

Flächenanregung

S. Zisler

I. Einleitung.

Die Sende- und Empfangsgeräte, mit denen ein Flugzeug ausgerüstet wird, werden immer zahlreicher. Ausser den Antennen für den normalen Nachrichtenverkehr und die Flugsicherung müssen Bordantennen für Spezialgeräte untergebracht werden. Gleichzeitig steigen infolge der im Krieg gewonnenen Erfahrungen die Anforderungen bezüglich Schusswinkelfreiheit, Strömungswiderstand, Vereisungsschutz und Betriebssicherheit. Schon der erste der angeführten Punkte, die Schusswinkelfreiheit, beschränkt bei den modernen voll ausgerüsteten Maschinen die Anbringungsmöglichkeiten für Antennen so weit, dass eine Auswahl des Befestigungsortes nach elektrischen Gesichtspunkten praktisch nicht mehr vorgenommen werden kann. Die bleibenden Möglichkeiten sind oft so ungünstig, dass die Anlagen den gestellten elektrischen Forderungen nicht mehr genügen.

Zur Vermeidung dieser Schwierigkeiten wurde schon vor mehreren Jahren an die Möglichkeit gedacht, einzelne Teile der Maschinen selbst als Antennen zu benutzen und dadurch Sonderanbauten zu ersparen. Einige Vorversuche unter der Leitung von Prof. Dieckmann¹⁾ liessen die praktische Durchführbarkeit der Anregung von Flugzeugteilen erkennen. Aus dem Jahre 1933 liegt auch eine amerikanische Patentschrift vor aus der ähnliche Ergebnisse ersichtlich sind.²⁾

Inzwischen sind Versuche auf allgemeinerer Grundlage durchgeführt worden, die eine eingehendere Darstellung des Problems der Eigenanregung gestatten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen und einige daraus hervorgegangene Anwendungen sollen im folgenden mitgeteilt werden.

Es war notwendig, zunächst die allgemeinen Antenneneigenschaften flächiger und räumlicher Leiter zu studieren und dann eine den gestellten Forderungen angepasste Anregungsart zu entwickeln.

II. Lineare, flächige und räumliche Leiter.

Unter linearen Leitern sollen Rotationsellipsoide mit verschwindend kleiner Halbachse verstanden werden; dünne zylindrische Drähte können praktisch solchen Rotationsellipsoiden gleichgesetzt werden. Flächige Leiter haben in einer Richtung eine Ausdehnung, die wesentlich kleiner als die übrigen Abmessungen und auch als die Wellenlänge ist. Alle abweichenden Leiterformen werden als räumlich bezeichnet.

Die Antenneneigenschaften von beliebigen Leitern sind durch Strom- und Spannungsverteilung gegeben. Bei den bisherigen Anwendungsbeispielen handelte es sich stets um Leiter, deren Querschnittsumfang in der Größenordnung der verwendeten Wellenlänge lag. Die Schnittform war meist rund oder elliptisch mit stark unterschiedlichen Achsen. Die Länge der Leiter betrug oft mehrere Wellenlängen. Das Verhalten solcher Leiter wurde bis jetzt in keiner Weise erschöpfend untersucht. Die vorliegenden Arbeiten lassen aber die Verhältnisse wenigstens angenähert übersehen und die Unterschiede gegenüber linearen Strahlern erkennen.

a) Stromverteilung.

Die Stromverteilung auf linearen Leitern ist bekannt. Die von M. Abraham³⁾ angegebenen Werte für die Dämpfungsdekremente freier Schwingungen lassen eine Zunahme der Dämpfung mit zunehmender Stabdicke erkennen. Dasselbe ergibt sich bei Anwendung der Leitungsgleichungen für erzwungene Schwingungen.

Ist die Dämpfung klein, so ändern sich die Maxima der Stromverteilung nur wenig abhängig vom Ort auf dem Strahler. Die Minima liegen auf einer Kurve, die ungefähr linear vom Ort auf dem Strahler abhängt. Vergleicht man damit die in Abb. 1 dargestellte Stromverteilung an der

Längskante einer Blechtafel, so fällt sofort die grosse Dämpfung auf

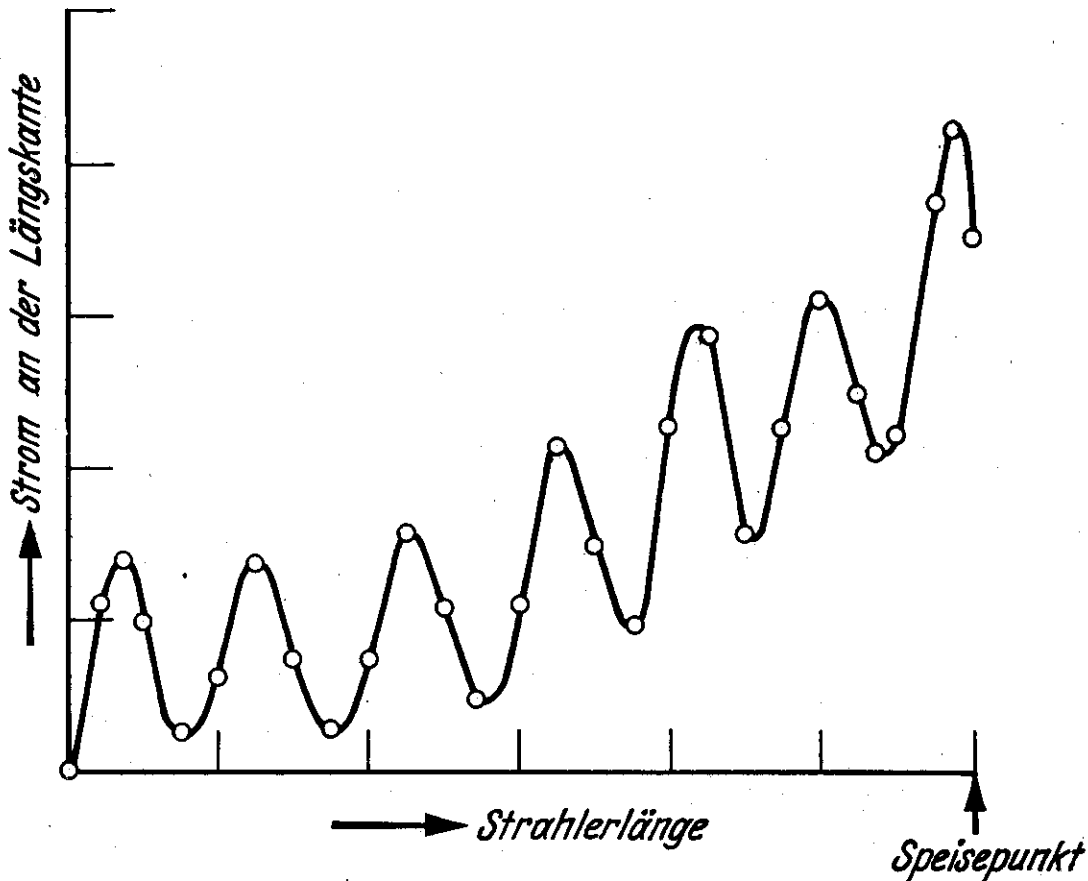
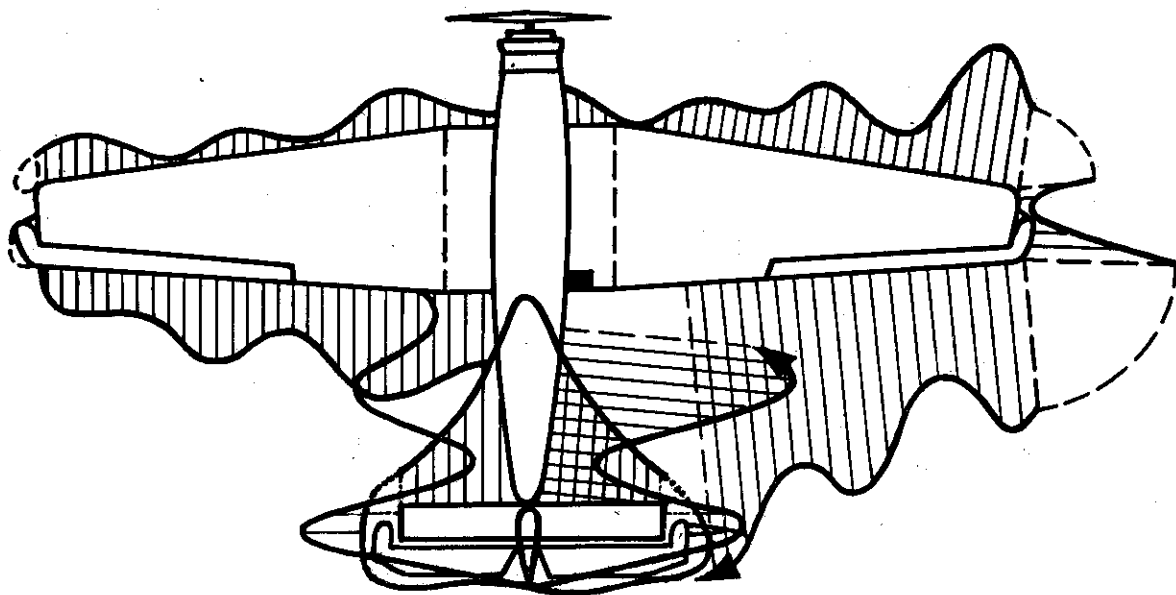


Abb. 1 Stromverteilung auf einer in der Mitte der kurzen Seite gespeisten Blechtafel (Eisenblech 1 mm dick). Blechlänge = $3,5\lambda_{\text{Str}} = 25 \text{ m}$ ($\lambda_{\text{Str}} =$ Wellenlänge auf dem Strahler). Blechbreite: 3 m. Messfrequenz: 39 MHz. Antennenverkürzungsfaktor:

$$\frac{\lambda_{\text{Str}}}{\lambda_{\text{Luft}}} = 0,93.$$

Die Auswertung ergibt der Kante entlang keine konstante Dämpfung. Sie nimmt in diesem Fall vom etwa Vierfachen des Wertes beim Draht der gleichen Dicke am offenen Strahlerende bis zum etwa Zehnfachen am gespeisten Ende zu. In Abb. 2 ist eine Stromverteilung wiedergegeben, wie sie an den Flügel- und Leitwerkskanten und am Rumpf eines Flugzeuges bei Erregung in Oberwellen auftritt. Charakteristisch ist auch hier wieder die starke Dämpfung.



$\lambda/2$

Abb.2 Stromverteilung an einer Maschine W 34 bei Erregung der rechten rückwärtigen Tragflächenkante dicht am Rumpf.

Arbeitsfrequenz: 54 MHz.

Neben der Verteilung an der Längskante des Leiters interessieren die Verhältnisse im Querschnitt des Strahlers. In der Literatur finden sich einige theoretische Arbeiten⁴⁾ über die Stromverdrängung, die zylindrische Leiter mit elliptischem und rechteckigem Querschnitt behandeln. Die Querschnittsabmessungen der Leiter sind stets wesentlich kleiner als die Wellenlänge. Eine experimentelle Arbeit von M. Reich und F. Fischer⁵⁾ bestätigt das theoretische Ergebnis der Stromverdrängung an die Kanten des zylindrischen Leiters mit rechteckigem Querschnitt und an die Stellen mit grösster Krümmung bei Leitern mit elliptischem Querschnitt. Die Messungen sind mit Wechselstrom von 500 Hz durchgeführt. G. Babat und M. Losinsky⁶⁾ haben Modellversuche über die Stromverteilung an der Oberfläche

verschieden geformter Leiter bei HF veröffentlicht. Die Abmessungen der Probestücke sind auch hier noch wesentlich kleiner als die Wellenlänge. Die Ergebnisse stimmen dem Charakter nach mit den Messungen von Reich und Fischer überein. Lettowsky⁷⁾ zeigt, dass die Stromverteilung im Leiter bei hoher Frequenz in erster Näherung durch den sogenannten "elektrostatischen Grenzfall" gegeben ist. Mit Hilfe der Potentialtheorie ergibt sich, dass bei elliptischem Querschnitt die Feldstärke an der Oberfläche von der Mitte bis zum Rande im Verhältnis der Hauptachsen der Ellipsen ansteigt. Ähnlich wie beim elliptischen Querschnitt lässt sich mit Hilfe konformer Abbildung die Feldverteilung an der Oberfläche eines Flügelprofils berechnen. Einen Vergleich zwischen Flügelprofil der Wölbung Null und elliptischem Profil derselben Breite und mit demselben kleinsten Krümmungsradius an der Vorderseite zeigt Abb. 3. Abgesehen von der Unstetigkeitsstelle an der Spitze des Flügelprofils sind die Abweichungen bei den interessierenden Profilformen gering.

Betrachtet man Leiter, deren Querschnittsabmessungen mit der Grössenordnung der Wellenlänge vergleichbar sind, so sind wohl die Ergebnisse der Potentialtheorie nicht ohne weiteres zu übernehmen, doch ist ein ähnlicher Hauteffekt zu erwarten. Ein Versuch, die Stromverteilung flächiger Antennen durch Aufteilung in lineare Leiter⁸⁾ zu berechnen, führt zu Ergebnissen, die obigen Darstellungen verwandt sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass elektromagnetische Wellen, die sich auf flächigen und räumlichen Strahlern ausbreiten, wesentlich stärker gedämpft werden als bei linearen Antennen. Ist der Querschnitt der Antenne nicht rotationssymmetrisch, so fliesst der Hauptstrom an den Stellen mit grösster Krümmung.

Berechnet man mit Hilfe der Stromverteilung die Strahlungscharakteristik z.B. eines flächigen $\frac{\lambda}{2}$ -Strahlers mit dem Kantenverhältnis 1 : 6, so erhält man wegen

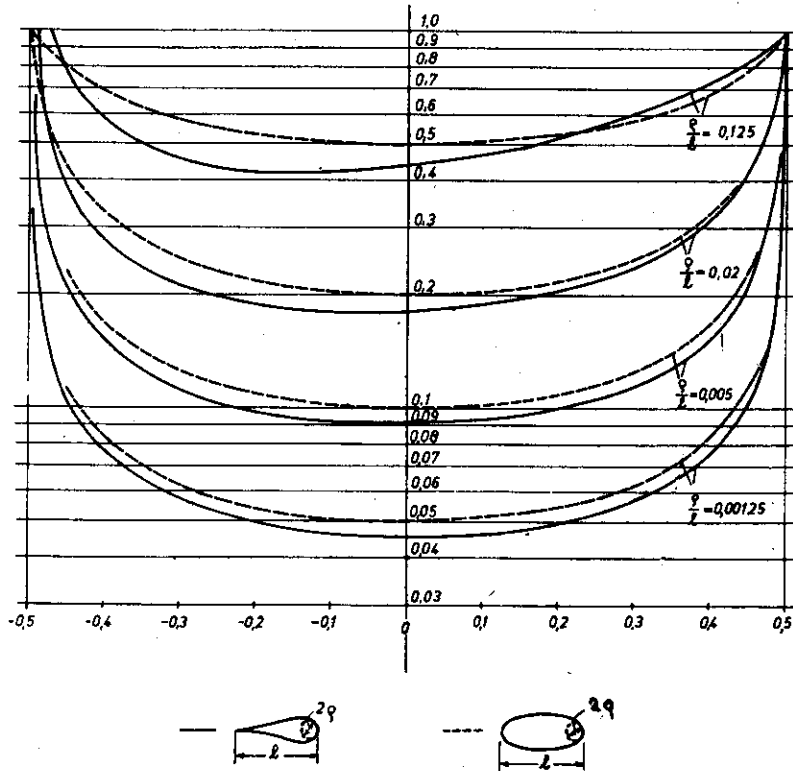


Abb. 3 Stromverteilung an der Oberfläche eines Flügelprofils mit der Wölbung Null bei verschiedenen Krümmungsradien ρ/l (l = Profillänge) an der Vorderseite. Zum Vergleich ist punktiert die Stromverteilung an der Oberfläche von elliptischen Profilen mit denselben kleinsten Krümmungsradien eingezeichnet.

der gleichphasigen Ströme in den beiden Längskanten nur 0,16 % Abweichung von der Rundcharakteristik. Die für eine $\frac{\lambda}{4}$ -Antenne berechnete Charakteristik ergibt bei einer quadratischen Strahlerfläche maximal nur 8,7% Abweichungen von der Charakteristik zweier gleichphasig gespeister Linearantennen im Abstand $\frac{\lambda}{4}$. Ein in Oberwellen erregter horizontaler Draht besitzt in der horizontalen Ebene ein Diagramm, das symmetrisch zum Draht ausgebildet ist. Eine Blechtafel ergibt wegen der stark gedämpften Stromverteilung eine Bündelung in Richtung der grösseren Kante.

b) Eingangswiderstände und Resonanzen.

Bei bekannter Stromverteilung sind Aussagen über den Eingangswiderstand des Strahlers möglich. Vergrössert man den Durchmesser der Antenne, so vergrössert man die durch Strahlung verursachte Dämpfung. Der Eingangswiderstand des Strahlers verkleinert sich gleichzeitig. Die Berechnungsmethode versagt bei Strahlern, deren Querschnittsabmessungen in die Grössenordnung der Wellenlänge kommen und bei Strahlern mit Querschnitten, die nicht rotationssymmetrisch sind. In der vorhin angeführten Untersuchung für flächige Antennen wurde der Eingangswiderstand in der Umgebung der $\frac{\lambda}{2}$ -Resonanz berechnet. Während die Form der Kurven ungefähr dieselbe ist wie beim linearen Strahler, ist der Betrag der Widerstände in der Umgebung der $\frac{\lambda}{2}$ -Resonanz wesentlich kleiner als beim Draht derselben Dicke. Bei einem Quader mit dem Kantenverhältnis 6:1:1 wurden Wirkwiderstände gemessen, die auch an der Resonanzstelle unter 400 Ohm liegen. Der an einem Flugzeug (Messerschmitt Taifun) ermittelte Wirkwiderstand ist an der Hauptresonanzstelle etwa 600 Ohm (Abb. 4). Bei Erregung an der Flügelspitze ergibt sich ausser der Flügelresonanz noch eine zweite Resonanz, die der Ausdehnung Flügel-Rumpf entspricht.

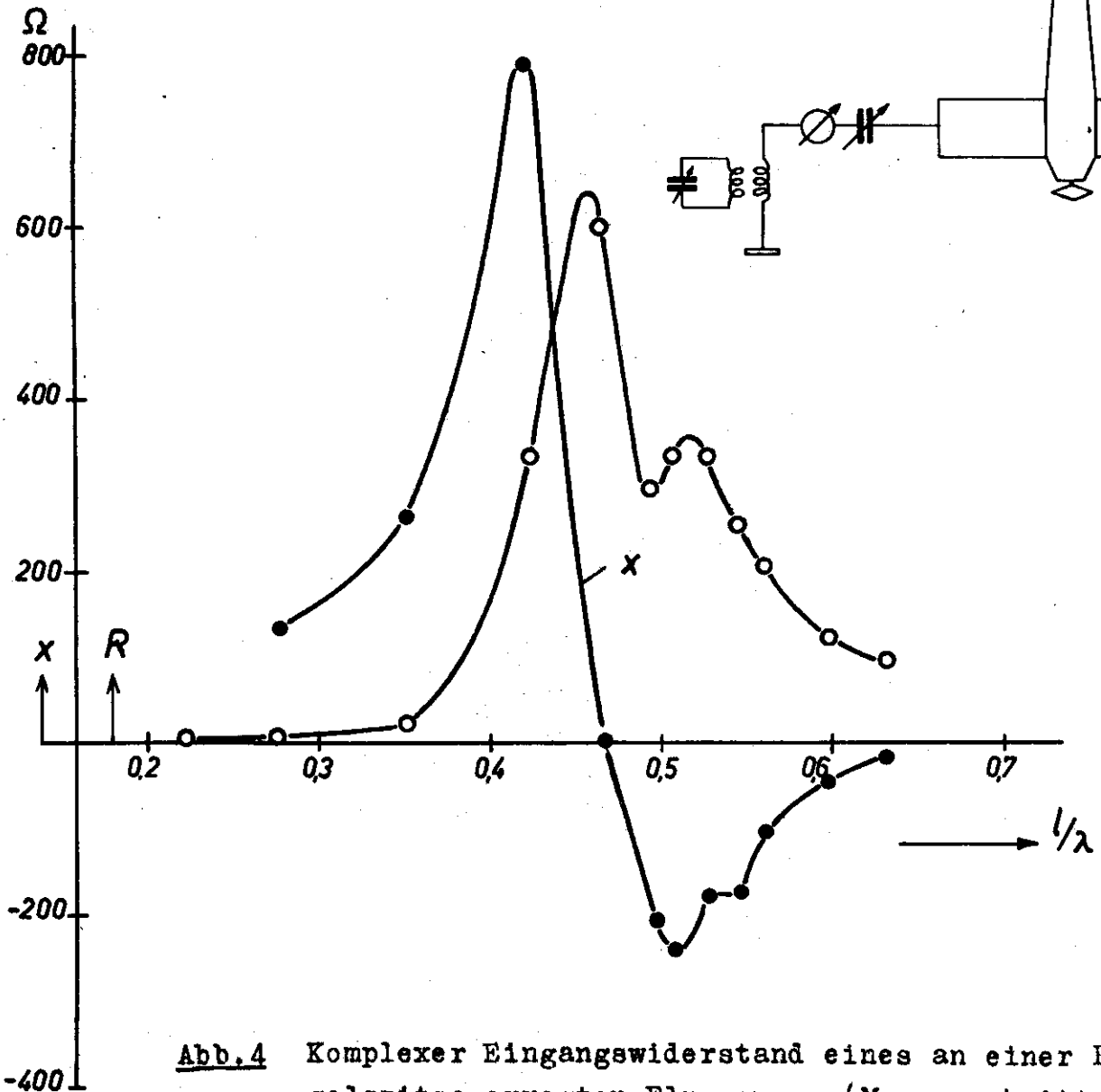


Abb. 4 Komplexer Eingangswiderstand eines an einer Flügelspitze erregten Flugzeuges (Messerschmitt Taifun) als Funktion von $\frac{l}{\lambda}$ (l = Flügelspannweite).

R = Wirkwiderstand
 X = Blindwiderstand

Berechnet man den Strahlungswiderstand einer $\frac{\lambda}{4}$ -Antenne abhängig von der Breite des flächigen Strahlers, so ergibt sich mit zunehmender Breite eine Abnahme. Bei einer quadratischen Antennenfläche ist der Strahlungswiderstand um etwa 15% niedriger als bei einer linearen $\frac{\lambda}{4}$ -Antenne.

Das prinzipielle Verhalten flächiger und räumlicher Leiter mit elektromagnetischen Wellen ist durch die Bestimmung der Stromverteilung und des Eingangswiderstandes geklärt. Im folgenden werden einige Anregungsmöglichkeiten solcher Leiter erörtert.

III. Die Anregung räumlicher Antennen.

Handelt es sich um Antennen, die wie lineare Leiter von aussen gespeist werden, so können sämtliche für lineare Antennen bekannten Anregungsarten verwendet werden. Die Anwendung bei Flugzeugen erfordert jedoch eine Ankopplung der Leiter von ihrem Innern aus. Dabei sind die Anregungsarten bevorzugt, die möglichst wenig Aussenseitungen benötigen. Eine solche Anregungsart zu finden, ohne die eingangs erwähnten Nachteile der Stab- oder Drahtantennen, ist das eigentliche Problem der Eigenanregung.

Die Verhältnisse sind zu vergleichen mit denen, die sich ergeben, wenn ein Kabel durch einen Sender gespeist wird, dessen Abschirmung mit dem Kabelmantel verbunden ist. Ist das Kabel am nicht gespeisten Ende offen oder kurzgeschlossen, so ist auf der Aussenseite kein Strom feststellbar. Wird die Seele durch eine Antenne verlängert, so entstehen auf der Kabelaussenseite sogenannte Mantelwellen. In unserem Fall entspricht die Oberfläche des zu erregenden Körpers dem Kabelmantel. Jede Antenne, die aus dem Körper herausgestreckt wird, erregt auch diesen. Da aber gerade die Antenne vermieden werden soll, muss nach einer anderen Erregungsart gesucht werden.

Eine Linearantenne kann auch gespeist werden, wenn ein Teil der Antenne zur Kopplung mit dem Erregerkreis abgegriffen wird. Ueberträgt man diese Anregungsart auf den Körper, so erhält, wegen der Notwendigkeit mit der Zuleitung zum Speisepunkt aus dem Innern des Körpers zu kommen, die Speiseleitung zusammen mit dem abgegriffenen Strahlerteil die Form einer Schleife (Abb. 5).

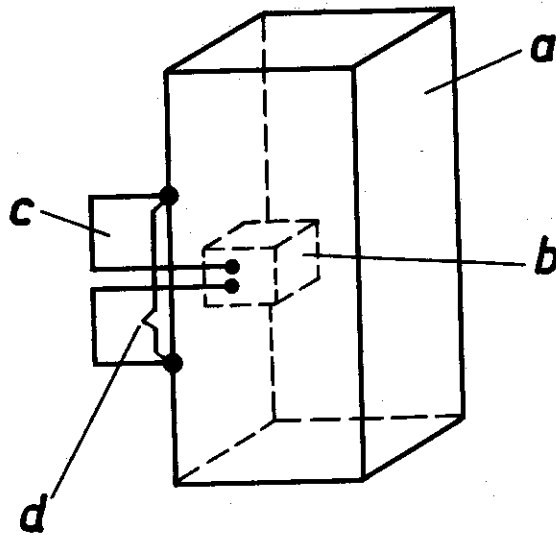


Abb. 5 Prinzip der Schleifenanregung

- a = Metallischer Körper, der von einem Generator im Innern zur Strahlung angeregt werden soll.
- b = Generator mit erdsymmetrischer HF-Spannung
- c = Erregungsschleife
- d = Zur Kopplung mit dem Generator abgegriffener Strahlerteil.

Die "Schleifenkopplung" wurde schon in den ersten Versuchen verwendet. Sie hat sich gegenüber anderen Anregungsarten räumlicher Körper bis jetzt als die günstigste erwiesen.

IV. Die Schleifenanregung.

Bei der Untersuchung der Schleifenanregung ist zu unterscheiden zwischen dem Einfluss der Grösse des abgegriffenen Strahlerteiles, den Dimensionen des Strahlers und der Leitungsführung zwischen Generator und Strahler. Die ersten beiden Probleme können durch Widerstandsbetrachtungen erschöpfend behandelt werden. Die Leitungsführung ist vor allem für den Wirkungsgrad der Anordnung entscheidend und wird gesondert behandelt.

a) Eingangswiderstände.

Die hier angewandte Art der Antennenspeisung kann auf das in Abb. 6 dargestellte Prinzip zurückgeführt werden.⁹⁾

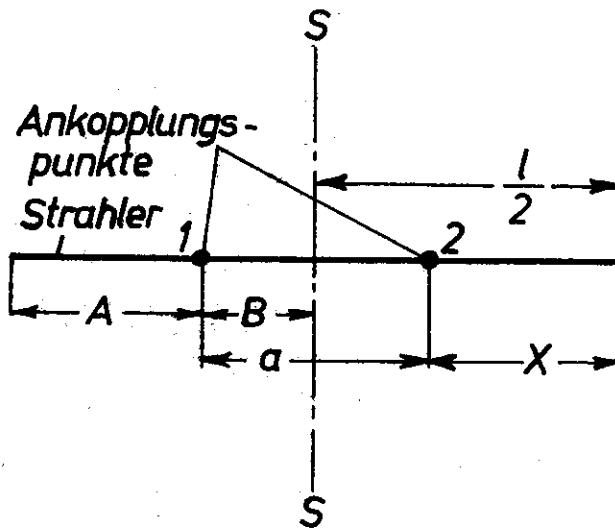


Abb.6 Skizze zur Berechnung des Eingangswiderstandes.

Ein Strahler der Länge l wird an den Punkten 1 und 2 gespeist. Der zwischen diesen Punkten wirksame Eingangswiderstand lässt sich bei einer linearen Antenne aus der Parallelschaltung der Widerstände der inneren und äusseren Antennenabschnitte berechnen. Die Antenne verhält sich ähnlich wie ein Parallelschwingkreis, dessen Kopplung mit dem durch die Zuleitung gebildeten Erregerkreis eine Funktion der Ankopplungsbreite ist. Je kleiner die Ankopplungsbreite ist, umso loser ist die Kopplung, desto geringer ist der Eingangswirkwiderstand der Antenne. An der Resonanzstelle des Strahlers ($\frac{l}{\lambda} = 0,5$) ist der Eingangsblindwiderstand der Anordnung nicht immer gleich Null. Er kann je nach der Grösse der Ankopplungsbreite kapazitiv oder induktiv sein. Bei kleinen Ankopplungsbreiten ist er stets induktiv.

Es ist wegen der Strahlungsverteilung noch von Interesse, den Strombelag auf der Antenne zu untersuchen. Dieser ist verschieden von dem, der sich bei Speisung an einem Ende ausbildet. An der Ankopplungsstelle hängen die Ströme von den Eingangswiderständen der inneren und äusseren Antennenabschnitte ab. Sind diese dem Betrage nach gleich, dann sind die Stromamplituden ebenfalls gleich und mit einem auf die Stromstärke ansprechenden Abtastgerät wird eine stetige Stromverteilung festgestellt.

Bei Berücksichtigung der Dämpfung ergibt sich, dass bei kleinen Ankopplungsbreiten bei keiner Frequenz eine stetige Stromverteilung zu erreichen ist.

Die berechneten Eingangswiderstände sind durch Messergebnisse bestätigt worden. Mit den an linearen Antennen gefundenen Werten wurden die an flächigen (Tafel) und räumlichen Antennen (Turm) gemessenen Eingangswiderstände verglichen. Es zeigt sich, dass sich die an flächigen und räumlichen Strahlern gemessenen Widerstandskurven bei allen Ankopplungsbreiten mit den für den linearen Strahler bei kleinen Ankopplungsbreiten berechneten Kurven vergleichen lassen. Die Kopplung zwischen dem Erregerkreis und der Antenne wird mit zunehmendem flächigen und räumlichen Charakter des Strahlers immer loser.

Gewöhnlich ist der Wellenwiderstand des abgegriffenen Antennenteiles nicht gleich dem Wellenwiderstand des freien Antennenteils. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache ergibt sich für eine zylindrische Antenne mit zunehmendem Durchmesser für den Eingangswiderstand in einem weiten Bereich des Wellenwiderstandes ein annähernd konstanter Wert (im folgenden Grenzwert genannt), der dann für Wellenwiderstände unter 15 Ohm schnell gegen Null geht. Die Grösse des Bereiches, in dem praktisch der Grenzwert vorliegt, wächst mit abnehmender Ankopplungsbreite. Für maximal etwa 1 m grosse Ankopplungsbreiten, mit denen man im UKW-Bereich auskommt, befindet man sich bei Flugzeugen in den meisten Fällen im Gültigkeitsbereich dieses Grenzwertes. Dies hat den Vorteil, bezüg-

lich des Eingangs-Widerstandes der Anordnung in weitem Masse von den Abmessungen der Flugzeugteile unabhängig zu sein.

b) Einfluss der Schleife.

Die bisherigen Ausführungen befassten sich allein mit dem Strahler und dessen Verhalten bei einer bestimmten Ankopplungsart. Die betrachtete Wirkungsweise setzt voraus, dass die Zuleitung zu den Ankopplungspunkten so geführt wird, dass der Strahler nicht gestört wird. Die Beeinflussung ist am geringsten bei senkrechter Leitungsführung zur Antennenoberfläche. Wird die Zuleitung zum Erregungspunkt unmittelbar an der Oberfläche der Antenne entlanggeführt, so wirkt der abgegriffene Strahlerteil mit der Zuleitung wie eine kurzgeschlossene Doppelleitung. Der Wirkungsgrad ist sehr klein. Vergrössert man den Abstand des parallelen Teiles der Zuleitung vom Strahler, so vergrössert sich das als Kurzschluss der Doppelleitung aufzufassende, senkrecht zum Strahler stehende Ende der Zuleitung und es tritt schliesslich ein Zustand ein, bei dem der Strahler von dem parallelen Teil der Zuleitung nicht mehr gestört wird und die Antenne praktisch wieder mit einer senkrecht dazu stehenden Leitung gespeist wird. Die Strahlung und damit die Dämpfung der Anordnung muss also mit zunehmendem Abstand der parallelen Leitung von der Antenne grösser werden.

Die geringe Kopplung des Zuleitungskreises mit dem Strahler bei kleinen Schleifendimensionen wird bei Leitern mit elliptischem Querschnitt etwas vergrössert, wenn die Ankopplung an den Stellen mit grösster Krümmung vorgenommen wird. Die Rückwirkung der Antenne auf den Schleifenkreis ist hier wegen der Stromzusammendrängung am grössten.

Da möglichst kleine Schleifenabmessungen erwünscht sind, wurde eine Untersuchung durchgeführt, welche die optimalen Abmessungen im Hinblick auf Grösse und Wirkungsgrad

ergab. Bei Körpern und Wellenlängen, die im Gültigkeitsbereich des oben erwähnten Grenzwiderstandes liegen, konnten experimentell folgende Dimensionierungsvorschriften gefunden werden; Die Ankopplungsbreite soll bei unsymmetrischer Erregung ungefähr $\frac{1}{10}$ der Wellenlänge sein, der lichte Abstand der Zuleitung von der Strahleroberfläche ungefähr $\frac{1}{100}$ der Wellenlänge, der Durchmesser der Leitung in cm ungefähr $0,04 \cdot \sqrt{\lambda}$ (λ ebenfalls in cm gemessen).

Bei Strahlern, deren Querschnitte klein gegenüber der Wellenlänge sind, lassen sich unter gewissen Voraussetzungen die Verhältnisse angenähert mit Hilfe der Theorie der Mehrfachleitung darstellen. Diese Theorie gestattet die Berücksichtigung der Kopplung zwischen den einzelnen Leiterabschnitten und ermöglicht die Berechnung der Stromverteilung auf dem abgegriffenen Strahlerteil, der parallelen Zuleitung und dem freien Strahlerende.

Bei den verwendeten kleinen Abständen der Zuleitung von der Strahleroberfläche ist noch zu beachten, dass die Stromverteilung im Querschnitt der Antenne durch die Zuleitung stark beeinflusst wird. Der Leiter mit elliptischem Querschnitt führt, wie oben erwähnt, den Hauptstrom an den Stellen mit grösster Krümmung. Die Stromverteilung ist im ungestörten Zustand symmetrisch zu den beiden Hauptachsen der Ellipse. Für eine dünne kreissymmetrische Rückleitung wurde abhängig vom Abstand der Rückleitung das Verhältnis der beiden Strommaxima mit Hilfe der Potentialtheorie berechnet. Die Abweichungen von der symmetrischen Verteilung sind bei den in Frage kommenden Abmessungen beträchtlich.

V. Anwendungsbeispiele.

a) FuG 16 und FuG 17 Anlage.

Von den bisher in Angriff genommenen Anwendungsmöglichkeiten ist als erste zu nennen die Antennenanlage für das FuG 16 und FuG 17 auf Flugzeugen. Der Frequenzbereich dieser beiden Anlagen liegt zwischen 38,5 und 47,9 MHz. Als Antennen wurden bis jetzt Stäbe oder Drähte

verwendet, die von einer geeigneten Stelle der KW-Bordantenne abgespannt werden. Da die Maschine auch peilbar sein soll, mussten bei der Suche nach einer geeigneten Anregungsstelle die Forderungen bezüglich der Vertikalkomponente der elektrischen Feldstärke beachtet werden. Bei jeder Flugzeugzelle besitzt das Seitenleitwerk die grösste vertikale Ausdehnung von allen Bauteilen. Es wurde deshalb eine Anregung an der vorderen Nase des Seitenleitwerks vorgeschlagen.¹⁰⁾ Als günstigste Schleifenabmessungen ergaben sich $700,60 \text{ mm}^2$. Die Zuführung ist 10 mm stark (Abb. 7).

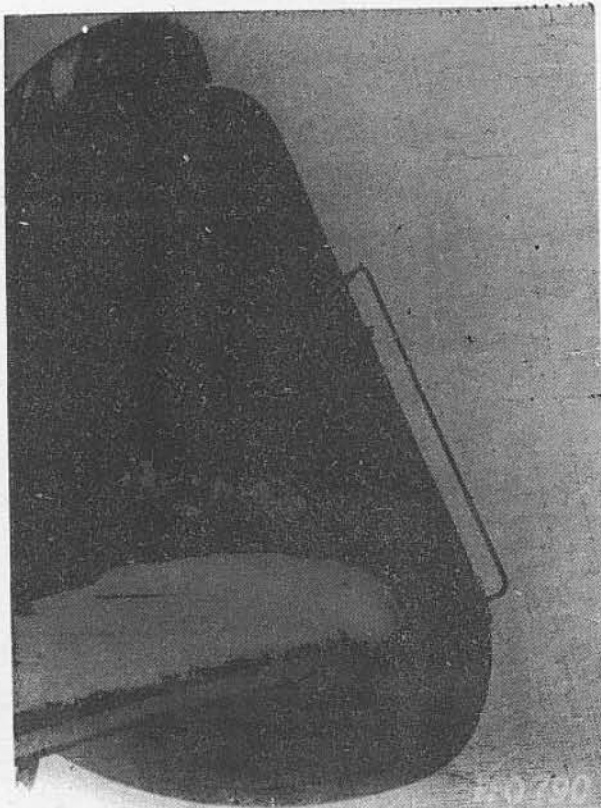


Abb. 7 Schleife an einer Do 17 Z für FuG 16
bezw. EBl 1.

Berechnet man den Eingangswiderstand dieser Ausführungsform der Schleife unter Zugrundelegung des oben erwähn-

ten Grenzwiderstandes, so ergibt sich der in Abb. 8 dargestellte Wirkwiderstand.

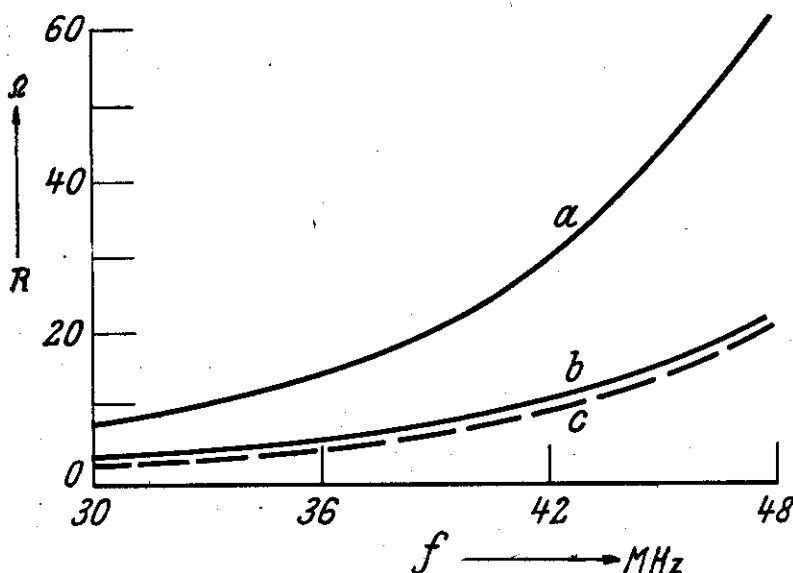


Abb. 8 Eingangswirkwiderstand der Erregungsanordnung eines Seitenleitwerks (gemessen an He III).

- a = Berechnet ohne Einfluss der Zuleitung
- b = Gemessen
- c = Berechnet, Kopplung durch Zuleitung auf ein Drittel verringert.

(Gültig für 5,5 pF Kapazität von Durchführung und Messgeräteeingang).

Der gemessene Wirkwiderstand ist ungefähr gleich dem berechneten, wenn durch die parallel zur Leitwerksnase geführte Zuleitung eine Verringerung der Kopplung auf $\frac{1}{3}$ des Wertes bei ungestörtem Zustand angenommen wird. Der induktive Blindwiderstand nimmt in diesem Frequenzbereich ungefähr linear von 120-260 Ohm zu. Feldstärkemessungen ergaben, dass die von der Erprobungsstelle Rechlin als Mittelwert angegebenen Feldstärken für normale Stab- und Drahtantennen auch hier erreicht werden.

Zur Beurteilung der Brauchbarkeit einer Antenne für den Bord-zu-Bord-Verkehr ist es notwendig, ausser der Vertikalkomponenten auch die Horizontalkomponente der Feldstärke zu ermitteln. Die Messungen zeigen, dass die Charakteristik der Horizontalkomponente im wesentlichen durch das Verhältnis der

Rumpflänge des Flugzeuges zur Wellenlänge gegeben ist. Der Rumpf einer Me 109 ist im FuG-16-Bereich etwa eine Welle lang. Dementsprechend zeigt die Charakteristik der Horizontal Komponente eine Aufblätterung in 4 Lappen. Bei He 111 und Do 17 Z entstehen wegen der grösseren Rumpflänge 8 Lappen. Abb. 9 zeigt als Beispiel die im Flug gemessene Horizontalcharakteristik einer He 111 bei 47,9 MHz.

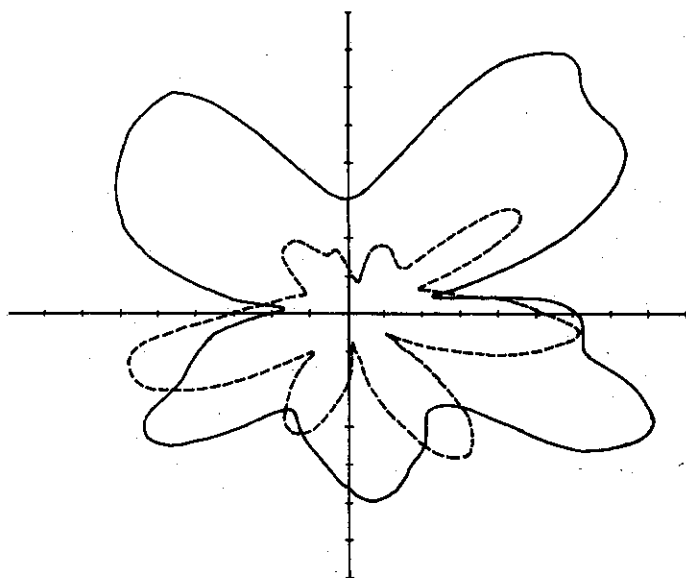


Abb. 9 Horizontalcharakteristik einer He 111 bei Ankopplung des Seitenleitwerks. Frequenz: 47,9 MHz. Linkskreis, geflogen 3500 m über Grund, 95 km vom Empfänger entfernt.

————— Vertikalkomponente
der elektr. Feldstärke

----- Horizontalkomponente
d. elektr. Feldstärke

Zur besseren Beurteilung der Strahlungsverteilung wurden mit zirkular polarisierten Antennen die Hauptachsen der Schwingungsellipse des im allgemeinen elliptisch polarisierten Feldes in der Horizontalebene gemessen. Bei bekannter horizontal und vertikal pola-

— kreispolarisierte rechtszirkulierende Komponente
--- kreispolarisierte linkszirkulierende Komponente

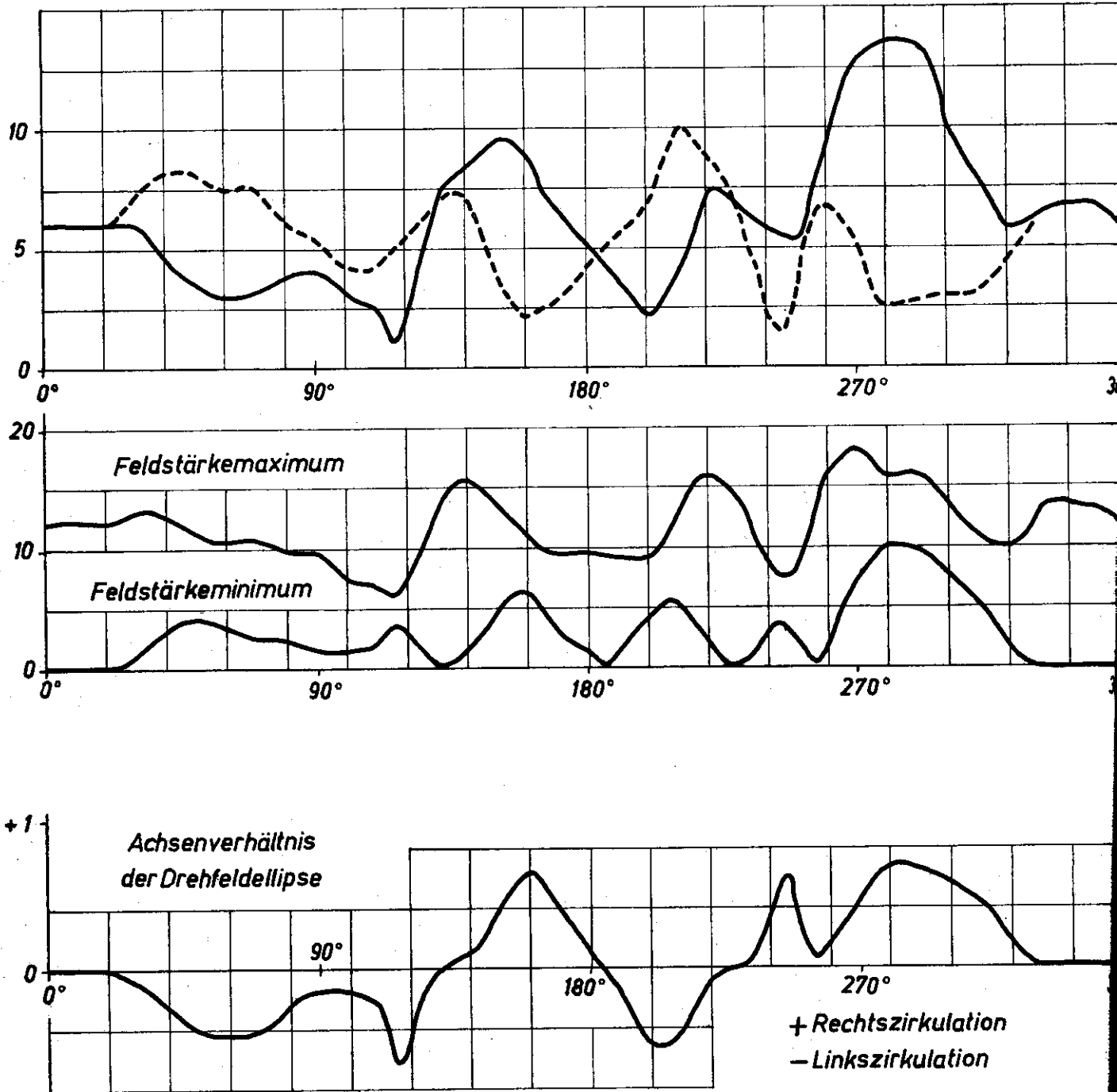
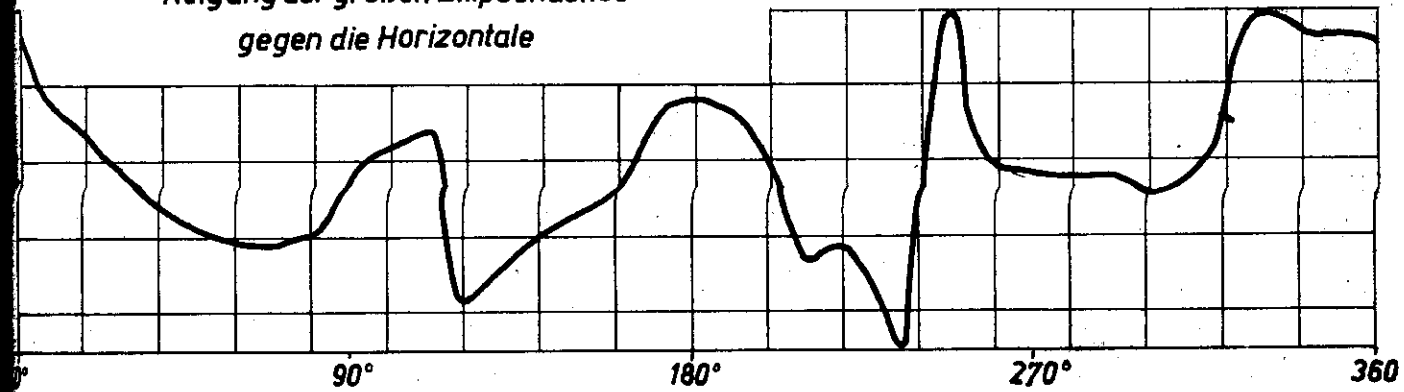
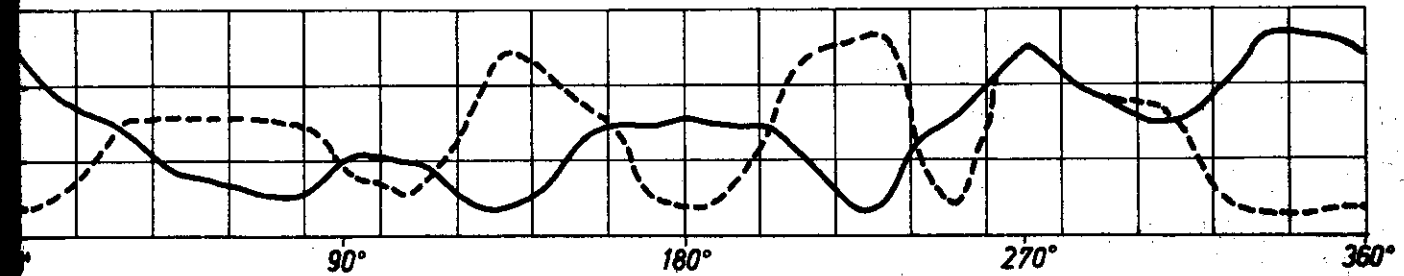


Abb. 10 a Horizontalcharakteristik einer Me 109 bei Erregung des Seitenleitwerks. $f = 47,9$ MHz. Rechtskreis 3500 m ü.Grund, 100 km v. Empfänger entfernt.

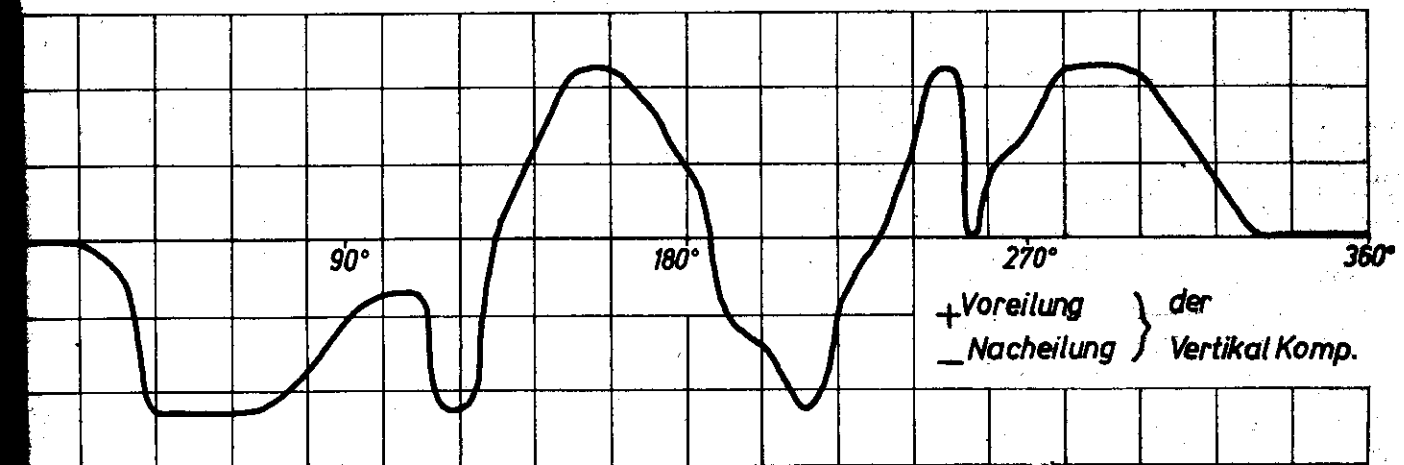
Neigung der großen Ellipsenachse
gegen die Horizontale



— vertikal polarisierte Komponente } des elektr. Feldes
--- horizontal polarisierte Komp.



Phasenverschiebung zwischen vertikal pol.
Komp. und horizontal polarisierter Komponente



+Voreilung } der
-Nacheilung } Vertikal Komp.

Abb. 10 b Horizontalcharakteristik einer Me 109 bei Erregung des Seitenleitwerks. $f = 47,9$ MHz. Rechtskreis 3500 m ü. Grund, 100 km v. Empfänger entfernt.

risierter Komponente der Feldstärke ist es dann möglich, die Phase zwischen diesen beiden Komponenten und die Neigung der Ellipsenachse zu ermitteln. Für die Me 109 ergeben sich z.B. die in Abb. 10 wiedergegebenen Werte.

b) Blindlandeanlage auf Flugzeugen.

Die gleiche Anordnung wie für FuG 16 wurde als Ersatz des Bakenstabes für die Blindlandeanlage auf Flugzeugen mit gutem Erfolge verwendet. An einer He 111 wurde für FuG 16 und Blindlandeanlage eine Doppelschleife verwendet (Abb. 11).

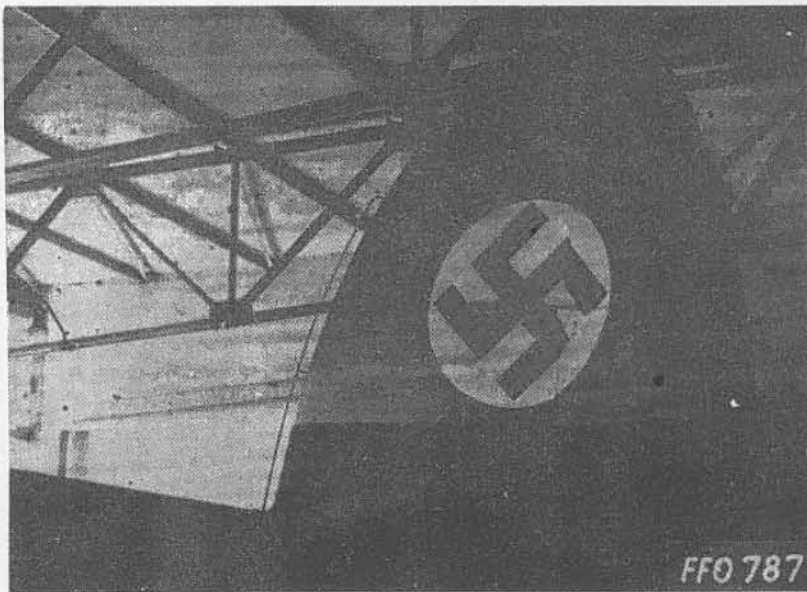


Abb. 11 Doppelschleife an einer He 111 für FuG 16 und EB1 1.

Bei der Aufnahme der Charakteristik zeigt es sich, dass diese stark davon abhängig ist, ob die Erregungsschleife von unten oder von oben gespeist wird.

Anstelle des Dipols für das Vorsignal wurde eine Schleife an der Unterseite des Rumpfes versenkt in eine Wanne eingebaut (Abb. 12). Eine beim Ueberflug eines Vorsignals aufgenommene Charakteristik ist in Abb. 13 dargestellt.

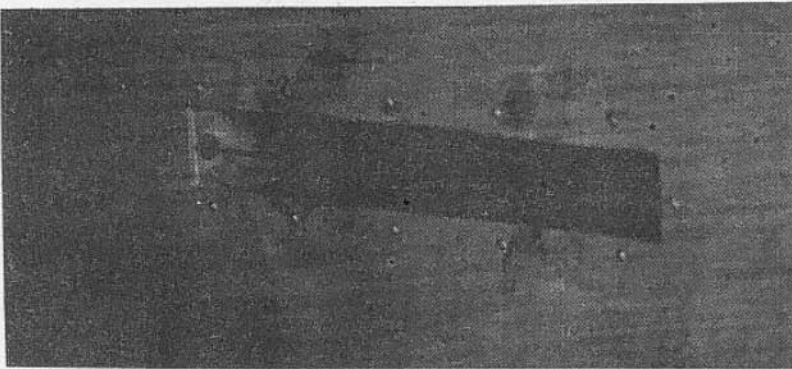


Abb. 12 Offene Wanne mit Schleife für EB1 2 an der Unterseite einer He 111.

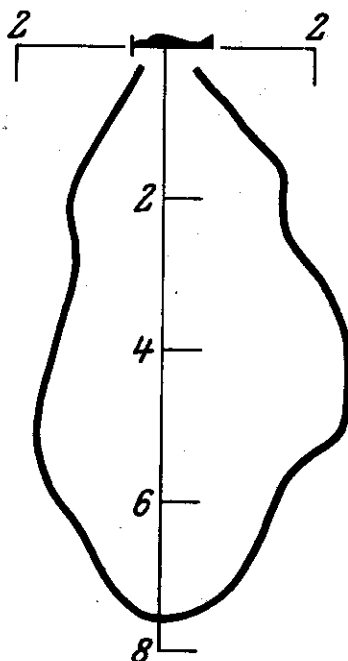


Abb. 13 Ausgangsspannung am Empfänger EBl 2 beim Ueberflug eines Signal senders. Gemessen in 400 m Höhe mit Bake Riem und Do 17 Z (Rumpfanregung).

Weitere Messungen mit verschiedenen Maschinen wurden für FuG 15 und die Blindlandeanlage von der Firma Lorenz bei der Entwicklung eines Serieneinsatzes durchgeführt.

Allgemein zeigt es sich, dass erwartungsgemäss der Eingangswiderstand der Erregungsanordnung vom Maschinentyp weitgehend unabhängig ist. Dagegen verändert sich die Charakteristik der Maschinen stark mit den Flugzeugabmessungen. Die Beurteilung der Brauchbarkeit der Antennenanlage erfordert deshalb für jeden Flugzeugtyp eine gesonderte Untersuchung.

c) Kurzwellen-Antenne.

Ein Versuch, den Flugzeugrumpf mit einer Schleife anzukoppeln, hat das Ziel, die KW-Bordantenne zu ersetzen (Abb. 14).

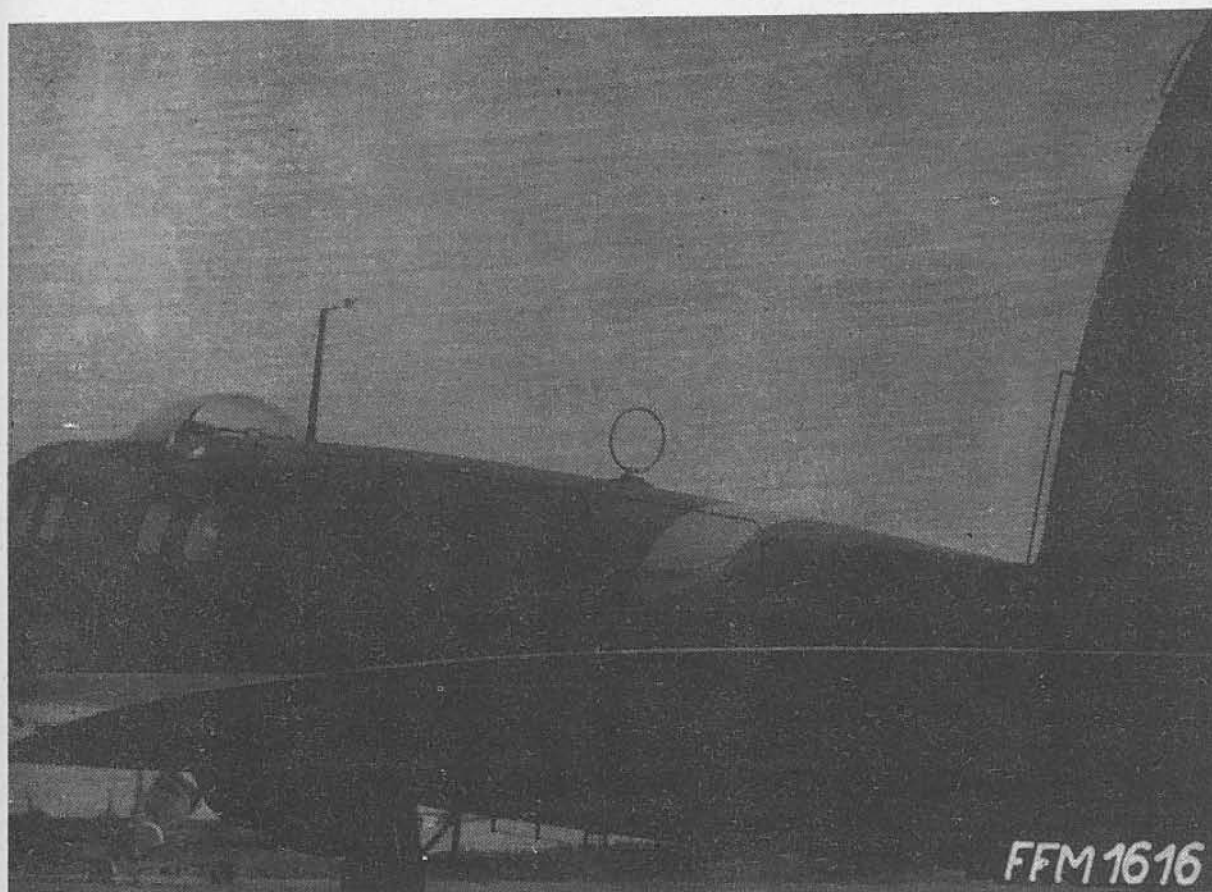


Abb. 14 KW-Anregung am Rumpf einer He 111.

Die 6 m lange Schleife mit 10 cm Abstand vom Flugzeugrumpf arbeitet von 50 - 100 m. Für die Wellenbereiche 25 - 50 m und 12,5 - 25 m werden bei 2 m und 4 m automatisch einschaltbare Kurzschlussbügel angebracht. Messungen bis zu etwa 1000 km Entfernungen ergaben in den Fällen, in denen nur die Raumwelle vorhanden war, einen praktisch von der Maschinenlage unabhängigen Empfang. Die Versuchsfrequenzen waren 6 und 10 MHz. In diesen Entfernungen sind bei einer Ju 52 Festantenne und Rumpfanregung vollkommen gleichwertig.

d) Rundstrahler und Richtantennen bei 1,9 m Wellenlänge.

Bei 1,9 m Wellenlänge wurde versucht, durch Anregung des Seitenleitwerks (Abb. 14) einen Ersatz einer

Stabantenne zu finden. Gewünscht war eine Rundcharakteristik. Die Charakteristiken von Stab und Leitwerk wurden mit einer Me 109, He 111 und Do 17 Z ausgeflogen. Trotzdem der Stab stets an der Unterseite des Rumpfes befestigt war und sämtliche 3 Maschinentypen eingezogenes Fahrwerk besitzen, weisen die Charakteristiken starke Einzüge auf. Aehnlich ist es beim Leitwerk. Ein Feldstärkenvergleich ergibt bei Me 109 eine geringe Ueberlegenheit des Leitwerks, bei He 111 und Do 17 Z eine Ueberlegenheit des Stabes. Die Angaben beziehen sich stets auf die Vertikalkomponente des elektrischen Feldes. Die Horizontalkomponente ist in allen Fällen wesentlich kleiner.

Durch eine Anregungsschleife an der Vorderkante des Flügels in der Nähe des Motors entsteht in der Horizontalebene eine horizontal polarisierte, schräg nach vorn gebündelte Richtcharakteristik (Abb.15).

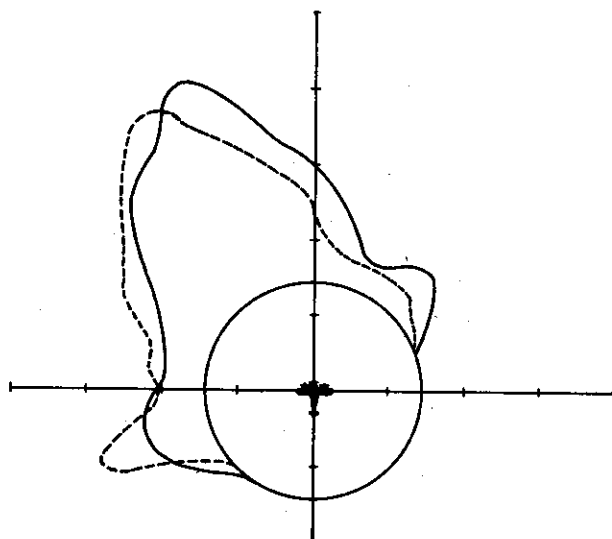


Abb.15 Horizontalcharakteristik (Horizontalkomponente der elektrischen Feldstärke) einer He 111 bei 1,9 m Wellenlänge. Koppelschleife ($19,4 \text{ cm}^2$) an der Nase des linken Flügels, dicht ausserhalb des Motors. Messkreise geflogen 2000 m über Grund, 60 km vom Empfänger entfernt.

----- Rechtskreis

_____ Linkskreis

Die Strahlung in anderen Ebenen durch die Maschine wurde noch nicht gemessen. Das Maximum in der Horizontalebene entspricht etwa der Strahlung einer Stabantenne. Es ist zu erwarten, dass durch Kombination mehrerer Anregungsschleifen dieselben Verstärkungen wie bei Kombinationen von Stabantennen zu erreichen sind, wobei wegen der Vorbündelung eine grössere Richtwirkung entsteht.

e) Oberflächenpeilung auf Flugzeugen.

Zum Schluss wird noch ein Peilverfahren erwähnt, das die auf der Oberfläche eines Metallkörpers fließenden Ströme für Peilzwecke ausnützt. Trifft auf eine Metallplatte ein elektromagnetisches Feld auf, so entstehen auf der Oberfläche Ströme, deren Richtung gleich der Fortpflanzungsrichtung des Feldes ist. Diese Tatsache gab Veranlassung, eine Messanordnung auf einer Maschine anzubringen, welche die Stromrichtung bzw. Spannungsverteilung ermittelt und dadurch für Peilzwecke brauchbar wird (Abb. 11 und 12). Es wurde die Spannung an zwei gegenüberliegenden Punkten einer kreisrunden Öffnung des Rumpfes mit Hilfe von Schleifbügeln abgegriffen. Die Missweisung konnte durch Anbringung von Längsdrähten in der Nähe der drehbaren Peilleiter verbessert werden. Die Energie entsprach bei 400 m Wellenlänge und 70 cm Lochgröße einem Zweiwindungsrahmen von 42 cm Durchmesser. Versuche bei 9 m und 7,5 m Wellenlänge ergaben grundsätzliche Brauchbarkeit für Zielflug. Anpassungs- und Kompensationsfragen sind bei diesen Wellenlängen besonders kritisch und bedürfen noch eingehender Bearbeitung. Diese Oberflächenpeiler haben gegenüber Rahmenpeilern den Vorteil, verkleidbar zu sein und keine Aussenanbauten zu benötigen.

VII. Schluss.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die vorliegenden Arbeiten einen ungefähren Einblick in die Wirkungsweise der bei Flugzeugerregung verwendeten Antennen-

elemente zulassen. Die Beispiele zeigen, dass das Verfahren für viele Zwecke brauchbar ist und seine Anwendung Vorteile mit sich bringt. Die Abhängigkeit der räumlichen Strahlungsverteilung von den Abmessungen der angeregten Körper ist nur wenig bekannt und bedarf noch eingehender Bearbeitung.

VIII. Schrifttum.

- (1) M.Dieckmann und K.Bärner
M.Dieckmann und K.Bärner
K.Bärner
Versuche, metallische Fahrzeuge selbst, insbesondere Luftfahrzeuge, zur Ausstrahlung und zum Empfang elektromagnetischer Wellen heranzuziehen.
ZWB-Bericht FB 486, 1935
Weitere Versuche mit eigenerrregten Flugzeugen.
ZWB-Bericht FB 596, 1936.
Richtlinien für den Ersatz der Kurzwellenfestantenne durch Eigenerrregung des Flugzeuges.
ZWB-Bericht FB 620, 1936.
- (2) M, P.Hanson
High frequency collecting and radiating structure.
USA-Patentschrift 2044779, 1936, eingereicht 1933.
- (3) M.Abraham
Die elektrischen Schwingungen um einen stabförmigen Leiter nach der Maxwell'schen Theorie
Wied. Ann. 66, 1898, 435.
- (4) H.G.Gross
Die Berechnung der Stromverteilung in zylindrischen Leitern mit rechteckigem und elliptischem Querschnitt.
Arch. Elektrotechn. 34, 1940, 241.
- (5) M.Reich u.F.Fischer
Ueber die Stromverdrängung in Leitern mit unrundem Querschnitt.
Z.techn.Phys.32, 1935, 327
- (6) G.Eabat u.M.Losinsky
Heat treatment of steel by high-frequency current.
J.Inst. elect. Engrs. 86, 1940, 161.

- (7) F. Lettowsky
Skineffekt in zylindrischen Leitern mit elliptischem Querschnitt bei hohen Frequenzen.
Arch. Elektrotechn. 35, 1941, 643.
- (8) S. Zisler
Stromverteilung, Eingangswiderstand und Strahlungscharakteristik flächiger Antennen geringer Breite.
ZWB-Bericht
- (9) S. Zisler
Eingangswiderstände linearer, flächiger und räumlicher Antennen.
ZWB-Bericht FB 1388, 1938.
- (10) H. Zintl u. S. Zisler - Das Seitenleitwerk einer Maschine als Antenne für Nachrichtengeräte und Blindlandanlage.
ZWB-Bericht
- (11) K. Bärner und
H. Pippel
Ueber eine besondere Form eines Innen-Peilrahmens für Flugzeuge.
ZWB-Bericht FB 1131, 1939
- (12) K. Bärner und
H. Pippel
Fortsetzung der Untersuchungen von Oberflächenpeileinrichtungen.
ZWB-Bericht FB 1132, 1939