

## Flugzeugbordantennen

H. Netheler, Reohlin

Es werden einige grundsätzliche Untersuchungen an Flugzeugstabantennen im Wellenbereich von 10 m bis 1 m wiedergegeben. Die Messungen liegen schon etwas zurück und beziehen sich auf die Ju 52 und die He 111.

### Ueberblick:

An die Antennen, die für Navigationszwecke und für Nachrichtenübermittlung eingesetzt werden, werden folgende Forderungen gestellt:

1. Guter Strahlungswirkungsgrad,
2. gleichmässige Strahlungsverteilung in der horizontalen Ebene,
3. einwandfreie Polarisation der abgestrahlten Leistung
4. genügende mechanische Festigkeit und Schwingsicherheit im vorkommenden Geschwindigkeitsbereich des Flugzeugs auch bei Vereisung der Antenne,
5. günstigste aerodynamische Form,
6. Anbringungsort so, dass das Schussfeld nicht verkleinert wird.

Im Langwellengebiet wird vor allem die bekannte Schleppantenne verwendet, weil man in diesem Wellenbereich nur mit ihr brauchbare Strahlungswirkungsgrade erreichen kann. Ihre elektrischen Eigenschaften sind weitgehend bekannt und in der Literatur beschrieben. (Siehe Literaturzusammenstellung).

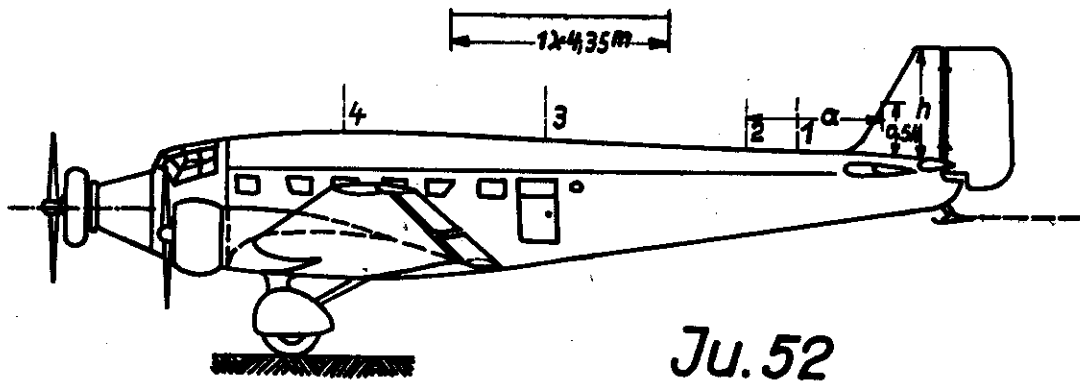
Im Kurzwellengebiet wird neben der Schleppantenne die fest verspannte Antenne weitgehend verwendet. Auch ihre Eigenschaften können hier als bekannt vorausgesetzt werden. Es sei auf die Modellmessungen von Harmening und Pfister hingewiesen.

Im UKW-Gebiet von 10 m bis 1 m verwendet man neben Drahtantennen vor allem Stabantennen und neuerdings, wenn es sich um Metallmaschinen handelt, den Flugzeugkörper selbst als Antenne.

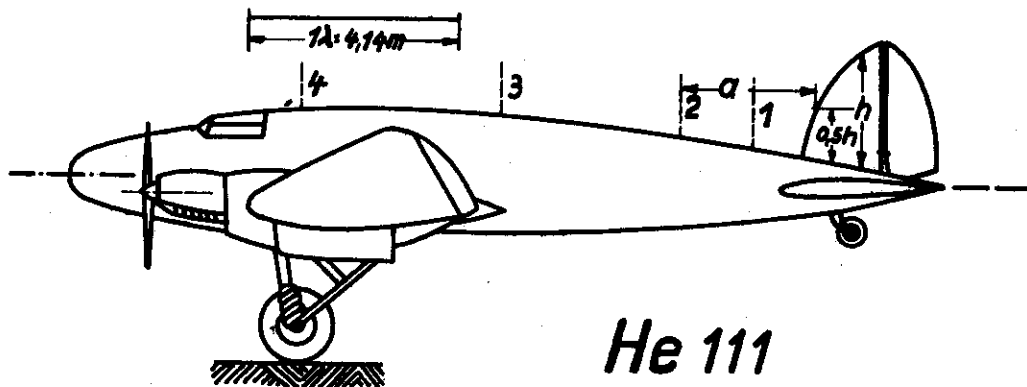
Im Dezimeterwellengebiet wird von den Antennen meistens eine Richtwirkung gefordert, die man beispielsweise, wenn sie nach unten sein soll, durch Anbringung der Antenne unter der Fläche, oder wenn sie nach der Seite sein soll, durch Anbringung seitlich am Rumpf erreichen kann. In vielen Fällen ist es auch notwendig, Richtsysteme an der Maschine anzubringen. Wenn ihre Bündelung so weitgehend ist, dass keine Flugzeugteile mehr von der Strahlung getroffen werden, bieten sie elektrisch gegenüber ihrer normalen Verwendung nichts Neues. Sie weichen allerdings in ihrer mechanischen Ausführung wegen der aerodynamischen Forderungen meistens weitgehend von den am Boden verwendeten Antennen ab. Ich beschränke meine heutigen Ausführungen auf Antennen, bei denen eine Rundstrahlung angestrebt wird und möchte zeigen, welchen Einfluss die angestrahlten Flugzeugteile auf die Strahlungsverteilung der Antenne bringen. Ich gehe dabei vor allem auf die Strahlungsverteilung von Stabantennen ein. Die Schleifenanregung und die Anpassung der Antenne an das Gerät wird gesondert behandelt.

#### Interferenz zwischen Antenne und Leitwerk:

Abb. 1 zeigt die Seitenansicht von einer Ju 52 und einer He 111, auf denen an verschiedenen Stellen eine Stabantenne angedeutet ist. Darunter ist ein ganz einfaches Modell, bestehend aus einem horizontalen Rohr, das den Rumpf nachbilden soll, einem senkrechten Rohr darauf, das das Leitwerk ersetzen soll, mit der Antenne dargestellt. Es wurden für die Antennenstellungen 1-4 Strahlungsdiagramme in der horizontalen Ebene aufgenommen. Es sind dabei die Abstände  $a$  der Antenne von der Vorderkante des Leitwerks bei der Ju 52, der He 111



*Ju.52*



*He 111*

Abb. 1 Skizze der untersuchten Flugzeugantennen.

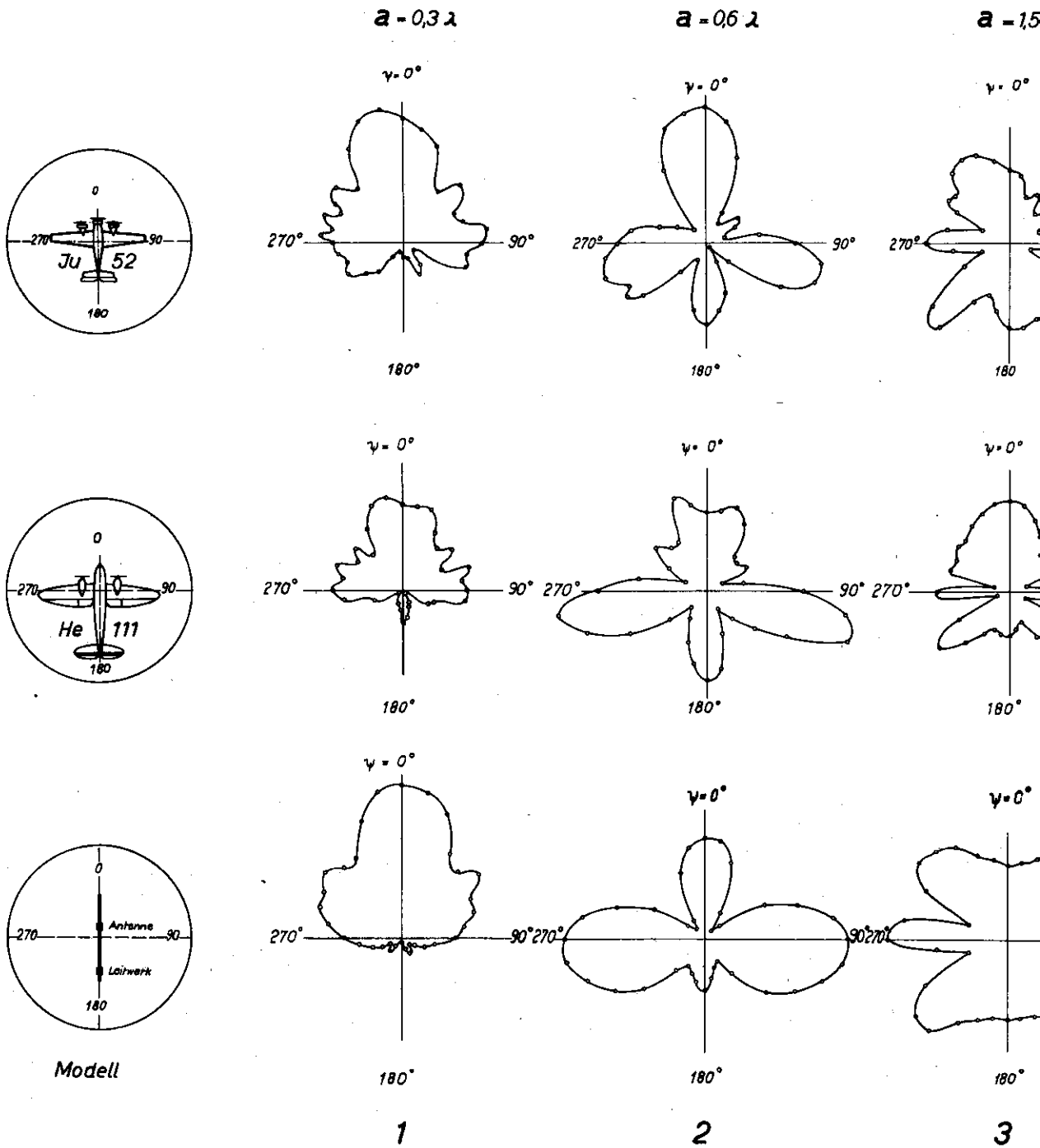
und dem Modell jeweils gleich gewählt. Abb. 2 gibt die gemessenen Strahlungsdiagramme wieder. Man erkennt, dass sie stark aufgespalten sind. Die Anzahl der Lappen wächst mit grösserem Abstand der Antenne vom Leitwerk an und zwar bei Ju 52, He 111 und dem Modell in gleicher Weise. Es ist daraus zu folgern, dass vor allem das Leitwerk mitschwingt und durch Interferenz mit der Antenne die Aufspaltung der Diagramme erzeugt. Das wird durch die Rechnung bestätigt. Die rohe Übereinstimmung der Messergebnisse zwischen Flugzeug und Modell zeigt, dass in Bezug auf die Vertikalkomponente der Strahlung das Flugzeug in erster Näherung durch das einfache Ersatzschema nachgebildet werden kann.

Aus den Messergebnissen ist folgendes zu schliessen:

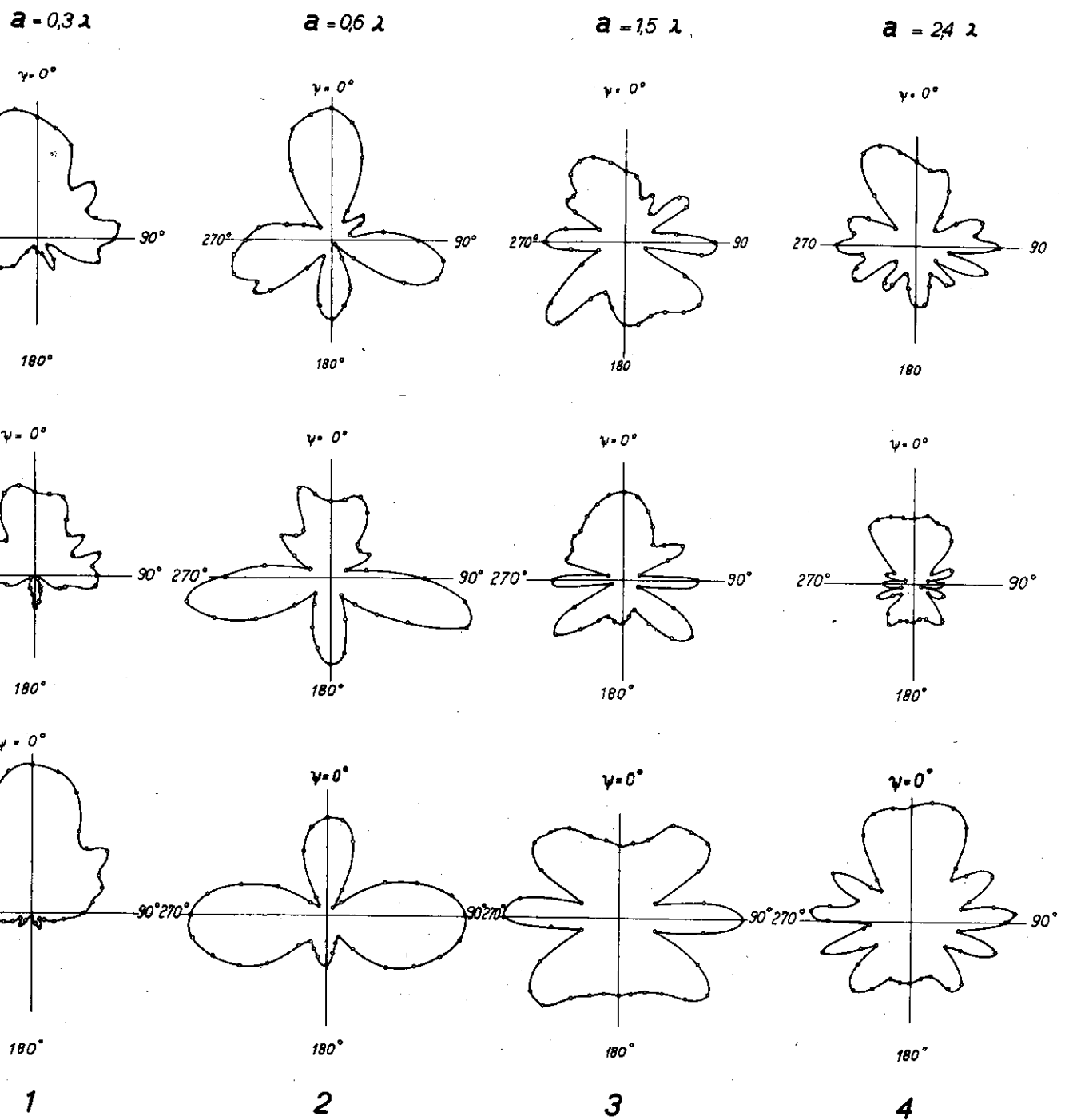
Zur Erreichung einer Rundstrahlung der Antenne zeichnen sich verschiedene Möglichkeiten ab.

1. Man kann die Antenne so anbringen, dass das Leitwerk nicht angeregt wird.
2. Man kann die Antenne so dicht an das Leitwerk setzen, dass keine grossen Phasenunterschiede zwischen Leitwerk und Antenne auftreten können.
3. Man kann das Leitwerk selbst als Antenne verwenden.

Für die erste Möglichkeit der Erreichung eines Runddiagramms ist Abb. 3 ein Beispiel. Es wurde die Antenne auf der Unterseite des Rumpfes angebracht und dadurch die Einwirkung des Leitwerkes weitgehend vermindert. Das Diagramm für zwei Einbauorte der Antenne ist in Abb. 3 aufgetragen. Die Ausführung der Antenne zeigt Abb. 4. Sie wurde einziehbar ausgeführt, weil die Bodenfreiheit der Maschine im vorhandenen Fall für eine normale Antenne zu klein war.



**Abb. 2** Strahlungsdiagramme



**Abb. 2** Strahlungsdiagramme

a-  
von  
Leit

JU  
Hor  
diag

He  
Hor  
diag

Mod  
Hor  
diag

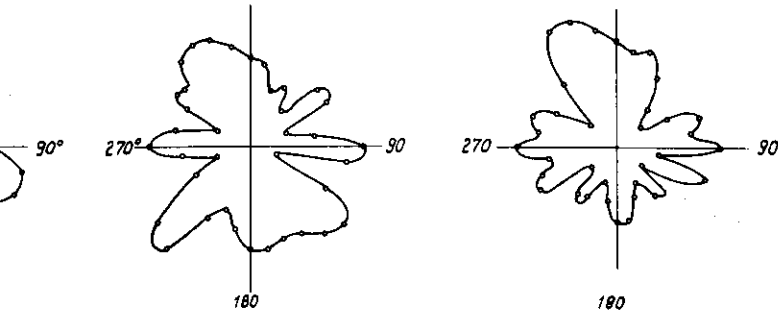
$a = 15 \lambda$

$a = 24 \lambda$

$a$  - Abstand der Antenne  
von der Vorderkante des  
Leitwerks

$\psi = 0^\circ$

$\psi = 0^\circ$

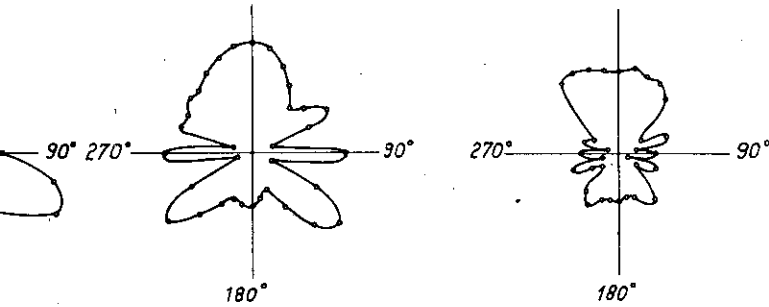


Ju 52

Horizontalstrahlungs-  
diagramme  $E_\psi = f(\psi)$

$\psi = 0^\circ$

$\psi = 0^\circ$

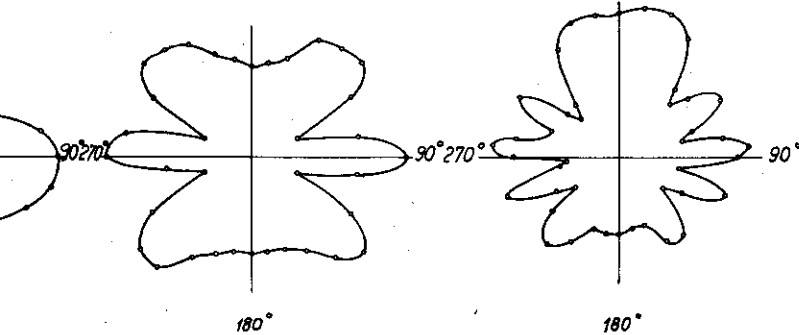


He 111

Horizontalstrahlungs-  
diagramme  $E_\psi = f(\psi)$

$\psi = 0^\circ$

$\psi = 0^\circ$

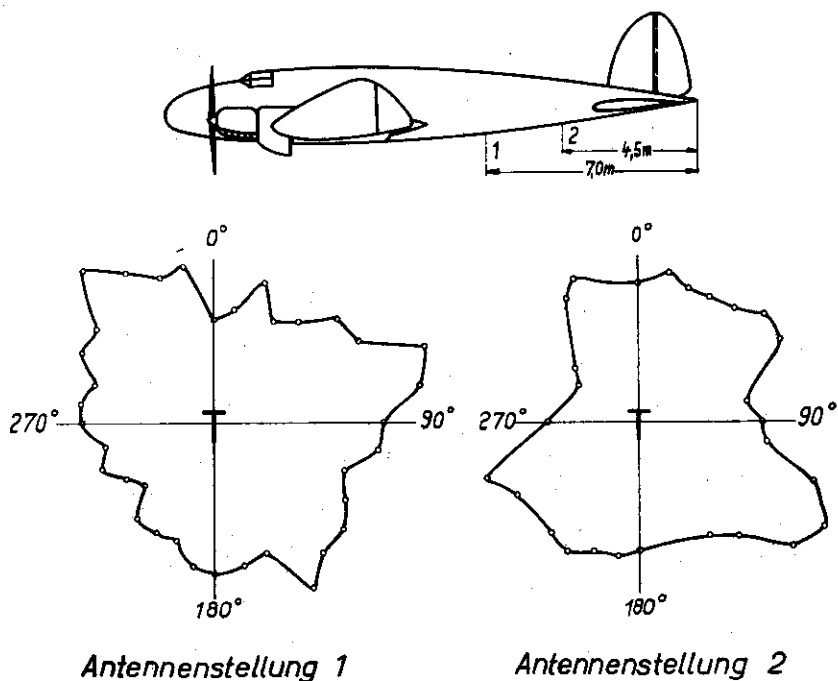


Modell

Horizontalstrahlungs-  
diagramme  $E_\psi = f(\psi)$

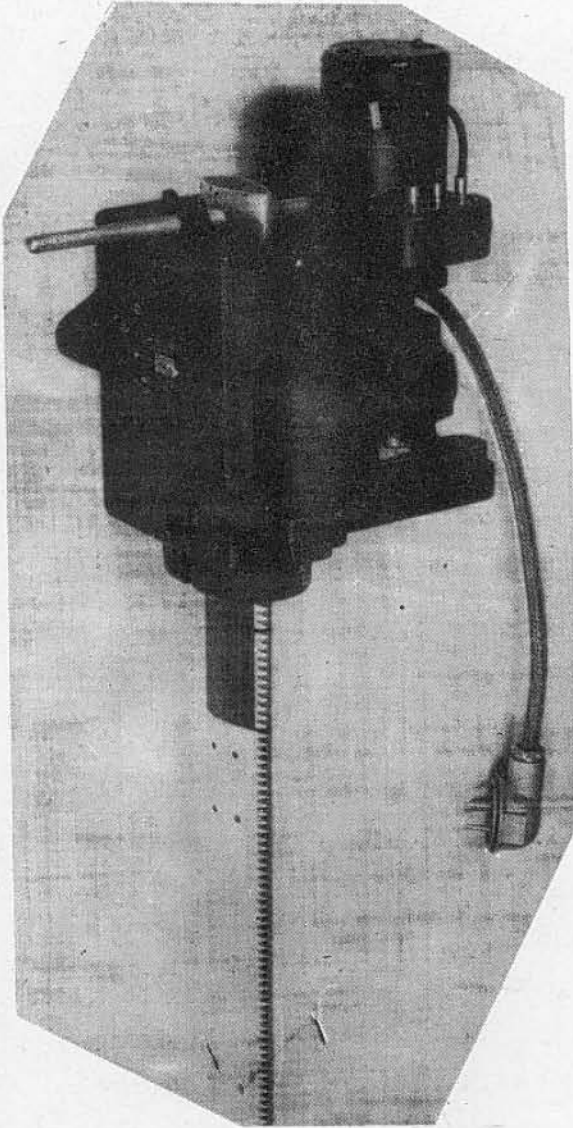
3

4

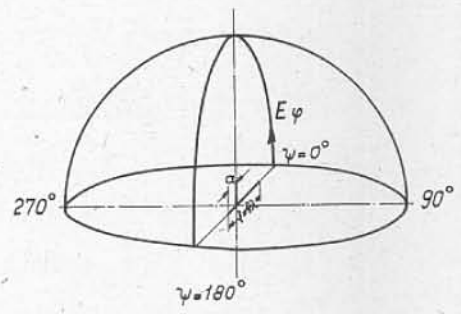


**Abb. 3** Horizontal - Strahlungsdiagramme von 2 Stabantennen unter dem Rumpf einer He 111. Wellenlänge  $\lambda = 7$  m.

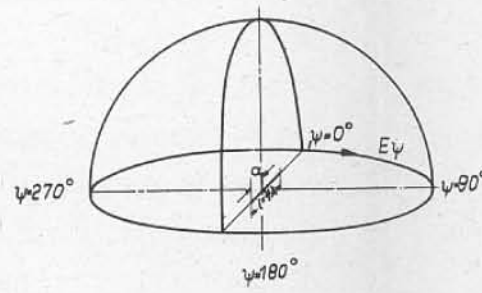
Es soll in diesem Zusammenhang kurz ein messtechnischer Hinweis gegeben werden. Es wurde mit einem kleinen Dipol das Feld in der Nähe des Erdbodens abgetastet und dabei infolge der Verluste im Erdboden eine gewisse Neigung der Feldlinien gegen die Vertikale festgestellt, die auch bei Langwellen bekannt ist. Der Neigungswinkel der Feldlinien gegen die Vertikale ist abhängig von der Höhe über dem Boden. Bei einer Höhe von  $1,5 \lambda$  über dem Boden war praktisch keine Neigung der Feldlinien mehr nachzuweisen. Man erhält nun bei einem Modell, das vertikale und horizontale Teile hat, bei Anstrahlung mit einem rein vertikal polarisiert abstrahlenden Sender in der Nähe des Erdbodens auch im horizontalen Teil Spannungen und damit erhebliche Abweichungen



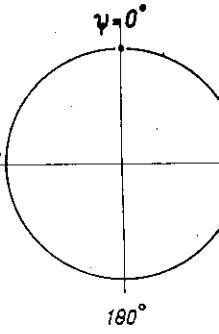
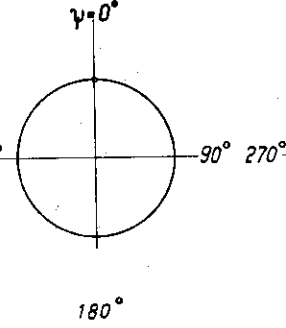
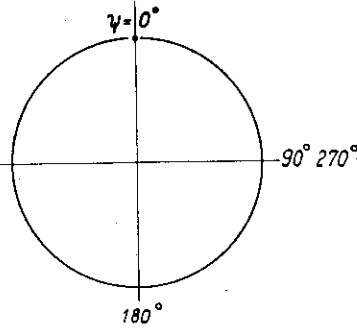
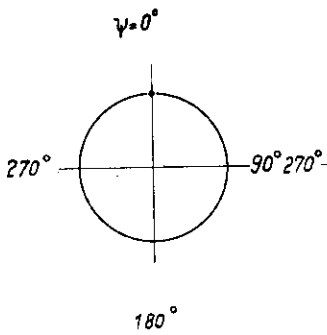
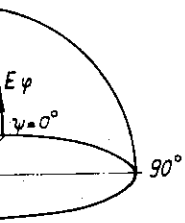
**Abb. 4** Konstruktion einer Stabantenne.



$a$  = Abstand der Antenne vom Rumpffende



**Abb. 5** Strahlungs



Obere Reihe: Vertikalkomponente  $E_{\psi} = f(\psi)$

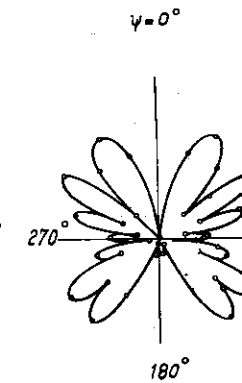
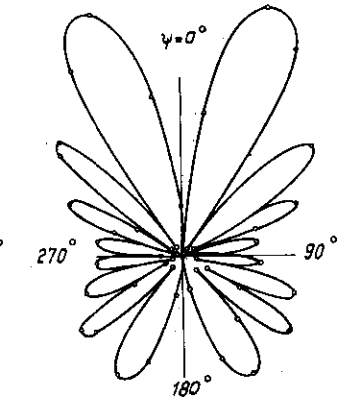
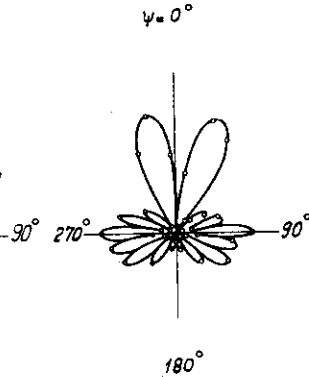
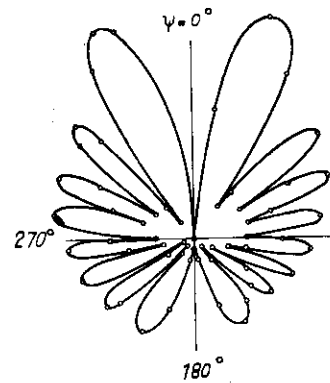
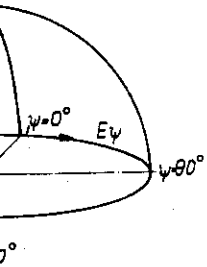
Antenne

$a = 0 \lambda$

$a = 0,25 \lambda$

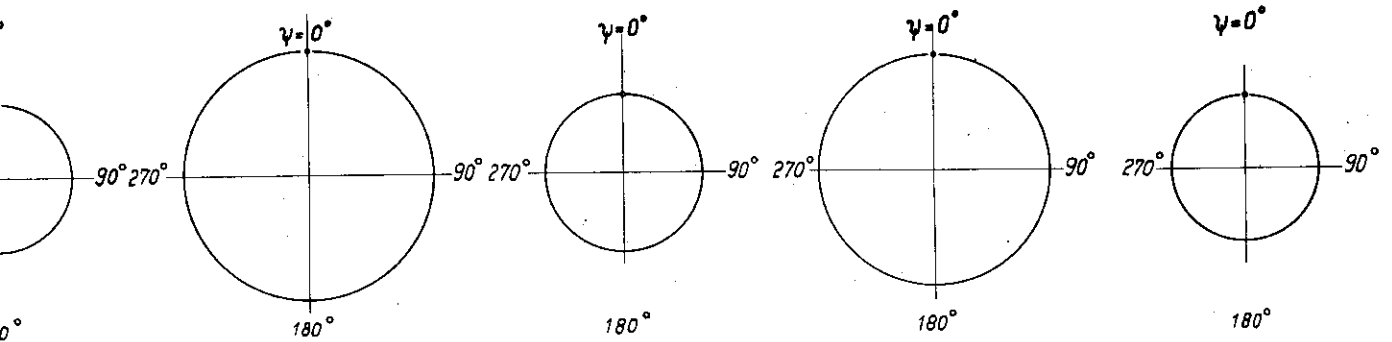
$a = 0,5 \lambda$

$a = 0,75 \lambda$



Untere Reihe: Horizontalkomponente  $E_{\psi} = f(\psi)$

Strahlungsanteile von Antenne und Rumpf bei verschiedenen Stellungen d



Obere Reihe: Vertikalkomponente  $E_{\psi} = f(\psi)$

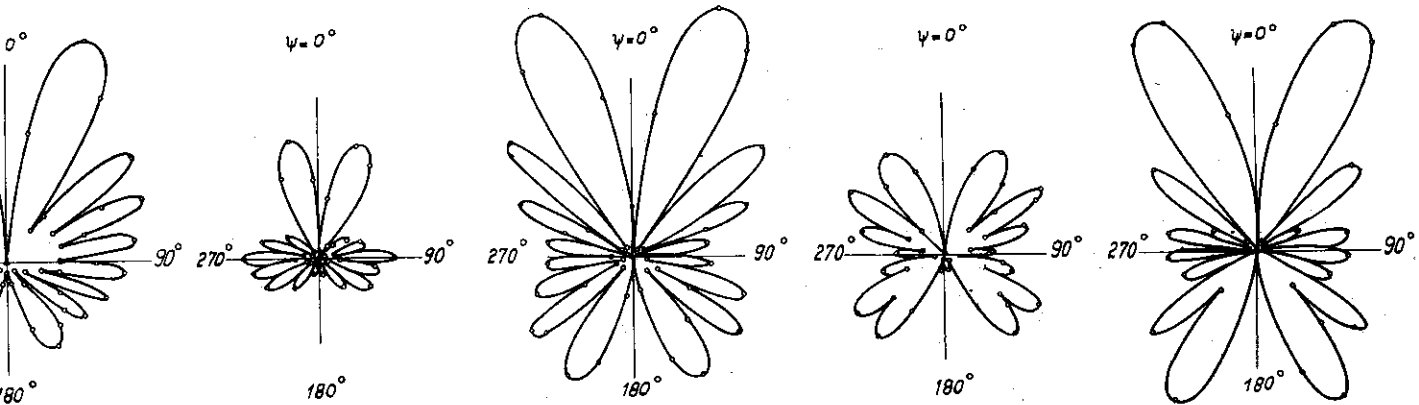
0 λ

$a = 0,25 \lambda$

$a = 0,5 \lambda$

$a = 0,75 \lambda$

$a = 1,0 \lambda$



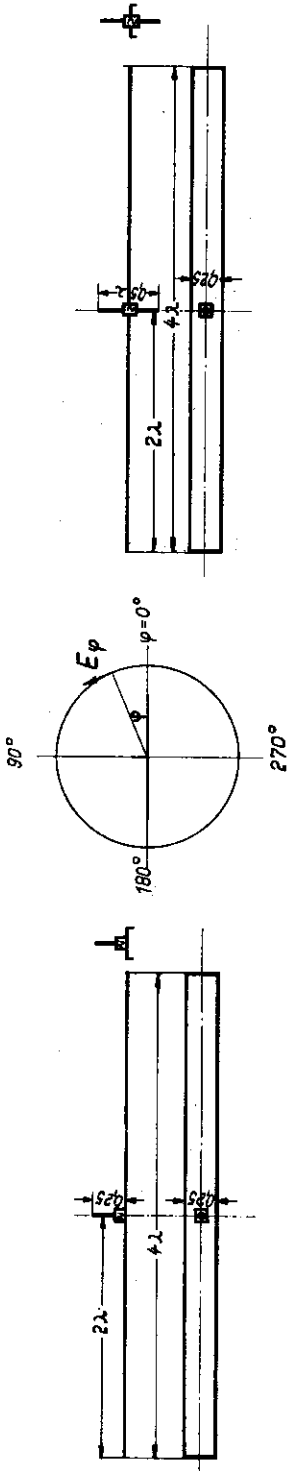
Untere Reihe: Horizontalkomponente  $E_{\psi} = f(\psi)$

on Antenne und Bumpf bei verschiedenen Stellungen der Antenne.

vom kreisförmigen Diagramm, wie es im ungestörten Feld vorhanden wäre. Das ist nach meiner Ansicht auch die Erklärung dafür, dass in vielen Fällen Messungen am Boden anders ausfallen als Messungen im Fluge.

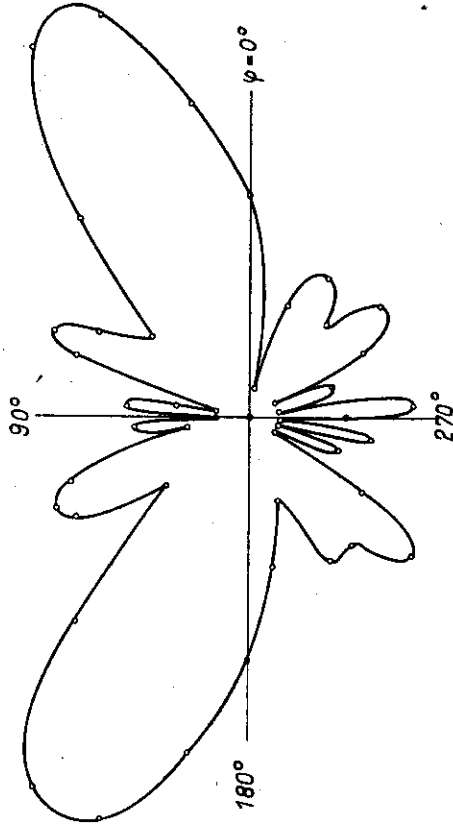
### Die Strahlung des Rumpfes!

An Hand von Abb. 5 soll die horizontal polarisierte Strahlung der Flugzeugantennen kurz behandelt werden. Es wurde von dem oben beschriebenen Modell der Ersatzstab für das Leitwerk abgenommen, um die Auswertung zu vereinfachen und in der horizontalen Ebene die vertikale und die horizontale Strahlungskomponente gemessen. Als Parameter ist die Stellung der Antenne auf dem Rumpf gewählt. Das Diagramm der Vertikalkomponente ist kreisförmig. Es stellt den Strahlungsanteil dar, der auf den Strom in der Antenne zurückzuführen ist. Das Diagramm der Horizontalkomponente ist stark gelappt. Es stellt die Strahlungskomponente, herrührend vom Strom im Rumpf, dar. Die starke Aufspaltung ist vorhanden, weil der Rumpf in einer Oberwelle erregt wird. Beim Verschieben der Antenne auf dem Rumpf ändert sich das Verhältnis von Vertikal- zur Horizontalstrahlung periodisch. Diese periodische Änderung ist darauf zurückzuführen, dass die Anregung des Rumpfes in einem Fall in einem Strommaximum, in anderen Fällen in einem Stromminimum erfolgt. Abb. 6 zeigt eine Möglichkeit, wie man eine Anregung des Rumpfes ganz vermeiden kann. Links im Bild ist eine  $\lambda/4$ -Antenne gegen einen Blechstreifen von  $4\lambda$  Länge, der den Rumpf nachbilden soll, erregt und darunter das Strahlungsdiagramm in der vertikalen Ebene aufgetragen. Die Lappung des Diagramms zeigt die starke Anregung des Bleches an. Rechts daneben ist das gleiche Blech mit einer  $\lambda/2$ -Antenne, die symmetrisch zum Blech angeordnet ist. Darunter ist wieder ein Diagramm in der vertikalen Ebene aufgetragen. Man erkennt in diesem Falle das reine Doppelkreisdiagramm des Dipols. Es findet also keine



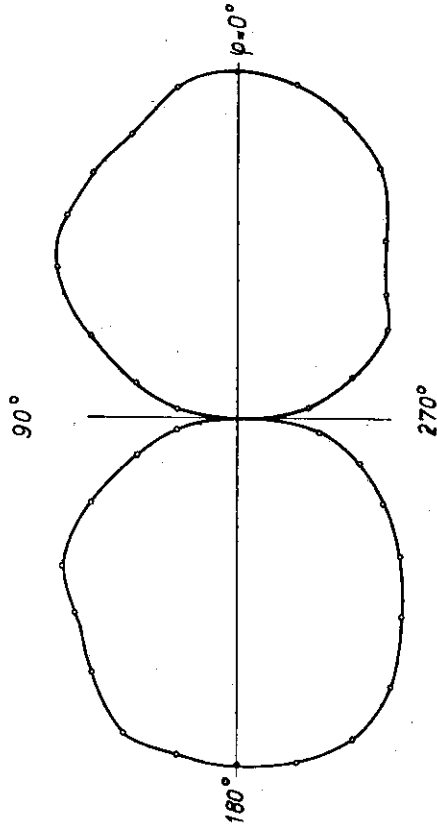
Antenne  $0,25\lambda$  hoch gegen das Blech erregt

Antenne  $0,5\lambda$  hoch symmetrisch zum Blech angeordnet



Vertikalstrahlungsdiagramm  $E_p = f(\varphi)$

$\lambda = 107\text{ m}$



Vertikalstrahlungsdiagramm  $E_p = f(\varphi)$

$\lambda = 107\text{ m}$

**Abb. 6** Vertikaldiagramm eines Flugzeugmodelles ohne Leitwerk, (Rumpf des Flugzeugs durch ebene Blechplatte von der Größe  $4\lambda \times 0,28\lambda$  ersetzt).

Anregung des Bleches statt und man hat entsprechend bei der letzten Ausführung keine horizontal polarisierte Strahlung. Nun ist es in den meisten Fällen wegen des grossen Rumpfdurchmessers nicht möglich, diese Art von Antennen auszuführen. Sie können aber auf dünnen Tragflächen oder dem Leitwerk evtl. zweckmässig sein.

#### Praktische Auswirkungen:

Antennen für Nachrichten-Geräte.

Der Vorteil eines kreisförmigen Strahlungsdiagramms gegenüber einem Diagramm mit starken Einschnürungen liegt auf der Hand. Bei Nachrichtengeräten wird bei Vorhandensein eines kreisförmigen Strahlungsdiagramms die Reichweite der Anlage unabhängig von der Lage der Maschine zur Bodenstation. Die horizontal polarisierte Strahlung stört weniger. Sie interessiert für Nachrichtenverbindungen nur soweit, als sie nutzlos verloren geht und den Wirkungsgrad der Anlage verkleinert.

Antennen für Navigationszwecke.

Bei Antennen, die für Navigationszwecke verwendet werden, hat das Verhältnis der vertikal polarisierten Strahlung zur horizontal polarisierten Strahlung erhebliche Bedeutung. Von dem Verhältnis hängt in vielen Fällen die Navigationsgenauigkeit weitgehend ab. In Deutschland arbeiten die Navigationsanlagen in dem betrachteten Wellengebiet allgemein mit vertikaler Polarisation. Die Richtungsbestimmung erfolgt im Allgemeinen in der Weise, dass man Spannungen in zwei Antennensystemen erzeugt, und ihre Grösse oder ihre Phase vergleicht. Dieser Vergleich stimmt im allgemeinen nur für die Vertikalkomponente der Feldstärke. Viele Peilsysteme geben bei Vorhandensein einer Horizontalkomponente einen Fehler. Es sei dafür der normale Peilrahmen angeführt. Aber auch bei Systemen, die für sich betrachtet, bei horizontal polarisierter Strahlungskomponente fehlerfrei arbeiten,

z.B. Adcocks, ergeben bei Vorhandensein eines horizontal polarisierten Strahlungsanteils im allgemeinen Fehler, die einfach dadurch entstehen, dass die horizontale Strahlung eine verstärkte Anregung der Rückstrahler in der Umgebung der Peilanlage und verstärkte Reflexion im Gelände zur Folge hat. Beim Grenzfall, wenn die Flugzeugantenne rein horizontal polarisiert abstrahlt, würde das Peilsystem vom Flugzeug selbst nichts mehr aufnehmen, sondern nur auf irgendwelche Rückstrahler mit einem vertikalen Strahlungsanteil ansprechen.

Es folgen dafür zwei Beispiele:

1. Es wurden mit einem UKW-Peiler Vergleichspeilungen bei Verwendung verschiedener Flugzeugantennen durchgeführt. Bei einer Flugzeugantenne mit kleiner Horizontalkomponente konnten die Peilungen bis auf einige 10tel Grad reproduziert werden, während bei einer Antenne mit stärkeren Einschnürungen des Vertikaldiagramms und grösserer Horizontalkomponente Schwankungen des Peilwertes bis zu zwei Grad beobachtet wurden je nach Lage der Flugzeuglängsachse zum Peiler.

Es wurde mit einem Flugzeug auf einem Leitstrahl geflogen. Der Leitstrahl wurde durch Schnitt von zwei Richtdiagrammen in der bekannten Weise hergestellt. Die Auswertung an Bord erfolgte so, dass der Spannungsunterschied der beiden Diagramme ausgewertet wurde. Es zeigte sich, dass beim Abflug vom Leitstrahlsender etwa mit der doppelten Genauigkeit geflogen werden konnte gegenüber dem Anflug. Das daraufhin kontrollierte Vertikaldiagramm der Flugzeugantenne zeigte keinen wesentlichen Unterschied für beide in Frage kommenden Richtungen. Erst das Diagramm der Flugzeugantenne für horizontal polarisierte Strahlung zeigte für Anflug, also nach vorn, bedeutend grössere Werte als für Abflug, also nach hinten.

### Zusammenfassung:

Es wurde für einige einfache Fälle gezeigt, wie die Strahlungsverteilung von der Stellung der Antenne auf dem Flugzeug abhängig ist. Das Diagramm von vertikalen Stabantennen ist im untersuchten Frequenzbereich infolge des Mitschwingens vom Leitwerk im allgemeinen nicht mehr kreisförmig. Bei einer Antenne auf der Unterseite des Rumpfes wurde ein besseres Diagramm erzielt, weil das Leitwerk zum Teil abgeschattet ist.

Flugzeugantennen strahlen allgemein auch einen bestimmten Anteil horizontal polarisiert ab, dessen Grösse von den Abmessungen des Rumpfes und von der Stellung der Antenne auf dem Rumpf abhängig ist. Für Navigationsantennen ist es wichtig, das Verhältnis: horizontal polarisierte Abstrahlung/vertikal polarisierte Abstrahlung möglichst klein zu halten, da die Navigationsgenauigkeit davon abhängig ist.

### Literatur:

1. Faßbender,      Hochfrequenztechnik in der Luftfahrt 1932  
Verlag Springer
2. G.Sudeck,      Ueber die Sendecharakteristik von Flug-  
zeugschleppantennen. Hochfrequenztechnik  
Bd. 35 (1930)
3. W.Jachnow,      Zur Theorie der Langdraht-Sendeantenne,  
insbesondere bei fortschreitenden Wellen.  
Telefunkenzeitung Nr.83 (1940)
4. E.Harmening,  
W. Pfister,      Modellmessungen an Flugzeugfestantennen  
zur Aufnahme von Strahlungskennlinien  
im Kurzwellenbereich.  
Hochfrequenztechnik Nr. 53 (1939)
5. H.Netheler,      Untersuchung von Flugzeugstabantennen  
bei Wellenlängen von 10 m bis 1 m.  
Bericht der E-Stelle Rechlin Nr.8501/40 g