Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 1 (1946)
Heft: 12

Artikel: Zentimeterwellen, Magnetrons und Radar
Autor: Zickendraht, Hans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-654227

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: 02.01.2026

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

Zentimeterwellen, Magnetrons und Radar

Von Prof. Dr. Hans Zickendraht

In den Heften 2, 3 und 9 von «Prisma» ist der Versuch gemacht worden, die unter dem Sammelnamen «RADAR» zusammengefaßten Erfindungen aus den Gebieten der Hochfrequenztechnik und der Elektroakustik («SONAR») einem weiteren Kreise naturwissenschaftlich vorgebildeter Leser nahezubringen. Von einem näheren Eingehen auf die technischen Einzelheiten konnte dabei naturgemäß nicht die Rede sein. Die endgültige Lösung des Radar-Problemes, das heißt der radioelektrischen Ortsbestimmung ist aber an ein Gerät gebunden, dessen technische Konzeption genial ist und dessen Entstehungsgeschichte einer gewissen Romantik nicht entbehrt, so daß es sich wohl lohnt, auch dem Laien eine Darstellung zu vermitteln, die sich streng an die Tatsachen hält, ohne dabei besondere Kenntnisse vorauszusetzen.

Betrachten wir deshalb einmal die Postulate des Hauptproblems und vergleichen wir mit ihnen die vorhandenen Mittel und Lösungsmöglichkeiten: Wie früher gezeigt, beruht die moderne radioelektrische Ortsbestimmung «RADAR» auf einer im Grunde höchst einfachen Echomethode. Man sendet nach dem entfernten Objekt einen außerordentlich kurzdauernden Impuls elektromagnetischer Wellen, läßt diese am Gegenstand, dessen Entfernung bestimmt werden soll, reflektieren und ermittelt die Dauer des Wellen-Hin-und-hergangs mit möglichst großer Genauigkeit. Da die Wellengeschwindigkeit bekannt, so ist damit auch die Entfernung bestimmt.

Aus diesem Grundgedanken ergibt sich ohne weiteres die Notwendigkeit, einen *Generator elektromagnetischer Wellen* zu schaffen, der möglichst kurzdauernde, dabei aber höchst intensive «Pulse» herzugeben imstande ist. Die Antennenanlagen, die die Wellenimpulse auszustrahlen haben, müssen aus konstruktiven Gründen *klein* sein. Schon dieser Umstand allein fordert also möglichst kurze Wellen, was gleichbedeutend mit möglichst hohen Wechselzahlen (Frequenzen) ist. Aber auch aus andern Gründen muß mit extrem kurzen Wellen, womöglich *Zentimeterwellen* gearbeitet werden. «RADAR» erstrebt ja im Grunde nicht nur eine Ortsbestimmung ferner Objekte, sondern mehr, womöglich eine Art Abbildung der näheren oder ferneren Umgebung des Beobachters. Vom Flugzeug aus wird etwa durch Nebel oder Wolken hindurch die Gestalt des Erdbodens mit den darauf befindlichen Objekten abzubilden gesucht, und da sagt längst eine der klassischen Optik entnommene Erkenntnis, daß die Gegenstände nur dann formgetreu wiedergegeben werden können, wenn die Wellenlängen der abbildenden Strahlen sehr viel kleiner als die darzustellenden Gegenstände sind. Noch weitere Postulate ließen sich hier beibringen, die alle darauf abzielen, vom Generator die Hervorrufung höchster Frequenzen, das heißt kürzester Wellenlängen zu verlangen.

Beim oben geschilderten Echovorgange geht nun aber außerordentlich viel Energie verloren. Starke Impulse verlassen die Antennen, schwächste Echos werden zurückgeworfen. Deshalb muß neben einer «*Bündelung*» der Strahlung nach Art der Scheinwerferwirkung noch eine sehr beträchtliche Energiekonzentration bei jedem ausgestoßenen Puls angestrebt werden. Wie die Lösung dieser Aufgaben gelang, mag der Gegenstand der folgenden Ausführungen sein:

Man hat ungefähr um 1935 in Amerika und in England schon an Radar gedacht und Versuche mit elektromagnetischen Wellen von einigen Metern Wellenlänge angestellt. Wenn sich die elektromagnetischen Wellen mit «Lichtgeschwindigkeit», das heißt mit 300 000 Kilometern Weg in der Sekunde ausbreiten, so sind zu ihrer Hervorrufung Wechselströme von ganz ungeheuren Frequenzen (Schwingungszahlen) erforderlich. Bekanntlich gilt ja:

Fortpflanzungsgeschwindigkeit =
Schwingungszahl mal Wellenlänge

Aus dieser einfachen Beziehung folgt unmittelbar, daß

einer Wellenlänge von 1 km
die Frequenz 300 000 «Hertz»,
einer Wellenlänge von 1 m
die Frequenz 300 000 000 = 300 Megahertz,
einer Wellenlänge von 1 cm
die Frequenz 30 000 Megahertz

entsprechen muß (1 Mega-Hertz = 1 Million «Hertz» = 1 Million Schw. Sek.). Die Technik hatte somit einen Wechselstromgenerator möglichst großer Leistung für Frequenzen von der

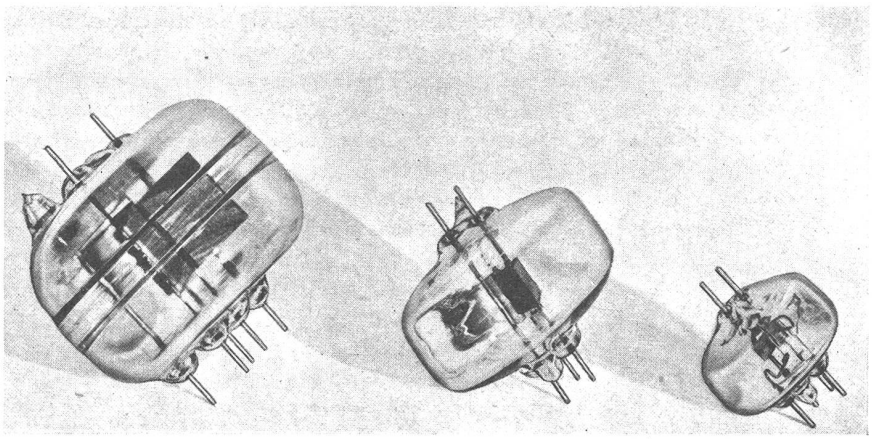


Bild 1: *Drei Glastrioden, wie sie in Amerika vor der Erfindung des Magnetrons zum Senden und Empfang von Meter- und Dezimeterwellen verwendet wurden. – Wir verdanken diese und die folgenden Abbildungen der Liebenswürdigkeit der American Telephone and Telegraph Company New York, die die Erlaubnis zum Abdruck erteilte.*

Größenordnung von Tausenden von Megahertz zu schaffen.

So lange man sich noch im Gebiete von einigen Millionen Schwingungen in der Sekunde bewegte, war das Problem längst durch den Röhrensender gelöst. Telegraphie- und Telephoniesender arbeiten heute dauernd mit Hunderten von Kilowatt auf Frequenzen, die bis in die Gegend von 30 Megahertz hinaufreichen. Verhältnismäßig große Röhren, denen man hohe Belastungen zumuten darf, bewältigen die Aufgabe täglich in ungezählten Sendeanlagen. Immer sind es aber Elektronen beziehungsweise Elektronenschwärme oder Elektronenwolken, die in den Röhren mit den genannten Schwingungszahlen hin- und hergetrieben werden. Geht man nun aber zu immer höheren Frequenzen über, so beginnt ein Umstand eine Rolle zu spielen, der bei niedrigeren Wechselzahlen gar nicht ins Gewicht fällt, nämlich die *Laufzeit der Elektronen*, die Zeit, die zur Zurücklegung der Wege in den Röhren zum Beispiel zwischen Heizfaden und Gitter, zwischen Gitter und Anode, erforderlich ist. Natürlich kann man die Laufzeiten durch Verringern der Röhrendimensionen kleiner machen und die störenden Verzögerungen damit beseitigen oder wenigstens zurückdrängen, aber... die Röhren werden damit kleiner und können schon allein wegen ihrer kleinen Metallflächen und geringen Abständen zwischen Faden, Gittern und Anoden keine allzugroßen Belastungen mehr ertragen. Ganz von selbst sanken also mit der Verkleinerung der Röhren deren Leistungen, ein Umstand, der der Entwicklung sehr hemmend in den Weg trat.

Unser Bild 1 zeigt drei Glastrioden (sogenannte «door-knob-tubes», weil sie Form und Größe von Türknöpfen nachahmen), wie sie in Amerika zum Senden und Empfang von Meterwellen bis hinab zu Dezimeterwellen verwendet wurden, bevor die bedeutend leistungsfähigeren Magnetrons in Aktion treten konnten. Die Glastrioden wurden dabei zu zweien und dreien parallel verwendet, um die Senderleistung zu erhöhen, wie das aus Bild 2 hervorgeht, die einen früher verwendeten Marine-Radar-Sender der Type CXAS mit dem Wellenbereich 4,5 bis 6 Meter darstellt. Die Antenne,

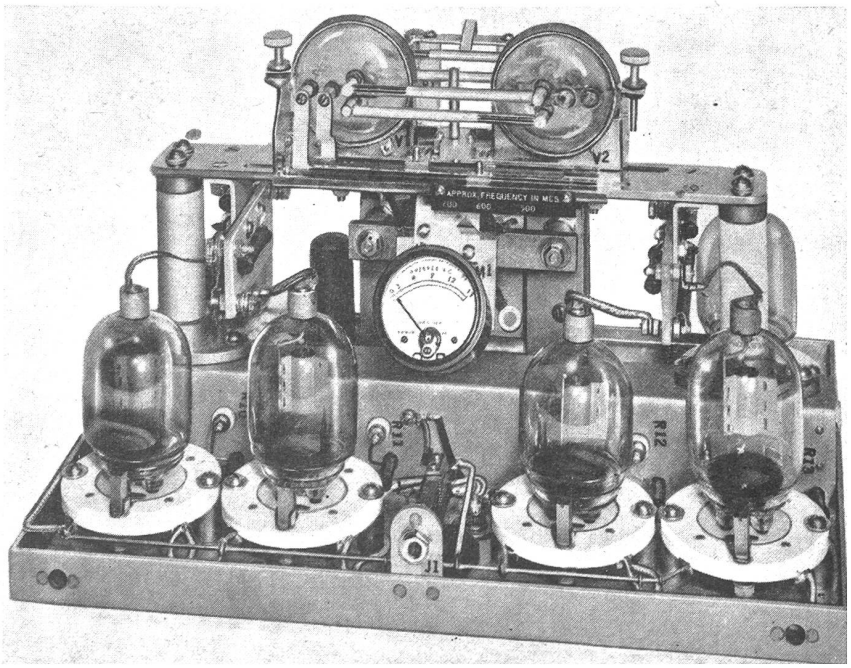


Bild 2: *Einer der ersten Marine-Radar-Sender der Type CXAS mit einem Wellenbereich von 4,5 bis 6 Meter.*

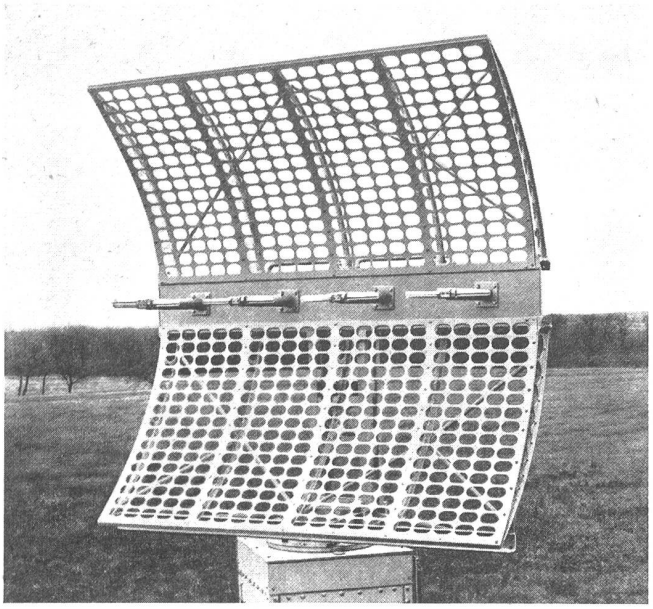


Bild 3: *Die Antenne eines Radar-Senders und -Empfängers. Die vier Dipole sind in der Brennlinie eines Parabelspiegels angebracht, der wegen des Luftwiderstandes durchbrochen konstruiert wurde.*

vier Dipole in der Brennlinie eines wegen des Luftwiderstandes auf dem Schiffe durchbrochenen Parabelspiegels, ist in Bild 3 wiedergegeben. Derartige Radaranlagen haben zu Beginn des zweiten Weltkrieges besonders in der Pacific-Schlacht eine sehr bedeutende Rolle gespielt. Allen Physikern und Ingenieuren war aber damals schon klar, daß die wirklich brauchbare Lösung des Problems nur in *leistungsfähigen Sendern für Zentimeterwellen* gefunden werden konnte.

Im Jahre 1939 und dann 1940, anläßlich der gefährlichen Bedrohung der englischen Inseln, war die Lage recht kritisch geworden; den damals schon hochentwickelten Radargeräten fehlte indessen immer noch der Zentimeterwellengenerator hoher Leistung. Der aber sollte von einer Seite kommen, von der man derartiges zunächst nicht erwartet hätte. In der Zeit des ersten Weltkrieges erhielten *Barkhausen* und *Kurz* in Dresden bei Versuchen mit kleinen Senderöhren, die die berühmte Glasfirma Schott und Genossen in Jena um 1917 hergestellt hatte, unerwarteterweise äußerst hochfrequente Schwingungen beträchtlicher Leistung, deren Wellenlängen etwa einen Meter betrugen. Es zeigte sich dabei, daß diese Schwingungen nicht von den an die Röhren angekoppelten schwingungsfähigen Gebilden, sondern von einem höchst eigenartigen Tanz der Elektronen hin und her um das Gitter, das heißt durch dessen Maschen hindurch herrührte. Bald gelang es den Entdeckern, die Frequenzen dieser «wilden Schwingungen», wie sie die Erscheinung zunächst nannten, aus den Röhrendimensionen mit guter Annäherung zu berechnen und einige aufsehenerregenden Versuche mit dieser neuen Art der Schwingungsanfachung anzustellen, Experimente, die sie im Januar 1920 publizierten. Durch Barkhausen und Kurz angeregt, traten dann viele Physiker mit Varianten der beschriebenen Anordnungen auf den Plan und vermochten bald elektromagnetische Wellen von wenigen Dezimetern Länge dauernd zu unterhalten. Ein Nachteil aber hinderte die unmittelbare Einführung des Verfahrens in die Technik, das war trotz allen Bemühungen die Kleinheit der umsetzbaren Energiemengen. Das Verfahren mußte aufgegeben werden, der Gedanke indessen verblieb.

Dieser bestand also in der Möglichkeit des «*Elektronentanzes*», eines Hinundherschwingens einer Elektronenwolke mit Frequenzen, die in die Milliarden pro Sekunde gingen. Wie aber konnte, hatte man einen derartigen längere Zeit anhaltenden Tanz hervorgerufen, der Elektronenwolke oder schwingenden Raumladung, wie sie der Physiker bezeichnet, Energie entzogen, diese in Form hochfrequenter Wechselströme in Metallkörper gebannt, auf Antennen (Dipole) übertragen und als Dezimeter- oder gar Zentimeterwellen großer Leistung in den Raum ausgestrahlt werden? Das war das schwierig zu lösende Problem, das sich den Physikern stellte, die in Gruppen von Spezialisten geordnet, unter dem gewaltigen Drucke der Kriegsnotwendigkeiten zu arbeiten und auf Befehl zu erfinden hatten. Einige der wissenschaftlichen «Teams», wie man sie sportlich nannte, gedachten der Erfindung der

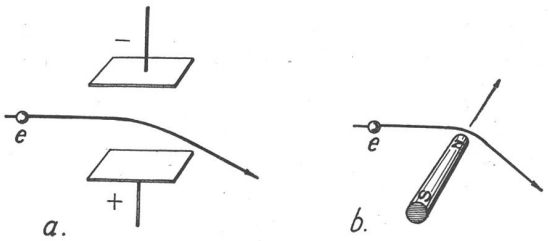


Bild 4: *Abgelenkte Elektronen.* a. *Das Elektron e gelangt in das elektrische Feld der beiden geladenen Platten und wird von ihm aus seiner Bahn abgelenkt.* b. *Das Elektron e gelangt in das magnetische Feld des Stabmagneten und wird aus seiner Bahn abgelenkt.*

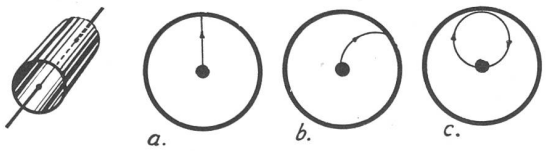


Bild 5. *Diode. Die Figuren a, b und c stellen Querschnitte durch die oben wiedergegebene Diode dar. Ein magnetisches Feld wirke senkrecht zur Zeichnungsebene auf die den Heizfaden verlassenden Elektronen. Bei a ist die magnetische Feldstärke null, die Elektronen gehen radial zum positiv geladenen Zylinder über. Bei b krümmt ein schwaches Magnetfeld ihre Bahnen. Bei c ist das Magnetfeld so stark, daß die Elektronen den Anodenzylinder nicht mehr erreichen können.*

Gebrüder Varian in Amerika. Diese hatten von konzentrierten Kathodenstrahlbündeln ausgehend, diese in Elektronenpakete aufgelöst und mit solchen regelmäßig gesteuerten Elektronenansammlungen hochfrequente Schwingungen in geeigneten Apparaturen, die man «*Klystron*» nennt, unterhalten. Doch auch die Klystrons konnten die gestellte Aufgabe nicht restlos lösen,

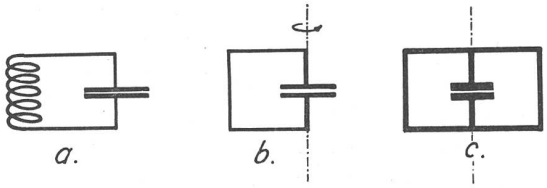


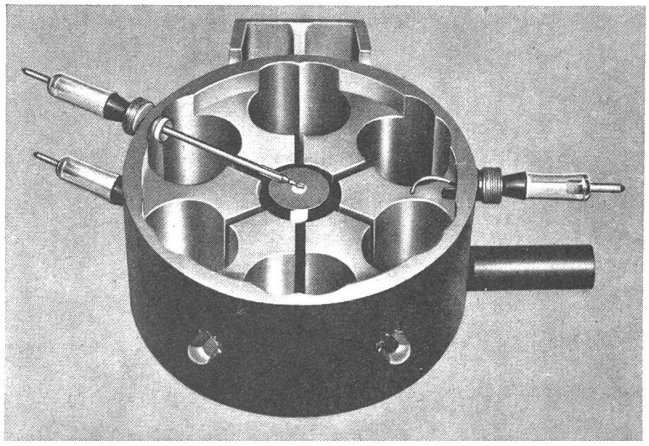
Bild 6: *Schematisch dargestellter Hohlraumresonator. In a ist ein gewöhnlicher Schwingkreis schematisch dargestellt, in b ist die Spule zum einfachen Drahtbügel geworden, der die Kondensatorplatten überbrückt. Dreht man dieses Gebilde um die gezeichnete Achse, so entsteht c ein geschlossener Zylinder, der im Innern einen Kreisplattenkondensator enthält. Es bildet sich so ein Hohlraum-Resonator, der auch Schwingtopf genannt wird.*

obwohl sie sich an andrer Stelle in den Radar-Apparaturen zu halten und zu bewähren vermocht haben. Die heute überragende Methode geht von einem andern Gedanken aus, der schon vor dem ersten Weltkriege gefaßt, sich allmählich Bahn gebrochen und zu der genialen Lösung geführt hat, die wir heutzutage als *Hohlraumresonator-Magnetron* aufs höchste bewundern.

Das *Elektron* ist bekanntlich die kleinste *negative* Elektrizitätsmenge, die unter den bei uns herrschenden natürlichen Bedingungen Bestand hat. Es ist nicht weiter unterteilbar. Seine Masse, unvorstellbar klein, läßt es zu, daß man Elektronen mit sozusagen jeder Frequenz in Schwingung versetzen kann. In einem elektrischen Felde, praktisch gesprochen zum Beispiel zwischen zwei parallelen Platten, von denen die eine negativ, die andre positiv aufgeladen ist, wird es sich, von der negativen abgestoßen, von der positiven angezogen, rasch voran bewegen, wobei im Raume ein elektrischer Strom entsteht. Durch anders gerichtete elektrische Felder läßt sich das Elektron aus seiner Bahn ablenken. Dasselbe kann auch durch ein magnetisches Feld geschehen. In Bild 4 sind die Verhältnisse in Form zweier einfacher Beispiele dargestellt und durch beigefügte Legende erläutert. Stellen wir uns nun eine Anordnung vor, wie sie in Bild 5 wiedergegeben ist: Einen gerade ausgespannten Glühdraht, der, genügend hoch erhitzt, Elektronen aussendet. Um ihn herum einen metallenen Auffangzylinder, der positiv aufgeladen, die Elektronen in radialer Richtung auffängt, so haben wir das Bild der einfachsten aller Elektronenröhren, die sogenannte *Diode* (Zweielektrodenröhre) vor uns. Diese Anordnung bringen wir nun in ein magnetisches Feld, dessen Stärke wir willkürlich verändern können, dessen Richtung aber parallel zur Zylinderachse gewählt sein soll. Das Magnetfeld hat dann die Richtung des geraden Glühfadens und bewirkt, daß die unter Einfluß des elektrischen Feldes radialen Elektronenbahnen sich zu Kreisen biegen, daß die Kreisbogen bei wachsendem magnetischen Feld immer kleinere Radien annehmen und daß schließlich, wie das in Bild 5c dargestellt ist, die Elektronen den Glühfaden verlassen, ringsherum abgelenkt werden, zum Faden zurückkehren und den Anodenzylinder überhaupt nicht mehr treffen. Streng genommen sind die Elektronenbahnen dann nicht mehr Kreise, sondern Zykloiden. Man erkennt leicht, daß auf diese Weise eine Periodizität entsteht, da die Umlaufszeiten der Elektronen für alle gleichgroßen Elektronenbahnen dieselben sein müssen. *A. W. Hull* war wohl der erste, der 1924 diese Anordnung praktisch ausgestaltet und «*Magnetron*» genannt hat.

Auf den Grundgedanken des Hullschen Magnetrons griff man zurück und versuchte, daraus Generatoren für sehr kurze elektromagnetische Wellen zu entwickeln, durchliefen doch die Elektronen ihre kleinen Ringbahnen in so kurzen Zeiten, daß diesen, als Schwingungsdauern betrachtet sehr hohen Frequenzen mithin sehr kurze Wellen entsprechen mußten. Nach Hull kamen in Deutschland *Habann*, in Japan *Yagi* und noch andere Physiker auf den Gedanken, den vollen Anodenzylinder zunächst in zwei, dann in vier und mehr Segmente zu unterteilen, die Funktionen der Magnetrons dadurch günstig zu beeinflussen, die hervorgerufenen Wellenlängen aber mehr und mehr zu verkürzen.

Bild 7 *zeigt den gebohrten Kupferblock eines Magnetrons mit nur sechs gekoppelten Hohlraumresonatoren, den dicken, mit Metalloxyden bedeckten hochemittierenden Heizzylinder in der Mitte zusammen mit seinen beiden Stromzuführungen. Das Ganze hat man sich, oben und unten durch einen dichtschließenden Metalldeckel abgeschlossen und leergepumpt zu denken. Die so entstehende Kupferdose wird nun noch zwischen die beiden Pole eines starken permanenten (oder Elektro-) Magneten gebracht und der langgesuchte Generator ist fertig.*



Man baute also Magnetrons, bestrebte sich, ihre Leistungen so weit wie möglich zu steigern (was durch Erhöhung der Betriebsspannungen, der Elektronenausbeute aus den Glühfäden und der Verstärkung der Magnetfelder geschehen konnte), dabei aber durch Verkleinerung der Dimensionen und Erhöhung der Segmentzahl die Wellenlängen herabzusetzen. So gelangte man zu Geräten für Dezimeterwellen bei einigen hundert Watt Leistung. Aber die Anordnungen wurden unhandlich groß und schwer, ein Umstand, der ihrer praktischen Verwendung sehr hinderlich war.

Wie oft hat sich in der Geschichte der großen Erfindungen gezeigt, daß es nur der glücklichen Kombination zweier an sich bekannter, ja sogar naheliegender Gedanken bedurfte, um eine neue, hervorragende Lösung zu schaffen. So war es auch diesmal. Um 1939 war in der Entwicklung der Radargeräte eine Stagnation eingetreten, weil es am leistungsfähigen Generator für Dezimeter- und Zentimeterwellen gebrach. Da kamen an der Universität Birmingham zwei Physiker *J. T. Randall* und *A. H. A. Boot* auf den genialen Gedanken, eine Variante des Hullschen Magnetrons dadurch für extrem kurze Wellen brauchbar zu machen, daß sie in die Magnetronröhre selbst einen sogenannten *Hohlraum-Resonator* einbauten, der unter Einfluß des elektrischen und magnetischen Feldes zu stabilen intensiven Eigenschwingungen

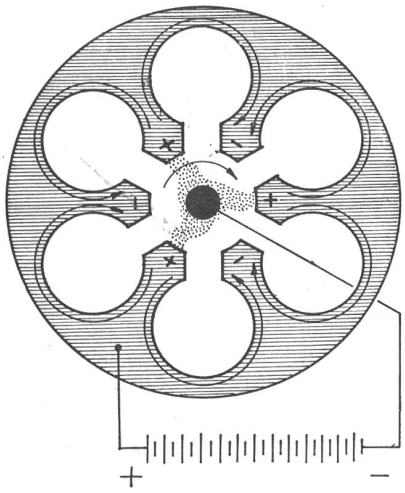


Bild 8: *Schematisch gezeichneter Schnitt durch eine Hohlraumresonatorengruppe.*

angeregt werden kann. Diese Idee lieferte mit einem Schlage die Lösung des Problems und es bedurfte nur noch weiterer technischer Entwicklung und Formgebung, um die modernen Magnetrons mit beinahe unbegrenzter Leistung fabrizieren zu können.

Was ist ein *Hohlraum-Resonator*? Längst wissen wir aus der Akustik, daß der Luftinhalt irgendeines Hohlraumes leicht zu Eigenschwingungen erregt werden kann. Jede angeblasene Flasche, jeder Hohlraum etwa einer Muschel usw. besitzt einen oder mehrere Eigentöne, die leicht hervorzurufen sind. Gleichermaßen können wir aus einem elektromagnetischen Schwingkreis durch einfachste geometrische Umgestaltung einen Hohlraum-Resonator erhalten, der, geeignet gestaltet, sogar hervorragende elektrische Eigenschaften besitzen wird. In Bild 6 ist dieser Vorgang dargestellt und in der Legende erklärt. Elektromagnetische Hohlraumresonatoren können die einfachsten Formen annehmen, so genügt schon ein einseitig geschlossenes Rohrstück aus Metall, eine einfache Bohrung in einem Kupferblock und Ähnliches, um zum Resonator für Dezimeter- oder gar Zentimeterwellen zu werden. Man kann auch eine Folge derartiger Resonatoren in passender Weise aneinanderreihen und erhält geometrische Gebilde, die zum Beispiel der Kammer eines Revolvers ähneln. Diesen Gedanken haben zu Ende des Jahres 1939 Professor J. T. Randall und Dr. H. A. H. Boot von der Universität Birmingham verwirklicht, einen zylindrischen Kupferblock mit acht symmetrisch zur Mitte liegenden Bohrungen versehen, in die Achse eines neunten zentrischen Bohrloches den Heizfaden gelegt, das Ganze in eine Metallkapsel eingeschlossen und so hoch wie irgend möglich evakuiert. Zwischen Heizfaden und Kupferblock legten sie eine hohe Spannung von einigen tausend Volt, das Ganze brachten sie in ein magnetisches Feld, das längs des Heizfadens gerichtet war, und schufen damit das *Hohlraumresonator-Magnetron* (Bild 7, 8), das durch seine hervorragenden Eigenschaften der Radartechnik der vereinten Nationen die endgültige Überlegenheit über die Bestrebungen der Gegner gegeben und ihr zum Siege verholfen hat.

Eine besondere Kommission brachte insgeheim das erste Modell dieses Generators (Bild 7, 8) im Jahre 1940 von England nach Amerika, wo sofort eine intensive Tätigkeit zur technischen Ausgestaltung des für die vereinigten Nationen so ungemein wichtigen Kriegsgerätes einsetzte. Amerikanischer Erfindergeist verbesserte die Magnetrons in kürzester Zeit zu wahren Wunderwerken feinmechanischer Arbeit, schuf große und kleine Modelle für die Kriegsmarine wie für die Luftfahrt und überwand eine Reihe von Schwierigkeiten, von denen sich der nur einen schwachen Begriff verschaffen kann, dem es vergönnt ist, die heute freimütig veröffentlichten offiziellen und halboffiziellen Berichte in den Fachzeitschriften (insbesondere im Bericht über die «Radiolocation Convention» vom März bis Mai des vergangenen Jahres) lesen zu dürfen.

Die elektromagnetischen Vorgänge, die im Hohlraumresonator-Magnetron zur Schwingungsbildung führen, ergeben vereinfacht, aber ohne den tatsächlich sich abspielenden verwickelten Vorgängen irgendwie Gewalt anzutun, folgendes Bild der Arbeitsweise des neuen Generators: Das schematische Bild 8 veranschaulicht einen Schnitt durch die Hohlraumresonatorengruppe, die aus sechs Bohrungen in einem massiven Kupferblock besteht. Im Zentrum befindet sich der glühende Kathodenzylinder, der ohne das magnetische Feld, das senkrecht zur Zeichnungsebene zu denken ist, seine Elektronen radial von der Mitte aus nach dem positiv aufgeladenen Kupferblock senden würde. Nun wirkt aber das Magnetfeld auf die Elektronenbahnen und verwandelt sie, wie wir früher sahen, in Zykloiden, die allerdings in unsrer Abbildung nicht dargestellt sind. Irgendein Spannungsstoß leitet nun den folgenden, höchst interessanten Vorgang ein: Die im Kupferblock enthaltenen freien (Leitungs-) Elektronen beginnen in der im Schema eingezeichneten Weise rings um die Bohrungen hin und her zu zirkulieren, und zwar derart, daß in irgendeinem Augenblick auf der Innenseite des Kupferzylinders eine Aufeinanderfolge von positiv und negativ geladenen Folgepolen entsteht. Die aber wechseln im Takte der rapiden Resonatorschwingungen ihre Vorzeichen und bilden schließlich ein elektrisches Drehfeld, das im Zentrum des Magnetrons mit unvorstellbar hohen Tourenzahlen umläuft.

Dieses elektrische Drehfeld aber spaltet die aus Elektronen aufgebaute Raumladung rings um die zentrale Kathode in eigenartige «Speichen» eines Elektronenrotors und zwingt auch diesen, mit derselben hohen Drehgeschwindigkeit umzulaufen. Durch gegenseitige ausgleichende Wirkung zwischen Elektronenströmen und Resonatorschwingungen wird die ultrahochfrequente Schwingung in den Resonatoren aufrechterhalten und man kann sie nun durch eine Koppelschleife in einer der sechs Bohrungen nach außen abführen. Die elektrische Leitfähigkeit im Kupferblock ist bekanntlich groß, die entstehenden Ströme sind daher sehr kräftig; hat die zentrale Kathode eine große Emission und ist die Spannung zwischen Kupferblock und Kathode hoch, so wird auch die Leistung des Generators beträchtlich sein.

Zum Schlusse sei noch auf einen Schnitt durch ein besonders leistungsfähiges Hohlraumresonator-Magnetron (Bild 9) hingewiesen, das die wesentlichen Teile besonders deutlich veranschaulicht. In der Achse eines mit ringförmigen Kühlrippen versehenen gebohrten Kupferzylinders ist der mit breiten Endflächen ausgestattete zentrale Heizzylinder deutlich erkennbar. Von ihm gehen dichte Elektronenströme aus. Die beiden

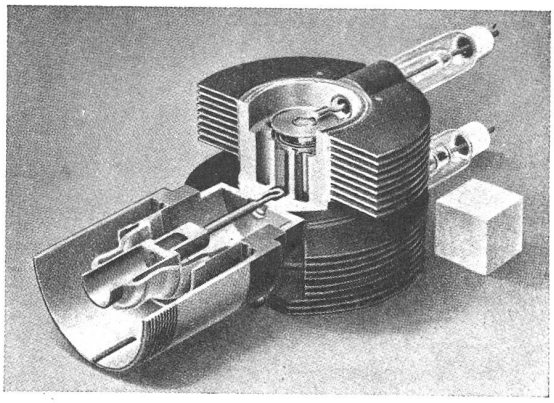


Bild 9: *Schnitt durch ein Hohlraumresonator-Magnetron Wellenlänge 10,7 Zentimeter. Pulsleistung 1100 Kilowat während je einer Mikrosekunde. 500 Pulse pro Sekunde.*

Zuleitungen, die den Heizstrom führen, münden nach hinten in zwei angeschmolzene Glasrohrträger aus. Vorne sieht man, wie die Hochfrequenzenergie von einer kleinen Drahtschleife aus einer der zylindrischen Bohrungen abgenommen und dem Wellenleiter zugeführt wird, der links, halb angeschnitten hervortritt. Die Dimensionen sind aus dem weißen Würfel zur Rechten erkennbar, der 1 inch oder 2,54 Zentimeter Kantenlänge hat. Die abschließenden Metalldeckel oben und unten sind weggelassen, ebenso die Pole des starken Magneten, dessen Feld in Richtung der vertikalen Achse gewählt werden muß. Das abgebildete Magnetron arbeitet auf einer Frequenz von ungefähr 2800 Megahertz, was einer Wellenlänge von 10,7 Zentimetern entspricht. In jedem Puls von einer Mikrosekunde (1 Millionstel Sekunde) Dauer werden mit diesem verhältnismäßig kleinen Gerät 1100 Kilowatt Leistung (!) umgesetzt. Die Spannung zwischen Kupferblockanode und Heizzylinder beträgt 27 000 Volt, eine ungeheure Potentialdifferenz, wenn man den kleinen Abstand der beiden Elektroden bedenkt. Die Stromstärke im Elektronenstrom ist im Augenblick des Wellenimpulses 65 Ampères, in der Sekunde erfolgen 500 Pulse. Als Nutzeffekt der Röhre, das heißt als Verhältnis zwischen umgesetzter Hochfrequenzleistung zur zugeführten Gleichstromleistung geben die Hersteller 68 Prozent, einen sehr vorteilhaften Wert, an. Bisher sind diese neuen Hochfrequenzgeneratoren ausschließlich für Kriegszwecke entwickelt worden. Nun, da die Feindseligkeiten im großen und ganzen ihr Ende genommen haben, wendet man sich der friedlichen Nutzbarmachung zu. Nicht nur lassen sich die hier beschriebenen Geräte, die den Berichten nach zu urteilen, in vielen Hunderttausenden von Exemplaren hergestellt worden sind, für die Sicherung der Seefahrt und der Flugdienste in hervorragender Weise ver-

wenden, sondern sie können an allen den Orten eingesetzt werden, wo Hochfrequenz heute gebraucht wird. Wir denken da an technische Aufgaben, wie die Behandlung von Kunstharzprodukten, an die mannigfachen elektromedizinischen Probleme und an manch andere friedliche Aufgaben, bei deren Lösung die Magnetrons nun bald auftauchen werden. Auch wenn man nicht alles zu glauben geneigt ist, was übereifrige Zeitungen, deren Berichterstatter den ernsten Erfindern und Konstrukteuren oft so erstaunlich überlegen erscheinen, zu erzählen wissen, so steht doch außer Zweifel, daß die neuen Magnetrons eine große Zukunft vor sich haben.

GEHEIMNISSE um den KUCKUCK

Von Werner Haller, Rothrist

Es vergeht wohl kaum ein Jahr, daß nicht in irgendeiner Zeitung von jenem auch heute noch recht mysteriösen Vorgang die Rede ist, wie der Kuckuck sein Ei in ein fremdes Vogelnest legt und wie die Wirtseltern den großen Schmarotzer aufziehen. In einigen Fragen um die Brutbiologie des Kuckucks sind sich die Ornithologen auch heute noch nicht einig. Immerhin wurde im Laufe der letzten Jahre herausgefunden, in welchen Nestern der «Gauch» sein Ei unterbringt. In manchen Gegenden wird fast nur eine Vogelart mit dem Ei «belastet», und daß es für die Wirtsvögel eine Belastung ist, Jahr um Jahr dieses Stiefkind auf Kosten der eigenen Nachkommen großzuziehen, geht schon daraus hervor, daß beispielsweise die Teichrohrsänger-Population eines Schilfstreifens durch ein Kuckucksweibchen im Laufe weniger Jahre nahezu ausgerottet werden kann.

In der Schweiz leben zwei «biologische» Kukkucksrassen nebeneinander. Die Kuckucksweibchen der einen «Stammesgenossenschaft» legen fast ausschließlich in die Nester der Teichrohrsänger, die andere Gruppe legt mehr in die Nester der Rotkehlchen und Weißen Bachstelzen. Dagegen ist das Rotkehlchen bei Leipzig nur ausnahmsweise, in Mähren dagegen wieder fast ausschließlicher Kuckuckswirt. In Finnland ist der Gartenrotschwanz Hauptkuckuckswirt, ein Vogel also, bei dem wir in der Schweiz kaum einmal ein Ei des «Gauches» finden. Das Kuckucksei muß nun in allen diesen Fällen ziemlich weitgehend in der Färbung an das Gelege des Wirtsvogels angepaßt sein. Um beim Gartenrotschwanz zu schmarotzen, muß der Kuckuck blaue Eier legen, für den Teichrohrsänger müssen sie braune Flecken haben und für das Rotkehlchen rötliche Töne aufweisen. Selbstverständlich kennt der Kuckuck die Farbe seiner Eier nicht, sondern er hat sich durch Vererbung auf ganz bestimmte Wirtsvögel spezialisiert. Ein Kuckucksweibchen, das im Nest des Teichrohrsängers aufgewachsen ist, wird in der Regel als geschlechtsreifer Vogel seine Eier auch wieder dieser Art unterzuschieben suchen.

Wie bringt nun der Kuckuck sein Ei ins fremde Vogelnest? Das ist eine Frage, über die noch oft diskutiert wird. *Chance*, einer der besten englischen Ornithologen, berichtet in seinen «Observations on the Cuckoo» (British Birds XII), daß er in mehr als einem Falle gesehen habe, wie sich das Kuckucksweibchen auf das Nest des Wirtsvogels setzte, um sein Ei *direkt* ins Nest zu legen. Weiter schreibt Chance, daß das Kuckucksweibchen schon vor dem Legen seines eigenen Eies ein Ei des Wirtsvogels in den Schnabel nehme, dieses während dem Legen im Schnabel behalte und dann damit fortfliege. Diesen Vorgang hat der englische Gewährsmann in einem Film am Nest des Wiesenpiepers festgehalten. *Jourdain*, ebenfalls ein bekannter englischer Forscher, glaubt sogar, daß der Kuckuck selbst in jenen Fällen sein Ei direkt ins Nest lege, wo dies sehr schwierig erscheine, zum Beispiel bei einem Nistkasten oder einem überdeckten Nest. In diesen Fällen versuche er, die Kloake an die Eingangsöffnung zu drücken und so das Ei ins Innere des Nestes zu befördern. Dieser Ansicht steht die Meinung gegenüber, daß das Kuckucksweibchen sein Ei auf den Boden lege und dann im Schnabel ins Nest befördere. In der Tat wurden Kuckuckseier in