

W. KERTZ, Braunschweig

"Erfahrungen mit unterschiedlichen Auswertemethoden
für Induktionsverfahren"

Dienstag, den 14.9.1971

Einleitung

Im Institut für Geophysik und Meteorologie der TU Braunschweig wurden in den letzten Jahren (zu Anfang unter Anleitung von Herrn UNTIEDT) 5 Diplomarbeiten mit ähnlicher Zielsetzung vergeben: HUNSCHE 1970, NAGEL 1971, NAUMANN 1970, RATHORE 1970 und VOELZ 1969.

Diese Arbeiten sollten dazu beitragen, die Entscheidung bei der Wahl der besten Auswertemethode für Induktionsverfahren zu erleichtern. Bis auf die Arbeit von Herrn NAGEL sind inzwischen alle Arbeiten fertiggestellt. Die Autoren haben - zumindest im letzten Teil ihrer Arbeit - weitgehend unabhängig voneinander gearbeitet, so gelangten sie auch zu isolierten Ergebnissen. Es erscheint daher als notwendig, Methoden und Ergebnisse nachträglich miteinander zu vergleichen, um das beste Verfahren herauszufinden. In unserem Institut wurde der Wunsch geäußert, daß dies durch unabhängige Referenten, nämlich durch Herrn UNTIEDT und Herrn SCHMUCKER, geschehen solle. Dies kam bisher nicht zustande, da noch nicht alle Arbeiten abgeschlossen sind. Andererseits scheint es mir an der Zeit, zumindest einen Vorbericht über diese Arbeiten zu geben.

Am Anfang stand die Freude an der Benutzung digitaler Filter (KERTZ 1965). Die Fig. 1 zeigt die Durchlaßfunktionen für die elementaren Filteroperatoren zu $r = 12$. Die zugehörigen W-Filter sind alle phasentreu. 1967 hatten wir herausgefunden, daß man in analoger Weise elementare Filteroperatoren - im folgenden U-Filter genannt - definieren kann, die die Phasen aller Einzelwellen um 90° verschieben. Die Durchlaßfunktionen der U- und W-Filter stimmen an den Stützstellen (ganzzahlige Werte von v) überein. Anstelle der cos-Koeffizienten treten sin-Faktoren:

$$W_{\kappa} = \frac{2}{r} \sum_{\tau=-r/2}^{+r/2} \epsilon_{\tau} \cos(\kappa \frac{2\pi}{r} \tau) V^{\tau} \quad (1)$$

$$U_{\kappa} = \frac{2}{r} \sum_{\tau=-r/2}^{+r/2} \sin(\kappa \frac{2\pi}{r} \tau) V^{\tau} \quad (2)$$

V ist der Verschiebungsoperator, $\epsilon_{\tau} = 1/2$ für $\tau = \pm r/2$ und $\epsilon_{\tau} = 1$.

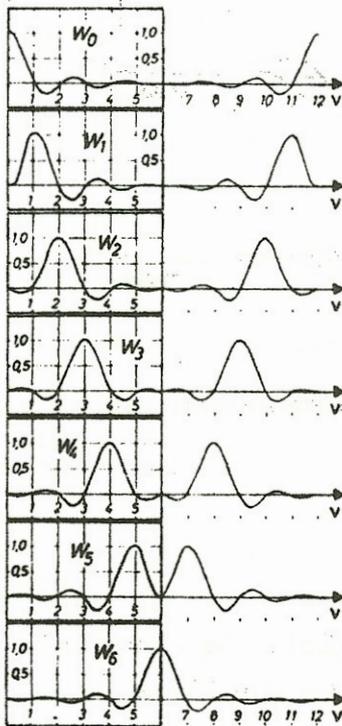


Fig. 1: Durchlaßfunktionen der elementaren Filteroperatoren zu $r = 12$.

1. Ergebnisse der Arbeit von VOELZ (1969)

Herr VOELZ rechnete mit Filtern zu $r = 12$, $\Delta t = 9$ Min, $T_1 = 108$ Min, $T_2 = 54$ Min. Die Fig. 2 zeigt Ergebnisse für eine erdmagnetische Registrierung in Getmold, oben: die digitalisierten Werte aus der Originalregistrierung und $W_1 + W_2$, in der Mitte: U_1 und W_1 und unten U_2 und W_2 . Aus dieser Registrierung (und vielen anderen) fand Herr VOELZ, daß U_1 im allgemeinen zu große Werte ergibt. Die Erklärung ergab sich aus einer genaueren Betrachtung der Durchlaßfunktionen für W_1 und U_1 , siehe Fig. 3. Beide Kurven stimmen an den Stützstellen überein, nicht aber dazwischen. Die Durchlaßfunktion von

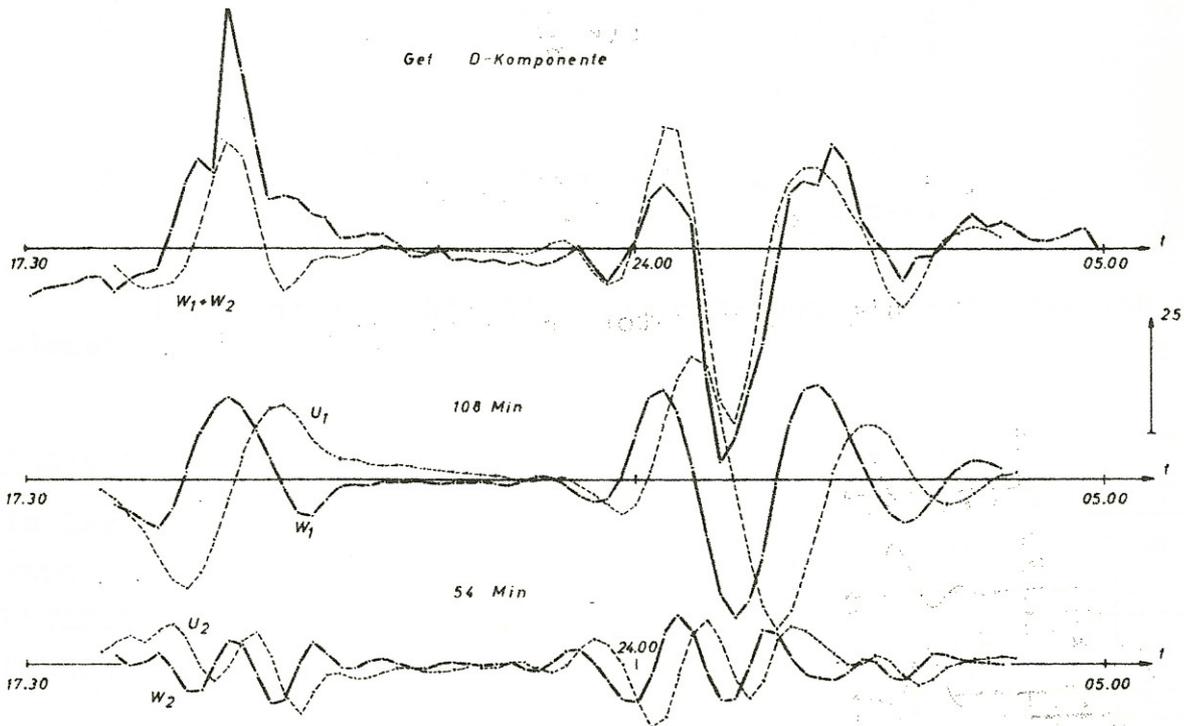


Fig. 2: Anwendung digitaler Filter auf die D-Komponente in Detmold am 25./26. März 1965.

U_1 zeigt größere Werte im langperiodischen Bereich. Da dort bei den magnetischen Variationen im allgemeinen große Amplituden vorkommen, ergibt sich der empirisch gefundene Unterschied zwischen U_1 und W_1 .

Zur Abhilfe wurden Filterkomplexe W_1W_1 und U_1W_1 angewandt. Die Fig. 4 zeigt die zugehörigen Durchlaßfunktionen. Man erkennt, daß die Abweichung im langperiodischen Bereich jetzt nicht mehr so stark ist. Nebenbei sind die Seitenbänder stark verkleinert. Die Fig. 5 bringt das Ergebnis von Filterungen mit den komplexen Filtern, die auf Registrierungen der D- und H-Komponente angewandt wurden. Die Kurven liefern jetzt vernünftige Werte. Man erkennt die 90° -Phasenverschiebung, sieht aber auch, wie die gefilterten Kurven das Größer- und Kleinerwerden der Amplituden mitmachen.

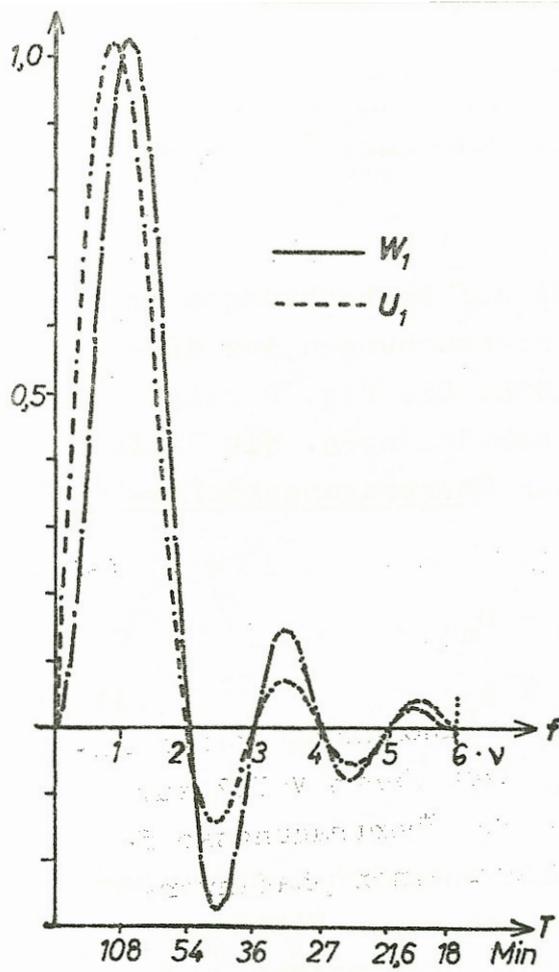


Fig. 3: Durchlaßfunktionen zu W_1 und U_1 .

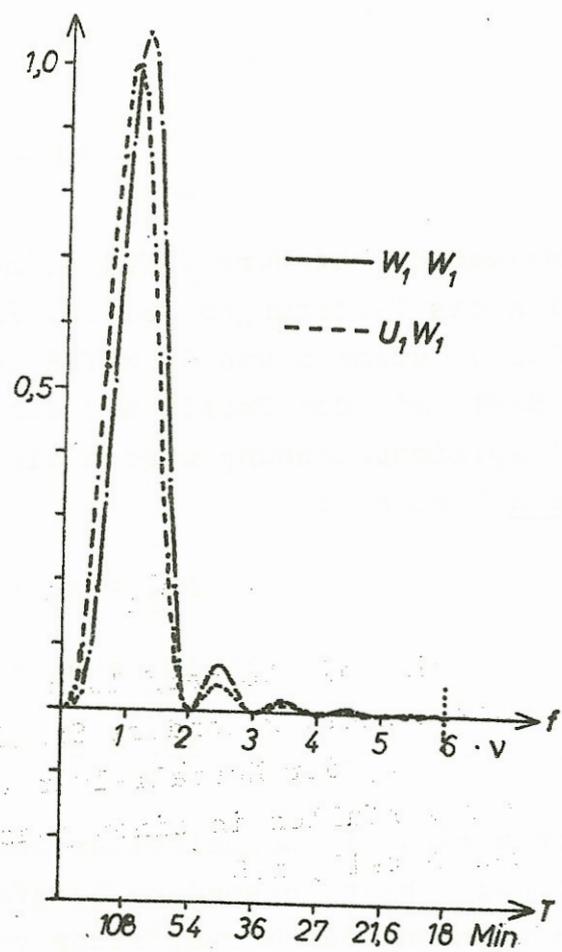


Fig. 4: Durchlaßfunktionen zu W_1W_1 und U_1W_1 .

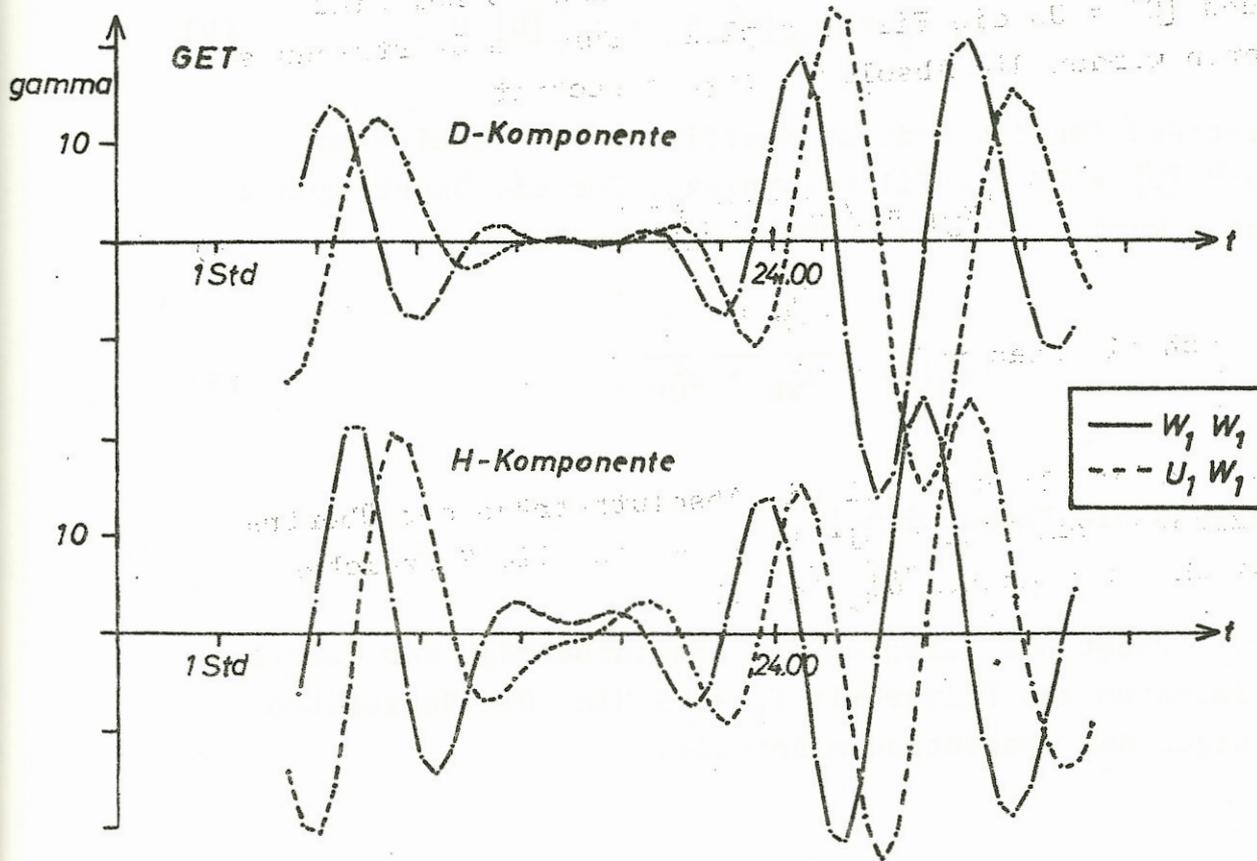


Fig. 5: Anwendung der Filterkomplexe auf die D- und H-Komponente in Getmold am 25./26. März 1965.

Angewendet hat Herr VOELZ seine Methode auf Beobachtungen im Bereich des Teutoburger Waldes. Frühere Untersuchungen aus diesem Gebiet stammen von O. MEYER und D. HESSE. Die Fig. 6 zeigt eine Karte mit dem Profil und den Stationsabkürzungen. Mit Hilfe der Ausgleichsrechnung wurden die folgenden Übertragungskoeffizienten berechnet:

$$\begin{aligned}\Delta Z_i &= z_H \cdot H_n + z_D \cdot D_n, \\ \Delta H_i &= h_H \cdot H_n + h_D \cdot D_n, \\ \Delta D_i &= d_H \cdot H_n + d_D \cdot D_n.\end{aligned}\tag{3}$$

Mit n sind die Normalfelder und mit i die anomalen inneren Anteile bezeichnet. Besondere Sorgfalt wurde von Herrn VOELZ auf die Berechnung der Normalfelder verwandt. Die Übertragungskoeffizienten zerfallen in einen phasentreuen und einen phasenverschobenen Anteil, z.B.

$$z_H H_n = z_{WH} [W] H_n + z_{UH} [U] H_n,\tag{4}$$

und entsprechend für die anderen Koeffizienten. Dabei sind $[W] = WW$ und $[U] = UW$ die Filterkomplexe. Für die Übertragungskoeffizienten wurden die Absolutbeträge berechnet:

$$|z_H| = \sqrt{z_{WH}^2 + z_{UH}^2},\tag{5}$$

und analog auch die Phasenwinkel.

Die Fig. 7 zeigt als Beispiel die Absolutbeträge der Übertragungskoeffizienten zum Filter mit $T_2 = 54$ Min. Die Vorzeichen sind diejenigen der phasentreuen Anteile.

Lage der Meßstationen und der Vergleichsstationen
Vergleiche hierzu Tabelle 1.

Sbk, Weh, Get, Huf, Lsa, Bec, Aug, Egg sind gestörte Stationen.
Wn, Gt, Fu sind die ungestörten Vergleichsstationen.



Fig. 6: Lage der Meßstationen

54 Minuten
 $v = 2$

		x		h		d	
Sbk	H	- 0,05	± 0,01	0,37	± 0,04	0,03	± 0,03
	D	- 0,05	± 0,01	0,31	± 0,07	- 0,10	± 0,02
Weh	H	- 0,33	± 0,02	+ 0,82	± 0,05	- 0,04	± 0,02
	D	- 0,20	± 0,02	0,60	± 0,08	- 0,09	± 0,01
Get	H	- 1,00	± 0,03	0,63	± 0,06	0,01	± 0,02
	D	- 0,68	± 0,06	0,48	± 0,06	- 0,06	± 0,01
Huf	H	- 0,77	± 0,03	+ 0,13	± 0,05	0,06	± 0,02
	D	- 0,57	± 0,05	0,10	± 0,03	- 0,08	± 0,01
Lsa	H	- 0,66	± 0,03	- 0,05	± 0,01	0,05	± 0,01
	D	- 0,63	± 0,02	+ 0,10	± 0,01	- 0,07	± 0,01
Bec	H	- 0,67	± 0,02	- 0,13	± 0,04	0,08	± 0,02
	D	- 0,54	± 0,04	- 0,04	± 0,01	- 0,04	± 0,01
Aug	H	- 0,54	± 0,03	- 0,19	± 0,04	0,09	± 0,02
	D	- 0,46	± 0,05	- 0,04	± 0,02	- 0,08	± 0,05
Egg	H	- 0,33	± 0,05	- 0,41	± 0,11	0,09	± 0,03
	D	- 0,35	± 0,08	- 0,09	± 0,02	- 0,34	± 0,21

Fig. 7: Beträge der Übertragungskoeffizienten für eine Filterperiode von 54 Min. (Vorzeichen siehe Text)

2. Ergebnisse der Arbeit von NAUMANN (1970)

Herr NAUMANN hat die Tiefensondierung im Rheingraben angewandt. Die Hauptaufgabe seiner Arbeit bestand in den eigentlichen Messungen. Es kam uns damals darauf an, schnell Ergebnisse zu erhalten. Deshalb wurde auch für die Auswertungen ein "Schnellverfahren" benutzt. Die Fig. 8 zeigt sein Profil. Als Stationsnamen benutzte er die Zahlen der Kilometer von der Mitte des Profils. Es wurde nur mit dem komplexen Filter W_1W_1 gefiltert. Mit Hilfe eines Rechenprogramms wurde in jedem halben Periodenintervall das Maximum aufgesucht und Quotienten mit den Maxima der anderen Komponente berechnet. Die Übertragungskoeffizienten selbst wurden durch Mittelung über viele Abschnitte gewonnen. Dabei mußten wir es in Kauf nehmen, daß die Phase verloren ging.

Meßprofil senkrecht zum Rheingraben bei Sasbach

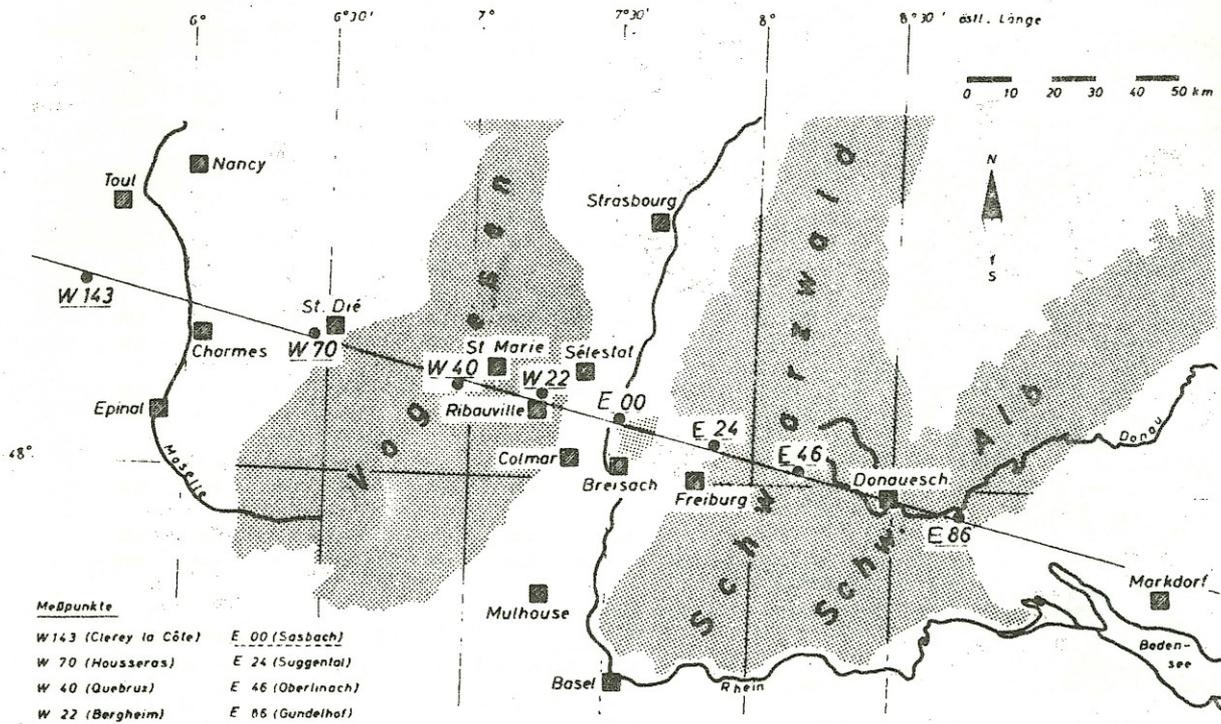


Fig. 8: Meßprofil

Bestimmt wurden

$$\Delta Z_{ia} = z_{an} D_n$$

(6)

$$\Delta D_{ia} = d_{an} D_n$$

Die Fig. 9 zeigt die horizontalen Übertragungskoeffizienten für die Perioden: 1080 sec = 18 Min; 3600 sec = 60 Min. und 5400 sec = 90 Min. Die Fig. 10 zeigt die entsprechenden Übertragungskoeffizienten $|z_{an}|$.

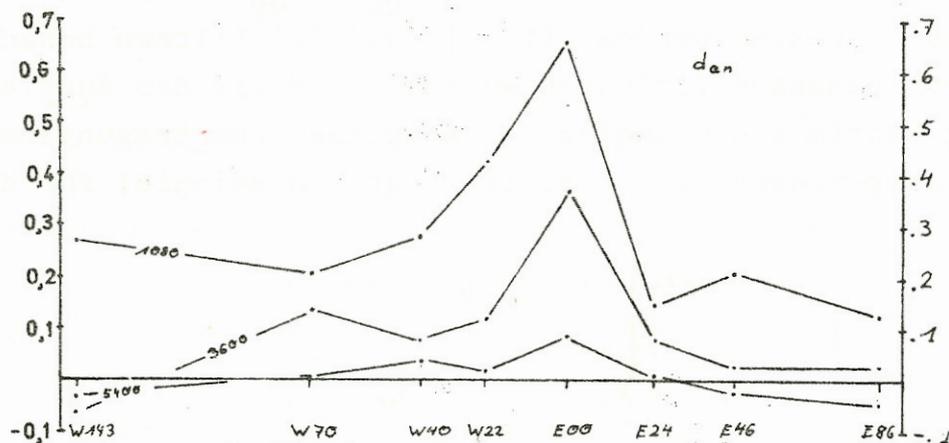


Fig. 9: Anomaler horizontaler Übertragungskoeffizient.

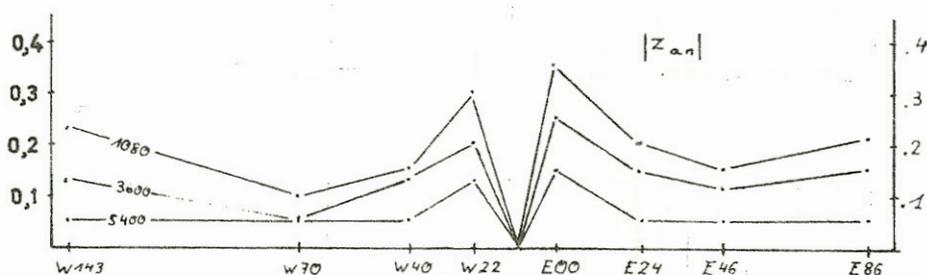


Fig. 10: Anomaler vertikaler Übertragungskoeffizient. Das Vorzeichen ist für den Westteil des Profils negativ, für den Ostteil positiv.

Wir möchten dieses Schnellverfahren nicht empfehlen, da der Verlust der Phase doch ein ganz wesentlicher Informationsverlust ist.

3. Ergebnisse der Arbeit von HUNSCHE (1970)

Die Arbeiten von VOELZ und NAUMANN gehörten in den Bereich der Tiefensondierung. Herrn HUNSCHE dagegen standen magnetotellurische Messungen, also E und H, und entsprechend kürzere Perioden zur Verfügung. Es bestimmte die Übertragungskoeffizienten

$$E_x = a_{xx} H_x + a_{xy} H_y ,$$

$$E_y = -a_{yx} H_x - a_{yy} H_y .$$

(7)

Im CAGNIARDSchen Fall hätte man $a_{xx} = a_{yy} = 0$ und $a_{xy} = a_{yx}$. Die Registrierdaten wurden mit $|W|$ - und $|U|$ -Filtern behandelt. Die Übertragungskoeffizienten wurden mit Hilfe der Ausgleichsrechnung bestimmt und analog den komplexen Übertragungskoeffizienten aufgetragen. Die Fig. 11 zeigt ein Beispiel für die

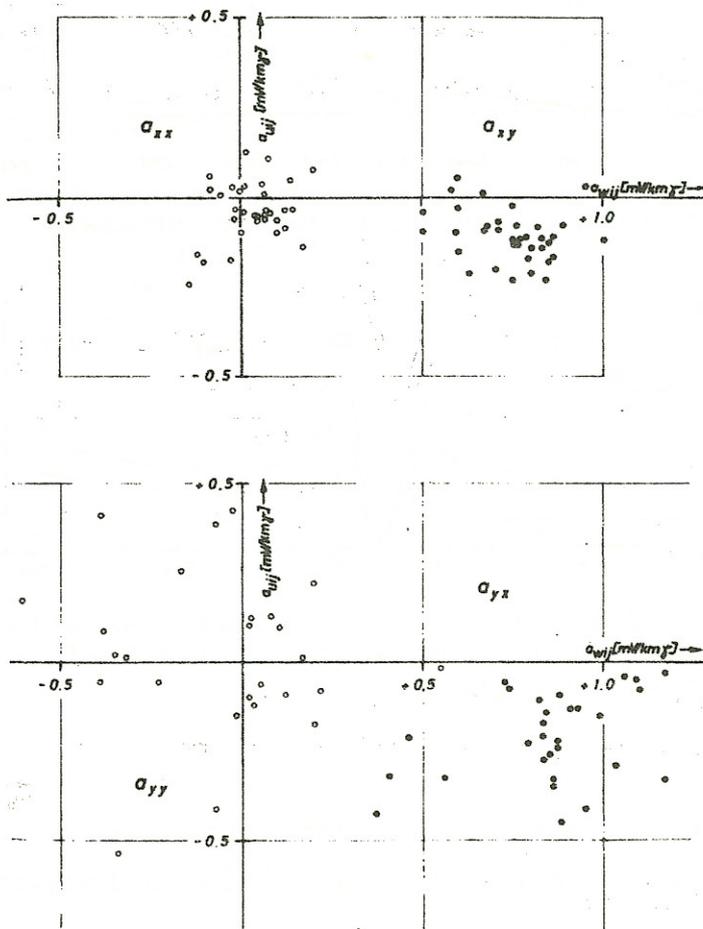


Fig. 11: Die aus jeweils 72 Meßwerten errechneten Übertragungskoeffizienten für $T = 27$ sec (ohne die unsicheren Werte).

Station Waldsee bei Speyer mit $T = 27$ sec. Zwar streuen die Einzelwerte ziemlich stark, doch erkennt man die Tendenz in Richtung auf den CAGNIARDSchen Fall. In Fig. 12 sind die Mittelwerte für a_{xy} mit den zugehörigen Fehlerellipsen aufgetragen. Man erkennt einen systematischen Periodengang. Zum Vergleich zeigt Fig. 13 die Übertragungskoeffizienten a_{yx} der beiden anderen Komponenten.

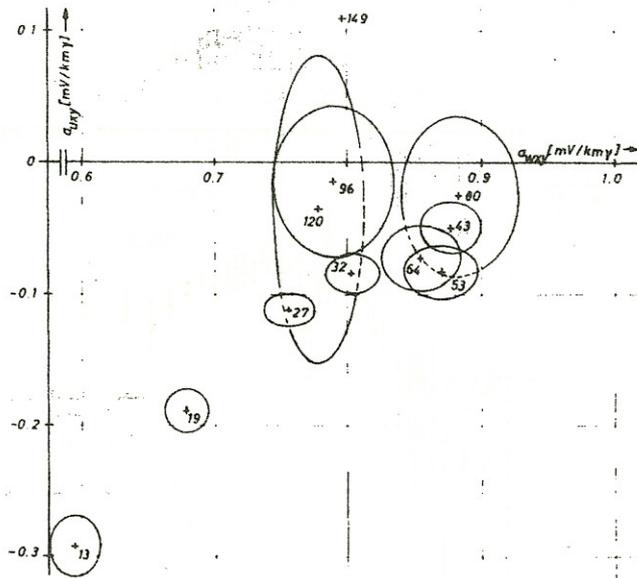


Fig. 12: Übertragungskoeffizienten a_{xy} mit ihren Streuellipsen. Parameter ist die Periode T in sec.

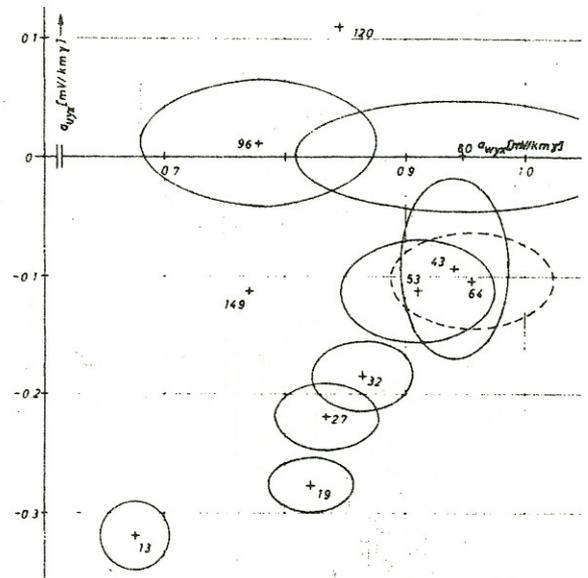


Fig. 13: Übertragungskoeffizienten a_{yx} . Darstellung wie Fig. 12.

4. Ergebnisse der Arbeit von RATHORE (1970)

Auch Herr RATHORE bearbeitete Daten der Magnetotellurik. Zur Auswertung benutzte er die "Schnelle Fourier-Transformation". Ich erspare mir hier eine eingehendere Beschreibung, da Herr SCHEELKE über eine ähnliche, allerdings verbesserte, Auswertemethode auf diesem Kolloquium berichtet. Ich beschränke mich deshalb darauf, zwei Bilder (Fig. 14 und 15) aus der Arbeit von Herrn RATHORE zu zeigen. Es handelt sich um die Absolutbeträge der Übertragungskoeffizienten für die Station Marwede bei Celle. Die Balken kennzeichnen die mittleren quadratischen Abweichungen. Wegen des logarithmischen Maßstabes sind sie unsymmetrisch.

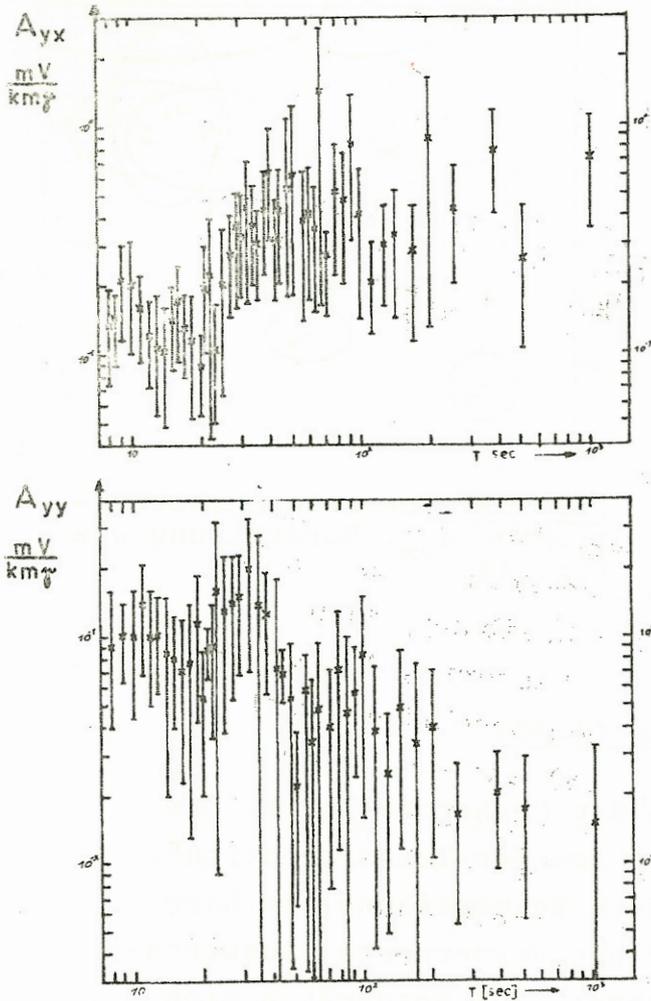


Fig. 14: Absolutbeträge der Übertragungskoeffizienten A_{yx} (oben) und A_{yy} (unten).

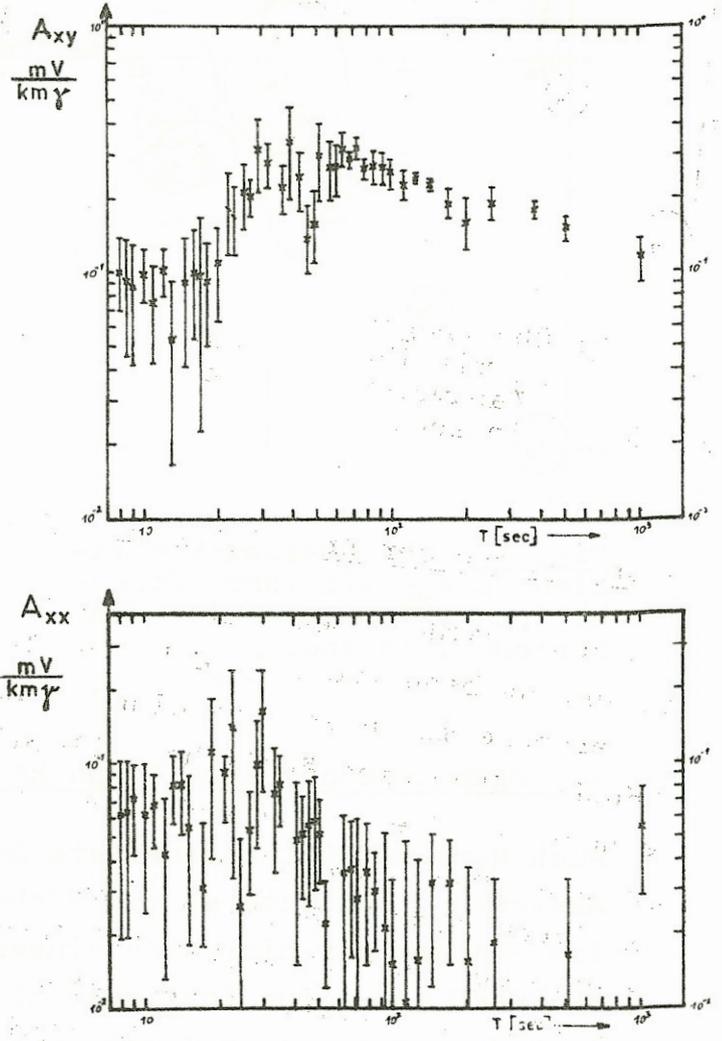


Fig. 15: Absolutbeträge der Übertragungskoeffizienten A_{xy} (oben) und A_{xx} (unten).

5. Zusammenfassung

Die mit Filterverfahren gewonnenen Ergebnisse sind erstaunlich gut. Etwas unbefriedigend erscheint mit die Bestimmung der Übertragungsfunktionen mit Hilfe der Ausgleichsrechnung, weil dabei die Orthogonalität nicht ausgenutzt wird. Implizit geht sie allerdings in die Rechnungen ein und dürfte sich günstig auf Abrundungsfehler und dergl. auswirken. Ich vermag keine Entscheidung zu fällen, welches der benutzten Verfahren das beste ist und möchte die Arbeiten deshalb in diesem Stadium zur Diskussion stellen.

Die noch ausstehende Arbeit von Herrn NAGEL wird Einzelheiten zur Technik der Filterung bringen. Eigentlich hätte sie an den Anfang der Ausführungen gehört. Auf Herrn NAGEL gehen die meisten der verwendeten Rechenprogramme für die Filterung zurück. Seine Arbeit enthält auch eine Diskussion für die Auswahl der geeigneten Filterparameter r , κ und Δt .

Literatur

- HUNSCHE, U.: Bestimmung des Übertragungstensors in der Magnetotellurik mit Hilfe digitaler Filter, 1970.
- KERTZ, W.: Filterverfahren in der Geophysik, Gerlands Beiträge Geophys., 75, 1-33, 1965.
- NAGEL, H.-E.: Anwendung digitaler Filter in der erdmagnetischen Tiefensondierung (Schmuckers Westprofil), Ende 1971 (voraussichtlich).
- NAUMANN, E.: Tiefensondierung im Oberrheingraben, April 1970.
- RATHORE, V.S.: Bestimmung des Übertragungstensors in der Magnetotellurik mit Hilfe einer numerischen Fourier-Transformation, 1970.
- VOELZ, E.: Übertragungskoeffizienten für den inneren Anteil erdmagnetischer Variationen im Bereich des Teutoburger Waldes, 1969.