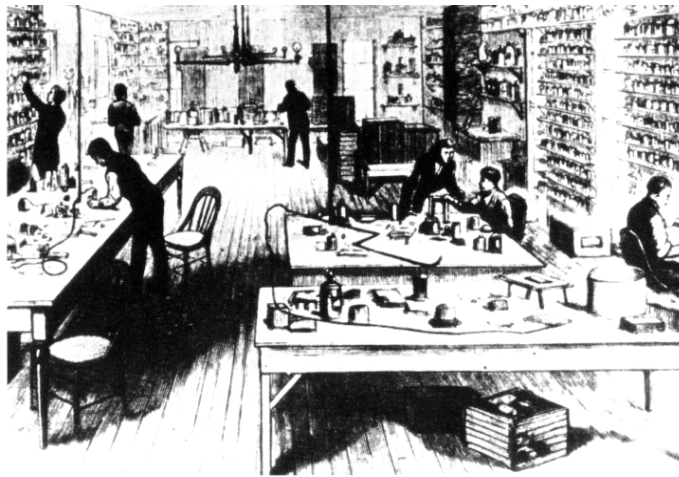


# 1. Ein Jahrhundert Elektronenröhren

Die Röhrentwicklung begann in etwa zeitgleich in den USA und Europa. Die Elektronenröhre trat ihren Siegeszug an, gefördert durch Postverwaltungen mit fernsprechtechnischen Anforderungen, sowie Bedarfsforderungen der Militärs. Wer hätte damals mit Eintritt ins 20. Jahrhundert ahnen können, dass die "Röhren" wenige Jahrzehnte später, ja für fast ein ganzes Jahrhundert, zur Grundlage einer riesigen elektronischen Industrie werden würden, deren Anwendung sich nicht nur auf Nachrichtenwesen beschränkend, sondern fast alle Zweige der Technik erfassen würden!

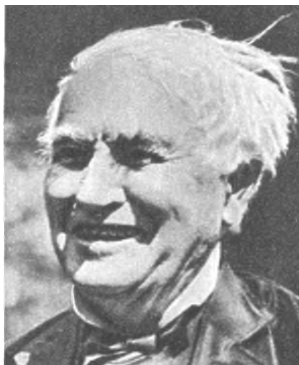
Es begann Ende des 19. Jahrhunderts, quasi als Weiterentwicklung der Kohleglühfadenlampe, als der Amerikaner T.A.Edison auf den Gedanken kam, in der von ihm gebauten Lampe eine blechförmige zusätzliche zweite Elektrode anzubringen, um durch deren Schattenwirkung die Bedampfung des Glaskolbens zu verringern. Dabei stellte er einen Stromfluss zu dieser Elektrode fest, sobald er sie über ein Galvanometer mit dem positiven Ende des Glühfadens ver-



In diesem Laboratorium in Menlo Park, New Jersey, gelang es Thomas A. Edison und seinen Mitarbeitern im Oktober 1879, die erste brauchbare elektrische Glühlampe herzustellen und viele Stunden hintereinander brennen zu lassen.

Die allgemein bekannte Version, die "Edison" als Erfinder der Glühlampe nennt, entspricht wahrscheinlich entgegen umseitiger Expertise doch der Wahrheit, wie ein Herr Dr.H. Rohde in seinen Nachforschungen herausfand.

band. Diese diodenähnliche Spannungsregelvorrichtung ließ er sich 1883 patentieren, ohne sich dann um die gemachten Erkenntnisse und technischen Möglichkeiten weiter zu kümmern. Bereits 1874 hatte W. Hittorf den Stromfluss von einer heißen Katode zu einer kalten Anode in verdünnten Gasen vorausgesagt und 1883 experimentell belegt.



T.A.Edison

Nach einer gewissen Stagnation entdeckte kurz nach der Jahrhundertwende Wehnelt [1903], dass ein mit Metalloxiden bedeckter und geheizter Platindraht deutlich höhere Emissionsströme liefert als ein reiner Metalldraht. Er erkannte eine Ventilwirkung und eine Temperatur- und Spannungsabhängigkeit der Ströme. In seinem Patent vom 15.1.1904 beschreibt er ferner die Zweiweg- und Drehstromgleichrichtung. Im gleichen Jahr kommt A. Fleming als beratender Mitarbeiter auf den Gedanken, wie schon von Lee de Forest und A.Wehnelt empfohlen, die in deren Empfangsstationen unzuverlässigen Kohärer [\* siehe Band I -Kapitel 4 -Lexikon -wurde lange Jahre fälschlicherweise in den Strombauch von Empfangsantennen geschaltet und funktionierte damit nicht optimal, weil sein hoher Widerstand die Ausbildung der Empfangsschwingungen stark dämpfte] durch Dioden zu ersetzen, die er vor der Jahrhundertwende zur Untersuchung des Edison-Effektes eingesetzt hatte und nun erstmals erfolgreich zur Frequenzgleichrichtung Verwendung finden sollten. Diese Dioden kamen aber ebenso wie der schon frühere Kontaktdetektor des Russen Popov nur kurze Zeit zum Einsatz. [1895 Entdecker der elektromagnetischen Wellen,

# Erfinder der Glühbirne anerkannt

Die General Electric Company Ltd. führt einen Prozeß gegen die Bostoner Beacon Vacuum Pump and Electric Company. Dabei kommt heraus, daß ein Mann aus Springe bei Hannover 1854 die elektrische Glühlampe erfunden hat.

Hinter der General Electric Company steckt Thomas Alva Edison. 1892 hat der US-amerikanische Pionier der Elektrotechnik seine zahlreichen Firmen in den USA in einem Großunternehmen zusammengefaßt.

1880 wurde Edison ein Patent auf die Kohlefadenlampe erteilt. In dem Prozeß geht es u. a. um dieses Patent, gegen das die Firma Beacon verstoßen haben soll. Diese behauptet aber, sie produziere ihre Glühbirnen gar nicht nach Edisons Prinzip,

sondern wende das Verfahren von Goebel an. Der ist allerdings völlig unbekannt. Als aber Heinrich Goebel aussagt und vor Sachverständigen noch einmal seine Glühlampen herstellt, wird offenkundig, daß tatsächlich dieser aus Deutschland eingewanderte Uhrmacher die erste brauchbare Glühlampe erfunden hat – und nicht Edison.

Beinahe hätte die Welt nie davon erfahren: Noch 1893 stirbt Heinrich Goebel im Alter von 75 Jahren in New York.



*H. Goebel (r.) vor seinem New Yorker Geschäft*

verbesserte den von E. Branley erfundenen Kohärer [Fritter] und führte 1896 erste Funkübertragung über 250 m mit den Worten "Heinrich Hertz", 1901 über 120 km durch]. Man ersetzte die Dioden durch einen mit gleichwertiger Empfindlichkeit neu erfundenen und mit weniger Aufwand und einfacherem Schaltungsaufbau zu handhabenden Kristalldetektor [F. Braun, 1899]. Im Nov. 1904 meldete Fleming, außerdem Prof. für elektroakustische Ingenieurwissenschaften am University College - London, eine Anordnung unter dem Namen "Oscillating Valve" zum Patent an, mit der sich elektromagnetische Wellen gleichrichten und über Kopfhörer akustisch nachweisen ließen. Dieses erste Glühkatodenventil nutzte den Edison-Effekt [Der evakuierte Raum einer Lampe leitet den Strom, sobald der Glühfaden leuchtet]. Diese Erkenntnis verwendete auch Wehnelt mit seinem Patent vom 15. Jan. 1904 für seinen Gleichrichter. Doch Fleming mit seinen einschlägigen Senderbauerfahrungen nutzte das Verfahren in der HF-Technik als erster. Seit 1899 war er u.a. enger Berater von Marconi und war am Bau einer ersten Funkstation beteiligt, mit der Marconi 1901 durch Nutzung der Erfindung Teslas mit dessen Transformatoren und Schwingkreis, erstmals ein Funksignal über den Atlantik schicken konnte. An eine Verstärkerröhre dachte zu dieser Zeit niemand, man suchte vielmehr nach einem stabilen Detektor. Eine Weiterentwicklung gelang dann doch Lee de Forest, später R. von Lieben, nachdem ein Telefunken Mitarbeiter Namens Brandes 1905 die ursprüngliche Flemingröhre durch Anodenfeldverbesserung empfindlicher machen konnte. Bei Lee de Forest/USA entstand der Wunsch, aus der einfachen Diodengleichrichtung ein steuerbares Stromventil zu machen. 1902 gründete er die "De Forest Wireless Telegraph Co.", 1906 dann die "De Forest Radio Telegraph", und innovativ setzte er als erster und früher Unternehmer einer sich bildenden Branche die Idee einer Vakuumröhre mit Steuerelektrode in die Realität um, wenn auch Q. Majorana fast zeitgleich eine Doppelgitterröhre erfunden hatte. Durch Einfügen einer dritten Elektrode, einem Gitter [Glühkatode als Tantal-faden], hatte er eigentlich einen verbesserten Gleichrichter -Detektor- schaffen wollen. Das Ergebnis, dem er den Namen "Audion" gab, erfüllte aber mehr; es wurde die Grundlage des "modernen" Detektors. Mit dieser Erfindung, die er sich 1907 unter Nr. 841387 als Dreielektrodenröhre patentieren ließ, war im Prinzip die signalverstärkende Triode geboren, obwohl er fälschlicherweise eine Beschaltung wählte, die kaum stromverstärkende Wirkung erbrachte. Erst der Österreicher Lieben erkannte den entscheidenden Vorteil des Steuergitters als steuerbares Ventil für einen größeren Verstärkungseffekt. Trotz alledem, de Forest's konsequente Anwendungsentwicklung führte ihn zum Drei-Elektroden-Röhrenempfänger, auf das er am 18.2.1908 Patenzulassung unter Nr. 879532 erhielt. In der Sendertechnik musste zwar noch mit Lichtbogensender gearbeitet werden, empfangsseitig etablierte sich aber sein aktiver Audionempfänger. Seine Erfindung ermöglichte in New York ab 1912 erste feste Radiosendungen mit Übertragungen aus der Metropolitan Opera, mit zufriedenstellender Empfangsqualität im Nahbereich. Ähnliche Versuchssendungen unternahm in Europa der Däne von Poulsen ab 1902 mit seinem Lichtbogensender im Frequenzbereich 1000 bis 2000 m. Ab 1904 mit weiterentwickelter Selektionsverbesserung und erhöhter Sendeleistung auf 200 W erzielte er brauchbare drahtlose Nachrichtenübermittlung aus seinem Labor in Lyngby nach Berlin und Königswusterhausen. Mit vergleichbarer Sendertechnik wie in den USA standen in Deutschland ab 1906 mit dem Versuchssender Nauen und ab 1907 mit einem Löschfunkensystem von Telefunken [Gesellschaft für drahtlose Telegraphie mbH] leistungsstarke Funksendeanlagen zur Verfügung. Der Maschinensender Nauen wie der Telegrafiesender Königswusterhausen, der bis auf max. 32 kW ausgebaut wurde, erlaubten klare weltweite Langwellenübertragungen bis nach USA und bis in den Äquatorbereich. Ähnlich wie in den USA begannen ab 1908 in Deutschland, von der Firma Lorenz vorangetrieben, mit dem Sender Eberswalde tägliche Ausstrahlungen von musikalischen- und sprachlichen Sendungen; allerdings mit bescheidenerer Empfängertechnik.



G. M. Marconi

Welche Fortschritte aber machte die Röhrenentwicklung in Europa bzw. in Deutschland? Hier schrieb Robert von Lieben Technikzeitgeschichte. Entgegen de Forest setzte er von Beginn an auf signalverstärkende Röhreneigenschaften und dachte dabei primär an eine Verwendung im Telefonfernsprechverstärker. Zur damaligen Zeit waren Ferngespräche über lange Freileitungen durch fehlende Verstärkung der Sprechwechselströme nicht möglich. Erst zwischenzeitig gewonnene physikalische Entdeckungen gaben von Lieben 1906 die Möglichkeit zur Entwicklung seiner ersten und nach ihm benannte "Liebenröhre". Sie war der Grundstock für weitere Verbesserungen. Ihm gelang die Konstruktion eines Röhrengebildes mit emittierender Glühkatode und Anode, einem amplitudenverstärkenden Bauelement. Seine erste Versuchsröhre wurde im Stromfluss magnetisch gesteuert. In Weiterentwicklung und Zusammenarbeit mit E.Reisz und S.Strauss übernahm er ca. 1910, gemäß der Entwicklungen von de Forest und H.D.Arnold /USA, den Einbau eines Steuergitters aus perforiertem Metallblech. Nun hatte man eine gittergesteuerte Verstärkerröhre, mit der sich wirksam und definiert der Stromfluss steuern ließ. Diese Röhre hatte zunächst eine Quecksilberdampf-Gasfüllung. Sie bestand aus einem unteren kugelförmigen Raum, der die Glühkatode enthielt, einem zickzackförmig auf einen Glasträger aufgewickeltem Platinband [1 m lang, 1 mm breit und 0,02 mm stark], das mit einer dünnen Schicht von Bariumoxid und Calciumoxid überzogen war, sowie einem oberen birnenförmigen Raum, der die Anode enthielt [ein ca. 2 cm langer, spiralförmig aufgewundener Aluminiumdraht], vom unteren Raum getrennt durch eine siebartige Aluminiumplatte, dem Gitter. Durch einen Amalgambodenkörper in einem seitlichen Ansatzrohr wurde der Dampfdruck konstant gehalten. Er war abhängig von der Außentemperatur und betrug ca. 0,001 mm Hg bei 20°C. Ein klares Bild über die Wirkungsweise der Liebenröhre lässt sich aus den einschlägigen Veröffentlichungen nicht entnehmen. Die Aufstellung eines solchen wird dadurch erschwert, dass der Spannungsabfall an der Glühkatode [Heizstrom ca. 1,8 A] sich auf etwa 30 V belief, sodass eine leuchtende Entladung zwischen einzelnen Teilen der Katode eintrat und das Gitter-Katodenfeld inhomogen war [Gitterspannung im Betriebszustand positiv gegen das negative Katodenende, Anodenspannung 200...250 V]. Am Gitter bildete sich zur Anode hin ein Katodendunkelraum aus, dessen Dicke mit dem Gitterpotenzial sich änderte. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass mit wachsendem resultierendem Potenzial in der Gitterebene die Anzahl der durch die Gitteröffnungen hindurchtretenden Elektronen [und zwar infolge einer Zunahme der Stromdichte zwischen Katode und Gitter] bis zur Erreichung eines Sättigungsstromes zunimmt. Zur gleichen Zeit führte Langmuir in den USA grundlegende Untersuchungen über Glühkatodenemission durch und stellte fest, dass mit Hochvakuum betriebene Röhren deutlich bessere Eigenschaften vorwiesen. Bereits 1912 hatte Mr. Arnold, Angestellter bei den Western Electric Co. Laboratorium, die die de Forest Rechte erworben hatten, im weiterentwickelten de Forest Audion dessen Brauchbarkeit als Verstärker sowie Wege zur Leistungssteigerung mit Vakuumröhren erkannt. In einer Untersuchung über die Wirkungsweise des Audion konnte er nachweisen, dass der Stromübergang in hoch entgasten Röhren durch das Raumladesgesetz bestimmt wird. Das Patent der Vakuumröhre hatte aber Langmuir angemeldet, das dann Anfang d.J. 1914 auch den deutschen Entwicklungsstellen bekannt wurde. Es war letztendlich der entscheidende Anstoß zur Entwicklung eigener Hochvakuum-Verstärker und -Senderöhren. Nachdem es Coolidge und Gaede [1912] vor allem durch die Erfindung der rotierenden Molekularpumpe, sowie in Weiterentwicklung der Diffusionspumpe (1917) gelungen war, höhere Vakua herzustellen, konnten von nun ab sowohl in Europa wie den USA erst erfolgreiche Röhrenentwicklungen mit sprunghaft besseren elektrischen Eigenschaften hergestellt werden. Als erstes entwickelte Irvin Langmuir von General Electric mit der Plotronröhre eine brauchbare Hochvakuum-Verstärkertriode, die Ende 1913 mit praktischen Tests in einer errichteten Fernsprechverbindung zwischen New York und San Francisco, Verkehrsübergabe zum 1.Januar 1915, erfolgreich ihren Dienst erfüllte. In Deutschland waren zunächst im Jahre 1912 die Lieben Patente von der Patentgemeinschaft AEG, Siemens, F&G und Telefunken



Werbeanzeigen aus den frühen 20er-Jahren

# Audion-Röhren

*beste Qualität*

*liefert*

**Radoröhrenfabrik G. m. b. H.**

Hamburg      Berlin-Friedenau  
 Hammerbrookstraße 93      Niedstraße 5

**SÜDDEUTSCHE TELEFON-APPARATE-  
KABEL- u. DRAHTWERKE A.G. NÜRNBERG**

Telegr.-Adr.: Tekade. / Postschließfach 98

# Radio-

**Verstärker und Sendelampen  
Empfangs- und Verstärker-  
Apparate**

**Kopfhörer - Antennen - Litzen  
Schnüre - Einzelteile**

# Huth-Gesellschaft für Funkentelegraphie

m. b. H.

**BERLIN SW 48**

★

**Drahtlose Telegraphie u. Telephonie  
für Land-, See- und Luftverkehr**

Groß-Sende- und Empfangsanlagen. Kleinnetze für Privatbetriebe, Fahr- und tragbare Stationen, Schiffstationen, Flugzeugbordstationen, Küsten- und Flughafenstationen, Richtempfänger, Richtungsweiser, Anrufvorrichtungen mit Wahlschaltung.

**Apparate nach dem System Huth-Johnsen-Rahbek**

Lautsprecher, Schnellschreiber usw.

**Telephonie von und zu fahrenden Eisenbahnzügen**

für den Betriebsdienst und den Verkehr der Reisenden mit Anschluß an Stadtfernsprechnetze

**Drahtwellen-Telegraphie- und Telephonie**

längs bestehender Leitungen für Elektrizitätswerke, Post u. Eisenbahn, für Verwaltungs- und Betriebsdienst

**Spezial-Abteilung f. Radio-Amateur-Apparate** Einzelteile und Lehrgeräte.

★

**Druckschriften und Angebote auf Wunsch!**

# Radiowerk E. Schrack

**Wien XVIII, Schumannngasse 31**

Telephon: 19773 — Telegramm-Adr.: Audionwerk Wien

*Wir erzeugen:*

## Apparate für drahtlose Telegraphie und drahtlose Telephonie

*Insbesondere:*

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| Röhrensender                     | Verstärker-<br>röhren |
| Antennenempfänger                |                       |
| Rahmenempfänger                  | Senderöhren           |
| Hochfrequenzverstärker           |                       |
| Niederfrequenzverstärker         |                       |
| Wellenmesser                     |                       |
| Erregergeräte                    |                       |
| Kapazitätsmeßbrücken             |                       |
| Präzisionsdrehkondensatoren usw. |                       |

übernommen worden. Im Relaislabor der AEG begannen dann E.Reisz und Strauss in Zusammenarbeit mit der Telegraferversuchsanstalt der Deutschen Reichspost einen Lieben-Röhrenverstärker aufzubauen, der im Nov. des gleichen Jahres im Hauptfernprechamt Berlin für die Leitung Frankfurt/Main nach Königsberg in Betrieb ging. Es war selbstverständlich, dass sich die drahtlose Nachrichtentechnik, die sich bis dahin mit einfachen Detektorschaltungen begnügt hatte, der Röhre annahm, um sie ebenfalls zur Verstärkung der Hochfrequenz nutzbar zu machen. 1913 gelang A.Meissner unter Verwendung einer Liebenröhre eine Rückkopplungsschaltung zur Erzeugung ungedämpfter Schwingungen aufzubauen, Grundlage, um den bereits 1905<sup>m</sup> von Fessenden vorgeschlagenen Überlagerungsempfang in die Praxis umzusetzen. Dies war die Geburtsstunde von Röhrensendern, Rückkopplungsaudion und der meisten Röhrenoszillatoren, denn obwohl 1912 die Maschinensender technisch ausgereift waren, fehlten gute Sende-Empfänger-Einrichtungen für Frequenzbereiche, um auch bei starken Störungen einen sicheren Überseeempfang zu ermöglichen, also ein Verfahren, um mit ungedämpften Schwingungen zu arbeiten. Bislang standen der "Hochfrequenz"-Nachrichtentechnik zur Erzeugung und Verwendung gedämpfter Wellen nur Einrichtungen wie der einfache Hertzsche- bzw. Righische Funkenoszillator, Marconis rotierender Funkenstrecke, Lichtbogengenerator, Wiensche Löschfunkenstrecke oder Hochfrequenzmaschinen zur Verfügung.

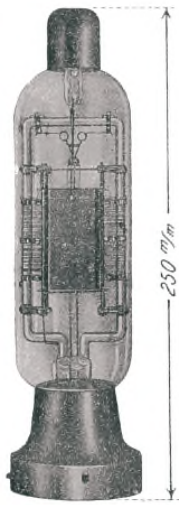
<sup>m</sup> historisch: Weihnachtsbotschaft 1906 eine erste Tonübertragung mit gesprochener Stimme über einen aus Marconis drahtlos Telegraphie von Fessenden weiterentwickelten 1 kW Langwellensenders.

Warum stellten Sendeanlagen mit Röhrensendern einen so außerordentlichen Fortschritt dar? In jener Zeit, wo als Hauptziel die Überbrückung großer terrestrischer Entfernungen und die Verwirklichung der drahtlosen Telefonie zu erreichen galt [obwohl bereits etliche 1000 km Seekabel Europa mit USA verbanden], stand die Herstellung ungedämpfter Wellen und möglichst großer HF-Leistungen im Vordergrund des Interesses. Nur ungedämpfte Schwingungen gestatteten die volle Ausnutzung der Resonanz in Empfängern und damit der selektiven Abstimmung, zwei Vorbedingungen für große Empfangsreichweiten. Als Entwicklungsgrundlage für Rückkopplungssender und -Empfänger griff man auf das Patent von Fessenden zurück, das ein Heterodynverfahren mit zwei Hochfrequenzfeldern beschrieb, wobei sich Interferenztöne ausbildeten. Obwohl es zu Patentstreitigkeiten mit Lee de Forest kam, konnte im Juli 1913 der erste entsprechend konstruierte Röhrensender in Betrieb gehen. Am 18. Oktober gelang dann eine Telegrafieverbindung von Nauen in die USA nach Sayville, was weite Kreise auf die deutsche Glühkathodenröhre aufmerksam machte. Der rückgekoppelte oder fremdgesteuerte Röhrensender brachte somit als Generator ungedämpfter Wellen und mit seiner trägheitslosen Modulierbarkeit der Amplituden, die Errungenschaft der Funktelefonie. Die Erschließung "kurzer Wellen" jedoch verdanken ihr Entstehen innovativer Funkamateuren, die sich dem Verbot Wellenbereiche des amtlichen- und Schiffsverkehrs [das hieß seinerzeit Wellenlängen >100 m] zu nutzen, widersetzten und nach Alternativen suchten. Hier zeichnete sich der argentinische Amateur Braggio durch systematische Versuche besonders aus, denn ihm gelang wider der ungläubigen Fachwelt, der Nachweis der praktischen Brauchbarkeit der Kurzwelle. Der Schlüssel war gefunden! In der Folge entstanden erste "Kurzwellensender" -der Sender Nauen schaffte so mit einem 2 kW Sender auf 30 m in den Nachtstunden betriebssichere Verbindungen über 12 000 km nach Buenos Aires bzw. zur Kolonie Südwest-Afrika, Marconi gar mit einem 18 kW-Sender und Richtantenne funktelefonische Verbindungen über 18 000 km von England nach Australien. In den zwanziger Jahren folgte dann der weltweite Rundfunk und mit Beginn der 30er Jahre sogar erste Fernsehübertragungen.

Zurück im Zeitgeschehen. Als mit Ausbruch des 1. Weltkrieges die deutschen Seekabel gekappt wurden, musste sich die neue Funktechnik bewähren. Mit der Triode stand ein brauchbares verstärkendes Bauelement zur Verfügung, um dem dringenden Verlangen der Befehlsstellen des Heeres und der Marine nach Funk- und Sprechverbindungen zwischen weit auseinander liegenden Orten zu entsprechen. Mit einem Lieben-Einröhrenverstärker in Berlin, gelang es am 7. September 1914 auf über 1200 km langer spulenloser Zweidraht-Freileitung gute Fernsprechverständigung zwischen einem Hauptquartier in Luxemburg und

# frühe deutsche Senderöhren

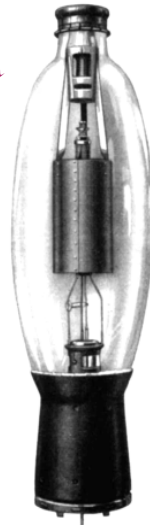
zum Ende des 2. Jahrzehnts



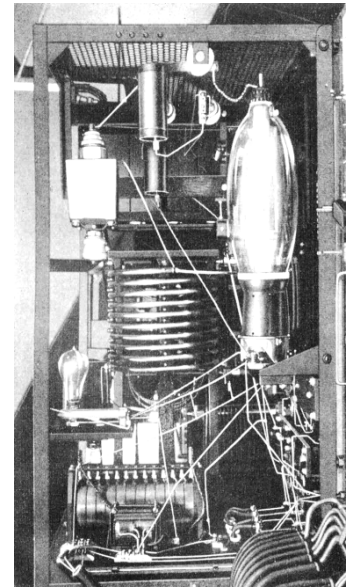
erste 200 W Senderöhrenmuster aus ca. 1916



Telefunken



Röhre RS 15 und



Senderstufe in Gestelleinbau um 1917

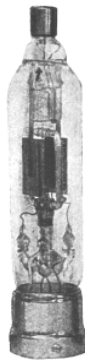
Senderöhren der Firma  
Gesellschaft für Funktelegraphie  
Dr. Erich F. Huth  
der Zeit um 1916 ... 1919



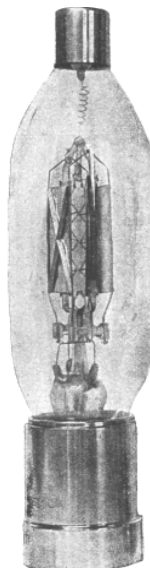
5 W



30 W

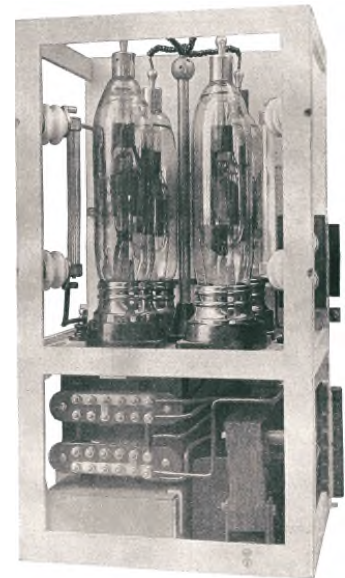


300 W

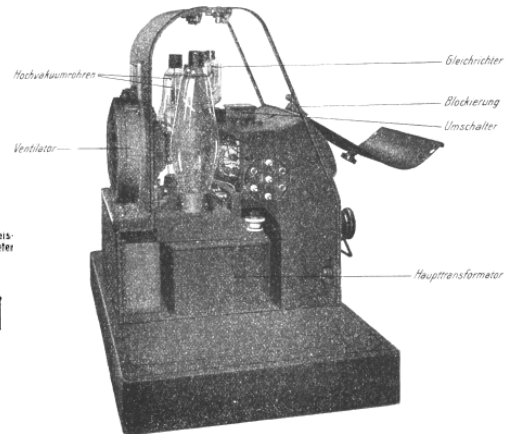
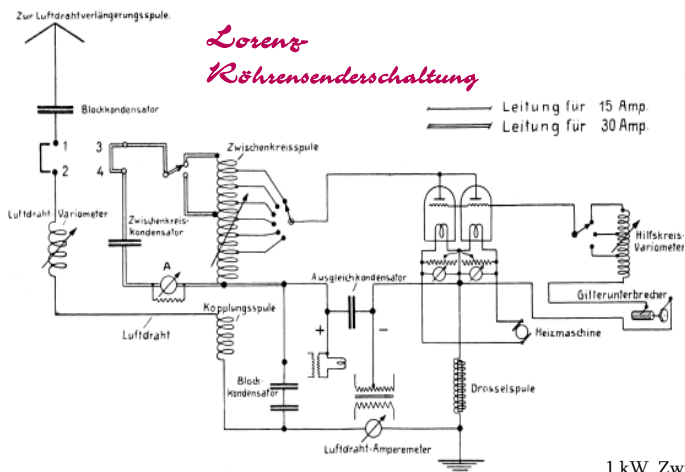


2500 Watt

Höhe 45 cm / Ø 12 cm



1 kW Röhrensender von Huth aus ca. 1917



1 kW Zwischenkreis-Senderstufe für 400...2000 m Wellenlängen

der Hindenburgarmee in Ostpreußen zu erzielen. Mit Umstellung auf Vierdrahtleitung wurden dann 1915, ähnlich wie in den USA, mehr als 3000 km überbrückt. Durch die von Rukop [Telefunken] vorangetriebenen Röhrentwicklungen standen dem Militär ab 1917 brauchbare Senderöhren mit Anodenverlustleistungen bis 20 W zur Verfügung, in zügiger Weiterentwicklung bis 1920 dann Sendeanlagen bis 10 kW Leistung. Vom Mai 1917 bis Anfang 1918 erfolgten geschichtlich gewordene Versuchssendungen von Sprach- und Musikübertragungen an die Westfront. Im zivilen Nachrichtenverkehr erlaubte die fortschreitende Technologie mit dem Sender Nauen ab 1918 weltumspannenden Funk mit Reichweiten bis nach Neuseeland, Südwestafrika oder Südamerika. Im Juni 1922 gelangen erste Faksimile-Übertragungen nach Bar Harbour/USA. Bis 1924 wurde Nauen zum Großsender ausgebaut und eine erste Funklinie nach Argentinien im 70 m Band eingerichtet. 1926 erfolgte die Umrüstung des Senders Königswusterhausen auf Röhrensender. Erste Funkbildübertragungen nach Telefunken-System begannen, woraus ab 1929 mit ständigem Betrieb, der Berliner Bildfunkdienst entsteht. Parallel zur Senderöhrenentwicklung verläuft ab ca. 1914/15 die Empfängerröhrenentwicklung. Mit zunehmendem Wissen in der Herstellung emittierender Glühkatoden und Hochvakua, damit der Herstellung von Röhren mit höheren Verlustleistungen, traten mit steigenden Betriebstemperaturen, ursächlich durch "unsaubere" Katoden-, Gitter- und Anodenwerkstoffe [Wolfram / Molybdän / Eisen / Nickel] ein störendes Nachgasen auf, sodass man die Einzelteile vor der Montage mit einer Vorentgasung im Glühofen behandeln musste. Erste Hochvakuumröhren, die sich zur drahtlosen Nachrichtenübermittlung eigneten, lieferte u.a. Telefunken [Entw. Lab. H. Rukop] 1914 mit den Typen EVN 94 und EVN 171 bzw. ca. 1916 mit RE 11 und RE 58. Aber auch Firmen wie C.H.F. Müller, die Laboratorien von Prof. Seddig, Huth und anderer konnten schon leistungsfähige Empfänger- und Senderöhren liefern. Die Firma Seddig wurde gar 1916 vom Kriegsministerium beauftragt, in Würzburg eine Fabrik einzurichten, um Elektronenröhren für Sender und Verstärker zu entwickeln und herzustellen. Um beständigere Vakua und Lebensdauererweiterung der Röhren zu erzielen, galt es für die Elektroden wie für die Gläser gasungsfreie Werkstoffe zu finden. Dies führte einerseits dazu, dass Hochvakuum erschmolzene Eisenlegierungen mit Nickel/Chrom/Kobalt oder Mangan/Titan bzw. Beryllium hergestellt wurden. Außerdem verwendete man bei Leistungs- und Senderöhren, deren Anodenbleche in Rotglut betrieben wurden, Tantal oder zirkonisierte Bleche, die in diesem Zustand die Eigenschaft besitzen, Restgase zu absorbieren und beständig zu binden. Erstmals verwies dann Dr. Erich F. Huth 1917, als Ersatz für Glühentgasung auf Entgasung von außen durch Hochfrequenzerhitzung hin, die ab 1923 zur Getterung mit Magnesium als Fangstoff zur Restgasbindung führte. Doch andere Anforderungen mussten vorher geschaffen werden. Ca. 1916 erkannte man den Einfluss des Glases für die Höhe des in der Röhre erreichbaren Vakuums. Zunächst hatte man historisch bedingt, wie bei Glühlampen mit Quetschfuß üblich, weiche Bleigläser verwendet. Seddig wählte mit Gundelachglas höherwertigere Qualität, mit dem Ergebnis Röhren mit Rauscheigenschaftsverbesserungen fertigen zu können. Allgemeine Brauchbarkeitsversuche führten zur Verwendung von Thüringer Glas, Magnesiumgläsern, bis schließlich zu den höherschmelzenden Magnesium-Aluminium-Borosilikaten, dem Molybdänglas, den Hartgläsern. Diese Entwicklungen von Schott, Telefunken und Siemens & Halske liefen im kriegsabgeschotteten Deutschland fast zeitgleich zu Entwicklungen im Ausland, initiiert durch den amerikanischen Chemiker Langmuir -hier führte es zu den NONEX Gläsern. Zur Fortentwicklung der Röhren mit Verbesserung der Verstärkerwirkung war es naheliegend, weitere Gitter in den Raum zwischen Katode und Anode einzuführen, wie dies bereits 1913 von Langmuir bzw. 1915 von W. Schottky vorgeschlagen worden war. Für eine Übergangszeit baut man zunächst zwischen Steuergitter und Katode ein pos. vorgespanntes Hilfsgitter ein, das so genannte Raumladegitter. Mit ihm ließ sich die emissionsstrombremsende Wirkung der von der Katode emittierten und in der Raumladewolke angereicherten Elektronen zu einem guten Elektronenfluss zur Anode bringen. Durch Weiterentwicklung verlor die Raumladeröhre

dann aber bald an Wichtigkeit, denn die Röhren ließen sich nun mit höheren Anodenspannungen betreiben und durch Einfügen eines zweiten Gitters zwischen Steuergitter und Anode, positiv vorgespannt, wird eine zusätzliche Elektronenbeschleunigung erreicht. Als Niedervoltröhre für Anodenspannungen von 6, 12 V bzw. 48 V erlebte die Raumladeröhre jedoch in den Endvierziger und fünfziger Jahren noch einmal für kurze Zeit Beachtung, bei Röhren für Flugzeug-Bordelektroniken bzw. für Autoradios [EF 97/98, ECC 86, ECH 83..], um gewichtige Spannungsumformer [Wechselrichter] einzusparen. Durch Einbau eines zusätzlichen 2. Gitters durch Schottky ca. 1915, dem Schirmgitter, entstand die Tetrode. Schottky erzielt damit eine deutliche Verstärkungssteigerung und außerdem eine Verringerung der Anodenrückwirkung auf das Steuergitter. Allerdings machten sich unerwünschte Sekundärelektronen bemerkbar. Als Empfängerröhre konnte sich dieser Röhrentypus dann erst ab 1923/24 durchsetzen. Mit Einfügen eines als Bremsgitter arbeitenden dritten Gitters [Erfinder Dr. Günter Jobst, Pentodenpatent DRP 608 293 von 1931], positioniert zwischen Schirmgitter und Anode, wird die Unterdrückung des Sekundärelektronenstromes erreicht. Weil der  $G_1$  gesteuerte Anodenstrom im Arbeitspunkt nun unabhängig von der Anodenspannung ist, werden Verzerrungen und durch sich einstellende fallende Kennlinie Schwingneigungen eliminiert. Bei der so erschaffenen Fünfpolröhre, der Pentode, wirkt das 3. Gitter wie ein statischer Schirm zwischen Anode und Schirmgitter, ohne die von der Katode zur Anode beschleunigten Elektronen zu behindern. Die langsamen Sekundärelektronen werden aber von dem gleich ihnen negativem Gitter 3 abgebremst, können nicht zum Gitter 2 gelangen und kehren von der Anode angezogen, zu dieser wieder zurück. Zusätzlich erhöht das Bremsgitter den Innenwiderstand der Röhre. Im Jahre 1927 wird Philips mit seiner Pentode B 443 erster Hersteller dieses neuen Röhrentyps, Amerika kann erst drei Jahre später nachziehen. Anfang der 30er Jahre, obwohl in Frankreich seit 1928 ein Patent besteht, folgt mit der Sechspolröhre, der Hexode, der nächste Entwicklungsschritt. Sie wurde [K. Steimel 1932] insbesondere für Anwendung als regelbare HF-Röhre entwickelt, findet aber später als doppelt steuerbar zum Mischen zweier Frequenzen [z.B. AH1], wie dies beim Super notwendig ist, Verwendung. Die zeitgleiche Weiterentwicklung zur Siebenpolröhre, der Heptode, mit einem zusätzlichen 5. Gitter -das Bremsgitter liegt auf Katodenpotenzial-, findet besonders in amerikanischen Radio-Empfänger-Mischstufen Anwendung, z.B. ab 1933 mit der 2A7, später 12A8G oder EK 90. Mit dem Jahr 1932 erscheint bei Valvo eine neue Röhrenserie mit Außenmetallisierung, die "Goldene Serie", mit dem Zweck Hf-Einstrahlungen wirkungsvoll abzuschirmen, sowie die Rückwirkungskapazität zwischen Anode und Gitter zu verringern. 1934 stellt Philips zunächst mit der [AK 1] -gefolgt von Telefunken mit [EK 1]-Achtpolröhren, die Oktoden vor. Dieser Röhrentyp in funktioneller Verkettung aus Triode [zur Schwingungserzeugung], eines Schirmgitters und einer Pentode [zur Mischung] erlangt für kurze Zeit Bedeutung als Mischröhre in Batteriesuperhets. 1938/39 bringen Philips, Mullard und Tungstam mit der EK 3 eine Spezialoktode heraus, die Beam-Oktode, die jedoch unbedeutend bleibt. Für alle Mehrgitterröhren gilt, Steuer- und Bremsgitter sind negativ vorgespannt bzw. haben allenfalls Katodenpotenzial; alle Schutz- oder Schirmgitter liegen auf positivem Potenzial. Die Röhre mit der höchsten Anzahl Elektroden ist die Nonode oder Enneode, außer Katode /Anode versehen mit je drei Steuer- und drei Schirmgittern. Sie wurde [als Rimlock EQ 40 oder in Noval EQ 80] in den Endvierziger Jahren eigens für UKW Demodulatoren frequenzmodulierter Signalübertragungen entwickelt.

Parallel zu den konstruktiven Entwicklungen versuchte man schon sehr früh die elektrischen und physikalischen Eigenschaften in ihren Abhängigkeiten zu verstehen, zu interpretieren und in mathematische Zusammenhänge zu bringen. In den Jahren 1915 bis 1920, mit den geschaffenen Voraussetzungen für ein breiteres Anwendungsfeld der Röhre in Sender-, Verstärker- und Empfängeranwendungen, zur Schwingungserzeugung und Modulation wurde es eminent wichtig, die Zusammenhänge konstruktiver Röhrengestaltung und schaltungsbedingter funktioneller Abläufe theoretisch und mathematisch zu definieren. Also mussten Auslegungen für Steilheit, Durchgriff, des inneren Widerstandes, Verstärkungsfaktor, Güte

und Kennlinienverläufe mathematische Zusammenhänge gefunden werden. In diesem Zusammenhang sind Namen wie C.D Child [1911], Hendrik van der Bijl [1914], Schottky, Langmuir, J.CI Maxwell, M Abraham, Miller, King, Vallauri, H.D. Arnold oder Barkhausen<sup>\*\*</sup> zu nennen. Besonders Barkhausen zeichnete sich mit seinen 1919 erstmals veröffentlichten Röhren-Kenngrößen-Definitionen und didaktischen Schriften über die Grundlagen von Elektronenröhre aus, doch vor ihm wurden diese Erkenntnisse bereits im Jahre 1914 von dem Südafrikaner van der Bijl erkannt und formuliert. Wenn man die Arbeiten von Langmuir/General Electric und Schottky/Siemens bewertet, so müssen auch sie bereits um 1914/1915 Kenntnis von einigen der Röhrenkenngrößen gehabt haben. <sup>\*\*</sup> *siehe Band II -Kapitel Telefunker*

Zum Ende des zweiten Jahrzehnts und wachsendem Begehren nach weltweiter Kommunikation forderte die Fernsprechweitverkehrstechnik von dem verstärkenden Bauteil Röhre zunehmend höhere Leistung, höhere Lebensdauererwartung und dies mit geringerem Energieverbrauch, vornehmlich der Heizströme. Diese Anforderungen zu erfüllen, bedurfte es neuer Katoden- und Emissionsmaterialien. Rein metallene Glühkatoden aus Tantal-, Platin oder Wolfram wurden durch Erdalkaliverbindungen auf Platiniridium- bzw. Platin-Nickel-Kerndrähten ersetzt. Mit diesen Oxidkatoden und ihrer emittierender Schichten aus Barium-Strontiumoxid, bei Platin-Nickelträger zusätzlicher Calciumoxidschutzschicht, wurden ab 1921 bereits mittlere Lebensdauerwerte bis zu 10000 Stunden erreicht.

<sup>\*</sup> *siehe Band I Kapitel 3 -Glühkatoden*

Verstärkerröhren größerer Leistung machten trotz Gegenmaßnahmen wie Schwärzung der Elektroden, Verwendung von Nickel-, Molybdän- oder Chromoxid wegen auftretender störender Gitter-Sekundäremission den Einsatz von Oxidkatoden unmöglich. Dies führte 1923 zur heizenergiesparenden Hochemissionskatode mit thoriertem Wolframdraht. Da eine Thoriumschicht empfindlich auf elektronegative Restgase reagiert, mussten zum Schutz eine Karbonisierung der Katode und eine Bariumgetterung zur Restgasbindung nach dem Pumpen erfolgen. Mit Beginn des einsetzenden Rundfunks waren nunmehr verlässliche Verstärkerröhren vorhanden, die sich auch in großen Stückzahlen industriell fertigen ließen. Dennoch gab es genügend Anlass und Anregung zur Weiterentwicklung leistungsfähigerer, betriebsunempfindlicher und für höhere Frequenzen geeigneter moderner Röhren. <sup>\*</sup> *siehe Kapitelanhang Auszug aus Nespers "Der Radio-Amateur" von 1923*

Was folgte nach diesen Pionierarbeiten?

Im Wesentlichen verlief die weitere weltweite Röhrenentwicklung in gleichbleibend aufregenden Bahnen. Viele innovative Entwicklungsimpulse kamen, um neue Absatzmärkte zu erschließen, aus den USA oder von kleineren privaten, stets ums Überleben kämpfenden Insiderfirmen, wie z.B. Loewe, Gema, Hiller .... Die großen Entwicklungsschübe generierte allerdings weltweit die finanziell stets satt ausgestattete Militärforschung, meist etabliert in angegliederten Spezialabteilungen der Privatindustrie. Ihre Erkenntnisse flossen mit Verspätung in den Konsumbereich, der Rundfunkindustrie. Der zivile Funk und die gewaltigen Hörerzuwachsrate ab Mitte/Ende der 20er Jahre beflügelten aber auch die rein zivile Rundfunkindustrie. So schrieb nach Einführung des Rundfunks in Deutschland 1922, den USA etwas früher, ab 1925 zunächst die Firma Loewe mit ihren Mehrfachröhren-Entwicklungen Zeitgeschichte. Es sind Vakuumröhren, die in einem Glaskolben bis zu drei Röhrensysteme [Trioden wie Pentoden], sowie alle funktionsnotwendigen passiven Bauelemente, Kondensatoren und Widerständen enthalten. Nach

<sup>\*</sup> *siehe Beitrag im Röhrenlexikon*



früher Rundfunkempfänger

heutigem Verständnis stellen die Mehrfachröhren erste angewandte integrierte Technik dar. Etwas später folgen Mehrsystemröhren [allerdings ohne Einbeziehung passiver Baukomponenten] von TeKaDe, mit einer 3-Triodenröhre VT 139 oder von Emerson/USA 1927 eine ähnliche Röhre des Typs E.M.V. 3A. Bis in die letzten Tage des Empfänger-Röhrenbaus folgten viele Spezialitäten, gewissermaßen Entwicklungsunikate, für die es bei Defekt keinen Austausch

gibt: so z.B. die Arcturus Wunderlich-Röhre, die direkt gekoppelte Speed triple-twin oder später die Anzeigeröhre EFM11 mit Trioden-Verstärkersystem, die RT450 als Endpentode mit integriertem Doppelweggleichrichter für Netzspannung, mit Beginn des Stereozeitalters [ab 1959 NF-Steuergeräte, 1963 Rundfunkstereofonie] für eine komplette NF-Endstufen-Kanalbestückung von Lorenz die ECLL 800, bis schließlich zu den Compactronröhren mit kompletten Funktionsgruppen für Fernsehgeräte und bis zu vier Systemen in einem Glaskolben. Mit der Vereinigung mehrerer Röhrensysteme in einem evakuierten Glaskolben entstand der Begriff Verbundröhre. Erste echte Bewährung in Großserienanwendung fand sie Anfang der 30er Jahre durch Vereinigung von Hexode- bzw. Heptode mit Triode. Sie sollte sich als regelbare Verbundröhre für Oszillator- und Mischstufen selektiver Superhetempfänger bewähren. Telefunken propagierte eine Kombination Hexode als Mischröhre und vereint das Steuergitter des Oszillator-Triodenteils innerhalb des Röhrenkolbens mit G<sub>3</sub> des Hexodensystems. So kam man mit acht Sockelstiften aus [ACH1 und ECH11]. Philips wählte mit seiner Schlüsselröhre U/ECH 21 ein moderneres, universell zu nutzendes Konzept. Durch Hinzufügen eines Bremsgitters einerseits die Heptodenfunktion, entscheidend aber, alle Elektroden bekommen voneinander unabhängige Sockelanschlüsse und auch der mittige Führungsstift wird mit genutzt. Ähnlich verhält es sich mit der Außenkontaktröhre ECH 4, bei der das Heptodensteuergitter an eine Gitterkappe am Kolbendom gelegt ist. Der Vorteil dieser Konstruktion verdeutlicht sich, wenn man sieht, dass die Systeme dadurch getrennt benutzt werden konnten. Das Heptodensystem so z.B. zur ZF-Verstärkung, die Triode zur NF-Verstärkung. Werden aber Steuergitter der Triode mit dem Gitter 3 der Heptode verbunden, so kann die Kombinationsröhre wie die Telefunkenlösung benutzt werden. Bis zum Ende der Röhrenanwendung in Rundfunkgeräteschaltungen bleibt man aber grundsätzlich bei der Misch-Oszillator-Röhrenkombination wie mit der ACH 1 begonnen, gefolgt von ECH 3 bzw. ECH 4, der Stahlröhre ECH 11, Schlüsselröhre ECH 21, Rimlock ECH 42, Gnom ECH 171, bis zur Noval ECH 81 bzw. Compactron mit 6 M 11 oder 6 LU 8.

*\* siehe Codierung zeitliche Entwicklungsabfolge deutscher Röhrentypen ab Seite 71*

Auch bei anderen Verbundröhrenlösungen gingen Philips/Valvo und Telefunken getrennte Wege. Telefunken kombinierte so bei seinen Stahlröhren zwei Diodenstrecken mit einer HF-Pentode und NF-Trioden mit Endtetroden, wie bei der ECL 11/VCL 11. In den Endvierziger Jahren kamen Kombinationen mit NF-Tetrode und Endpentode wie z.B. UEL 11 dazu. Lorenz ergänzte mit einer UEL 71 oder RFT Ende der 40er mit einer UEL 51. Philips kombinierte dagegen schon bei der "Roten Röhrenserie" wie bei den Schlüsselröhren zwei Diodenstrecken mit einem Endpentodensystem [EBL 71], ging bei den Rimlockröhren allerdings wieder davon ab. Hier fügte man zur HF-Pentode eine Diodenstrecke hinzu, z.B. EAF 42.

## D e r B e i s p i e l e g e n u g !

Mit wachsenden Anforderungen Anfang der 30er Jahre und dem Verlangen nach neuen Frequenzbändern für Rundfunk und kommerzielle Dienste, ab 1934/35 verstärkt durch politische Entwicklungen für militärische Aufgaben, wurde ein Ausweichen zu höheren Frequenzen dringend erforderlich. Der bislang übliche Quetschfußaufbau mit seinen durch lange Elektroden-Drahtzuleitungen ungünstigen kapazitiven Einflüssen ermöglichten keine Konstruktionen hochfrequenztauglicher Röhren für Anwendungen > 100 MHz. Wenn man in der Röhrenentwicklungsgeschichte an dieser Zeitschwelle einen Schnitt macht, so lässt sich feststellen, dass der Elektronenlaufzeit bis zu dieser Zeit keine große Beachtung geschenkt wurde, da die Röhren bei allen bislang genutzten Frequenzen einwandfrei arbeiteten. Wohl war es bekannt, dass jede Röhre eine so genannte Grenzfrequenz besaß, unterhalb derer sie zur Verstärkung oder Schwingungserzeugung nicht mehr geeignet war. Doch man begnügte sich mit der Feststellung, dass der Elektronenstrom wegen der zwar geringen Masse der Elektronen und damit gegebenen Trägheit, den schnellen Schwankungen der Sprechwechselspannung nicht folgen kann. In diesem Zusammenhang erscheint die

1920 von den Herren Barkhausen und Kurz ihrer Zeit weit vorausseilende Entdeckung der Bremsfeldröhre -einer Laufzeitröhre- bemerkenswert. Erst Anfang der 30er Jahre war die Technik schließlich fähig, diese Entdeckung zu verstehen und die Weiterentwicklung aufzunehmen. So begann Anfang der 30er Jahre die Röhrenentwicklung sich zunehmend in unterschiedliche Bereiche aufzusplitten, in Spezialröhren mit Bildaufnahme-, Bildwiedergabe- und Senderröhren, in Spezialröhren militärischen Zuschnitts mit Höchsthochfrequenz- und Leistungsröhren, Laufzeitröhren wie Klystrons, Magnetrons... sowie den normalen Konsumröhren für Funk, Phono und Fernsehen. Eine Darstellung der Fortentwicklung Konsumröhren ist im Band I/Kap.2, die der Wehrmachtsröhren im Band IV, anhand eines Flussdiagramms dokumentiert.

Mit Verlangen nach Röhren für höhere Frequenzbereiche mussten große konstruktive Veränderungen vorgenommen werden. Mit Reduzierung der inneren Kapazitäten wurden automatisch Verkleinerungen der Baugrößen erreicht. Röhren wie die RENS-Typen mit einer Höhe von 130 mm und größtem  $\varnothing$  von 52 mm schrumpften zu Topfsockelröhren z.B. AF 7 auf  $H=102 / \varnothing=40$  mm. Die Oktalröhren brachten weitere Reduzierung in Höhe und Durchmesser um ca. 10%. Die Stahlröhre schließlich eine Verkleinerung der Höhe auf 55 mm, später 45 mm und  $\varnothing=43$  mm, die Schlüsselröhre auf  $H\approx 60$  mm/ $\varnothing=29$  mm, Rimlock auf  $H=54/70$  mm mit  $\varnothing=22$  mm, Noval minimal auf  $H=45$  mm/ $\varnothing\approx 22$  mm, die Miniatur auf minimale 45 mm und  $\varnothing=19$  mm, bis schließlich die Subminiaturröhren auf  $H=28$  mm/ $\varnothing=7,9$  mm bzw. der Nuvistor auf  $H=17$  mm/ $\varnothing\approx 8,5$  mm. Und es ging noch kleiner, wie beispielsweise mit der RFT Standarddiode EA766 mit  $H=25$  mm/ $\varnothing\approx 4,5$  mm oder mit ähnlichen Maßen bei Subsubminiaturröhren in der Flugzeugelektronik russischer MIGs. Die Abmessungen schrumpften gar bis auf Reiskorngröße. Derartige Trioden fanden Mitte der 40er Jahre in der in USA gebauten elektronischen Rechenmaschine ENIAC [Electronic Numerical Integrator and Comparator] mit 18000 Stück Verwendung.

In Amerika begann die Stahlröhrenära mit Oktalsockel 1934/35, keine Neuentwicklung, lediglich ein Umsetzen vorhandener Glasröhren mit aufrechtem Systempäckchen und Quetschfußtechnik auf flache Metallböden. In Deutschland mit der Stahlröhre Telefunken entstanden dagegen mit der "Harmonischen Serie" echte Neuentwicklungen mit liegendem System, kürzesten Elektrodenanschlüssen, sodass sie teilweise ersten UKW Anforderungen im Frequenzbereich bis ca. 120 MHz [ECF 12] gerecht wurden. <sup>\*</sup> siehe Lexikon A-Z -Stahlröhre

Während Telefunken die achtpolige Stahlröhre entwickelte und 1938 in den Markt einführte, ging Philips einen anderen Weg. Hier übernahm man den bereits bei den deutschen Wehrmachtsröhren verwendeten Pressteller aus Glas und brachte 1939/40 die Vollglas-Schlüsselröhre. Eine Röhre ebenfalls mit 8 Sockelstiften, aber mit einem mittigen metallenen Sockel-Führungsstift, der teilweise als neunter Anschluss genutzt wurde. Trotz ihres vertikalen Systemaufbaus, aber durch kürzeste Verbindungen vom Sockel zum System, gelangen niedrige Röhrenkapazitäten. [71er Lorenz-Schlüsselröhren entsprechen im wesentlichen der 21er Philips Serie]. Zeitgleich zu den Schlüsselröhren erschien in den USA von Sylvania eine Röhrenserie als Octalröhre mit ähnlichem Sockel. Schon ein Jahr vorher stellte man für den Betrieb portabler Empfänger erste Miniaturröhren vor, z.B. die siebenpoligen 1S4/1T4. 1947 tritt Philips mit einer weiteren Miniaturisierung Wechselstrombeheizter Röhren, der Rimlockserie, quasi einer Weiterentwicklung der Schlüsselröhre auf, wobei weniger die Bauhöhe beachtenswert erschien, als ihr Durchmesser. Telefunken folgte ab 1949 mit baugleichen Piko-Röhren, zunächst mit Nachbauten, bringt aber als Eigenentwicklung mit der Verbundröhre ECL 113 ein Pendant zur ECL 11 mit besonderer Anpassung für Kraftfahrzeugempfänger heraus. Die britische Mazda entwickelt Rimlocktypen mit identischem achtpoligem Sockel, jedoch mit einem Führungsstift, wie der von Schlüsselröhren. Ähnlich konzipiert, präsentiert RFT zur Leipziger Messe 1951 die von Dr. Heinze -Röhrenwerk Erfurt- entwickelten achtpoligen Gnomröhren. Im Verlangen nach mehr Sockelstiften, geplant waren auch Doppelpentoden, werden die Gnomröhren 1952 auf 11poligem Sockel umgestellt. Weil diese Röhren weltweit zu keinen anderen Produkten sockelkompatibel waren, entschied sich RFT 1953 als vermeintlich im

Weltmarkt chancenlos, zur Entwicklungs- und Produktionsaufgabe. Aus rückblickender Sicht keine weise Entscheidung, wenn man bedenkt, dass kaum ein Jahrzehnt später mit dem 10pol. Dekalsockel und den 12pol. Compactronröhren in der Erkenntnis, dass Kombinationsröhren mit neun Sockel-Kontaktanschlüssen für moderne Anwendungen ungenügende Belegungen bieten, eben dieser Weg beschritten wird. Damit zeigt sich krass die Chancenlosigkeit kapitalschwacher No-Names, und RFT musste man zu der Zeit dazu zählen, um sich gegen die etablierten finanzstarken Unternehmen mit lancierten Interessen durchzusetzen. RFT musste sich also im Wesentlichen auf Röhrennachbauten amerikanischer Oktal -und Miniaturröhren beschränken. Trotzdem gelangen mit Umentwicklung der Stahlröhren in Vollglasausführung und wenig später für den DDR Eigenbedarf bestimmt, Entwicklungen von Typen wie UEL 51 und EYY 13 -mit 10pol. Stahlröhrensockel oder andere wie EM 83, DF 668, DY 01, DF 161, EA 766, EC 760 ....akzeptable, anerkennenswerte Erfolge. Die Entwicklungen in den aufstrebenden Industriestaaten überstürzten sich in den Folgejahren. Kaum war 1947 die acht-polige Rimlockröhre erschienen, stellte 1948 RCA/USA mit der neunpoligen Novalröhre ein neues Lösungskonzept vor, das sich als neuer Standard für moderne Röhren durchsetzen sollte. Auf dieser Basis erschienen dann 1955 mit der E 180F als Spezialröhre eine erste Spanngitterröhre, prädestiniert zur Verwendung <sup>\*</sup> siehe Band I -Kap.4 / Röhrenlexikon A bis Z in HF-Schaltungen bis an die 1 GHz Grenze. Als erster europäischer Typ war bereits 1952 die Spanngitterröhre C 3g für fernmeldetechnische Verwendung erschienen. Technologische Fortschritte ermöglichten unter Einhaltung hochpräziser Maßigkeit und weiterer Verkleinerung des spezifischen Röhrenvolumens mit K/G-Abständen bis minimal 30 µm eine Serien- bzw. Massenproduktion [1958 werden z.B. in Westdeutschland ca. 45 Mill. Röhren produziert]. Ein wichtiger Schritt für die aufstrebende Fernsehgerätebranche, die dringlich rauscharme und leistungsstarke Röhren für HF-Eingangs-Cascodenschaltungen benötigte. Die Fernsehtechnik prägte in den weiteren Jahren entscheidend die Röhrenentwicklung, mit hohen Anforderungen für verschiedenste Fernsehgeräte-Baugruppen; Röhren für HF- und ZF-Schaltkreise, für Impulsstufen mit vertikaler Bild- und horizontaler Zeilenablenkung, Leistungsrohren für Zeilenendstufen und Hochspannungsgleichrichtern. Zunächst werden Zeilenendrohren noch in Novaltechnik gebaut z.B. PL 81, doch mit wachsendem Leistungsbedarf, erweiterten thermischen Anforderungen und höheren Spannungen, bietet der Novalsockel zu wenig Sicherheit. Zunächst weicht man auf den bewährten Oktalsockel aus [z.B. PL 36], doch es werden mit aufkommenden Farbfernsehgeräten weiteren Leistungsbedarfs noch leistungsstärkere Röhren benötigt. So wird der ebenfalls neunpolige Magnovalsockel mit einem Durchmesser von ≈39 mm geschaffen und zunächst bei der PL 500 angewandt.... später folgen PD 500, PL 508, PL 519 usw.. Bei Verbundröhren in den Impulstrenn- und Videostufen stößt man zunehmend auf Grenzen verfügbarer Sockelanschlüsse, um die verschiedenen Elektroden voneinander getrennt anzuschalten. Mit Röhrentypen wie PCH 200, PCF 200, PFL 200 und weiteren entsteht mit Beginn der Vermarktung der Farbfernsehtechnik in der Bundesrepublik Deutschland [1965 erste Ausstrahlungen] der 10polige Dekalsockel. Röhren dieser Bauart finden vorwiegend in europäischen Geräten Anwendung. In angloamerikanischen, wie auch in fernöstlichen Geräten werden vorwiegend 12polige Compactronröhren verwendet, die wie die Dekalröhren speziell für Fernsehgeräte entwickelt wurden, aber im Gegensatz zu europäischen Kombinationsröhren für komplette Funktionsstufen mit bis zu vier getrennten Systemen konzipiert sind. Ständig zunehmende Leistungsfähigkeit der Halbleiter, sowohl für HF-Anwendungen, in Leistung und Spannungsfestigkeit, verdrängen die Röhre gegen Anfang der 70er Jahre aus Rundfunk- und Fernsehgeräten, nachdem auch Versuche Halbleitervorteile mit denen der Röhre zu kombinieren, gescheitert waren, zumal Prognosen der Halbleiterentwicklung Leistungsbereiche diesbzgl. Röhren bald zu erreichen andeuteten. Die amerikanische Fernsehgeräteindustrie fertigt am längsten vollröhrenbestückte Geräte. Schließlich verbleibt mit der Bildröhre nur noch eine einzige Röhre. Aber auch deren Existenz verlor durch neue Technologien der Halbleiter- und Kristalltechnik mit Beginn des 21. Jahrhunderts zunehmend an Berechtigung. Dennoch gab es Anfang der 90er Jahre noch

einmal mit der VME-Entwicklung [Vakuum-Mikroelektronik] für kommerzielle Anwendungen Anzeichen für eine gewisse Wiederkehr der Vakuumröhre. Mit VME kommt man auf die Anfänge der Elektronik, dem Prinzip der Vakuumröhre, nun in Halbleitertechnologie, zurück. Allerdings mit dem Unterschied, dass ein mikroskopisch kleines Äquivalent zu den sonst voluminösen Röhren hergestellt wird, indem man sich Produktionsmethoden integrierter Schaltungen bedient. Es zeigte sich, dass die Minivakuum-Röhren in ihrer Funktionsfähigkeit zum Teil besser als hoch entwickelte ICs abschnitten, fest gegen Höhenstrahlung und über eine breitere Temperaturspanne von  $-195^{\circ}\text{C}$  ...  $+600^{\circ}\text{C}$  einsetzbar sind. Hält man bei diesem Entwicklungsstand inne und betrachtet den weltumspannenden Funk und das Fernsehen, so hat sich die Weissagung von Lee de Forest aus dem Jahre 1930 mehr als bewahrheitet.

➔ *Das Fernsehen wird den Rundfunk bedrängen, die Heimempfänger selbst werden dank der Fortschritte in der Röhrentechnik nur noch zwei Röhren enthalten. Die elektrische Schallplattenübertragung wird die Wohnung erobert haben. Im transatlantischen Verkehr werden Kurzwellen die Langwellen überflüssig machen. Viele Rundfunkempfänger werden tragbar sein und so klein wie Fotoapparate. Ein Radio wird 1940 im Heim ebenso wenig vermisst werden können wie heute -1930- die Uhr oder die Zeitung. [im April 1930 gab es im Deutschen Reich ca. 3,2 Mill. Rundfunkteilnehmer]* ◀

Seine Voraussagungen waren bereits zur Hälfte des Jahrhunderts eingelöst!

Um auch für Spezialröhren eine grobe Übersicht des Entwicklungsablaufs aufzuzeigen, muss noch einmal in die Anfänge der Röhrentechnik zurückgeblendet werden. Karl Ferdinand Braun hatte mit der nach ihm benannten Anzeigeröhre 1897 die Grundlage für die spätere Scope- und Bildröhre gelegt. Aus ihrer ersten konstruktiven Einfachheit als Katodenstrahlröhre hatte sie jedoch noch einen weiten Weg vor sich, um eine brauchbare Bildröhre für Fernsehen bzw. für schnelle Oszilloskope zu werden. Viele Entwicklungsteams mit tausenden von Mannstunden bedurfte es, um aus den Anfängen erste runde Bildröhren mit Fernsehtauglichkeit zu entwickeln. Als erster schaffte dies 1924 in USA Zworykin und benannte sie Kinescope. Die erste rechteckige Röhre erschien Anfang der 30er Jahre von Loewe, gefolgt von Telefunken.

\* siehe Lexikon A bis Z, Einheitsempfänger mit Rechteckbildröhre und \*Band II -Telefunken und seine Röhren

Es begann ein Innovationsschub initiiert von Firmen wie Loewe mit M.v.Ardenne, Fernseh AG, Telefunken mit Dr.F.Schröter, RCA, DuMont mit A.H.Goldsmith und vieler anderer mehr. Mit steter Verbesserung elektrischer Eigenschaften, größerer Schirmdurchmesser und helleren Leuchtphosphoren, durch Vergrößerung der Ablenkwinkel mit rapide sich verkleinernden Bautiefen und Tauglichkeit für farbliche Darstellungen mit intensiver Leuchtdichte, Farbsättigung und breitem Lichtspektrum. Es endet mit den modernen Farbfernsehröhren wie den Lochmasken-, Delta-, Inline- und Chromacolor-Farbbröhren, der flachen Black-Line-D bzw. -S, der Invar wie Pure-Flat Invar und Back-Matrix-Farbbröhren, DynaFlat X, Flatron, Flat Square, Blackline Super Flat, Trinitron, Flat-Supertrinitron, der Streifenmaskenröhre Perfectflat bzw. einer 16:9 Super-Flatline mit 102 cm bzw. Quintrix-F mit 86 cm Bildschirmdiagonale, der Shortneck-Planar, Diamondtron-NF und Superbright, TAU-Quintrix, Cybertube Real Flat oder der superflachen Vixlim von Samsung [bei 81 cm Diagonale einer Tiefe von  $< 40$  cm] und für HDTV Fernsehen der Slim- und Ultra-Blackline-S mit 16:9 Breitbilddarstellung, der Real-Flat-Magatron mit 82 cm Diagonal-Durchmesser bzw. im 16:10 Format [Bildfläche  $484 \times 306$  mm] der Super-Fine-Pitch-Trinitronröhre. Mit Beginn des Y2k und Einführung von DSTN-Bildschirmen [Dual Scan Twisted Nematic] deutet sich mit neuen Technologien nach FLCDS [F steht für ferroelektrisch], mit LCD und TFT [Thin-Film-Transistor-Technik, eine Halbleiter-Kristalltechnik] Schirme in 16:9 Format mit Diagonaldurchmessern bis zu 40" bei 6,5 cm Tiefe mit  $> 10$  Megapixel [Pixelabstand  $0,124$  mm] und  $170^{\circ}$  Blickwinkel oder Schirme in Plasmatechnik mit Diagonalen  $> 100$ " und Leuchtdichten  $> 1000$  cd/m<sup>2</sup>\* bei Kontrastverhältnissen  $\geq 3000:1$  das Ende der klassischen Glasbildröhre an. Auch die 2005 von Samsung noch neu entwickelte superflache 16:9 Slim-Fit™ Pure Flat-Katodenstrahl-Bildröhre mit 81 cm Diagonaldurchmesser und einer Bautiefe von nur 39,9 cm bzw. die 2006 vorgestellte neue SED-Technologie <sup>siehe Seite 259</sup> kann diesem Trend nicht Paroli bieten?

\* siehe Röhrenlexikon von A ➤...➤ Z -Bildröhren und ♦ siehe Kapitelende

\*\* Fa. Sharp stellte 2006 für professionelle Anwendung ein LCD-Display mit einem Kontrastverhältnis von 1 000 000:1 vor.