

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 1 (1946)
Heft: 6

Artikel: Antennen für Mikrowellen
Autor: Lion, André
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-653891>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

weniger als vierzig Arten, unter denen Laubsänger, Rohrsänger, Rotschwänze, Meisen, Pieper, Kuckuck und Würger in erster Linie zu nennen sind.

Selbstverständlich fällt mit der Ekelblut- und Warnfarbentheorie auch die ganze Spekulation über

die Bedeutung der Marienkäfer als Mimikrymodelle für Schaben, Wanzen und andere Insektengruppen in sich zusammen; denn was sollte es für einen Sinn haben, sich in die Tracht von Tieren zu stecken, die selbst durch diese gar nicht geschützt sind?

Antennen für Mikrowellen

DIPL. ING. ANDRÉ LION, NEW YORK

In manchen Zweigen der modernen Hochfrequenztechnik geht die Entwicklung dahin, die Trägerwelle immer weiter in die Bereiche kürzerer und immer kürzerer Wellen zu verlegen. Die eingehenden Untersuchungen und Erfahrungen der Kriegsjahre haben die Entwicklung der Mikrowellentechnik außerordentlich gefördert.

Rundfunk wird auf Wellen von zweihundert bis sechshundert Meter Länge gesandt. Der Wellenbereich für Fernsehen in den Vereinigten Staaten liegt augenblicklich zwischen eineinhalb und fünf-einhalb Meter. Neuerdings sind noch kürzere Wellen für Fernsehen verwendet worden, insbesondere für Farben-Fernsehen. Dieser Zweig der Radiotechnik benötigt für die Übermittlung der Impulse ein besonders breites Band, das heißt einen sehr großen Abschnitt seines Wellenbereiches, und solche breiten Frequenzbänder finden im weiten Bereich der Ultrakurzwellen leichter Platz. Vor ein paar Monaten führte das Columbia Broadcasting System Farben-Fernsehen auf einer Sechzigzentimeterwelle vor, und möglicherweise wird demnächst in den Vereinigten Staaten das gesamte Fernsehgebiet in den Mikrowellenbereich zwischen dreißig und sechzig Zentimeter, der für die Fernsehtechnik manche Vorteile bietet, verlegt werden. Die Radio Corporation of America zeigte zur selben Zeit Farben-Fernsehen auf einer nur drei Zentimeter großen Welle.

Bei den jüngsten Versuchen mit Mikrowellen für die Nachrichtenübermittlung wurde das höchste Amateurband verwendet, das in den Vereinigten Staaten bis heute auf dem Gebiete der Ultrakurz-welle zugeteilt worden ist, nämlich eine Welle von 21 900 000 000 Hertz (Schwingungen pro Sekunde), das heißt einer Länge von nur 13,7 Millimeter. Diese Versuche wurden von zwei Ingenieuren der General Electric Research Laboratories über eine Entfernung von etwa 800 Meter durchgeführt.

Die verwendeten Geräte (Bild 1) sandten und empfangen nicht mit Hilfe gewöhnlicher Antennen, sondern mit parabolisch geformten hornartigen Reflektoren und hohlen Metallröhren mit rechteckigem Querschnitt, sogenannten Wellenleitern. Die ver-

wendete Sendeenergie war sehr klein – und hier liegt einer der Vorteile des Arbeitens mit Mikrowellen –, nämlich um ein Milliwatt herum, und sie wurde von einer speziellen metallischen Vakuumröhre geliefert. Dieses Ultra-Hochfrequenzradio-system erwies sich als brauchbar für Fernsprechverkehr zwischen zwei gleichartigen Stationen. Es ist keineswegs gesagt, daß damit die untere Grenze des für praktische Zwecke brauchbaren Ultrakurzwellen-gebietes erreicht ist. Die Tendenz geht zweifellos in Richtung der Größenordnung von Lichtwellen.

Manche Zweige der Mikrowellentechnik, wie zum Beispiel Fernsehen für Unterhaltungszwecke, waren nicht kriegswichtig, und ihre Weiterentwicklung ist daher erst nach Kriegsende wiederaufgenommen worden. Aber andere Gebiete der Mikrowellentechnik haben überragend zum Gewinnen des Krieges beigetragen, in erster Linie die verschiedenen Abarten des Radar, für Navigation in der Luft und zur See, für die Aufsuchung untergetauchter Unterseeboote oder viele Kilometer weit entfernter feindlicher Schiffe, für Vermessungen und die Herstellung von Landkarten usw. Und so ist während des Krieges, als Geld für ausgedehnte Untersuchungen keine Rolle spielte, eine Unsumme von Erfahrungen in diesem jüngsten Zweig der Radiotechnik gesammelt worden.

Unmittelbar nach Kriegsende hat in den Vereinigten Staaten die Auswertung dieser neuen Techniken und Erfahrungen für zivile Zwecke eingesetzt. Fernsehen, Fernbildübertragung, Radarnavigation¹, Bodenvermessung von Flugzeugen aus sind nur einige der Gebiete, für die die Mikrowelle ein ideales Energieträgermittel darstellt.

Aber es sind noch manche technische Schwierigkeiten zu überwinden, bevor neue Anwendungen der Ultrakurz-welle und neue Geräte reif sind für den täglichen Gebrauch. Mikrowellen sind weniger biegsam als etwa Rundfunkwellen; denn sie pflanzen sich geradlinig fort wie das Licht und folgen daher der Erdkrümmung nicht.

¹ Siehe auch Prisma Nr. 2 und 3: Loran/Radar/Racon, von Prof. Dr. H. Zickendraht.

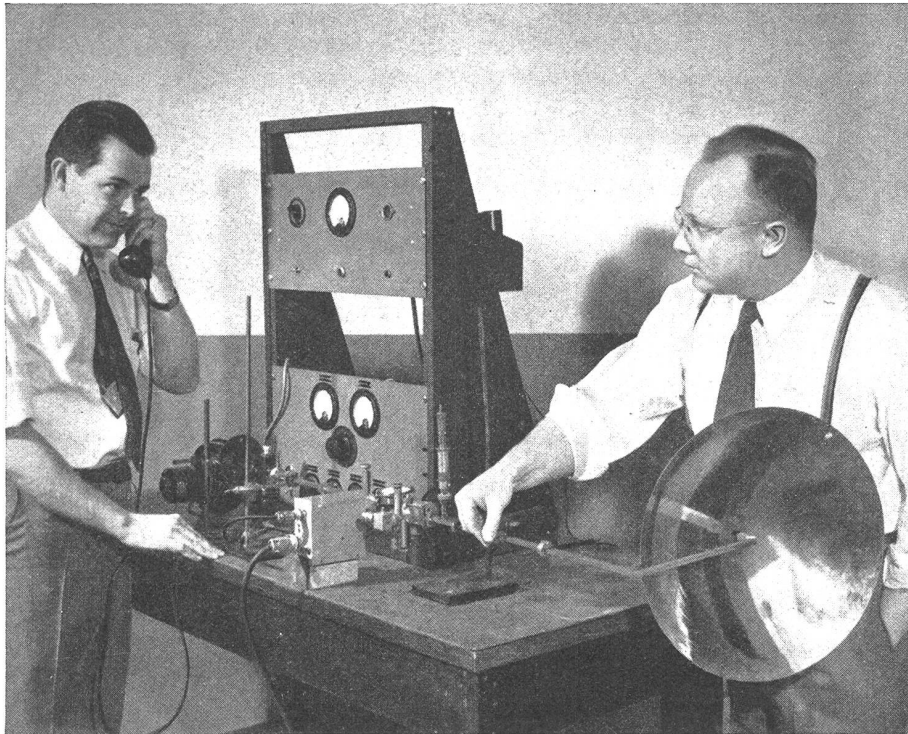


Bild 1: Die für Fernsprechen über die kleinste jemals für diesen Zweck verwendete Ultrakurzwellenlänge – 13,7 Millimeter – benutzte Versuchsanordnung. Man erkennt den Wellenleiter, eine hohle Metallröhre mit rechteckigem Querschnitt. An ihrem linken Ende ist eine metallische Radioröhre, die senden und empfangen kann. Am anderen Ende, rechts vor einem Paraboloid-Reflektor. Das Bild zeigt somit beide Vorgänger der modernen Radiolinse.

Bild 1 ist uns von der General Electric, Bild 2–8 von den Photo Bell Telephone Laboratories zur Verfügung gestellt worden.

Das besagt, daß zum Beispiel bei der Errichtung eines Fernsnetzes für einen großen Bezirk die Impulse für Bild und Ton entweder durch sogenannte koaxiale Kabel unterirdisch von Station zu Station geleitet oder daß Radiorelais gebaut werden müssen. Dies sind gewissermaßen Perlenschnüre von Stationen, eine immer jeweils innerhalb des Horizontes der nächsten. Jedes Relais hat die Doppelaufgabe, die empfangene Sendeenergie einerseits zu verstärken und andererseits zu konzentrieren und in Richtung des nächsten Relais zu strahlen, so daß ein Mindestmaß an Energie als Verlust in den Raum ausstrahlt. Ähnliche Probleme tauchen bei vielen Anwendungen der Radartechnik auf. Radioenergie ist bereits vor dem Kriege schon durch Spezialantennen konzentriert und gerichtet worden, aber die Mikrowellen stellen besondere Anforderungen.

Die Ausstrahlung und der Empfang der Wellenenergie in einem feinen Strahl, ähnlich dem einer Taschenlampe, sind eine der wesentlichsten Aufgaben, die bei der Entwicklung aller Arten von Mikrowellensystemen auftauchen. Für diesen besonderen Zweck ist im Verlauf der letzten zwei Jahre in den Bell Telephone Laboratories in den Staaten New York und New Jersey, unter Leitung von Dr. Winston E. Kock, die sogenannte *Radiolinse* entwickelt worden. Die Radiolinse ist etwas grundsätzlich Neues auf dem Gebiet des Antennenbaues. Sie besteht aus einer Anordnung von besonders geformten Metallplatten, die Radiowellen so bündeln, wie eine optische Linse Lichtstrahlen bündelt, je nach Wunsch konvergierend in Richtung eines Brennpunktes oder

divergierend. Radiolinsen werden vermutlich eine große Rolle spielen bei zukünftigen Friedensanwendungen von Radar sowie in Radiorelaisystemen.²

Eine Mikrowellen-Relaisverbindung, in der die neuen Radiolinsen zum erstenmal praktische Anwendung finden werden, wird augenblicklich zwischen New York und Boston gebaut. Die Energieübertragung zwischen den beiden Städten wird in acht «Sprüngen» erfolgen, das heißt achtmal muß die Sendeenergie verstärkt und konzentriert und gerichtet weitergestrahlt werden. Damit solche Relaisendungen über kleine Strecken, (in Radioentfernungen gemessen), wirtschaftlich sind und atmosphärische und andere Interferenzen auf ein Mindestmaß beschränkt werden, ist die Zusammenfassung der Wellenenergie in einem sehr scharfen Strahl unerlässlich.

Radiolinsen, wie die auf der Strecke New York-Boston verwendeten, können, was das zugrunde liegende Prinzip betrifft, mit optischen Vergrößerungsgläsern verglichen werden. Jedermann kennt die einfache konvexe Lupe, die die Sonnenstrahlen so konzentriert, daß sie ein Loch in ein Stück Papier brennen. Was das zwischen Sonne und Papier gehaltene Glas eigentlich bewirkt, ist, optisch ausgedrückt, eine Verzögerung der fortschreitenden Lichtwellenfront. Die Verzögerung ist am größten im Mittelpunkt der Linse, wo das Glas am dicksten ist, und am geringsten an der sich verjüngenden Peripherie.

² Siehe auch Prisma Nr. 4; Spektrum: Die Linsen-Antenne.

Das Ergebnis ist, daß die Wellenfront – man kann sie mit einer Formation Soldaten vergleichen – derart umgebildet wird, daß sie in einem Punkt, dem Brennpunkt, konvergiert. Was im Glas vor sich geht, ist eine Verringerung der Geschwindigkeit der Wellenfront, verglichen mit ihrer Geschwindigkeit beim Durchgang durch die Luft. Alle optischen Linsen beruhen auf einer Veränderung der Geschwindigkeit der Lichtwellenfront. In welcher Weise eine Linse jeweils den Strahl umformt, hängt von ihrer Formgebung ab.

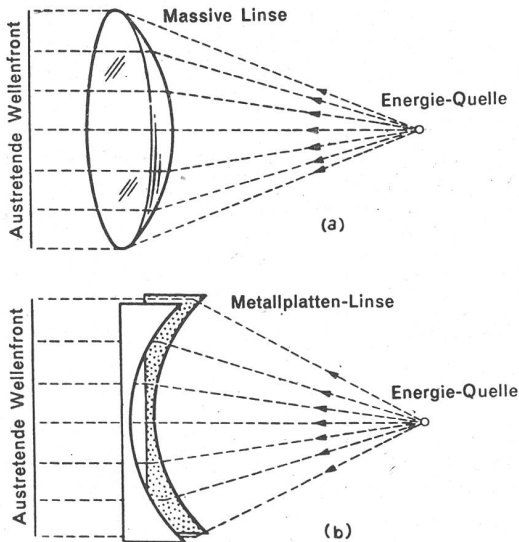


Bild 2. a. Massive, dielektrische Linse, die Radiowellen, die von einer punktförmigen Energiequelle ausstrahlen, in einen parallelen Strahl ausrichtet. Wellenlänge und Geschwindigkeit der Wellenfront werden in der massiven Linse kleiner.
b. Die entsprechende Metallplattenlinse muß ein umgekehrtes Profil haben, weil Wellenlänge und Geschwindigkeit der Wellenfront in einer Plattenlinse größer werden.

Da Radiowellen, genau wie das Licht, elektromagnetischer Natur sind, war es seit langem bekannt, wenigstens theoretisch, daß Radiolinsen auf Grund der physikalischen Prinzipien gebaut werden können, die optischen Linsen zugrunde liegen. Aber bis zur Zeit der Verwendung von Mikrowellen war die große Länge der Radiowellen ein nicht zu überwindendes Hindernis. Um wirksam zu sein, muß eine Linse einen Durchmesser haben, der mindestens ein Vielfaches der Wellenlänge beträgt. Wegen der außerordentlich kleinen Wellenlänge des Lichtes bietet diese Forderung keine Schwierigkeiten beim Entwurf optischer Systeme. Aber um Wellen etwa von der Größenordnung der im Rundfunk benutzten – zweihundert bis sechshundert Meter – zu konzentrieren, hätte man kilometergroße Linsen bauen müssen, und das ist praktisch unmöglich.

Einer der großen Vorteile der Mikrowellen ist, daß sie kurz genug sind, um mit Hilfe von Vorrichtungen mit handlichen Dimensionen gebündelt zu werden.

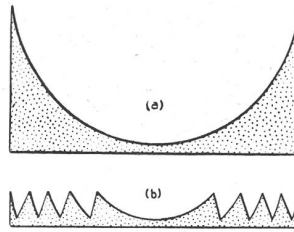


Bild 3: Metalllinsen sind mit durchlaufendem Profil (a) gebaut worden und für praktische Zwecke abgestuft (b). Die abgestufte Bauweise ergibt eine Ersparnis an Größe und Material und erlaubt eine gleichmäßige Fortpflanzung der Wellenfront.

Scharf gebündelte Strahlen von Mikrowellen konzentrieren Energie in der gewünschten Richtung ausreichend, um einen großen Betrag an Sendenergie zu sparen und Interferenzen beträchtlich einzuschränken. Die Bell Telephone Laboratories untersuchten bereits vor dem Kriege, als ein Zweig ihrer Mikrowellen-Forschung, sorgfältig alle Möglichkeiten, massive Linsen aus Kunststoffen und anderen dielektrischen Materialien zu bauen, – elektronische Lupen sozusagen.

Als während des Krieges Radar und Radiorelaisverbindungen entwickelt wurden, wuchs das Interesse an Mitteln für die immer schärfere Konzentration von Mikrowellenbündeln entsprechend, und das führte zu einer intensiveren Forschung auf diesem Gebiet.

Ein früher erfundenes Richtmittel ist die bekannte Schlüsselantenne, durch die ein Strahl nach seiner Reflektion durch ein Paraboloid fast parallel projiziert wird. Solch einen «Scheinwerfer» sieht man in dem in Bild 1 gezeigten Versuch. Solche Reflektoren haben aber gewisse Nachteile. Ihre Herstellung erfordert sehr strenge Toleranzen, und ihre Wirkung wird oft durch Schatteneffekte beeinträchtigt. Schatteneffekte kommen bei Radiolinsen nicht

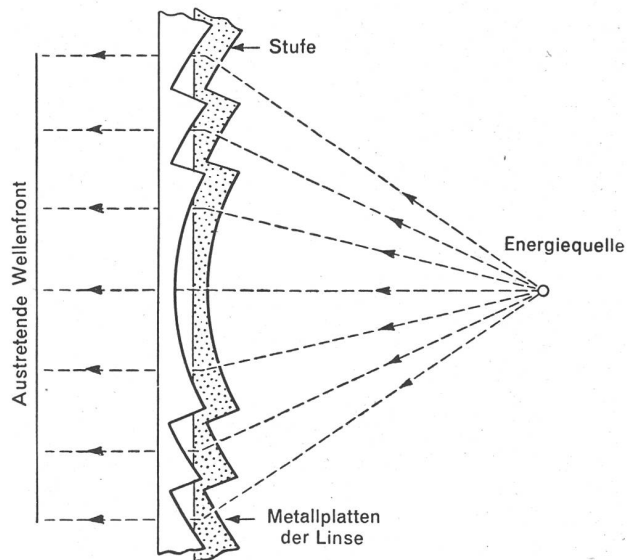


Bild 4: In einer Linse der abgestuften Bauart wirkt jeder der konzentrischen Gürtel wie eine Einzellinse. Die konzentrischen Zonen sind derart ausgebildet, daß die austretende Wellenfront als Ganzes die gewünschte Form erhält.

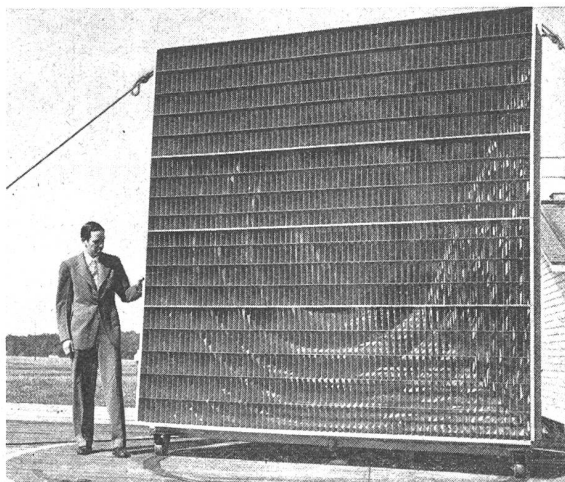


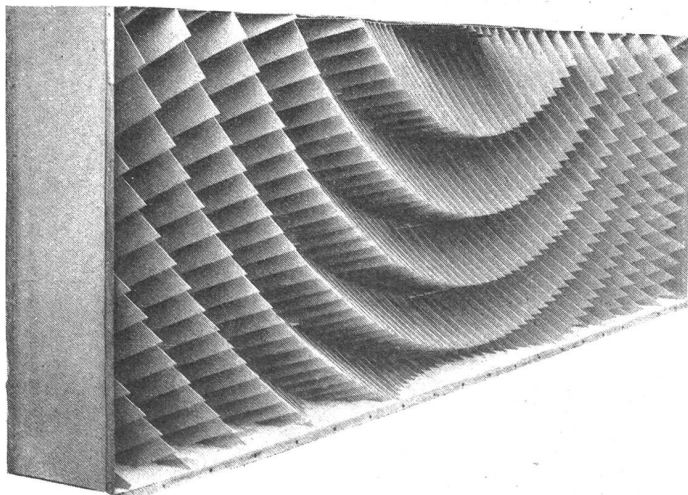
Bild 5: Eine der acht Zwischenantennen des New York-Boston-Radiorelaisystems, das hauptsächlich für Fernsehübertragungen zwischen den beiden Städten dienen wird.

vor, das heißt Echos oder Doppel-Fernsehbilder werden vermieden. Hinzu kommt, daß Reflektoren eine sehr genaue Einstellung erfordern, die im praktischen Betrieb leicht infolge zufälliger äußerer Umstände hinfällig wird. Auch das kann bei Radiolinsen nicht vorkommen. Dr. Kock und seine Mitarbeiter erkannten frühzeitig, daß Linsen zweifellos die Präzision des gerichteten Strahles steigern würden – aber in der bestehenden Form massiver «Lupen» waren sie, besonders für militärische Zwecke, viel zu unhandlich.

Schon lange vorher, im Jahre 1935, waren für die gerichtete Strahlung von Mikrowellen die Wellenleiter erfunden worden. Dies sind hohle Metallröhren, wie sie ebenfalls in dem eingangs geschilderten Versuch (Bild 1) als Teil der Antennenanlage verwendet worden sind. Wellenleiter spielten während des Krieges eine große Rolle als «Kanäle» für Radarsignale.

Der Gedanke tauchte auf, solche Wellenleiter für die Lösung anderer verwandter Aufgaben anzupassen. Aus der Wellenleitertheorie war bekannt, daß Radiowellen einer Beschleunigung unterliegen, das heißt einer Steigerung der Wellenfrontgeschwindigkeit,

Bild 6: Rückansicht eines Teils der Metalllinse, Bild 5, die abgestufte Bauweise der konzentrischen Plattengürtel zeigt.



keit, wenn sie sich in einer Röhre oder zwischen Metallplatten fortpflanzen. Man wußte, daß die Umformung und die Richtung der Wellenfront durch die Festlegung der Größe und der Umrisse der Platten und deren Entfernung voneinander, unter Berücksichtigung der jeweiligen Wellenlänge, genau geregelt werden konnten.

Eine Anordnung von dünnen Metallplatten, die Radiowellen genau so konzentrieren und richten, wie dies eine massive Linse tut, war also denkbar. Dabei muß allerdings der Umstand berücksichtigt werden, daß in diesem Fall die Außenseiten der Wellenfront beim Durchgang nicht verzögert, sondern vorgeschoben werden. Solch ein Gebilde würde grundsätzlich einfacher zu bauen, zu transportieren und betriebsfähig zu erhalten sein als entsprechende massive Linsen. Die theoretischen und mathematischen Grundlagen dieser Idee wurden ausgearbeitet, und dann wurden Systeme von Metallplattenlinsen entworfen und gebaut, die nicht nur jeweils entsprechend optischen Konvex- oder Konkavlinsen wirkten, sondern auch entsprechend anderen optischen Vorrichtungen, wie Halb- und Viertelwellenplatten und Prismen. Die praktische Ausführung war in jedem Fall durchführbar.

Bild 2 zeigt schematisch je eine massive oder dielektrische Linse und ein Metallplattenpaar einer Radiolinsse. Beide konzentrieren die von einer punktförmigen Energiequelle ausgestrahlten Wellen in einen Strahl mit parallelen Kanten. Wegen ihrer entgegengesetzten Wirkungen auf die Wellenfrontgeschwindigkeit müssen sie von genau umgekehrter Formgebung sein, um dieselbe Richtungswirkung zu haben. Die sich nach allen Seiten ausbreitenden Wellen nähern sich der Linse in einer gekrümmten Wellenfront. Um sie nach der anderen Seite parallel auszustrahlen, beschleunigt die metallische Linse die Seiten des Strahls im Verhältnis zur Mitte, so daß die Wellenfront abgeflacht wird. An ihren Außenseiten sind die Platten um so viel breiter als in der Mitte, als die «zurückgebliebenen» Kanten der Wellenfront mit deren Mitte ausgerichtet werden.

In der Praxis ist es vorteilhaft, Metall-Linsen in Stufen auszubilden, nicht in einem einheitlich durchgehenden Profil für die ganze Linse (Bild 5), ähnlich wie die bekannten Fresnel-Linsen, die in Leuchtturmfuern verwendet werden. Jeder der konzentrischen Gürtel von Platten wirkt als Einzellinse und beeinflusst nur den Teil des Wellenbündels, der durch ihn hindurchgeht (Bild 4 und 6). Die Wellenfront trifft die einzelnen Gürtel in verschiedenen Winkeln und mit zeitlicher Abweichung. Aber die einzelnen Plattengürtel sind im Hinblick auf die Wellenlänge und die Phasenunterschiede entworfen, so daß alle zusammen die Ausbildung einer parallel zur Linsenvorderseite austretenden Wellenfront bewirken.

Durch die stufenförmige Ausbildung der Plattengürtel werden Ersparnisse an Material und Gewicht erzielt. Außerdem werden lange Wege zwischen den



Bild 7: Aufstellung des ersten großen Modells einer Radio-linsenantenne.

Platten vermieden. Das Ergebnis ist eine gleichmäßige Fortpflanzung der Welle über ein weiteres Frequenzband, ein großer Vorteil in Nachrichten-übermittlungssystemen, die mit einem breiten Mikrowellen-Frequenzband arbeiten, vor allem beim Fernsehen.

Die Metall-Linse wurde erst gegen Ende des Krieges entwickelt und fand infolgedessen nur wenige militärische Anwendungen, die fast alle geheimgehalten wurden. Nach Kriegsende begann dann ihre stetige Weiterentwicklung für Radar und andere Mikrowellentechniken.

Bild 5 zeigt die Vorderseite einer der Linsenantennen für die Radiorelaisstrecke New York-Boston, bei der es sich, wie gesagt, darum handelt, einen scharf gebündelten und gerichteten Ultrakurzwellenstrahl zwischen Relaisstationen zu projizieren und zu empfangen. Die drei Meter im Quadrat messende Linse hat ein abgestuftes Profil und formt die Wellenfront um, wie in Bild 4 schematisch dargestellt. Die Sendeenergie wird von hinten durch einen Wellenleiter in die Linse eingeführt und breitet sich entlang einem hornförmigen Schirm bis zur Linse aus. Die Linse konzentriert sie dann in einen scharfen Strahl. In Bild 6 sieht man einen Teil der Rückseite der Linse mit den abgestuften Plattengürteln. Eine entsprechende Kombination von Schirm und Linse auf der Empfangsseite nimmt die Wellen auf und hat die umgekehrte Funktion, die Wellenenergie in einen Wellenleiter zu konzentrieren, von dem aus sie zur weiteren Verwendung in das Sendernetz gelangt.

Bild 7 zeigt die Installierung des ersten großen Modells einer Linsenantenne mit ihrer hornförmigen Zuführung. Linsenantennen sind in allen Größen

gebaut worden, einige nicht größer als fünfundvierzig Zentimeter im Durchmesser und fünf Zentimeter tief, andere drei und sechs Meter breit.

Der vermutlich schärfste jemals geschaffene Radiostrahl wurde mit Hilfe einer für experimentelle Zwecke gebauten sechs Meter langen Linse erzielt (Bild 8). Sie dient als Präzisions-Versuchsgerät für das Studium der Fortpflanzung von Mikrowellen in sehr engen Strahlen. Diese Linse ist ein Meter länger als der Durchmesser des größten für astronomische Zwecke gebauten optischen Reflektors, des fünf Meter großen Glasreflektors für das Mount Palomar-Teleskop. Diese Metall-Linse bildet einen Radiostrahl aus, der schärfer konzentriert ist als der Lichtstrahl eines Flugzeugabwehr-Scheinwerfers. Seine Winkelweite ist nur sechs Minuten, das heißt $\frac{1}{3600}$ des Kreisbogens. Eine vollkommen parallele Wellenkonzentration ist natürlich im praktischen Betrieb nie zu erzielen.

Radioantennen, in denen die Bündelung durch Metall-Linsen erreicht wird, haben eine Reihe von Vorteilen gegenüber Antennen vom Reflektortyp. Abgesehen davon, daß Größen- und Formgebungsabweichungen, die bei einem Parabolreflektor wesentliche Verzerrungen verursachen würden, in Linsenantennen unschädlich sind, wird die Rückwärtsstrahlung durch die Anwendung eines Horns zum Abschirmen der in die Linse eingeführten Energie und damit der sonst unvermeidliche Sendeenergieverlust beträchtlich verringert. Außerdem kann die Vorderseite einer solchen abgeschirmten Linsenantenne durch einen Kunststoffüberzug gegen die Witterungseinflüsse geschützt werden.

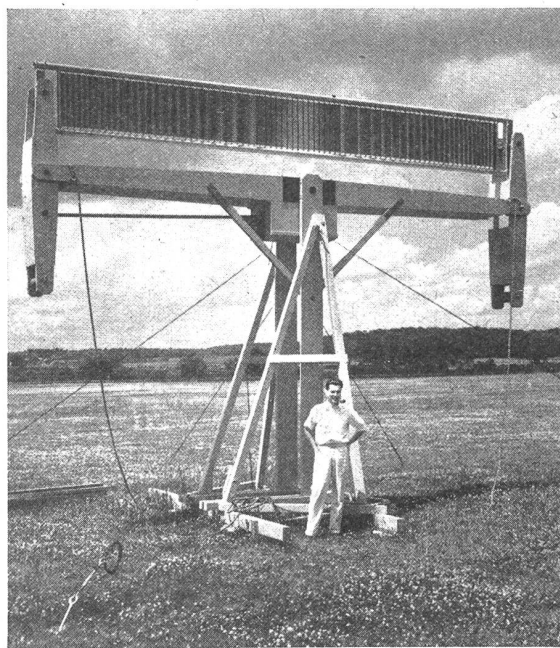


Bild 8: Der Mikrowellen-Radiostrahl von dieser rechteckigen Experimentierlinse ist schärfer gebündelt als das Licht eines Flugzeugabwehr-Scheinwerfers.