

Ein Richtantennensystem für dm- und cm-Wellen ohne

Energiekabel zum Gerät.

K. Lämmchen, Berlin.

I. Zweck der Untersuchung.

Bei der Durchbildung von Uebertragungsanlagen mit kürzeren dm-Wellen oder mit cm-Wellen bereitet die Ausbildung von brauchbaren technischen Kabelleitungen Schwierigkeiten. Die günstigsten zur Zeit vorhandenen konzentrischen Kabel weisen bereits bei 10 cm-Wellen soviel Dämpfung auf¹⁾, dass die Herstellung von längeren Energieleitungen dieser Art technisch wegen zu grosser Energieverluste in vielen Fällen nicht zulässig ist. Mit Rohrleitungen können zwar theoretisch erheblich kleinere Dämpfungen verwirklicht werden²⁾, so dass ein Einsatz in energetischer Hinsicht durchaus zulässig wäre, doch treten bei der technischen Durchbildung von Hohlkabeln, d.h. elastischen Rohren, wie die jüngsten Untersuchungen, teilweise gemeinsam mit den Kabelfirmen, gezeigt haben, noch zu grosse Dämpfungen auf, die grösser als bei den bereits eingeführten konzentrischen Kabeln sind. Hohlleitungen können daher z.Zt. fast nur in starren Rohren, ähnlich wie ein Dachrinnenabfluss, verlegt werden.

Die erwähnten Schwierigkeiten führten im Bereich der cm-Wellen zu dem Entschluss, das leitungsgebundene Kabel zwischen Richtantenne und Gerät zu verlassen und durch ein "drahtloses Energie-Kabel" mit Hilfe einer geeigneten Antennenkombination zu ersetzen.

II. Wirkungsweise und Theorie der Richtantennenkombination.

a. Aufbau und Wirkungsweise.

Die grundsätzliche Anordnung zum Zwecke einer Gegensprechverbindung, z.B. für dm- oder cm-Wellen-Weitverkehr, zeigt Abb. 1.

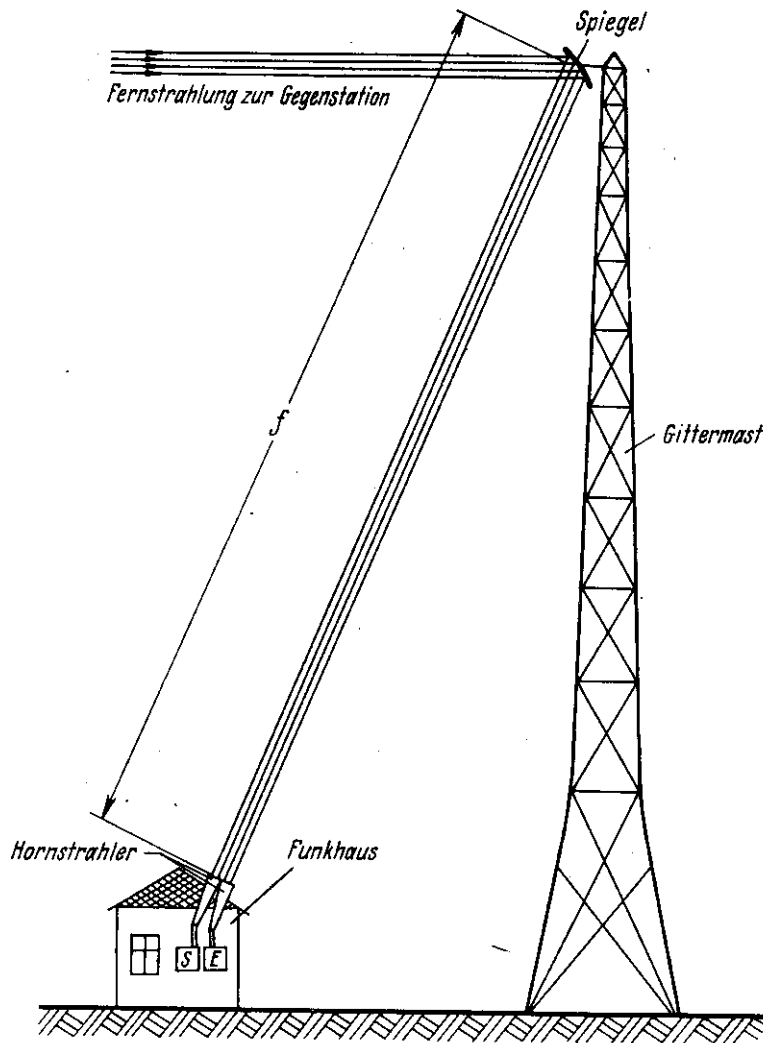


Abb. 1 Strahlenumlenkung mit Spiegel an der Spitze eines Turmes bei einer Gegensprechverbindung mit cm-Wellen.

Hiernach werden die Richtantennen - in Abb. 1 als Hornstrahler dargestellt - für die im Funkraum aufgestellten Sender und Empfänger unmittelbar an das Gerüst angeschaltet und nach einem an der Spitze der Gittermasten befestigten Hohlspiegel gerichtet. Beim beweglichen Einsatz wird der

Hohlspiegel an einem Kurbelmast befestigt und die verbündelnden Richtantennen sind unmittelbar an die im Funkwagen aufgestellten Geräte gesetzt. Die z.B. vom Sender auf den Hohlspiegel gerichtete Energie wird nach der Gegenstation reflektiert und dabei schärfer gebündelt, wenn der Brennpunkt des Hohlspiegels in der Hornstrahlermündung liegt. Anstelle des Hohlspiegels können natürlich auch andere Strahlenumlenker aus bekannter Flächen-, Draht- oder dielektrischen Richtantennen verwendet werden, wenn die Richtantenne die gesamte Energie von unten aufnimmt und sie über eine kurze Kabelführung in der Nutzrichtung ausstrahlt. Die angeführte Hohlspiegelanordnung ist aber im Vergleich zu den anderen möglichen Umlenkern im Aufbau am einfachsten.

Dieses Antennenprinzip besitzt weiterhin den Vorteil einer wirksamen Energietrennung zwischen Sender und Empfänger durch die Richtwirkung der verbündelnden kleinen Antennen. Es ist daher auch für elektrische Vorfeld-Ortungsgeräte zu empfehlen, da das "Zustopfen" des Empfängers durch den Sender hier stark geschwächt wird. Zu empfehlen ist dieses Antennenprinzip weiterhin zur Vereinfachung des Aufwandes bei Verfahren, die mit einer zu schwenkenden Strahlungscharakteristik arbeiten.

b. Die Bemessung des Hohlspiegels.

Bei den bisher verwendeten Hohlspiegeln mit einer Dipolanregung etwa innerhalb des Hohlspiegelvolumens ist die Formgebung der Fläche bekannt^{3) 4)}. Die Raumfläche ist ein Gebilde, das beim Zylinder-Parabolspiegel symmetrisch zu einer Fläche und beim Rotations-Parabolspiegel rotations-symmetrisch zu einer Geraden verläuft. Eine Ebene senkrecht zur Symmetrieebene, bzw. durch die Symmetrieachse gelegt, schneidet aus der Raumfläche eine qua-

dratische Parabel heraus. Mathematisch schwieriger gestaltet sich die allgemeine Lösung der Flächen-Formgebung bei der hier vorliegenden Aufgabe der Strahlenumlenkung, bei der der Brennpunkt unsymmetrisch liegt.

Am Übersichtlichsten ergibt sich die gewünschte Kurvenform des Hohlspiegels auf graphischem Wege. Das nach einem einfachen Verfahren ermittelte Vieleck lässt sich durch einen Kreisbogen annähern, dessen Radius etwa gleich der doppelten Brennweite ist. Die mathematische Ermittlung der gesuchten Kurvenform gestaltet sich wieder einfach, wenn nach einem Vorschlag von Dr. Riedinger der verwendete Hohlspiegel-Umlenker als Flächenausschnitt eines gedachten, sehr grossen Parabolspiegels angesehen wird, dessen Brennpunkt wie in üblicher Weise auf der Achse dieses Rotationskörpers liegt. Der Spiegelausschnitt möge, wie es im technischen Betrieb meist zutrifft, senkrecht über dem Brennpunkt F in Punkt A liegen (Abb.2), der Spiegelausschnitt soll eine Oeffnungsweite von der Grösse w aufweisen; F sei gleichzeitig der Fusspunkt, A die Spitze eines Turmes, dann ist AF die Turmhöhe.

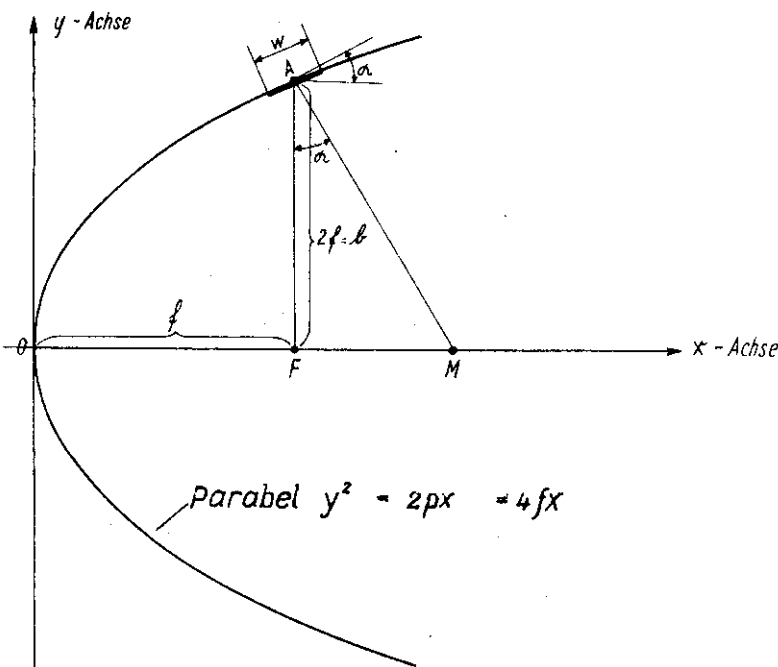


Abb. 2 Ermittlung der Formgebung der Hohlspiegelkalotte.

Die Wölbung des Flächenausschnittes kann in ihrem wesentlichen Verlauf durch einen maximalen und einen minimalen Krümmungsradius, deren zugeordnete Kreise in zwei zueinander senkrecht stehenden Ebenen liegen, festgelegt werden. Durch eine einfache zahlenmässige Umrechnung ergeben sich ihre Grössen zu:

$$r_{\max} = 4 f \cdot \sqrt{2} \dots\dots\dots 1)$$

$$r_{\min} = 4 f \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots 2)$$

Aus Gründen einer leichten technischen Herstellung wird der Spiegelausschnitt durch eine Kugelschale angenähert, deren Krümmungsradius das geometrische Mittel der in Gleich. 1 und 2 angegebenen Werte ist:

$$r_m = 4 f.$$

Da sich die Turmhöhe zu $b = 2 f$ errechnet, ergibt sich durch die angeführte Vereinfachung der Übersichtliche Zusammenhang, dass der Krümmungsradius ebenso wie bei der graphischen Ermittlung gleich dem doppelten Brennweitenabstand ist:

$$r = 2 b \dots\dots\dots 3)$$

Nach diesen hier abgeleiteten Regeln für die Abmessungen des bündelnden Reflektors sind alle weiteren für die experimentelle Untersuchung benutzten Hohlspiegel hergestellt.

c. Berechnung der Feldstärkeerhöhung des Hohlspiegel-Umlenkens.

Für die rechnermässige Behandlung dieses Problems sind folgende Ueberlegungen notwendig:

Jeder Spiegel, dessen Abmessungen noch vergleichbar mit der Wellenlänge sind, erzeugt durch den Einfluss der Beugung im Gegensatz zum optischen Fall im Fernfeld einen Strahlungskegel mit dem Winkel φ , der von dem Verhältnis Oeffnungsweite w zu Wellenlänge λ abhängt. Unter der Annahme, dass φ die sogenannte Halbwerts-

breite des Strahlenkegels darstellt, gilt nach den Regeln der Beugungslehre⁶⁾, ausgedrückt im Bogenmass:

$$\varphi = \sim \frac{3}{2} \cdot \frac{\lambda}{w} \quad 4)$$

Diese Bedingung gilt für jede Entfernung eines Querstrahlers, bei dem in einem Aufpunkt des Feldes der Gangunterschied der Einzelstrahlen zu den verschiedenen Orten der Richtantennenfläche nahezu Null ist. Dieses Gebiet ist allgemein das sogenannte Fernfeld einer Richtantenne. Bei einem Hohlspiegel ist diese Bedingung für den Gangunterschied bereits auch für seinen Brennpunkt - oder genauer ausgedrückt für seine Brennfläche - erfüllt, da eben die Beugung ja keine räumlich beliebig kleine Energiezusammenfassung zulässt, vgl. Abb. 3.

Aus der Halbwertsbreite und aus der Brennweite lässt sich die Grösse des Brennflächendurchmessers zunächst beim ideal bemessenen Reflektor ermitteln:

$$D_B = \sim f \cdot \varphi \quad 5)$$

Aus Gleich. 4 und 5 ergibt sich:

$$D_B = \sim \frac{3}{2} \cdot f \cdot \frac{\lambda}{w} \quad 6)$$

Bei der nun bekannten Grösse des Brennflächendurchmessers relativ zur Oeffnungsweite w des Spiegels ist die Feldstärkeverdichtung oder die theoretisch maximal mögliche Feldstärkeerhöhung als Brennflächenverstärkung V_B berechnet zu

$$V_B = \frac{w}{D_B}$$

oder Gleich.6 eingesetzt

$$V_B = \sim \frac{2}{3} \cdot \frac{w^2}{f \cdot \lambda} \quad 7)$$

Die Brennflächenverstärkung steigt also mit dem Quadrat der Oeffnungsweite des Spiegels und fällt mit zunehmender Brennweite und zunehmender Wellenlänge. - Die gleiche Rechnung ist natürlich auch bei sinngemässer Betrachtung der Senderseite möglich und führt zu dem gleichen Ergebnis.

Bei dem als Kugelkalotte angenäherten praktischen Hohlspiegel ist aber bereits vor und hinter dem berechneten

theoretischen Brennflächenabstand eine Brennflächenbildung vorhanden. Im Abstand $b = f \cdot \sqrt{2}$ und $b = f/\sqrt{2}$ wird der Querschnitt des Energiestromes zu Ellipsen deformiert, während er im Brennpunkt-Abstand etwa kreisförmig ist und eine Ausdehnung besitzt, die grösser als die allein durch Beugung bei idealer Spiegelbemessung erhaltene Brennfläche wird. Bei Beachtung der Raumgeometrie ergibt sich aus Gleich. 6 angenähert folgende Brennflächengrösse für den praktischen Hohlspiegel:

$$D_B = \sim f \cdot \frac{2\lambda}{w} \quad 8)$$

Die Brennflächenverstärkung ist dann:

$$V_B = \sim \frac{1}{2} \frac{w^2}{f \cdot \lambda} \quad 9)$$

Beim Hohlspiegel ist stets dann eine Verstärkung vorhanden, wenn die Brennfläche kleiner als die Spiegelöffnung ist (Nahzone). Für den Grenzfall ($V_B = 1$) ist:

$$f_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{w^2}{\lambda} \quad 10) \text{ Grenzfall}$$

(Fernzone: $f > \frac{1}{2} \frac{w^2}{\lambda}$ 11)

keine Verstärkung; Hohlspiegel wird zum Planspiegel).

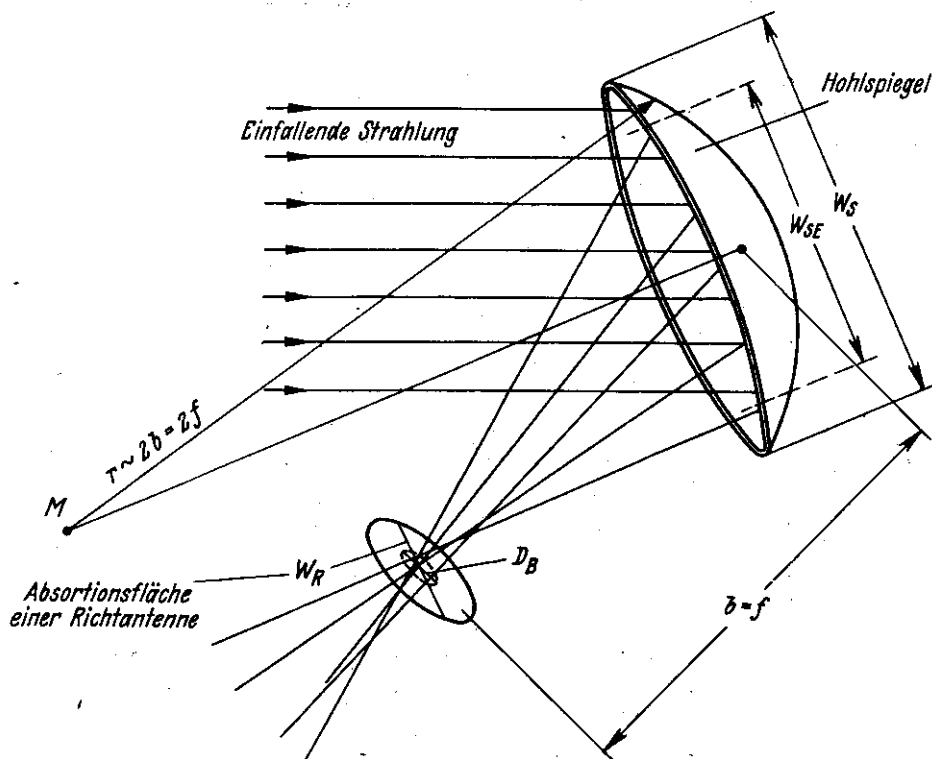


Abb. 3 Feldstärke-Erhöhung bei Strahlenumlenkung über Hohlspiegel.

Die errechneten Verstärkungen, d.h. Feldstärkeerhöhungen, müssten stets mit Richtantennen nachweisbar sein, wenn deren Oeffnungsfläche w kleiner als deren Brennfläche ist (vgl. Abb. 3).

Im umgekehrten Fall ergibt sich für die Spannungsverstärkung der Richtantennenkombination bei Berücksichtigung der Energieverhältnisse nach Abb. 3:

$$V_A = \frac{w_S}{w_R} \quad 12) \quad (\text{für } w_R > D_B)$$

Die Verstärkung ist hierbei das Spannungsverhältnis an der kleineren Richtantenne bei ihrer Feldstärke-Aufnahme in der Brennfläche zur Feldstärke-Aufnahme in dem vor dem Hohlspiegel einfallenden Feld.

Bei der bisherigen Rechnung ist zunächst stillschweigend mit den geometrischen Oeffnungsweiten gerechnet worden. Es ist aber bekannt, dass bei Querstrahlern die Grösse der geometrischen Antennenfläche relativ zur Grösse der elektrisch wirksamen Fläche (Absorptionsfläche, elektrische Oeffnungsweite w_{SE} , s. Abb. 3) in keinem zwangsläufigen Zusammenhang mit einander stehen^{7) 8)}, sondern weitestgehend von dem Prinzip der verwendeten Antenne abhängt. Bei einem einzelnen Hornstrahler ist die Absorptionsfläche grösser als die geometrische Oeffnungsweite des Trichters⁹⁾, beim einzelnen Hohlspiegel mit sehr kurzer Brennweite ist sie wesentlich kleiner als ihre Oeffnungsfläche nur bei Richtantennen, die aus Gruppen mit sehr vielen Elementarstrahlern gebildet sind, z.B. mit vielen Dipolen (Tannenbaumantennen) ist die geometrische und die elektrisch wirksame Fläche einander gleich. Bei den obigen Berechnungen sind daher stets die Absorptionsflächen zugrunde zu legen.

III. Experimentelle Untersuchung an Vollmetall-Hohlspiegeln.

Es wurde ein technischer Hohlspiegel (Abb. 4) ausgeführt, bei dem nach den theoretischen Ueberlegungen

noch eine Verstärkung möglich ist ($w = 10 \lambda = 1 \text{ m}$;
 $f = 1,6 \text{ m}$; - $fg = 5,0 \text{ m}$).

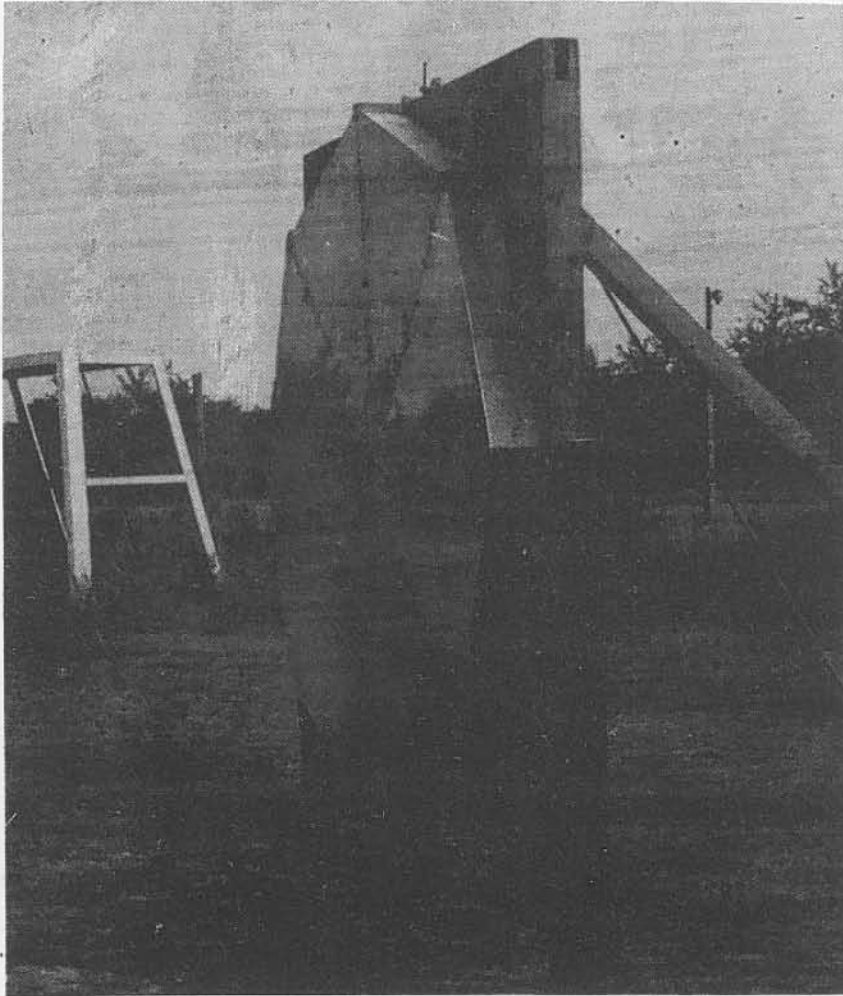


Abb. 4 Kugelhohlspiegel mit $1 \text{ m } \varnothing$ ($w = 10 \lambda$, $f = 1,6 \text{ m}$)

Die Versuchsanordnung sowie die Ergebnisse der Reflexionsversuche im Vergleich mit einem gleich grossen Planspiegel $w = 10 \lambda$ gibt Abb. 5 wieder.

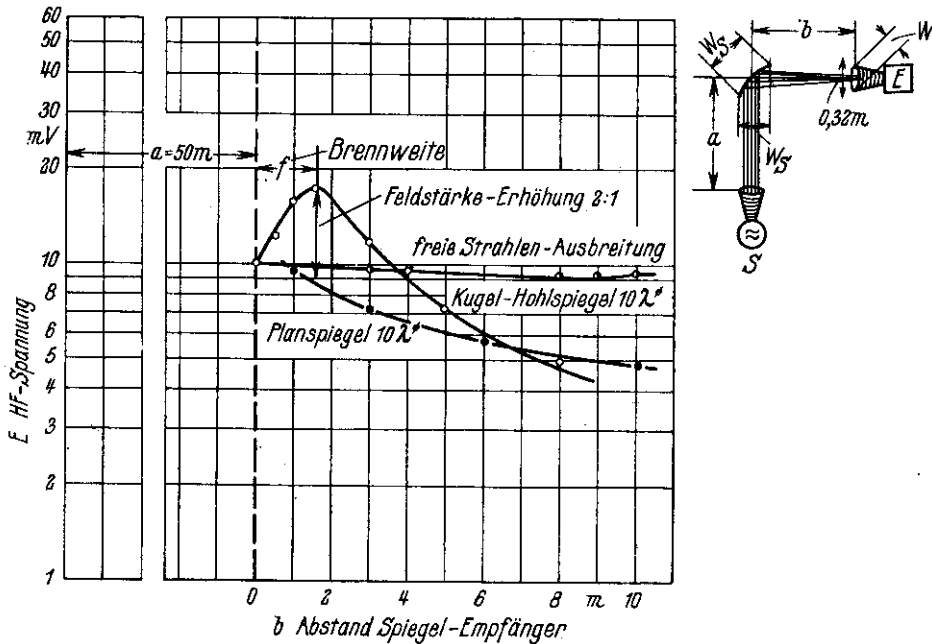


Abb. 5. Gemessene Feldstärkeerhöhung bei einer Strahlungsumlenkung über einen Kugelspiegel ($w = 10 \quad = 1 \text{ m}$)

Im elektrischen Brennpunkt ist deutlich die Feldstärkeerhöhung gegenüber der Planspiegel-Umlenkung, auf die hier nicht näher eingegangen sei, und gegenüber der freien Ausbreitung zu erkennen. Die Feldstärke ist nach Messung zweimal grösser als bei dem Planspiegel-Reflektor. Gegenüber der freien Strahlenausbreitung (direkte Empfängerbeaufschlagung) hat die Spannung am Empfänger (vgl. Abb. 5) um den $V_g = 1,73$ zugenommen, während die theoretisch mögliche Feldstärkeerhöhung (Gleich. 9) unter Berücksichtigung der schrägen Hohlspiegelanstrahlung (90° -Umlenkung) sich zu $V_A = 2,6$ fach errechnet.

Die gemessene geringere Verstärkung ist auf die bereits erwähnte Hohlspiegeleigenschaft, dass seine Absorptionsfläche kleiner als die geometrische Fläche ist,

zurückzuführen. Aus der vorliegenden Messung ergibt sich folgende elektrische Hohlspiegeleigenschaft:

$$\frac{V_E}{V_A} = \frac{w_E}{w_s} = \frac{1,73}{2,60} = 0.66 \quad (13)$$

Bei einer getrennten Untersuchung des Planspiegels gleicher Grösse wurde der entsprechende Faktor zu 0,7 gemessen. Hohlspiegel und Planspiegel haben also bei gleicher Grösse und gleicher Anregung etwa die gleiche elektrische Wirkfläche. Ein kurzweittiger Kugelhohlspiegel mit Dipolanregung nach Köhler ergibt einen Zahlenfaktor von 0,58. Die Anregung des Spiegels der hier gewählten Art ist also etwas günstiger als mit Dipol und kurzer Brennweite. Da auch bei dieser Anregung noch nicht die theoretischen Verstärkungswerte erreicht sind, werden Störungen in der Randanregung angenommen. Man kann sich vorstellen, dass am Spiegelrande die beim Auflaufen der einfallenden Wellenfront sich bildenden Kurzschlußströme nicht mehr den vorgeschriebenen Verlauf aufweisen, sondern, dass Ausgleichströme über den Metallrand hinaus auftreten, die falschphasige Reflexionen zur Folge haben. Als Abhilfemaßnahme wurde ein $\lambda/4$ -Sperrtopf als Kranz um eine ebene Scheibe gelegt. Nach dem Versuch liess sich damit der wirksame Flächendurchmesser um 7 %, d.h. von 0,70 auf 0,75 des geometrischen Durchmessers erhöhen. Damit ist ein Teil der Unstimmigkeit mit der Theorie erklärt. Volle Klarheit ist aber noch nicht vorhanden.

Der Versuch der Strahlenumlenkung mit gleichzeitiger Feldstärkeerhöhung wurde für einen praktischen Betriebsfall einer cm-Wellen-Weitverbindung mit einem grossen Kugelhohlspiegel wiederholt. Die Versuchsstrecke wurde im Auftrage der Reichspost-Forschungsanstalt gebaut. Herrn Dr. Groos und seinen Mitarbeitern sei an dieser Stelle für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Versuche gedankt.

Ein Hohlspiegel von 3,50 m Durchmesser und 16 m Brennweite wurde an einem Turm in 20 m Höhe (Abb.6) befestigt und so geneigt, dass die aus dem Fernfeld ankomm-

menden parallelen Strahlen senkrecht nach unten umge-
lenkt und in dessen Brennpunkt gebündelt wurden, und
von einem Hornstrahler mit 0,5 m Oeffnungsweite, dessen
Oeffnung in diesem Brennpunkt des grossen Hohlspiegels
liegt, aufgenommen werden konnten.



Abb. 6. Kugelhohlspiegel mit 3,5 m Oeffnungsweite in
20 m Höhe über dem Erdboden.

Die Messung mit einem Ueberlagerungsempfänger grosser Stabilität ergab bei genauer Spiegelausrichtung eine 2,7fache Feldstärkeerhöhung. Die Rechnung ergibt unter Berücksichtigung der schrägen Spiegelanstrahlung eine 3,2fache Feldstärkeerhöhung.

Die praktische Spiegelverstärkung ist wieder kleiner als die theoretisch ermittelte. Aus der Abweichung wird der wirksame Hohlspiegeldurchmesser ermittelt:

$$\frac{V_S}{V_A} = \frac{2,7}{3,2} = 0,85 \quad 14)$$

Während der wirksame Spiegeldurchmesser beim 1-m-Spiegel nur 70 % des Scheibendurchmessers betrug, ist er hier durch den grösseren Spiegel auf 85% vergrössert worden. Der relative Einfluss der Randströme nimmt also mit zunehmender Spiegelgrösse ab.

Zur Prüfung des Reziprozitätsproblems der Antennenwirkung wurde auch einmal der Aufstellungsort von Sender und Empfänger vertauscht. Nach dem Versuch blieb dabei die verstärkende Wirkung des Hohlspiegels in gleicher Grösse vorhanden.

Es wurden auch Strahlenumlenkversuche über mehrere Hohlspiegel durchgeführt, da diese Anordnung für technische Zwecke von Bedeutung ist. Auf die theoretischen Verhältnisse soll hier nicht näher eingegangen werden, es sei nur ein Aufbau gezeigt, wie er für eine Versuchsstrecke der Reichspost-Forschungsanstalt im Jahre 1942 ausgeführt wurde.

Abb. 7 zeigt die Prinzipanordnung der Strahlenumlenkung über zwei Hohlspiegel zu den beiden Antennen vom Sender und Empfänger der Gegensprechverbindung.

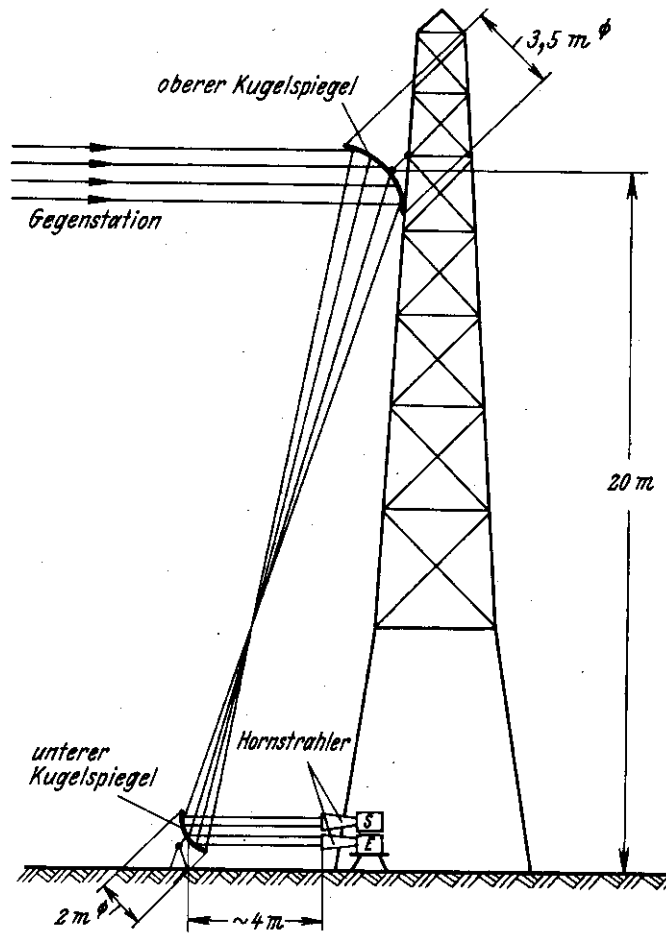


Abb. 7 Strahlenumlenkung über zwei Kugelspiegel nach der Sender- und Empfangsantenne.

Abb. 8 zeigt eine Aufnahme von dem unteren schwenkbar ausgeführten Spiegel und den beiden Hornstrahlern, die an die Geräte im Zelt angeschlossen sind. Der Spannungsverlust durch den Gegensprechverkehr war gering, dagegen war die Entkopplung von Sender und Empfänger, obgleich beide Geräte auf diegleichen Parabolspiegel arbeiten, ausgezeichnet. Die Energie, die vom Nachbar-Sender nach dem

Empfänger gelangte, war etwa genau so gross wie die Nutzenergie der Gegenstation. - Auf diese Verhältnisse soll später noch näher eingegangen werden.

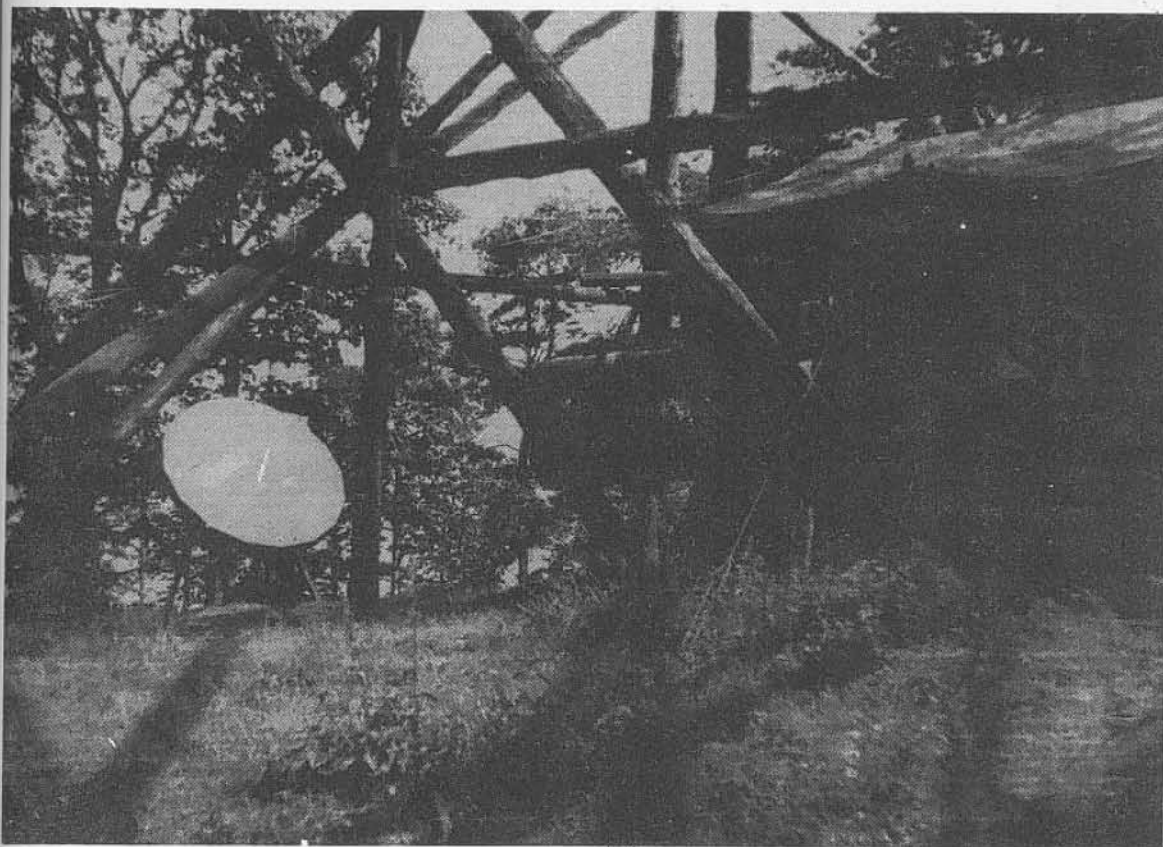


Abb. 8 Strahlenumlenkung über 2 Hohlspiegel nach Abb. 7
Ansicht des unteren Hohlspiegels und der Hornstrahler.

Es wurden auch Umlenk-Versuche mit zylindrischen Hohlspiegeln ausgeführt. Die Messungen ergaben aber keine neuen Gesichtspunkte gegenüber den Kugelspiegeln. Wie zu erwarten war, ist bei gleicher Fläche die Verstärkung beim Zylinder-Hohlspiegel geringer als beim Kugelspiegel, da er nur in einer Dimension bündelt. Die gemessenen Werte sind sinngemäss in guten Einklang mit den bekannten Verstärkungseigenschaften^{3) 4)} von zylindrischen Parabolspiegeln zu bringen.

IV. Experimentelle Untersuchungen an Spiegeln mit Diopkwänden.

Obgleich die ebene Metallplatte ein technisch äusserst einfacher und wirksamer Reflektor ist, besitzt seine praktische Anwendung gelegentlich doch gewisse Nachteile. Wird der Spiegel z.B. an der Spitze eines einfachen Funkmastes befestigt, so ist der durch ihn verursachte Winddruck und sein Gewicht bei Anwendung grösserer Scheiben nicht mehr zulässig. Eine Abhilfe durch Benutzung von Drahtnetzen ist bei Wellen unter 20 cm kaum noch gegeben. In dieser Versuchsreihe (Abb. 9) ist die Aenderung der elektrischen Reflexionseigenschaft (Leistungsverlust) sowie die Abnahme des Winddruckes bezogen auf eine ebene Metallplatte in Abhängigkeit von der Maschenweite der verwendeten Drahtnetze aufgenommen worden.

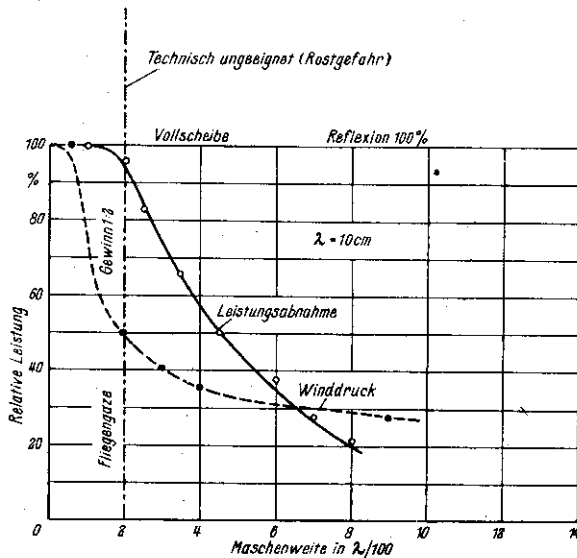


Abb. 9 Reflexion und Winddruck von Drahtnetzen.

Bei der Messwellenlänge ($\lambda = 10$ cm) nimmt zwar die Reflexionseigenschaft erst bei grösserer Maschenweite im Vergleich zum Winddruck ab, doch ist das erforderliche Drahtnetz in dem günstigen Gebiet technisch nicht einsetzbar (dünner Draht mit kleiner Maschenweite, mechanische Zerstörung, Oxydationsgefahr). Das Drahtgeflecht ist also nur bei wesentlich längeren Wellen als 10 cm mit Rücksicht auf technische Beanspruchungen von Vorteil, während bei Wellen unter 10 cm der Vollmetallspiegel zu empfehlen ist.

Es liegt aber nahe, anstelle aperiodischer Drahtantennen abgestimmte Leiter, z.B. mit Hilfe von Dipolgruppen, bei windbeanspruchten Antennen als sogenannte "Dipolwand" zu verwenden. In Abb. 10 ist ein Kugelhohlspiegel aus einer solchen Dipolwand aufgebaut, wobei zwei mögliche Seitensichten und eine Aufsicht dargestellt sind.

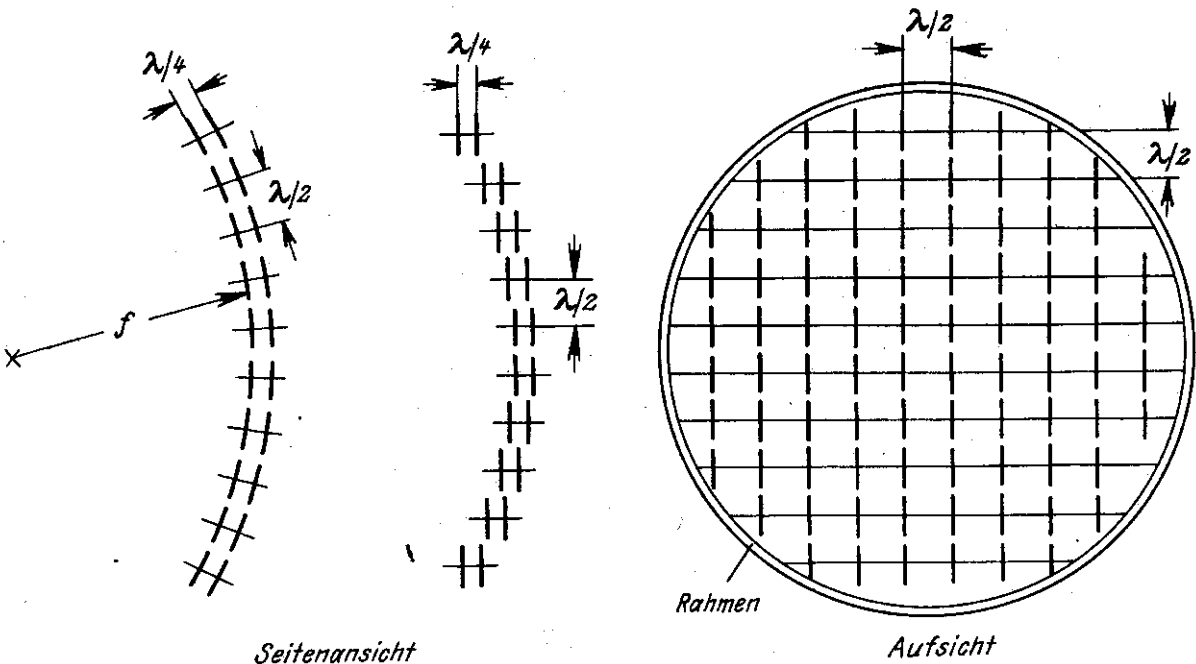


Abb. 10 Aufbau eines Hohlspiegels als Dipolreflektor.

Die Kugelfläche wird durch mehrere übereinander angeordnete Dipolgruppen mit einem Dipol- und Gruppenabstand von $\lambda/2$ besetzt. Hinter jedem Dipol ist ein Reflektordipol in $\lambda/4$ Abstand gesetzt, wobei die Längen der einzelnen Dipole nach den bekannten Regeln zu wählen sind. Bei der Besetzung einer Kugelfläche können die einzelnen Dipole in ihrer Lage als Tangenten an die Kugelfläche oder parallel untereinander, wobei nur die Schwerpunkte der einzelnen Dipole Punkte der Kugelfläche sind, angeordnet werden.

Eine solche Antenne ist nun richtungs- und wellenselektiv. Die Richtungsselektion ist auch für om-Wellen-Weitverkehr ohne Nachteil, da bisher bei der stark gebündelten Aussendung dieser kurzen Wellen auf lange Strecken keine Vektordrehung beobachtet werden konnte. Beim ersten Versuch wurde eine ebene Dipolwand von $5\lambda \times 5\lambda$ Fläche (200 Dipole) angefertigt. Theoretisch musste die Dipolwand etwa 1,5 mal mehr Spannung als die Metallwand wegen der Verhinderung von störenden Randströmen liefern. Bei einer praktischen Ausführung für $\lambda = 10$ cm wurde wegen der Ungenauigkeit des Dipolabgleiches nur 10 % mehr Reflexionsspannung verglichen mit der Metallplatte gemessen. Der Winddruck einer solchen Wand war etwa 3 bis 5 mal kleiner und das Gewicht etwa 2 bis 3 mal geringer als bei einer Metallplatte einschliesslich Versteifung gleicher Grösse.

Der Nachteil dieser Dipolreflektoren für manche technischen Aufgaben, die Frequenzabhängigkeit, der fehlende "Breitbandcharakter", wurde experimentell geprüft. Bei 1 mm starken Dipolen ($Z_a = 360 \Omega$) schwankte bei $\pm 3,5$ % Wellenänderung die reflektierte Spannung um $\pm 2,5$ %.

V. Der Hornstrahler als günstiges Vorbündelungsmittel.

Zur Anregung des Hohlspiegels, bzw. zur Energieabnahme in seinem Brennpunkt, wurden stets Hornstrahler

verwendet. Zwei wesentliche Gründe veranlassten uns dazu. Einmal besitzt der Hornstrahler äusserst schwache Nebenmaxima und das andere Mal ist die Absorptionsfläche des Hornstrahlers grösser als seine geometrische Fläche. Diese Tatsachen wurden bereits schon an anderer Stelle⁹⁾ mitgeteilt. Deswegen sollen sie hier nur nochmals kurz gestreift werden. Während die Amplitude der Nebenmaxima bei einem Hohlspiegel oder einer gleichstark angeregten Dipol-Tannenbaumantenne von z.B. $w = 5 \lambda$ in der Grösse von etwa 10 - 30 % der Amplitude der Hauptstrahlrichtung liegen, betragen sie nach Messungen bei einem nahezu optimal bemessenen Hornstrahler mit gleich grosser Oeffnungsweite etwa 1 - 3 % des Hauptstrahles. Das Nebenmaximum ist also beim Hornstrahler etwa 100 mal amplitudenschwächer als bei der Dipolgruppe. Damit ist die Entkopplung zweier unmittelbar benachbart angebrachter Hornstrahler zum Anschluss für Sender und Empfänger äusserst gross. Durch die multiplikative Wirkung ergibt sich eine Spannungsentkopplung von $1 : 10^{-5}$, d.h. eine Leistungsentkopplung von $1 : 10^{-10}$. Sie kann noch wesentlich gesteigert werden durch geringfügige Abstandshaltung beider Hornstrahler oder durch geringfügiges Zurücksetzen der Sender- gegenüber der Empfängerantenne. Auf diese Weise ist ein Gegensprechbetrieb auf gleicher Welle möglich, da der räumlich benachbarte eigene Sender schwächer als der Sender der Gegenstation in den eigenen Empfänger einfällt. Diese Vorteile sind nicht nur für Zwecke der Gegensprechverbindung, sondern auch bei der elektrischen Ortung äusserst wichtig.

Der zweite Vorteil der grösseren Absorptionsfläche relativ zur geometrischen Fläche führt zu einer hohen Leistungsverstärkung in der Hauptstrahlrichtung. Es wurde nachgewiesen, dass bei optimaler Anregung eines Trichters die Absorptionsfläche etwa 2 mal grösser als die geometrische Fläche ist.

Bisher musste die Länge des Trichters hierfür etwa 10 mal grösser als seine Oeffnungsweite sein. Da aber für

den praktischen Geratbau das Antennenvolumen bei gegebenen Bundelungseigenschaften möglichst klein sein muss, wurden die technischen Hornstrahler etwa 3 - 6 mal so lang relativ zur Grösse der Oeffnungsweite gewählt, die Absorptionsfläche war dann nur noch 1,3 - 1,5 mal grösser als die geometrische Oeffnungsfläche.

Man ist es durch weitere Untersuchungen gelungen, die Trichterantenne noch wesentlich zu verkürzen. In Abb. 11 sind 4 Antennen mit gleicher Leistungsverstärkung (etwa 200-fache Dipolverstarkung) in der Hauptstrahlrichtung gegenübergestellt.

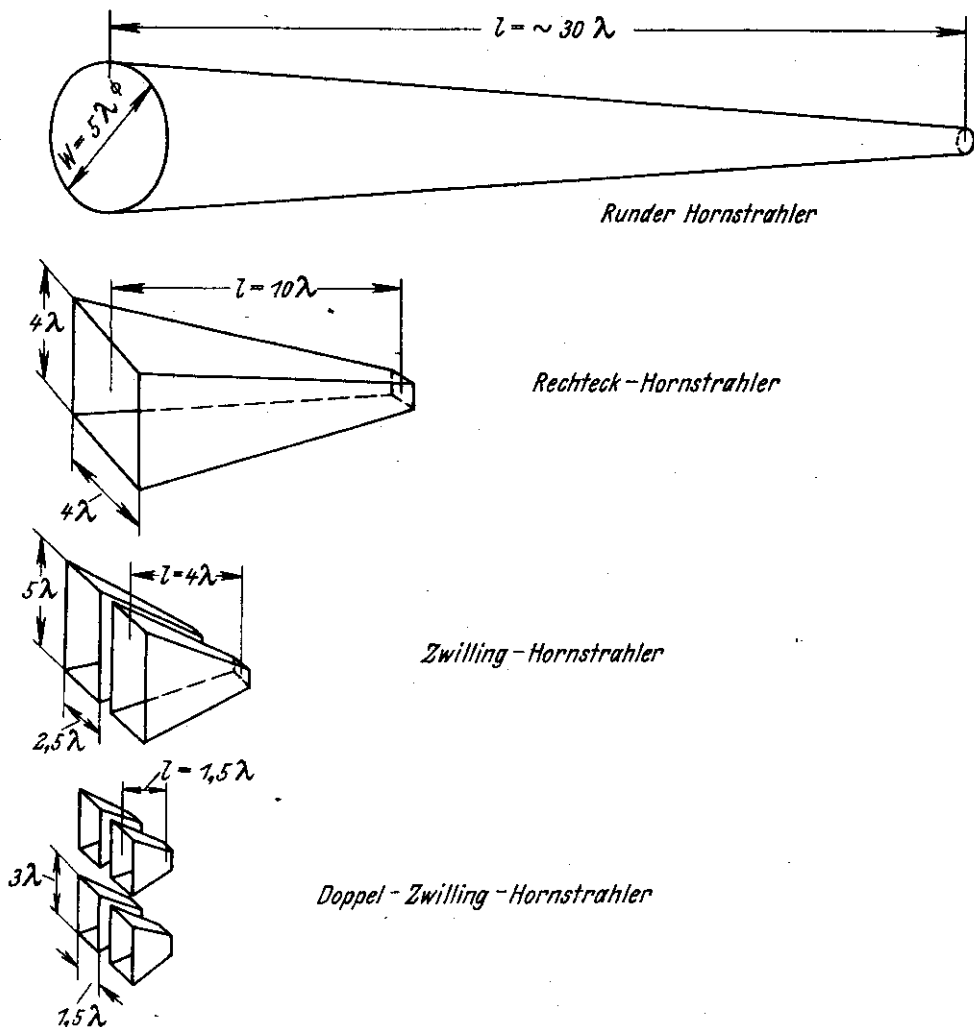


Abb. 11 Hornstrahler mit gleicher Leistungsverstärkung.

Der lange, runde Hornstrahler ist eine bisherige technische Ausführung für 10-cm-Wellen von 3 m Trichterlänge, dann folgt eine neuere Ausführung von 1 m Länge, und darunter ist ein Hornstrahlerzwilling von 40 cm Länge gezeichnet. Ganz unten ist die Anordnung eines Hornstrahler-Doppel-Zwillings angegeben, der nur noch eine Tiefe von 20 cm, d.h. von 2λ besitzt und bequem auf ein Statif gesetzt werden kann. Ein Parabolspiegel gleicher Leistungsverstärkung müsste einen Durchmesser von $1 \text{ m} = 10 \lambda$ besitzen, seine geometrische Fläche ist etwa 4 mal grösser. Auf die Einzelheiten der Bemessung soll hier nicht näher eingegangen werden. Die Versuche, die Verkürzung eines einzelnen Hornstrahlers durch eine Abstufung nach einem Vorschlag von Prof. Z i n k e noch weiter zu treiben, sind noch nicht abgeschlossen.

VI. Zusammenfassung.

Die gewonnenen Ergebnisse lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

1. Bei Berücksichtigung der Kabelschwierigkeiten im cm-Wellengebiet wurde ein Richtantennensystem, das gleichzeitig als Richtantenne und drahtloses Energiekabel zum Gerät arbeitet, beschrieben. In seiner technisch günstigsten Kombination besteht es aus einem Kugelspiegel und einem Hornstrahler.
2. Die Formgebung des Hohlspiegels sowie seine theoretische Feldstärkeerhöhung werden rechnerisch ermittelt.
3. Die errechneten Eigenschaften der Richtantennenkombination werden experimentell am Beispiel des Vollmetall-Kugelhohlspiegels bei Berücksichtigung der bekannten Parabolspiegeleigenschaften mit guter Übereinstimmung bestätigt.
4. Durch den Versuch wurde weiterhin gezeigt, dass der Metallspiegel mit Rücksicht auf Winddruck, Gewicht und Tarnung (optische Einsicht) mit grossem Vorteil durch

eine "Dipolwand", bestehend aus Dipolgruppen und Dipolreflektoren, ersetzt werden kann.

5. Es wird nachgewiesen, dass mit Rücksicht auf Nebewellendämpfung und Verstärkung in der Hauptstrahlrichtung der Hornstrahler eine sehr günstige verbündelnde Antenne ist. Seine Länge und sein Gewicht können nach neueren Untersuchungen gegenüber der bisherigen Form wesentlich herabgesetzt werden.

Die angeführte Antennenkombination ist daher ein sehr vorteilhafter Richtstrahler mit Energiekabel für Zwecke des dm- und cm-Wellenweitverkehrs, sowie für Aufgaben der elektrischen Ortung.

Die grundsätzlichen Untersuchungen wurden bereits im Jahre 1940 ausgeführt und durch mehrere Nutzanwendungen im Frühjahr und Sommer 1942 ergänzt.

VII. Schrifttum.

1. H. Kaufmann: Telegraphen- und Fernsprechtechnik, Bd. 29, 1940, H. 11, S. 325
2. A. Awender u. C. Lange: Funktechn. Monatshefte 1938- H. 2, S. 51
3. W. Köhler: Hochfrequenztechnik 1932, Bd. 29, S. 207
4. R. Brömel: Hochfrequenztechnik 1936, Bd. 48, S. 81 u. 120
5. R. Brendel: Hochfrequenztechnik 1936, H. 1, S. 14
6. W. Runge: Telefunkenzeitung Nr. 68, S. 24
7. K. Franz: Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik, Bd. 54, 1959, S. 198 und Telefunkenzeitung Bd. 21, 1940, H. 49
8. K. Franz: Bericht 127 der Lilienthalgesellschaft
9. K. Lämmchen: Bericht 137 der Lilienthalgesellschaft, S. 30 und Jahrbuch 1942 der Luftfahrtforschung, S. 38.