann man mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate den ρ -Wert bestimmen, der in Gleichung (1) (Spannung über dem Halbraum) eingesetzt, eine Halbraumspannung liefert, die gleich der Meßspannung ist. Für die Zeiten, für die zwei oder gar kein Widerstandswert zu finden ist, kann mittels einer Splineinterpolation ein entsprechender Wert erhalten werden.

$$\rho_a = \rho^{H.S.}(t) \text{ mit } V(t)^{H.S.} = V(t)_m \quad (6)$$

Auch diese Definition erfüllt die Randbedingungen.

Der Vorteil aller Definitionen ist, daß sie eine kontinuierliche scheinbare spezifische Widerstandskurve liefern. Definition I ist aufgrund der benötigten Vorkenntnis des Widerstandes der ersten Schicht unbrauchbar. Definition II und III erfordern diese Vorkenntnisse nicht, da sie auf numerischen Interpolationsverfahren beruhen. Beide haben jedoch den Nachteil, der in den Abbildungen 1 und 2 deutlich wird. Es ergibt sich für manche Widerstandskontraste eine zusätzliche Kurvenkrümmung in den scheinbaren Widerstandskurven. Diese scheinbare Kurvenkrümmung hat zwei Ursachen, die eine liegt darin, daß die scheinbare Widerstandskurve auf einem numerischen Interpolationsverfahren basiert, wo kein eindeutiger Widerstandswert für den Halbraum zu finden ist. Andererseits gibt es Zeitbereiche, in denen das Feldverhalten der Induktionsströme vom Frühzeitbereich in den Spätzeitbereich überwechselt und in denen keine exakte Lösung gefunden werden kann. Sheng (1986) und Spies (1986) haben eine andere Art der Normierung als bei der ursprünglichen 'early' und 'late time'-Formel genommen und im Prinzip das gleiche erhalten wie mit Definition III.

Für die Definitionen II und III gilt, daß sie nur zu einer normierten Darstellung der Felddaten verwendet werden können. Es ist jedoch gefährlich, anhand dieser Kurven ein Startmodell für die Inversion abzuleiten, da durch die eventuelle zusätzliche Kurvenkrümmung ein Startmodell ausgewählt wird, was vom falschen Typus

ist. So sind zum Beispiel in Abbildung 2 zwei Kurven mit der Definition III aufgetragen für einen Vierschichtfall vom K-H-Typ. Die obere Kurve gibt jedoch ohne Kenntnis des Modelles ein H-K-H-Modell wieder. Dies ist sehr gefährlich für die Wahl eines Startmodelles, da man nach unseren Erfahrungen für eine stabile und schnelle Inversion zumindest den richtigen Modelltypus als Startmodell eingeben muß.

Aus diesem Grunde rate ich davon ab, die scheinbaren spezifischen Widerstandskurven für LOTEM-Messungen als wichtigste Darstellung der Daten zu benutzen. Ich halte es daher für wichtiger, eine völlig neue Darstellung der Meßergebnisse zu entwickeln, die ein ungefähres Widerstandsverteilungsbild des Untergrundes liefern.

Literatur:

Kaufman, A.A., Keller, G.V., 1983, Frequency and transient soundings, Elsevier, 685 pp.

Sheng, Y., 1986, A single apparent resistivity expression for long-offset transient electromagnetics, Geophysics 51(6), 1291-1297.

Sheriff, R.E., 1984, Encyclopedic dictionary of exploration geophysics, Society of Exploration Geophysics.

Spies, B.R. and Eggers, D.E., 1986, The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods, Geophysics 51(7), 1462-1471.

Stoyer, C.H., 1982, GP671-T, TDEM processing principles, Colorado School of Mines, Golden, CO.

Ähnliche Diskussion auch in:

Strack, K.-M., 1985, Das Transient-Elektromagnetische Tiefensondierungsverfahren angewandt auf die Kohlenwasserstoff- und Geothermie-Exploration, Mitt. d. Inst. f. Geophysik u. Met. Uni Köln, 42, 188 pp.

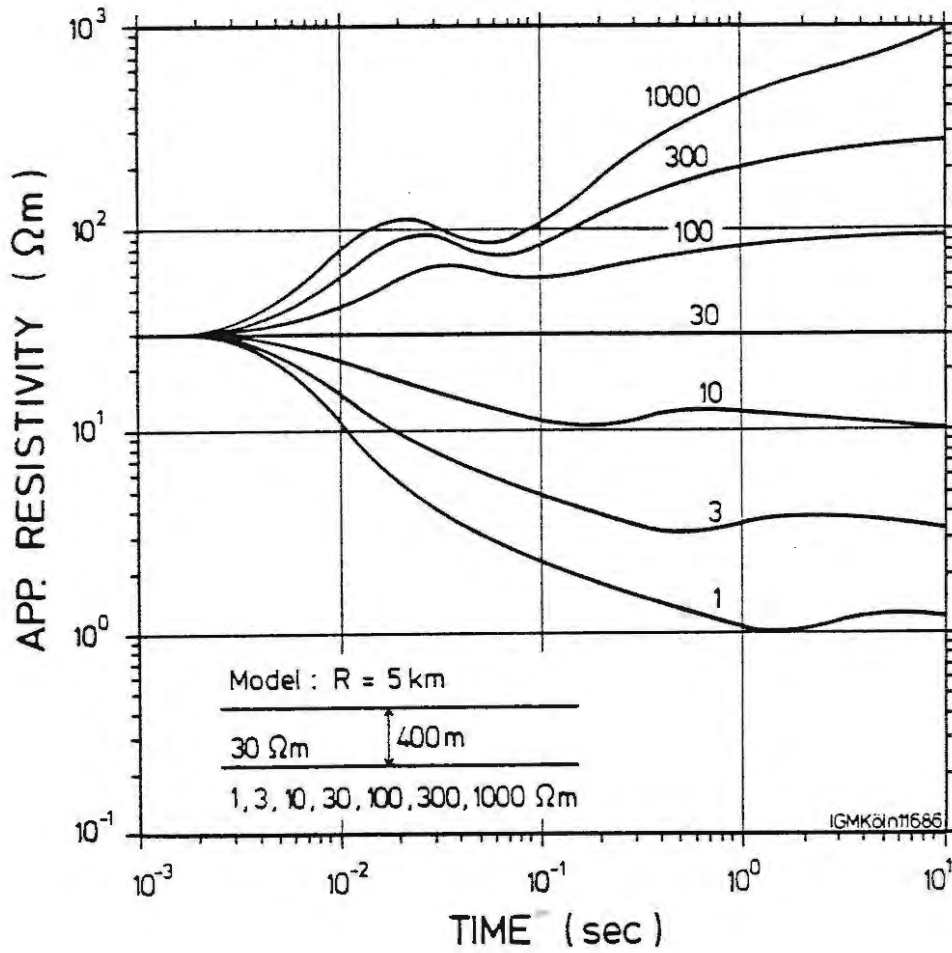


Abb. 1: Scheinbare Widerstandskurven für einen Zwei-Schicht-Fall für Definition II (nach Stoyer, 1982).

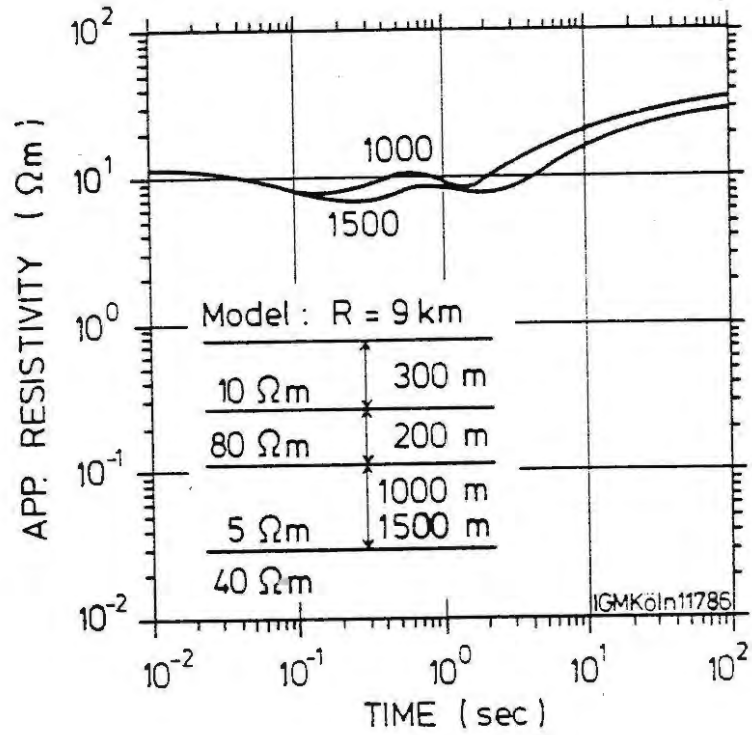


Abb. 2: Scheinbare Widerstandskurven für einen Vier-Schicht-Fall für Definition III.