

Prof. Dr. Dr.-Ing. E. h. H. Rukop.

Röhren, Rundfunk und kurze Wellen

Von H. Rukop, K. Steimel und H. Rothe

Röhren, Rundfunk und kurze Wellen — in diesen drei Begriffen sieht heute die breite Öffentlichkeit das Arbeitsgebiet Telefunken ausgedrückt. Der Name „Telefunken“ ist für jedermann aufs engste mit dem Rundfunk verknüpft. Telefunken-Rundfunkempfänger genießen Weltruf durch ihre Qualität und Zuverlässigkeit, Telefunken-Rundfunksender wurden in großer Zahl weit über die Erde hin errichtet, und die Telefunken-Röhren ermöglichten alle diese Wunderwerke der Technik. Dem fachlich Interessierten ist darüber hinaus auch der Anteil unseres Unternehmens an der Kurzwellentechnik bekannt. Er weiß, daß Telefunken von jeher eine der führenden Weltfirmen im drahtlosen Nachrichtenweitverkehr war. Vielen ist bekannt, daß bereits vor 25 Jahren mit Telefunken-Kurzwellen-Weitverkehrsanlagen drahtlose Telefongespräche zwischen Deutschland und Südamerika geführt wurden. Richtfunkverbindung, Navigation, Peilung, Funkmeßverfahren, Fernsteuerung und Fernsehen sind in den letzten Jahrzehnten neue Arbeitsgebiete der Hoch- und Höchstfrequenztechnik geworden, deren Bedeutung und Umfang ständig wachsen und die völlig auf die Elektronenröhre angewiesen sind. Trotzdem bilden — auf das Arbeitsvolumen unseres Unternehmens bezogen — Röhren, Rundfunk und kurze Wellen vorläufig noch den Hauptanteil.

Von der Lieben-Röhre zur Hochvakuumröhre

Sieht man von der Frühperiode (bis 1914) ab, so findet man die Arbeit Telefunken überall auf das engste mit den Elektronenröhren verknüpft. Deren Fortschritte bildeten sehr häufig die Basis und die Voraussetzung für die Fortschritte auf den anderen Arbeitsgebieten. Die Geschichte der Elektronenröhre ist deshalb ein besonders wichtiges Kapitel in der Geschichte Telefunken. In vorliegendem Aufsatz soll neben einer Darstellung der Röhrenentwicklung selbst ihre Wechselwirkung mit der Rundfunk- und Kurzwellentechnik behandelt werden. Ihr Zusammenhang mit den schon genannten Spezialgebieten (Navigation, Funkmeß, Fernsehen u. ä.) wird in anschließenden Aufsätzen geschildert.

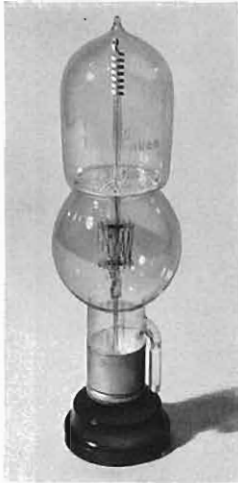


Bild 1: Lieben-Reiß-Röhre (1910). Photo Deutsches Museum München.

Die Technik der drahtlosen Telegraphie durchlief zunächst einige heute ziemlich primitiv anmutende Stufen. Auf der Senderseite waren dies: Knallfunken, Lichtbogengenerator (*Poulsenlampe*), tönende Löschfunken, dann die Hochfrequenzmaschinen verschiedener Systeme (*Goldschmidt*, *Epslein-Graf Arco*, *Alexanderson*), auf der Empfängerseite: Fritter mit Morseschreiber, Kontaktdetektor mit Telefon und bei Empfang ungedämpfter Signale: Ticker, Schleifer und Tonrad.

Die Röhre hat ungefähr ein Jahrzehnt gebraucht, um in der drahtlosen Technik merklichen Einfluß zu gewinnen. Ihre erste Andeutung war der *Fleming*-Detektor im Jahre 1905, welcher auf der einseitigen Glühkathodenemission (*Edison-Effekt*) beruhte. Die grundlegenden Erfindungen für die heutigen Elektronenröhren waren die gesteuerte Glühkathodenverstärkerröhre von *R. v. Lieben* (1906), der Audion-Detektor von *Lee de Forest* (1907) und die gittergesteuerte Verstärkerröhre von *R. v. Lieben*, *E. Reisz* und *S. Strauß* (1910) (Bild 1).

Die Firmen AEG, Felten-Guillaume, S. & H. und Telefunken erwarben die *Lieben*-Patente und gründeten das *Lieben*-Konsortium mit einem gemeinsamen Laboratorium zur Weiterbearbeitung dieser Materie. Dessen erste normalisierte Verstärkerröhre — die „*Lieben*-Röhre“ — hatte eine Glühkathode, Quecksilberdampf-füllung, Steuergitter und Anode und war für damalige Zeiten ein erstaun-

licher Fortschritt der Nachrichtentechnik. Mit dieser arbeitend, schufen Telefunken-Ingenieure grundlegende Erfindungen auf dem Röhrenschaltungsgebiete. *O. v. Bronk* erfand im Jahre 1911 die Hochfrequenzverstärkung (Bild 2), *W. Schloemilch* und *O. v. Bronk* 1913 die Reflexschaltung. Im gleichen Jahr haben *A. Meißner* die Empfangs- und Verstärkungssteigerung durch Rückkopplung und *Graf v. Arco* bereits die Zwischenfrequenzüberlagerung erfunden. Für die Schwingungserzeugung — einerseits zur Empfangsüberlagerung ungedämpfter Signale, andererseits zum Senden selbst — waren die Erfindungen der Rückkopplung von *S. Strauß* (1912) und *A. Meißner* (1913) fundamental. Auf der Senderseite konnte man die Bedeutung des Röhreneinsatzes zuerst einmal im Bau verhältnismäßig kleiner und leichter Geräte erblicken, andererseits aber in der Möglichkeit des Telefoniesendens. Als ein entscheidender Vorteil erwies sich später die Möglichkeit, mit Röhren Sender von wesentlich höherer Frequenzkonstanz als bisher zu bauen.

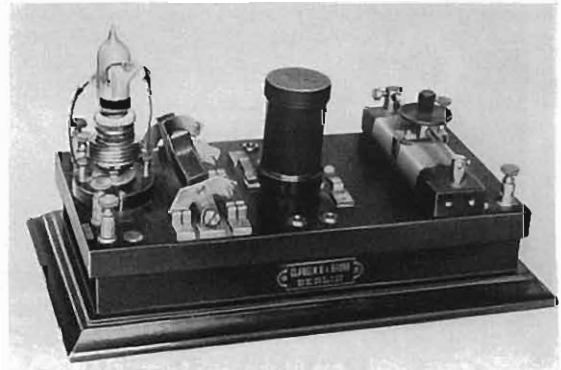


Bild 2: Hochfrequenzverstärker (O. v. Bronk, 1911).

Die Quecksilberdampf-röhre hatte ihre Verdienste als Schrittmacher der neuen Technik. Es zeigte sich jedoch bald, daß von ihr die erforderliche Zuverlässigkeit nicht zu erwarten war, auch nicht — wie lange vermutet — größere Leistungen für Sendezwecke. Telefunken begann daher kurzentschlossen im Mai 1914 eine eigene Hochvakuum-Röhrenentwicklung, deren Leiter *H. Rukop* wurde. Die Entwickler sahen sich in ihrer Neigung zum Hochvakuum durch die ersten Veröffentlichungen über Hochvakuumglühkathoden von *J. Langmuir* und *S. Dushman* in den Jahren 1913—1915 sehr bestärkt. Der spätere Erfolg bewies die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges.

Die Entwickler sahen sich in ihrer Neigung zum Hochvakuum durch die ersten Veröffentlichungen über Hochvakuumglühkathoden von *J. Langmuir* und *S. Dushman* in den Jahren 1913—1915 sehr bestärkt. Der spätere Erfolg bewies die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges.

Röhren für Empfänger und Sender

Die ursprünglich kleine Röhrenmannschaft bei Telefunken (5 Mann) entwickelte zuerst eine Empfangsverstärkerröhre EVN 94 und einen zweistufigen Niederfrequenzverstärker EV 89 (Bild 3) für bewegliche Stationen (Mitte 1914) und begann auch sehr bald mit der Senderröhrenentwicklung. Schon 1915 brachte sie Senderöhren mit einigen Watt Nutzleistung heraus. Eine kleine Fabrikation entstand im Hause Tempelhofer Ufer, und bereits nach zweijähri-



Bild 3: Zweistufiger Niederfrequenzverstärker (1914).



Bild 4: Röhrenfabrik Friedrichstraße (1917 — 1920)

ger Tätigkeit wurde es notwendig, die später sehr bekanntgewordene Röhrenfabrik Berlin, Friedrichstraße 235, einzurichten (Bild 4). Hier gelang es, die Produktion bis auf mehr als 1000 Empfängerröhren und über 100 Senderröhren pro Tag zu steigern. Unter den Senderröhren war die RS 15 mit 1,5 kW Nutzleistung die stärkste normalisierte Type während des ersten Weltkrieges und unseres Wissens damals der Weltrekord (Bild 5). In der Röhrenfabrik Friedrichstraße wurden auch die ersten Muster für Wasserkühlröhren (5 kW Nutzleistung) gebaut (1918) (Bild 6). An der Entwicklung und Fabrikation in den ersten Kriegsjahren waren neben H. Rukop vor allem beteiligt: K. W. Hausser †, A. Bardehle, W. Schloemilch †, Isolde Ganswindt-Hausser †, Gerlind Ganswindt, W. Kossel, O. Reinkober †, G. Wiedmann, O. Dölle †, T. Cobi und die beiden Glasbläsermeister A. Kühne † und K. Froberg †, wirkliche Meister ihres Faches.

Bald nach Beginn war die Röhrenentwicklung durch den ausbrechenden ersten Weltkrieg stark beeinflusst worden. Die Bearbeiter hatten damals alle Hände voll zu tun, die in der Praxis erforderlichen Typen zu schaffen und deren Fabrikation in genügender Stückzahl sicherzustellen. Es blieb ihnen wenig Möglichkeit für grundlegende wissenschaftliche Untersuchungen. Die nachfolgende Periode der Empfängerröhrenentwicklung von etwa 1920—1930 war daher weitgehend damit ausgefüllt, offene Fragen zu klären und die Grundlagen der Röhrentechnik durch systematische Versuche weiter auszubauen. Der zunächst wichtigste Teil dieser Arbeit spielte auf technologischem, insbesondere aber auf dem Kathodengebiet eine große Rolle. Schon 1915 entdeckte man die erhöhte Thorium-Emission. Sie konnte aber damals nicht ausgenutzt werden, weil sie in der ersten Zeit schlecht reproduzierbar war und die grundlegende Klärung noch fehlte. Gestützt auf inzwischen bekanntgewordene Arbeiten der General Electric Comp. wurde die stromsparende Thorium-Wolframkathode systematisch entwickelt und bildete dann einige Jahre lang die am meisten benutzte Kathodenart. Ungefähr zur gleichen Zeit begannen die Arbeiten, die Oxydkathode (Wehnelt-Kathode) auf den Stand zu bringen, der ihre Einführung in die Großserienproduktion erlaubte. Zahlreiche

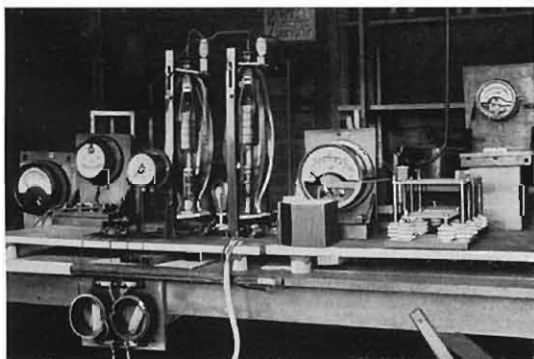
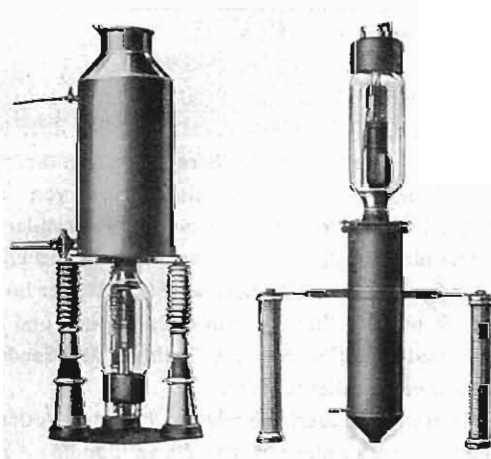


Bild 5: Einer der ersten KW-Sender (POX später A/GA).

Bild 6 (rechts): Wassergekühlte Senderröhren, links mit Siedekühlung (1918), rechts mit Durchflußkühlung (1920).



Typen mit gleichstromgeheizten oxydbedeckten Fadenkathoden ergaben sich daraus. Aber auch schon im Jahre 1923 stellte Telefunken eine Versuchsserie von Röhren mit indirekt geheizten Barium-Oxydkathoden her, um die sich *H. Simon* verdient gemacht hat. Für den Fortschritt der Radiotechnik wurden sie von entscheidender Bedeutung, denn sie ermöglichten den Bau bequemer und billiger Empfänger mit Wechselstromheizung und machten die bis dahin üblichen, sehr lästigen Heizakkumulatoren überflüssig. Als eine Abart der Barium-Oxydfadenkathode wurde die Barium-Aufdampfkathode einige Jahre später eingeführt, die bei Batterieröhren, Endröhren und Gleichrichtern noch bis in die Mitte der 30er Jahre eine merkliche Rolle gespielt hat.

In der Zwischenzeit hatte sich auf organisatorischem Gebiet in der Telefunken-Röhrenentwicklung und -fertigung eine erhebliche Umwandlung vollzogen. Als nach dem ersten Weltkrieg das Wehrmachtsgeschäft aufhörte, aber ein Ersatz, den einige Jahre später der ansteigende Rundfunk bot, noch nicht klar zu erkennen war, wurde die Röhrenfabrik Friedrichstraße im Jahre 1920 geschlossen. Die Weiterarbeit wurde auf dem Gebiet der Empfängerröhren und Senderöhren mit Glaskolben dem Werk Osram A in Berlin, Sickingenstraße, und für das Wasserkühl-Senderrohrengbiet dem Wernerwerk S. & H. übertragen, welches diese Arbeiten zusammen mit denen für medizinische Röhren betrieb. An beiden Stellen richtete aber Telefunken Laboratorien und Prüffelder ein.

Röhren für Rundfunk und kurze Wellen

Auf dem Gebiet der Glaskolbensenderöhren hielt man zunächst noch an dem technologischen Stand fest, der Ende des Krieges erreicht worden war. Die Wolframkathode beherrschte noch längere Zeit das Feld, aber bereits in der zweiten Hälfte der 20er Jahre begann man auch mit der Entwicklung von Senderöhren mit Thorium-Wolframkathode. Telefunken war in diesen Arbeiten führend und brachte als erste Firma Senderöhren mit Thoriumkathoden heraus, die hohe Spannungen aushielten und lange Lebensdauer hatten. Es war sogar möglich, durch den kleineren Heizleistungsbedarf der Thoriumkathoden den Röhren eine solche Emissionsreserve zu geben, daß ihre Lebensdauer wesentlich besser wurde als die der vergleichbaren Röhren mit Wolframkathode.

Einen besonderen Impuls zu einer fortschrittlichen Typenentwicklung auf dem Gebiet der Glassenderöhren gab das Aufkommen der Kurzwellentechnik. Sendeamateure hatten entdeckt, daß das Band zwischen 15 und 100 m Wellenlänge unerwartete Reichweite zeigt (mehrmals um die Erde, wie sich später herausstellte). Dabei war der Leistungsbedarf unvergleichlich viel kleiner als bei den bisher für transozeanischen Verkehr benutzten Langwellensendern. Telefunken setzte daher sofort eine sehr intensive Entwicklung an, den genannten Kurzwellenbereich technisch zu erschließen und für den Nachrichtenweitverkehr und später auch für den Rundfunk nutzbar zu machen. Die Senderöhren für dieses Band brauchten infolge der hohen Blindströme Spezialdimensionierungen, die zu Hartglaskolben mit Molybdändurchschmelzungen und zu coaxialen Anordnungen mit kleinen Kapazitäten im System und kleinen Induktivitäten der Zuleitungen führten (RS 207).

So wie die zufällige Entdeckung der großen Reichweiten der Kurzwellen einen starken Impuls für die Senderöhrenentwicklung abgegeben hatte, so hat umgekehrt bereits zu Anfang der 20er Jahre die Senderöhre die gesamte Sendertechnik entscheidend beeinflußt. Die ersten Röhrensender waren selbsterregte. Dieser Weg schien durch die grundlegenden Erfindungen von *S. Strauß* und *A. Meißner* vorgezeichnet und durch die Analogie zum Poulsensender auch sehr naheliegend. Es schien auch der Weg kleinsten Aufwandes zu sein. Unbefriedigend blieb jedoch diese Senderart in bezug auf Frequenzkonstanz sowie Qualität und Zuverlässigkeit der Modulation.

Rückschauend und mit unseren heutigen Kenntnissen gerüstet ist es fast unverständlich, daß man nicht von vornherein fremdgesteuerte Sender baute. Das Prinzip der Hochfrequenzverstärkung hatte doch bereits 1911 *O. v. Bronk* angegeben. Die Probleme lagen aber hier auf der Senderseite viel schwieriger als auf der Empfängerseite. Die Gefahr der Erregung parasitärer Schwingungen ist bei den Senderöhren sehr viel größer, weil ihre Steilheiten oft die Größe von A/V erreichen, verglichen mit mA/V bei Empfängeröhren. Es mußte deshalb eine eigene Neutralisierungstechnik erarbeitet werden, um überhaupt den Fremdsteuersender möglich zu machen. Die Entwicklung des Fremdsteuersenders ist die Leistung eines unserer führenden Ingenieure *W. Kummerer* († 1941) der im festen Glauben an die Notwendigkeit und den Erfolg dieser Technik mit der ihm eigenen Gründlichkeit und Ausdauer dieses Problems löste. Zu einer eigenen Wissenschaft und Kunst wurde die Technik der Senderneutralisierung durch *Kummerers* engsten Mitarbeiter *W. Buschbeck* weitergebildet.

Der fremdgesteuerte Sender in höchster Vollendung ist der vielstufige quartzgesteuerte. Erst durch seine hohe Frequenzkonstanz wurde die vollständige Ausnutzung des Radiospektrums möglich, was für die weitere



Hardlöten von Senderöhren-Anoden im Röhrenwerk Berlin Sticklingenstraße

Entwicklung der drahtlosen Nachrichtentechnik von größter Bedeutung wurde. Von entscheidendem Einfluß wurde der Fremdsteuersender später für die Entwicklung der Kurzwellentechnik. Nur mit ihm ist es möglich, bei Antennen und Leitungsdimensionen, die mit der Wellenlänge vergleichbar sind, eindeutige Verhältnisse zu schaffen.

Auch das Modulationsproblem bekam durch den Fremdsteuersender ein neues Gesicht. Die vorzügliche Modulierbarkeit des Fremdsteuersenders bot die Möglichkeit, neben dem Telegrafietrieb auch den Telefonbetrieb im drahtlosen Weitverkehr einzuführen. Diese stetige und vor allen Dingen auch klirrfaktorarme Modulierbarkeit war das Fundament, auf dem sich der Rundfunk überhaupt erst entwickeln konnte. Viele Untersuchungen über die beste und wirtschaftlichste Modulationsart wurden in jener Zeit durchgeführt. Telefunken entschied sich nach eingehenden Messungen bei Großsendern für die Anodenspannungsmodulation der Endstufe. In einem Niederfrequenzverstärker gewaltigen Ausmaßes wird die Sprach- oder Musikdarbietung etwa bis zur Nennleistung des Senders verstärkt und zwecks Modulation der Sender-Endstufe zugefügt. Telefunken-Ingenieure, insbesondere auch der langjährige Leiter der Senderentwicklung *W. Kummerer*, erreichten in diesen Entwicklungen Weltspitzenleistungen. Bereits Ende der 20er Jahre wurde zur Erzielung größter Klirrfaktorfreiheit die Gegenkopplung im Großsenderbetrieb eingeführt. Sie war so angelegt, daß sie sämtliche Verzerrungsquellen erfaßte: sie arbeitete von einem an die Antenne angekoppelten linearen Gleichrichter zurück auf eine der ersten Stufen des Niederfrequenzverstärkers.

Der aufkommende Rundfunk gab durch seinen Bedarf an großen Leistungen wieder einen starken Anstoß zur Weiterentwicklung der Wasserkühlröhre, die in Gemeinschaftsarbeit mit dem S. & H.-Röhrenlaboratorium (*K. W. Hausser* und *S. Ganswindt*) durchgeführt wurde. Zwei der dort geschaffenen Typen (RS 300 mit 300 kW Strichleistung und RS 301 mit 400 kW Modulationsspitzenleistung) zeigen höchst bemerkenswerte technische Einzelheiten, nämlich halbbindirekt geheizte koaxiale Tantal- (zeitweise Niobium-) Rohrkathoden mit Außenfederung über Wellrohre.

Pentoden, Hexoden, Mischung und Schwundausgleich

Das kräftige Aufblühen und stetige Wachsen des Rundfunks gab auch der Empfängerröhrenentwicklung neue entscheidende Impulse. In den 20er Jahren hatte — wie bereits erwähnt — der Hauptteil der Laboratoriumsarbeit auf technologische Grundlagen und geeignete Kathodenformen hingeeilt. Auf dem Gebiet der Systementwicklung hielt man sich zunächst zurück, ja man hegte sogar lange Zeit das Ideal, möglichst mit einer „Einheitstypen“ für den gesamten Empfänger durchzukommen. Dabei lagen die Ansätze für mancherlei Systementwicklungen zu verschiedenen Funktionszwecken schon ziemlich weit zurück. Bereits 1915 hatten *J. Langmuir* und unabhängig davon *W. Schottky* die Raumladungsgitterröhre erfunden, die es gestattete, mit kleinster Anodenspannung (schon mit 6 Volt) zu arbeiten. Etwa 1920 wurde eine solche Röhre von Telefunken vorübergehend in Fabrikation genommen, aber sie erwies sich in der Folgezeit als entbehrlich. Größere Bedeutung erlangte die Erfindung der Schirmgitterröhre durch *W. Schottky* (1915), die später durch Kombination mit dem Bremsgitter — erfunden 1926 von *G. Jobst* — zur Pentode erweitert wurde. Die erste Hochfrequenzverstärkerpentode von Telefunken war die RENS 1819. Sie und ihre Nachfolgerinnen wurden ein entscheidendes Element in allen Hoch- und Zwischenfrequenzstufen der Empfänger.

Die Arbeit Telefunks auf dem Empfängergebiet war in den ersten 20er Jahren hauptsächlich auf den Bau von Empfängern für den Nachrichtenweitverkehr gerichtet. Es entstanden die ersten Großempfänger für den transozeanischen Nachrichtendienst, die in ihrer Vielseitigkeit zu den beachtlichsten Leistungen der Nachrichtentechnik überhaupt gehören. In diese Zeit fällt auch eine Ingenieurleistung auf dem Empfängergebiet, die heute jedem Laien zu einer Selbstverständlichkeit geworden ist, nämlich die Einknopfabstimmung des Zwischenfrequenzempfängers, die bereits 1924 von *W. Runge* bei Telefunken angegeben wurde.

Mit der fortschreitenden Ausbreitung und Gütessteigerung des Rundfunks trat in Deutschland zu Beginn der 30er Jahre der Zwischenfrequenzempfänger (meist „Super“ genannt) immer mehr in den Vordergrund. Er bot in seinem Prinzip die besten Voraussetzungen für einen Empfänger hoher Qualität und war späterhin, als der Kurzwellenrundfunk an Bedeutung gewann, entschieden überlegen. Dieser Erfolg war vor allem auf die Entwicklung geeigneter Mischröhren zurückzuführen. Während in den ersten Jahren die Mischung mit irgendwelchen zufällig vorhandenen Röhren, wie Schirmgitterröhren und Raumladegitterröhren, vor-

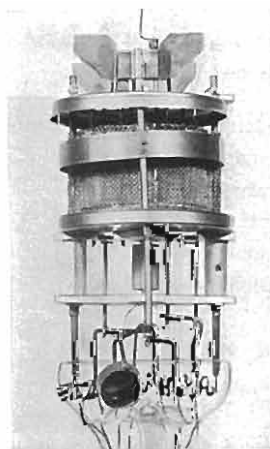


Bild 7: Mischhexode ACH 1.

genommen wurde, was mancherlei Schwierigkeiten brachte, begann im Jahre 1932 bei Telefunken eine systematische Spezial-Mischröhrenentwicklung (K. Steimel). Als erste dieser Röhren erschien im Rundfunkprogramm 1933 die Mischhexode RENS 1224. Die Weiterentwicklung des Zwischenfrequenzempfängers zum vorstufenlosen Empfänger (Mischröhre als Eingangsstufe) führte im darauffolgenden Jahr zur Entwicklung der Schwund-Triode-Hexode ACH 1 (Bild 7). Parallel zur Trioden-Hexoden-Entwicklung kam von Amerika die Entwicklung der Pentagrid-Converteröhre, die auch in Europa in Form der Oktode eingeführt wurde. In mehrjährigem Wettbewerb erwies sich die Triode-Hexode als qualitativ überlegen, während die Pentagridröhre und ihre verschiedenen Nachfolgerinnen sich als etwas leichter fabrizierbar zeigten. Entsprechend den verschiedenen Tendenzen der Rundfunkmärkte beherrschte die erste Röhrenart sehr bald den europäischen Markt, während die zweite in Amerika überwiegend angewandt wurde.

Dem Spezial-Mischröhrenprogramm lag insofern eine neuartige Tendenz zugrunde, als dadurch die Arbeit für den Apparateentwickler vermindert, die Sicherheit und Gleichmäßigkeit der Gerätefertigung gefördert und insbesondere der Bau des Supers so erleichtert werden sollte, daß er auch von kleinen, mit geringerem Entwicklungsaufwand arbeitenden Apparatebauern auf den Markt gebracht werden könnte. Dieses Prinzip erwies sich, obwohl es den Röhrenbau erschwerte und verteuerte, als sehr fruchtbar und wurde allmählich verbreitert. So entstanden die Dioden, die Kombinationsröhren mit Dioden und die Regelröhren. Parallel hiermit ging die Entwicklung verschiedener Kathodenarten für bestimmte Anwendungszwecke, und zwar der indirekt geheizten 4-Volt-Kathoden (A-Serie) für Wechselstrom, der B- und C-Serien für Gleich- oder Wechselstrom (Allstrom) sowie der E-Serie (6,3 Volt), ursprünglich für Autoempfänger gedacht, aber ebensogut für Wechselstrom (Bild 8 a . . . d) verwendbar.

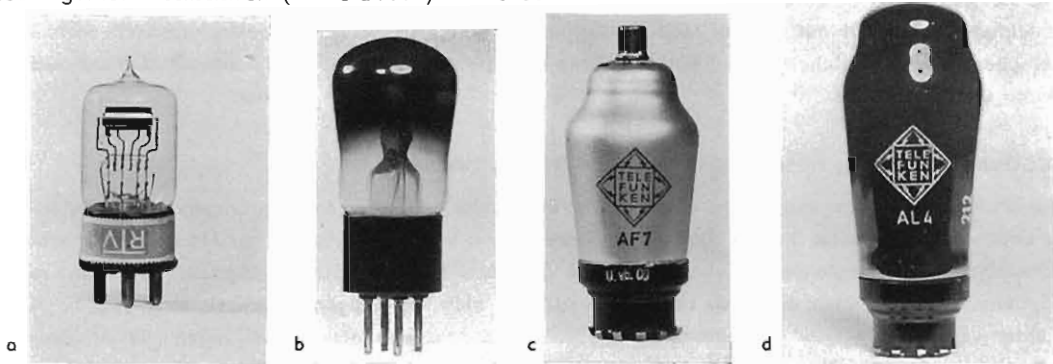


Bild 8: Empfänger und Verstärkerröhren. a) RE 11 (1923), b) RE 144 (1927), c) AF 7 (1935), d) AL 4 (1936).

Gleichzeitig mit den erwähnten Entwicklungsreihen liefen einige technologische Neuerungen, wie z. B. die Bifilarkathode, durch die die indirekt geheizte Röhre erheblich verbessert werden konnte. Ihr Hauptzweck ist die Vermeidung des Heizbrumms und der Störgeräusche, die durch eine zu hohe Temperatur des Heizfadens ausgelöst werden können. Eine andere wichtige Telefunken-Entwicklung dieser Zeit, die auch in der heutigen Röhrentechnik ihre Bedeutung bewahrt hat, war die Einführung der Profilkathode. Es war lange Zeit ein Problem, die günstigste Gitterform zu finden. Bei der bis dahin allein üblichen Rundkathode brachten die Gitterstege erhebliche Störungen des elektrischen Feldes. Profilkathode zur Verbesserung des letzteren bewährten sich fabrikatorisch nicht. Die Profilkathode jedoch gestattete, dem Gitter die aus fertigungstechnischen Gründen günstigste Form zu geben. Sie hat sich sowohl bei Endröhren als auch bei vielen kleinen Senderöhren durchgesetzt (Bild 9).

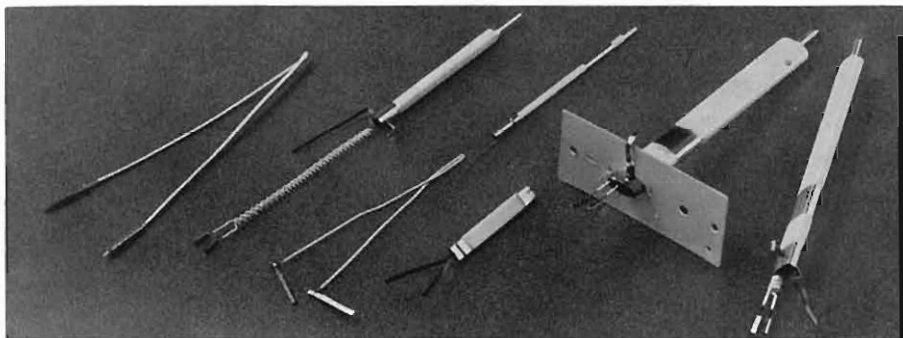


Bild 9: Verschiedene Kathoden. Von links nach rechts: Nickelbandkathode, Rundkathode Bifilarbrenner (Kehrwende, der AF 7), Rundkathode mit Bifilarbrenner (Doppelkehrwendel einer Pico-Röhre), Profilkathode einer Pico-Röhre, zwei Profilkathoden von Endröhren.

Durch Schaffung der vorgenannten Röhrenserien mit ihren dem Bedürfnis des Apparatebauers angepaßten Typen erzielte die Telefunken-Röhrenentwicklung eine gewisse Ruhezeit, die mit intensivster Forschungs- und Vorentwicklungsarbeit ausgefüllt war. Ihre Arbeiten waren zum Teil auf die Ergründung der inneren Röhreneigenschaften (Kennlinienform, Stromverteilung, Rauschen, Laufzeiteffekte, insbesondere Eingangsdämpfung) und zum Teil auf die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Röhre und Schaltung (Mehrdeutigkeit, Frequenzverwerfung, Hochfrequenzverzerrung, Diodengleichrichtung, Endröhrenprobleme) gerichtet. An diesen Forschungsarbeiten waren vornehmlich beteiligt: *H. Rothe, W. Kleen, K. Wilhelm, E. Kettel, J. E. Scheel*. Die Arbeiten fanden zum größten Teil ihren Niederschlag in Aufsätzen der „Telefunken-Röhre“, die damals zu einem angesehenen wissenschaftlichen Fachblatt wurde. Viele dieser Arbeiten bildeten auch die Grundlage zu dem späteren Sammelwerk von *H. Rothe* und *W. Kleen* über „Elektronenröhren“.

Die harmonische Röhrenserie

Gestützt auf diese Vorarbeiten, brachte die Telefunken-Röhrenentwicklung unter Leitung von *K. Steimel* im Jahre 1937 die „harmonische Röhrenserie“ heraus. Sie enthielt eine vollzählige Typenauswahl, die allen Wünschen gerecht wurde. Die Regeleigenschaften waren bestens abgestimmt, und in den Hochfrequenz- und Mischstufen waren die elektronischen Störeffekte — wie Eingangsdämpfung und Frequenzverwerfung — in hohem Maße reduziert. Daneben verkörperte die Serie bei sämtlichen Typen folgerichtig den Grundsatz, alle Zuführungen auf einer Seite anzuordnen. Bis zu diesem Zeitpunkt hatten die Hochfrequenz- und Mischröhren zwecks Verkleinerung der Gitter-Anodenkapazität den Anoden- oder den Gitteranschluß am oberen Kolbenende, eine für den Empfängerbau unbequeme Form. Die Einführung der einseitigen Bauweise wurde damals durch gleichzeitigen Übergang auf den Stahlkolben bei allen Hochfrequenzröhren sehr erleichtert. Die einendige Bauweise hat sich in der Röhrentechnik aller Erdteile außerordentlich schnell durchgesetzt. Bereits ein halbes Jahr später erschienen amerikanische Röhren unter dem später sehr verbreiteten Schlagwort „single ended-tubes“. In den Stahlröhren der harmonischen Serie war noch ein weiteres Konstruktionsprinzip verwirklicht, das bald allgemeine Verbreitung fand, nämlich das „freitragende“ Elektrodensystem, bei dem die Isolierbrücken, die die Gitter und die Kathode halten, selbst von der Anode getragen werden.

In den anschließenden Jahren war die Telefunken-Röhrenentwicklung unter anderem damit beschäftigt, weitere Voraussetzungen zur Verbesserung und Verbilligung der Rundfunkapparatetechnik zu schaffen. Die nächsten Schritte in dieser Richtung waren die V- und U-Allstromröhren mit besonders kleinem Heizstrombedarf. Die V-Röhren (50 m A-Heizung) waren hauptsächlich für den Volksempfänger bestimmt, während die U-Röhren (100 m A-Heizung) in den normalen Allstromgeräten angewandt wurden. In diese Zeit fällt auch die Entwicklung der Kombinationsröhre (Triode + Endpentode), die erstmalig als VCL 11 für den deutschen Kleinempfänger gebaut wurde. Weitere Planungen, die darauf abzielten, im Jahre 1940 den Bau eines Supers in der Volksempfänger-Preisklasse zu ermöglichen, wurden durch den Ausbruch des zweiten Weltkrieges unterbrochen. Dasselbe Schicksal ereilte auch eine Sonderentwicklung auf dem Gebiete der Endröhren für Kraftverstärker. Hier war eine Röhrentype vorbereitet, die es ermöglichte, mit den üblichen Rundfunkbauelementen einen 75-Watt-Verstärker zu niedrigem Preis herzustellen. Die von uns konsequent durchgeführte Politik der Rundfunkröhrenentwicklung, auch die unausgesprochenen Wünsche des Apparatebauers zu erfüllen, hatte zu vollem Erfolg und insbesondere zu einem Vertrauensverhältnis zwischen Röhren- und Apparatebauern geführt. Sie hat auch trotz enormer Qualitätssteigerung eine erheblich sinkende Preisentwicklung im Apparatebau begünstigt.

Fernseh- und Spezialröhren

Die 30er Jahre waren auch die Entwicklungszeit des Fernsehempfängers. Für die Mischstufe der Empfänger war eine Spezialentwicklung noch nicht erforderlich, da das Fernsehen sich damals im 7-m-Band abspielte, in dem die Trioden-Hexoden noch gut brauchbar blieben. An Spezialröhren für den Empfänger war in erster Linie eine Breitbandverstärkeröhre für die Zwischenfrequenz erforderlich. Diese Aufgabe wurde von der Röhre EF 14 gelöst. Ebenso wichtige Entwicklungsaufgaben lagen auch in den Spezialröhren für den Ablenkteil und in der Erzeugung der Hochspannung für die Braunsche Röhre aus der Zeilenablenkspannung vor, wofür die Röhre ES 111 eine besonders interessante Lösung bildete.

Auch auf der Bildröhrenseite wurden schon damals entscheidende Entwicklungen durchgeführt. So wurde von Telefunken-Ingenieuren bereits im Jahre 1939 die Rechteckbildröhre geschaffen. Sie war wesentlich mitbestimmend für den geplanten deutschen Fernseh-Einheitsempfänger FE 1.

Zu Beginn der 30er Jahre begann Telefunken wieder eine eigene Röhrenentwicklung für das Nicht-Rundfunkgebiet. Neben dem Weiterverkehr wurden auch transportable Geräte verschiedenster Art in immer größerer

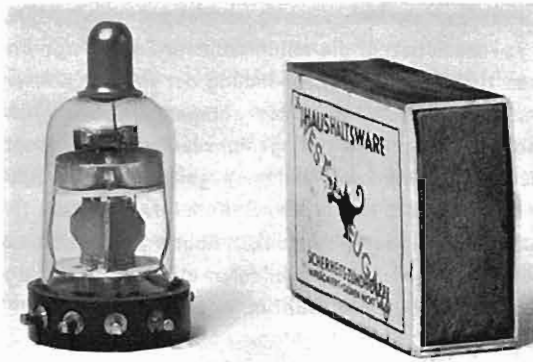


Bild 10: Die Pentode RV 12 P 2000.

bekanntgewordenen Röhre RV-12-P-2000 die gestellten Anforderungen erfüllt seien (Bild 10). Die „Einheitstypen“ blieb aber ein frommer Wunsch, denn daneben wurden doch wieder Röhren für besondere Zwecke verlangt.

In einigen Punkten wirkte sich die Spezialröhrenentwicklung doch sehr positiv aus. Sie veranlaßte in erheblichem Umfang neue technologische Maßnahmen. Die Systeme und Röhrenkolben waren meist merklich kleiner als bei den entsprechenden Rundfunkröhren. Dabei wurden zahlreiche sockellose Röhren (wie heute auch im Rundfunk üblich) geschaf-



Bild 11: Erste Senderöhre in Einendausführung (LS 50).

fen. Eine besondere Rolle spielte — allerdings erst anfangs der 40er Jahre — die Entwicklung einer Kolbennormenreihe, die zwar keineswegs billig war, aber dafür wirklich schwierigste Forderungen gut erfüllte, die man an Röhren für Sondergeräte zu stellen pflegt.

Die gleichen Gründe, die zu der Spezialempfängerröhrenentwicklung geführt hatten, beeinflussten auch die Senderöhrenentwicklung in nicht geringem Maße. Es entstand ein erhebliches Interesse an kleineren und mittleren Typen. Die kleinen Senderöhren konnten in ihrer Technik den Spezialempfängerröhren ähnlich gebaut werden. Für mittlere Leistungen (über 20 Watt) wurde die Pentodenentwicklung bis zu Meterwellen vorwärtsgetrieben. Ein wesentlicher Schritt zur Verbesserung der Kurzwellen-Eigenschaften war die Benutzung einer zweiten Bremsgitterausführung am oberen Kolbenende neben der Anode, wie etwa bei der 800-Watt-Pentode RS 384. Gegen Ende der 30er Jahre wurde die LS 50 (Bild 11) eingeführt, die erste Senderöhre mittlerer Größe (50 Watt) in Einendausführung. Ein weiterer technologischer Fortschritt war die Einführung der Oxydkathode in Außenanodenröhren wie bei der RV 900 (Bild 12).

Die Entwicklung der Wasserkühlröhren war, was den Rundfunk- und Langwellen-

Zahl verlangt. Navigation, Nachrichtenverkehr mit Flugzeugen und Sondergeräte der Wehrmacht erforderten eine den Spezialbedürfnissen angepaßte Röhrenentwicklung, denn hier waren Typen erwünscht, die weniger dem Wandel der Zeit unterworfen waren als die damaligen Rundfunkempfängerröhren. Man glaubte auch, den alten Traum nach der „Einheitstypen“ realisieren zu können. Hinzu kamen noch Sonderwünsche bezüglich der mechanischen Ausführung, wie schnellste Auswechslung und Unempfindlichkeit gegen Stöße. Eine Zeitlang schien es, als ob mit der in sehr großen Stückzahlen gebauten, weit

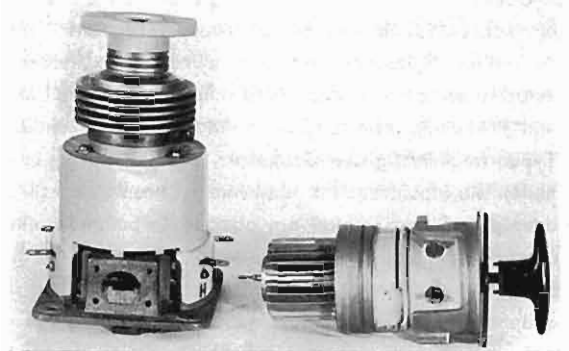


Bild 12: Außenanoden-Röhre mit Oxydkathode (RV 900).



Bild 13: Großleistungsrohre für das Kurzwellengebiet (RS 257).

bereich betrifft, in den 30er Jahren hauptsächlich auf die Verbilligung des Sendebetriebs abgestellt. Eine besondere Bedeutung erlangte die Type RS 366, die für die Bestückung fast aller deutschen und auch vieler ausländischen Rundfunksender benutzt wurde. Nebenher wurde u. a. die Entwicklung von Wasserkühlröhren mit Trägerleistung bis zu 500 kW betrieben. Sie kam aber nicht zu einem Abschluß, da das Interesse des Kunden wieder nachließ.

In dieser Zeit entstand auch der Bedarf an Großleistungsröhren für das Kurzwellengebiet. Hierfür wurde im Osram-Werk A die Röhre RS 257 (Bild 13) entwickelt und für transozeanische Kurzwellensender (Rundfunksender für die Olympischen Spiele in Berlin 1936) in größeren Stückzahlen gebaut. Eine besonders interessante Kurzwellensenderöhre, die allerdings erst anfangs der 40er Jahre fertig wurde, war die RS 564. Sie war die erste Großleistungsröhre mit Thorium-Wolframkathode, hatte eine Trägerleistung von rund 100 kW bei 100%iger Modulierbarkeit und arbeitete mit der bei Thoriumkathoden damals unwahrscheinlich hohen Anodengleichspannung von 12 000 Volt. Ihre Zuleitungen waren coaxial.

Der mit der RS 564 bestückte Kurzwellensender „Marius“ war seinerzeit in Anbetracht des kontinuierlichen Abstimmereiches von 15 bis 90 m Wellenlänge bei schnellstem Wellenwechsel eine Weltbestleistung und wohl auch das Meisterwerk seines Erbauers W. Buschbeck.

Bei Fernsehsendern spielt die trotz der Anwendung von Ultrakurzwellen relativ große Bandbreite eine besondere Rolle. Die für die Senderendstufe zu stellenden Anforderungen konnten durch eine Sonderausführung der Röhre RS 257 mit Thoriumkathode und erhöhter Steilheit erfüllt werden. Daneben waren noch einige Spezialröhren für den Breitbandmodulator erforderlich. Auch an den Entwicklungsarbeiten auf der Studioseite hatte Telefunken in dieser Zeit entscheidenden Anteil. Telefunken-Ikonoskope und -Super-Ikonoskope gestatteten den Bau von für die damalige Zeit hochwertigen Aufnahmeapparaturen. Nachdem mit den von uns gebauten Kameras schon während der Berliner Olympiade (1936) ein öffentlicher Fernsehbetrieb mit Projektionsempfängern in Fernsehstuben eingerichtet worden war, konnten im Jahre 1939 die Heimempfänger in großem Umfang erprobt werden.

Röhren für Dezimeter- und Zentimeterwellen

In den 30er Jahren begannen neben den geschilderten Entwicklungen in größerem Umfang auch solche im Dezimeter- und Zentimeterwellengebiet für Navigation, Richtfunkverbindungen, Radartechnik und Fernsteuerung. Abgesehen von der Magnetfeldröhren- (Magnetron-) Entwicklung, die seit etwa 1935 bei uns lief, bemühten wir uns, auch die normale gittergesteuerte Elektronenröhre für die kürzesten Wellen brauchbar zu machen. Die Probleme waren hier die Kapazitäten und Selbstinduktionen sowie die Laufzeiteffekte. Genauer genommen ist es meist nicht die Kapazität schlechthin, sondern das Verhältnis Steilheit zu Kapazität, das die Eignung einer Röhre für dieses Wellengebiet bestimmt, und das vor allem beachtet werden muß.

Im Kampf gegen die störenden Einflüsse der Elektrodenzuleitungs-Induktivitäten gelangte man zunächst zu flachen Böden mit parallel verzweigten Stiftdurchführungen und dicht am Boden liegenden Systemen, wie sie LD 1, LD 3 und LD 5 aufweisen. Sie hatten Oxydkathoden, wenige Watt Leistung und Grenzwellen bei etwa 20 cm. Ein anderer Weg führte zu Gegentaktröhren mit Schirmgittern, teils auch Bremsgittern, bei denen die Kathoden, die Schirmgitter und die Bremsgitter im Innern kurzgeschlossen waren (LV 4, RS 383 und LS 125 mit 200 Watt Dauerleistung, fremderregt bei $\lambda = 1$ m). Eine weitere Vervollkommnung auf diesem Wege war das Einbringen des Schwingungskreises in den Kolben, das immerhin noch 10% Wellenvariation gestattete und zu einer Type von 100 kW Impulsleistung bei $\lambda = 50$ cm führte (LS 600) (Bild 14). Die letztgenannten Röhren

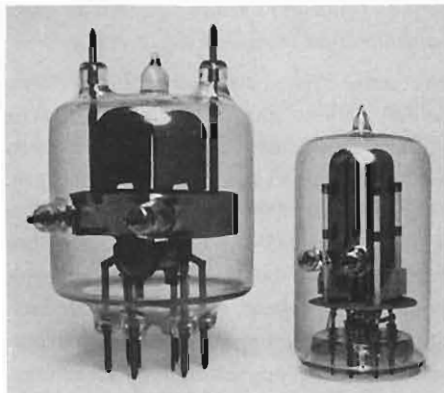


Bild 14: Röhren mit eingebauten Schwingkreisen.

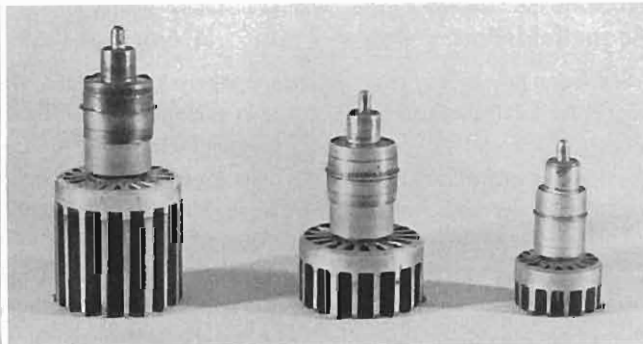


Bild 15: Metallkeramikröhren. Von links nach rechts: LS 500, LD 7, LD 11.

wurden durch *F. Hülster* und *K. Koopmann*† entwickelt. Aus weiteren Versuchen war es zu ersehen, daß ein erheblicher Sprung in der Herabsetzung der Grenzwelle — sagen wir um 1 bis 2 Oktaven — nur durch völlig koaxiale Zuleitungen erzielt werden konnte. Hierfür ergaben sich zwei Wege, die Scheibendurchführung durch Glas und die Metall-Keramiktechnik. In Verfolgung des ersten wurden Kupferscheibendurchführungen in Weichglas sowie auch Kovardurchführungen in Hartglas versucht. Der erste Weg war hauptsächlich für Röhren kleinerer Leistung, der zweite für Röhren größter Leistung gedacht. Es gelang bereits um 1940, nach beiden Methoden sehr brauchbare Dezimeterrohre zu bauen. Die technologischen Schwierigkeiten waren allerdings nicht gering. Die Metall-Keramiktechnik aber, die etwa um 1935 von *H. Pulfrich* begonnen wurde, ermöglichte höhere Genauigkeit im Systemaufbau, insbesondere im Gitter-Kathodenabstand. *G. Tschoepe*† entwickelte nach Auffinden einiger technologischer Kunstgriffe eine Serie von Metall-Keramikröhren. Es gelang, mit den Empfängerröhren LD 10, LD 11, LD 12 auch in das Zentimeterwellengebiet vorzudringen. Die LD 12 arbeitete als selbstschwingender Generator noch bis etwa 7 cm; als fremdgesteuerte Verdopplerröhre lieferte sie eine Leistung von nahezu 1 Watt bei $\lambda = 5$ cm. LD 7 und LD 9 (Bild 15) waren sowohl als Dauerstrichtriode wie auch als Impulsröhren geeignet. In letzterem Falle gaben sie Leistungen von rund 10 kW ab, während ihre Dauerstrichleistungen im Dezimetergebiet bei 200 Watt lagen. LD 9 wurde als Impulsröhre noch bei 9 cm erfolgreich benutzt. In der Praxis arbeiteten die Metall-Keramikröhren hauptsächlich im Gebiete von 20—30 cm.

Die bisher erwähnten Metall-Keramikröhren hatten nahezu ebene, genauer genommen kalottenförmige Elektroden. Es wurden aber auch Röhren mit zylindrischem Systemaufbau entwickelt, die für größere Leistungen bei etwas längeren Wellen mit kontinuierlichem Betrieb geeignet waren. Die erste Type dieser Bauart, die auch in Serienproduktion genommen wurde, war die LS 500. Sie gab bis ungefähr 80 cm Wellenlänge rund 500 Watt Trägerleistung bei kontinuierlichem Betrieb und nahezu 100prozentiger Modulation ab. Eine LS 1000 mit rund der doppelten Leistung lag 1944 in den ersten Entwicklungsmustern vor. Röhren nach diesem Bauprinzip mit noch größeren Leistungen und für kürzere Wellen waren projektiert.

In der Funkmeßtechnik wurden auch Modulatorröhren zur Erzeugung der Impulsanodenspannung für die Generatorröhren benötigt. Dies mußten Röhren mit ungleich höherer Spannungsfestigkeit und hoher Emission sein, jedoch mit sonst normaler Elektrodenform.



Bild 16: Gasentladungsröhre zum Schutze des Empfängers bei Radargeräten (Nullode).

Eine weitere Spezialröhrenentwicklung ergab sich aus Bedürfnissen der Funkmeßtechnik. Dort ist es üblich, Sender und Empfänger an ein und derselben Antenne arbeiten zu lassen. Bei größeren Leistungen sind dann Mittel erforderlich, den Empfänger vor Schädigungen durch den Sendeimpuls zu schützen. Diese Aufgabe wurde durch die „Nulloden“ erfüllt (Bild 16). Röhren, in denen eine vom Sendeimpuls veranlaßte kurzzeitige Gasentladung einsetzt, so daß ein schützender Kurzschluß am Empfängereingang entsteht (*W. Stepp*). Die Entwicklung dieser scheinbar so einfachen

Röhren erforderte eingehende physikalische Untersuchungen über die zweckmäßigste Füllung, denn es war notwendig, die „Entelektronisierungszeit“ — d. h. den Zeitraum, in dem sich die freien Elektronen nach Abklingen des Sendeimpulses an Moleküle anlagern — so kurz wie möglich zu machen. Sie wurden von dem durch seine grundlegenden Arbeiten auf dem Gebiet der Röhren bei höchsten Frequenzen bekannten *Johannes Müller* durchgeführt.

Magnetfeldröhren

Seit vielen Jahren war es den Röhrenphysikern klar, daß bei aller kürzesten Wellen die gittergesteuerte Röhre wegen der Laufzeiteffekte der Elektronen versagen würde. Es war deshalb eine sehr wichtige Frage, welche Art von Röhren (vorwiegend für Schwingungserzeugung) für cm-Wellen brauchbar wäre. Derartige Röhren konnten nur unter Berücksichtigung oder sogar unter spezifischer Ausnutzung von Laufzeiteffekten arbeiten. Die ältesten grundlegenden Erfindungen auf diesem Gebiete waren die *Barkhausen-Kurzröhre* und das *Magnetron*, letzteres erfunden von *A. Zacek* (1923 einanodig). Telefunken entschloß sich Ende der 20er Jahre zur Bearbeitung von Röhren im Laufzeitgebiet und begann Untersuchungen mit beiden Arten. Die zunächst besonders naheliegende Barkhausen-Kurzröhre zeigte aber geringen Wirkungsgrad, so daß man bald zum Magnetron überging, anfänglich noch bei Dezimeterwellen. Mit der Verbesserung der gittergesteuerten Röhren zu immer kürzeren Wellen hin wurde aber das Wellengebiet für das Magnetron stetig verschoben und war bald im Zentimetergebiet angelangt.

Die Telefunken-Magnetronentwicklung unter *K. Fritz* zielte zunächst auf das durchstimmbare Magnetron kleiner Leistung, wie es den Bedürfnissen des Richtfunks entsprach. Die Type RD 2 Md, welche zwischen 9 und 22 cm durchstimmbare war (Bild 17), fand für verschiedene Zwecke größere Verbreitung. Sie hatte eine technologisch besonders interessante Bauform (*K. Goslar*) mit Segmenten aus massivem Thorium, die wenig Zerstäubung zeigten. Frühzeitig begann auch die Entwicklung von elektrisch durchstimmbaren Impulsmagnetrons, und zwar entsprechend den damaligen Anschauungen, daß aus faktischen Gründen alle Sender durchstimmbare sein müßten. Bereits im Jahre 1940 war ein Impulsmagnetron für das Gebiet von 18... 20 cm mit einer Leistung von 8 kW fertig. Da damals das Interesse der Kundschaft an Röhren dieser Art gering war, unterblieben weitere Entwicklungen, obwohl Entwürfe für Röhren mit größeren Leistungen nach dem gleichen Prinzip bereits vorlagen.

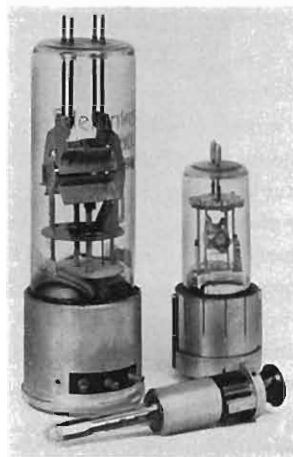


Bild 17: Magnetfeldröhren.

Als in der Mitte des zweiten Weltkrieges die Zentimeter-Radargeräte der Alliierten mit festen Wellen bekannt wurden, ließ man auch in Deutschland von der Forderung nach Durchstimbarkeit ab. In kürzester Zeit wurden deshalb — gestützt auf die bisherigen Magnetronerfahrungen — auch Impulsmagnetrons großer Leistungen im Zentimetergebiet entwickelt. Auch die Technik der Triffröhren (heute meist Klystron genannt) hat Telefunken nach Ankauf des Patents von *O. Heil* in Angriff genommen (1935). Sie erwies sich zunächst als fremdartiger und schwieriger als z. B. die der Magnetfeldröhren. Die leichte Frequenzmodulierbarkeit durch die Reflektorspannung war damals noch nicht aktuell. So kamen nur wenige Jahre später einige Typen von Triffröhren als Überlagerer für cm-Wellen-Empfänger zustande. Entwürfe größerer Röhren waren vorhanden, blieben aber unausgeführt. Neben diesen Spezialentwicklungen waren ebenfalls in den 30er Jahren allgemeiner angelegte Forschungen über Elektronenströmung zur Verstärkung von Zentimeterwellen begonnen worden. Dabei entwickelte insbesondere *M. Geiger* Gedankengänge, die sich mit der heutigen Wanderfeldröhre weitgehend decken. Durch den anwachsenden Tagesbedarf in den Kriegsjahren wurden diese Anläufe aber gebremst.

Nach dem Kriege

Mit Kriegsende brach, wie jede Arbeit bei Telefunken, auch die Röhrenentwicklung jäh ab. Fast alle technischen Hilfsmittel gingen verloren. Naturgemäß wurde, wie nach dem ersten Weltkrieg, wieder eine entscheidende Umstellung des Arbeitsgebietes erforderlich. Gerade die neuartigen Probleme der Hoch- und Höchsthochfrequenz schienen jetzt für Telefunken verschlossen. Das Nächstliegende war, sich für den Anfang auf Rundfunkaufgaben zu werfen; denn dort war in erster Linie mit dringendem Bedarf zu rechnen.

Bereits während des Wiederaufbaues des Röhrenwerkes Berlin wurde mit der Entwicklung von Röhren begonnen, die den neuen Erfordernissen angepaßt waren. Nach der Vernichtung so vieler Fertigungsmittel hielt man die einfachsten Geräte für angemessen, und zwar zunächst einen Audion-Einkreiser. Solche Geräte lassen sich besonders billig mit einer VCL-ähnlichen Röhre herstellen, die aber — wie aus früheren Untersuchungen bekannt war — eine größere Aussteuerungsfähigkeit haben mußte. Deshalb wurde das Triodensystem durch ein Tetrodensystem ersetzt, so daß als erste Nachkriegsröhre VEL 11 erschien. Im Röhrenwerk Ulm, das keine Fertigungsmittel für Stahlröhren besaß, wurden ersatzweise einige Glasröhrentypen geschaffen, die mit den wichtigsten Typen der harmonischen Stahlröhren austauschbar waren, so daß dort eine vollständige Röhrenserie zur Verfügung stand. Einige weitere Ergänzungstypen setzten Telefunken bald in den Stand, die dringendsten Bedürfnisse der Apparatebauer zu befriedigen.

Die wichtigste Sorge auf dem Empfängergebiet nach dem Kriege bestand aber darin, nach dem jahrelangen kriegsbedingten Stillstand in der Entwicklung Rundfunkröhren in einer neuen Kolbentechnik herauszubringen. Der Zug der Entwicklung ging in Richtung kleinerer Röhren, zumal die amerikanischen Miniaturröhren schon vorlagen. Gestützt auf die reichen Erfahrungen, die die Fertigung der Wehrmachtsspezialröhren gebracht hatte, war es bald möglich, die Serie der Picoröhren (Bild 18 a, b, c) und später auch die der heutigen sockellosen Kleinröhren herauszubringen.

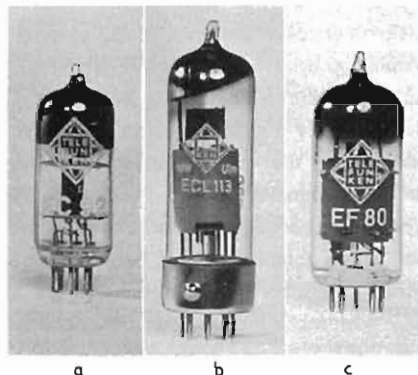


Bild 18: Picoröhren.

Röhren für Ultrakurzwellenrundfunk

Grundlegende Arbeiten, die auch zu einer wesentlichen Umstellung der Technik führten, waren bei den Röhren für Ultrakurzwellenempfänger notwendig. Die für Deutschland sehr ungünstigen Wellenzuteilungspläne zwangen die deutsche Rundfunktechnik, in kürzester Frist das Ultrakurzwellengebiet zu erschließen, um überhaupt wieder einen qualitativ hochwertigen Rundfunk betreiben zu können. Bei Vorversuchen mit den damals zur Verfügung stehenden Röhren zeigte es sich bald, daß die bisherigen Mischröhren (Triode-Hexode) den neuen Anforderungen nicht mehr voll gerecht wurden, während sie bei Lang-, Mittel- und Kurzwellen mit den prozentual großen Durchstimmbereichen von rund 1 : 3 besondere Vorzüge aufwiesen. Im Ultrakurzwellenbereich dagegen ist die relative Breite des Durchstimmbereiches nur rund 10%. Es ist deshalb viel leichter möglich, mit einfachen additiven Mischschaltungen zu arbeiten. Sie haben den Vorteil, daß die Laufzeiteffekte ein Minimum sind. So entwickelte sich, einerseits gezwungen durch die neuen Frequenzforderungen, andererseits erleichtert durch den relativ kleinen Durchstimmbereich bei Ultrakurzwellen, eine neue Röhren- und Apparatechnik, dadurch gekennzeichnet, daß im Ultrakurzwellenbereich additive Mischung, in den Kurz-, Mittel- und Langwellenbereichen dagegen multiplikative Mischung nach dem Trioden-Hexoden-Prinzip angewendet werden. Zahlreiche, im Apparatebau anfallende Probleme wurden bei dieser Umstellung mitgelöst. In diesem Zusammenhang erhielt unser Ingenieur *R. Cantz* den zweiten Preis im UKW-Preisausschreiben des NWDR.

Schwieriger als auf dem Empfängerröhrengelände lagen die Verhältnisse auf dem Senderöhrengelände. Der neu aufkommende Ultrakurzwellenrundfunk benötigte Senderöhren großer Leistungen bei 100 MHz. Hierfür hatten bisher keine Bedürfnisse vorgelegen, denn die militärischen Nachrichtendienste im Ultrakurzwellengebiet hatten im allgemeinen im Gegensatz zum Dezimeter- und Zentimetergebiet geringe Leistungen verlangt. Die technologischen Anforderungen auf dem UKW-Senderöhrengelände sind sehr viel umfangreicher und schwieriger als auf dem Empfängerröhrengelände. Es schien aussichtslos, die Metall-Keramiktechnik für diese Aufgaben wiederaufleben zu lassen; denn sie ist nur interessant für Typen, die in größeren Stückzahlen fabriziert werden sollen. Für kleinste Serien ist ihr Aufwand zu groß. Andererseits müssen aber Senderöhren für Ultrakurzwellen unbedingt mit Scheibendurchführungen ausgerüstet werden. Man griff deshalb auf die in der Zwischenzeit vernachlässigte Technik der Kovarscheiben zurück und entwickelte auf dieser Basis neue Senderöhren. Telefunken konnte auch bald eine Serie von Röhren anbieten, die den Bau der erforderlichen Ultrakurzwellensender ermöglichte.

Bei Senderöhren mittlerer bis großer Leistung vollzog sich gleichzeitig in weitem Umfang der Übergang von der Wasserkühlung zur Gebläsekühlung. Diese Technik, die bereits während des Krieges bei einigen Außenanodenröhren eingeführt worden war, hat manche Vorteile, weshalb sie sich relativ leicht durchsetzen konnte.

Beim Bau der modernen Ultrakurzwellensender drang in den Rundfunksenderbau auch ein neues Schaltungssystem ein, das bereits im Jahre 1925 von *O. Böhm* erfunden wurde und nach längerer Vergessenheit in den Dezimetergeräten mit Metall-Keramikröhren wiederauferstand, nämlich die Gitterbasisschaltung. Sie hat den großen Vorzug geringer kapazitiver Verkopplung zwischen dem Ausgangs- und Eingangskreis einer fremderregten Röhre bei kleinem Bauaufwand.

Im Zusammenhang mit Aufgaben des Dezimeter- und Zentimeterhochfrequenzfunks kann unsere Röhrenforschung und -entwicklung sich nun auch wieder mit Fragen der Dezimeter- und Zentimetererröhrentechnik beschäftigen. Damit hat die Röhrenentwicklung — wenn auch in kleinem Umfang — nach den Beschränkungen der Nachkriegszeit wieder Kontakt zu allen wesentlichen Problemen der Gegenwart auf diesem Gebiete.

Nach einer zwar wechselvollen, im Mittel aber steil aufwärtsstrebenden Entwicklung hat die Technik der Elektronenröhre und mit ihr die gesamte Technik der Röhrenanwendungen — beide zusammen heute Elektronik genannt — eine große Bedeutung erlangt. In einem gesunden Wechselspiel haben sich Röhre und Röhrenschaltung gegenseitig befruchtet. Das Ende dieser Entwicklung ist heute noch nicht abzusehen. Die an sich neutrale Elektronik kann als Helfer zu den verschiedensten Zwecken herangezogen werden. Röhrenschaltungen dienen als wertvolles Instrument zur Verbreitung kulturell wertvoller Sendungen und als Mittel im politischen Kampf, als Navigationshilfsmittel und zur Fernlenkung von Raketen, als Funkmeßgerät zur Verkehrssicherung im Nebel und als Abstandszünder in Geschossen. Möge die weitere Entwicklung der Menschheit einen solchen Verlauf nehmen, daß ein späterer Berichterstatter über die Geschichte der Elektronenröhre und ihrer Schaltungen sich auf die Leistungen dieser Technik für industrielle, nachrichtentechnische und wissenschaftliche, aber friedliche Aufgaben beschränken kann.