

Technischer Bericht Nr. 74

Registrierung, Frequenzanalyse
und Peilung von Atmospherics

von

Ing. G. HEYDT

H 74

B e r l i n
1 9 6 4

Technischer Bericht Nr. 74

Registrierung, Frequenzanalyse und Peilung von Atmospherics

Zusammenfassung:

Im ersten Teil der Arbeit wird die Geräteanordnung beschrieben, mit der in der Außenstelle des HHI in Berlin-Waidmannslust der zeitliche Verlauf einzelner Atmospherics registriert wird. Es werden Verfahren und Beispiele für die Frequenzanalyse der Atmospherics mittels Digital- oder Analogrechner angegeben.

Anschließend wird ein Peilverfahren für Atmospherics erläutert, mit dem sowohl einzelne Atmospherics, als auch Gewitterherde gepeilt werden können.

Eine Kombination dieses Peilverfahrens mit der bisher bei statistischen Atmospherics-Untersuchungen benutzten Meßmethode ergibt die Möglichkeit, Intensität, Richtung und Entfernung von Gewitterherden von einer Station aus zu bestimmen.

Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Der Bearbeiter:

gez. Heydt

(Ing. G. Heydt)

Der Abteilungsleiter

gez. Gundlach

(Prof.Dr.-Ing.F.W.Gundlach)

Der Institutsdirektor

gez. Rothert

(Prof.Dr.-Ing.G.Rothert)

Berlin-Charlottenburg, den 2. März 1964



Registrierung, Frequenzanalyse und Peilung von Atmospheric

Einleitung

Atmospheric nennt man durch Blitze erzeugte impulsartige Änderungen des die Erde umgebenden elektromagnetischen Feldes. Jeder Blitz kann als eine vom Blitzstrom durchflossene, meist recht kompliziert geformte Antenne aufgefaßt werden, die kurzzeitig elektromagnetische Energie in den Wellenleiter Erdboden - Ionosphäre einstrahlt. Unabhängig von Form und Lage dieser Antenne steht in ihrem Fernfeld der Vektor der elektrischen Feldstärke $\mathcal{E}_{(t)}$ der Störung praktisch senkrecht auf dem Erdboden [1], während der Vektor der magnetischen Feldstärke $\mathcal{B}_{(t)}$ parallel zum Erdboden und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Störung verläuft.

Der zeitliche Verlauf $\mathcal{E}_{(t)}$ der Feldstärke eines Atmospheric am Empfangsort hängt von den individuellen Eigenschaften, also der Sendefunktion, des erzeugenden Blitzes und von der Übertragungsfunktion $A_{(\omega, r)}$ des Wellenleiters Erdboden - Ionosphäre ab. Zur Untersuchung der Übertragungsfunktion und damit zur Untersuchung des Verhaltens der tieferen Ionosphäre können statistische Methoden bei den Atmospheric-Untersuchungen benutzt werden [1], [2], [3]; es ist aber ebenfalls sinnvoll, einzelne Atmospheric zu registrieren und auszuwerten.

Die Beschreibung von Geräten zur Registrierung und Auswertung von einzelnen Atmospheric erfolgt im ersten Teil dieser Arbeit; im zweiten Teil wird ein Peilgerät beschrieben, mit dem sowohl einzelne Atmospheric, als auch Gewitterherde gepeilt werden können.

Die genannten Atmospheric-Registrierungen sind in zweierlei Hinsicht auswertbar: Bei bekannter Lage der Entstehungsorte der Atmospheric lassen sich Aussagen über die Übertragungsfunktion $A_{(\omega, r)}$ und über die Sendefunktion der Atmospheric machen. Umgekehrt ist es auf Grund dieser Erfahrungen möglich, aus den Registrierungen von einer Empfangsstation aus Richtung und Entfernung von Gewitterherden zu bestimmen.

A. Registrierung und Frequenzanalyse einzelner Atmospheric

An einem Empfangsort, der von künstlichen Störungsquellen, wie Bahnanlagen, Freileitungen u.ä. möglichst weit entfernt ist, können Atmospheric in so großer Zahl empfangen werden, daß sie infolge zeitlichen Überlappens nicht mehr sicher voneinander zu trennen sind. Als "einzelne" Atmospheric können daher mit

hinreichender Sicherheit nur solche betrachtet werden, deren Amplitude wesentlich die der anderen überragt und deren Anfang und Ende sicher zu bestimmen sind. Derartige Atmosphericos treten natürlich seltener auf, ihre Zahl dürfte aber immerhin noch bei $10^4 \dots 10^5$ pro Tag liegen. Da es einen nicht vertretbaren Aufwand bedeuten würde, diese große Zahl von Atmosphericos laufend individuell zu registrieren und auszuwerten, sollten im vorliegenden Fall Registrier- und Auswerteverfahren so gewählt werden, daß gleichzeitig mit der täglichen statistischen Atmosphericos-Registrierung in der Außenstelle Waidmannslust, täglich wahlweise bis zu ca. 100 Atmosphericos registriert werden können. Damit beschränkt man sich, ähnlich wie bei der statistischen Registrierung, auf Stichproben. Die registrierten Atmosphericos sollen ihrer Form nach in Typen eingeteilt und bei besonders prägnanten Vertretern der einzelnen Typen Frequenzanalysen durchgeführt werden.

Aus der Forderung nach Typeneinteilung durch Betrachtung der einzelnen Atmosphericos ergibt sich das Fotografieren als zweckmäßigste Art der Registrierung, oder besser gesagt, der Speicherung, vorausgesetzt, daß es Verfahren zur relativ schnellen Frequenzanalyse der gespeicherten Impulse gibt. Diese Voraussetzung ist aber erfüllt, wie später gezeigt werden wird.

Die Geräteanordnung zur fotografischen Registrierung von einzelnen Atmosphericos zeigt das Blockschaftbild Bild 1.

Bevor auf die einzelnen Teile der Anlage näher eingegangen wird, müssen noch einige Bemerkungen zur Wahl der Frequenzgrenzen des gesamten Übertragungskanals gemacht werden, den die Atmosphericos durchlaufen sollen.

Im Interesse einer möglichst formgetreuen Wiedergabe der impulsartigen Feldstärkeänderungen wäre es das beste, den Amplitudengang und die Gruppenlaufzeit innerhalb des zu untersuchenden Frequenzbereiches 5... 50 kHz konstant zu halten.

Am einfachsten wäre es daher, die Grenzfrequenzen des Übertragungskanals möglichst weit entfernt von den geforderten Grenzfrequenzen festzulegen.

Dem stehen jedoch zwei Gründe entgegen: Da sich die Energie der Atmosphericos im wesentlichen auf Frequenzen unter 50 kHz konzentriert, würden bei einer erheblichen Erhöhung der oberen Grenz-

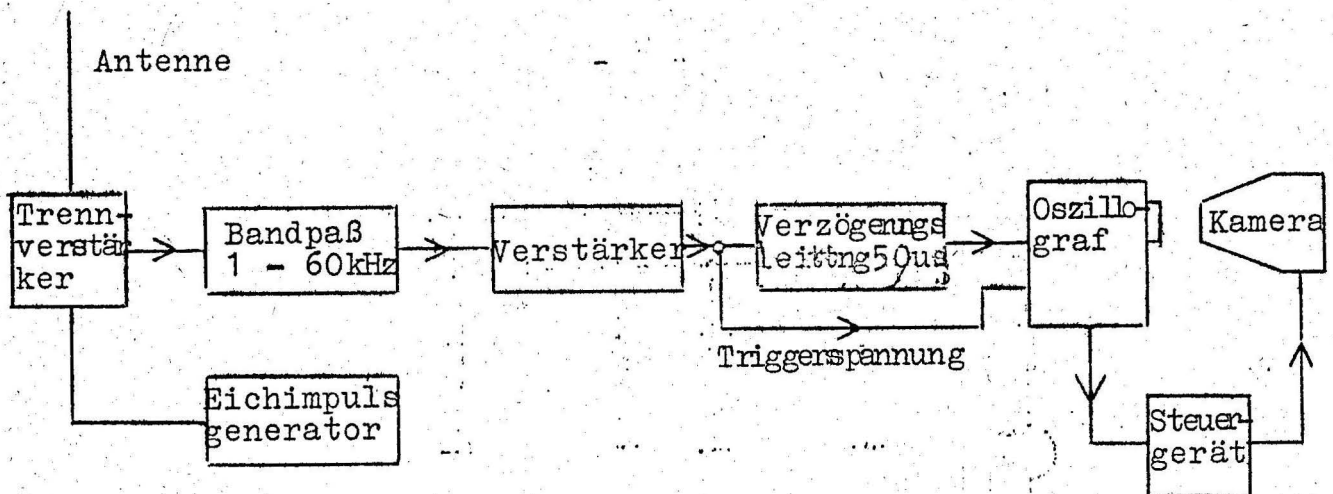


Bild 1: Registrierung einzelner Atmosphericics

frequenzen das erhöhte Rauschen und vor allem die zu höheren Frequenzen hin immer häufiger werdenden Sender bewirken, daß das Verhältnis der Atmosphericics-Impulse zum Störpegel wesentlich ungünstiger wird.

Zum anderen aber muß darauf geachtet werden, daß die hohen Feldstärken der örtlichen Rundfunksender im Empfänger keine Demodulationseffekte verursachen und damit Feldstärken im zu untersuchenden Frequenzbereich vortäuschen. Durch starke Gegenkopplung der Eingangsröhren können diese Effekte zwar vermindert werden, es empfiehlt sich aber immer, durch entsprechende Maßnahmen dafür zu sorgen, daß diese höheren Frequenzen möglichst unterdrückt werden.

Um Brummstörungen durch die örtlichen und weiter entfernt liegenden Stromversorgungsanlagen auszuschließen, ist es notwendig, unterhalb des interessierenden Frequenzbereiches durch einen Hochpaß die tiefen Frequenzen zu unterdrücken.

a) Antenne mit Anpassungsstufe (Bild 2)

Als Antenne dient eine 4,5 m lange vertikale Stabantenne. Sie steht etwa 15 m vom Stationshaus entfernt auf einem 2 m hohen Mast.

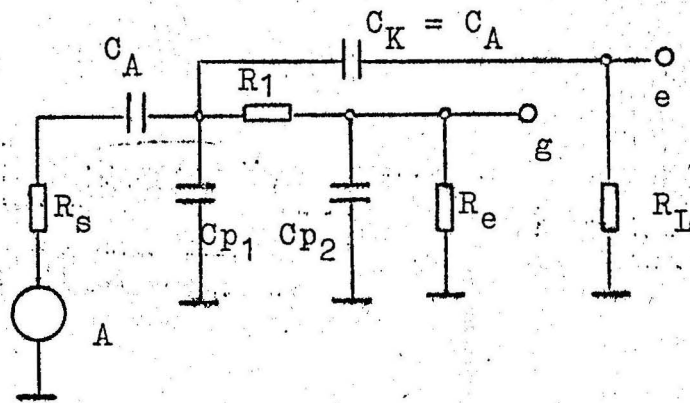


Bild 3: Ersatzschaltbild des Antenneneingangs

Direkt am Antennenfußpunkt befindet sich ein Kathodenverstärker, der die Antenne an das zum Stationshaus führende Antennenkabel anpaßt. Über ein weiteres Kabel kann dem Antenneneingang eine Eichspannung u_e zugeführt werden, so daß sich ein Ersatzschaltbild für den Antenneneingang nach Bild 3 ergibt.

In dem Ersatzschaltbild ist R_s der vernachlässigbar kleine Strahlungs- und Leitungswiderstand der Empfangsantenne und C_A ihre Kapazität gegen Erde. Die Kapazität C_{p1} soll zusätzliche Schaltkapazitäten an der Verbindung von Antennenfußpunkt und Verstärkereingang berücksichtigen, während C_{p2} und R_e Eingangskapazität und Eingangswiderstand der folgenden Röhrenstufe sind.

Zwischen C_{p1} und C_{p2} ist zusätzlich ein Widerstand R_1 eingefügt, der so bemessen ist, daß Spannungen höherer Frequenzbereiche abgeschwächt werden und damit die Gefahr von Demodulationseffekten verringert wird. C_k ist eine Ankoppelkapazität für die Eichspannung, deren Größe gleich der von C_A gewählt wurde, so daß die Ankopplung der der Antennenspannung u_A entspricht. Der Abschlußwiderstand des Eichspannungskabels R_L (140Ω) kann für die Beurteilung der Frequenzabhängigkeit der Eingangsschaltung vernachlässigt werden.

Der Eingangswiderstand der Verstärkerstufe R_e muß bei 5 kHz noch groß gegen den Scheinwiderstand der Parallelschaltung aller Kapazitäten sein. Es ist $C_A + C_k + C_{p1} + C_{p2} = C_{ges} = 100 \text{ pF}$ und damit

$$\frac{1}{\omega \cdot C_{ges}} = \frac{10^{12}}{2\pi \cdot 5000 \cdot 100} = 318 \text{ k}\Omega$$

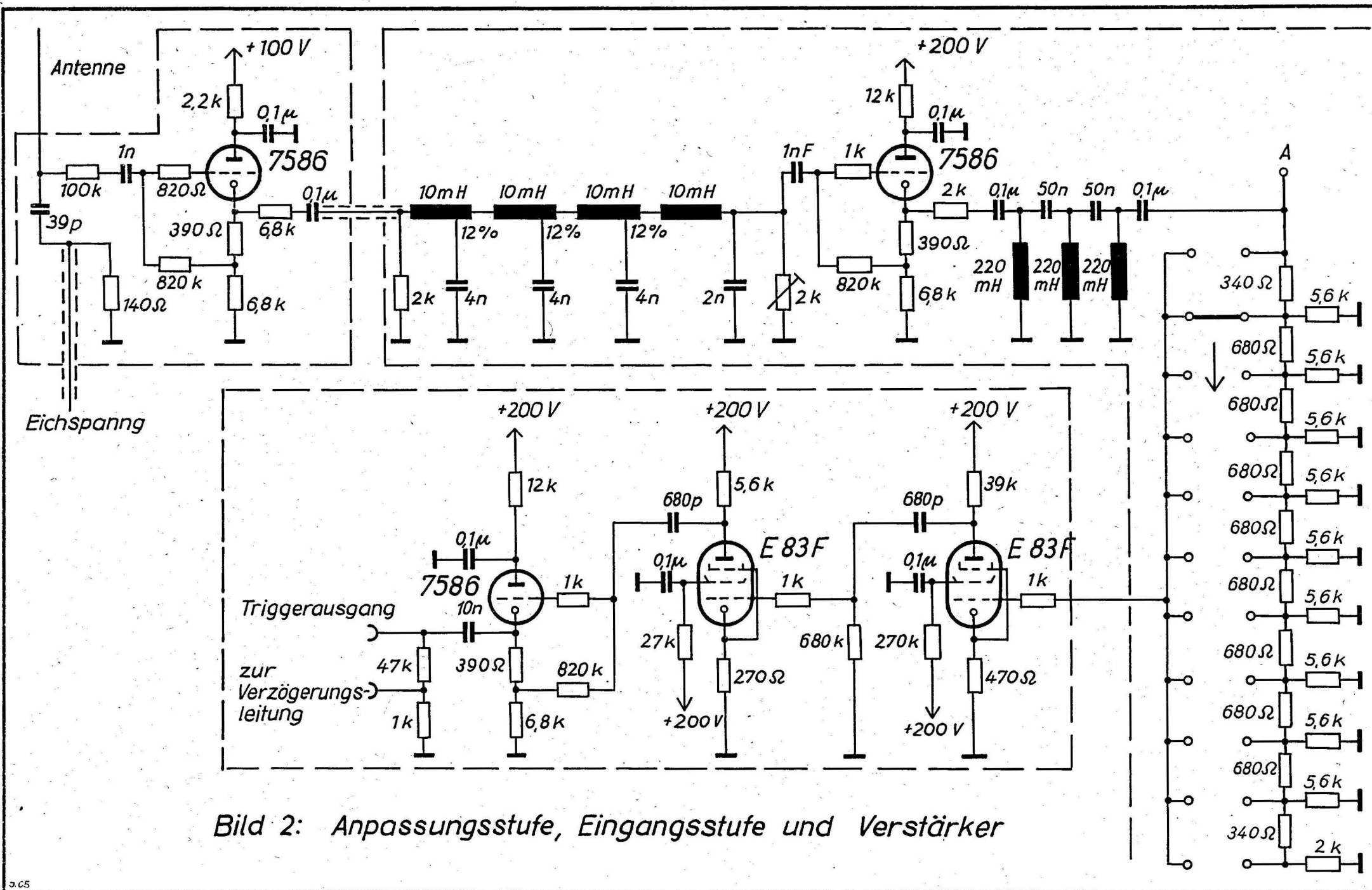


Bild 2: Anpassungsstufe, Eingangsstufe und Verstärker

Der effektive Eingangswiderstand des Kathodenverstärkers beträgt, bedingt durch starke Gegenkopplung, $7 \text{ M}\Omega$; er ist also groß gegen $\frac{1}{\omega_u \cdot C_{\text{ges}}}$. Es ist darauf zu achten, daß der Arbeitswiderstand der Kathodenfolgerstufe nicht unnötig kapazitiv belastet wird, da sonst für hohe Frequenzen die Gegenkopplung entfällt und starke Sender dieser Frequenzbereiche demoduliert werden. Deshalb wurde auf einen Anpassungstransformator zum Antennenkabel verzichtet und das Kabel lediglich über einen Widerstand, dessen Höhe eine genügend große Gegenkopplung gewährleistet, angeschlossen.

Die Kabelkapazität bildet gleichzeitig die Eingangskapazität des am Kabelausgang liegenden Tiefpasses. Als Röhre für die Kathodenfolgerstufe dient ein Nuvistor 7586, der sich durch geringe Abmessungen, große Steilheit, Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer für einen derartigen Verstärker gut eignet.

Die gesamte Verstärkerstufe wurde völlig abgeschirmt, und zuführende und wegführende Verbindungen wurden durch Überziehen mit Ferritperlen verdrosselt, um Störungen durch einen nahen UKW-Rundfunksender zu vermeiden. Die Stromversorgung der Röhre erfolgt über ein weiteres Kabel vom Stationshaus aus.

b) Eingangsstufe mit Bandbreitenbegrenzung (Bild 2)

Der schon erwähnte, fünfgliedrige Tiefpaß, dessen Eingangskapazität zum Teil durch die Eingangskapazität des Antennenkabels gebildet wird, hat einen Wellenwiderstand von $1 \text{ k}\Omega$ und eine Grenzfrequenz von 60 kHz . Um eine konstante Gruppenlaufzeit bis möglichst dicht an die Grenzfrequenz heran zu erreichen, wurden die einzelnen Spulen mit Anzapfungen versehen; die Anschaltung der Querkapazitäten an die Anzapfungspunkte bewirkt dann eine Kopplung der einzelnen Spulen. Dadurch bleibt $\frac{d\varphi}{d\omega}$ die Gruppenlaufzeit, in der Nähe der Grenzfrequenz konstanter als bei einem Tiefpaß gewöhnlicher Art. Zwischen dem Ausgang des Tiefpasses und dem Eingang eines Hochpasses liegt als Trennstufe ein weiterer Kathodenverstärker. Dem Hochpaß, der einen Wellenwiderstand von $1 \text{ k}\Omega$ und eine Grenzfrequenz von 1 kHz hat, folgt unmittelbar ein 10-stufiges Dämpfungsglied mit einer Dämpfung von 3 dB je Stufe.

c) Verstärker (Bild 2)

Nach der Bandbreitenbegrenzung werden die Atmospheric in

einem zweistufigen Verstärker etwa um den Faktor 10^3 verstärkt. Ein anschließender Kathodenverstärker bildet die Ausgangsstufe.

d) Verzögerungsleitung

Für eine fotografische Registrierung von Atmospheric im genannten Frequenzbereich mit bewegtem Film sind Filmgeschwindigkeiten von ca. 25 m/s nötig. Derartige Geschwindigkeiten sind nur mit Trommelkameras erreichbar, die aber, bedingt durch den Trommelumfang, nur kurze Registrierzeiten zulassen. So beträgt z.B. die Registrierzeit bei der geforderten Geschwindigkeit für die Philips-Zeiss-Registrierkamera Frequentophot PP 1021 mit Trommelkassette etwa 25 ms. Die Wahrscheinlichkeit, daß in diesen 25 ms ein "einzelnes" Atmospheric, also ein Atmospheric mit überragender Amplitude auftritt, ist nicht sehr groß, der Filmverbrauch und der Bedienungsaufwand sind dagegen erheblich.

Besser ist es, mit stehendem Film zu arbeiten und für die zeitliche Auflösung die Zeitablenkung eines Kathodenstrahloszillographen zu benutzen. Löst man die Zeitablenkung durch die Atmospheric selbst aus, so kann durch entsprechende Wahl der Auslöschschwelle (Triggerschwelle) dafür gesorgt werden, daß nur Atmospheric mit überragender Amplitude registriert werden. Da die Zeitablenkung erst dann beginnt, wenn ein Atmospheric die Triggerschwelle überschreitet, ist sein Beginn nicht ohne weiteres sichtbar. Das Atmospheric muß daher dem Vertikaleingang des Oszillographen etwas später zugeführt werden als die Spannung, die die Zeitablenkung auslöst. Dies geschieht durch Verwendung einer Verzögerungsleitung.

Die Verzögerungsleitung besteht aus 128 Gliedern. Sie ist mit Luftspulen aufgebaut, die so hintereinander angeordnet sind, daß der Kopplungsfaktor zwischen den benachbarten Spulen 12% beträgt. Dadurch wird eine optimale Konstanz der Gruppenlaufzeit auch bei höheren Frequenzen erzielt (4).

Die Verzögerungsleitung hat weiter folgende Daten:

Längsinduktivität	: 0,31 mH	Windungszahl/Spule	: 142
Querkapazität	: 400 pF	Drahtdurchmesser	: 0,15 mm
Wellenwiderstand	: 1 k Ω	Gleichstr.widerst./Spule:	11 Ω
Ges. Verzögerungszeit:	50 μ s	Zusätzl. Widerstand	
Spulendurchmesser	: 24 mm	zu den Querkapazitäten :	80 k Ω
Spulenlänge	: 26 mm	Gesamte Leitungsdämpfg.:	13 dB
Grenzfrequenz	: 1 MHz		

Die Spulen sind auf Trolitulkörper gewickelt und in 8 Reihen zu 16 Spulen angeordnet. Die gesamte Verzögerungsleitung ist in einem Gehäuse von 440 x 500 x 55 mm untergebracht. Sie wird abgeschlossen durch ihren Wellenwiderstand und durch eine zusätzliche Kapazität von 820 pF, die auf die Leitung eingestreute Störsignale von Rundfunksendern im Lang- und Mittelwellenbereich so abschwächt, daß sie nicht mehr stören.

Die am Ausgang der Verzögerungsleitung vorhandenen Impulse werden auf einen Vertikaleingang eines Zweistrahloszillographen (Tektronix 502) gegeben, dessen Zeitablenkung so eingestellt ist, daß der Strahl 1 ms zum Durchlaufen der ausgenutzten Schirmbreite benötigt.

Der Frequenzgang des gesamten Uebertragungskanals kann durch Anlegen einer Eichspannung an das zum Antenneneingang führende Eichkabel bestimmt werden.

Wie Bild 4 zeigt, ist der Betrag der Verstärkung des Uebertragungskanals relativ konstant; er schwankt zwischen 5 ... 50 kHz um ± 1 dB. Die Gruppenlaufzeit kann aus einer Messung des Phasenganges nach der Formel $t_g = \frac{d\varphi}{d\omega}$ bestimmt werden. Während für die Verzögerungsleitung dank ihrer hohen Grenzfrequenz eine konstante Verzögerungszeit von $52 \pm 1 \mu$ s gemessen wurde, bewirkt die unter b) erwähnte Bandbreitenbegrenzung an den Grenzen des Frequenzbereiches stärkere Laufzeitverzerrungen, die gegebenenfalls bei der Auswertung korrigiert werden müssen.

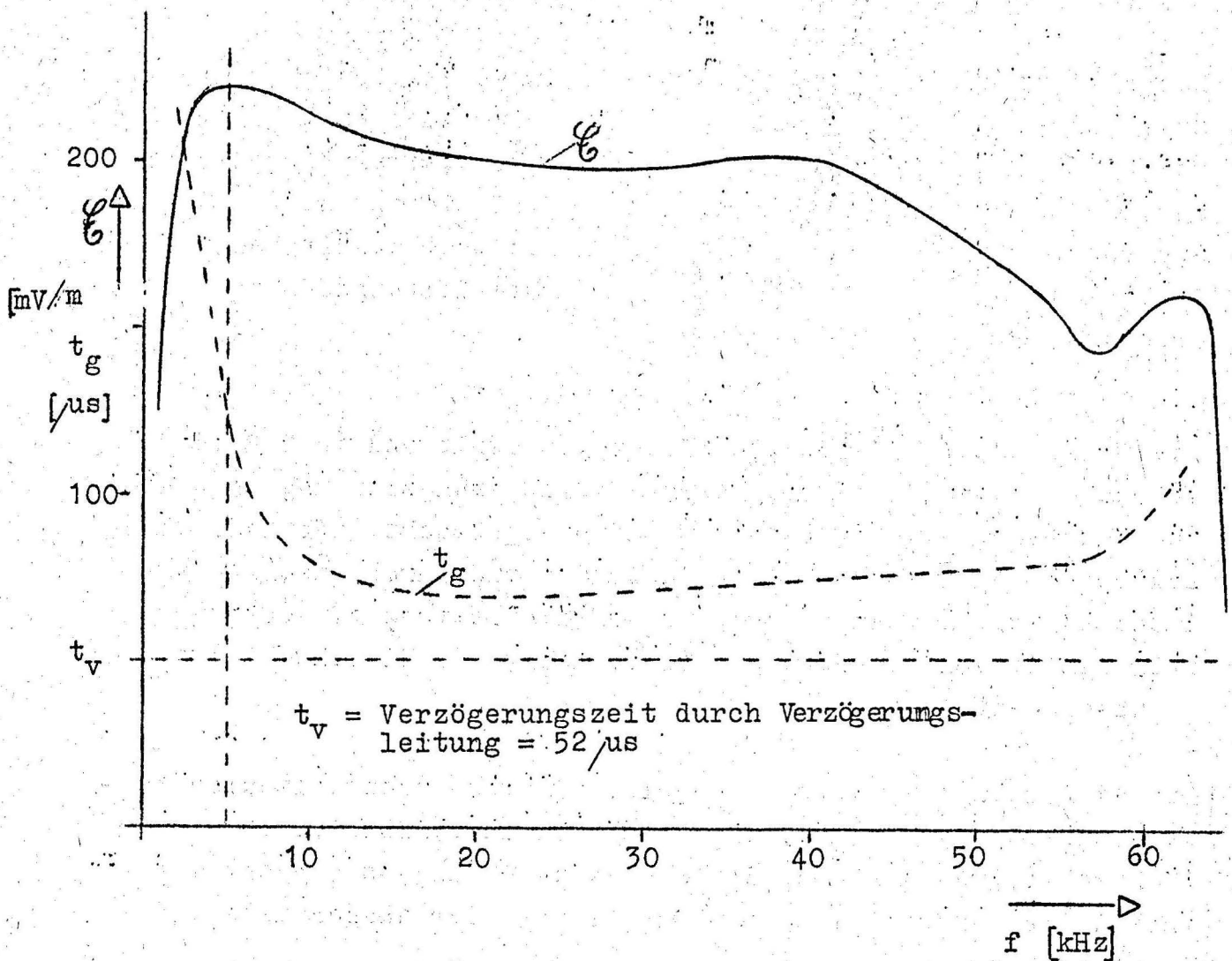


Bild 4: Frequenzabhängigkeit des gesamten Uebertragungskanal

Die Wirkung dieser Laufzeitverzerrungen wird besonders augenfällig, wenn man die Verformung eines Eichimpulses durch den Uebertragungskanal betrachtet (Bild 5a). Man erkennt deutlich die Verzögerungszeit und das verspätete Eintreffen der hohen und der tieferen Frequenzanteile des verzögerten Impulses, das jedoch die Kurvenform der Atmosphericos kaum beeinflusst, da diese Anteile nur schwach enthalten sind. Die Verzerrungen müssen außerdem, wie bereits erwähnt, in Kauf genommen werden, da eine möglichst wirksame Bandbreitenbegrenzung angesichts starker Sender in höheren Frequenzbereichen und möglicher Brummstörungen nötig ist. Wie störend derartige Sender sind, geht bereits daraus hervor, daß die Empfindlichkeit der beschriebenen Anlage in wesentlichen durch die im Uebertragungsbereich vorhandenen Längstwellensender, vor allem durch den englischen Sender GBR auf 16 kHz, nach oben hin be-

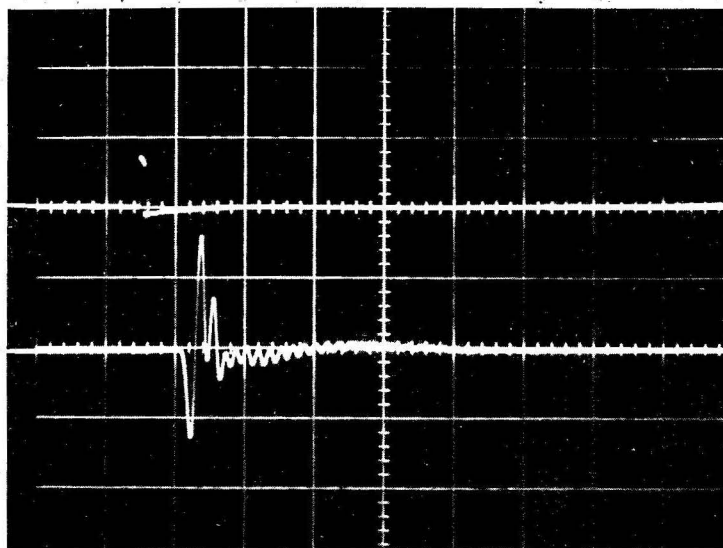


Bild 5a : Eichimpuls,original (oben)
Eichimpuls,verformt (unten)

Zeitablenkung
bei allen Auf-
nahmen 0,1ms/cm

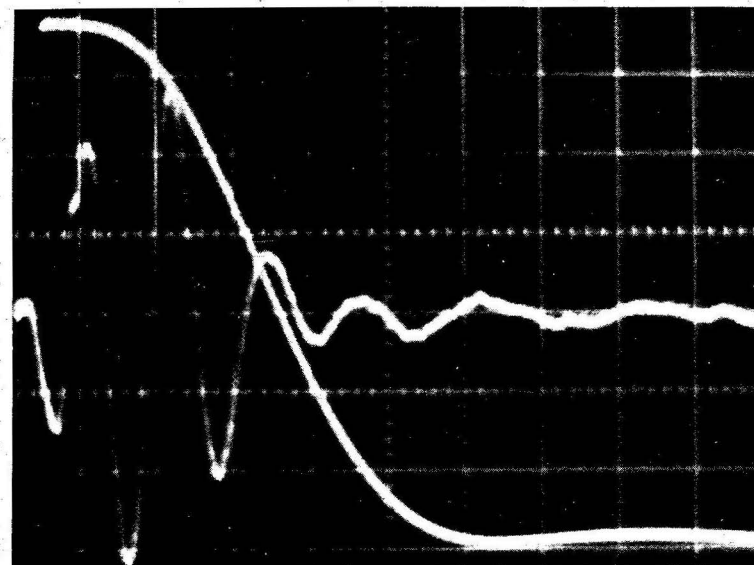


Bild 5d : Registriertes Atmospheric,mit Peilung

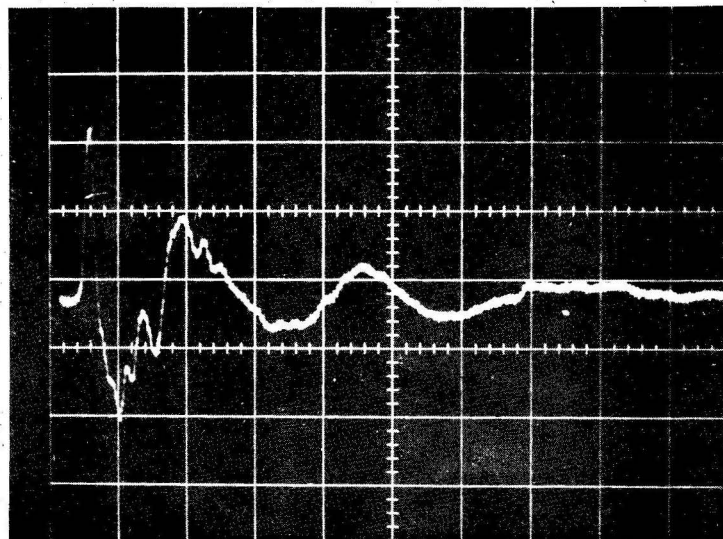


Bild 5b : Registriertes Atmospheric

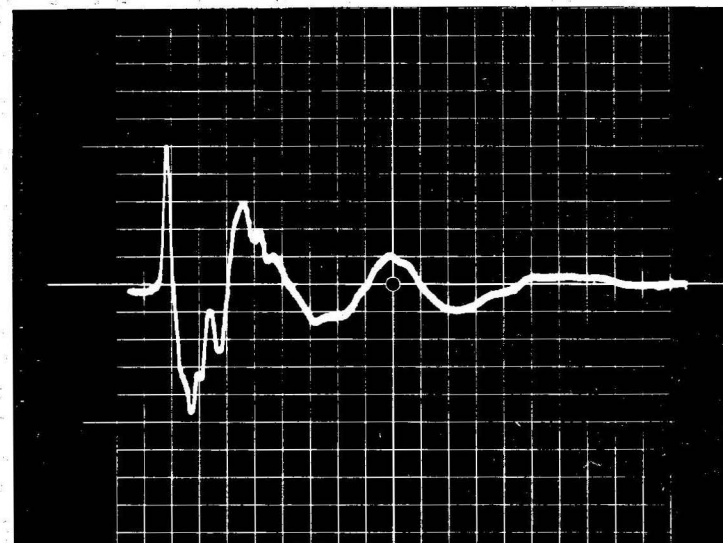


Bild 5c : Atmospheric nach 5b,
Wiedergabe auf dem Analogrechner

grenzt wird. Bei den bisherigen Registrierungen wurde während der Sommermonate mit einer Empfindlichkeit von 500 mV/m, während des Winters mit 200 mV/m je cm Auslenkung auf dem Bildschirm registriert.

e) Steuergerät

Da die Registrierungen einzelner Atmosphericics gleichzeitig mit statistischen Atmosphericics-Untersuchungen durchgeführt und die gesamten Registriergeräte möglichst nur von einer Person bedient werden sollten, war die Registrieranlage weitgehend zu automatisieren.

Dies geschieht durch Verwendung einer automatischen Kamera Robot-Recorder mit elektromagnetischer Auslösung und automatischem Weitertransport des Films.

Außerdem wurde ein transistorbestücktes Steuergerät entwickelt, das folgende Funktionen hat:

In zwischen 1 und 14 Sekunden wählbaren Folgezeiten wird die Kamera über den Auslösemagneten geöffnet und gleichzeitig kurz die Rasterbeleuchtung des Oszillographen hellgesteuert. Die Kamera bleibt dann entweder solange geöffnet, bis die Folgezeit abgelaufen ist, oder aber, bis ein Atmospheric die Zeitablenkung ausgelöst hat. In letzterem Fall wird die Kamera sofort geschlossen, so daß Mehrfachaufnahmen durch kurz aufeinander folgende Atmosphericics vermieden werden. Im ersteren Fall ist nach Ablauf der Folgezeit durch die Grundhelligkeit des Bildschirms der Film bereits etwas vorbelichtet, wodurch die Filmweiterrichtung nötig wird.

Um vor Beginn der Registrierung die Zahl der zu fotografierenden Bilder vorwählen zu können, enthält das Steuergerät noch zwei Zähldekaden mit Vorwahlmöglichkeit [5]. Die beiden hintereinander geschalteten Zählketten gestatten die Vorwahl einer Bildzahl $n = a \cdot b$, wobei a und b ganze Zahlen zwischen 1 und 10 sind. Auf diese Weise können zwischen 1 und 100 insgesamt 41 Bildzahlen vorgewählt werden; die Registrieranlage fotografiert nach dem Start die eingestellte Anzahl von Bildern und wird dann automatisch stillgesetzt. Das Blockschaltbild des Steuergerätes zeigt Bild 6.

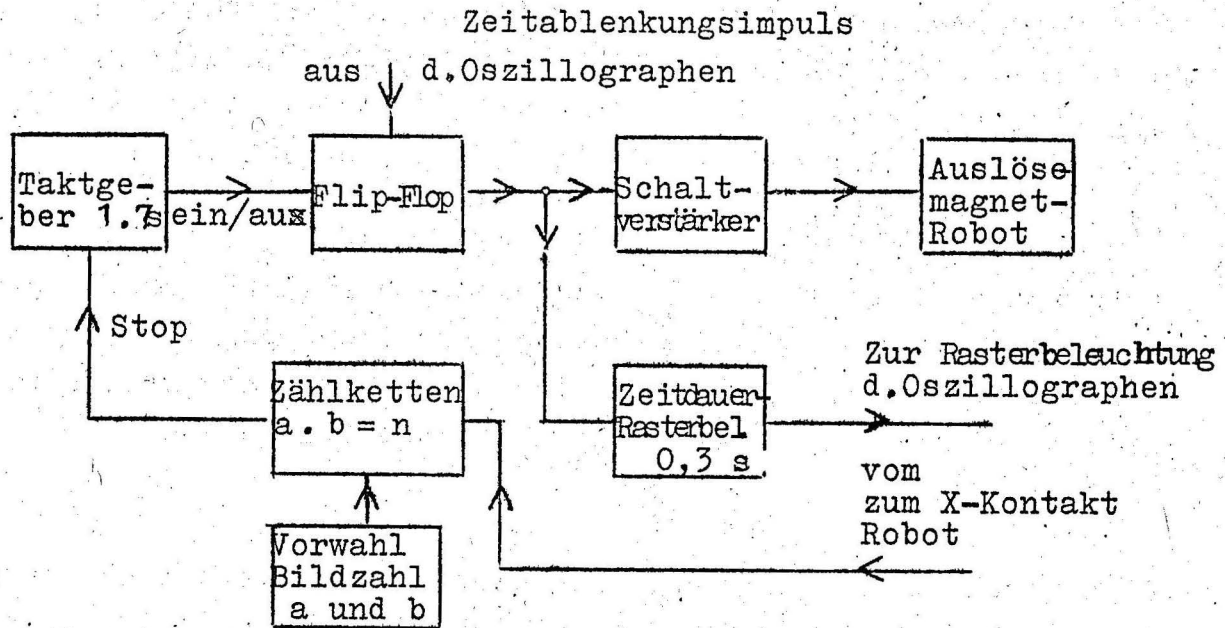


Bild 6: Blockschaltbild des Steuergerätes

f) Frequenzanalyse der registrierten Atmosphericics

Wie bereits erwähnt, sollen die registrierten Atmosphericics zunächst ihrer Form nach in Gruppen eingeteilt und bei typischen Vertretern dieser Gruppen eine Fouriertransformation durchgeführt werden. Mit sinnvollem Zeitaufwand ist die Frequenzanalyse mit Hilfe eines Digital- oder eines Analogrechners möglich.

Bei der Frequenzanalyse mit einem Digitalrechner kann man in folgender Weise vorgehen:

Die Zeitachse der registrierten Zeitfunktion $u(t)$ wird zunächst in n gleiche Teile eingeteilt (Bild 7) und der zu jedem Schritt

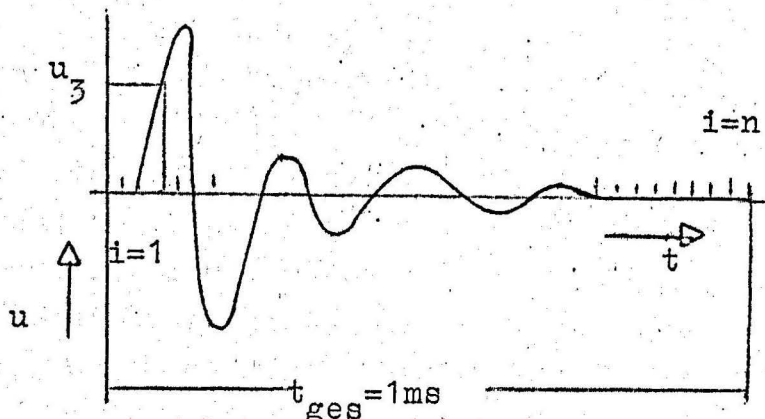


Bild 7: Ermittlung der Eingabewerte bei der Frequenzanalyse mit Digitalrechner

gehörende Spannungswert u_i ermittelt. Eine Kennzeichnung des betreffenden Atmospheric (name), die Gesamtzahl der Schritte n , die Anzahl m der Frequenzen, bei denen analysiert werden soll und schließlich nacheinander die n Spannungswerte u_i bilden die Daten, die dem programmierten Rechner bei jedem Atmospheric angeboten werden müssen. Die Fouriertransformation

$$g(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) e^{-j\omega t} dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \cos \omega t dt - j \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \sin \omega t dt$$

mit den Definitionen

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \cos \omega t dt = a \quad \text{und} \quad \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \sin \omega t dt = b$$

braucht nur in den Grenzen $0 < t < t_{\text{ges}}$ berechnet zu werden, da vereinbarungsgemäß bei einem einzelnen Atmospheric zur Zeit $t=0$ auch $u(t)=0$ sein soll. Ebenso soll das Atmospheric am Ende der Registrierzeit $t_{\text{ges}} = 1 \text{ ms}$ auf 0 abgeklungen sein

Mit ausreichender Genauigkeit lassen sich a und b aus den Werten von u_i wie folgt berechnen:

$$a(F) = \frac{1}{\pi \cdot n} \sum_{i=1}^{i=n} u_i \cdot \cos \frac{2\pi i F}{n}; \quad b(F) = \frac{1}{\pi \cdot n} \sum_{i=1}^{i=n} u_i \cdot \sin \frac{2\pi i F}{n}$$

Der Betrag des Fourierintegrals läßt sich dann einfach aus

$c = \sqrt{a^2 + b^2}$ bestimmen, der Phasenwinkel φ ergibt sich aus $\arctg \frac{b}{a}$. Bild 8 zeigt das Flußdiagramm für die Fouriertransformation, aus dem sich das Programm erstellen läßt.

Nach dem Einlesen des Kennzeichens name, der Schrittzahl n und der Anzahl der Analysierfrequenzen m wird zunächst das Kennzeichen (z.B. at031) ausgedruckt. Danach setzt man die laufende Variable F gleich 1 und druckt diesen Wert für F aus. Anschließend werden der laufende Index i der Schrittzahl gleich

1 gesetzt, zwei Zwischensummen z_c und z_s definiert und zunächst gleich 0 gesetzt. Nun erfolgt die Berechnung von $u_1 \cdot \cos \frac{2\pi i F}{n}$ und $u_1 \cdot \sin \frac{2\pi i F}{n}$. Zu beiden Gliedern wird z_c bzw. z_s addiert und das Ergebnis wiederum z_c bzw. z_s genannt. Hat nun i die maximale Schrittzahl n noch nicht erreicht, wird i um den Wert 1 erhöht und diese Rechnung mit anschließender Erhöhung von i solange wiederholt, bis i den Wert n hat. In diesem Fall wird $\frac{z_c}{\pi n}$ und $\frac{z_s}{\pi n}$ berechnet und gleich a bzw. b gesetzt; es wird $\sqrt{a^2 + b^2}$ berechnet und als c definiert und schließlich der $\arctg \frac{b}{a}$ gebildet und ϕ genannt. Die Werte für a , b , c , und ϕ werden dann ausgedruckt.

Danach wird gefragt, ob die laufende Variable für die Frequenz F bereits die vorgegebene Zahl m erreicht hat. Ist dies nicht der Fall, so wird F um den Wert 1 erhöht und die gesamte Berechnung und Ausgabe für die neue Frequenz wiederholt. Hat F schließlich den Wert m erreicht, wird der Rechner stillgesetzt und für die Dateneingabe des nächsten Atmospheric vorbereitet.

Der Zeitaufwand für die Frequenzanalyse setzt sich, von der einmaligen Arbeit der Aufstellung des Programms abgesehen, aus zwei Anteilen zusammen und zwar aus der Zeit für die Datenbereitstellung (Anfertigen von Lochstreifen oder Lochkarten) und aus der eigentlichen Rechenzeit.

Die Bereitstellung der Daten geschah bei uns in folgender Weise:

- 1) Vergrößern der registrierten Atmospheric-Kurven auf 10 cm/ms.
- 2) Durchpausen der Kurve auf Millimeterpapier.
- 3) Ermittlung des zu jedem Millimeterschritt gehörenden Spannungswertes u_1 . Damit ist ein Wert von $n = 100$ festgelegt.
- 4) Stanzen des Datenlochstreifens.

Für diese Arbeiten wurden ca. 40 min je Atmospheric benötigt. Die Rechenzeit hängt entscheidend von der Art des verwendeten Digitalrechners ab. Der von uns probeweise benutzte Rechner RPC 4000 am Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik der TU hat einen Magnettrommelspeicher und eine Bit-Folgefrequenz von

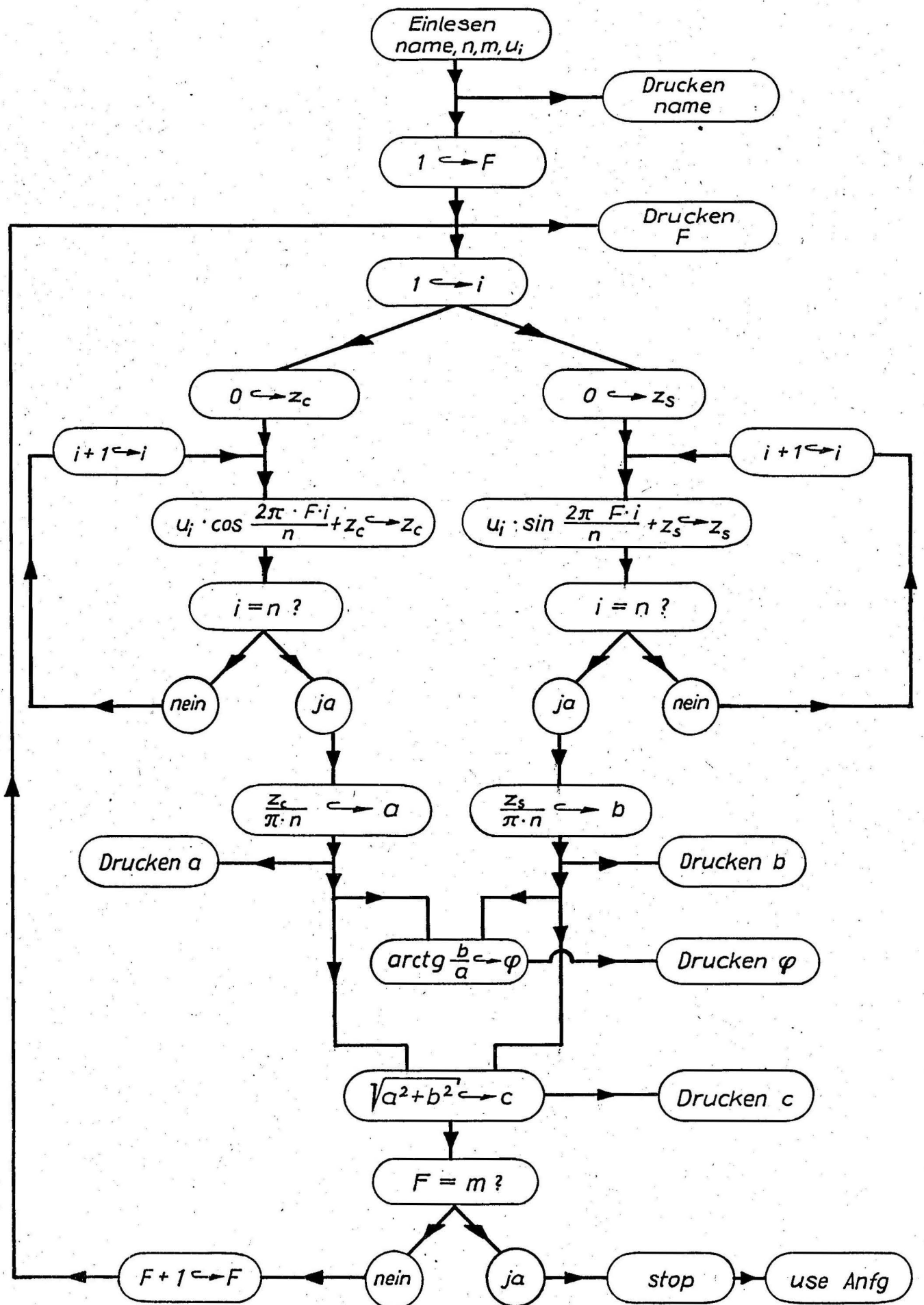


Bild 8: Flußdiagramm für die Frequenzanalyse mit Digitalrechner

123 kHz. Er benötigte für die geschilderte Frequenzanalyse eines Atmospheric bei 50 Frequenzwerten über drei Stunden und ist damit, wie später gezeigt werden wird, erheblich langsamer als der Analogrechner des Heinrich-Hertz-Instituts. Bei Verwendung eines schnelleren Digitalrechners liegen die Verhältnisse natürlich anders.

Die Genauigkeit des Verfahrens hängt von der Anzahl n der Spannungswerte u_i ab, mit denen die registrierte Kurve nachgebildet wird. Bei dem verwendeten Wert $n = 100$ nimmt die Genauigkeit für Frequenzen über 25 kHz schnell ab. Für genauere Auswertung bei höheren Frequenzen müßte daher $n = 200$ gewählt werden, wobei sich allerdings die Rechenzeit und die Zeit für die Datenerbereitstellung annähernd verdoppeln. Höhere Werte für n zu wählen ist nicht/sinnvoll, da dann bereits die Grenze der Auflösungsfähigkeit der registrierten Kurven erreicht ist.

Für die Benutzung eines Analogrechners ist es zunächst nötig, die fotografisch registrierten Atmosphericskurven wieder in zeitabhängige Spannungswerte umzuwandeln. Zu diesem Zweck wurde ein foto-elektrisches Gerät entwickelt, das in Verbindung mit einem laborüblichen Oszillographen (z.B. Tektronix 515 a) einen Funktionsgenerator bildet, der in Schablonenform eingegebene Kurven in entsprechende zeitabhängige Spannungsverläufe umformt.

Dieses Gerät arbeitet nach folgendem Prinzip:

Ein Fotowiderstand wird in einem Tubus in ca. 20 cm Abstand vom Bildschirm des Oszillographen angeordnet (Bild 9). Dabei läßt sich die Belichtung des Fotowiderstandes durch den Bildpunkt mit Hilfe eines Verschlusses ein- und ausschalten.

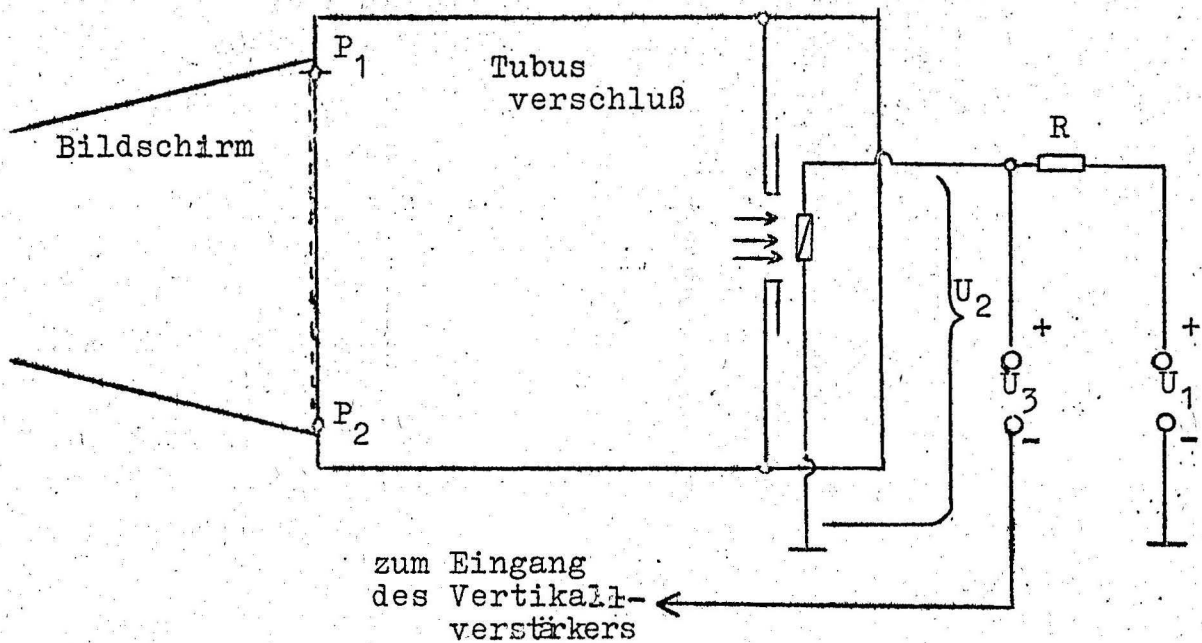


Bild 9: Prinzipschaltung des fotoelektrischen Regelkreises

An die Reihenschaltung des Fotowiderstandes mit einem Widerstand R , der möglichst groß gegen den Fotowiderstand ist, wird eine konstante Gleichspannung U_1 gelegt, so daß am Fotowiderstand eine Spannung U_2 steht, die direkt eine Funktion der Größe des Fotowiderstandes und damit der Belichtung ist. Von U_2 wird eine einstellbare Gleichspannung U_3 abgezogen und die Differenzspannung dem gleichspannungsgekoppelten Eingang des Vertikalverstärkers des Oszillographen zugeführt. Mit Hilfe der Spannung U_3 wird bei geschlossenem Verschuß der Bildpunkt so eingestellt, daß er bei P_1 am oberen Rande des Bildschirmes liegt. Oeffnet man nun den Verschuß, so wird bei genügender Helligkeit des Bildpunktes der Fotowiderstand vom Licht des Bildpunktes getroffen. Dadurch verringert sich sein Widerstand und damit die Eingangsspannung des Oszillographen, so daß der Bildpunkt von P_1 aus nach unten sinkt. Sind Helligkeit und Vertikalverstärkung genügend groß, so bewegt sich der Bildpunkt über den ganzen Schirm, bis er am unteren Rande des Oszillographenschirms am Punkt P_2 ankommt. Dort befindet er sich in einem Dilemma: sänke er über den Rand hinaus weiter nach unten, so wäre sofort die Belichtung des Fotowiderstandes beendet und die Eingangsspannung nähme wieder

einen Wert an, der einer Punktlage bei P_1 zugeordnet ist. Oberhalb von P_2 gibt es im Gebiet des Bildschirms aber auch keinen stabilen Zustand, da die Belichtung so groß ist, daß sie Spannungswerten unterhalb P_2 entspricht. Ein stabiler Zustand dieses fotoelektrischen Regelkreises ist der, daß der Bildpunkt nur mit dem Teil seiner Fläche die bei P_1 liegende Grenze "sichtbar-unsichtbar" überschreitet, die am Fotowiderstand eine Belichtung und damit eine Spannung ergibt, die dem Punkt P_2 entspricht. Der Bildpunkt verharrt also an der Grenze bei P_2 . Dasselbe gilt, wenn zwischen die Punkte P_1 und P_2 eine neue Grenze, etwa in Form einer Schablone, gebracht wird. Auch in diesem Fall bewegt sich der Bildpunkt nach dem Öffnen des Verschlusses von P_1 aus abwärts, bis er auf die Kante der Schablone trifft und verharrt an dieser Stelle. Schaltet man nun die Zeitablenkung des Oszillographen ein, so folgt der Bildpunkt während seiner horizontalen Bewegung in vertikaler Richtung den Konturen der vor den Bildschirm geschobenen Schablone. (Bild 10).

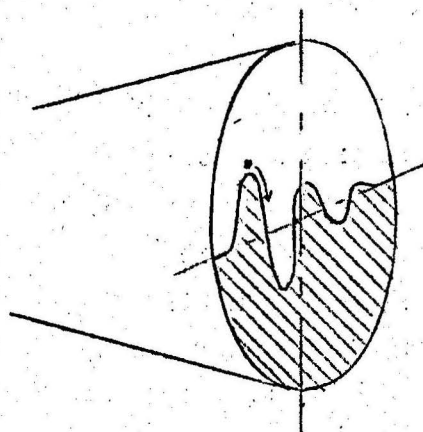


Bild 10: Nachlaufen des Bildpunktes bei Anbringen einer Schablone vor dem Bildschirm und gleichzeitiger Horizontalablenkung

Da jedoch bei der Verwendung eines gleichspannungsgekoppelten Vertikalverstärkers zu jedem Bildpunkt in vertikaler Richtung eine ihm proportionale Eingangsspannung gehört, muß bei gleichzeitiger horizontaler Ablenkung der zeitliche Verlauf der Eingangsspannung des Oszillographen der in Schablonenform gespeicherten Zeitfunktion entsprechen. Benutzt man für die horizontale Ablenkung die Zeitbasisspannung des Analogrechners, für die Schablonenform den Verlauf der registrierten Atmosphericics und die Eingangsspannung des Oszillographen gleichzeitig als zu analysierende Zeitfunktion $f(t)$ für den Analogrechner, so ist das Problem der Rückwandlung der fotografisch registrierten Atmosphericics in zeitliche, der Rechengeschwindigkeit des Analog-

rechners angepaßte Spannungsverläufe gelöst.

Dem geschilderten Verfahren haften einige Fehlermöglichkeiten an, die seine Genauigkeit beeinflussen und kurz erläutert werden sollen.

1) Parallaxenfehler

Die Fehler, die sich durch die Parallaxe des Systems Bildpunkt, Schablone und Fotowiderstand ergeben, lassen sich vermindern durch möglichst geringen Abstand zwischen Bildschirm und Schablone und möglichst große Entfernung zwischen Fotowiderstand und Bildschirm. Am besten lassen sie sich jedoch durch Anbringen einer Sammellinse mit Bildschirmdurchmesser vor Bildschirm und Schablone und Anordnung des Fotowiderstandes in deren Brennpunkt vermeiden. Dadurch wird erreicht, daß nur die Lichtstrahlen den Fotowiderstand erreichen, die senkrecht vom Bildpunkt ausgehen.

2) Regelungsfehler

Das verwendete Prinzip bringt es mit sich, daß der Mittelpunkt des Bildpunktes nicht genau auf der Schablonengrenze liegen muß. Diese Fehler lassen sich durch richtige Einstellung von Verstärkung und Bildpunkthelligkeit auf ca. $0,5 \cdot$ Bildpunktradius begrenzen. Für sehr genaue Funktionsnachbildungen könnte dieser Fehler in Abhängigkeit von der Vertikalauslenkung bestimmt und bei der Schablonenanfertigung berücksichtigt werden.

3) Schablonenfehler

Bei geeignetem Schablonenmaterial und auflösungsfähigen Vorlagen lassen sich bei entsprechendem Zeitaufwand sehr genaue Schablonen anfertigen; für unsere Zwecke genügte es, die Atmosphericsaufnahmen zunächst auf das Format 10 cm/ms zu vergrößern. Diese Abzüge wurden auf der Rückseite geschwärzt, mit Spezialscheren ausgeschnitten und auf eine Glasplatte geklebt.

4) Röhrengemetriefehler

Dieser Fehler hängt von der Güte des verwendeten Oszillographen ab. Für genaue Funktionsnachbildungen ließe er sich dadurch ver-



Bild 11: Schaltbild des Funktionsgenerators

ringern, daß für Registrierung und Funktionsnachbildung derselbe Oszillograph benutzt wird.

5) Fehler bei zu hoher Horizontal-Ablenkgeschwindigkeit

Bedingt durch die Zeitkonstante des Fotowiderstandes folgt bei hoher Ablenkgeschwindigkeit der Bildpunkt nicht mehr einwandfrei den Konturen der Schablone. Dieser Fehler läßt sich durch geeignete Wahl von Fotowiderstand und Rechenzeit vermeiden.

Bild 11 zeigt das Schaltbild des ausgeführten Funktionsgenerators. Die nötigen Hilfsgleichspannungen werden einem Gleichspannungswandler entnommen, dessen hohe Schwingfrequenz (15 kHz) kleine Siebkondensatoren und damit niedrige Zeitkonstanten der Schaltung ermöglicht. Die am Fotowiderstand (ORP 60 Fa. Valvo) liegende Spannung U_2 wird nicht direkt, sondern über einen Kathodenverstärker nach dem Abziehen der Spannung U_3 dem Vertikaleingang des Oszillographen zugeführt. Die Differenzspannung wird noch in einem einstufigen Gleichspannungsverstärker verstärkt, eine Spannung U_4 zum Justieren des Nullpunktes abgezogen und diese Differenzspannung als Eingangsspannung für den Analogrechner benutzt. Bedingt durch den relativ trägen Fotowiderstand ORP 60 ist erst bei 5 cm/s horizontaler Ablenkgeschwindigkeit eine brauchbare Abtastung komplizierterer Schablonen möglich, es müssen also Rechenzeiten von über 2 s am Analogrechner gewählt werden. Für die Vertikalverstärkung des Oszillographen hat sich ein optimaler Wert von 0,2 V/cm ergeben. Das Bild 5b zeigt die Originalregistrierung eines Atmospheric, das Bild 5c die Wiedergabe dieses Atmospheric auf dem Analogrechner mit Hilfe des beschriebenen Funktionsgenerators.

Für eine vollständige Frequenzanalyse der Atmospheric nach Betrag und Phase empfiehlt sich eine Schaltung auf dem Analogrechner nach Bild 12.

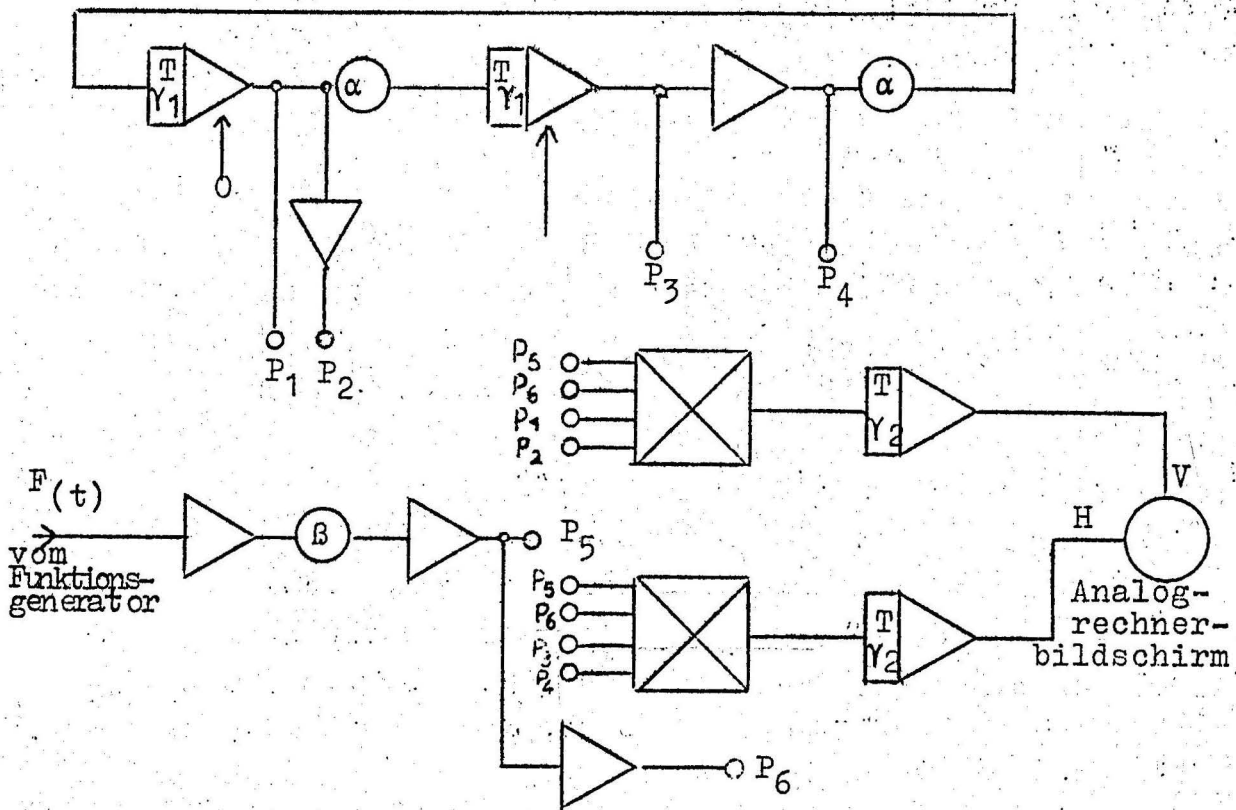


Bild 12: Frequenzanalyse auf dem Analogrechner, Schaltung 1

Bei dieser Schaltung werden zunächst durch Nachbildung der Schwingungsgleichung $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$ die Funktionen $\cos \omega t$ und $\sin \omega t$ gebildet. Durch Verwendung von Umkehrverstärkern und entsprechende Abgriffe an der Schaltung stehen folgende Funktionen zur Verfügung :

An P_1 : $\sin \omega t$, an P_2 : $-\sin \omega t$, an P_3 : $\cos \omega t$ und an P_4 : $-\cos \omega t$

Die Kreisfrequenz ω ist festgelegt durch die Beziehung $\omega = \frac{\alpha \cdot \gamma_1}{\beta \cdot T}$; hierin ist β ein Zeitmaßstabsfaktor, T die Integrationskonstante und γ_1 der Verstärkungsfaktor der Integrierverstärker.

Die vom Funktionsgeber kommende Zeitfunktion $f(t)$ wird noch verstärkt und ist durch den Koeffizienten β in ihrer Amplitude einstellbar (P_5). Nach Bildung von $-f(t)$ in einem Umkehrverstärker (P_6) stehen alle Funktionen für die anschließende Multiplikation und Integration zur Verfügung.

Die Ausgangsspannungen der den Multiplizierstufen folgenden Integrierverstärker

$$u_a = \frac{\gamma_2}{T} \int_0^{T_r} f(t) \cdot \cos \omega t dt \text{ und } u_b = \frac{\gamma_2}{T} \int_0^{T_r} f(t) \cdot \sin \omega t dt$$

sind die Eingangsspannungen für den Horizontal-, bzw. den Vertikaleingang des Anzeigeoszillographen.

Mit dem Abklingen von $f(t)$ auf Null strebt der Bildpunkt einem Endwert zu, dessen Abstand C vom Nullpunkt dem Betrag des Fourierintegrals $g(\omega)$ proportional ist und dessen Verbindungslinie zum Nullpunkt mit der Horizontalrichtung den Winkel ϕ bildet. Bei Verwendung eines Polarkoordinatenrasters sind C und ϕ direkt ablesbar.

Durch Verändern von ω kann die Funktion $g(\omega)$ nun Punkt für Punkt bestimmt werden. Grundsätzlich ist bei konstanter Rechenzeit T_r das Verändern von ω durch Variation von α oder γ_1 möglich. Bequemer ist es jedoch, diese Werte einmal optimal festzulegen und lediglich die Rechenzeit T_r zu variieren. Dabei muß zwar der Ablesewert C noch jeweils durch T_r dividiert werden; der Vorteil liegt aber, neben der bequemerem Frequenzumschaltung, darin, daß sich für C größere Ablesewerte und damit höhere Genauigkeiten bei höheren Frequenzen ergeben und eine gute Anpassung der Rechenzeit und damit der Schablonenabtastgeschwindigkeit an die jeweilige Analysierfrequenz eintritt. Die genaue Zuordnung von Schablonenabtastgeschwindigkeit und Analysierfrequenz geschieht am einfachsten durch Verwendung einer Normschablone, die genau eine Sinusschwingung auf 10 cm Länge enthält. Ergibt dann die Lissajous-Figur von $f(t)$ und der am Rechner erzeugten Sinusschwingung bei einer Rechenzeit $T_r = 1$ s genau eine Gerade, so ist damit dieser Rechenzeit eine Originalfrequenz von 1 kHz zugeordnet und die Genauigkeit der Abtastgeschwindigkeit und der richtige Anfangspunkt der Abtastung sichergestellt.

Der Zeitaufwand für die Frequenzanalyse mit dem Analogrechner ist relativ gering: in ca. 15 min lassen sich so viele Punkte der Funktion $g(\omega)$ eines Atmospheric berechnen, daß ihr Verlauf

genügend genau bestimmt werden kann. Für die Anfertigung von Schablonen werden etwa 30 min je Schablone benötigt, also etwas weniger Zeit als für die Datenbereitstellung bei der Frequenzanalyse mittels Digitalrechner.

Als Beispiel sind in Bild 13 die Ergebnisse der Frequenzanalyse des in Bild 5b gezeigten Atmospheric dargestellt. Während die ausgezogene Linie den mit Hilfe des Analogrechners ermittelten Verlauf der Funktion $g(\omega)$ zeigt, wurden die mit Kreuzen gekennzeichneten Punkte mit dem Digitalrechner berechnet. Bei Frequenzen zwischen 3 und 13 kHz ist die Übereinstimmung der Ergebnisse recht gut, dagegen sind bei höheren und tieferen Frequenzen merkliche Abweichungen festzustellen. Bei niedrigeren Frequenzen dürften die Fehler beim Analogverfahren liegen: eine von der vertikalen Nullpunktlage abweichende Schablonenstellung macht sich gerade bei tiefen Frequenzen stark bemerkbar, jedoch sind Frequenzen unter 3 kHz für die Auswertung nicht von besonderem Interesse.

Bei den höheren Frequenzen ist der Fehler im Digitalverfahren zu suchen; die Auflösung der Zeitfunktion in 100 Spannungswerte dürfte nicht fein genug sein. Man müßte 200 Spannungswerte ermitteln und eine Verlängerung der Rechenzeit in Kauf nehmen.

Außer dem Verlauf des Betrages der spektralen Amplitude der Atmospherics kann aus den bei den Rechnungen ermittelten Werten des Phasenwinkels φ die Gruppenlaufzeit $t_{gr} = \frac{d\varphi}{d\omega} \approx \frac{\Delta\varphi}{\Delta\omega}$ in Abhängigkeit von der Frequenz bestimmt werden. Die Laufzeitdifferenzen zwischen den einzelnen Frequenzanteilen sind für das jeweils analysierte Atmospheric charakteristisch.

Mit der hier beschriebenen Anlage sind seit Aug. 1963 in der Außenstelle Waidmannslust täglich gegen 14⁰⁰ MEZ durchschnittlich ca. 30 einzelne Atmospherics registriert worden. Von den bisher insgesamt etwa 4000 Atmospherics wurden 80 ausgesucht, Schablonen von ihnen hergestellt und die Frequenzanalyse auf dem Analogrechner durchgeführt. Ueber die Ergebnisse dieser Analysen und ihrer Auswertung wird an anderer Stelle berichtet werden.

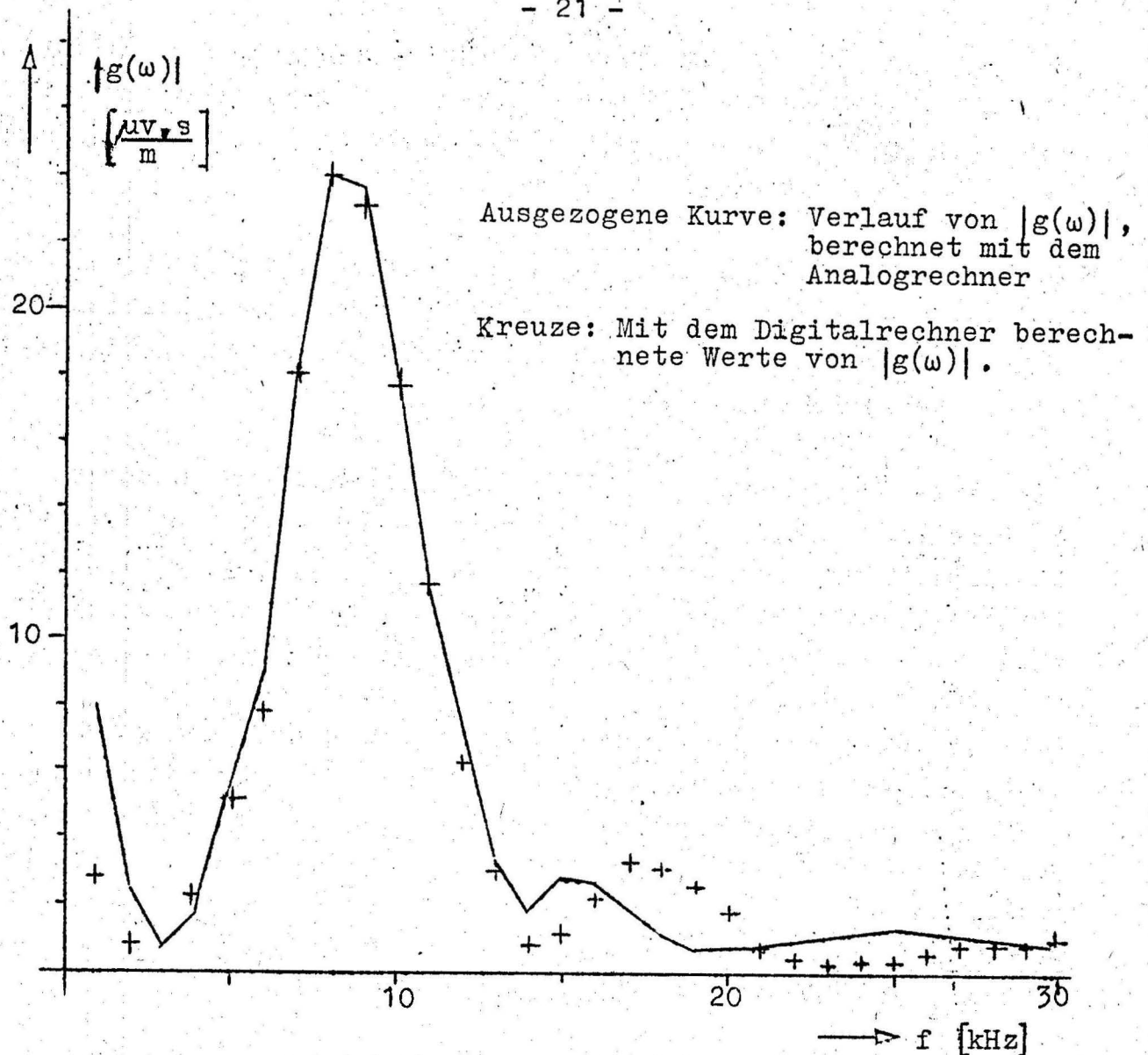


Bild 13: Beispiel für das Ergebnis einer Frequenzanalyse

Verlauf von $|g(\omega)|$ für das in Bild 5d gezeigte Atmospheric

B. Peilung von Atmospherics

a) Allgemeines

Sowohl bei der Auswertung der statistischen Atmospherics-Untersuchungen, als auch für die im ersten Teil dieser Arbeit geschilderten Analysen von einzelnen Atmospherics ist die Kenntnis der geographischen Lage von Gewitterherden und der jeweiligen Einzelblitze eine wertvolle Hilfe.

Aus diesem Grunde wurde ein Peilgerät entwickelt, das die Einfallrichtung der registrierten einzelnen Atmospheric und die durch Gewitterherde bedingten bevorzugten Einfallrichtungen festzustellen gestattet.

Am einfachsten erfolgt die Peilung, indem man die Richtung des Vektors der magnetischen Feldstärke $\vec{H}(t)$ des Atmospheric bestimmt, die parallel zum Erdboden verläuft und senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung steht.

Die einfache Rahmenantenne, die ein Horizontal-Antennendiagramm in Form einer Acht hat, ist nur zum Anpeilen von einzelnen, kontinuierlich arbeitenden ortsfesten Sendern geeignet, jedoch unbrauchbar zum Peilen von Atmospheric, die ständig in großer Zahl aus beliebigen Richtungen einfallen können.

Brauchbar ist der sogenannte Kathodenstrahl-sichtpeiler, dessen Antennensystem aus zwei senkrecht aufeinanderstehenden Rahmenantennen und einer vertikalen Stabantenne besteht (Bild 14).

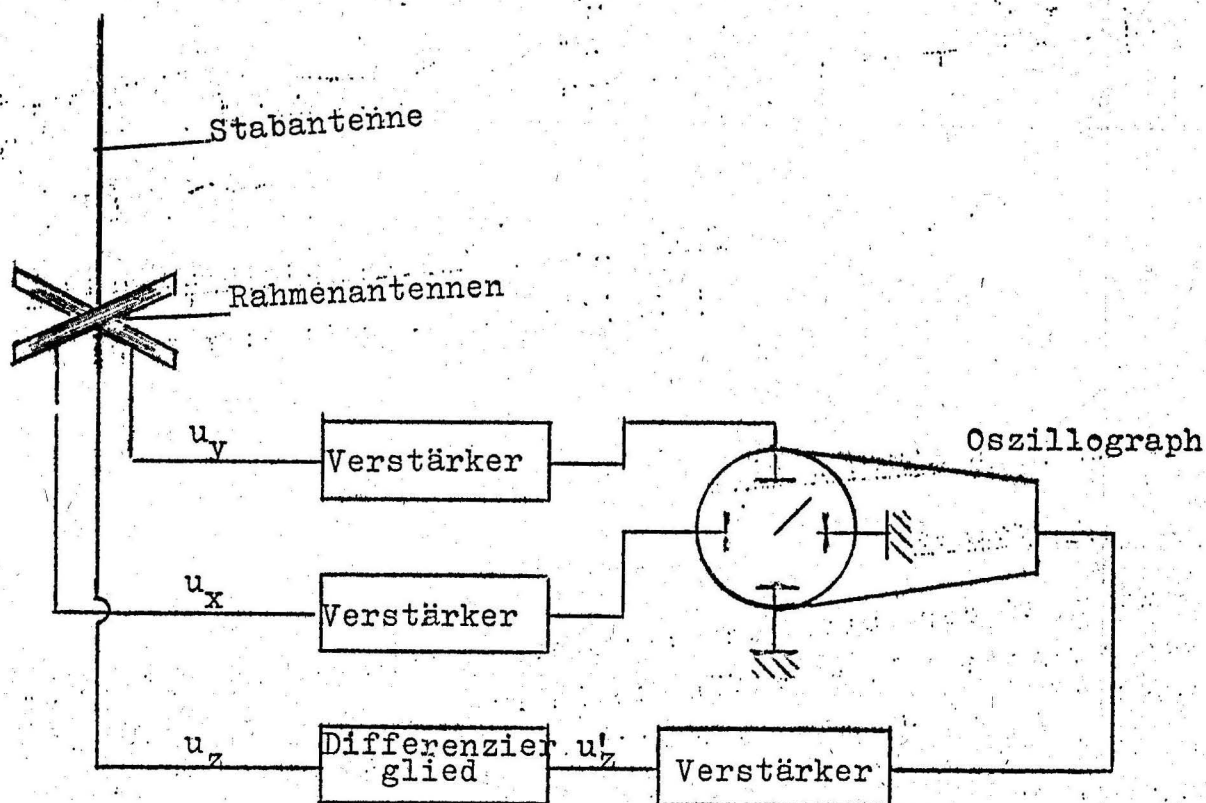


Bild 14: Blockschaltbild eines Kathodenstrahl-sichtpeilers

Unter den auf Seite 1 genannten Voraussetzungen können diesem Antennensystem folgende Spannungen entnommen werden:

$$u_x = C_1 \frac{d\mathcal{H}(t)}{dt} \cos \varphi \quad (1)$$

$$u_y = C_1 \frac{d\mathcal{H}(t)}{dt} \sin \varphi \quad (2)$$

$$u_z = C_2 \cdot \mathcal{L}(t) = C_2 \cdot Z_0 \mathcal{H}(t) \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

$\mathcal{H}(t)$ = zeitabhängige Größe des Vektors der magnetischen Feldstärke

$\mathcal{L}(t)$ = zeitabhängige Größe des Vektors der elektrischen Feldstärke

Z_0 = Feldwiderstand des freien Raumes = 377 Ω

φ = Winkel zwischen der Rahmenebene der X-Antenne und der Einfallrichtung des Atmospheric

C_1, C_2 = Antennenkonstanten

u_x, u_y = Spannungen, die in der X-, bzw. Y-Antenne vom Atmospheric erzeugt werden

u_z = Spannung, die vom Atmospheric in der Stabantenne erzeugt wird

Verstärkt man die Spannungen u_x und u_y , legt sie jeweils an den X- und an den Y-Eingang eines Oszillographen und sorgt für gleiche Gesamtverstärkung in beiden Kanälen, so erzeugt auf dem Oszillographenschirm jedes größere Atmospheric einen zum Nullpunkt etwa symmetrischen Strich, dessen Richtung seiner Einfallrichtung zugeordnet werden kann.

Um die Peilung eindeutig zu machen, muß die Spannung der Stabantenne mit herangezogen werden; sie wird differenziert und hat dann die Größe

$$u'_z = C_2 \cdot Z_0 \frac{d\mathcal{H}(t)}{dt} \quad (4)$$

Für jedes einzelne Atmospheric ist u'_z den Spannungen u_x und u_y proportional, jedoch bewirkt die Einfallsrichtung φ über die Glieder $\cos \varphi$ und $\sin \varphi$ in (1) und (2) Vorzeichenwechsel der Proportionalitätsfaktoren, wodurch die Peilung eindeutig wird.

Die Spannung u'_z dient nach Verstärkung zur Hellsteuerung des Oszillographen, durch sie wird dann jeweils eine Hälfte des auf dem Schirm erscheinenden Striches aufgehellte und die andere verdunkelt.

Das Bild 18a zeigt ein Beispiel einer Registrierung nach diesem Prinzip. Bei ihm wurde 10 Minuten lang belichtet, um bevorzugte Einfallsrichtungen erkennbar zu machen.

b) Erzeugung einer der Einfallsrichtung proportionalen Meßspannung u_m

Obwohl diese Registrierungen sehr anschaulich sind, haben sie doch einen erheblichen Nachteil: für die Bestimmung einer Größe, nämlich der Einfallsrichtung φ , müssen dem Oszillographen drei Spannungen zugeführt werden, lediglich die besondere Art der Darstellung auf dem Oszillographen ermöglicht eine einfache Bestimmung der Einfallsrichtung.

Wie später gezeigt werden wird, ergeben sich beträchtliche registrier- und auswerttechnische Vorteile, wenn die Einfallsrichtung durch eine einzige Spannung angegeben wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe führen folgende prinzipielle Überlegungen:

Jede der drei Spannungen u_x , u_y und u'_z werde einem, zunächst ungedämpften Schwingkreis zugeführt, die alle auf die Frequenz ω_0 abgestimmt sind und vorher in energielosem Zustand waren. Nach dem Ende des die drei Spannungen verursachenden Atmospheric liegen an den Kreisen Spannungen u_{kx} , u_{ky} und u_{kz} in folgender Form [6] :

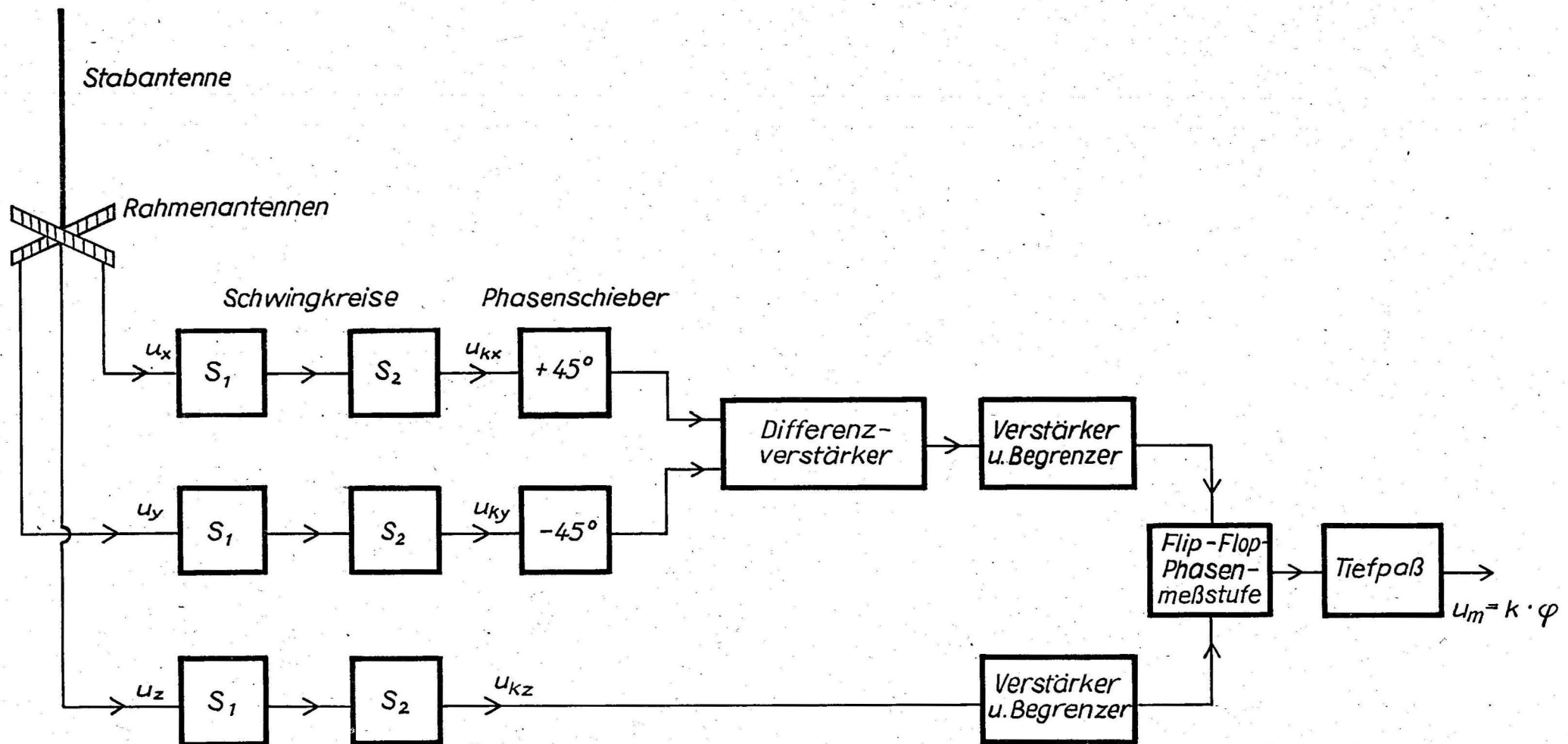


Bild 15: Blockschaltbild einer Anordnung zur Erzeugung einer der Einfallsrichtung φ proportionalen Meßspannung u_m

$$u_{kx} = C_3 \cdot |g(\omega_0)| \cdot \cos\varphi \cdot \sin(\omega_0 t + f) \quad (5)$$

$$u_{ky} = C_3 \cdot |g(\omega_0)| \cdot \sin\varphi \cdot \sin(\omega_0 t + f) \quad (6)$$

$$u_{kz} = C_4 \cdot |g(\omega_0)| \cdot \sin(\omega_0 t + f) \quad (7)$$

Hierin sind C_3 und C_4 Konstanten, die die Schwingkreisdaten und die Konstanten C_1 bzw. $Z_0 \cdot C_2$ berücksichtigen, $|g(\omega_0)|$ ist der Betrag des Fourierintegrals der Zeitfunktion bei der Frequenz ω_0 , der Winkel f ist ebenfalls eine Funktion von $\frac{d\varphi(t)}{dt}$. + Verschiebt man die Phase/Spannung u_{ky} um $\frac{\pi}{2} = 90^\circ$, so ist diese phasenverschobene Spannung

$$u_{py} = C_3 \cdot |g(\omega_0)| \sin\varphi \cdot \sin(\omega_0 t + f + \frac{\pi}{2}) = C_3 |g(\omega_0)| \sin\varphi \cos(\omega_0 t + f)$$

Nun ist aber

$$u_{kx} = C_3 \cdot |g(\omega_0)| \cdot \frac{1}{2} \cdot [\sin(\omega_0 t + f - \varphi) + \sin(\omega_0 t + f + \varphi)]$$

$$u_{py} = C_3 |g(\omega_0)| \cdot \frac{1}{2} \cdot [\sin(\varphi - \omega_0 t - f) + \sin(\omega_0 t + f + \varphi)]$$

und damit

$$u_{kx} - u_{py} = C_3 \cdot |g(\omega_0)| \cdot \sin(\omega_0 t + f - \varphi) = u_\varphi \quad (8)$$

Aus (8) ist zu erkennen, daß der Scheitelwert von u_φ unabhängig von der Einfallsrichtung ist; die Phase von u_φ wird dagegen von der Einfallsrichtung direkt beeinflusst und ein Vergleich mit (7) zeigt, daß die Einfallsrichtung unmittelbar durch eine Messung der Phasendifferenz von u_φ und u_{kz} eindeutig bestimmt werden kann.

Dies gilt auch dann, wenn gedämpfte Kreise verwendet werden, allerdings müssen die Kreise gleiche Dämpfung haben. Die Dimensionierung der Kreisdämpfung ist ein Kompromiß: bei zu starker Dämpfung wird die Phasenmessung ungenau, da dann für sie nur wenige Perioden von u_φ und u_{kz} zur Verfügung stehen, bei

zu geringer Dämpfung ist die Abklingzeit der Kreise so groß, daß sie beim Auftreten des nächsten Atmospheric noch nicht wieder im energielosen Zustand sind, was Fehlmessungen verursacht. Diese, für Schwingkreise geltenden Ueberlegungen, lassen sich auch auf andere schmalbandige Uebertragungssysteme ausdehnen: wichtig ist nur, daß die Uebertragungsfunktionen der Schmalbandsysteme der einzelnen Kanäle genau gleich sind und bei der Dimensionierung der Ein- und Ausschwingzeiten die Impulsfolgezeiten der Atmospherics berücksichtigt werden.

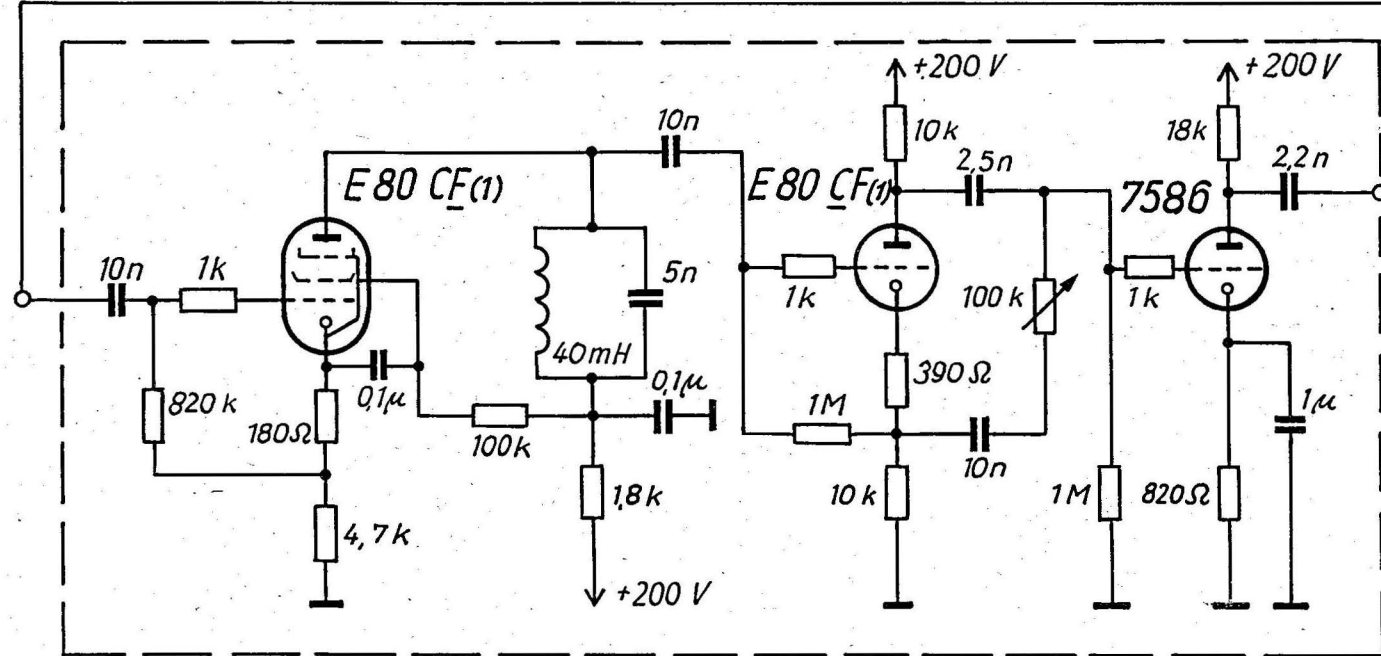
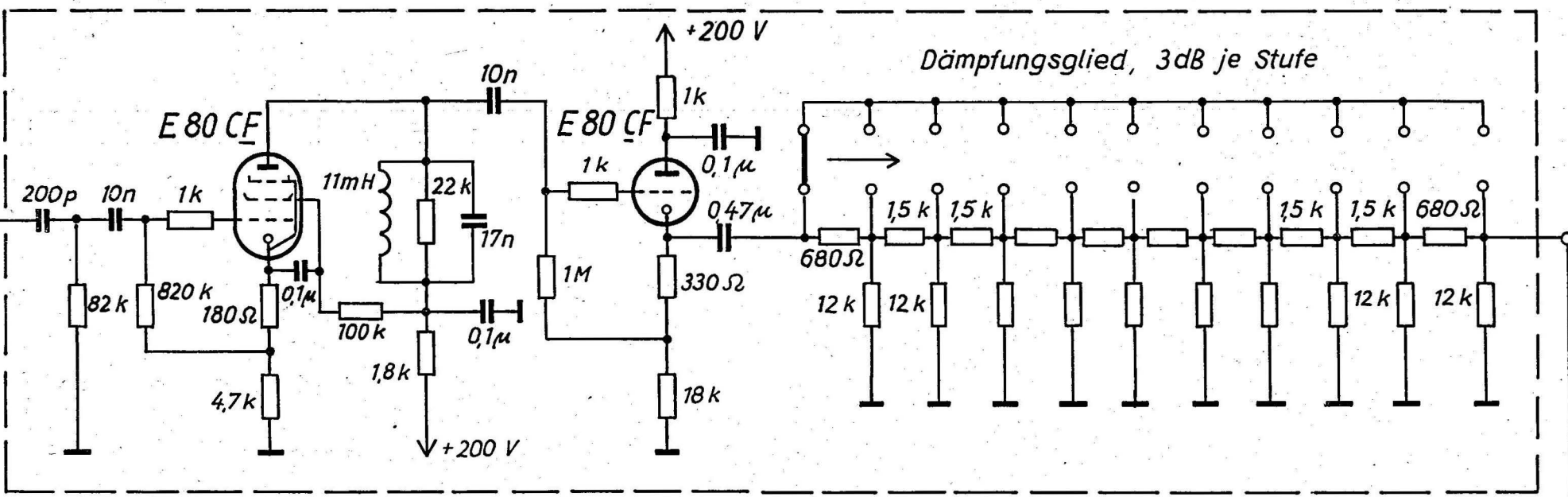
Bild 15 zeigt das Blockschaltbild eines nach dem geschilderten Prinzip arbeitenden Gerätes. Sowohl die von den Ferritantennen, als auch die von der Stabantenne kommenden Impulse stoßen jeweils die auf ω_0 abgestimmten Resonanzkreise S_1 und S_2 an. Die von der Stabantenne kommenden Impulse werden nach dem Durchlaufen von S_1 und S_2 direkt einem Verstärker mit anschließendem Begrenzer zugeführt, während die von den Ferritantennen kommenden Impulse Phasenschiebern zugeführt werden, die die Spannungen insgesamt um 90° gegeneinander verschieben. Ein Differenzverstärker bildet entsprechend Formel (8) die Differenz der beiden phasenverschobenen Spannungen, die dann ebenfalls einem Verstärker und Begrenzer zugeführt wird.

Die Phasenmessung erfolgt in einer Flip-Flop-Stufe mit nachgeschaltetem Tiefpaß, an dessen Ausgang eine der Einfallsrichtung proportionale Meßspannung zur Verfügung steht.

Bild 16 zeigt das Schaltbild der Uebertragungskanäle für die Ferritantennen bis zum Ausgang des Differenzierverstärkers in der ausgeführten Anlage.

Jede Ferritantenne besteht aus zwei symmetrisch angeordneten Ferritstäben. Ihre Wicklungen bilden zusammen mit der Kabelkapazität des Zuführungskabels, einem Eingangsübertrager und einem zusätzlichen Kondensator den ersten Schwingkreis, der wie alle anderen Kreise auf 11 kHz abgestimmt ist. Diese Frequenz wurde gewählt, weil die statistischen Atmosphericsuntersuchungen ergeben haben, daß die spektrale Amplitude der Atmospherics etwa bei 11 kHz durchschnittlich ein Maximum hat.

zum
Punkt A
in
Bild 2



zum Punkt
B
in Bild 19

Bild 17:
Erzeugung der Spannung u_{kz}

Nach einem zweistufigen breitbandigen Verstärker folgt zunächst ein Dämpfungsglied, mit dem die Empfindlichkeit in 10 Stufen je 3 dB variiert werden kann. Durch Abgriff am Arbeitswiderstand des nachfolgenden Kathodenverstärkers kann die Empfindlichkeit fein eingestellt werden. Im Anodenkreis der nächsten Verstärkerstufe liegt der zweite Schwingkreis, dessen Feinabstimmung von der Gerätefrontplatte aus betätigt werden kann. Dieser Stufe folgt ein weiterer Kathodenverstärker, an dessen Ausgang die Spannung u_{ϕ} zur Verfügung steht. Verschiedene Punkte der Schaltung sind zur Frontplatte geführt worden, um zugängliche Meßpunkte zur Ueberprüfung des Gerätes zu haben, außerdem ist durch Anschluß an die Punkte 4 die weiter vorn beschriebene Polarkoordinaten-Peilung möglich.

Das entsprechende Schaltbild für die von der Stabantenne kommenden Impulse zeigt Bild 17. Die Impulse werden vom Punkt A in Bild 2, also hinter der bereits im Teil A beschriebenen Frequenzbandbegrenzung der einzelnen Atmosphericics abgenommen. Sie werden zunächst über ein RC-Glied geführt, das die bei 11 kHz durch Tief- und Hochpaß verursachte Phasendrehung ausgleicht. Diese Phasenkorrektur dient nur der besseren Uebersicht bei Kontrollmessungen. Sie ist nicht unbedingt nötig, da innerhalb der schmalen Bandbreite der Anlage die Uebertragungsfaktoren der vorgeschalteten Pässe und RC-Glieder, sowie die Spektren der Atmosphericics als konstant in Phase und Amplitude betrachtet werden können. So ist z.B. auch die bei der XY-Peilung nötige Differenzierung der Spannung der Stabantenne nicht nötig, da sie bei schmaler Bandbreite nur einen Phasensprung um 90° bedeuten würde, der nur bei der ersten Eichung der Anlage berücksichtigt werden muß. Nach dem RC-Glied liegen die Impulse am Eingang einer Verstärkerstufe, deren Anodenkreis gleiche Daten wie die von den Ferritantennen gebildeten Eingangskreise hat. Es folgt auch hier ein Kathodenverstärker mit angeschlossenem Dämpfungsglied mit 10 Stufen je 3 dB. Eine Feineinstellung der Empfindlichkeit ist nicht nötig, da dieser Uebertragungskanal nur noch die Bezugsphase zur Messung der Phase von u_{ϕ} liefern soll. Im Anodenkreis einer weiteren Verstärkerstufe liegt der zweite Schwingkreis, der, wie auch der vorhergehende, von der Frontplatte aus abstimmbare ist. Die nächste Stufe ist eine Phasenschieber-

brücke, mit deren Hilfe eine Phasenverschiebung bis zu 180° eingestellt werden kann, wodurch die Zuordnung der Einfallsrichtung zu beliebigen Werten der später erzeugten Meßspannung u_m justierbar ist. Nach der Phasenschieberstufe folgt schließlich noch eine Verstärkerstufe, in der die Spannung u_{kz} breitbandig verstärkt wird.

Zur Messung der Phasendifferenz werden die beiden Spannungen u_{kz} und u_ϕ zunächst begrenzt und die Zeitpunkte ihrer Nulldurchgänge durch die Kippunkte von auf die Begrenzung folgenden Schmitt-Trigger-Stufen markiert (Bild 19). Die von den Schmitt-Trigger-Stufen kommenden Impulse steuern über Ankopplungsstufen wechselseitig die Flip-Flop-Stufe um, in der die Phasenmessung erfolgt. Die Flip-Flop-Stufe hat eine getrennte Spannungsversorgung, deren Pluspol an Masse liegt. Das hat den Vorteil, daß auch die Meßspannung u_m einseitig an Masse liegt, wodurch beim registrierenden Oszillographen kein Differenzspannungseingang nötig ist und auch eine eventuelle spätere elektronische Weiterverarbeitung der Meßspannung erleichtert wird. Der Mittelwert des Anodenstroms der beiden Flip-Flop-Röhren ist dem Phasenwinkel der steuernden Spannungen direkt proportional (7), der Anodenstrom muß nur noch durch ein Tiefpaß von den hochfrequenten Anteilen der steuernden Spannungen befreit werden. Am Ausgang des Tiefpasses steht dann die der Einfallsrichtung des jeweiligen Atmospheric proportionale Meßspannung u_m zur Verfügung.

Zur Veranschaulichung der Wirkungsweise des geschilderten Verfahrens dienen die Bilder 18 b, 18 c, und 18 d. Die untere Spur in Bild 18 b zeigt die an einem der Schwingkreise S_1 entstehende Spannung beim Anstoßen des Kreises durch einen kurzen Eichimpuls: die Spannung am Kreis S_1 springt beim Eintreffen des Impulses auf einen Maximalwert und die Schwingung klingt dann entsprechend der Kreisgüte ($Q_{S1} \approx 20$) relativ schnell ab. Dieser Schwingungszug erregt nun nach Verstärkung den zugehörigen Schwingkreis S_2 , dessen Reaktion die obere Spur in Bild 18 b zeigt: die Schwingspannung an S_2 hat eine Anstiegszeit, die, wenn $Q_{S2} \gg Q_{S1}$ ist, im wesentlichen von der Abklingzeit des erregenden Schwingungszuges und damit von der Güte des Kreises S_1

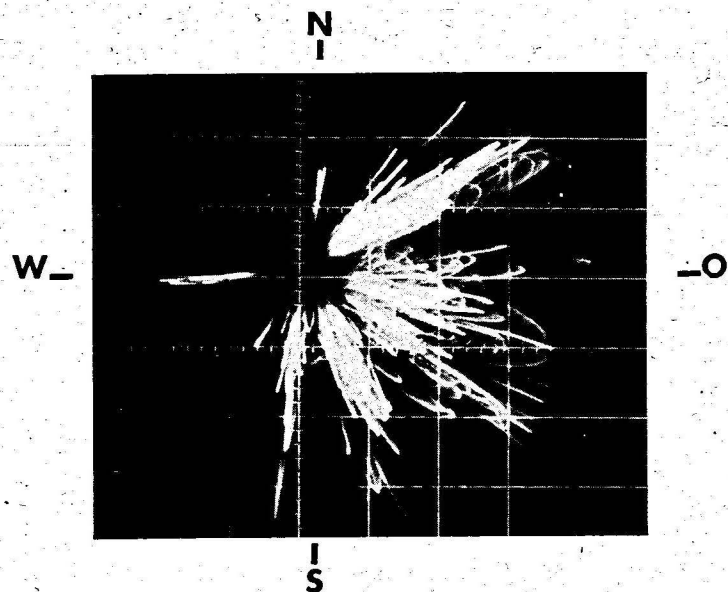


Bild 18a: Polarkoordinaten-Peilung

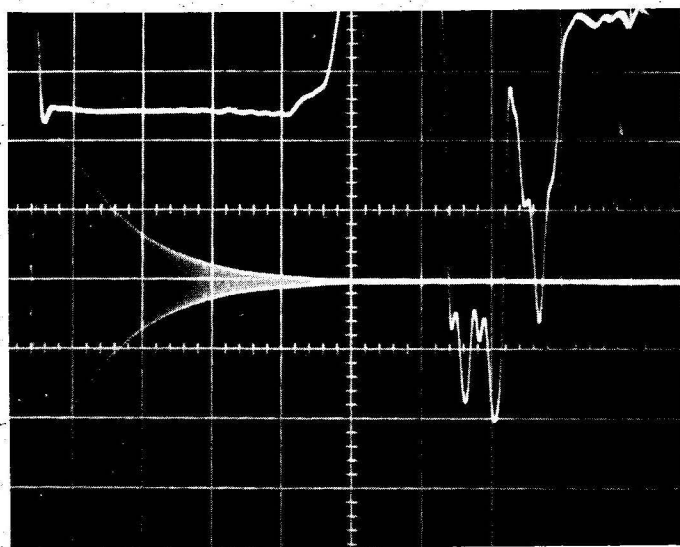


Bild 18c: Verlauf von u_m nach Anlegen eines Eichimpulses (Zeitablenkung: 0,4 cm/ms)

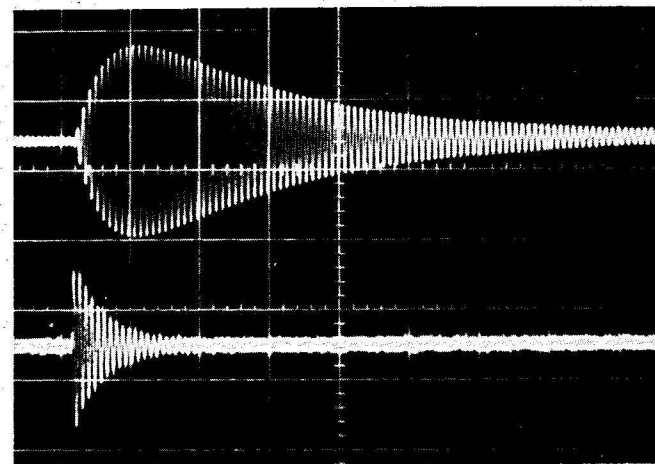


Bild 18b: Anstoßen der Schwingkreise S_1 (unten) und S_2 (oben) durch einen Eichimpuls
Zeitablenkung: 1 cm/ms

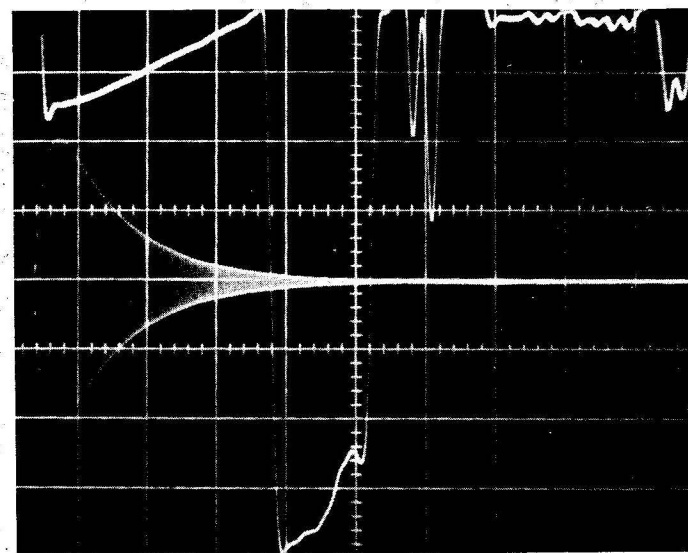


Bild 18d: Verlauf von u_m bei Verstimmung von u gegen u_{kz}

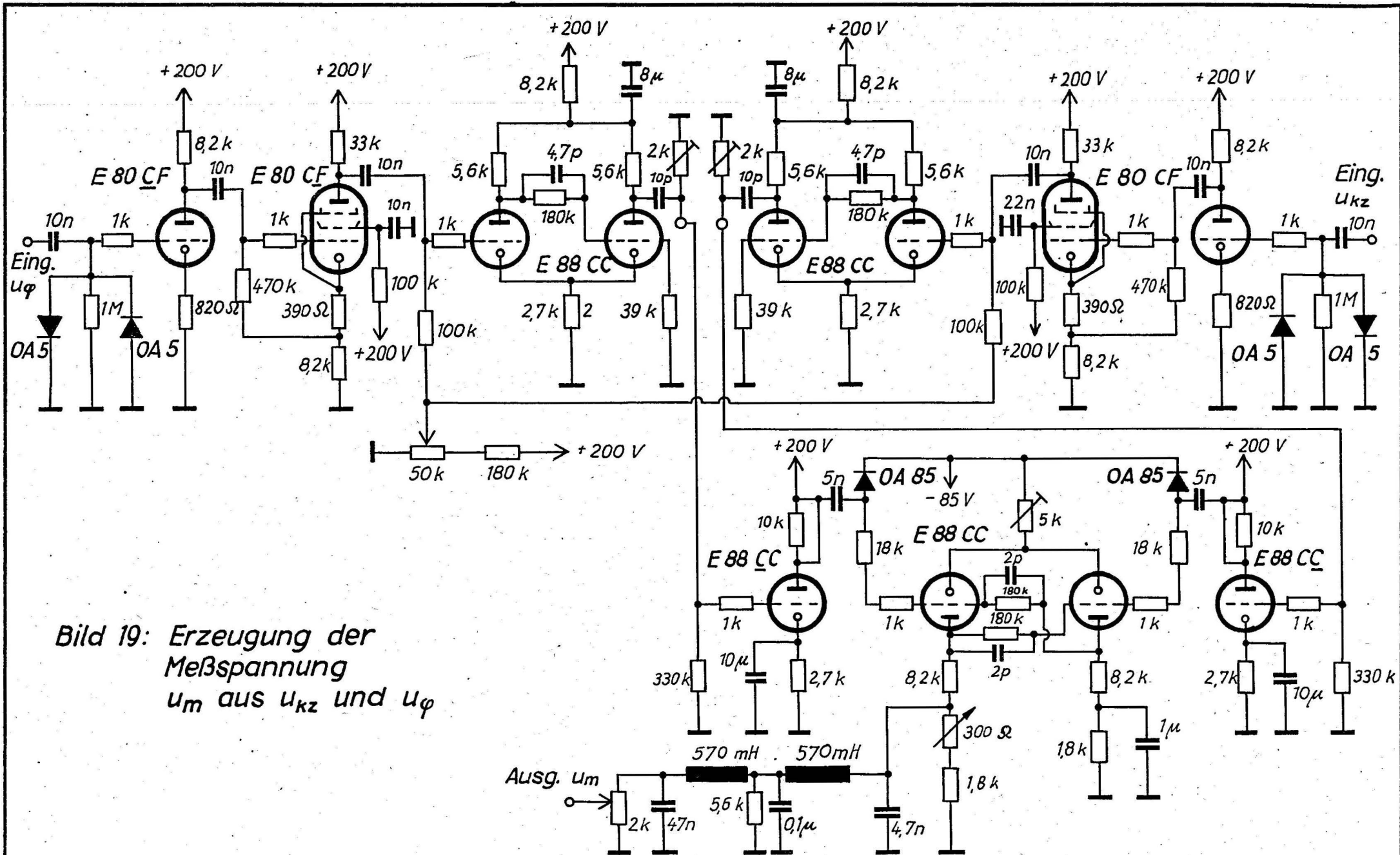


Bild 19: Erzeugung der Meßspannung u_m aus u_{kz} und u_φ

bestimmt wird. Das Abklingen der Spannung an S_2 richtet sich dagegen nach der Güte dieses Kreises ($Q_{S2} \approx 100$), so daß man mit Hilfe der Kreisgüten Q_{S1} und Q_{S2} Anstiegs- und Abklingzeit der Spannungen u_{kz} und u_ϕ festlegen kann. Bild 18 c gibt ein Beispiel für den Verlauf der Meßspannung u_m beim Anlegen eines Eichimpulses an die Peilanlage. Die oben links im Bild beginnende Spur zeigt den zeitlichen Verlauf von u_m , während die Spur in der Mitte des Bildes den Verlauf von u_ϕ oder u_{kz} darstellt. Vor dem Eintreffen des Impulses hat die Meßspannung beliebige Werte zwischen 0 und 8 Skalenteilen, entsprechend einem Variationsbereich der Einfallrichtung zwischen 0 und 360° . Mit dem Hochschwingen von u_ϕ und u_{kz} strebt auch u_m einem definierten, der Phasendifferenz zwischen u_ϕ und u_{kz} entsprechenden Wert zu, der etwa zum Zeitpunkt des Maximalwertes von u_ϕ und u_{kz} erreicht wird.

Bei genau gleicher Abstimmung der Kreise bleibt nun u_m so lange konstant, bis u_ϕ und u_{kz} auf einen Wert abgeklungen sind, der keine sichere Phasenmessung mehr gestattet. Danach kann u_m wieder beliebige Werte annehmen, die vom Rauschen oder kleinen, nicht mehr voneinander zu trennenden Atmosphericis bestimmt werden.

Das Bild 18 d zeigt den Verlauf von u_m bei unterschiedlicher Abstimmung der Kreise S_2 . In diesem Fall erreicht u_m zwar zunächst ebenfalls einen der Phasendifferenz von u_ϕ und u_{kz} entsprechenden Wert, bleibt dann jedoch nicht konstant, sondern steigt gradlinig an. Dabei sind Steilheit und Richtung dieses Anstiegs direkt der Größe und dem Vorzeichen der Verstimmung proportional. Der Verlauf von u_m ist daher gewissermaßen während der Dauer der Erregung durch einen Impuls mit den im Heinrich-Hertz-Institut für Normalfrequenzvergleiche verwendeten "Sägezahn-"Phasenmessungen zu vergleichen. Obwohl die Abstimmung der Kreise recht genau sein muß (in Bild 18 d beträgt die Verstimmung 0,4%), ist der Abgleich einfach: man braucht lediglich auf konstanten (horizontalen) Verlauf von u_m während der Dauer der Erregung durch einen Eichimpuls zu justieren.

Außer auf den Abgleich der Kreise muß darauf geachtet werden, daß die Verstärkung in den beiden Kanälen für die Rahmenantennen bis zur Differenzstufe hin gleich ist und auch während des

Betriebes gleich bleibt, da sonst kein linearer Zusammenhang zwischen u_m und der Einfallsrichtung gewährleistet ist,

c) Anwendung von u_m bei der Registrierung einzelner Atmospheric

Eine erste Anwendung von u_m ergibt sich bei der unter A geschilderten Registrierung einzelner Atmospheric mit dem Ziel, gleichzeitig mit dem zeitlichen Verlauf eines Atmospheric seine Einfallsrichtung zu registrieren. Bei Verwendung eines Kathodenstrahllichtpeilers müßten hierfür ein Zweistrahloszill ograph mit getrennten Zeitablenkeinheiten oder zwei Oszill ographen verwendet werden, wobei die beiden Schirmbilder entweder nebeneinander zu fotografieren wären oder das eine auf das andere hinübergespiegelt werden müßte.

Die Meßspannung u_m macht dagegen die Anwendung eines üblichen Zweistrahloszill ographen möglich: da am Ende der Registrierzeit von 1 ms für die einzelnen Atmospheric u_m bereits den richtigen Meßwert erreicht hat, braucht u_m lediglich an den Eingang des zweiten Vertikalverstärkers gelegt zu werden. Der Schnittpunkt des Verlaufes von u_m mit der rechten Bildbegrenzung ergibt dann unmittelbar die gesuchte Einfallsrichtung des jeweiligen Atmospheric. Beispiele für die Registrierung einzelner Atmospheric mit Peilung zeigen neben dem Bild 5 die Bilder 20 a und 20 b.

d) Anwendungen von u_m bei statistischen Atmospheric-Registrierungen

Um die Zweckmäßigkeit von statistischen Atmospheric-Untersuchungen mit Berücksichtigung des Einfallswinkels zu erläutern, soll zunächst das Prinzip der in [3] ausführlich beschriebenen statistischen Atmospheric-Untersuchungen ohne Berücksichtigung des Einfallswinkels nochmals kurz beschrieben werden. Dabei werden gewisse Änderungen der Meßapparatur erwähnt, die inzwischen zwecks schnellerer Auswertung der Registrierungen eingeführt wurden.

Wie aus dem Blockschaltbild 21 hervorgeht, gelangen bei die-

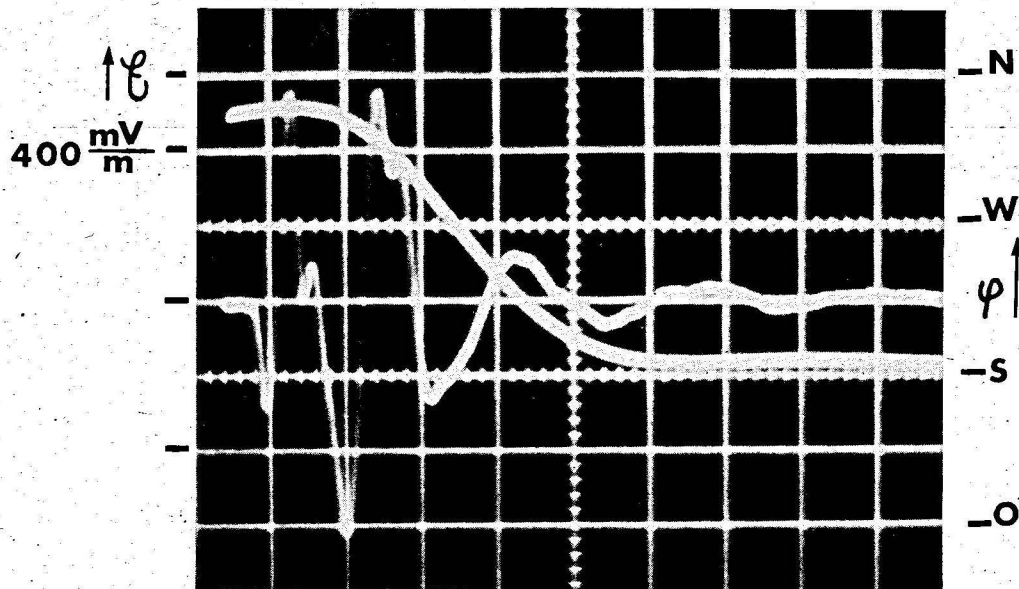


Bild 20 a : Atmospheric mit Peilung

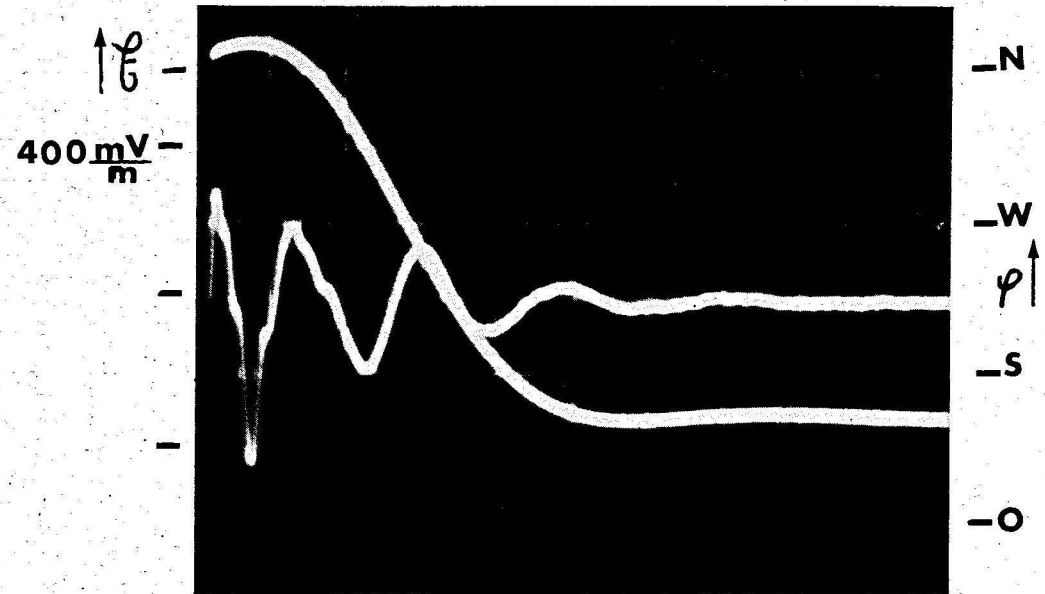


Bild 20 b : Atmospheric mit Peilung

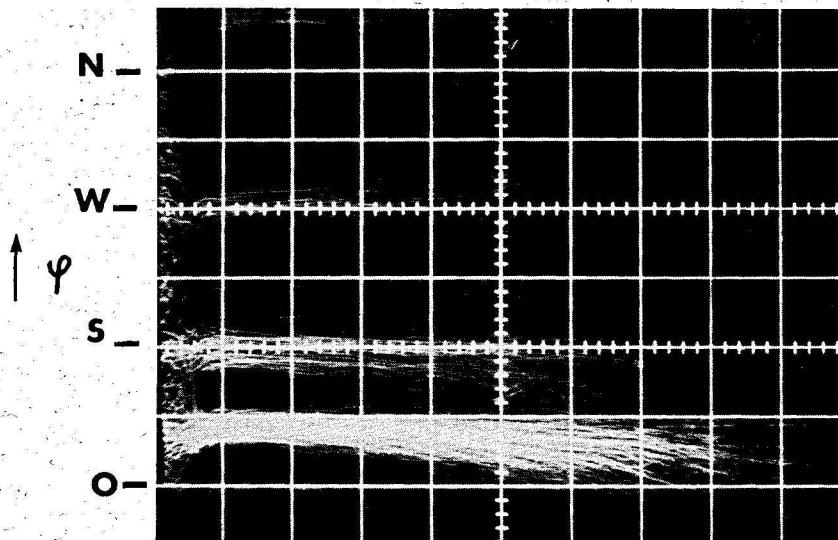


Bild 20 c : Herdpeilung mit Triggerung durch die Atmospherics (Zeitabl.: 1 cm/ms)

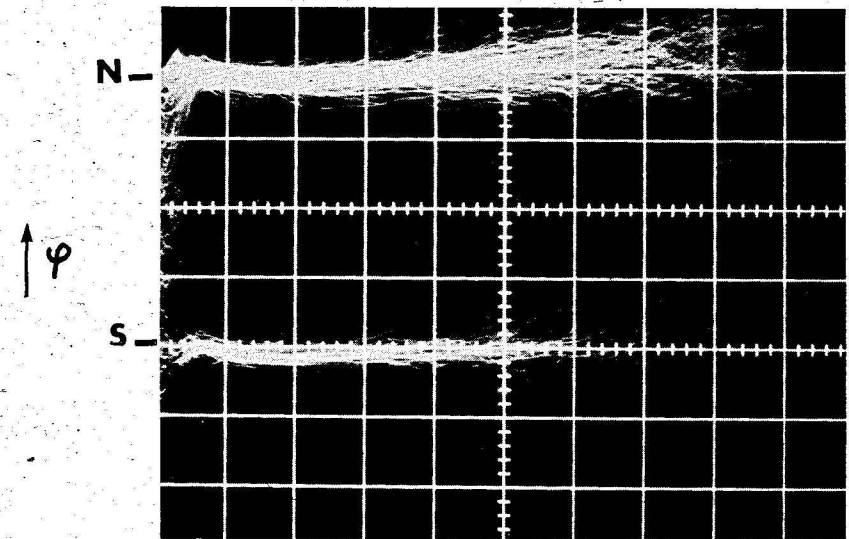


Bild 20 d : Eichung der Peilung durch Kurzschluß einer Rahmenantenne

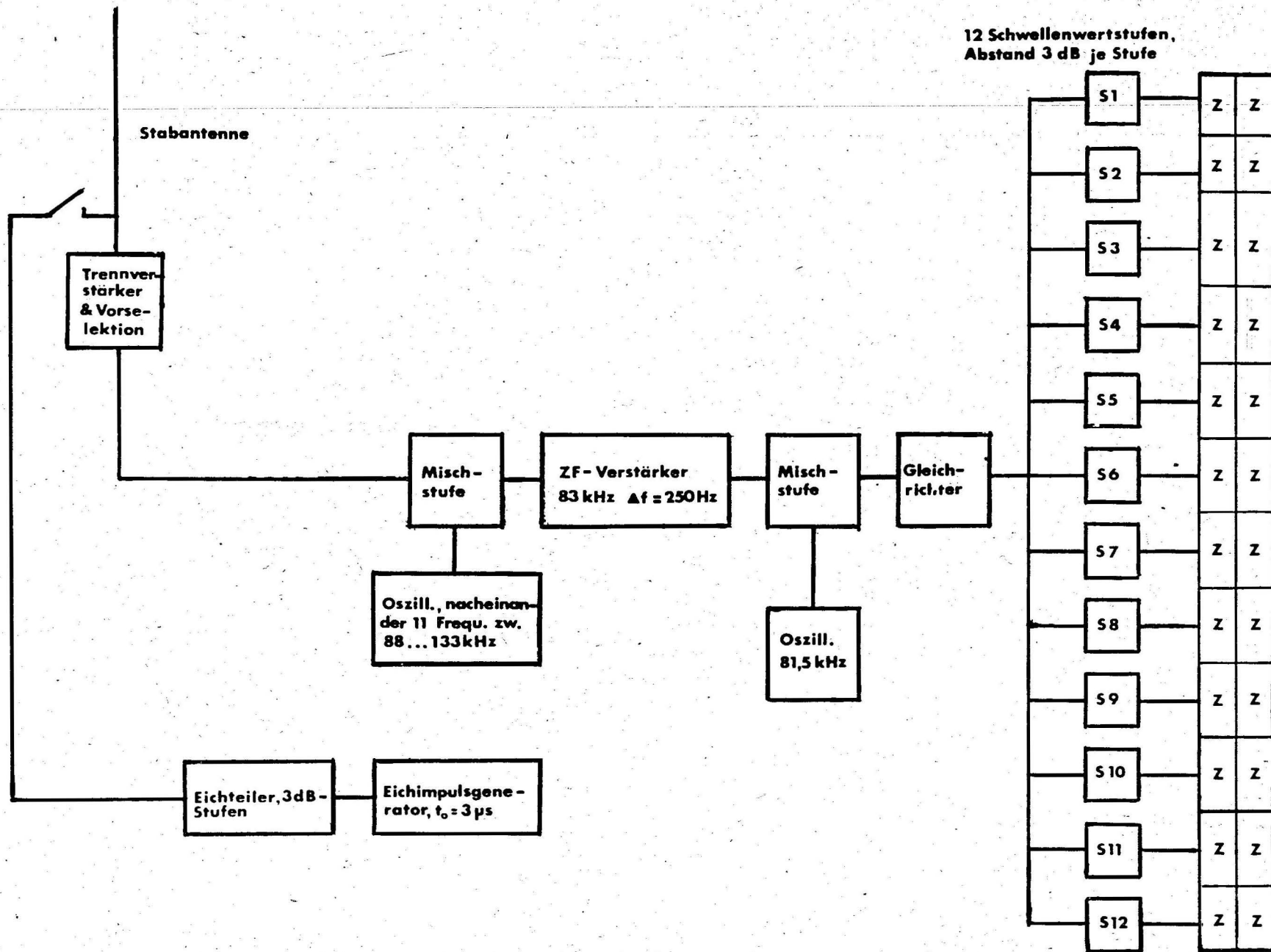


Bild 21: Statistische atmosphärische - Registrierung 5... 50 kHz

2 Zählersätze je 12
Zähler, abwechselnd
in Betrieb

sem Verfahren die von einer Stabantenne aufgenommenen Atmospheric nach dem Durchlaufen einer Trennstufe mit Vorselektion an eine Mischstufe. Durch Verwendung eines stufenweise auf 11 Frequenzen zwischen 88 ... 133 kHz umschaltbaren Oszillators und eines ZF-Verstärkers mit 83 kHz Mittenfrequenz und 250 Hz Bandbreite ergeben sich 11 Empfangsfrequenzen, verteilt auf den Bereich 5 ... 50 kHz. Die Ausgangsimpulse des ZF-Verstärkers werden mit 81,5 kHz gemischt, die entstehenden 1,5 kHz-Impulse werden gleichgerichtet und zur Steuerung von 12 Schwellenwertstufen benutzt, wobei der Abstand zwischen den Schwellen jeweils 3 dB beträgt. Die Schwellenwertstufen steuern ihrerseits zwei Zählersätze zu je 12 Zählern, die im Rhythmus der Umschaltung auf die Empfangsfrequenzen immer abwechselnd auf Betrieb geschaltet werden, so daß die Ablesung und Nullstellung der Zähler während der Betriebspausen des jeweiligen Zählersatzes möglich ist. Die Anlage wurde so eingestellt, daß je Frequenz 150 s lang registriert wird und dann automatisch die Weiterschaltung auf die nächste Empfangsfrequenz erfolgt.

Das Ergebnis dieser Messungen fällt in Tabellenform an (Bild 22) und gibt Aufschluß über die statistische Verteilung der spektralen Amplituden der Atmospheric in Abhängigkeit von der Frequenz.

Eine Auswertung der Messungen ist nur möglich, wenn entweder Annahmen über die geographische Verteilung, die Intensität und die Wahrscheinlichkeitsverteilung der spektralen Amplituden der einzelnen Gewitterherde gemacht werden oder Messungen über diese Größen vorliegen.

Zur Bestimmung der geographischen Verteilung der Gewitterherde ist folgendes Verfahren geeignet: wie bei der Peilung einzelner Atmospheric wird die Meßspannung u_m für die Vertikalauslenkung eines Oszillographen benutzt, während die einzelnen Atmospheric nur zur Auslösung der Zeitablenkung dienen. Die Geschwindigkeit der Zeitablenkung wird dabei jedoch nicht auf 0,1 ms/cm, sondern auf 1 ms/cm eingestellt. Registriert man nun so lange, daß bereits eine große Anzahl von Atmospheric die Zeitablenkung ausgelöst haben, so wird die Meßspannung u_m beim Vorhandensein diskreter Gewitterherde bestimm-

te Werte bevorzugen, so daß sich dem Azimut der Gewitterherde entsprechende Bündelungen auf den Registrierungen ergeben. Dabei geben die Anzahl der Peilspuren in jedem Bündel und die zeitliche Dauer der Bündelung Anhaltspunkte für die Intensität und die Entfernung der Gewitterherde, jedoch ist eine quantitative Erfassung dieser Größen schlecht möglich.

Ein Beispiel einer derartigen Registrierung zeigt Bild 20 c: Man erkennt zwei schwache Herde im Nord-Nordosten und im Westen, einen stärkeren im Süden und einen starken etwa im Südosten. Die relativ lange zeitliche Bündelung beim südöstlichen Herd läßt darauf schließen, daß es sich nicht nur um zahlreiche, sondern auch um relativ starke Atmosphericos gehandelt hat, die aus Südosten einfielen. Mit Hilfe dieser Methode kann man auch eine einfache Kontrolle der Zuordnung der Meßspannung u_m zu den Einfallsrichtungen erreichen. Man braucht nur eine der beiden Rahmenantennen kurzzuschließen, so daß lediglich die andere Rahmenantenne und die Stabantenne Atmosphericos aufnehmen können. Damit sind nur Meßwerte von u_m möglich, die den der nicht kurzgeschlossenen Rahmenantenne zugeordneten Himmelsrichtungen entsprechen. Registriert man nun ebenfalls über längere Zeit, so geben die beiden entstehenden Bündelungen die Lage der betreffenden Himmelsrichtungen auf der u_m -Skala an (Bild 20 d).

Da bei richtigem Abgleich der Anlage ein linearer Zusammenhang zwischen u_m und φ besteht, ist damit eine Eichung der Peilung möglich. Die beschriebene Art der Peilung von Gewitterherden ergänzt bereits die statistischen Untersuchungen ohne Berücksichtigung des Einfallswinkels derart, daß sie darüber Aufschluß geben, aus welchen Anteilen sich die gewonnenen Meßergebnisse zusammensetzen. Eine Trennung der von den einzelnen Gewitterherden stammenden Anteile aus den Meßergebnissen ist jedoch nur in Sonderfällen möglich.

Aus diesem Grunde lag es nahe, eine selbstständige Meßmethode zu entwickeln, mit der Lage und Eigenschaften der einzelnen Gewitterherde quantitativ erfaßbar sind.

Besondere Bemerkungen:	Schwellenwert			Messfrequenz (kHz)										
	mV	nV/Hz	dB	5	9	14	18,5	21,5	25	30	35	40	44	49
Bild 22: Ergebnis einer statistischen Atmospherics-Registrierung ohne Berücksichtigung des Einfallswinkels	0,7		63	25					32	682	1700	1808	1848	1107
		12	60	1240					1147	2811	2158	1896	1818	2692
			57	1769					1673	2773	1752	1572	1437	2476
		24	54	2513					2688	2260	1292	1194	1073	1348
			51	2652	534	481	1067	2039	3324	1432	942	910	782	768
		48	48	1993	2732	2658	3053	2757	2455	879	670	645	526	493
			45	1672	2861	2906	2838	2272	1783	565	515	483	402	368
	7,5	96	42	1238	2695	2742	2158	1413	1114	394	393	374	299	281
			39	861	2000	1944	1280	762	629	256	283	279	218	197
		192	36	637	1321	1232	737	399	400	195	225	217	173	142
Statistische atmospherics - Registrierungen, Aussenstelle Waidmannslust. Messung ausgeführt von: Fü. Uhrzeit: 13.58 bis MEZ 14.28 Datum: 23.IV.63			33	551	828	749	426	212	342	173	199	189	151	124
		384	30	366	505	472	255	120	183	117	134	108	90	73
			27		317	288	140	73						
		768	24		211	186	93	42						
			21		179	159	80	35						
	115	1536	18		101	87	39	17						

Diese Methode muß zwangsläufig aus einer Kombination der durch die Meßspannung u_m gegebenen Peilmöglichkeiten mit den bei den statistischen Untersuchungen angewendeten Meßverfahren bestehen.

Für den Nachweis der Brauchbarkeit des Verfahrens erschien das folgende fotografische Registrierverfahren als zweckmäßig (Bild 22 a).

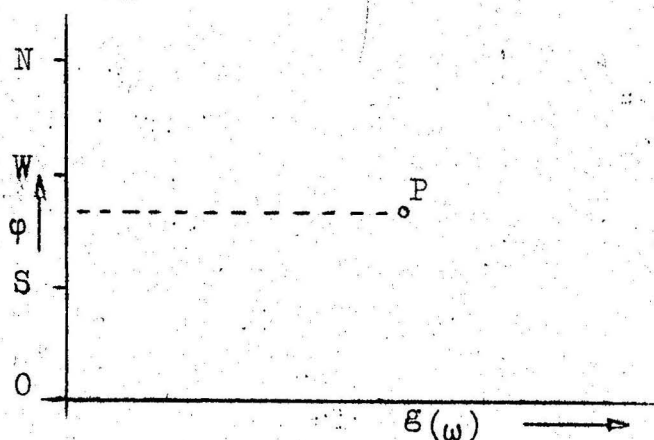


Bild 22a: Registrierprinzip bei der statistischen Herdpeilung

Die Meßspannung u_m wird wie bisher an den Eingang des Y-Kanals eines Oszillographen gelegt, der jedoch nicht mit zeitabhängiger X-Ablenkung sondern im XY-Betrieb arbeitet (z.B. Tektronix 502).

Wie bei der statistischen Registrierung werden die breitbandig aufgenommenen Atmosphericics mit einer Oszillatorfrequenz gemischt und danach einem ZF-Verstärker zugeführt. Durch Variation der Oszillatorfrequenz können beliebige Meßfrequenzen zwischen 5 und 50 kHz eingestellt werden. Die von den Atmosphericics am Ausgang des ZF-Verstärkers verursachten Impulse sind in ihrer Amplitude den spektralen Amplituden der jeweiligen Atmosphericics bei der eingestellten Meßfrequenz proportional. Diese Impulse dienen als Eingangsspannung für den X-Kanal des Oszillographen, so daß bei jedem Atmosphericic zunächst eine horizontale Linie sichtbar wird, deren Länge seiner spektralen Amplitude bei der eingestellten Meßfrequenz entspricht und deren vertikale Lage seine Einfallsrichtung angibt. Es ist nun sehr zweckmäßig, nur den Teil dieser Linie sichtbar zu machen, der den eigentlichen Meßwert liefert, d.h., den Oszillographen nur dann hellzusteuern, wenn der jeweilige Impuls sein Maximum erreicht hat.

In diesem Fall erzeugt jedes Atmospheric auf dem Bildschirm einen Lichtpunkt P, dessen vertikale Lage seine Einfallsrichtung und dessen horizontale Lage seine spektrale Amplitude kennzeichnen. Durch Registrierung einer großen Zahl von Atmospherics kann dann, wie bei den Registrierungen nach Bild 20 c, das Azimut von Gewitterherden bestimmt werden.

Bild 23 zeigt das Schaltbild des Ueberlagerungszusatzes und des Hellsteuerungsteiles in der ausgeführten Anlage. Die Atmospherics werden bereits verstärkt vom Triggerausgang des Verstärkungskanals für die einzelnen Atmospherics (Bild 2) abgenommen und auf eine Gegentaktmischstufe gegeben, um auch bei niedrigen Meßfrequenzen den Selektionsaufwand im ZF-Verstärker klein halten zu können. Der zweistufige, mit Einzelkreisen aufgebaute ZF-Verstärker hat ebenfalls eine Mittenfrequenz von 83 kHz und eine Bandbreite von 250 Hz. Seine Ausgangsimpulse werden noch über einen Kathodenverstärker geführt, anschließend gleichgerichtet und die gleichgerichtete Spannung an den Eingang eines Tiefpasses gelegt. Dieser fünfgliedrige Tiefpaß hat eine Grenzfrequenz von 6 kHz und einen Wellenwiderstand von 2 k Ω . Seine Zwischenschaltung ist nötig, da in der folgenden Hellsteuerungseinheit eine zweimalige Differenzierung erfolgt und daher die Impulse weitgehend frei von ZF-Anteilen sein müssen.

Die am Ausgang des Tiefpasses stehenden Impulse können entweder direkt an den X-Eingang des Oszillographen gelegt werden, es ist aber auch eine Abnahme der Impulse an einem Spannungsteiler mit VDR-Widerstand vorgesehen, wodurch eine Kompression der Anzeige in der X-Richtung erzielt wird. Außerdem dienen die Impulse als Eingangsspannung für die Hellsteuerungseinheit. In dieser Einheit werden die Impulse zweimal über RC-Glieder differenziert, die dadurch zum Zeitpunkt der Maximalwerte der ursprünglichen Impulse entstehenden Impulse werden verstärkt und zur Steuerung einer monostabilen Kippstufe benutzt. Der Kippvorgang dieser Stufe ($T = 1,5$ ms) dient zur Helltastung des Oszillographen.

Die Bilder 24 a ... d wurden am 31. 8. 1963 ab 14.00 MEZ jeweils über 5 Minuten registriert. Zur Aufnahme diente eine Po-

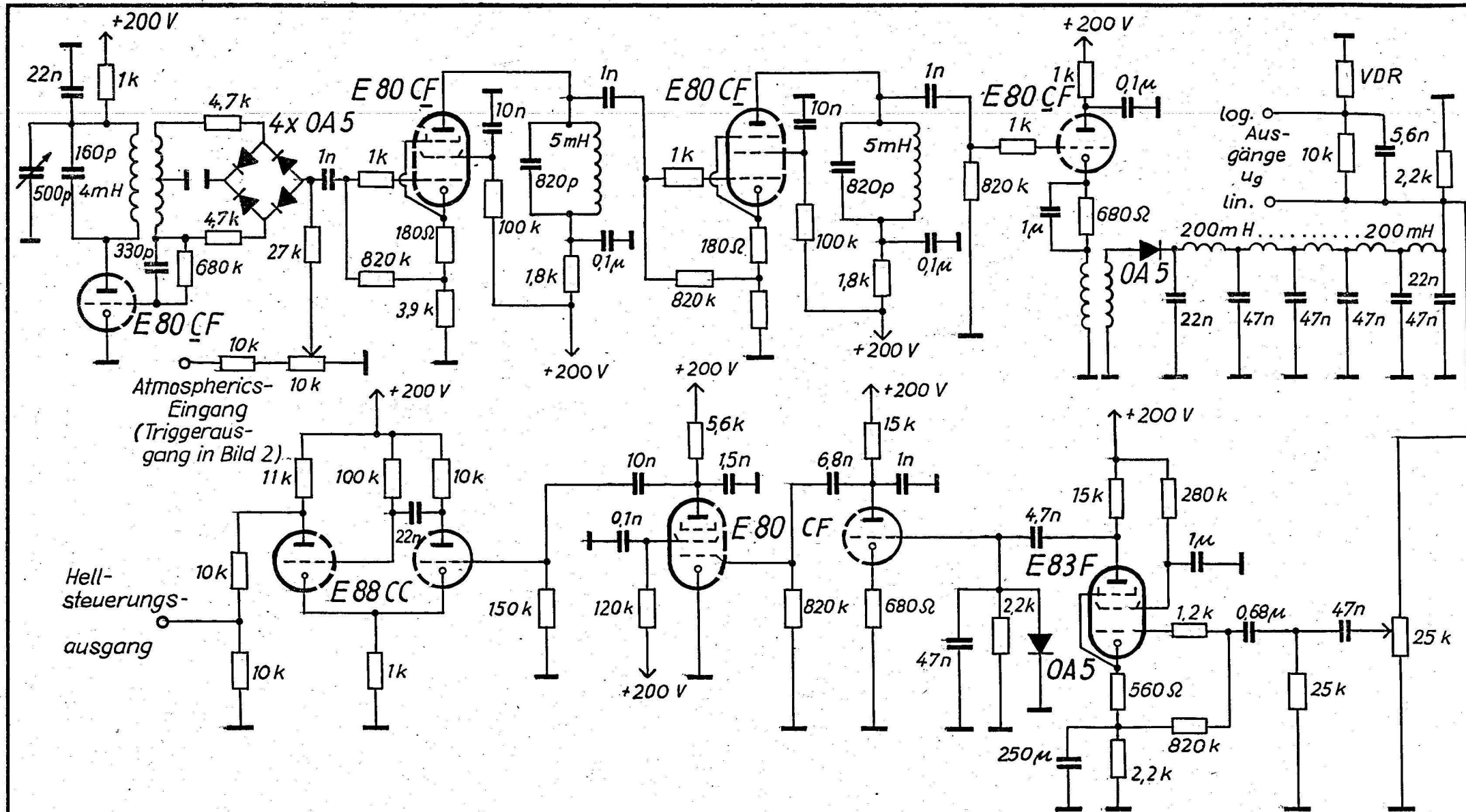


Bild 23: Schaltung des Überlagerungszusatzes und Hellsteuerungsteiles

laroid-Kamera, so daß die Registrierungen unmittelbar nach Ablauf der jeweiligen Meßzeit vorlagen.

Bild 24 a entstand bei der Meßfrequenz 10 kHz bei kurzgeschlossener Nord-Süd-Rahmenantenne, diente also nur zu Kontrollzwecken. Das Bild 24 b entstand bei derselben Meßfrequenz, jedoch unter Verwendung beider Rahmenantennen. Man erkennt auf ihm einen schwachen, etwas diffusen Herd im Westen (Herd 1), einen schwachen Herd im Süden (Herd 2), einen starken Herd etwa im Südosten (Herd 3), einen schwachen dicht neben diesem (Herd 4) und schließlich einen Herd mittlerer Stärke im Ost-Nordosten (Herd 5).

Auf dem Bild 24 c, das bei der Meßfrequenz 5 kHz aufgenommen wurde, sind nur noch die Herde 3, 4 und 5 zu erkennen, außerdem überschreiten bei dieser Frequenz bereits erheblich weniger Atmosphericics die Hellsteuerschwelle der Anlage.

Auf der Meßfrequenz 40 kHz schließlich (Bild 25d) sind die Herde 3 und 4 kaum noch voneinander zu trennen, der Herd 5 ist zwar deutlich erkennbar, doch hat die Amplitude der Atmosphericics bei allen Herden weiter abgenommen.

Nach diesen Beispielen einer Registrierung im Sommer sollen noch die Bilder 25 a...d als Beispiel einer winterlichen Registrierung erläutert werden. Die Bilder wurden am 9.2.1964 ebenfalls ab 14⁰⁰ MEZ, jedoch mit einer Meßzeit von jeweils 10 Minuten aufgenommen.

Auf Bild 25 b (Meßfrequenz 10 kHz) sind 2 Herde zu erkennen: ein schwacher, recht diffuser im Südwesten (Herd 1) und ein starker fast im Süden (Herd 2).

Auf der Meßfrequenz 5 kHz (Bild 25 c) ist der Herd 1 nicht mehr auszumachen, während Herd 2 noch ganz ausgeprägt zu erkennen ist. Auf der Meßfrequenz 40 kHz (Bild 25 d) ist Herd 2 noch mit Atmosphericics geringer Amplitude zu erkennen.

Bei allen vier Bildern ist, trotz der verdoppelten Meßzeit, eine erheblich geringere Zahl von Atmosphericics gegenüber den Registrierungen vom 31.8.1963 festzustellen. Bei diesen Registrierungen wurde die Spannung für die spektralen Amplituden an dem erwähnten Spannungsteiler mit VDR-Widerstand abgenommen. Die dadurch hervorgerufene unlineare Eichkurve zeigt Bild 26.

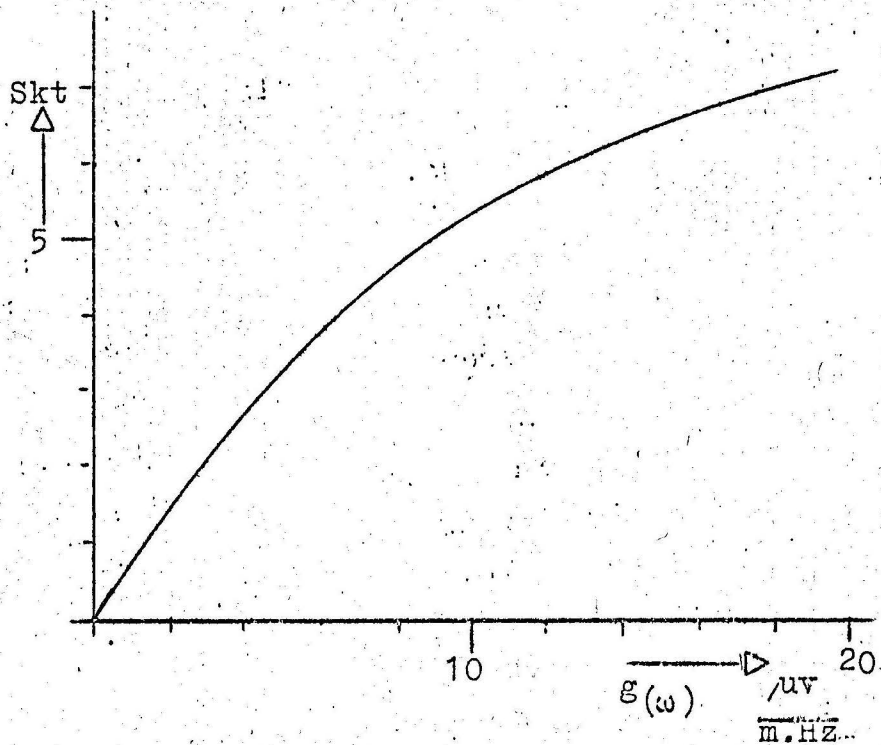


Bild 26 : Abhängigkeit der Anzeige auf dem Oszillographen von den spektralen Amplituden der Atmospheric

Um den Nutzen eines derartigen Registrierverfahrens deutlich zu machen, sollen an dieser Stelle noch einige Hinweise auf die Auswertung der Registrierungen gegeben werden.

Führt man bei einer Meßfrequenz auf der Koordinaten für die spektralen Amplituden eine Schwelle S ein und zählt alle Atmospheric, deren spektrale Amplituden die Schwelle S schreiten, so läßt sich für einen einzelnen Gewitterherd die Abhängigkeit der gezählten Atmospheric N von der Schwelle S durch die folgende Gleichung beschreiben:

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{S}{\Lambda}}$$

Führt man für N einen logarithmischen Maßstab ein und stellt die bei einer Messung gefundene Abhängigkeit $N(S)$ graphisch dar, so ergibt sich eine Gerade (Bild 27), deren Anstieg der Größe Λ umgekehrt proportional ist und deren Schnittpunkt mit der N -Koordinaten den Wert N_0 ergibt.

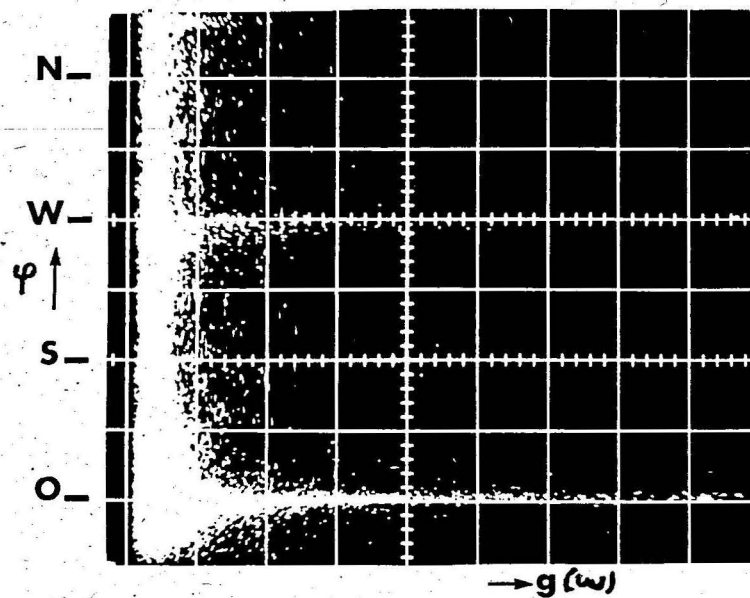


Bild 24a: 31.8.63 Eichung. fm=10 kHz; Tm=5min

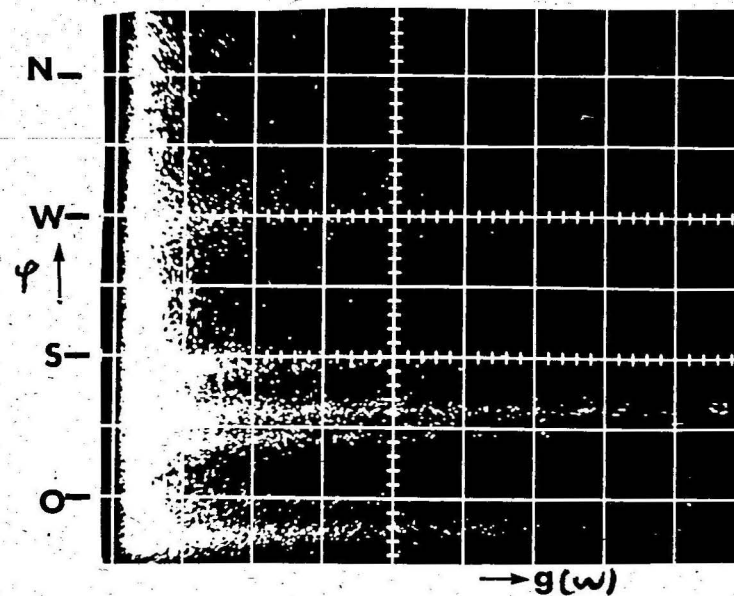


Bild 24b: 31.8.63 14^{05} ; fm= 10 kHz; Tm=5 min.

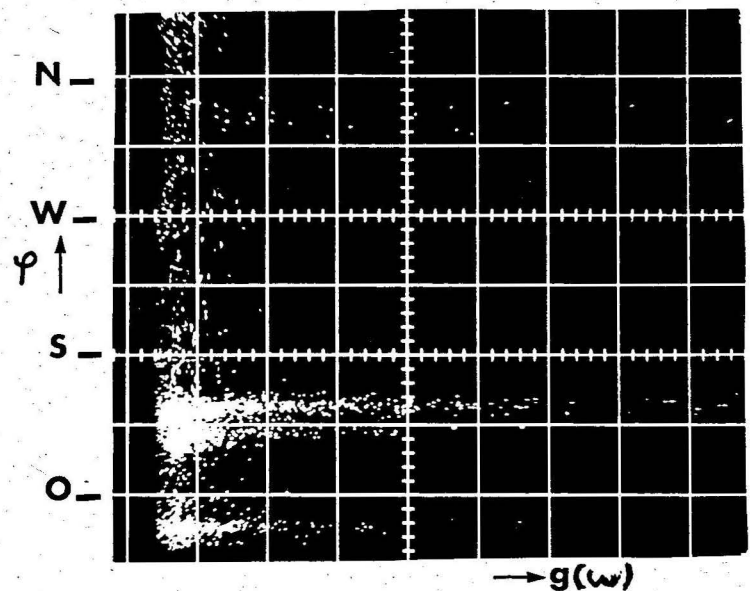


Bild 24c: 31.8.63 14^{10} ; fm= 5 kHz; Tm= 5 min.

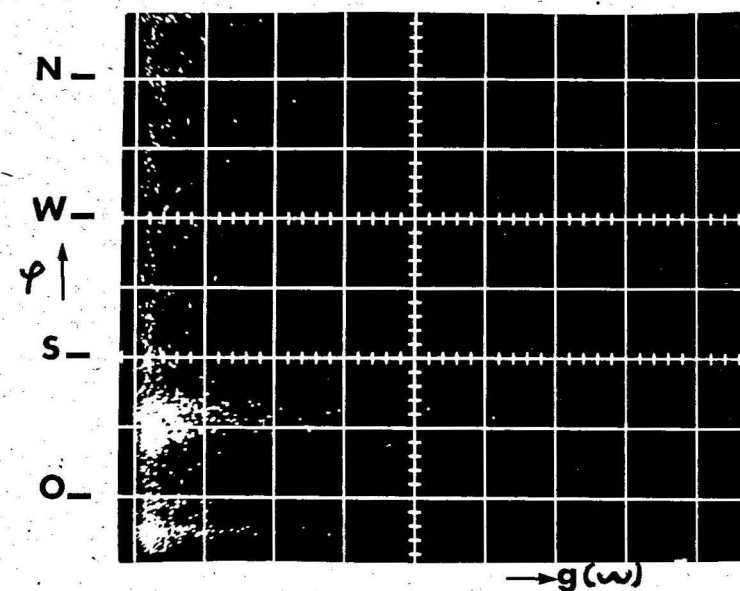


Bild 24d: 31.8.63 14^{15} ; fm= 40 kHz; Tm= 5 min.

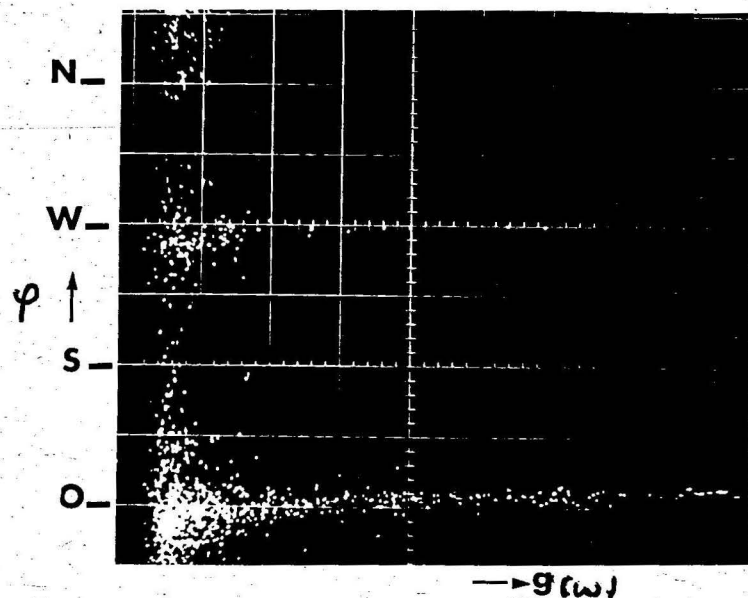


Bild 25a: 9.2.64 Eichung $f_m=10$ kHz; $T_m=10$ min.

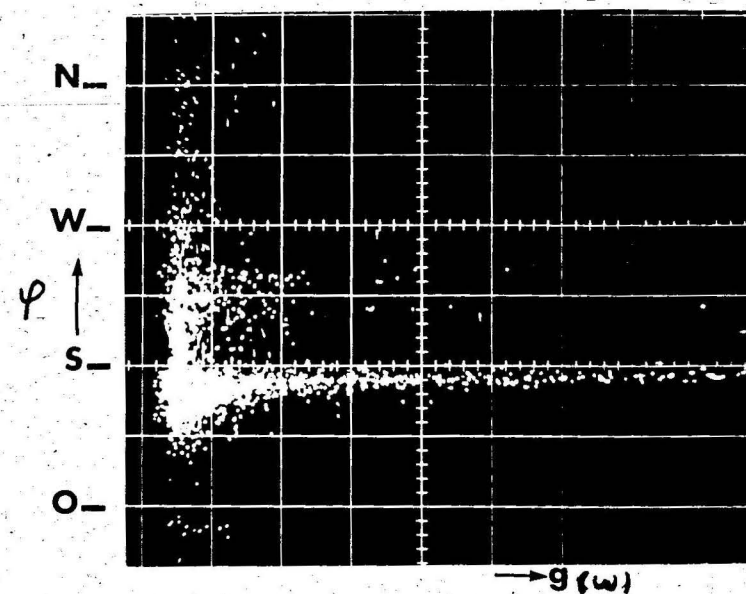


Bild 25b: 9.2.64 14^{10} ; $f_m = 10$ kHz; $T_m=10$ min.

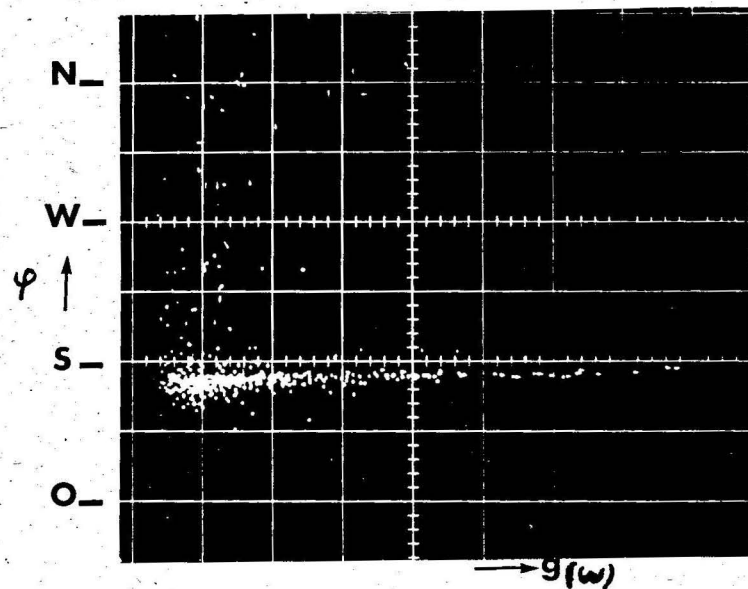


Bild 25c: 9.2.64 14^{20} ; $f_m = 5$ kHz; $T_m=10$ min.

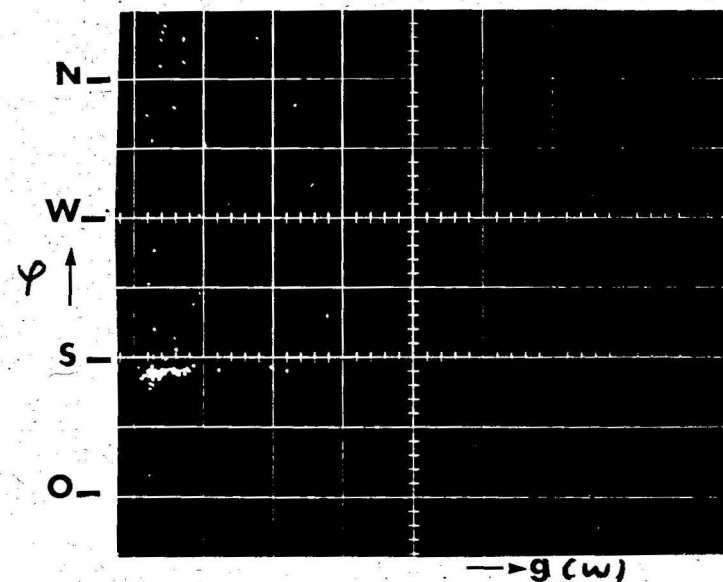


Bild 25d: 9.2.64 14^{30} ; $f_m = 40$ kHz; $T_m=10$ min.

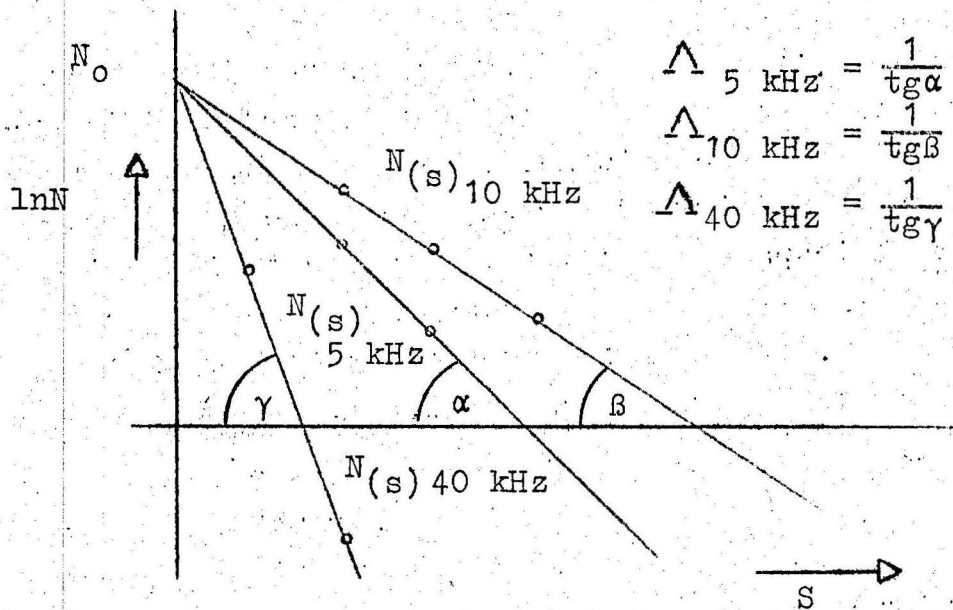


Bild 27 : Bestimmung von N_0 und Λ

Durch Messung bei verschiedenen Frequenzen läßt sich der Meßwert für N_0 präzisieren, da sich für einen Gewitterherd alle Geraden bei einem Wert für N_0 schneiden müssen, und es ergeben sich für jede Frequenz zugehörige Werte für Λ , wodurch die Frequenzabhängigkeit der Übertragungsfunktion und der statistischen Sendefunktion des Gewitterherdes gekennzeichnet wird.

Liegen nun anderweitige Peilungen vor, die eine Entfernungsbestimmung der Herde ermöglichen, so ist bei Auswertung einer größeren Anzahl von Herden in den verschiedenen Entfernungen die Bestimmung der Übertragungsfunktion und der statistischen Frequenzabhängigkeit der Sendefunktion der Gewitterherde möglich. Andererseits ist bei aus diesen Messungen vorliegenden Erfahrungen die Entfernung der einzelnen Gewitterherde relativ schnell und mit relativ guter Genauigkeit zu bestimmen (8).

Sinnvoll angesetzte Messungen dieser Art dürften daher quantitative Ergebnisse sowohl über die Phänomenologie der Gewittertätigkeit, als auch über Eigenschaften der Ionosphäre und des Erdbodens erbringen. Sie sind daher sowohl für die praktische Meteorologie, als auch für die Ionosphärenphysik und schließlich auch für die Nachrichtentechnik von Interesse.

Mit der beschriebenen Methode wurden in der Außenstelle Waidmannslust seit August 1963 täglich ab 14⁰⁰ MEZ in der von den Bildern 24 und 25 gezeigten Weise Polaroid-Aufnahmen gemacht.

Dabei konnten Gewitter bis zu einer Entfernung von 3000 km im Sommer und bis zu 4500 km im Winter beobachtet werden. Bei Entfernungen unter 300 km werden die Messungen ungenau, da dann bereits Nahfeldeinflüsse wirksam werden, durch die $\varphi(t)$ und $\psi(t)$ nicht mehr gleichphasig sind. Außerdem macht sich bei geringen Entfernungen die endliche Ausdehnung des Gewitterherdes stärker bemerkbar. Die Peilgenauigkeit der Anlage beträgt bei sorgfältiger Justierung und Eichung ca. 5°.

Für noch häufigere Registrierungen dürfte es sich empfehlen, mit Hilfe einer "elektronischen Blende" aus der Meßspannung u_m die einzelnen Gewitterherde zu isolieren und die Zählung der zu jedem Herd gehörenden Atmosphericis mit einem Zählersatz durchzuführen, wodurch sich die Auswertung wesentlich vereinfachen würde. Weiterhin wäre zu überlegen, ob durch eine zusätzliche, nach der Hellsteuerung einschaltbare Bedämpfung der Schwingkreise S_2 die Auflösungsfähigkeit der Peilung für schnell aufeinanderfolgende Atmosphericis noch zu steigern ist, wodurch die Verbreiterung bei der Herdpeilung zu kleineren Schwellenwerten hin verringert werden könnte.

Literatur

- (1) : Volland, H. "Das statistische Amplitudenspektrum von
Atmospherics"
Zeitschr. angew. Phys. 15 (1963) 541-547)
- (2) : Heydt, G. und "Eine Anlage zur statistischen Untersu-
Volland, H. chung von Atmospherics im Längstwellen-
gebiet".
Zeitschr. angew. Phys. 16 (1963) 40-44
- (3) : Heydt, G. "Eine Anlage für statistische Atmosphe-
rics-Untersuchungen im Frequenzbereich
5...50 kHz",
Technischer Bericht des Heinrich-Hertz-
Instituts Nr. 64 (1962)
- (4) Meinke-Gundlach, Taschenbuch der Hochfrequenztechnik,
Springer 1962 S. 1208
- (5) Siemens & Halske, Schaltbeispiele April 1962, S. 54
- (6) siehe (3), S. 8...10
- (7) Eppen, F. und "Eine Registrierempfangsanlage für
Heydt, G. Längstwellen"
Techn. Bericht des HHI, Nr. 35 1959
S 19...22
- (8) Volland, H. "Untersuchungen über das statistische
Amplitudenspektrum atmosphärischer
Störungen von einzelnen Gewitterherden"
Nachr. Techn. Zeitschrift 1964, 8, S 407
... 412

