

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 14: Sonderheft über Hochfrequenz-Technik

Artikel: Dipole, Antennen und Strahlwerfer
Autor: Zickendraht, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83298>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

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

INHALT: Geleitwort. — Dipole, Antennen und Strahlwerfer. — Ueber Hochfrequenz-Messtechnik. — Hochfrequenz-Telephonie über Starkstrom-Leitungen. — Hochfrequenztechnik in der Luftfahrt. —

Der Kathodenstrahl-Oszillograph. — Registrierung schneller Bewegungen. — Das Thyratron. — Thyratron-Steuerung des elektrischen Schweißvorganges. — Photoelektrisches Grammophon.

SONDERHEFT ÜBER HOCHFREQUENZ-TECHNIK.

Geleitwort.

Vor zwölf Jahren öffnete die Gesellschaft „Radio-Schweiz“ mit ihrem Sender in Münchenbuchsee und mit ihrer Empfangs-Station in Riedern bei Bern zum ersten Male die Tore zu einer allgemeinen Besichtigung. Vor zehn Jahren gelang einem tatkräftigen Initiativkomitee die Gründung der Radiogenossenschaft Zürich, die kurz darauf den ersten Schweizerischen Rundspruchsieder bei Höngg dem Betrieb übergab. Wenn heute die Schweiz ein Netz von Radiostationen besitzt, die teils dem Telegrammverkehr, teils dem Flugwesen und dem Rundspruch dienen, wenn die Zahl der Rundspruchhörer auf über 300 000 gestiegen ist, was eine jährliche Einnahme von nahezu fünf Millionen Franken nur an Konzessionsgebühren bedeutet, so ist damit eine rasche, ja unerwartete Entwicklung wohl genügend gekennzeichnet. Die Hochfrequenztechnik, deren bedeutendster Zweig zur Zeit das Radiowesen ist, steht heute als hoch entwickeltes, in wissenschaftlicher und technischer Richtung bis ins einzelne ausgebautes Glied der elektrischen Nachrichtentechnik vor uns, für den zweifellos auch zahlreiche Leser der „SBZ“ Interesse haben.

Nicht nur ein akademisches Interesse, sondern die grosse wirtschaftliche Bedeutung der Hochfrequenztechnik zwingen uns heute, dieses neue technische Gebiet eingehender zu pflegen. An der Technischen Hochschule, an der Ecole d'Ingénieurs und an den Technischen Mittelschulen der Schweiz haben sich seit einiger Zeit in dieser

Richtung Umstellungen vollzogen. Der Bau von Radioempfängern ist an mehreren Orten mit Nachdruck an die Hand genommen worden. Die Laboratorien der Schweizerischen Telegraphenverwaltung haben eine erhebliche Erweiterung erfahren. Der Schweizerische Elektrotechnische Verein hat im Hinblick auf die Hochfrequenztechnik seine Prüfanstalten und sein Publikationsorgan ausgebaut. Möge all diesen Ansätzen zu neuem technischen Wollen und Können eine günstige Entwicklung beschieden sein.

Wachsen und Werden eines Industriezweiges folgt eigenen organischen Gesetzen. Geeigneter Nährboden, Raum zur Entfaltung, Verbundenheit mit Nachbargebieten, Rückhalt an Tradition, Trägerkraft der materiellen und geistigen Fundamente: dies sind Voraussetzungen und Forderungen, deren Erfolg wohl gewünscht, schwerlich aber erzwungen werden kann. An uns ist es, den jungen Baum der Hochfrequenztechnik zu pflegen, auf dass er auch auf Schweizerboden grüne und kräftig gedeihen.

Wenn wir auf Einladung der Redaktion versuchen, dem Leser in einer Anzahl von Einzelabhandlungen, in der vorliegenden Sondernummer einen Ueberblick über das Gebiet der Hochfrequenztechnik zu geben, so sind wir des Mangels an Vollkommenheit eines solchen Mosaikbildes uns wohl bewusst. Möge daher wenigstens das Bestreben nach Allseitigkeit und neuen technischen Anregungen gewürdigt werden.

Prof. Dr. F. Tank, E. T. H.

Dipole, Antennen und Strahlwerfer.

Von Prof. Dr. HANS ZICKENDRAHT, Basel.

Am 13. November 1886 trug Heinrich Hertz in sein Karlsruher Tagebuch die denkwürdigen Worte ein: „Geglückt, die Induktion zweier ungeschlossener Stromkreise aufeinander darzustellen, Ströme 3 m lang, Abstand 1,5 m!“ So ist der 13. November 1886 zum Geburtstag des *Antennendipols* und damit auch zu demjenigen der Antenne selbst geworden.¹⁾

In einem Briefe an Helmholtz vom 5. Dezember desselben Jahres beschreibt Hertz seine Dipole näher, gibt genau Kunde davon, dass er ihre Eigenschwingungszahlen auf Hunderte von Millionen in der Sekunde schätzt, weist auf die Wichtigkeit der Abstimmung hin, sollen die von einem derartigen Sender ausgesandten Wellen von einem ähnlich gebauten Empfangs-Dipole aufgenommen werden und nimmt sogar Lecher die Entdeckung stehender Wellen auf einem Drahtsysteme vorweg. Welche Rolle die Hertzschen Dipole heute bei den *Strahlwerferanlagen* spielen, werden wir weiter unten sehen.

Sieben Jahre später als Hertz (um 1893) hat Nikola Tesla antennenähnliche Gebilde beschrieben und bei seinen Versuchen in Colorado Springs 1899 tatsächlich auch errichtet und benutzt, doch sehen wir aus seinen Angaben²⁾ nicht klar, ob er an Wellenstrahlungen dachte, die sich von solchen Gebilden im Hertz'schen Sinne ablösen und Energie

¹⁾ Heinrich Hertz: „Erinnerungen, Briefe, Tagebücher“. Zusammengestellt von Dr. Johanna Hertz. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, Seite 163 (1928).

²⁾ J. Erskine-Murray: „A Handbook of Wireless Telegraphy“, London 1918. Seiten 35 und 312.

durch den Raum tragen; vielmehr legte Tesla das Hauptgewicht auf die Erregung elektromagnetischer Eigenschwingungen der ganzen Erdkugel, die von einer Sendestelle ausgehend, an irgend einer Empfangsstelle zum Nachrichtendienst und Energietransport verwendet werden sollten.

Oft nennt man den Russen A. S. Popoff als Erfinder der Antenne. 1895 studierte er mittels des Branly'schen Kohärs an der Forstakademie in Kronstadt die Wirkung ferner Gewitterentladungen und bediente sich dabei eines geerdeten Blitzableiters als Lufdraht.³⁾ Möglich, dass solche Vorbilder den jungen Bologneser Schüler Augusto Righis, Guglielmo Marconi im Juni 1896 veranlassten, vertikal ausgespannte Lufträhte mit Blechen oder Drahtnetzen als Endkapazitäten an hohen Masten aufzuhängen und ihr unteres Ende über eine Funkenstrecke mit der Erde zu verbinden.⁴⁾

Noch waren die Vorgänge in einer solchen Antenne theoretisch nicht geklärt, die junge drahtlose Telegraphie mehr eine Kunst, denn eine Wissenschaft zu nennen. Tastende Versuche auf gut Glück waren an der Tagesordnung und die wunderlichsten Antennengebilde ihr äusseres Zeichen. Das ist heute alles anders geworden und man versteht nun, die Luftleiteranlagen auf Grund genauer Vorausberechnung anzulegen.

Je höher eine Antenne geführt werden kann, umso weiter reicht ihre Strahlung. Daher die hohen Mast- und Turmbauten, die wir schon in den ersten Anfängen der Wellentelegraphie vorfinden. Heute hat man die Bedeutung

³⁾ Journal der Russischen Physikalisch-Chemischen Gesellschaft, Band 28 (1896).

⁴⁾ Englisches Patent vom 2. März 1897.

aller elektrisch mitschwingenden Metallkonstruktionen, der Türme, der Halteseile usw. erkannt und strebt danach, metallische Sendeleiterteile möglichst freitragend in die Höhe zu führen. Die 307 Meter (!) hohe Doppelpyramide der Antenne von Budapest ist dafür ein eindruckvolles Beispiel. Schon vor dem Kriege ist zwar versucht worden, den Schwierigkeiten besonderer Turmisolationen durch Verwendung *hölzerner Bauten* aus dem Wege zu gehen; der Umstand aber, dass bei unerwarteter elektrischer Leitfähigkeit des Bauholzes induzierte Ströme beim Senden starke Erhitzung, ja Brandgefahr für die Türme mit sich brachten, hat zur Vorsicht gemahnt.

Für die nun folgende elementare Darstellung der heute für den Antennenbau massgebenden Grundsätze sind ein Paar einfache Betrachtungen erforderlich und zwar zerlegen wir, um die Fernwirkung einer Antenne beurteilen zu können, den Luftdraht in viele sehr kleine Elemente Δl ; jedes von diesen soll den Wechselstrom $i = i_0 \sin 2\pi n t$ führen. Diese Ströme sind an verschiedenen Stellen der Antennen verschieden, d. h. nach bestimmten Gesetzmässigkeiten über die ganze Antenne verteilt. Ist n die Frequenz, λ die Wellenlänge der Strahlung und $v = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec}$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Strahlung im leeren Raum, so gilt $v = n \lambda$.

Nun sind drei kontinuierlich ineinander übergehende Zonen im Raum um die zu betrachtende Antenne, bzw. die sie zusammensetzenden Elemente zu unterscheiden: Die *Nahezone* in der unmittelbaren Umgebung des Elementes. Hier ist das Verhältnis Abstand zu Wellenlänge r/λ klein, d. h. unter 1 bis etwa 1. Ueber eine *Zwischen- oder Uebergangszone*, wo r noch mit λ vergleichbar, gelangen wir dann in die *Wellenzone* oder *Fernzone*, in der r ein Vielfaches der Wellenlänge ist und woselbst für das elektrische Feld E des Stromelementes die einfache Gleichung gilt (Abb. 1):

$$E = \text{konst. } \frac{\Delta l i_0 n \sin \alpha}{r} \sin 2\pi n t \quad (1)$$

Wir wollen uns im Folgenden nur mit dieser *Fern- oder Wellenzone* befassen und weisen bezüglich der Nahe- und Uebergangsfelder auf eine Arbeit⁶⁾, die an der Antenne der Versuchs-Radiostation der Basler Universität ausgeführt wurde.

Gleichung (1) zeigt, dass das elektrische *Fernfeld* des Stromelementes der Länge des Elementes, dem in ihm fliessenden Strom, der Frequenz, und dem Sinus des Winkels zwischen Element und Strahlrichtung proportional und umgekehrt proportional der Entfernung des Beobachtungspunktes P vom Stromelement ist. Statt der Frequenz n im Zähler des Bruches kann auch die Wellenlänge λ in den Nenner gesetzt werden, sodass man erhält:

$$E = \text{konst. } \frac{v \Delta l i_0 \sin \alpha}{\lambda r} \sin 2\pi n t \quad (2)$$

Die Strahlungscharakteristik eines einzelnen Stromelementes lässt sich also wie in Abb. 2 als Wulst von kreisförmigem Querschnitt um das Element herum darstellen. In ihrer Längsrichtung strahlt also eine solche kleine Antenne überhaupt nicht, ihre Maximalwirkung ist ringsum in der zu ihr senkrecht stehenden Mittelebene zu suchen.

Wollen wir nun die Strahlung irgend eines Antennenbildes in bestimmter Richtung $\alpha = \angle r, l$ und Entfernung r ermitteln, so muss die Gesamtwirkung aller stromführenden Elemente auf diesen Punkt durch eine Integration zusammengefasst werden. Dabei kommt es dann auf die räumliche Stromverteilung in der Antenne an. So bestimmt man von irgendwelchen Luftleitergebilden die

⁶⁾ H. Zickendraht: „Messungen im Nahefeld eines Rundspruchsenders“. Helvetica Physica Acta, Band V, Seite 1 (1932).

Ferncharakteristik.

Vom Hertz'chen Dipol wissen wir, dass die Stromverteilung längs der Hauptausdehnung l mit grosser Annäherung sinusoidal verläuft: Strom in der Mitte maximal, an beiden Enden null. Die Spannung verteilt sich gegenphasig auf beide Dipolhälften, wie die Abb. 3 zeigt.

Die Ferncharakteristik eines solchen Dipoles weicht bereits etwas von dem in Abb. 3 dargestellten Wulste kreisförmigen Querschnittes ab und nimmt Formen an, die sich durch die Gleichung

$$E_{\text{eff}} = \text{konst. } \frac{\cos \left(\frac{\pi}{2} \cos \alpha \right)}{\sin \alpha} \quad (3)$$

annähern lassen. Diese Verhältnisse werden weiter unten eine wichtige Rolle spielen.

Zunächst sei noch die bekannte *Barkhausen'sche Gleichung* für das Feld einer senkrecht auf bestleitender Fläche errichteten linearen Antenne von der Höhe h in sehr grosser Entfernung r wiedergegeben (Abb. 4). Bei räumlich sinusoidal verteiltem Strom in der Antenne (am Fußpunkt ein Maximum i_A , an der Spitze der Strom null) ersetzt man die geometrische Antennenhöhe durch die um $2/\pi$ kleinere effektive, schreibt also

$$h_{\text{eff}} = \frac{2}{\pi} h \quad (4)$$

und erhält für die Wellenzone:

$$E_{\text{eff}} = \frac{120 \pi i_A h_{\text{eff}}}{\lambda r} \text{ Volt/m} \quad (5)$$

Nach den Erdverhältnissen bzw. der mehr oder weniger guten elektrischen Leitfähigkeit des Stationsgrundes richtet sich dann der Neigungswinkel α , unter dem die Antenne die Hauptenergie abstrahlt. Ueber See liegt diese Richtung horizontal, um über schlechterleitender Erde sich mehr oder weniger stark vom Boden abzuheben. Dies ist für die später zu erwähnende Strahlung hinauf nach der Heavisideschicht von grosser Bedeutung. Der Abstrahlungswinkel hängt ferner von der Stromverteilung in der Antenne

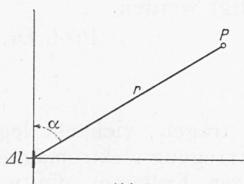


Abb. 1

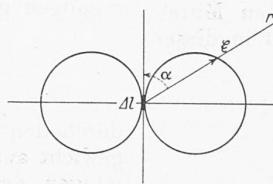


Abb. 2

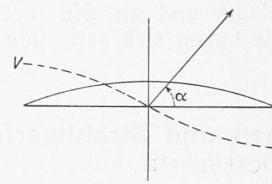


Abb. 3

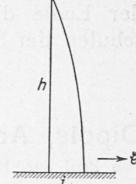


Abb. 4

ab und muss, wie man neuerdings erkannte, sorgfältiger gewählt bzw. beeinflusst werden, als dies bisher geschah.

Unterbrechen wir hier diese Ausführungen und wenden uns einer knappen Uebersicht über die heutigen Kenntnisse von der Natur der Wellenausbreitung in der Erdatmosphäre zu. Anlässlich von Empfangsversuchen fiel z. B. dem Schreibenden schon in den Jahren 1912 und 1913 ein eigenartliches Schwinden der Lautstärke ferner Funkensender (wie z. B. desjenigen von Saintes Maries de la Mer an der Rhonemündung) auf. Bald war erkannt, dass nicht Unregelmässigkeiten am Empfänger, sondern Vorgänge in der Atmosphäre die Ursache sein müssen; man dachte an vorüberziehende Gewitterwolken oder ähnliches und war dabei nicht allzuweit von der Wahrheit entfernt. Den Telegraphisten war damals der Vorgang bekannt, doch fehlte zunächst die Erklärung. Später erst sind diese *Schwunderscheinungen* (das „Fading“ von to fade = schwinden) der Allgemeinheit vertraut geworden, als sie nämlich die Rundspruchhörer zu benachteiligen begannen und die gefällige Empfangstechnik automatisch nachregulierende Verstärker zum Ausgleich des Schwundes in den Handel brachte. Aus der Welt geschafft waren damit die Ursachen jedoch nicht. Erst heute kennt man ihre wahren Gründe genau genug und sucht sie durch Massnahmen an der zugänglichen Quelle, d. h. am Sender zu bekämpfen.

Die Wissenschaft teilt die *Erdatmosphäre* in drei Schichten ein: Die unterste, in der sich Wind und Wetter

abspielen und die Meteorologen *Troposphäre* zu nennen pflegen. Am Äquator reicht sie bis ungefähr 16 Kilometer Höhe hinauf, an den Polen endet sie aber schon in Höhen, die etwas unter 10 Kilometern liegen. Darüber die seit Picard und den waghalsigen Russen allbekannte *Stratosphäre*, deren oberes Ende bei 100 Kilometern angenommen wird. Sie enthält z. B. noch Eisnadelwolken, die aber für die Wetterbildung an der Erdoberfläche von geringem Einfluss zu sein scheinen. Was oberhalb 100 Kilometern Höhe liegt, nämlich ein Gebiet höchstverdünnter Gasreste, vergleichbar dem Inhalte der bekannten Geissler- oder gar Röntgenröhren, wird *Ionosphäre* genannt und ist der Sitz interessanter und für die Wellenfortpflanzung ungemein bedeutsamster Vorgänge.⁶⁾

Die Sonne sendet neben sichtbarem, ultrarotem und ultraviolettem Licht auch eine offenbar mit den Sonnenflecken und ihren unregelmässigen Ausbrüchen verknüpfte Korpuskularstrahlung aus, eine Emission negativer Elektronen, wie sie die Glühsäden der Elektronenröhren abgeben, daneben vermutlich noch neutrale Teilchen. Das Ultraviolett und die Korpuskularstrahlung aber „ionisieren“ die Gasreste der Ionosphäre, d. h. sie bilden in ihr nach Massgabe der Absorption und Eindringstiefe schalenförmige Schichten hoher Leitfähigkeit, die die Erde mehr oder weniger konzentrisch umgeben. Nach den Entdeckern einer *untern* in etwa 90 bis 115 Kilometern Höhe befindlichen Schicht veränderlicher Ionendichte und einer *obern* in rund 220 Kilometern liegenden Schale leitfähiger Gasreste, deren Hauptbestandteil negative Elektronen zu sein scheinen, spricht man von einer *Kenelly-Heaviside-Schicht* (A. E. Kenelly in Amerika und O. Heaviside in England 1902) und von einer *Appleton-Schicht* (E. V. Appleton in London, seit 1926). Ueber der oberen Schicht wird sogar noch eine dritte vermutet, deren Eigenschaften aber noch nicht genau erforscht sind. Dringt eine elektromagnetische Welle in ein ionisiertes Gas, besser noch in eine Elektronenwolke nach Art der Raumladung um einen Röhrenglühsäden ein, so erfährt sie je nach der Ladungsdichteverteilung, dem Einfallsinkel und — was sehr wichtig ist — der Frequenz bezw. der Wellenlänge sowohl eine Geschwindigkeits- als auch eine Richtungsänderung. Die Emission einer Antenne kann, nach oben gerichtet, eine der genannten Schichten abgelenkt durchstossen und in den Weltenraum gelangen, sie kann aber auch — und das ist der häufigere Fall — von der Elektronenbank zur Erde zurückgebogen und von dieser sogar ein oder mehrere Male wieder reflektiert werden. Die berühmten Amateurerfolge von 1922, von denen man teilweise den Übergang der Technik von den Langwellen zu den Kurzwellen herleitet, beruhen einzig und allein auf diesen auch auf langen Strecken durch geringe Verluste ausgezeichneten mehrfachen Reflexionen zwischen Heavisideschicht und Erde, mit deren Hilfe bei kleinen Sendeleistungen erstaunlich grosse Entfernung überbrückt werden.

Ohne die genannten Atmosphärenschichten wäre also ein *Kurzwellenverkehr* von dem Umfange, den diese Telegraphierweise heute angenommen hat, nicht denkbar. Sie sind aber anderseits auch die Ursache verschiedener, dem Nachrichtendienste recht hinderlicher Erscheinungen, wie das obengenannte Fading, der Signalschwund, die Abhängigkeit der Langstreckentelegraphie von der Sonne, d. h. von Tag und Nacht, wie auch von den magnetischen Störungen, die die Sonnenfleckentätigkeit bedingt u. a. m.

Seitdem man erkannte, dass die grossen *Nachtreichweiten* vom Fehlen absorzierender Tages-Ionisation im Raum zwischen Erde und Heavisideschicht herrühren, weiss man auch, dass vom Rundspruch bei Tag über grosse Entfernung vorläufig nichts zu erwarten ist. Seitdem man genau erkannte, dass das *Nahefading*, das die Reichweite der starken Sender so sehr beeinträchtigt, bloss von der Interferenz, d. h. vom Zusammenwirken und gegen-

⁶⁾ Vortreffliche Zusammenstellungen hiezu in der Zeitschrift: „Elektrische Nachrichten-Technik“: Band 3, Seite 438 (1926); Band 10, Seite 41 (1933), Band 10 Sonderheft: „Ueberblick über die Physik der hohen Atmosphäre“ (1933) und Band 11, Seite 37 (1934).

seitigen Schwächen der dem Boden folgenden und der über die Heavisideschicht zum Empfangsorte gelangenden Strahlung herrührt, hat man gelernt, Antennen zu bauen und so zu speisen, dass ihre Emission in der Hauptsache dem Erdboden folgt, ihre Raumstrahlung in Winkeln schräg nach oben aber weitgehend unterdrückt werden kann (vergleiche hierzu die Abb. 3 und die Bemerkungen zu Gleichung 3). Schon beim Bau des B. B. C.-Senders von Brookmans Park⁷⁾, später bei der berühmten Antenne des Rundspruchsenders Breslau⁸⁾ sind in dieser Richtung bemerkenswerte Fortschritte erzielt worden.

Nach Abb. 3 und Gleichung 3 strahlt eine lineare senkrecht zum Boden errichtete Antenne einen Teil ihrer Schwingungsenergie rundherum nach allen Seiten aus. Das bedeutet dann eine ungeheure Energievergeudung, wenn von dieser Strahlung nur eine einzige bestimmte Empfangsanlage erreicht werden soll. Längst schon hat man daher nach einer *Richtwirkung* oder gar *einseitigen Bündelung* der Strahlung gesucht, die nach Art der Scheinwerfer auf das Empfangssystem gerichtet werden kann. Versuche in solcher Absicht sind beinahe so alt wie die Radiotechnik selbst und wir wissen, dass Heinrich Hertz schon am 10. März 1888 blecherne Hohlspiegel zur Konzentration und Richtung seiner elektromagnetischen Strahlen anfertigen liess und erfolgreich erprobte.⁹⁾ Marconi nahm gemeinsam mit seinem Assistenten C. S. Franklin während des Krieges (1917) den Gedanken wieder auf, kurze, zunächst mit Funken, später mit der Elektronenröhre erzeugte Wellen durch Parabelspiegel zu bündeln und damit eine gerichtete Telegraphie durchzuführen.¹⁰⁾

Diese Versuche führten im Jahre 1923 zu den ersten Wellenspiegeln von Poldhu, bestehend aus vielen längs einer parabolischen Zylinderfläche angeordneten Dipolantennen mit einem Dipole im Brennpunkte, damit zunächst zum gekrümmten und später zum ebenen Reflektor, der die Technik der *Strahlwerferantennen* (beam-transmitter) begründete.

Hat man auch die grossen Parabelspiegel, mit denen z. B. Alexander Meissner bei Telefunken 1927 interessante Versuche angestellt hat¹¹⁾, heute wieder verlassen, so sind sie doch bei den kürzesten zu Telegraphier- und Telephonierzwecken verwendeten sogenannten *Mikro-Wellen* („micro-rays“) noch im Gebrauch. Eine mit bloss 17,4 cm langen Wellen in Duplex arbeitende Telephonie- und Telegraphieanlage überbrückt zwischen den Flugplätzen Lympne (Kent, England) und St Inglevert (Frankreich) den Aermelkanal.¹²⁾ Dipole von wenigen Zentimetern Länge sind in den Brennpunkten metallischer Hohlspiegel nach Scheinwerferart auf hohen Masten oder den Ecktürmen einer Flughalle errichtet, aufs genaueste in ihrer optischen Axe aufeinander eingestellt und verkehren täglich zur Sicherung des Flugdienstes miteinander.¹³⁾ Eine ähnliche, auf 80 cm Wellenlänge mit einem verhältnismässig kleinen parabolischen Zylinderspiegel aus parallelen Metallstäben arbeitende Telephonieverbindung besteht seit Februar 1933 zwischen der Vatikanstadt und Castel Gandolfo.¹⁴⁾

Wir begannen diese kleine Arbeit mit der Erwähnung des Hertz'chen Dipols. Welche Verbreitung diese grundlegende Erfindung heute gewann, hätte sich ihr Erfinder nicht träumen lassen. G. Marconi und C. S. Franklin waren die ersten, die aus einer grossen Anzahl neben- und übereinander angeordneter gleichphasig gespiesener vertikaler Dipole grosse strahlende Flächen zusammensetzten und — von längstgewonnenen Kenntnissen aus der Optik Gebrauch machend — eine starke Bündelung der Strahlung

⁷⁾ „The Service Area of Broadcasting Stations“ by P. P. Eckersley. The British Broadcasting Corporation, Seite 11 (London 1929).

⁸⁾ „Telefunken-Zeitschrift“ 13. Jahrgang, Heft 60, März 1932, S. 21.

⁹⁾ Heinrich Hertz: „Erinnerungen“, Fussnote 1), Seite 190.

¹⁰⁾ „Radio Communications“ by Senator Guglielmo Marconi. „The James Forrest Lecture“ 1926. „Institution of Electrical Engineers“ Vol. 222, London 1926. „The Marconi Review“, Nr. 1 and 2, Oktober, November 1928.

¹¹⁾ A. Meissner: E. N. T. Band 4, Seite 482 (1927).

¹²⁾ Siehe die Mitteilung im laufenden Band, Nr. 4, S. 43. (Red.)

¹³⁾ „Electrical Communication“, Vol. XII, Seite 143 und 222 (1934).

¹⁴⁾ „The Marconi Review“, Nr. 40, Januar-Februar 1933, Seite 29.

in gewollter Richtung (senkrecht zur strahlenden Dipolfläche) erzielten. Fügte man der Antennenfläche noch eine in einem Viertel der Wellenlänge von ihr entfernte, hinter ihr liegende parallele Reflektorebene bei, so gelang ein einseitiges Richten der Strahlung. So löste Marconi das Problem gerichteten Weltverkehrs und schlug damit die Riesenstationen mit ihrem kostspieligen Mastenwald und ihrem ungeheuren Leistungsaufwand aus dem Felde.

In allen Ländern fand dies Vorgehen alsbald Nachahmer. Amerika baute seine strahlenden Antennenflächen aus eigenartig angeordneten Zickzackdrähten auf, die E.J. Sterba angegeben und berechnet hatte; in Frankreich war es zunächst L. Bouthillon, dann H. Chireix, der eine sehr wirksame Strahlwerferantenne entwickelte, mittels derer Frankreich heute mit den Kolonien verkehrt. Interessant sind die Unterschiede in der Fernwirkung horizontaler und vertikaler Dipole. Es scheint, als ob (nach Versuchen von Telefunken-Berlin) für die Fernwirkung den horizontalen Dipolen der Vorzug zu geben sei, und zwar denkt man sich die Sache so, dass ein in horizontaler Ebene schwingendes elektrisches Feld bei den mehrfachen Reflexionen zwischen Heavisideschicht und Erde mehr Energie bewahre, als ein vertikal polarisierter Strahl. An der Empfangsstelle kommt zwar eine elliptisch polarisierte Strahlung an, deren Hauptkomponente vertikal liegt und die deshalb vorteilhaft mit vertikalen Antennen empfangen wird.

Der beschränkte Raum erlaubt nicht, tiefer in die hier nur angedeuteten Probleme einzutreten, die der Radiotechnik ganz neue Wege gewiesen und der Erforschung der hohen und höchsten Atmosphärenschichten wertvolle Hilfsmittel geliefert. Wer sich näher mit solchen interessanten Aufgaben beschäftigen will, den verweisen wir auf die vortreffliche Literaturzusammenstellung bei G.C. Southworth¹⁵⁾ und nicht zuletzt auf eigene Anschauung, besitzen wir doch in unserm Lande in den Strahlwerferanlagen von Radio-Nations in Prangins bei Nyon mit ihren Empfängern in Colovrex bei Genf die schönsten Beispiele für diese letzte Entwicklung der Nachrichtentechnik.

Ueber Hochfrequenz-Messtechnik.

Von Prof. Dr. F. TANK, E.T.H. Zürich.

Die Entwicklung der Messtechnik ist ein aufschlussreicher Maßstab für die wissenschaftliche Durchdringung eines technischen Gebietes. Aber ähnlich wie die reine Theorie weist auch sie von Gebiet zu Gebiet ihre besondere Leistungsfähigkeit und ihre besonderen Schwächen auf, wodurch sie jeweils ihr eigenartiges und charakteristisches Gepräge erhält.

Während man die genaue Messbarkeit von Strömen, Spannungen und Leistungen in der Elektrotechnik als Selbstverständlichkeit anzusehen pflegt, bieten diese Aufgaben in der Hochfrequenztechnik Schwierigkeiten, die sich bei den allerhöchsten Frequenzen bis zur Unmöglichkeit einer zuverlässigen Messung steigern können. Der streuungsfreie Transformator ist in der Starkstromtechnik in nahezu vollendet Weise verwirklicht; die Fernsprechtechnik überträgt mit Hilfe von Transformatoren breite Frequenzbänder mit konstantem Uebersetzungsverhältnis. Der Transformator der Hochfrequenztechnik dagegen ist in der Regel nur in einem schmalen Frequenzgebiet zu gebrauchen, und erst der Entwicklung der jüngsten Zeit ist es gelungen, durch geeignete eisenhaltige Spulenkerne den Frequenzbereich zu erweitern. Anderseits leistet die Hochfrequenztechnik auf dem Gebiete der Frequenzmessung Erstaunliches. Die Frequenzen unserer Rundfunksender werden mit Fehlern von wenigen Einheiten auf eine Million gemessen; zu Eichzwecken sendet das Bureau of Standards in Washington mit einer Energie von 30 kW Wellen aus, deren Schwankungen ein Zehn-Millionstel ihres Wertes nicht übersteigen.¹⁾

¹⁵⁾ G. C. Southword: "The Bell System Technical Journal", Vol. X, Seite 92 (1931). Vgl. z. B. auch M. Bäumler, Zeitschr. Ver. Deutsch. Ing., Band 77, Seite 1369 (1933).

1) Bureau of Standards, Journ. of Res. 12, 1, 1935.

Frequenzvervielfachung und -Unterteilung, Frequenzstabilisierung, Herstellung von Wellenformen beinahe beliebiger Gestalt von der nahezu absolut reinen Sinusschwingung bis zur geradlinig gezackten Sägezahnkurve der Kippsschwingung sind messtechnische Möglichkeiten, die die Hochfrequenztechnik in überragender Weise beherrscht.

In den folgenden Zeilen soll versucht werden, einen kurzen Ueberblick über das Gesamtgebiet der Hochfrequenz-Messtechnik zu vermitteln.

1. *Frequenzmessung.* Laut Beschluss der Luzerner „Wellen-Konferenz“ vom Frühjahr 1933 müssen die Abweichungen der sog. Trägerfrequenzen der Rundfunksenden von ihren vorgeschriebenen Werten unter ± 50 Hertz bleiben. Die „Union internationale de Radiodiffusion“ in Brüssel überwacht diese Vorschrift dauernd und verschickt monatlich ihre Messprotokolle an alle interessierten Stellen.

Hohes messtechnisches Interesse brachte die Wellenumstellung nach dem Luzerner Wellenplan in der Nacht vom 14. auf den 15. Januar 1934, galt es doch, die neu eingestellten Senderfrequenzen mit höchster Genauigkeit auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Zur Erzielung der gewünschten Uebereinstimmung zwischen den verschiedenen Mess-Kontrollstellen ist in solchen Fällen ein Zurückgehen auf direkte astronomische Zeitangaben unerlässlich. Grundsätzlich wird folgender Weg eingeschlagen.

Von den sehr konstanten Schwingungen eines piezoelektrischen Quarzes nicht zu hoher Eigenfrequenz werden durch Elektronenröhren-Schaltungen Harmonische erzeugt, die genaue Ganzzahlige der Grundfrequenz darstellen und bei hohen Ordnungszahlen ziemlich nahe beieinander liegen. Es ist leicht festzustellen, zwischen welchen beiden Ordnungszahlen solcher Harmonischer die zu messende Frequenz eingeschlossen ist. Der Frequenzabstand von diesen Grenzen wird durch ein Schwebungsverfahren bestimmt, etwa so, dass die Differenzfrequenz mit der einstellbaren Frequenz eines Tongenerators verglichen wird, wobei die sich bildenden Schwebungen ausgezählt werden; oder so, dass der Quarzfrequenz eine tonfrequente Modulationsfrequenz aufgeprägt wird, wodurch sich bekanntlich Kombinationsfrequenzen bilden, von denen einzelne so nahe an die zu messende Frequenz gebracht werden können, dass wiederum auszählbare Schwebungen entstehen. Das Auszählen der Schwebungen kann im Bereich von 0 bis ± 100 Hertz durch direkt zeigende Instrumente vorgenommen werden, sodass die ganze Frequenzkontrolle automatisch und über beliebig lange Zeiträume vor sich gehen kann.

Der Anschluss des Quarz-Frequenznormals an die astronomische Uhr geschieht durch ein Verfahren, das auch vom theoretischen Standpunkt aus sehr interessant ist. Jede selbsterregte Schwingung ist an nicht-lineare Zusammenhänge zwischen den Strömen und den Spannungen gebunden; es ist z.B. auch der krummlinige Verlauf der Charakteristiken, der die Amplituden begrenzt. Infolgedessen gilt in einem selbsterregten System die einfache additive Superposition mehrerer Schwingungen nicht mehr. Wird ein solches System durch fremde Einwirkung zu erzwungenen Schwingungen angefacht, so tritt ein sehr bemerkenswertes Verhalten ein, sobald Eigenschwingung und erzwungene Schwingung in einem einfachen, rationalen Zahlenverhältnisse stehen. Die Eigenschwingung wird dann mit absoluter Genauigkeit in diesem Zahlenverhältnisse mit der aufgezwungenen Schwingung synchronisiert.²⁾ Auf diese Weise ist nicht nur vollkommen exakte Frequenz-Vervielfachung, sondern ebenso genaue Frequenzunterteilung möglich. In der Regel wird die Quarzschiwingung so gewählt, dass sie durch mehrfache Unterteilung in die Frequenz 1000 Hz oder 333 Hz übergeführt werden kann. An diese Stufe ist ein Synchronmotor mit Uhr oder elektri-

²⁾ Vergl. J. Koga, Proc. Inst. Radio Eng. 15, 669, 1927; W. A. Morrison, Bell Syst. techn. Journ. 8, 493, 1929; H. Winter-Günther, Z. f. Hochfrequenztechnik 37, 39, 1931; N. Kryloff und N. Bogoliuboff: „Ueber einige Methoden der Nicht-linearen Mechanik in ihren Anwendungen auf die Theorie der nicht-linearen Resonanz“, „S. B. Z.“ Bd. 103, S. 255* und 267* (Nr. 22/23, 2./9. Juni 1934, auch als Sonderdruck erschienen).