

K. KEMMERLE, München

Die Standard-Auswertemethode für die Magnetotellurik am Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München in schematischer Darstellung

1. Bestimmung der Korrekturen für die registrierten "Stationszeiten" und der Eichfaktoren aus den Protokollblättern der Stationskontrollen; Erstellen eines "Registrierfahrplanes".
2. Auswahl von im elektrischen und magnetischen Feld zeitgleichen Intervallen nach den Kriterien: <sup>①</sup> möglichst wenig technische Störungen und Sondereffekte; <sup>②</sup> möglichst gleichmäßige Überdeckung des auswertbaren Periodenbereichs; <sup>③</sup> möglichst gleichverteilte Anregungsrichtungen. Es wird versucht, die Intervallgrenzen so zu legen, daß die wegen der Endlichkeit der Intervalle bei der Fourieranalyse entstehenden Fehler möglichst klein sind. Die Intervalle verschiedener E-Feld Stationen brauchen nicht übereinzustimmen. Übereinstimmung vermindert jedoch den Arbeitsaufwand (hier leistet der Registrierfahrplan gute Dienste).
3. Digitalisierung der ausgewählten Intervalle mit geeigneter Vorfilterung, um Aliasing zu vermeiden (GREINWALD, 1972). *Analysen!*  
Bei manueller Digitalisierung mittels Nachfahranlage werden die nicht äquidistanten Punktabstände durch Interpolation mit Polynomen 3. Grades äquidistant gemacht. Wunschweise Kontrollplot der digitalisierten bzw. interpolierten Daten.
4. Fourieranalyse; Korrektur der von den Geräten verursachten Amplituden- und Phasenänderungen. Ausgabe der Fourierkoeff. auf Lochkarten: jeweils ein Quadrupel (Real- und Imaginärteil der x- und y-Komp.) mit zugeordneter Periode, Intervall-Nr. und weiteren Größen auf einer Lochkarte; damit ist stets eine Identifizierung möglich.
5. Sortieren der Fourierkoeff. verschiedener Intervalle nach der Periode: entweder mechanisches Sortieren der Karten mittels einer Sortiermaschine oder mittels eines Programmes. Dabei werden die Koeffizienten verschiedener Intervalle vermischt. Wichtig ist dabei, daß im elektrischen und magnetischen Feld dieselbe Abfolge von Koeffizienten, d. h. dieselbe Reihenfolge der Karten, entsteht, damit die physikalische E-Feld - Magnetfeld Zuordnung erhalten bleibt. Durch die Abfolge der

Perioden (monoton fallend) und der Intervall-Nummern ist die Abfolge der jeweils dazu gehörigen Fourier-Koeffizienten eindeutig bestimmt. Gleiche Abfolge der Koeff. des elektrischen und magnetischen Feldes wird im Programm zur Berechnung des Impedanztensors kontrolliert.

Die im folgenden behandelten Größen sind eine Funktion der Periode. Die Berechnungen werden folglich jeweils für eine Gruppe von Fourierkoeff., denen benachbarte Perioden zugeordnet sind, durchgeführt. Der Mittelwert der Perioden wird den berechneten Größen als Periode zugeordnet. Die Gruppierung kann nach einer Standard-Einteilung, die im log. Maßstab annähernd konstante Intervalle bildet, geschehen oder beliebig mit und ohne Überlappung vorgenommen werden.

6. Minimale Kohärenz (HAAK, 1972): Berechnung der Kohärenz zwischen 2 orthogonalen Komponenten eines Feldes, d. h. Berechnung von  $koh(E_x', E_y')$  bzw.  $koh(H_x', H_y')$ . Das  $x', y'$ -Koord.-System wird von  $0^\circ$  in Schritten von  $2^\circ$  bis  $90^\circ$  gedreht. Ergänzen gemäß der 4-zähligen Rotationssymmetrie ergibt die Rosetten der Abb. 1. Es gibt 2 Richtungen, in denen die Kohärenz minimal ist. Beim E-Feld ist diejenige davon, die im Mittel die größere Feldamplitude aufweist, die Vorzugsrichtung. Bei 1-dimensionaler Leitfähigkeitsverteilung sind die Rosetten von E-Feld und Magnetfeld gleich. Das Koord.-System des E-Feldes wird nun so gedreht ( $x', y' \rightarrow x^*, y^*$ ), daß die  $y^*$ -Achse in Vorzugsrichtung zeigt.
7. Maximale Kohärenz (HAAK, 1972): Berechnung der Kohärenz zwischen je einer E-Feld- und Magnetfeld-Komponente, d. h. Berechnung von  $koh(E_x^*, H_x')$  bzw.  $koh(E_y^*, H_y')$ . Das Koord.-System des E-Feldes ist das  $x^*, y^*$ -System; das Koord.-System des Magnetfeldes wird von  $0^\circ$  in Schritten von  $2^\circ$  bis  $180^\circ$  gedreht. Ergänzung gemäß der 2-zähligen Rotationssymmetrie liefert die Rosetten der Abb. 2. Bei 1- und 2-dimensionaler Leitfähigkeitsverteilung sind die Richtungen der maximalen Kohärenz senkrecht ( $koh(E_y^*, H_y')$ ) bzw. parallel ( $koh(E_x^*, H_x')$ ) zur Vorzugsrichtung des E-Feldes. Abweichungen hiervon weisen auf 3-dimensionale Leitfähigkeitsverteilung oder inhomogene Anregung hin. Der Betrag der maximalen Kohärenz liefert eine

Aussage über die Qualität der Daten.

Das Koord.-System des Magnetfeldes wird nun in Richtung der maximalen Kohärenz gedreht ( $Hx', Hy' \longrightarrow Hx^{\wedge}, Hy^{\wedge}$ ).

8. Berechnung des Impedanztensors in den Koord.-Systemen der minimalen und maximalen Kohärenz durch Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate. Man erhält dabei den Impedanztensor in Hauptachsenform. Daraus Berechnung der  $g_s$ - und Phasenkurven mit Plot.

Variante: Die Punkte 6 und 7 können übersprungen werden. Der Impedanztensor wird dann für verschiedene Orientierungen der Koord.-Systeme der Felder berechnet. Durch sukzessives Eingrenzen werden diejenigen Koord.-Systeme bestimmt, in denen sich der Impedanztensor in Hauptachsenform ergibt. Bei Daten, die mit größeren Fehlern behaftet sind, liefert dieses Verfahren bessere Ergebnisse als die Rotation des einmal berechneten Impedanztensors, da mit jeder Drehung der Koord.-Systeme eine neue Fehlerverteilung verbunden ist (HAAK, 1972). Bei fehlerfreien Daten liefern beide Möglichkeiten dasselbe Ergebnis.

In Gebieten mit starken lokalen Anomalien der el. Leitfähigkeit an der Erdoberfläche hat sich gezeigt, daß die Richtung maximaler Kohärenz nicht von diesen lokalen Anomalien, so lange sie wesentlich kleiner sind als der Induktionsraum, beeinflußt wird, sondern regional konstant ist, während die Vorzugsrichtung von diesen lokalen Anomalien gedreht wird. In solchen Fällen liefert die Richtung maximaler Kohärenz wertvolle Information für die Zuordnung zur E- und H-Polarisation. Die lokale Drehung der Vorzugsrichtung führt dazu, daß die durch das Induktionsgesetz gekoppelten Feldkomponenten, die bei 1- und 2-dimensionaler Leitfähigkeitsverteilung orthogonal zueinander sind, beim Vorhandensein lokaler Anomalien schiefwinklig zueinander sein können. Dem entsprechend können auch die Koord.-Systeme des E-Feldes und des Magnetfeldes bei der Ausgleichsrechnung schiefwinklig zueinander sein (KEMMERLE, 1977).

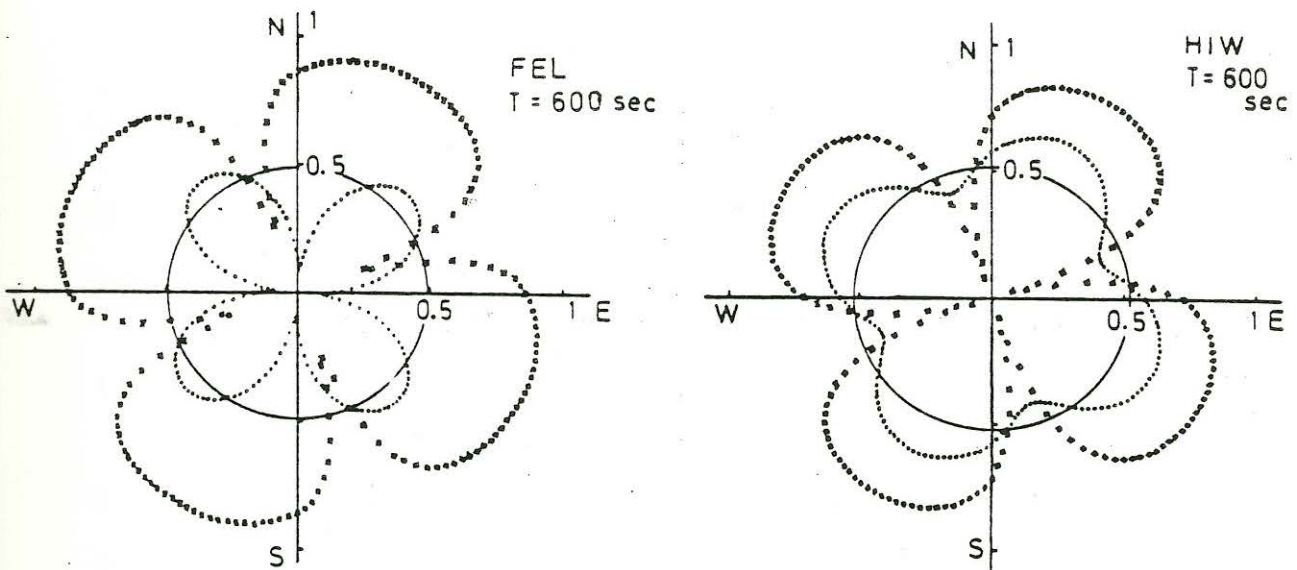


Abb. 1

Rosetten der minimalen Kohärenz für 2 Stationen. xxx = E-Feld (koh ( $E_{x'}$ ,  $E_{y'}$ )); ... = Magnetfeld (koh ( $H_{x'}$ ,  $H_{y'}$ )). Der eingezeichnete Kreis ist  $koh' = \sqrt{4 / (N-1)}$  mit  $N =$  Anzahl der Fourierkoeffizienten für die Periode  $T = 600$  sec;  $koh'$  ist der bei einer Zufallsverteilung von  $N$  Koeffizienten zu erwartende Wert für die Kohärenz.

FEL: Ausgeprägte Kohärenzminima beim Magnetfeld zeigen, daß keine gute Gleichverteilung der Anregungsrichtungen gegeben ist. Die Minima des E-Feldes liegen schiefwinklig zu denen des Magnetfeldes. Das zeigt, daß die Vorzugsrichtung des E-Feldes vom Untergrund erzeugt wird und nicht vom anregenden Magnetfeld.

HIW: Nur sehr schwache Minima im Magnetfeld, d. h. gute Gleichverteilung der Anregungsrichtungen. Die dennoch scharfen Minima des E-Feldes zeigen, daß eine ausgeprägte, vom Untergrund erzeugte Vorzugsrichtung existiert.

Abb. 2 (nächste Seite)

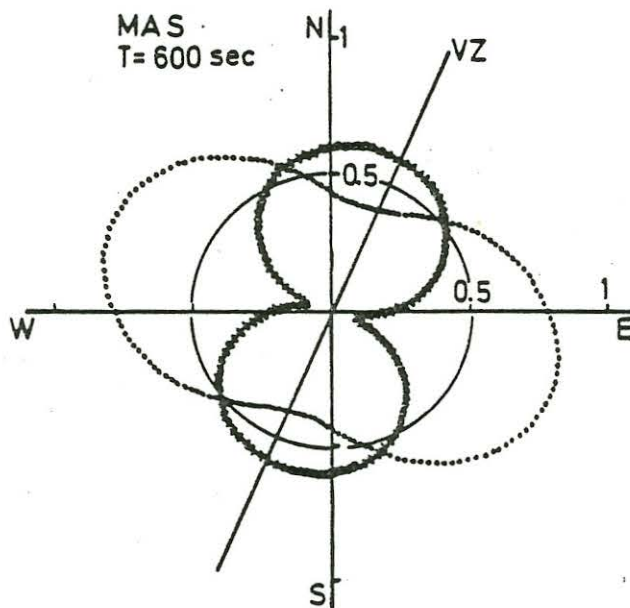
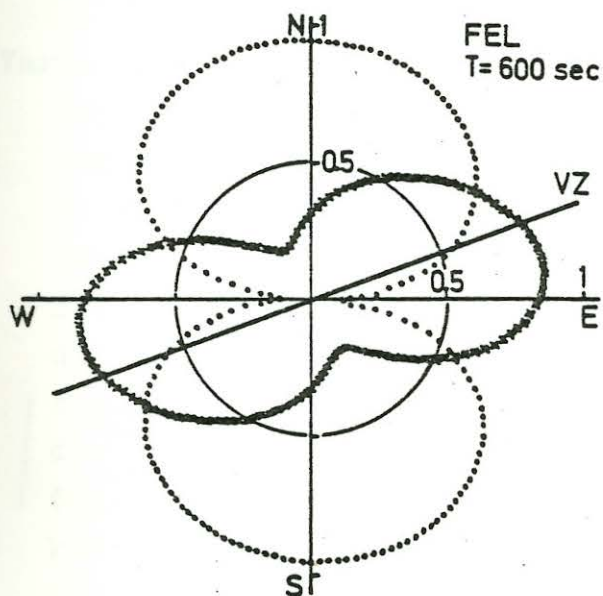
Rosetten der maximalen Kohärenz. xxx = koh ( $E_{x'}$ ,  $H_{x'}$ ), E-Feld-Komp. senkrecht zur Vorzugsrichtung VZ; ... = koh ( $E_{y'}$ ,  $H_{y'}$ ), E-Feld-Komp. parallel zur VZ. Der eingezeichnete Kreis ist wieder  $koh'$ .

Bei beiden Stationen ist die Richtung maximaler Kohärenz nicht parallel bzw. senkrecht zur Vorzugsrichtung, was auf eine

Drehung der Vorzugsrichtung durch lokale Anomalien schließen läßt, die der regionalen Drehung überlagert ist.

FEL: Die Kohärenzen erreichen Werte nahe 1; es ist ein vernünftiger Impedanztensor zu erwarten.

MAS: koh ( $E_x^*$ ,  $H_x'$ ) erreicht keine Werte nahe 1. Das Element  $z_{xx}$  des Impedanztensors wird folglich mit einem großen Fehler behaftet sein. Im gezeigten Beispiel ist dies eine Auswirkung der starken Polarisation des E-Feldes.



Beispiele für  $g_s$ - und Phasenkurven, die nach der beschriebenen Methode berechnet wurden, finden sich im Artikel von M. BEBLO in diesem Band.

#### Literatur:

- GREINWALD, S.: Ein Gerät zur Registrierung von Variationen des erdmagnetischen und erdelektrischen Feldes und die Bearbeitung der damit gewonnenen Meßwerte, demonstriert an zwei Stationen aus der Afarsenke. - Diss. Naturw. Fak. Univ. München, 1972.
- HAAK, V.: Magnetotellurik: Bestimmung der Übertragungsfunktionen in Gebieten mit lateraler Änderung der elektrischen Leitfähigkeit. - Z. Geophys. 38, 85-102, Würzburg 1972.
- KEMMERLE, K.: Magnetotellurik am Alpen-Nordrand mit Diskussion der lokalen Effekte und Darstellung einer Einzeleffekt-Auswertung. - Diss. Fachb. Geowiss. Univ. München, 1977.