

K. REICHEL, Münster

"Bestimmung von Übertragungsfunktionen für das SCHMUCKER-
sche Westprofil (1958/1959) in Norddeutschland"

Dienstag, den 12.03.1974

Die Meßdaten, die zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen benutzt wurden, entstammen den Registrierungen geomagnetischer Variationen, die SCHMUCKER 1958 und 1959 auf einem Profil von Juist im Norden nach Hankenberge bei Osnabrück im Süden aufgenommen und auf Papierfilm registriert hat (SCHMUCKER 1959) (Fig. 1).

Im folgenden werden mit D, H und Z magnetische Variationen im Zeitbereich und mit d, h und z die zugehörigen magnetischen Variationen im Frequenzbereich bezeichnet.

Ausgewählte Registrierungen für drei Zeitabschnitte von insgesamt 21 Stunden wurden jeweils für die vier Stationen Juist, Lathen, Westerholte und Hankenberge digitalisiert, auf gleiche Zeitauflösung von 180 Werten pro Stunde und gleiche Empfindlichkeit umgerechnet und untereinander synchronisiert. (Näheres hierzu wie auch zu dem ganzen Themenkomplex kann der Diplomarbeit von K. REICHEL, die in Kürze in Münster erscheint, entnommen werden.) In einer Plotmontage in Fig. 2 ist das Ergebnis für die Registrierung vom 13./14. 2. 1959 dargestellt.

Es zeigt sich das für die Norddeutsche Leitfähigkeitsanomalie typische Bild: Z-Komponente verläuft näherungsweise in Juist parallel, an den anderen Stationen antiparallel zu der jeweiligen H-Komponente. Zu bemerken ist noch die Amplitudenabnahme in D von Nord nach Süd.

Für die harmonische Analyse wurde einmal ein Grundintervall von 512 Werten entsprechend 2.84 Stunden und einmal von 256 Werten entsprechend 1.42 Stunden gewählt. Die Registrierungen konnten in 7 bzw. 14 voneinander unabhängige Analyseintervalle eingeteilt werden (Auswertung ohne Überlappung). Bei einer weiteren Auswertung wurden die Analyseintervalle

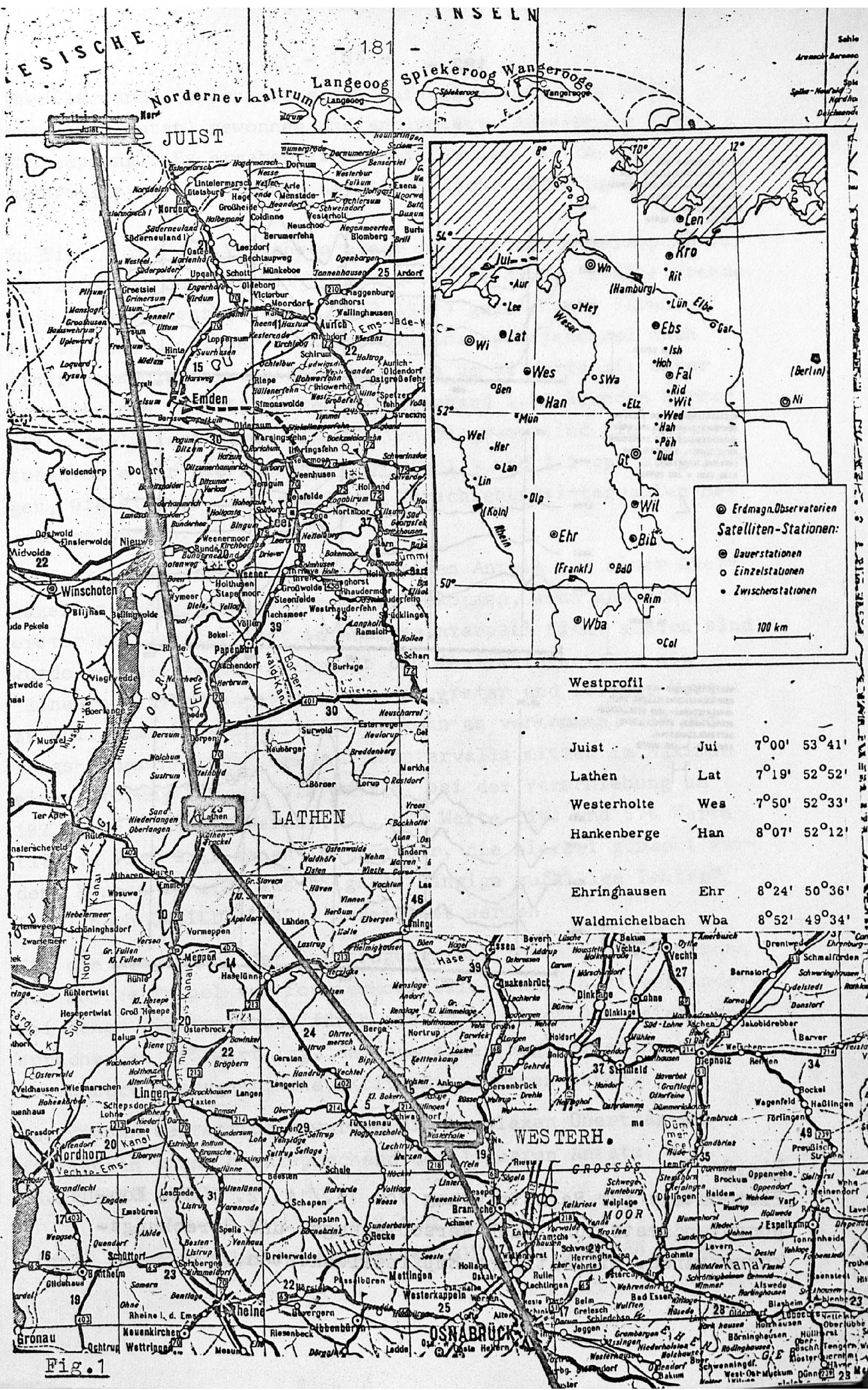
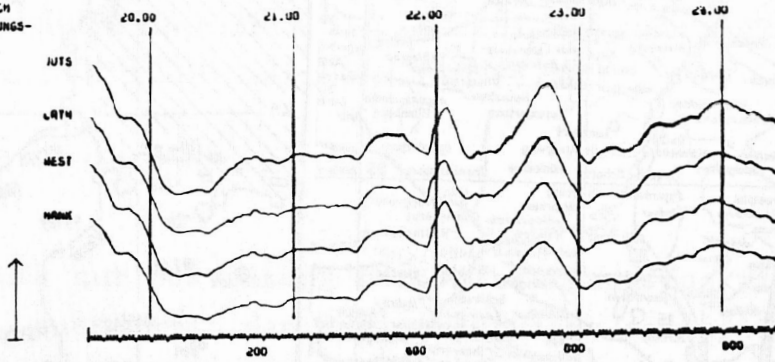


Fig. 1

REGISTRATUNGEN VOM 13.2.59
KOMONENTENDARSTELLUNG NACH
VERSCHIEBUNGS- UND STRECKUNGS-
KORREKTUREN; EINHEITLICHE
EMPFINDLICHKEITEN.
EINE STD. = 100 MERKE

0

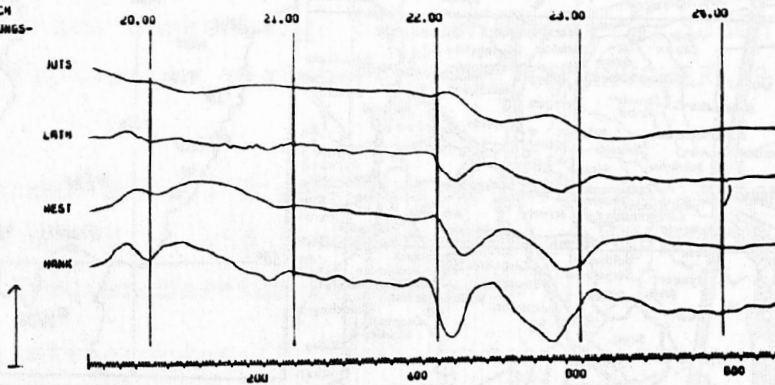
50 GAMMA



REGISTRATUNGEN VOM 13.2.59
KOMONENTENDARSTELLUNG NACH
VERSCHIEBUNGS- UND STRECKUNGS-
KORREKTUREN; EINHEITLICHE
EMPFINDLICHKEITEN.
EINE STD. = 100 MERKE

Z

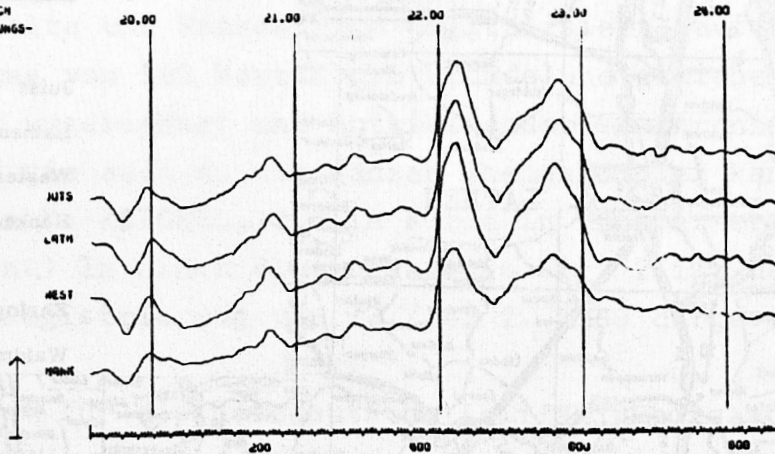
50 GAMMA



REGISTRATUNGEN VOM 13.2.59
KOMONENTENDARSTELLUNG NACH
VERSCHIEBUNGS- UND STRECKUNGS-
KORREKTUREN; EINHEITLICHE
EMPFINDLICHKEITEN.
EINE STD. = 100 MERKE

H

50 GAMMA



LADE

Fig.2

Plotmontage für Registrierung vom 13./14. 2. 1959. Kom-
ponentendarstellung nach Verschiebungs- und Streckungs-
korrekturen, einheitliche Empfindlichkeiten.

jeweils durch Verschiebung des Anfangpunktes um 32 Werte (ca. 10 Minuten) gewonnen und analysiert (Auswertung mit Überlappung). Es ergaben sich somit 68 bzw. 92 überlappende Intervalle, die wertmäßig natürlich nicht unabhängig sind.

In Fig. 3 ist das Verfahren einer Analyse mit Überlappung für ein Beispiel dargestellt. Links oben ist die zu analysierende Spur (D-Komponente, Juist, 13.2.1959) gezeichnet. Darunter ist zu sehen, welcher Teil der Originalspur jedesmal nach einer Verschiebung des Anfangpunktes um 32 Werte mit einer Grundperiode von 256 Werten entsprechend 1.42 Stunden harmonisch analysiert wurde. Im rechten Diagramm sind die Amplitudenwerte für die Harmonischen mit 1.4 und 2.1 cph aufgetragen, wie sie aus den jeweiligen Verschiebungsintervallen berechnet wurden.

Um in den Fourierkoeffizienten keinen Anteil aus einer überlagerten "Sägezahnkurve" mehr zu bekommen, wenn nämlich erster und letzter Wert im Analyseintervall nicht gleich sind, wurde von den Werten innerhalb des Analyseintervalls ein "linearer Trend" so abgezogen, daß erster und letzter Wert zu Null gemacht wurden. Hierbei kann es vorkommen, daß Anfangs- oder Endpunkt des Analyseintervalls mitten im Maximum einer Störung liegen, wie es z.B. bei der Verschiebung um 192 Werte (6), 320 Werte (10), 448 Werte (14) und 576 Werte (18) in Fig. 3 zu sehen ist. Fehler, die hierbei gemacht werden, können in etwa als "Signalabhängige zufällige Fehler" (SAZ) nach UNTIEDT (1974) bezeichnet werden.

Für die Berechnung der Übertragungsfunktionen a und b wurden nur solche Tripel von Fourierkoeffizienten (d,h,z) verwendet, bei denen die Amplitude für h oder d deutlich über einem entsprechenden Störwert lag, der aus einer Registrierung ohne erkennbare geomagnetische Aktivität gewonnen wurde.

Aus diesen Wertetripeln wurden die komplexen Übertragungsfunktionen a und b entsprechend dem linearen Ansatz (SCHMUCKER 1970)

$$z = a h + b d$$

einmal durch Ausgleichsrechnung (EVERETT und HYNDMAN 1967)

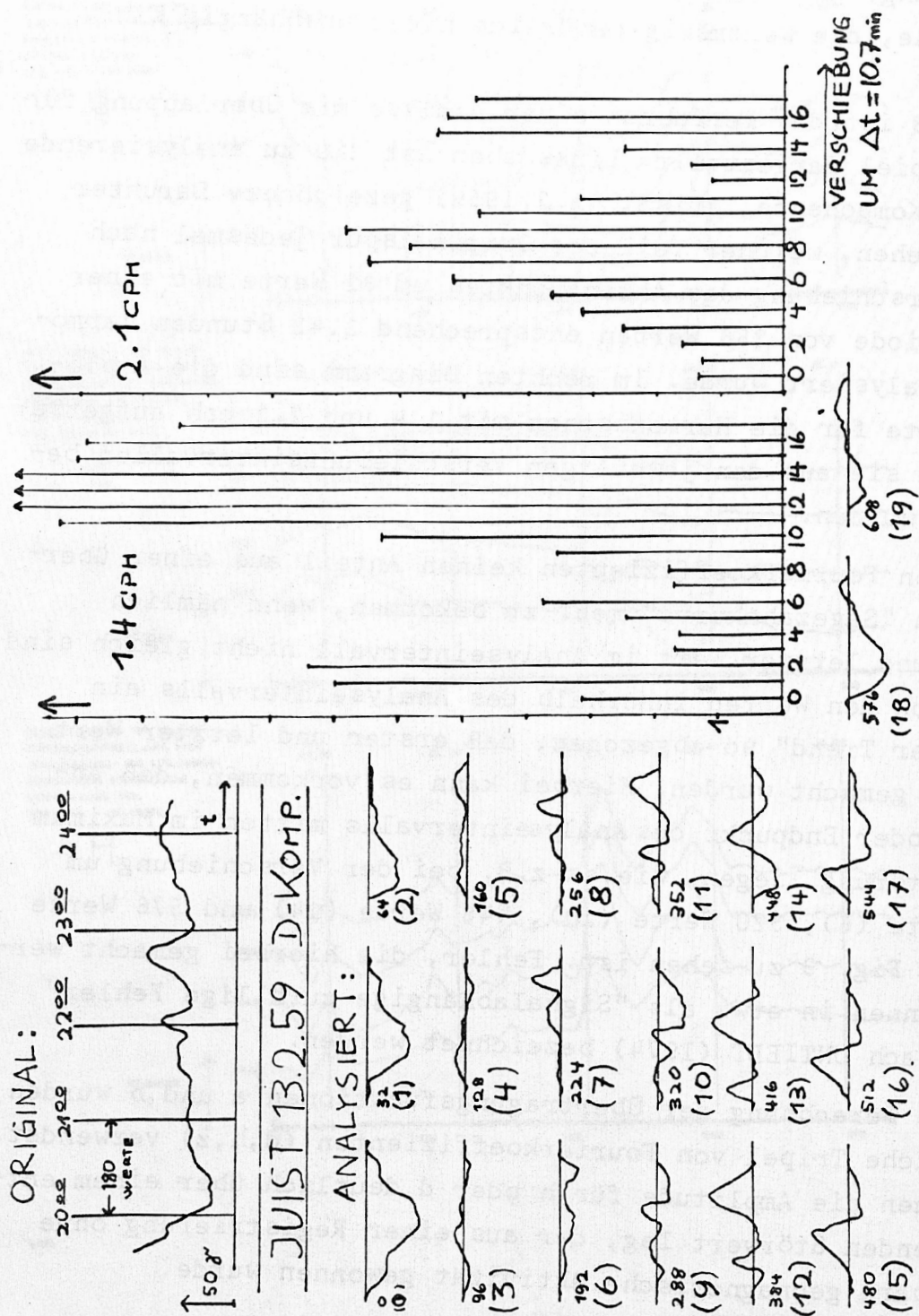


Fig. 3

Beispiel für die Auswertung mit Überlappung. Links: analysierte Registrierung; rechts: entsprechende Amplitudenwerte für 1.4 cph und 2.1 cph.

nach der Formel

$$a = ([dd^*] [zh^*] - [dh^*] [zd^*]) / ([hh^*] [dd^*] - [hd^*] [dh^*])$$

$$b = ([hh^*] [zd^*] - [hd^*] [zh^*]) / ([hh^*] [dd^*] - [hd^*] [dh^*])$$

mit der Gaußschen Summenschreibweise

$$\sum f_i g_i = [fg] = [gf] \quad \text{berechnet,}$$

wobei verschiedene i verschiedenen Frequenzen in einer Frequenzgruppe oder verschiedenen Ereignissen oder beiden zugeordnet werden können. Anschließend wurden die Übertragungsfunktionen zusätzlich nach einem auf Einzelauswertung beruhenden Verfahren mit sogenanntem M-Kriterium berechnet. Beim letztgenannten Verfahren wird versucht, verschiedene Fehlerquellen zu berücksichtigen. Näheres hierzukan dem Vortrag von UNTIEDT (1974) entnommen werden, dessen Niederschrift ebenfalls in dem vorliegenden Band zu finden ist.

Im folgenden werden die Größen M_a und M_b , wie sie in o.a. Vortrag verwendet wurden, zu einer Größe M zusammengefaßt:

$$M = M_a + M_b = (|h_1| + |h_2| + |d_1| + |d_2|) / (|h_1 d_2 - h_2 d_1|) \cdot$$

Ist M klein, dann sind sowohl M_a als auch M_b klein.

Die a und b wurden aus Paaren von Wertetripeln (d_1, h_1, z_1) und (d_2, h_2, z_2) innerhalb Frequenzgruppen jeweils für 512 Werte und 256 Werte als Grundintervall mit Überlappung nach

$$a = (d_2 z_1 - d_1 z_2) / (h_1 d_2 - h_2 d_1)$$

$$b = (h_1 z_2 - h_2 z_1) / (h_1 d_2 - h_2 d_1)$$

berechnet und mit zugehörigen M-Werten für die weitere Auswertung zwischengespeichert. Da die einzelnen Paare aus allen möglichen Zweierkombinationen der Wertetripel gebildet wurden, ergab das bei durchschnittlich 195 bzw. 130 Wertetripel pro Frequenzgruppe 18915 bzw. 8385 verschiedene "Einzelergebnisse"

für a und b (pro Station und pro Frequenzgruppe).

Bei der Berechnung der Übertragungsfunktionen hat das M-Kriterium folgende Bedeutung: Falls die Fehler, mit denen die zwei Wertetripel gemessen werden, unabhängig von M sind, sind die berechneten a und b um so zuverlässiger, je kleiner M ist. Es bietet sich so eine Ordnung von Einzelergebnissen a und b nach M an.

In Fig. 4 und Fig. 5 sind als "Punktwolken" die Häufigkeiten, mit denen ein bestimmtes Ergebnis (Ordinate) - hier Realteil von a - bei entsprechendem M-Wert (Abszisse) vorkam, dargestellt. Die Ziffern stehen hier für Häufigkeiten zwischen 1 (1) und 10 (0), die Buchstaben für Häufigkeiten zwischen 11 (A) und 36 (Z) und die Sterne für Häufigkeiten größer 36. Als waagerechte Striche sind jeweils die Mittelwerte aus allen Einzelwerten für den entsprechenden M-Wert (Abszisse) eingetragen. Die M-Werte sind zu 30 Gruppen ("M-Gruppen") pro Dekade, der Real- oder Imaginärteil der Übertragungsfunktionen zu 60 Gruppen zwischen den Werten -1 und +1 zusammengefaßt. Fig. 5 zeigt in verkleinerten Darstellungen Punktwolken für 2 cph und alle Stationen für den Realteil von a und für Hankenberge zusätzlich noch Amplitude und Phase von a.

Für kleine M-Werte liegen die Ergebnisse in einem engen Streubereich, der sich mit wachsendem M immer stärker verbreitert. Der erfaßte Streubereich für entsprechende M-Werte wie die jeweils kleinsten auftretenden M-Werte werden von Juist nach Hankenberge größer, da die d-Amplituden von Nord nach Süd abnehmen, was auf eine Inhomogenität des induzierenden Feldes hindeutet.

In Fig. 6 sind für Einzelergebnisse mit minimalem M-Wert bzw. einem großen M-Wert nahe 10 die zugehörigen Anregungsellipsen im Zeitbereich dargestellt. Die beiden Variationen für jeweils minimale M-Werte (oben) haben deutlich verschiedene Polarisierung und ungefähr gleich große Komponenten. Für große M-Werte (unten) haben die Variationen gleiche Polarisierung (Hankenberge 2 cph, Juist 6 cph) oder die Komponenten einer Variation sind verschwindend klein (Juist 7 cph). Dies sind Beispiele

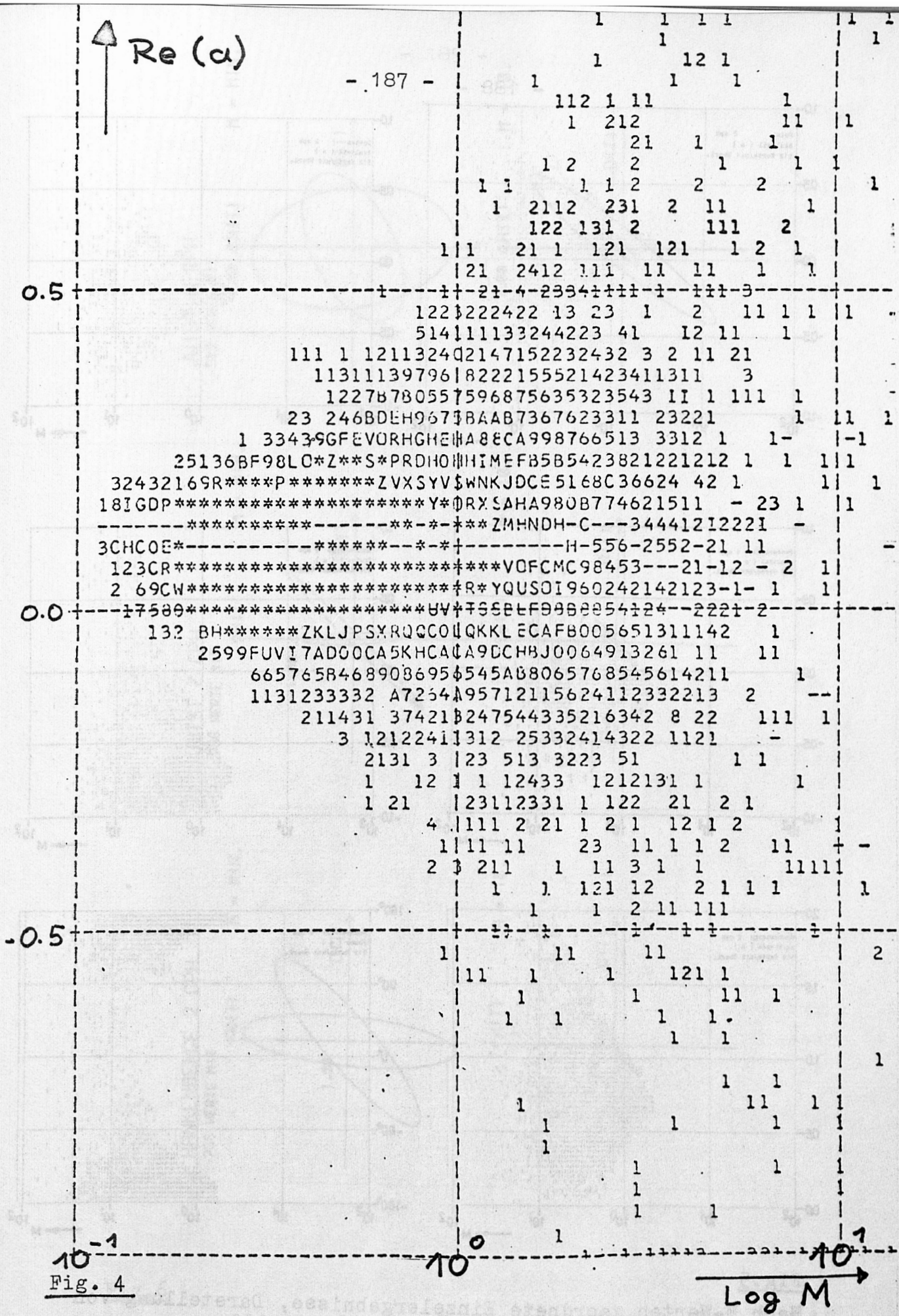


Fig. 4

Nach M-Werten geordnete Einzelergebnisse. Dargestellt ist für Juist Re(a) für 1 cph aus 512 mit (Ausschnitt einer Zeilendruckerzeichnung).

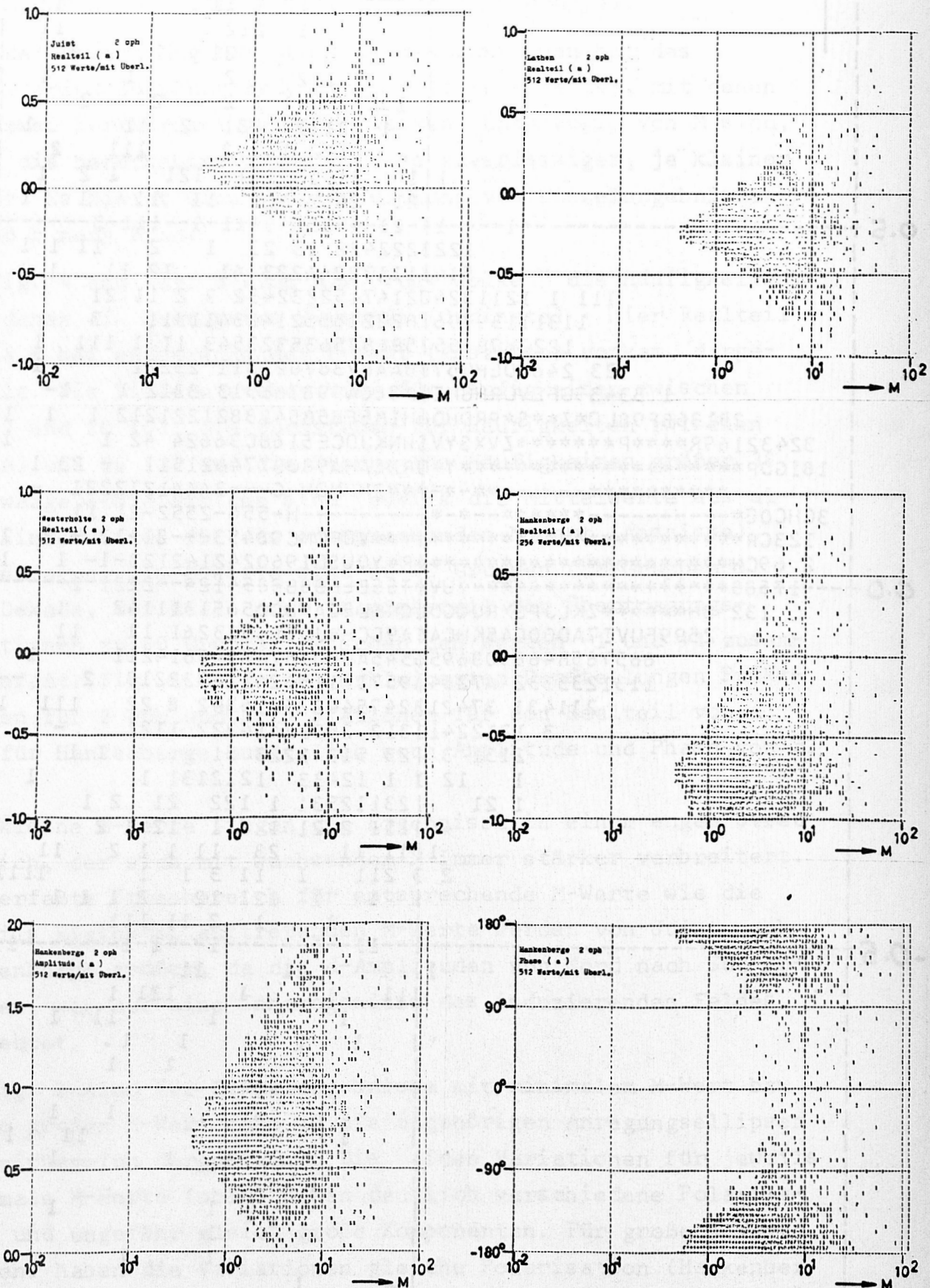


Fig.5

Nach M-Werten geordnete Einzelergebnisse, Darstellung von Häufigkeiten. Oben: Juist, Lathen; Mitte: Westerholte, Hankenberge, jeweils Realteil von a 2 cph; unten: Hankenberge, 2 cph Amplitude und Phase von a.

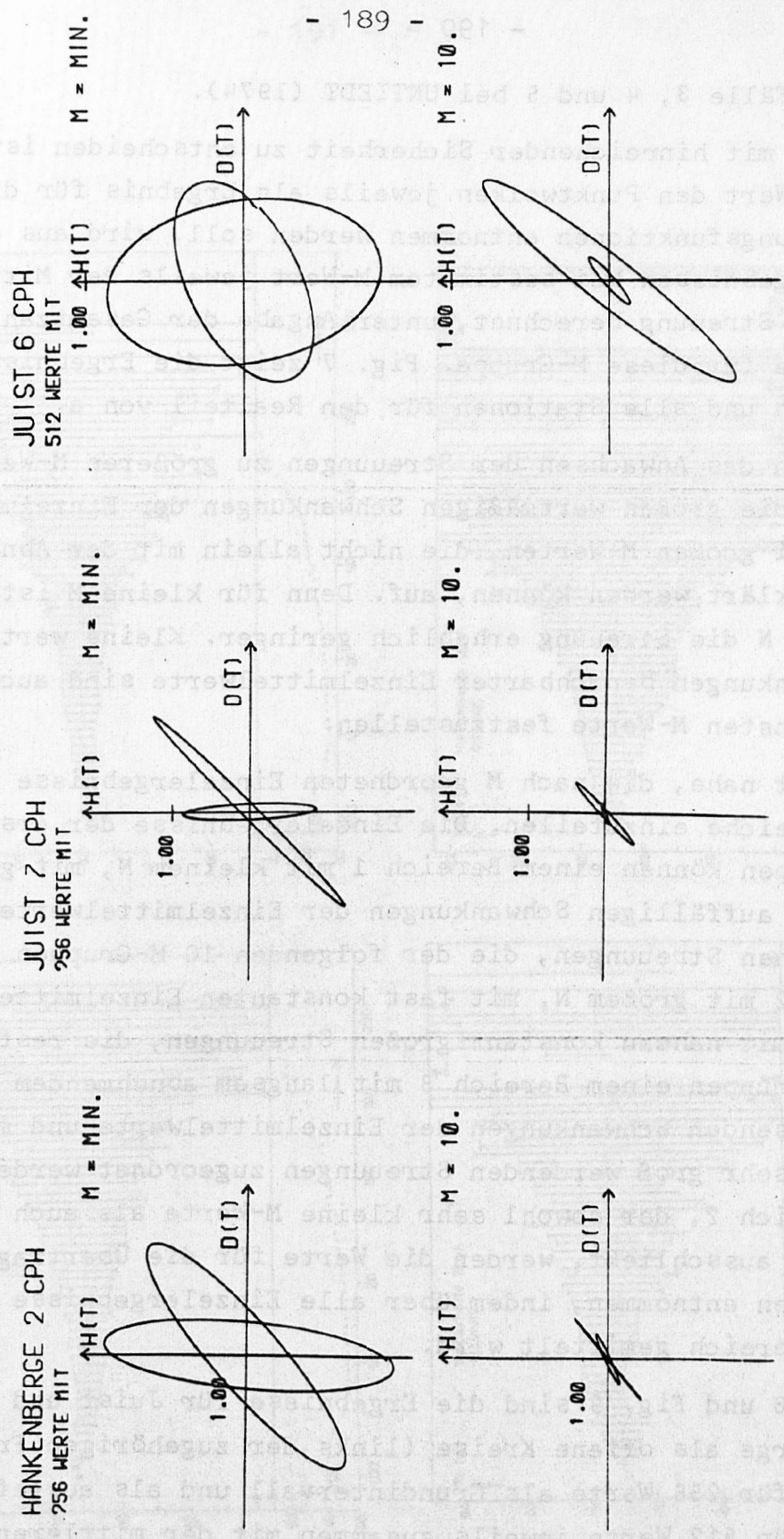


Fig.6
 Anregungsellipsen für den Fall M-Wert=Minimum (oben) und M-Wert ungefähr 10 (unten).

für die Fälle 3, 4 und 5 bei UNTIEDT (1974).

Da nicht mit hinreichender Sicherheit zu entscheiden ist, welcher Wert den Punktwolken jeweils als Ergebnis für die Übertragungsfunktionen entnommen werden soll, wird aus den Einzelergebnissen bei bestimmtem M-Wert jeweils der Mittelwert mit Streuung berechnet, unter Angabe der Gesamtzahl N der Werte für diese M-Gruppe. Fig. 7 zeigt die Ergebnisse für 2 cph und alle Stationen für den Realteil von a.

Es fallen das Anwachsen der Streuungen zu größeren M-Werten hin und die großen wertmäßigen Schwankungen der Einzelmittelwerte bei großen M-Werten, die nicht allein mit der Abnahme von N erklärt werden können, auf. Denn für kleine M ist für gleiches N die Streuung erheblich geringer. Kleine wertmäßige Schwankungen benachbarter Einzelmittelwerte sind auch für die kleinsten M-Werte festzustellen.

Dies legt nahe, die nach M geordneten Einzelergebnisse in drei Bereiche einzuteilen. Die Einzelergebnisse der ersten 5 M-Gruppen können einem Bereich 1 mit kleinem N, mit geringen aber auffälligen Schwankungen der Einzelmittelwerte und mit kleinen Streuungen, die der folgenden 10 M-Gruppen einem Bereich 2 mit großem N, mit fast konstanten Einzelmittelwerten und mit nahezu konstant großen Streuungen, die restlichen M-Gruppen einem Bereich 3 mit langsam abnehmendem N, mit wachsenden Schwankungen der Einzelmittelwerte und mit schnell sehr groß werdenden Streuungen zugeordnet werden. Dem Bereich 2, der sowohl sehr kleine M-Werte als auch alle größeren ausschließt, werden die Werte für die Übertragungsfunktionen entnommen, indem über alle Einzelergebnisse in diesem Bereich gemittelt wird.

In Fig. 8 und Fig. 9 sind die Ergebnisse für Juist und Hankenberge als offene Kreise (links der zugehörigen Frequenzgruppe) für 256 Werte als Grundintervall und als ausgefüllte Kreise für 512 Werte jeweils zusammen mit der mittleren Abweichung der Einzelmittelwerte von dem ermittelten Wert dargestellt. Große mittlere Abweichungen sind dort zu finden, wo eine durch die Kreise gelegte Kurve einen großen Gradienten (z.B. Hankenberge Imaginärteil von a, 1 cph bis 3 cph)

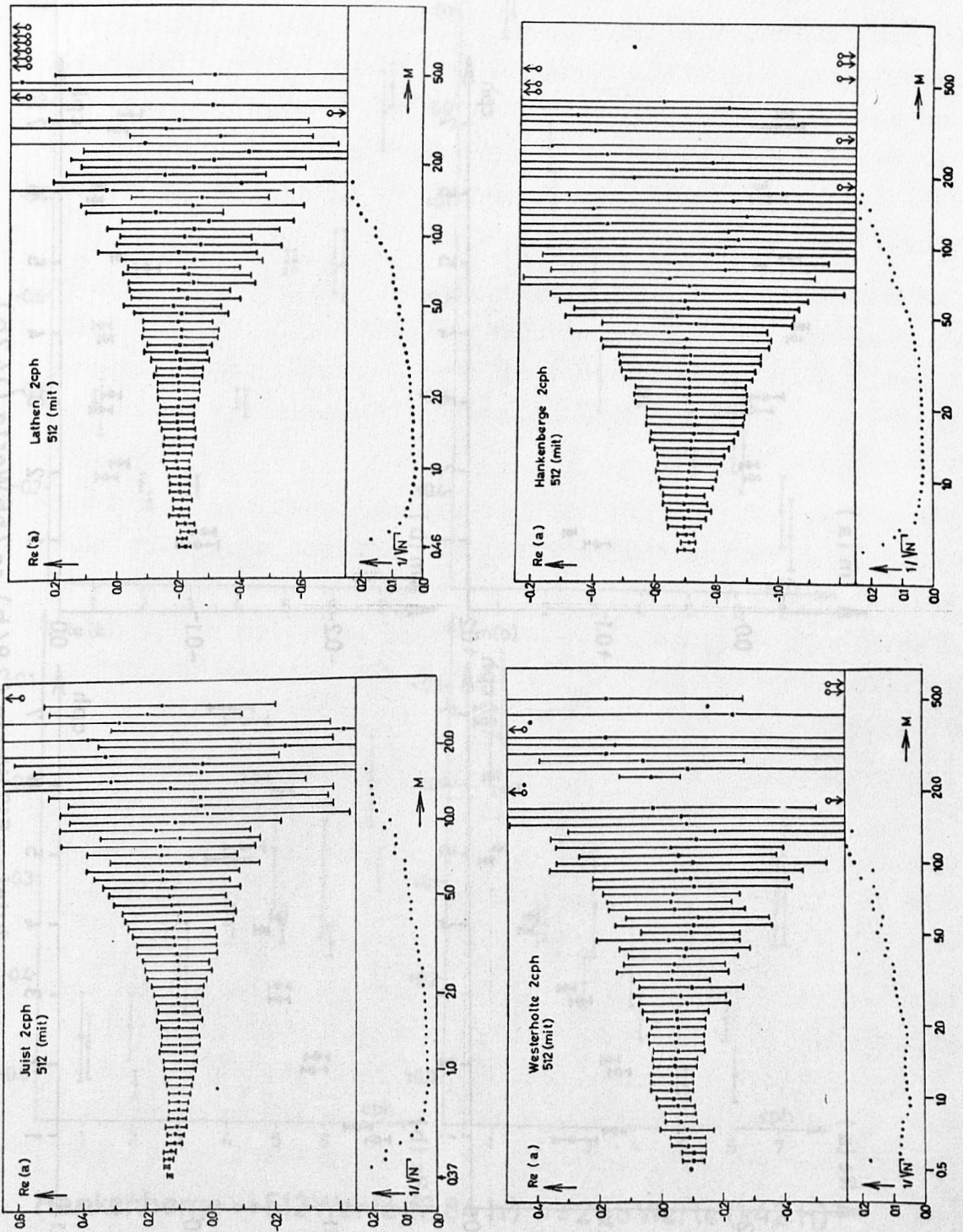
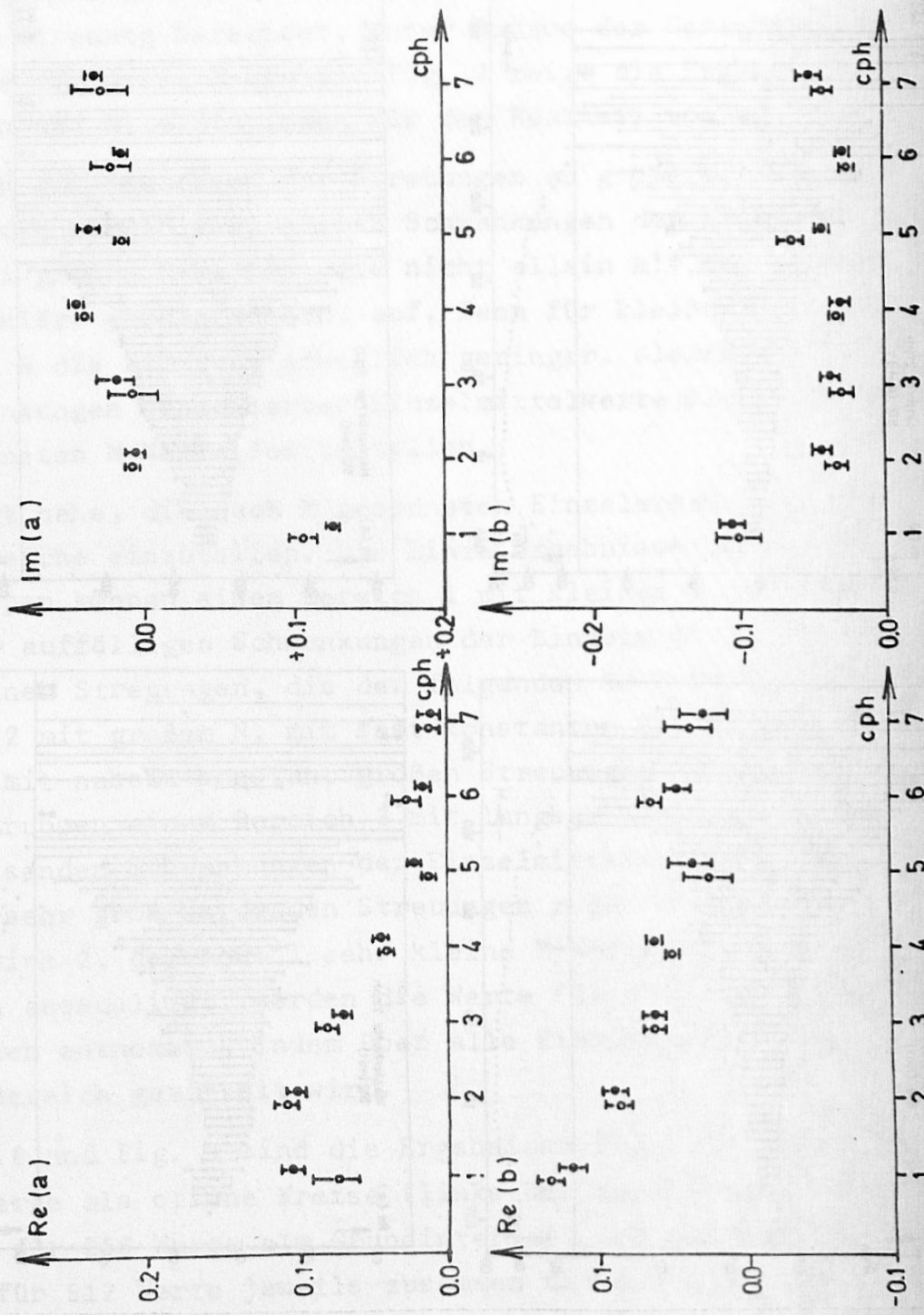


Fig.7

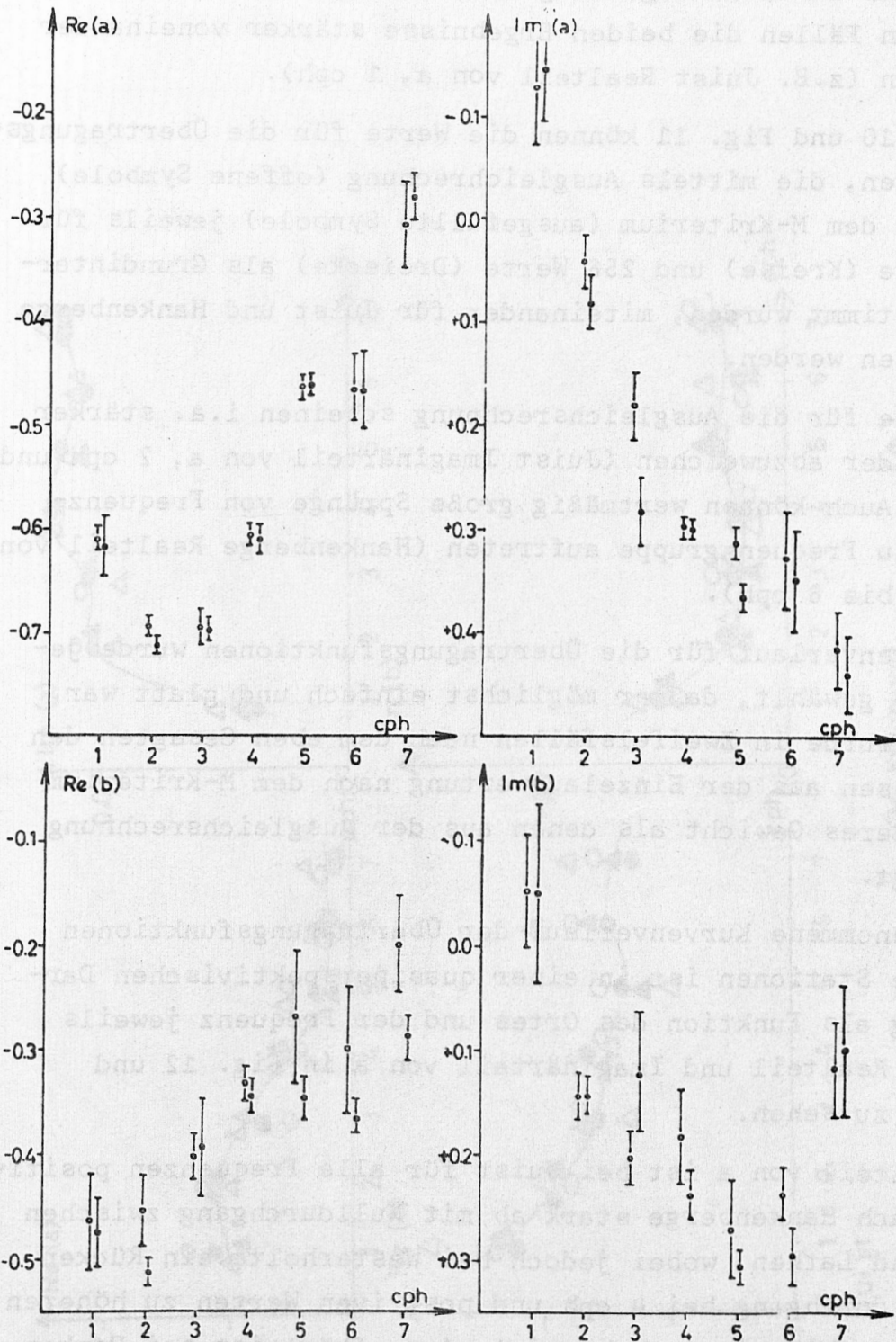
Nach M-Werten geordnete Einzelergebnisse; Einzelmittelwerte mit Streuung und Anzahl der Werte. Dargestellt ist für alle Stationen Realteil von a für 2 cph.



Juist • = 512 Werte (2.84h) ○ = 256 Werte (1.42h)

Fig. 8

Nach dem M-Kriterium für einzelne Frequenzgruppen berechnete Übertragungsfunktionen für Juist. Links jeweils mit offenem Kreis der Wert für 256 Werte als Grundintervall, rechts mit ausgefüllten Kreisen für 512 Werte.



Hankenberge • = 512 Werte (2.84 h) ○ = 256 Werte (1.42 h)

Fig.9

Nach dem M-Kriterium für einzelne Frequenzgruppen berechnete Übertragungsfunktionen für Hankenberg. Links jeweils als offener Kreis der Wert für 256 Werte als Grundintervall, rechts als ausgefüllter Kreis der Wert für 512 Werte.

oder Zwischenextrema (z.B. Hankenberge Realteil von a, 5 cph und 6 cph) aufweist (vgl. Fig. 10 und Fig. 11). Auch können in diesen Fällen die beiden Ergebnisse stärker voneinander abweichen (z.B. Juist Realteil von a, 1 cph).

In Fig. 10 und Fig. 11 können die Werte für die Übertragungsfunktionen, die mittels Ausgleichrechnung (offene Symbole) und nach dem M-Kriterium (ausgefüllte Symbole) jeweils für 512 Werte (Kreise) und 256 Werte (Dreiecke) als Grundintervall bestimmt wurden, miteinander für Juist und Hankenberge verglichen werden.

Die Werte für die Ausgleichsrechnung scheinen i.a. stärker voneinander abzuweichen (Juist Imaginärteil von a, 2 cph und 3 cph). Auch können wertmäßig große Sprünge von Frequenzgruppe zu Frequenzgruppe auftreten (Hankenberge Realteil von b 4 cph bis 6 cph).

Der Kurvenverlauf für die Übertragungsfunktionen wurde jeweils so gewählt, daß er möglichst einfach und glatt war. Hierbei wurde in Zweifelsfällen nach dem eben Gesagten den Ergebnissen aus der Einzelauswertung nach dem M-Kriterium ein größeres Gewicht als denen aus der Ausgleichsrechnung beigelegt.

Der angenommene Kurvenverlauf der Übertragungsfunktionen für alle Stationen ist in einer quasiperspektivischen Darstellung als Funktion des Ortes und der Frequenz jeweils für den Realteil und Imaginärteil von a in Fig. 12 und Fig. 13 zu sehen.

Der Realteil von a ist bei Juist für alle Frequenzen positiv, fällt nach Hankenberge stark ab mit Nulldurchgang zwischen Juist und Lathen, wobei jedoch bei Westerholte ein Rücken mit Nulldurchgang bei 4 cph und positiven Werten zu höheren Frequenzen hin eingeschoben ist. Ausgeprägt ist bei Hankenberge die große Senke für niedrige Frequenzen.

Mit Ausnahme von Westerholte ist der Imaginärteil von a an allen Stationen kleiner als der Realteil von a und bis auf 1 cph bei Hankenberge überall positiv.

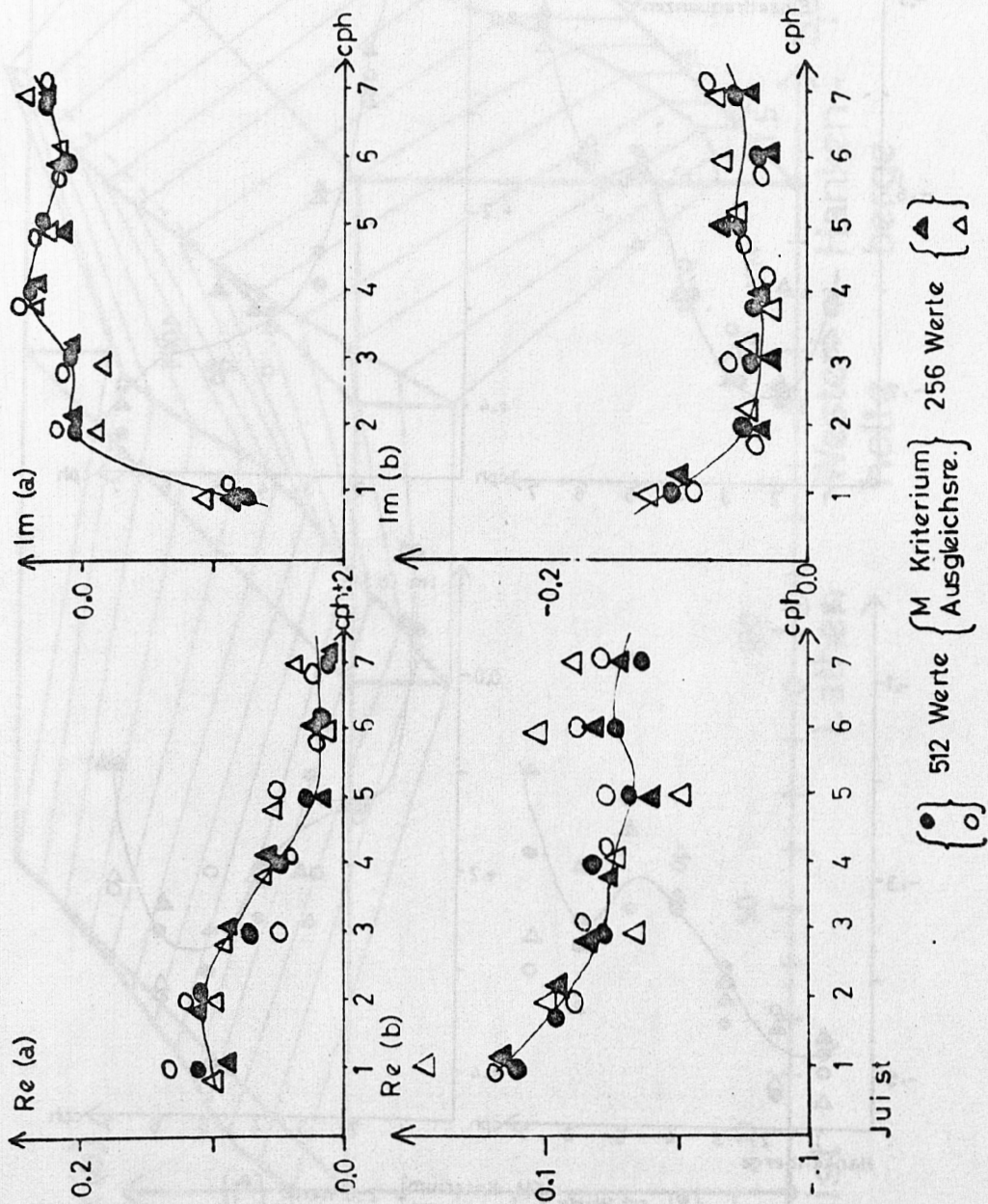


Fig.10

Nach beiden Auswerteverfahren für einzelne Frequenzgruppen ermittelte Übertragungsfunktionen; angenommener Verlauf für Juist.

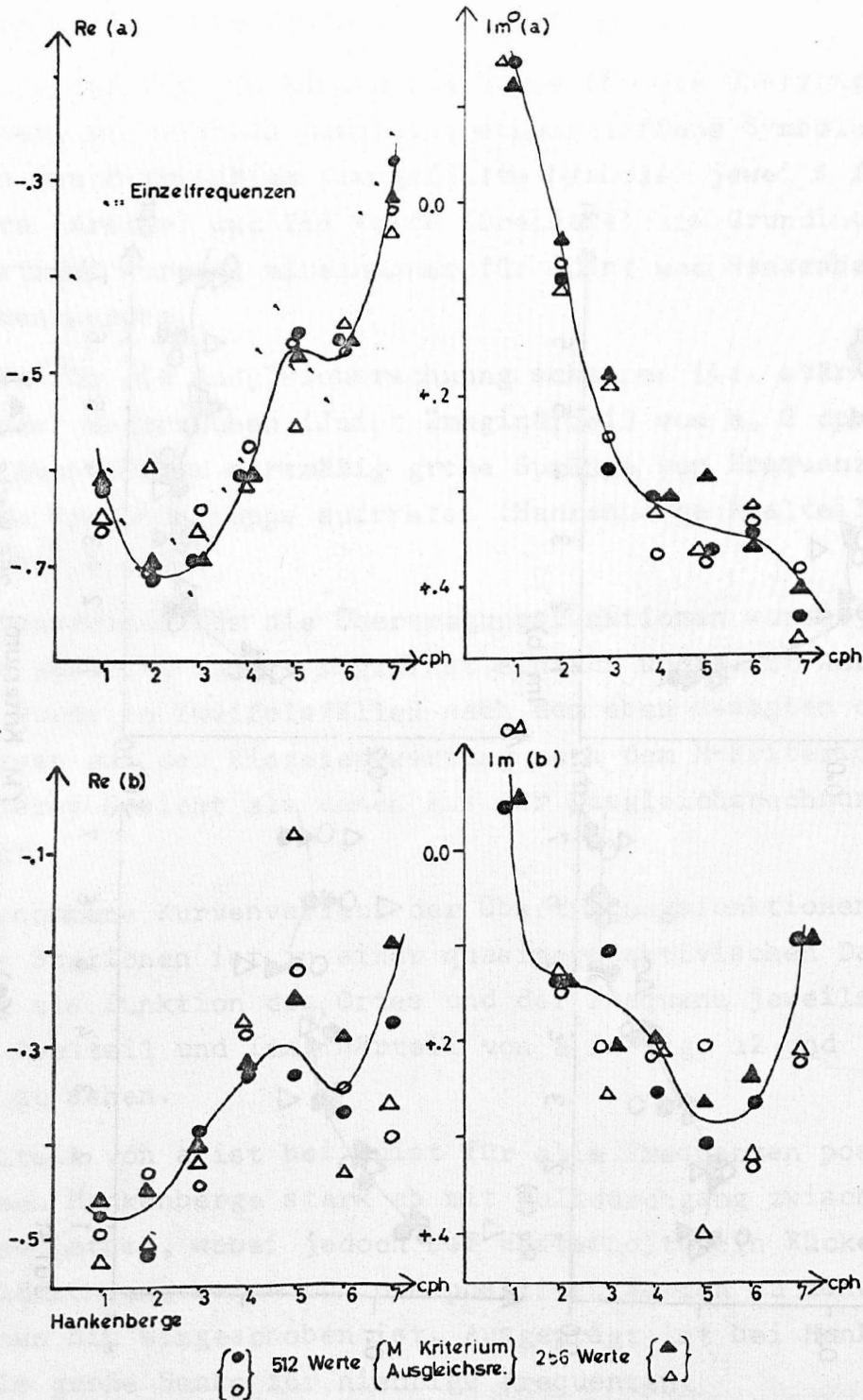


Fig.11

Nach beiden Auswerteverfahren für einzelne Frequenzgruppen ermittelte Übertragungsfunktionen; angenommener Verlauf für Hankenberge.

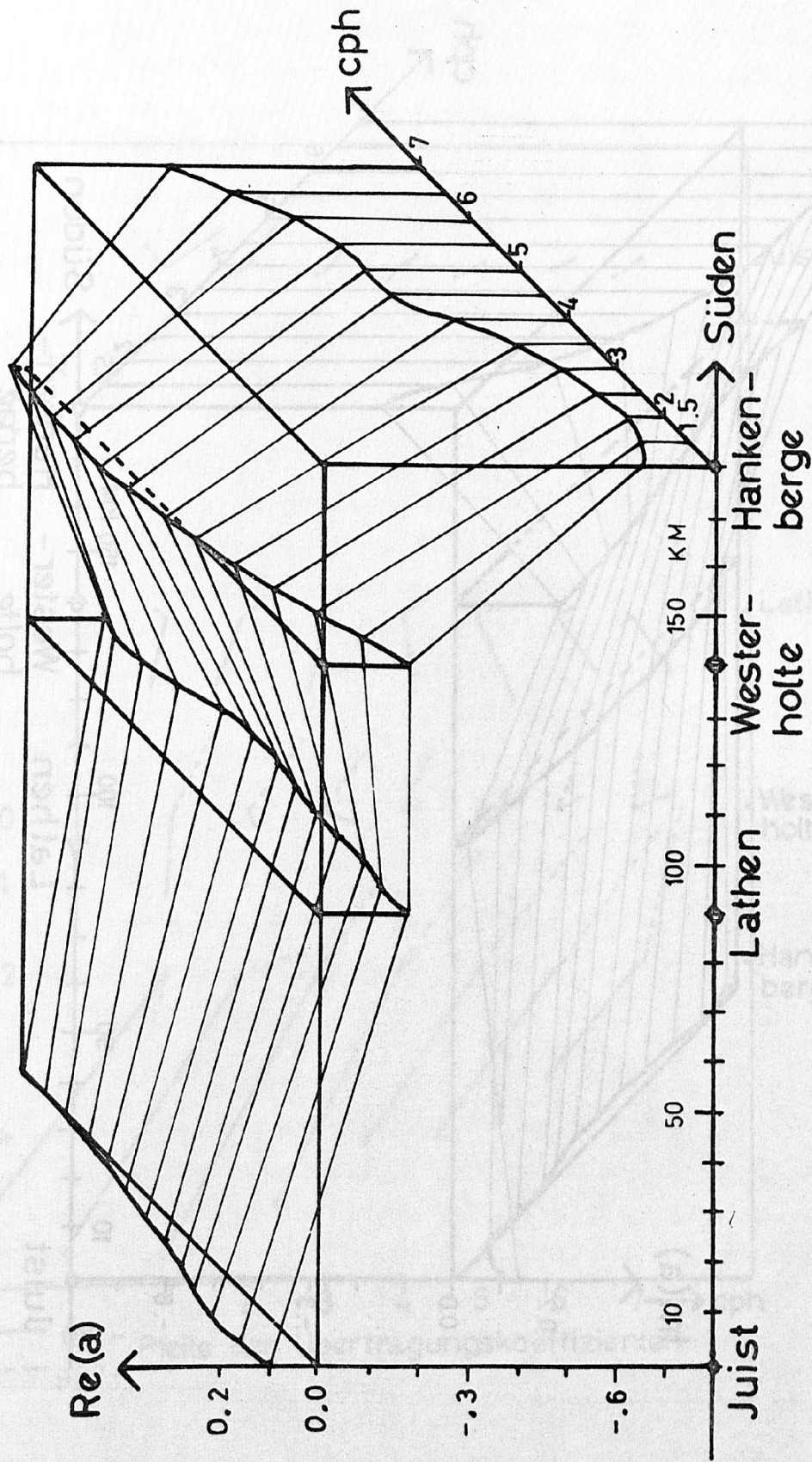


Fig.12

Räumliche Darstellung des Realteils der Übertragungsfunktion a als Funktion des Ortes und der Frequenz.

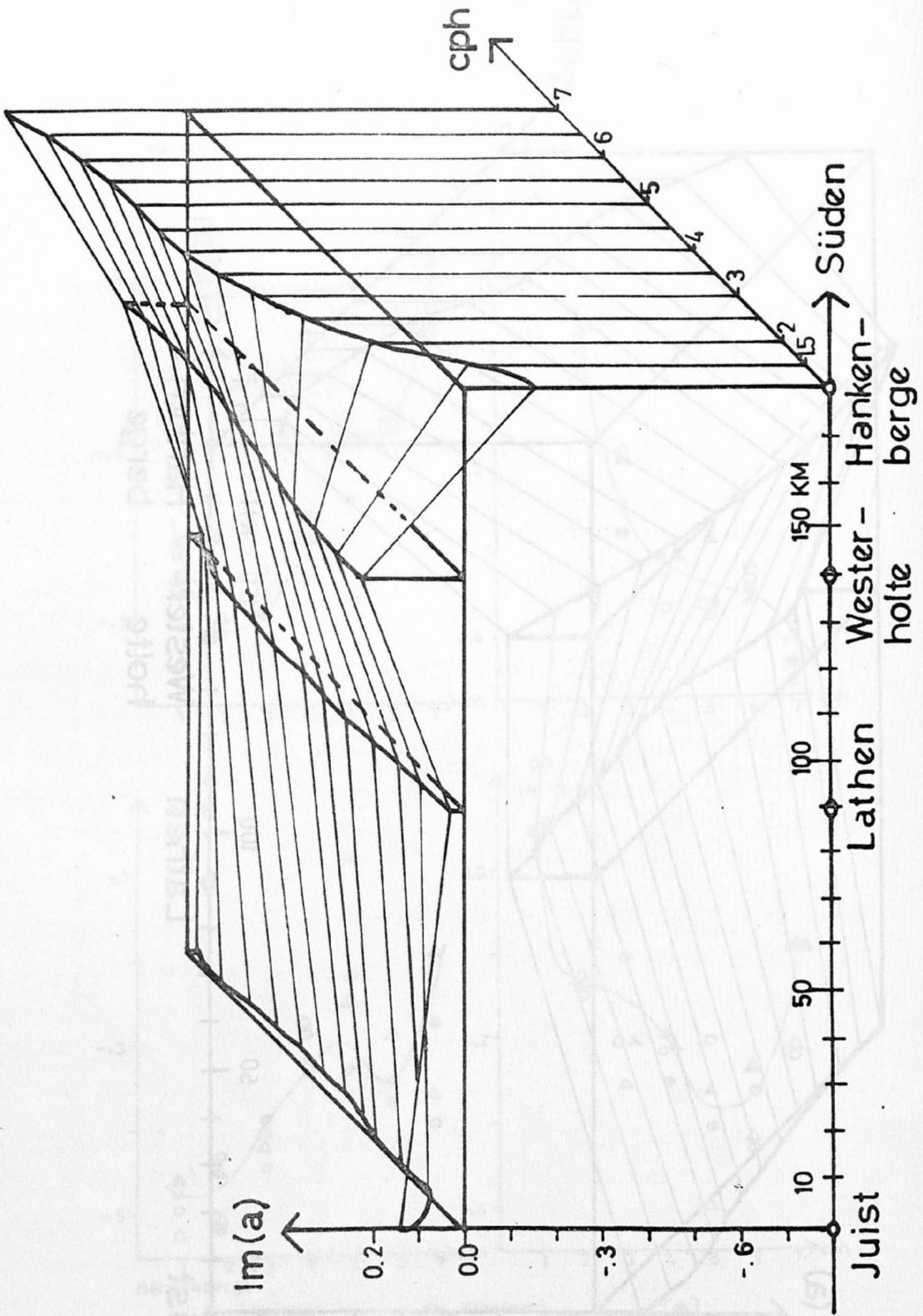


Fig.13

Räumliche Darstellung des Imaginärteils der Übertragungsfunktion a als Funktion des Ortes und der Frequenz.

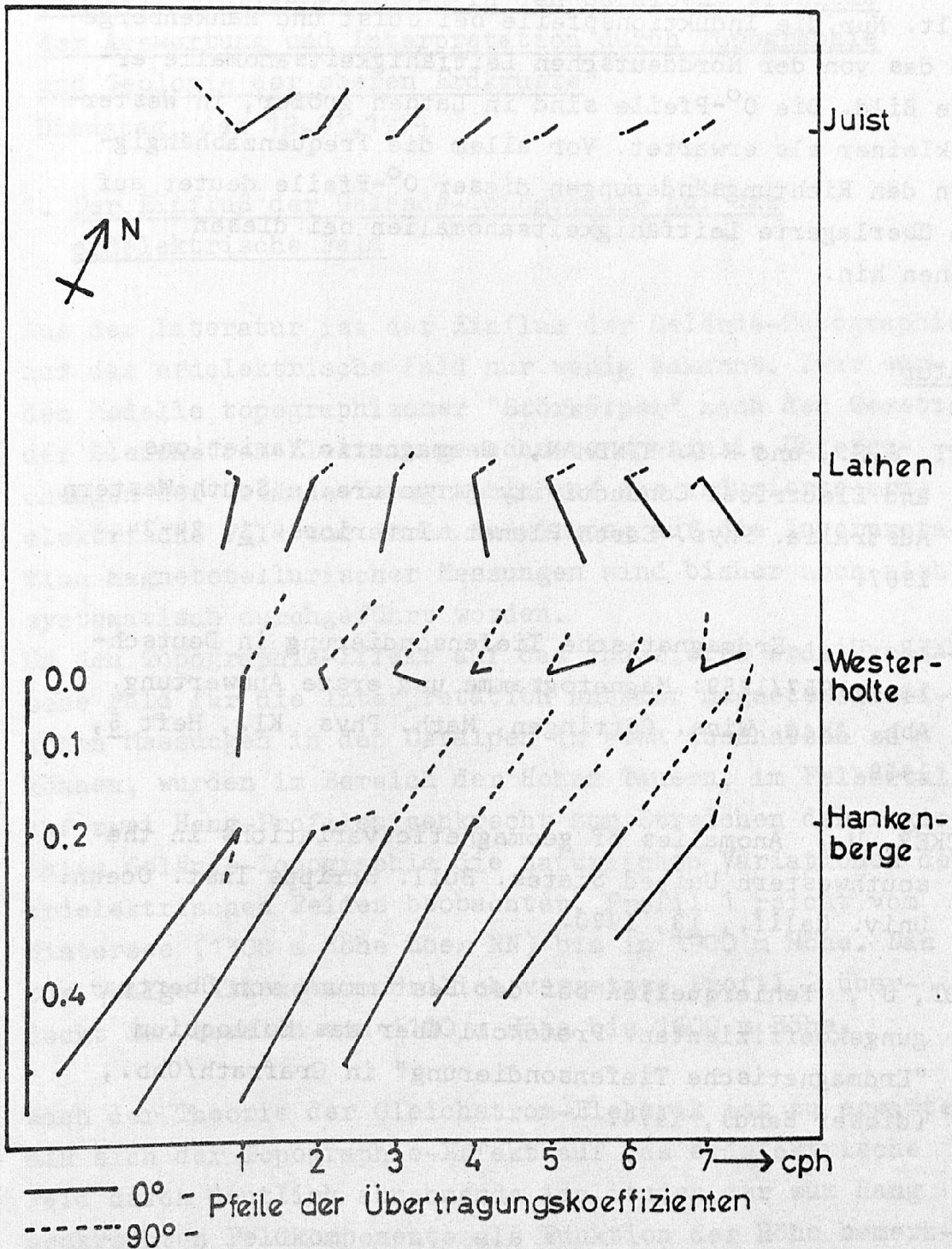


Fig.14

Für verschiedene Frequenzen aus den Übertragungsfunktionen längs des Profils berechnete Induktionspfeile. Pfeilursprung ist jeweils der Schnittpunkt entsprechender 0°-Pfeile und 90°-Pfeile.

Nach dem Verfahren von SCHMUCKER (1970) wurden ein phasengleicher 0° -Pfeil und ein phasenverschobener 90° -Pfeil aus den Übertragungsfunktionen konstruiert und in Fig. 14 dargestellt. Nur die Induktionspfeile bei Juist und Hankenberge zeigen das von der Norddeutschen Leitfähigkeitsanomalie erwartete Bild. Die 0° -Pfeile sind in Lathen größer, in Westerholte kleiner als erwartet. Vor allem die Frequenzabhängigkeit in den Richtungsänderungen dieser 0° -Pfeile deutet auf lokale überlagerte Leitfähigkeitsanomalien bei diesen Stationen hin.

Literatur

- EVERETT, J.E., und R.D. HYNDMAN, Geomagnetic Variations and Electrical Conductivity Structure in South-Western Australia. Phys. Earth Planet. Interiors. 1, 24-34, 1967.
- SCHMUCKER, U., Erdmagnetische Tiefensondierung in Deutschland 1957/1959: Magnetogramme und erste Auswertung. Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math. Phys. Kl., Heft 5, 1959.
- SCHMUCKER, U., Anomalies of geomagnetic variations in the southwestern United States. Bull. Scripps Inst. Ocean. Univ. Calif., 13, 1970.
- UNTIEDT, J., Fehlerquellen bei der Bestimmung von Übertragungskoeffizienten. Protokoll über das Kolloquium "Erdmagnetische Tiefensondierung" in Grafrath/Obb., (dieser Band), 1974.