

# Geschichte der Röhre

## Vorwort

Dieses Geschichtsbuch der Röhre soll das Entstehen, den Werdegang das auch das (teilweise) Ende der **technisch** verwendeten Röhren beschreiben. Solche Röhren sind Elektronen- und Ionenröhren mit heißer, kalter oder fotoempfindlicher Kathode und mit unterschiedlichen Steuermechanismen. Im Wesentlichen aber ist es die Geschichte der "Radioröhre", die als entscheidendes Bauteil die Entwicklung der Radiotechnik und später der Fernsehtechnik von etwa 1920 bis in die 1960er Jahre bestimmt hat und die, wenigstens zum Anfang ihrer Zeit, ein allgemein ehrfurchtsvoll bestauntes technisches Wunder war.

Die anderen Röhren, wie z.B. die Sende-, Röntgen-, Zähl-, Wanderfeldröhren, die Thyra-, Klys-, Gyro-, Magne- und sonstigen -trons und die Null- und anderen -oden waren nicht so allgemein bekannt, aber sie waren für den jeweiligen Stand der Technik notwendig (zum Teil heute noch) und die Wegbereiter dessen, was wir mit **Elektronik** bezeichnen, z.B. der Leistungselektronik oder der Rechnertechnik.

Über die Geschichte der Röhre ist schon manches geschrieben worden. Vor allem soll hier die "Saga of the Vacuum Tube" von Gerald F.J. Tyne [7] erwähnt werden, der in be'undenswerter Weise die Entwicklung der Radioröhre vom Anfang bis etwa 1930 beschrieben hat. Albert Kloss hat die Entwicklung der Stromlichtertechnik "Auf den Spuren der Leistungselektronik" [8] verfolgt. Es gibt auch logbuchartige Aufzeichnungen wie die von Bernard Magers [21], der in seinen „75 Years of Western Electric Tube Manufacturing" die Fertigung dieser Firma genau dokumentiert hat. Schließlich möchte ich noch Prof. Herbert Döring erwähnen, der in einer Reihe hervorragender Aufsätze die Röhrenentwicklung, besonders die der Mikrowellenröhren, beschrieben hat, und Kaye Weedon, der u.a. am Norsk Teknisk Museum in Oslo einen ausführlichen, ausgezeichneten Beitrag zur Röhrengeschichte verfaßt [69] und in vielen Vorträgen die frühe Röhrenentwicklung geschildert hat.

Ich möchte versuchen, den Werdegang der verschiedenen in der Technik verwendeten Röhrenarten zu beschreiben, von Acorn (Eichel)- bis Zählröhre. Die Radioröhre wird dabei naturgemäß eine große Rolle spielen. Ein besonderer Wert soll darauf gelegt werden, die bedeutsamen Entwicklungsschritte deutlich zu machen. Dazu werden etliche Röhrentypen erwähnt werden, aber es ist keinesfalls ein auch nur annähernd vollständiges Verzeichnis der, grob geschätzt, knapp 35.000 nach ihrer Bezeichnung verschiedenen Röhren, die auf dem Weltmarkt erschienen sind.

Der zeitliche Ablauf wird in die Abschnitte bis 1914 (Erste technische Anwendungen), bis 1918 (Verstärker- und Senderröhren sind zum technischen Produkt geworden), bis 1927 (die frühe Zeit der Radioröhre), bis 1934 (verschiedene Arten der Radioröhre und deren Vereinheitlichung) und schließlich bis etwa 1970 (dem Ende der Radioröhre) eingeteilt. Die Beschreibung der "Nicht-Radioröhren" lehnt sich an diese Einteilung an, wobei sich natürlich Abweichungen ergeben. Abweichungen ergeben sich schon dadurch, daß einige Röhrenarten (z.B. Röntgen- und Wanderfeldröhren) auch heute noch zum Stand der Technik gehören.

Weil ich mehr über die Geschichte als über die Technik schreiben wollte, sind detaillierte technische Erläuterungen nicht enthalten. Der technische Fachmann wird sie nicht vermissen, und ich gehe davon aus, daß der hauptsächlich geschichtlich interessierte Leser sie nur als Ballast empfinden würde.

Mein Ziel ist es, die Entwicklung so international zu beschreiben, wie sie auch abgelaufen ist. Wenn gelegentlich einige Produkte überrepräsentiert erscheinen sollten, liegt es daran, daß mir deren Quellen leichter zugänglich waren.

Als Quellen habe ich alles verwendet, was mir geeignet schien und zur Verfügung stand. Im Wesentlichen sind das meine Röhrensammlung (auch sowas kann man sammeln), einschlägige zeitgenössische Lehrbücher, Finnenschriften, Patentschriften, Werbung, Prospekte und Verpackungen. Auch geschichtliche Darstellungen wie z.B. das schon erwähnte Werk von Tyne habe ich benutzt. Alte Originalliteraturstellen und Patentschriften wurden meist aus Lehrbüchern und geschichtlichen Darstellungen zitiert.

Die Röhre, besonders die „Radio“-Röhre, ist Darstellerin eines faszinierenden Kapitels der jüngeren Technikgeschichte und ich hoffe, daß Sie, lieber Leser, viel Freude daran haben.

Lüneburg, im August 1999

Joachim Goerth

## Einleitung: Was ist eine Röhre?

Die Röhre ist das erste "richtige" aktive Bauelement der Elektrotechnik. Sie ist eine gesteuerte Stromquelle, und erfüllt die Funktionen Gleichrichten, Schalten und Verstärken. Den prinzipiellen Aufbau einer Röhre zeigt das Bild 0.1, das dem Buch "Der praktische Radioamateur" von Günther und Fuchs aus dem Jahre 1923 entnommen wurde [1]. Man sieht die geheizte Kathode F (Heizfaden), die Steuerelektrode oder das Gitter G und die mit „+“ bezeichnete Anode. Die Kathode ist so heiß, daß thermische Elektronen emittiert werden. Im hochevakuierten Glasgefäß bildet sich ein Elektronenstrom zur positiven Anode aus, der in seiner Stärke durch das elektrische Feld zwischen Gitter und Kathode, also durch die Gitterspannung, gesteuert werden kann.

Diese Röhre, Vakuumröhre, Kathodenröhre, Kathodenrelais, Elektronenröhre, Verstärkerlampe, Radiolampe, Audionröhre oder wie auch immer (Radiolampa, Lampe de TSF, Vacuum Tube, Thermionic Valve, Electronenbuiiz, Elektroncsö) war es, die die Elektrotechnik mit der Elektronik bereichert hat. Fast alle heute (1999) gebräuchlichen Systeme, Radio, Fernsehen, Telephon, Computer, usw. sind schon zu Röhrenzeiten entwickelt und realisiert worden, wennauch nicht mit dem heutigen Funktionsumfang oder der kleinen Baugröße.

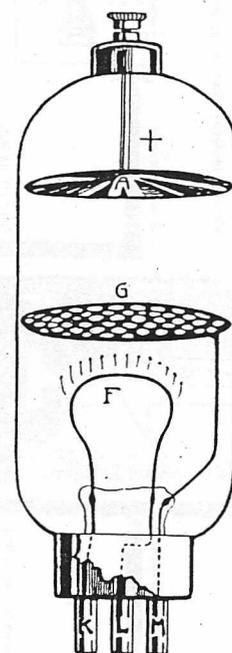
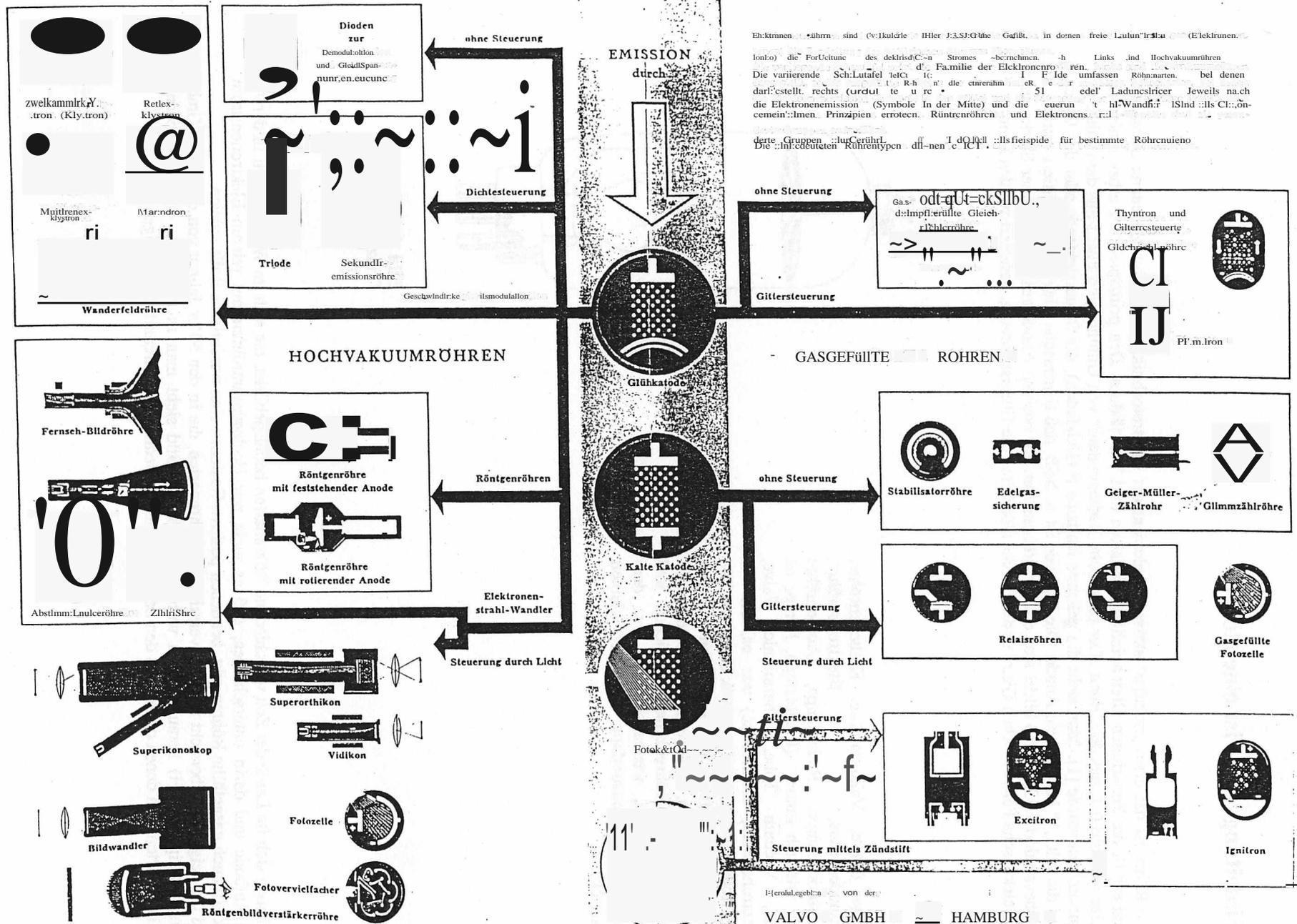


Bild 0.1  
Prinzip der Röhre  
[1]

Es haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Röhrenarten herausgebildet, die sich im Wesentlichen in der Art der Kathode und darin unterscheiden, daß es nicht nur Hochvakuumröhren mit reinem Elektronenstrom, sondern auch gasgefüllte Röhren gibt, bei denen positive Gasionen eine wesentliche Rolle spielen. Bild 0.2 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Röhrenarten, die in den 50'er Jahren von der Valvo GmbH (heute Philips GmbH) herausgegeben wurde. Auf diesem Bild sieht man in der Mitte die verschiedenen Kathodenarten, von denen dann nach den Seiten die unterschiedlichen Röhrenarten abzweigen.

Systematik der Elektronenröhren [2]



Elektronenröhren sind (vakuumierte) Röhren, die in denen freie Elektronen (Elektronen) die Fortleitung des elektrischen Stromes übernehmen. Links sind Hochvakuumröhren (Vakuumröhren) und rechts sind Gasgefüllte Röhren (Gasröhren) dargestellt. Die variierende Schichtdicke der Kathode umfassen Röhrenarten, bei denen die Elektronenemission (Symbole in der Mitte) und die Steuerung durch Wandfeld (Schilder) gemeinamen Prinzipien entsprechen. Röntgenröhren und Elektronenröhren sind in die folgenden Gruppen eingeteilt: 1. Glühkatode für bestimmte Röhrentypen. Die in der Mitte gezeigten Röhrentypen sind: 1. Thyatron, 2. Gittersteuerte Gleichrichter, 3. Gleichrichter, 4. Stabilisatorröhre, 5. Edelgas-sicherung, 6. Geiger-Müller-Zählrohr, 7. Glimmzählröhre, 8. Relaisröhren, 9. Gasgefüllte Fotozelle, 10. Excitron, 11. Ignitron.

Entwickelt von der VALVO GMBH HAMBURG

## 1. Erste technische Anwendungen (bis 1914)

Die Untersuchung der Gasentladungen in der zweiten Hälfte des 19ten Jahrhunderts war das Forschen nach physikalischer Erkenntnis. Zu einem technischen Produkt oder Verfahren führte die gewonnene Erkenntnis dann, wenn ein Anwendungsbedarf bestand. Dieser Bedarf ist z.B. im Falle der Röntgenstrahlen unmittelbar nach der physikalischen Erkenntnis entstanden, weil der Nutzen sofort einzusehen war. Auf der anderen Seite gibt es Fälle, in denen der Bedarf schon längere Zeit bestand. So gab es schon vor der Einführung der Verstärkerröhre mechanische Verstärker (im Prinzip schnelle und empfindliche Relais) und Detektoren für den Empfang von Funkwellen, z.B. den Kohärer oder „Fritter“. Die Verstärkerröhre konnte aber diese technischen Aufgaben besser als ihre Vorgänger erfüllen und setzte sich daher verhältnismäßig schnell durch. Im folgenden sollen die Röhren besprochen werden, die bis 1914 (dem Ausbruch des ersten Weltkrieges) in der Anwendung von Bedeutung waren.

### 1.1 Röntgenröhren

#### Ionenröhren

Unmittelbar nach der Entdeckung der nach Wilhelm Conrad Röntgen benannten Röntgen- oder X-Strahlen im Jahre 1895 wurden die Röntgenröhren bereits ein technisches Produkt. Die Anwendung dieser Strahlen in der medizinischen Diagnostik und etwas später auch in der Therapie war so erfolgreich, daß in kürzester Zeit ein großer Bedarf an Röntgenstrahlerzeugern, also an Röntgenröhren und den zur Erzeugung der notwendigen Hochspannung von ca. 100kV erforderlichen Funkeninduktoren entstand.

Die ersten Hersteller der Röntgenröhren kamen aus dem Bereich der physikalisch-technischen Geräte oder waren Glasbläser. Von Bedeutung waren z.B. die Firmen

Emil Gundelach in Gohlberg (Thüringen)  
Glashütte seit 1646, Glasinstrumentenfabrik seit 1852, Röntgenröhren seit 1895

Koch & Sterzel A.G., Dresden

C.H.F. Müller, Hamburg (heute Philips Medizin Systeme)

Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen (heute Siemens)

Macalaster & Wiggin Co., Boston

Die ersten Röntgenröhren waren Ionenröhren. Sie arbeiten bei mäßigem Vakuum, so daß immer genügend ionisierte Gasatome und Elektronen vorhanden sind. Diese geladenen Teilchen werden durch die hohe Betriebsspannung beschleunigt. Die positiven Ionen schlagen aus der kalten Kathode Elektronen heraus, die auf dem Weg zur Anode weitere Gasatome ionisieren können, so daß der Vorgang weiterlaufen kann. In der Röhre findet eine Gasentladung statt. Beim Aufprall auf die Anode werden die Elektronen abgebremst. Die dabei entstehende Bremsstrahlung ist die Röntgenstrahlung; sie ist um so intensiver, je höher die Massenzahl des Anodenmaterials ist. Anfangs wurde die Anode, auch Antikathode genannt, aus Platin hergestellt, später dann meist aus Wolfram. Zur besseren Fokussierung des Elektronenstrahls auf die Antikathode war die Kathode meist hohlspiegelartig ausgebildet. Oft wurde noch eine dritte Elektrode vorgesehen, die dann Anode hieß und ebenfalls mit der Hochspannung verbunden war, ihre Anordnung im Entladungsgefäß hatte kaum Bedeutung. Bild 1.1 zeigt eine solche Röhre.

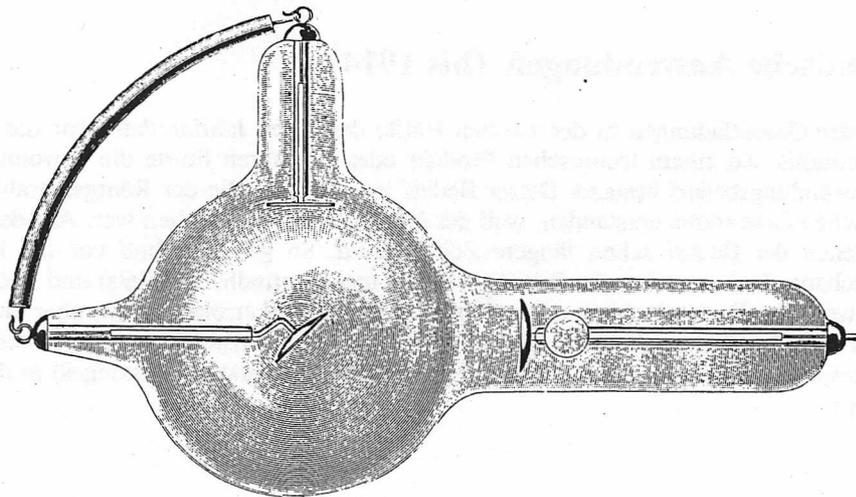


Bild 1,1  
Frühe Röntgenröhre  
Fa. Reiniger, Gebbert & Schall  
ca. 1900 [3]

Es waren im Wesentlichen zwei Probleme, die die weitere technische Durchbildung der Röntgenröhren bestimmt haben. Das erste ist die Abfuhr der entstehenden Verlustwärme.

#### Kühlung

Die hohe Aufprallenergie der Elektronen wird nur zu einem geringen Bruchteil in nutzbare Röntgenstrahlung umgesetzt. Der Wirkungsgrad ist abhängig vom Betrag der Hochspannung und liegt bei 100kV in der Größenordnung 1%. Die Strahlströme lagen damals in der Größenordnung Milliampere, so daß sich Verlustleistungen von einigen 100 Watt ergeben. Je nach Einschaltedauer wird die Anode also kräftig erwärmt. Zur besseren Verteilung der Wärme wurde deshalb die nunmehr meist aus Wolfram bestehende Antikathode mit einem Kupferblock umgossen. Um die Wärme letztendlich nach außen zu bringen, wurden überwiegend die folgenden drei Methoden benutzt:

#### Kühlrippen:

Die Antikathode wurde mit großem Querschnitt durch die Glashülle nach außen geführt. Dort waren Kühlrippen oder Köhlscheiben angebracht, die die Wärme durch Konvektion und Strahlung an die Umgebung abführten. Bild 1.2 zeigt im Ausschnitt die Antikathode einer solchen Röhre mit Kühlrippen.

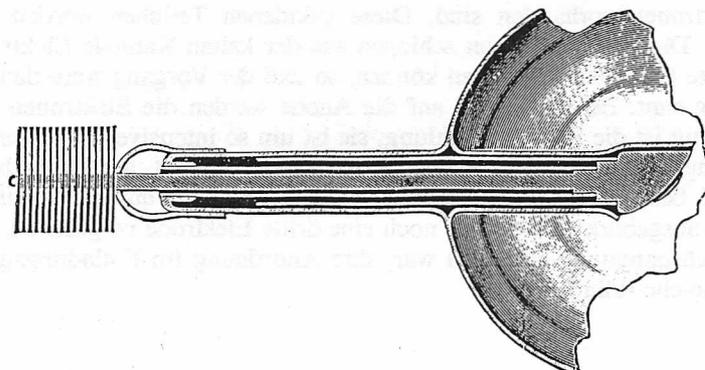
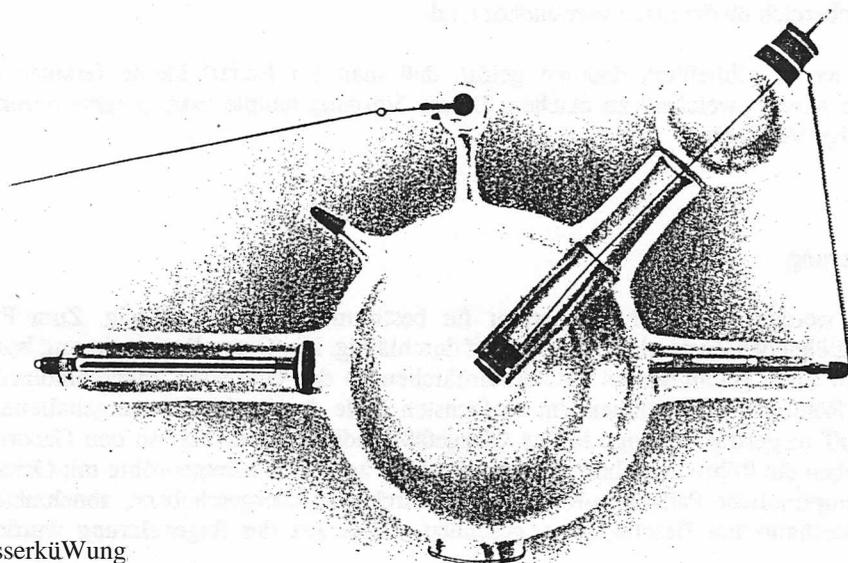


Bild 1.2  
Kühlung durch Wärme-  
leitung und Kühlrippen  
(Fa. Gundelach, [4])

### Wasserkühlung:

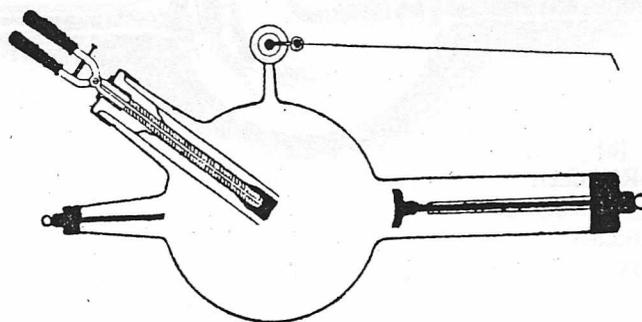
Eine hoWe Antikathode kann von hinten mit Wasser gespült und dadurch gekühlt werden. Das Bild 1.3 zeigt eine Röhre für Wasserkühlung der Fa. CHF Müller aus Hamburg. Diese Röhre hat für den Strahlenaustritt ein Fenster aus dem besonders durcWässigen "Lindemannglas".



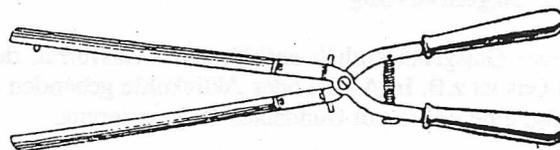
**Bild 1.3**  
Röhre für Wasserkühlung  
(Fa. CHF Müller, Hamburg, mit  
Austrittsfenster aus Lindemannglas) [5]

### Zangenrohr

Eine weitere Methode der KüWung besteht scWießlich darin, daß man die Wärme portonsweise auf ein auswechselbares Metallstück durch Wärmeleitung überträgt. Dieses Metallstück hatte die Form einer zange, die von innen an ein wärmeleitend mit der Antikathode verbundenes Kupferrohr eingelegt wurde. Das Bild 1.4 zeigt eine Ausführung der Fa. CHF Müller in Hamburg.



**Bild 1.4**  
Zangenrohr mit aus-  
wechselbarer Kühlzange  
(Fa. CHF Müller, [5])



### Regenerierung

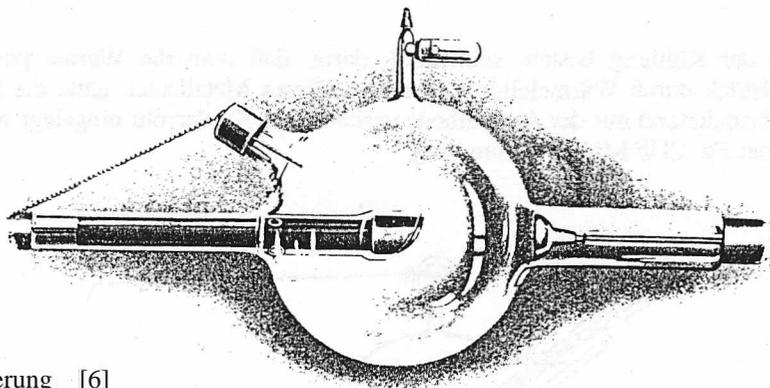
Das zweite große Problem der Ionenröhren war die Gasaufzehung. Durch den Aufprall besonders der schweren Gasionen auf die kalte Kathode wurde das Material der Kathode, meistens Aluminium, langsam zerstäubt. Der so entstehende Metallstaub hat die Eigenschaft, Gasatome an sich zu binden (Getterwirkung). Dadurch wurde der freie Gasgehalt der Röhre im Laufe des Betriebes immer kleiner, oder anders ausgedrückt:

das Vakuum wurde immer höher. Um nun die nötige Gasentladung weiter aufrecht zu halten, brauchte man immer höhere Spannungen. Dadurch wird die Energie der auf die Antikathode prallenden Elektronen immer größer und in Folge die Bremsstrahlung immer energiereicher, d.h. kurzwelliger. Man sagt auch, die Röhre wird "härter". Am Ende wird die Röhre unbrauchbar, weil überhaupt keine Gasentladung mehr stattfinden kann. Anfangs war deshalb die Gebrauchsdauer der Röhren kurz, weil die Röntgenstrahlen nur einem bestimmten Härtebereich medizinisch verwendbar sind.

Dieses Problem wurde schließlich dadurch gelöst, daß man bei Bedarf kleine Gasmengen in der Röhre freisetzte, um sie wieder "weicher" zu machen. Diesen Vorgang nannte man „Regenerierung“. Auch hierfür gab es drei wichtige Verfahren:

### Osmo-Regenerierung

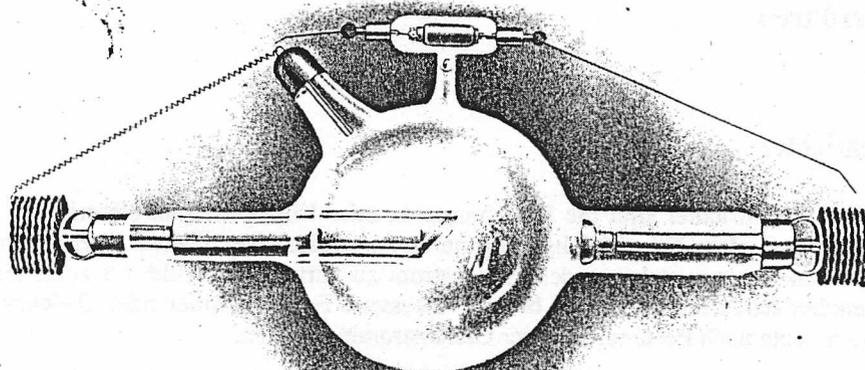
Manche Metalle werden bei hoher Temperatur für bestimmte Gase durchlässig. Zum Beispiel wird das Palladium im rotglühenden Zustand für Wasserstoff durchlässig. Die Osmo-Regenerierung bestand nun einfach darin, daß ein am Ende geschlossenes Palladiumröhrchen an das Glasgefäß angeschmolzen wurde. Brachte man nun dieses Röhrchen zum Glühen, im einfachsten Falle durch ein daruntergehaltenes Streichholz, so konnte Wasserstoff in geringer Menge in das Glasgefäß eindiffundieren und so den Gasdruck wieder etwas vergrößern oder eben die Röhre "weicher" machen. Bild 1.5 zeigt eine Röntgenröhre mit Osmo-Regenerierung. Das dünne und empfindliche Palladium-Röhrchen ist durch eine übergeschobene, abnehmbare Glasröhre vor versehentlicher mechanischer Beschädigung geschützt. Diese Art der Regenerierung wurde von P. Villard angegeben.



**Bild 1.5**  
Osmo-Regenerierung [6]  
Das dünne Palladium-Röhrchen  
ist durch ein lose übergeschobenes  
Glasrohr vor versehentlicher  
Beschädigung geschützt.

### Kondensator- oder „Gundelach“-Regenerierung

Ein an die Röhre angeschmolzenes Glasgefäß enthält einen Gasvorrat, der nach Bedarf in die Röhre abgegeben werden kann. Dieses Gas ist z.B. in Asbest oder Aktivkohle gebunden und kann durch Erwärmung ausgetrieben werden. Bild 1.6 zeigt eine Röhre mit Gundelach-Regenerierung.

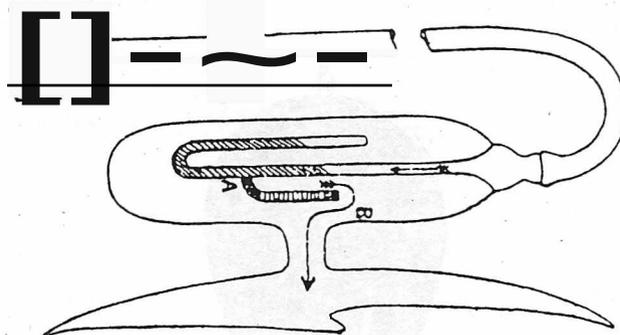


**Bild 1.6**  
Röhre mit Gundelach-  
Regenerierung. [6]

Die Erwärmung des Gasvorratsträgers war bereits weitgehend automatisiert, wie aus dem Bild zu ersehen ist: War die Röhre durch Gasaufzehrung härter geworden, so wurde die Spannung immer größer, die erforderlich war, um Strom durch die Röhre zu treiben. Schließlich reichte die Spannung aus, um Strom durch den Nebenschluß fließen zu lassen, der durch das Gasvorratsgefäß und zwei einstellbare Drahtbügel gebildet wurde. Dieser Strom erwärmte das Material mit dem Gasvorrat, so daß Gas freigesetzt und die Röhre wieder weicher wurde. In Folge nahm die Röhrenspannung wieder ab, so daß der Regeneriervorgang selbsttätig aufhörte. Diese Form der Regenerierung war sehr verbreitet, aber patentrechtlich umstritten, weil die Firma Gundelach in Thüringen für ihre Form der Kondensatorregenerierung, —, eben die "Gundelach-Regenerierung", besonderen Patentschutz beanspruchte.

### Bauer-Ventil

Zitat aus [5]: "... ist der Gedanke, atmosphärische Luft mit Hilfe einer passend konstruierten Vorrichtung... der Röhre zuzuführen. ... An Röntgenröhren ist ein mit Quecksilber gedichtetes Ventil von Heinz Bauer angebracht worden. (Bild 1.7). Dieses Ventil verwendet die Eigenschaft gewisser poröser Tonarten, für Gase durchlässig zu sein, hingegen Quecksilber nicht durchzulassen. Ein solches Tonplättchen A befindet sich an der Grenze des Röhrenraumes und der Atmosphäre, welche in der Richtung des gesteckten Pfeiles freien Zutritt zum Tonplättchen hätte, wenn dieses letztere nicht von der schraffierten Quecksilbersäule auf seiner Außenseite bedeckt wäre. Drückt man aber vermittels der kleinen Luftpumpe oder eines Gummigebläses C in Richtung des Pfeiles das Quecksilber unterhalb des Plättchenniveaus, so wird das Plättchen mit der Außenluft in Verbindung gebracht und diese kann durch den porösen Ton hindurchtreten. Offenbar muß die Tonplatte genügend feinporig sein, damit der Luftdurchtritt nur langsam stattfindet. ..."



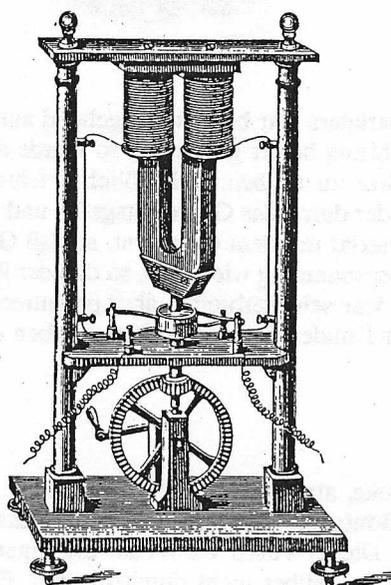
**Bild 1.7**  
Bauerventil  
[5]

Die weitere Entwicklung (ab ca. 1910) führte zu den Elektronenröntgenröhren (meist COOLIDGE-Röhren), bei denen die erforderlichen Elektronen nicht einer Gasentladung entnommen werden, sondern von einer heißen Kathode geliefert werden. Diese Röhren werden im Kapitel 2 beschrieben. Ein englisches Patent von 1908 von Lindemann beschreibt die erste Röntgenröhre mit Metallgehäuse [39]

## 1.2 Gleichrichterröhren

### Mechanische Gleichrichter

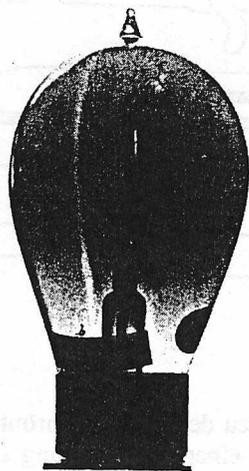
Die ersten mechanischen Gleichrichter sind die Kommutatoren oder Kollektoren an elektrischen Maschinen gewesen. Sie dienten dazu, den bei Gleichstromgeneratoren primär erzeugten Wechselstrom durch phasenrichtiges Umschalten in einen pulsierenden Gleichstrom zu verwandeln. Bild 1,8 zeigt die von AR. Pixii gebaute und gegenüber seiner ersten Version bereits verbesserte Form als rotierender Gleichrichter. Diese Kommutatoren sind auch heute noch Bestandteil vieler Gleichstrommaschinen.



**Bild 1,8**  
Gleichstromgenerator mit rotierendem Gleichrichter (Kommutator) von AR. Pixii, ca. 1834 [8]

### Edison-Effekt

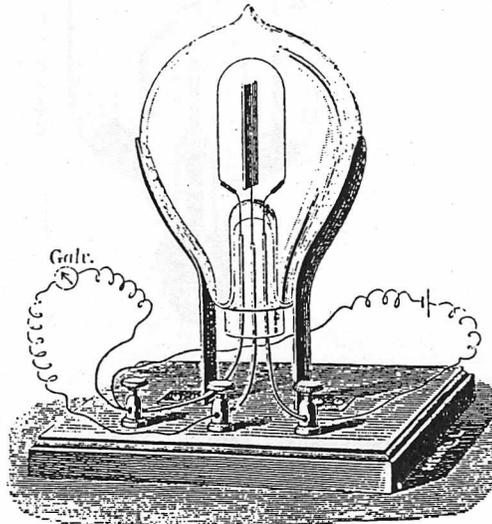
Im ausgehenden 19-ten Jahrhundert gab es bereits elektrische Glühlampen (Kohlefadenlampen) als gängiges Produkt. Sie wurden zuerst von Thomas Alva Edison in größerem Umfang produziert und vermarktet. Die vom glühenden Kohlefaden abdampfenden Kohlepartikel verursachten einen störenden dunklen Belag auf der Innenseite des Glaskolbens, der Gegenstand experimenteller Untersuchungen war (Bild 1,9).



**Bild 1.9**  
Kohlefadenlampe von Edison mit Kohleniederschlag auf der Kolbeninnenseite. Der Glühfaden selbst schirmte einen schmalen Streifen ab, der hell blieb. [7]

Im Zuge dieser Untersuchungen wurde auch eine Lampe erprobt, die eine zweite, aus einem Blechstreifen bestehende Elektrode hatte. Edison fand heraus, daß bei glühendem Faden ein Strom durch das "Vakuum" zu dieser isolierten Elektrode floß. Er patentierte er diese Anordnung im Jahre 1883 als "Electrical Indicator". Damit hatte er die erste Röhrendiode, also einen Gleichrichter gebaut, ohne es zu wissen. Heute wissen wir, daß der heiße Glühfaden Elektronen aussendet, die von der als Anode wirkenden Blechelektrode aufgenommen wurden und einen meßbaren Strom lieferten. Bild 1.10 zeigt eine zeitgenössische Abbildung dieses „Electrical Indicator“, wie er auf der internationalen elektrotechnischen Ausstellung in Philadelphia im Herbst 1884 gezeigt wurde. Der Effekt wurde von Prof. Edwin I. Houston auf der ersten Sitzung des zeitgleich gegründeten "American Institute of Electrical Engineers" beschrieben und ging als „Edison-Effekt“ in die Geschichte der Elektrotechnik ein.

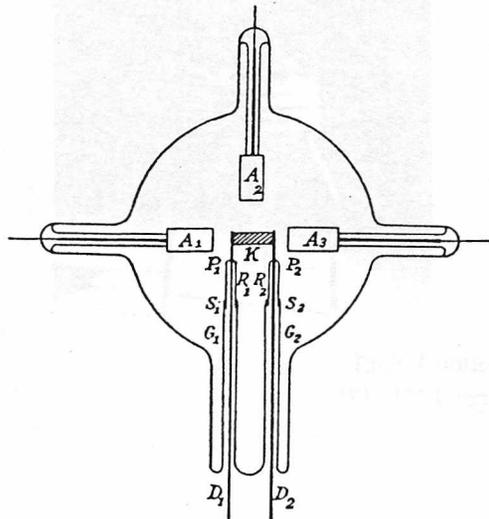
**Bild 1.10**  
"Electrical Indicator",  
wie er auf der internationalen  
elektrotechnischen Ausstellung  
1884 in Philadelphia gezeigt  
wurde. [8]



Zunächst noch unerkannt, war dies der Urvater der Röhrengleichrichter. Andere Gleichrichter sind bereits zu dieser Zeit bekannt gewesen. Es gab mechanische Gleichrichter, bei denen ein Umschaltkontakt, synchron zur Wechselspannung rotierte (z.B. den Kommutator an Gleichstromgeneratoren), und der später noch erwähnte Ferdinand Braun hatte bereits 1876 mit dem Kristallgleichrichter das erste Halbleiterelement vorgeführt, dessen Wirkungsweise jedoch erst Ende der 1930er Jahre zufriedenstellend geklärt wurde.

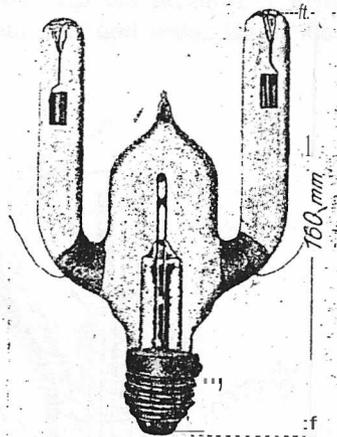
### Wehnelt-Gleichrichter

Arthur Wehnelt untersuchte die Emission "negativer Ionen" (also Elektronen) aus heißen Kathoden. Er konstruierte im Jahre 1903 eine Kathode, die aus einem Platin-Heizfaden bestand, der um einen Stab aus Kalziumoxid gewickelt war. Mit dieser Kathode rüstete er Gleichrichterröhren für Ein- und Mehrphasenwechselspannung aus, für die er 1904 ein Patent beantragte. Bild 1.11 zeigt seine Gleichrichterröhre mit drei Anoden.



**Bild 1.11**  
Wehnelt- Gleichrichter  
mit drei Anoden für  
Drehstrom (1904) [9]

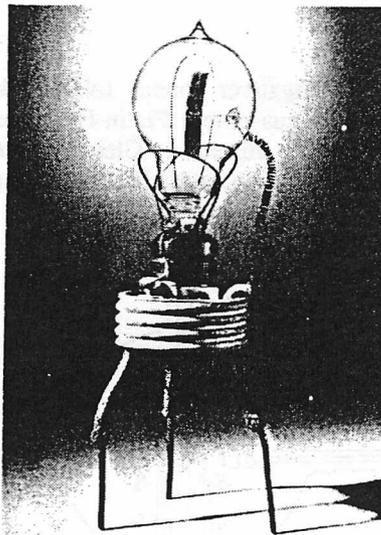
Das erreichbare Vakuum war zu dieser Zeit recht mäßig, so daß diese Röhre eine Gasentladungsröhre mit heißer Kathode war. Solche Röhren, später meist mit Neon-Füllung! blieben bis Ende der 1920'er Jahre in Gebrauch. Bild 1.12 zeigt einen solchen Gleichrichter mit zwei Anoden für Einphasen-Zweiweg-Gleichrichtung nach Wehnelt-Donath, wie sie von der Akkumulatorenfabrik (AFA) in Hagen vertrieben wurden.



**Bild 1.12**  
Gleichrichter nach Wehnelt-Donath  
der Akkumulatorenfabrik (AFA) in Hagen  
für Einphasen-Doppdweggleichrichter. [58]

### Fleming-Diode

John Ambrose Fleming arbeitete für die Marconi Wireless Telegraph Co. Ltd. in England. Ein wesentliches Problem war zu der Zeit, einen hinreichend empfindlichen Detektor für die elektrischen Wellen zu finden. Fleming versuchte, den seit zwanzig Jahren bekannten Edison-Effekt für diese Zwecke zu nutzen. Seine erste im Jahre 1904 dazu verwendete Röhre ähnelte sehr Edisons "Electrical Indicator" (Bild 1.13). Fleming nannte sie "Oscillation Valve".



**Bild 1.13**  
Fleming'sche Diode ("Oscillation Valve")  
als Detektor für Funkempfänger 1904 [7]

Fleming patentierte seine Röhre (die ja schon 1883 von Edison erfunden wurde) und deren Gebrauch als Detektor in England 1904, später auch in Deutschland und den Vereinigten Staaten von Amerika, was Anlaß zu Patentstreitigkeiten gab, nachdem Lee de Forest sein Audion (siehe dort) erfunden hatte. Die Fleming-Diode bewährte sich als Empfangsdetektor so sehr, daß sie kommerziell gefertigt wurde. Bild 1.14 zeigt eine von der englischen Firma Edison & Swan für Marconi hergestellte (1906?) Röhre.



Bild 1.14  
Von Edison & Swan ca. 1906  
für Marconi hergestellte  
kommerzielle Fleming-Diode [7]

### Quecksilberdampfgleichrichter von Peter Cooper Hewitt

Im Jahre 1900 demonstrierte Peter Cooper Hewitt an der Columbia-Universität seine Quecksilberdampf Lampe, in der ein Lichtbogen zwischen einer Quecksilberkathode und einer Metallanode in einer etwa einen Meter langen Glasröhre brannte. 1902 ließ er seinen prinzipiell genauso gebauten Quecksilberdampfgleichrichter patentieren, den es auch bereits mit drei Anoden für Drehstrom gab. Bild 1.15 zeigt eine Zeichnung aus der deutschen Patentschrift des Jahres 1902.

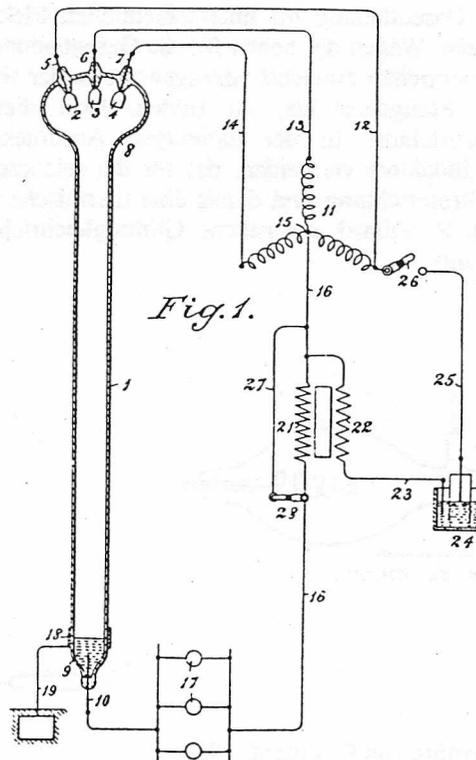
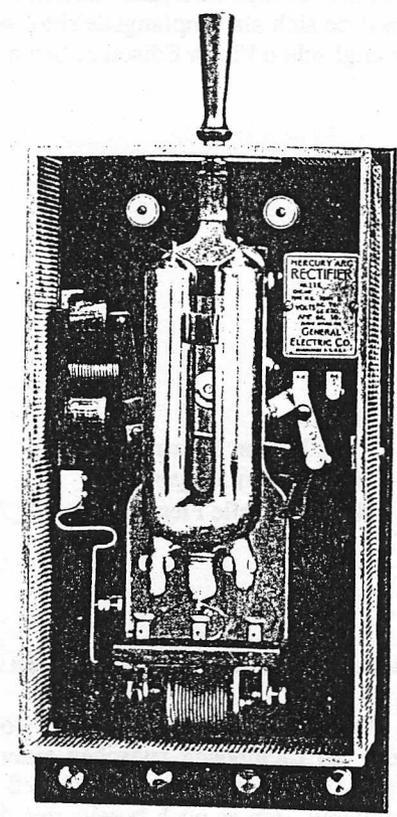
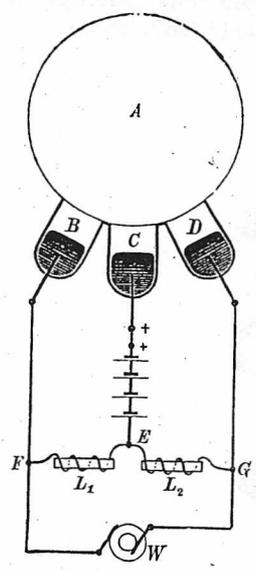


Bild 1.15  
Quecksilberdampfgleichrichter von  
Peter Cooper Hewitt 1902 [11]

Das Bild 1.16 zeigt frühe Bauformen von Quecksilberdampfgleichrichtern. Unten am Gefäß sind drei mit Quecksilber gefüllte Ansätze zu sehen. Der mittlere ist die Kathode und die beiden äußeren sind Anoden. Zum Betrieb mußte der Gleichrichter erst gezündet werden. Dazu wurde das Glasgefäß etwas seitlich gekippt, so daß

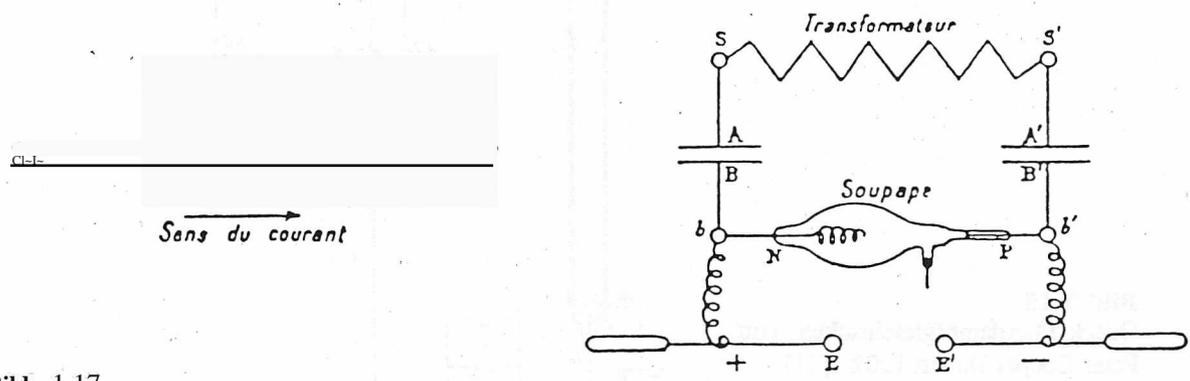
ein wenig Quecksilber von einer Anode zur Kathode floß. Beim Zurückkippen riß die Quecksilberverbindung ab, und der dabei entstehende Lichtbogen zündete den Gleichrichter.



**Bild 1.16**  
Frühe Quecksilberdampfgleichrichter:  
Foto: Gleichrichter der Fa. General Electric aus dem Jahre 1904 [8]  
Zeichnung: aus [12]

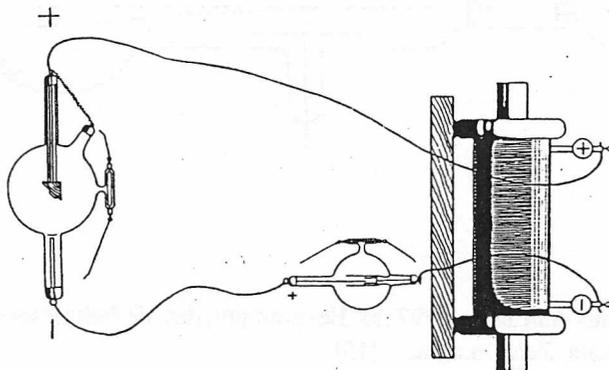
**Glimmgleichrichter**

Die Unsymmetrie einer Gasentladung bei unterschiedlichen Elektroden des Entladungsrohrs läßt sich für Gleichrichterzwecke nutzen. Wegen der hohen für die Gasentladung erforderlichen Spannung und der kleinen Ströme waren solche Gleichrichter zunächst vorzugsweise in der Hochspannungstechnik; bei kleinen Strömen, also besonders in der Röntgentechnik, zu finden. Dort dienten sie dazu, die Hochspannung des Funkeninduktors gleichzurichten. In der damaligen Ausdrucksweise hieß es, man müsse den sog. "Schließungsstrom" des Induktors vermeiden, der für die seinerzeit verwendeten Ionenröntgenröhren (siehe dort) eine Umkehr der Stromrichtung und damit eine thermische Überlastung der Kathoden bedeutete. Bild 1.17 zeigt die erste, von P. Villard angegebene Glimmgleichrichterröhre in einer "Spannungserhöhungs"-schaltung (Villardschaltung)



**Bild 1.17**  
Glimmgleichrichterröhre von P. Villard, 1901  
(Soupape= Ventil), angewendet in einer Schaltung zur Spannungserhöhung [13]

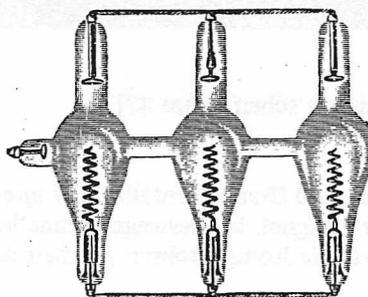
Diese Gleichrichter sind in der Folge besonders für die Röntgentechnik als "Ventile" durchgebildet worden. Bild 1.18 zeigt eine Ventilröhre der bereits bei den Röntgenröhren erwähnten Fa. Gundelach in der Anwendung mit Funkeninduktor und Röntgenröhre. Für die Ventilröhre ist wie bei der eigentlichen Röntgenröhre eine Regeneriereinrichtung für den Gasdruck (siehe dort) zu erkennen..



**Bild 1.18**

Ventilröhre der Fa. Gundelach in der Schaltung mit Funkeninduktor und Röntgenröhre, ca. 1910 [4]

In Bild 1.19 ist eine Röhre der Fa. CHF Müller aus Hamburg zu sehen, die zur Erhöhung der Strombelastbarkeit, aus drei parallelgeschalteten Teilen besteht. Da in allen Teilröhren der gleiche Gasdruck herrschen muß - sie müssen die gleiche "Härte" haben - , sind sie durch Druckausgleichsröhrchen verbunden. Auffällig ist die Ähnlichkeit mit der Villard'schen Röhre (Bild 1.17).



**Bild 1.19**

Ventilröhre von CHF Müller, drei Teile parallelgeschaltet.. ca. 1905 [14]

### 1.3 Braun'sche Röhren

Im ausgehenden 19ten Jahrhundert wurden umfangreiche Versuche mit Gasentladungen, Kathodenstrahlen, Kanalstrahlen, Röntgenstrahlen usw. angestellt. Durch diese der physikalischen Erkenntnis dienenden Versuche festigte sich mit der Zeit die Ansicht, daß es sich bei den Kathodenstrahlen um negative Teilchen handeln müsse, die man Elektronen nannte. Als unmittelbaren Vorläufer der Kathodenstrahlanzeigeröhre, also der Braun'schen Röhre oder Oszillografenröhre, kann man wohl die Röhre von J.J. Thomson aus dem Jahre 1897 ansehen. Thomson versuchte mit dieser Röhre, das Verhältnis von Ladung zu Masse des Elektrons zu bestimmen. Dazu verwendete er eine Röhre, die in Bild 1.20 gezeigt ist. Bei dieser Röhre wurden sowohl elektrostatische als auch magnetische Ablenkung eingesetzt, aus deren gegenseitiger Kompensation Thomson das Verhältnis  $e/m$  errechnete.

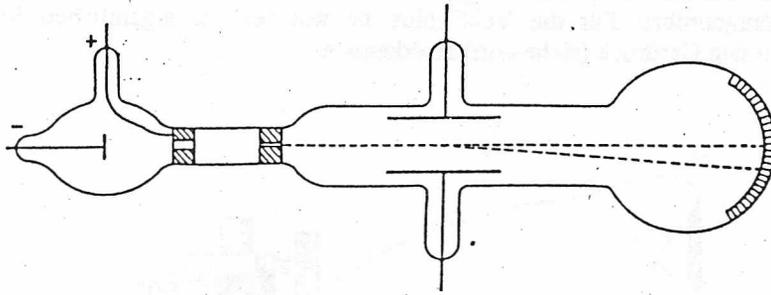


Bild 1.20

Röhre von J.J. Thomson aus dem Jahre 1897 zur Bestimmung des Verhältnisses  $e/m$  mit außen aufgeklebter Skala, Zeichnung aus [15]

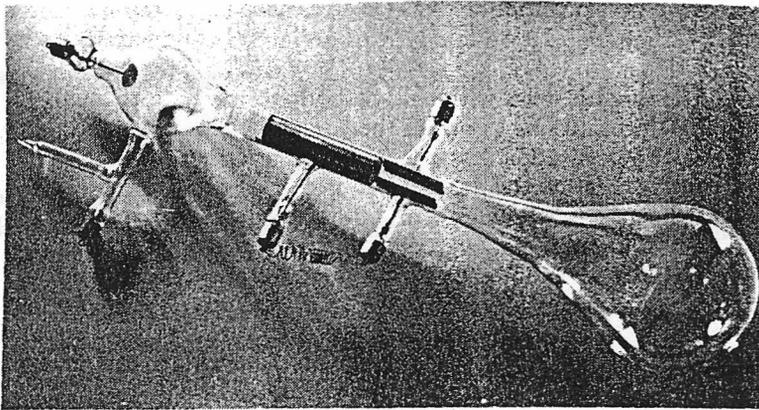


Bild 1.21

Photographie der Thomson'schen Röhre [7]

Bild 1.22 zeigt die von Ferdinand Braun ebenfalls 1897 angegebene Form der Kathodenstrahlröhre. Sie war für Demonstrationszwecke sehr geeignet, hat deswegen schnelle Verbreitung gefunden und gab diesem Röhrentyp den Namen. Sie arbeitete wie die Röntgenröhren der Zeit mit kalter Kathode, also auch mit hoher Spannung von ca. 30 kV.

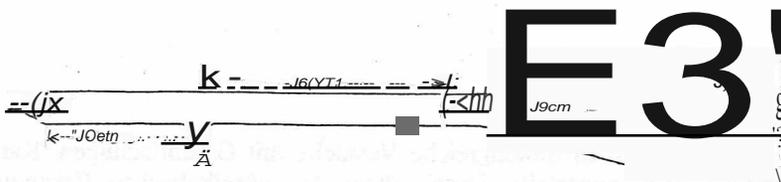
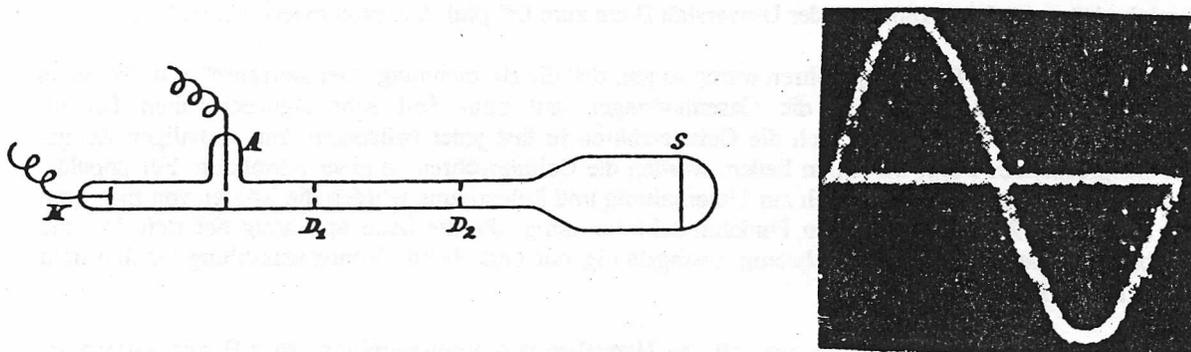


Bild 1.22

Röhre von Ferdinand Braun aus dem Jahre 1897 [16]

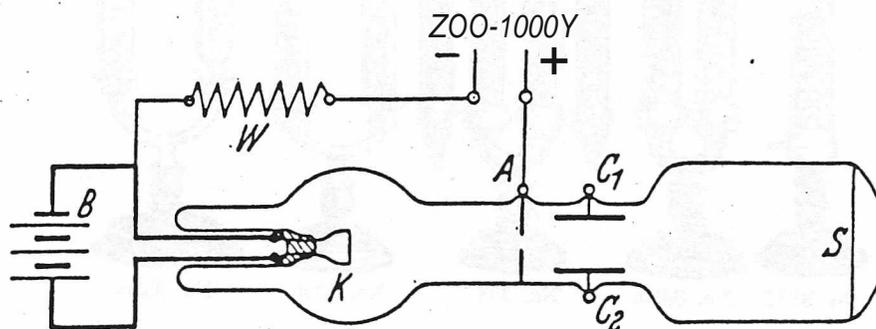
Die Braun'sche Röhre ist dann von verschiedener Seite verbessert worden. Bild 1.23 zeigt eine Ausführung von Jonathan Zenneck mit verbesserter Fokussierung des Strahles sowie ein mit dieser Röhre von Zenneck erzeugtes Oszillogramm aus dem Jahre 1899.



**Bild 1.23**

Von J. Zenneck angegebene Röhre mit durch die Lochplättchen  $D_1$  und  $D_2$  verbesserter Fokussierung des Strahles und ein damit aufgenommenes Oszillogramm 1899. [17]

Schließlich verbesserte Arthur Wehnelt die Braun'sche Röhre im Jahre 1905 durch eine geheizte Kathode. Der Glühfaden bestand aus einem schmalen Streifen Platinfolie, auf den ein kleiner Fleck Kalziumoxid aufgebracht war. Der kleine Durchmesser dieses Emissionsflecks sorgte für eine gute Fokussierung. Außerdem konnte man, anders als bei den Röhren mit kalter Kathode, die für die Gasentladung hohe Spannungen brauchten, mit kleinen Anodenspannungen, also mit langsameren Elektronen arbeiten. Dadurch erhöhte sich die Ablenkempfindlichkeit. Bild 1.24 zeigt diese Wehnelt'sche Röhre.



**Bild 1.24**

Oszillographenröhre nach Wehnelt mit geheizter Kathode, 1905 [18]

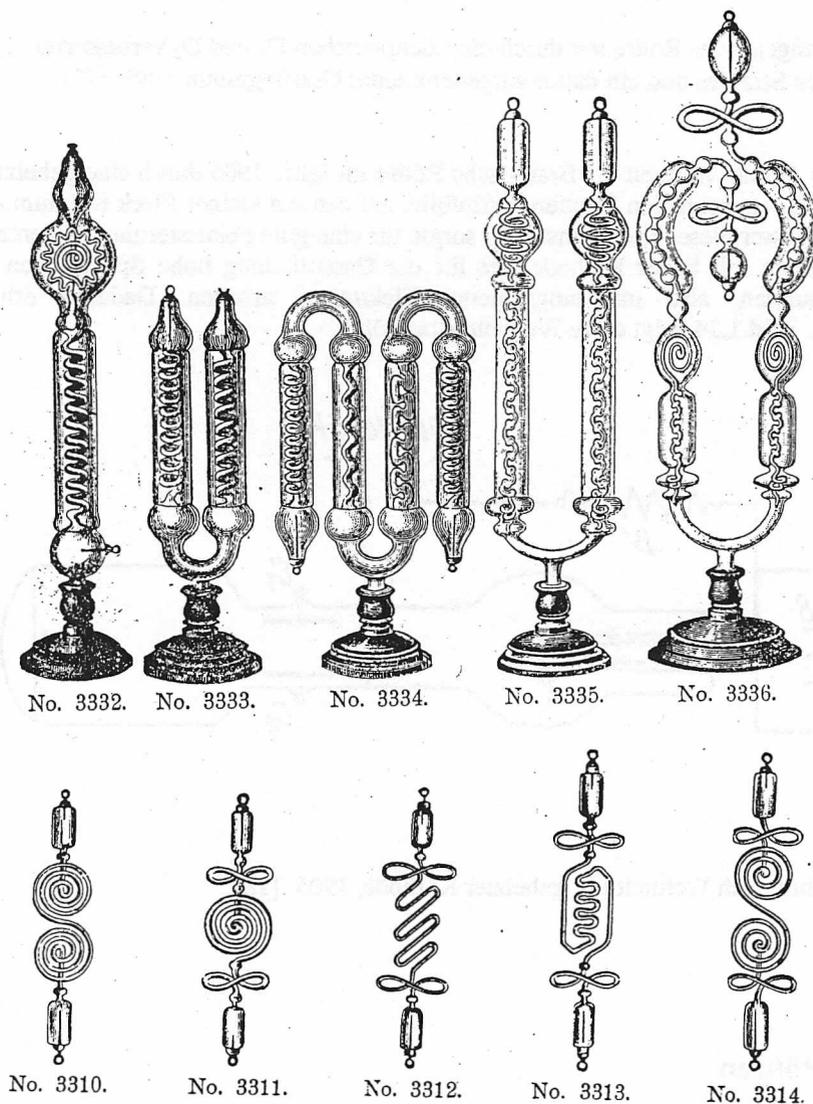
## 1.4 Geissler'sche Röhren

Wie schon erwähnt, wurde im ausgehenden 19ten Jahrhundert die Physik der Gasentladungen mit für derzeitige Verhältnisse großem Aufwand erforscht. Die mehr oder weniger evakuierten Entladungsgefäße bestanden fast immer aus Glas. Die erreichbaren Vakua waren noch weit von dem entfernt, was wir heute unter Hochvakuum verstehen. (Von Hochvakuum spricht man dann, wenn die mittlere freie Weglänge der

Elektronen groß gegen die Gefäßabmessungen ist.) Die Glasgefäße hatten den Vorteil, daß man die mit der Gasentladung verbundenen Leuchterscheinungen gut sehen und daß man sie gut herstellen konnte, denn das Glasbläserhandwerk war weit verbreitet. Ein herausragender Meister der Glasbläserkunst war Heinrich Geissler (1814-1879). Er war Universitätsmechaniker an der Universität Bonn und arbeitete dort mit Julius Plücker zusammen, der einer der großen Erforscher der Gasentladungen war. Geissler arbeitete so geschickt und einfallreich, daß er im Jahre 1868 von der Universität Bonn zum Dr. phil. h.c. promoviert wurde. [19]

Die von ihm angefertigten Entladungsröhren waren so gut, daß die Bezeichnung "Geissleröhre" zum Synonym für Gasentladungsröhren wurde. Da die Gasentladungen mit zum Teil sehr eindrucksvollen Leuchterscheinungen verbunden waren und sich die Geissleröhren in fast jeder beliebigen dem damaligen Zeitgeschmack entsprechenden Form herstellen ließen, wurden die Geissleröhren zu einer Attraktion. Für populärwissenschaftliche Experimente, aber auch zur Unterhaltung und Belustigung wurden die Röhren von mehreren Fabriken hergestellt. Zum Betrieb waren Funkeninduktoren nötig, die die hohe Spannung lieferten. Um die damit verbundene Gefahr und die gleichzeitig zwangsläufig mit entstehende Röntgenstrahlung machte man sich damals keine Gedanken.

Lieferanten solcher "Schmuckröhren" waren oft die Hersteller von Röntgenröhren, so z.B. die Firmen E. Gundelach aus Geßberg in Thüringen, Max Kohl aus Chemnitz und Koch & Sterzel aus Dresden. Bild 1.25 zeigt eine Auswahl solcher Geissleröhren der Fa. E. Gundelach aus Geßberg in Thüringen.



**Bild 1.25**

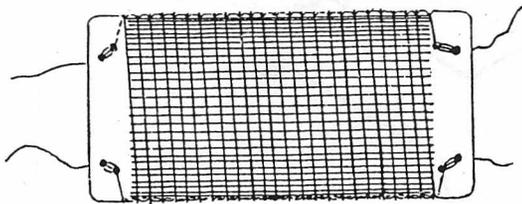
Beispiele Geissler'scher Röhren für Demonstrations- und Schmuckzwecke [20]

## 1.5 Photozellen und Zählrohre

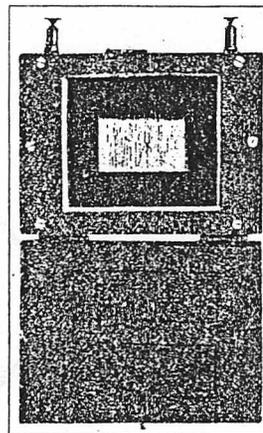
### Photowiderstände

Im Jahre 1873 beobachtete May, ein Gehilfe von Willoughby Smith, daß sich der Widerstandswert von Selenwiderständen mit zunehmender Belichtung verkleinerte. Smith setzte diese Widerstände, die aus der metallischen Modifikation des Selens hergestellt waren, für Betriebsmessungen an Unterseekabeln ein.

In der Folgezeit wurden Selenzellen u.a. von Siemens (1875) und Bell (1880) hergestellt. Bell benutzte seine Zellen bereits für Versuche, mit Licht zu telephonieren („Photophonie“). Eine gewisse Verbreitung fanden die Selenzellen nach Shelford und Bidwell (1882), die in Bild 1.26 gezeigt sind. Sie stellen eine Verbesserung der Siemens-Zelle dar.



Prinzipielle Konstruktion



Technische Ausführung

Bild 1.26

Selenzellen nach Shelford und Bidwell (1882) [27]

Um eine Glas- oder Glimmerplatte von ca.  $3 \times 6 \text{ cm}^2$  Größe wurden zwei ineinander verschachtelte, aber nicht verbundene Wicklungen aus Kupfer- oder Platindraht gelegt. Darauf wurde eine Schicht metallischen Selens aufgeschmolzen. Die Enden der Wicklungen führten zu den Anschlußklemmen, und das Ganze war in ein Kästchen aus Holz und Hartgummi eingebaut.

Das Bild 1.27 zeigt eine von Ruhmer ca. 1900 gebaute Selenzelle in einem röhrenartigen Glaskolben, der den Selenwiderstand vor Witterungseinflüssen schützen sollte. Der Schutz vor der Witterung war besonders deshalb wichtig, weil diese Zelle für die Anwendung in der Lichttelephonie gedacht war und somit im Freien verwendet werden sollte.

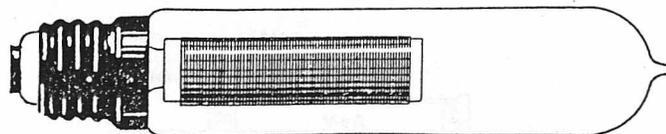
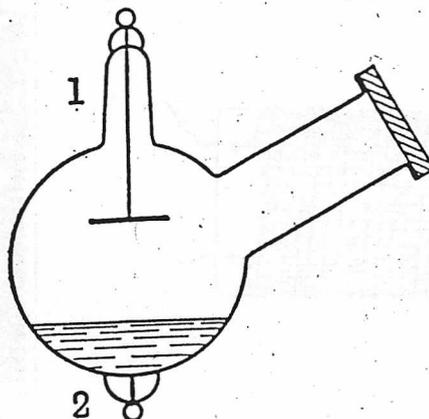


Bild 1.27

Selenzelle nach Ruhmer  
im Glaskolben für Licht-  
telephonie (ca. 1900) [27]

## Photozellen

Der sog. "Äußere Photoeffekt", das ist die Emission von Elektronen aus der Oberfläche bestrahlter Körper, insbesondere von Metallen, ist seit Beobachtungen von Heinrich Hertz (1887) und den Arbeiten besonders von W. Hallwachs und A. Stoletow (1888) bekannt. Er war Gegenstand intensiver Forschungen (u.a. von A. Einstein), die erheblich zu unserem physikalischen Gesamtverständnis beigetragen haben. Dennoch ließen die technischen Anwendungen auf sich warten. Nach meiner Erkenntnis taucht die technische Bezeichnung "lichtelektrische Zelle" im Titel einer wissenschaftlichen Arbeit erstmals bei H. Dember [28] im Jahre 1908 auf. Erste Anwendungen von Zellen, die oft nach Angaben von J. Elster und H. Geitel gebaut wurden, lagen auf dem Gebiet physikalischer und astronomischer Lichtmessung. Bild 1.28 zeigt eine Zelle nach Elster und Geitel.

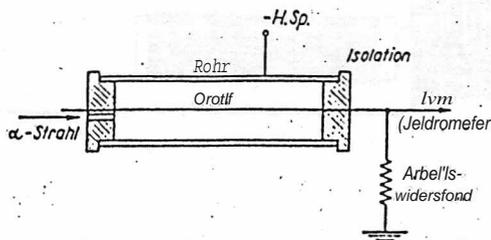


**Bild 1.28**  
Anordnung von J. Elster und  
H. Geitel 1891,  
später "Photozelle" genannt  
[37], Bild aus [36]

Fleming wies im Jahre 1909 auf die Gleichrichterwirkung der Zellen hin, was die Verwendung als Detektor in der Funkentelegraphie nahelegte. L. Kunz und J.G. Kemp untersuchten diese Anwendung. Sie kamen aber zu dem Ergebnis, daß die bis dahin gebräuchlichen Detektoren geeigneter waren. (Literaturquellen hierzu besonders in [29])

## Zählrohre

Auch die Radioaktivität war Gegenstand der Forschung. H. Becquerel fand im Jahre 1896 die natürliche Radioaktivität am Element Uran. Das Ehepaar Curie, Rutherford und andere arbeiteten auf diesem Gebiet, aber auch z.B. Elster und Geitel, die auch auf dem Gebiet der Photozellen tätig waren. Zur Messung von  $\alpha$ -Strahlen konstruierten Rutherford und Geiger im Jahre 1903 den ersten Zähler. Bild 1.29 zeigt dieses Zählrohr, das den späteren Konstruktionen bereits sehr ähnlich ist.



**Bild 1.29**  
Zähler zur Registrierung von  $\alpha$ -Strahlen nach Rutherford und Geiger, 1903 [32]  
Bild aus [33]

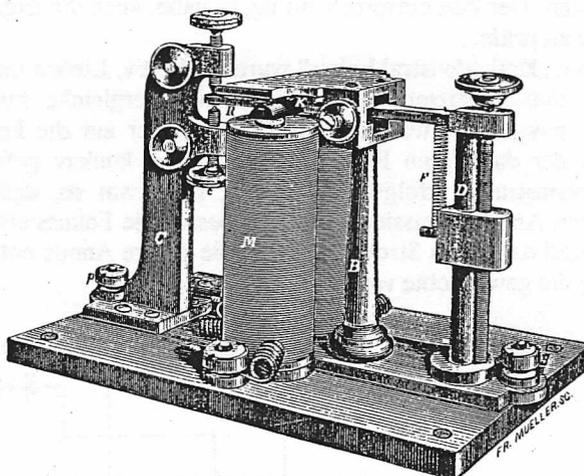
## 1.6 Die Verstärkerröhre (Triode)

In der ersten Dekade des 20sten Jahrhunderts gab es das Telephon und die Funktechnik, die damals als "drahtlose Telegraphie (wireless telegraph)" bezeichnet wurde, denn in der Funktechnik wurde (abgesehen vom Poulsen-Sender) genauso gemorst wie bei der drahtgebundenen Telegraphie. Für beide Techniken bestand erheblicher Verbesserungsbedarf.

### Die Lieben-Röhre

Der Telephonbetrieb hatte sich seit der Erfindung des Systems von Alexander Graham Bell im Jahre 1876 rasch eingeführt. In Deutschland beispielsweise wurde der öffentliche Fernsprechtbetrieb im Jahre 1881 durch den Generalpostmeister Heinrich von Stephan eingeführt, und im Jahre 1908 wurde das erste Selbstwählamt mit automatischen Hebdrehwählern in Hildesheim in Betrieb genommen. Allerdings waren die erreichbaren Entfernungen (maximal einige hundert Kilometer) vergleichsweise klein, weil die Leitungsdämpfung größere Reichweiten verhinderte.

Dieses Problem kannte man auch von der Telegraphentechnik her. Hier hatte man allerdings im Relais (sinngemäß zu übersetzen mit "Ausspann" oder "Erholungsstation", denn die Stationen der Postkutschenlinien, in denen die Pferde gewechselt wurden und die Fahrgäste sich erfrischen konnten, hießen auch „Relais" oder "Ausspann") eine Lösung gefunden. Dieses Relais war ein elektromagnetisch betätigter Schalter, der einen kleinen Strom brauchte, um mit seinen Kontakten einen wesentlich größeren Strom aus einer Ortsbatterie zu schalten. Man hatte also einen elektromechanischen Verstärker gefunden, der die Leitungsdämpfung ausgleichen konnte. So waren bereits weltumspannende Telegraphenverbindungen möglich. Bild 1.30 zeigt ein solches Telegraphenrelais.



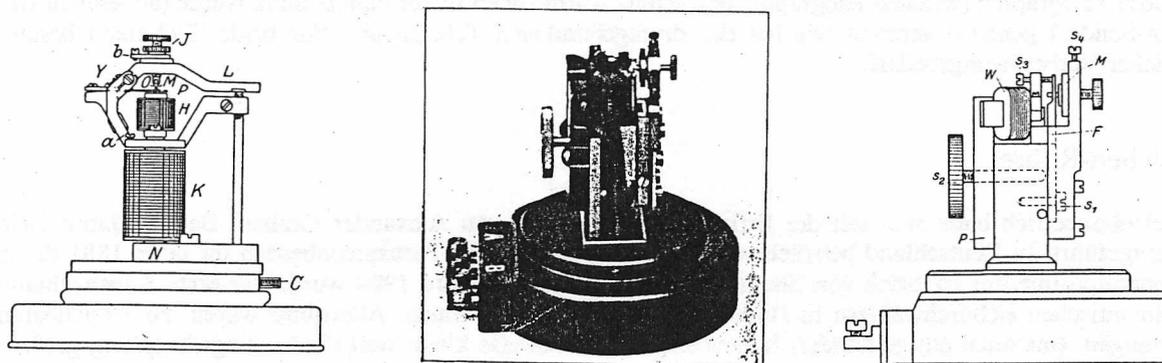
**Bild 1.30**

Telegraphenrelais, ein elektromechanischer Verstärker für die Telegraphentechnik., ca. 1890 [22]

Es lag also nahe, den bei der Telegraphentechnik so erfolgreichen Weg auch bei der Fernsprechtechnik zu gehen, und folgerichtig suchte man nach einem "Telephonrelais".

Mit einigem Erfolg wurden sogar mechanische, relaisartige Verstärker oder eben "Telephonrelais" gebaut. Der m.E. bekannteste ist das Telephone Relay von S.G. Brown, das Bild 1.31 in zwei Versionen zeigt. Brown verwendete ein polarisiertes Relais, bei dem die Erregerwicklung auf einen Hufeisenmagneten geschoben war. Bei der gezeichneten Version wurde ein äußerst empfindlicher und massearmer Osmium-Iridium-Kontakt (M-O in der Zeichnung) verwendet, der die Ortsbatterie im Rhythmus des Sprachsignals ein- und ausschaltete. Der zweite, als Photographie gezeigte Verstärker benutzte als Kontakt ein Kohlemikrofon. Er zeigte etwas weniger Verzerrungen und hatte einen geringfügig besseren Frequenzgang, war aber nicht so empfindlich.

Man kann sich vorstellen, daß heutige Begriffe wie Klirrfaktor oder Frequenzgang besser nicht auf diesen Verstärker angewendet werden sollten. (Allerdings wurde noch im Jahre 1938, also längst nachdem es die Verstärkerröhre gab, ein Schwerhörigengerät mit mechanischem Verstärker von der Fa. Siemens gebaut, weil dieser Verstärker mit einer einfachen, kleinen und damals üblichen Taschenlampenbatterie auskam.)

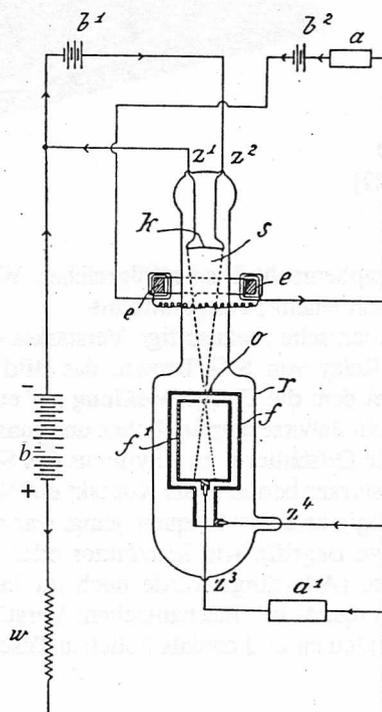


**Bild 1.31**

Mechanischer Sprachverstärker "Telephonrelais" von S. G. Brown aus dem Jahre 1910. Links: Ausführung mit Relaiskontakt [23], mitte und rechts: mit Kohlernikrophon als Kontakt, Fa. Siemens [70]

Der mechanische Verstärker erfüllte besonders in der Sprachqualität nicht die Erwartungen, und man suchte nach weiteren Lösungen. Der Zeit entsprechend lag es nahe, auch die Eignung der bekannten Kathodenstrahlen für Verstärkerzwecke zu prüfen.

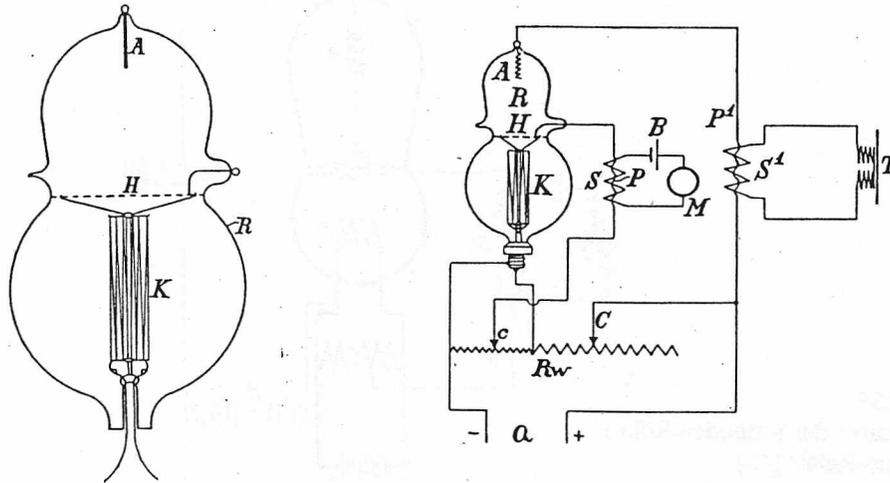
Das erste Patent für ein "Kathodenstrahlrelais" wurde Robert v. Lieben im Jahre 1906 erteilt. Seine Röhre (Bild 1.32) arbeitete mit einer geheizten, mit Kalziumoxid (vergleiche mit Wehnelt, Bild 1.11) bestrichenen Kathode, die konkav ausgebildet war, um den Strahl besser auf die konzentrischen Anoden zu fokussieren (Auch die Kathoden der damaligen Röntgenröhren waren konkav geformt, vergleiche z.B. Bild 1.1). Die Steuerung des Kathodenstrahls erfolgte magnetisch, und zwar so, daß er mehr oder weniger gut auf die Öffnung O der äußeren Anode fokussiert wurde. Je besser die Fokussierung war, desto größer war der Anteil des Kathodenstrahls und damit des Stromes, der auf die innere Anode entfiel. Dieser gesteuerte Strom erzeugte am Lastwiderstand  $a$  die gewünschte verstärkte Spannung.



**Bild 1.32**

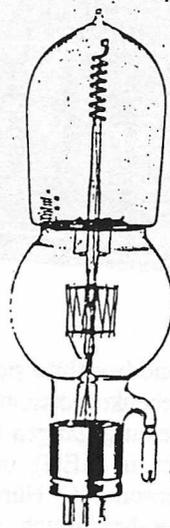
Kathodenstrahlrelais von Robert v. Lieben mit magnetischer Steuerung der Strahlfokussierung, 1906 [24]

V. Lieben arbeitete als Privatgelehrter und hatte gesundheitliche Probleme. Daher entfiel ein zunehmend großer Anteil an seinen Arbeiten auf seine Mitarbeiter E. Reisz und S. Strauss. Im Jahr 1910 meldeten sie gemeinsam eine Röhre mit elektrostatischer Steuerung zum Patent an. Diese Röhre wird in Bild 1.33 gezeigt und ist die "Lieben-Röhre".



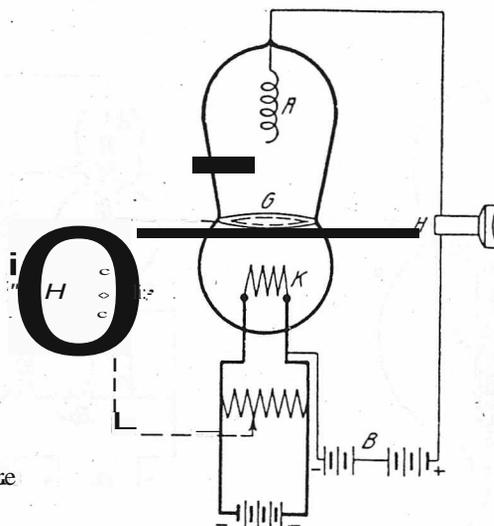
**Bild 1.33**  
Kathodenstrahlrelais von Lieben, Reisz und Strauss  
mit elektrostatischer Steuerung: "Liebenröhre" 1910 [25]

Wie bei allen Röhren dieser Zeit war das Vakuum schlecht. Von Lieben war sogar der Überzeugung, daß der Gasgehalt für die Funktion wichtig sei. Seine Röhren (Bild 1.34) haben daher einen Ansatz, in dem eine Amalgampille enthalten ist. Dies hatte einen seinerzeit nützlichen Nebeneffekt: Der enthaltene Quecksilberdampf sorgt beim Betrieb der Röhre für das typische blaue Quecksilberleuchten. An der Höhe dieser Leuchterscheinung konnte der Betreiber der Röhre erkennen, wie hoch der Strom durch die Röhre war (heute würde man sagen: in welchem Arbeitspunkt sich die Röhre befand). An der abgebildeten Röhre ist eine kleine außen aufgemalte Skala zu erkennen. Mit ihrer Hilfe und dem Leuchten konnte der Telegraphist den besten Arbeitspunkt einstellen.



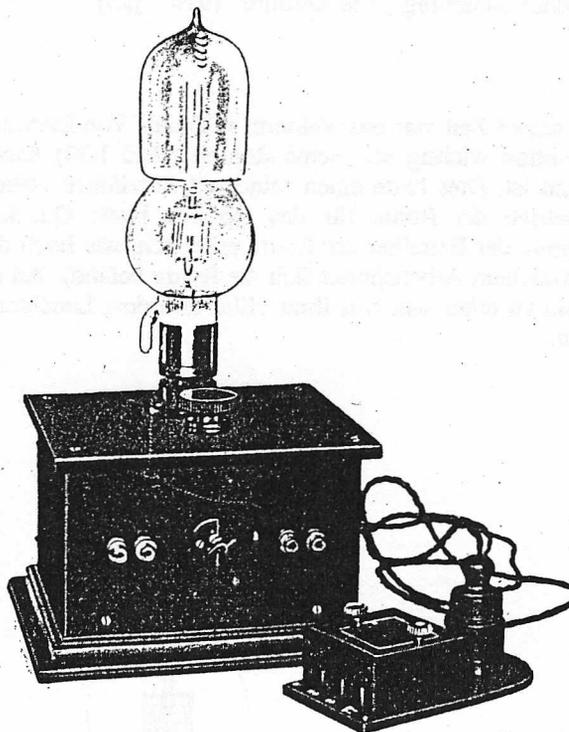
**Bild 1.34**  
Liebenröhre mit außen  
aufgemalter Skala zur  
Einstellung des Arbeits-  
punktes anhand der Höhe  
des Quecksilberleuchtens  
[26]

Das Bild 1.35 zeigt die Anwendung der „Kathoden-Röhre als Strom-Relais“



**Bild 1.35**  
Anwendung der Kathoden-Röhre  
als Strom-Relais [45]

In Bild 1.36 schließlich ist der Aufbau eines Niederfrequenzverstärkers aus dem Lieben-Laboratorium zu sehen, der im Jahre 1912 gebaut wurde.



**Bild 1.36**  
Niederfrequenzverstärker aus  
dem Lieben-Laboratorium 1912  
[10]

Die Röhre war ein brauchbares Telephonrelais und bewährte sich im praktischen Betrieb. V. Lieben verkaufte die Rechte an seiner Röhre an das sog. „Liebenkonsortium“. Dies war eine Gemeinschaft der Firmen Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (AEG, heute aufgegangen in DaimlerChrysler), Siemens & Halske, heute Siemens AG, Telefunken GmbH (aufgegangen in AEG) und Süddeutsche Telefonapparate-, Kabel- & Drahtwerke AG vorm. Feiten & Guillaume Carlswerk AG, Nürnberg (TeKaDe, heute aufgegangen in Philips). Mit dieser Röhre wurden im damaligen Deutschen Reich wesentliche Entwicklungen der noch jungen Nachrichtentechnik erprobt, wie z.B. Nieder- und Hochfrequenzverstärkung, Schwingungserzeugung und Überlagerungsempfang.

Auffällig ist die Ähnlichkeit der Anode mit der in der Gleichrichterröhre nach Villard. Es ist wohl so, daß man sich gern beeinflussen läßt.

## Das Audion

In der Funktechnik, oder, wie es damals hieß, der "Funkentelegraphie", wurden in der ersten Dekade des 19. Jahrhunderts rasche Fortschritte erzielt. Insbesondere Marconi erzielte immer wieder neue, sehr bestaunte Reichweiten: Im Jahre 1899 funkte er über den Ärmelkanal von Frankreich nach England, und schon im Dezember 1901 gelang ihm die Verbindung über den Atlantik von Poldhu in Cornwall nach St. John in Neufundland. Die "Funkentelegraphie" machte ihrem Namen alle Ehre, denn der Sender bestand im Wesentlichen aus einer Funkenstrecke, die laut im Rhythmus der Funken knatterte. Dies blieb so, bis sich die Löschfunkenstrecke ab ca. 1906 langsam durchsetzte.

Ein großes Problem waren die Empfänger und hier besonders die Wellendetektoren. Marconi z.B. benutzte anfangs den auf Edouard Branly [31] zurückgehenden Kohärer oder "Fritter". Dieser Fritter bestand aus Metallspänen, die in eine Glasröhre zwischen zwei Kontaktstücke eingefüllt waren. Wurde ein Signal empfangen, stieg die Feldstärke an und kleine Fünkchen zwischen den Metallspänen ließen diese sich verschweißen, zusammenbacken oder eben "fritten". Dadurch wurde der ohmsche Widerstand schlagartig kleiner, so daß man mit dem Fritter z.B. ein Relais betätigen konnte. Durch Klopfen mußten die Späne wieder aufgeschüttelt werden, damit der Fritter erneut empfangsbereit wurde. Dieses Klopfen konnte dadurch automatisiert werden, daß man mit dem Relais nicht nur den Morseschreiber, sondern auch einen Klöppel aktivierte. Bild 1.37 zeigt einen Kohärer, wie er von der Fa. Telefunken Gesellschaft für drahtlose Telegraphie mbH benutzt wurde.

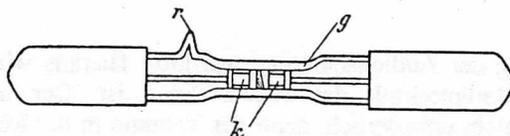


Bild 1.37  
Kohärer, Fabrikat Telefunken, ca. 1906 [30]

Es waren eine Reihe von Detektoren im Gebrauch, Kontaktdetektoren (nach F. Braun 1876), Magnetische Detektoren (nach Marconi 1905), thermische Detektoren oder Bolometer (nach C. Tissot 1906), elektrolytische Detektoren (nach M.J. Pupin 1898, bekannter als "Schlömilchzelle") und andere. Eine besonders gute Form des Detektors war die "Oscillation Valve" von A Fleming, die schon in Abschnitt 1.1 beschrieben wurde.

Lee de Forest beschäftigte sich auch mit dem Detektorproblem. Sein erstes "Audion" war eine Diode, wie sie prinzipiell auch von Fleming benutzt wurde. Allerdings benutzte de Forest eine Hilfsspannung E. Bild 1.38 zeigt die Schaltung. Mit Hilfe dieser Spannung konnte der Arbeitspunkt der Diode eingestellt werden, so daß man im jeweils günstigsten Punkt arbeiten konnte und höhere Empfindlichkeit erzielte. Dieses "Oscillation responsive device" wurde im November 1906 unter Pat. Nr. 836070 patentiert; de Forest bezeichnete es als "two electrode audion".

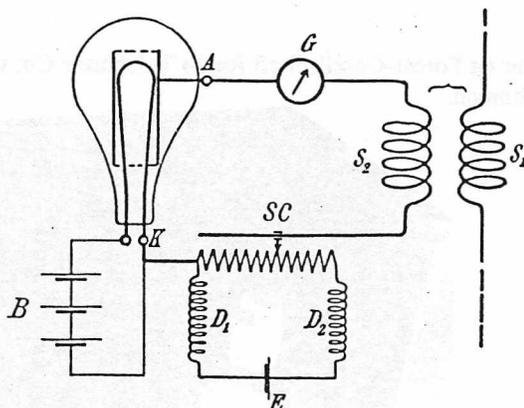
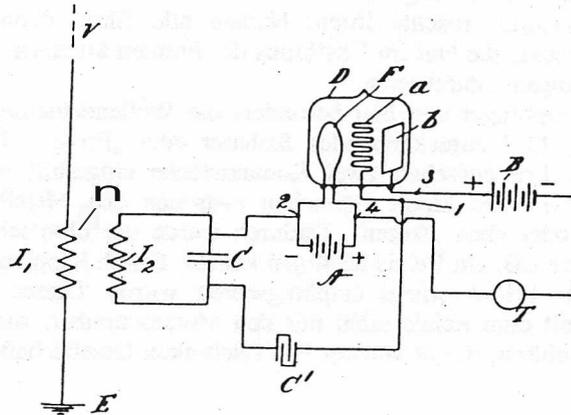


Bild 1.38  
Erstes Audion nach de Forest:  
Diode mit Hilfsspannung (1906)  
Zeichnung aus [30]

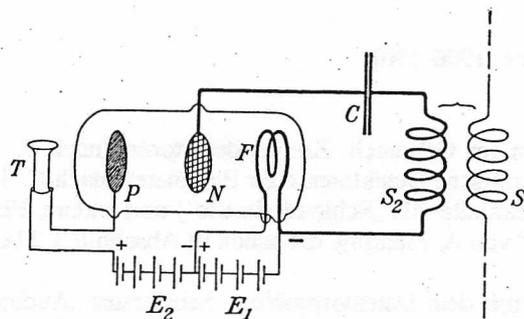
Im Weiteren verbesserte de Forest sein Audion. Nachdem er auch mit magnetischer Steuerung experimentierte, führte er eine dritte Elektrode ein. Dies war das Gitter, ein mäandertförmig gebogener Draht zur statischen Steuerung. Für dieses Dreielektroden-Audion beantragte er im Januar 1907 ein Patent, das im Februar 1908 unter der Nummer 879532 erteilt wurde. Bild 1.39 zeigt die Abbildung aus der Patentschrift, und ein Foto der ersten Röhre.



**Bild 1.39**

Zeichnung aus der Patentschrift und Abbildung der ersten Form des Audions mit Gitter von Lee de Forest 1907 (Bilder aus [7])

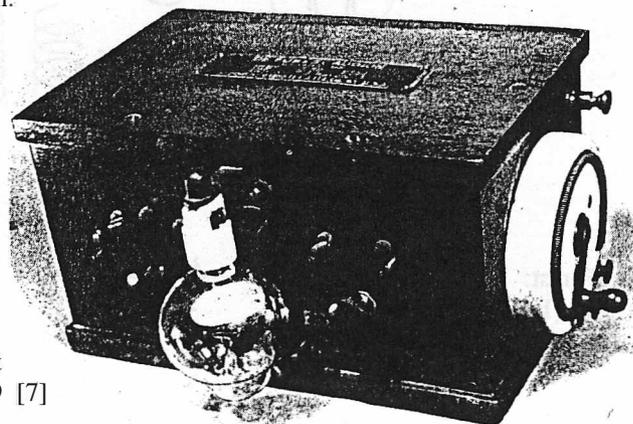
Das Bild 1.40 zeigt eine Abbildung der Audionschaltung aus [30]. Hieraus wird deutlich, daß dies bereits genau die Audionschaltung der Radiotechnik der 1920er Jahre ist. Der im Bild scheinbar fehlende Gitterableitwiderstand war damals nicht erforderlich, denn das Vakuum in der Röhre war seinerzeit genügend schlecht, um einen hinreichend hohen Gitterstrom fließen zu lassen.



**Bild 1.40**

Zeitgenössische Abbildung der Audionschaltung, die "einen hervorragend guten Detektor darzustellen scheint" [30]

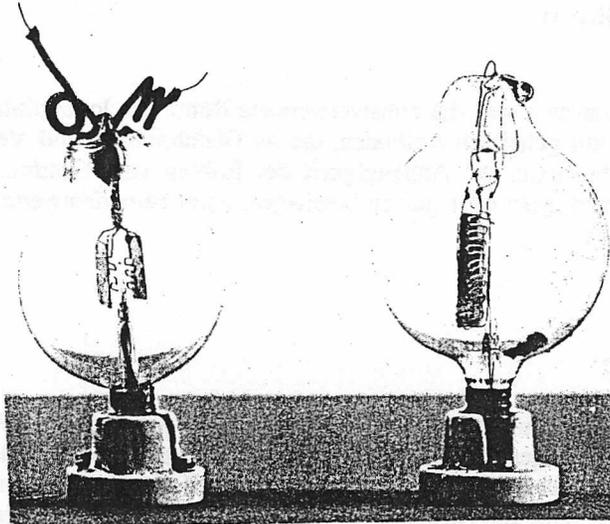
Bild 1.41 zeigt einen von der de Forest-Gesellschaft Radio Telephone Co. vertriebenen „Radio Junior“-Detektor mit Audion für Amateurgebrauch.



**Bild 1.41**

Detektor RJ4 von de Forest für Amateurgebrauch 1909 [7]

De Forest versuchte sich mit wechselndem Erfolg selbst als Unternehmer. Er ließ seine Röhren bei der Lampenfabrik von Mc Candless herstellen. Diese Röhren waren daher in die üblichen Glaskolben von Autolampen eingebaut. Sie wurden zunächst als "Single-Wing"-Audions mit nur auf einer Seite des Heizfadens angeordnetem Gitter und Anode, später aber meist als „Double-Wing“-Audions mit doppelseitiger Anordnung gebaut. Bild 1.42 zeigt diese Röhren.

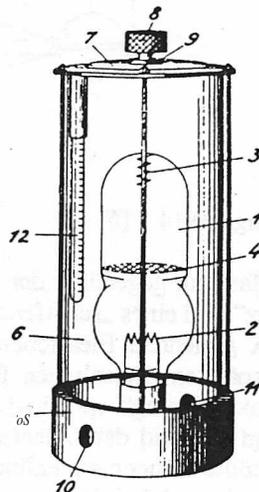


**Bild 1.42**

Single- und Double-Wing-Audions von de Forest, eingebaut in Lampenkolben der Fa. Mc Candless (um 1910) Bilder aus [7]

De Forest verkaufte seine Rechte am Audion nach und nach in den Jahren 1913 bis 1917 an die Telefongesellschaft American Telegraph and Telephone Co., kurz AT & T, behielt sich aber ein persönliches Recht vor, selbst Röhren zu bauen und zu verkaufen.

Der Stand der Technik der Verstärkerröhre zu Beginn der 1910er Jahre ist dadurch gekennzeichnet, daß es kommerziell verfügbare Röhren gab, die in der Telefonverstärkertechnik und in der Funktechnik eingesetzt wurden, nämlich die Lieben-Röhre und das Audion. Das Vakuum war derzeit nur mäßig, aber sowohl v. Lieben als auch de Forest waren der Überzeugung, daß der Gasgehalt für die Funktion der Röhren erforderlich war. Der Gasgehalt verlieh den Röhren zwar durch die Gasverstärkung vergleichsweise große Steilheiten, führte aber auf Grund des Verhaltens der Gasentladung zu außerordentlich großen Exemplarsteuungen und Temperaturabhängigkeit, so daß die Röhren im Betrieb sorgfältig eingestellt und immer wieder nachgestellt werden mußten. Dies mußte von Hand durch den Telegraphisten geschehen (vergleiche Bild 1.36). Es wurde sogar ein Thermostat für die Liebenröhre entworfen und patentiert, der in Bild 1.43 gezeigt ist.



**Bild 1.43**

Thermostat für die Lieben-Röhre  
D.R.P. 293460 angemeldet 1914

Nach Erich Niemann [45] hat die Fa. Telefunken sogar verschiedene Modelle der Lieben-Röhre für Verwendung in tropischen bzw. gemäßigten Zonen hergestellt.

## 2. Die Röhre ist zum Produkt geworden (bis 1918)

### 2.1 Röntgenröhren

Auch in diesem Zeitraum war die meistverwendete Röhre die Ionenröntgenröhre nach Abschnitt 1.1. Es gab aber Erfahrungen mit geheizten Kathoden, die an Gleichrichter- und Verstärkeröhren gemacht wurden. Mit ihrer Hilfe versuchte man, die Abhängigkeit der Röhren vom Gasdruck und damit die Notwendigkeit der Regeneration zu verringern oder gar zu beseitigen. Zwei bemerkenswerte Entwicklungen gehen auf Lilienfeld und Coolidge zurück.

#### Lilienfeld-Röhre

J.E. Lilienfeld war ein sehr vielseitiger Forscher. Auf ihn geht z.B. eine Patentanmeldung aus dem Jahre 1925 zurück, die nach heutiger Auffassung einen Feldeffekttransistor darstellt. (Diese Idee ließ sich mit der damaligen Technik nicht verwirklichen; der erste Feldeffekttransistor wurde 1954 gebaut). Seine Arbeitsweise war eher intuitiv. Er hatte die Absicht, die für die Erzeugung der Röntgenstrahlung erforderlichen Elektronen nicht aus der Gasentladung, sondern aus einer „Hilfsentladung“ mit heißer Kathode zu entnehmen. Und so konstruierte er eine Röhre, die überwiegend wie eine klassische Ionenröhre gebaut war. Die nach wie vor kalte Kathode K war gleichzeitig die Anode einer angesetzten zweiten Röhre mit Glühkathode G. Die vorgesehene Sonde S entsprach wohl der Anode der klassischen Ionenröhren und war eher überflüssig. Bild 2.1 zeigt die Skizze der Lilienfeldröhre mit ihrer Beschaltung.

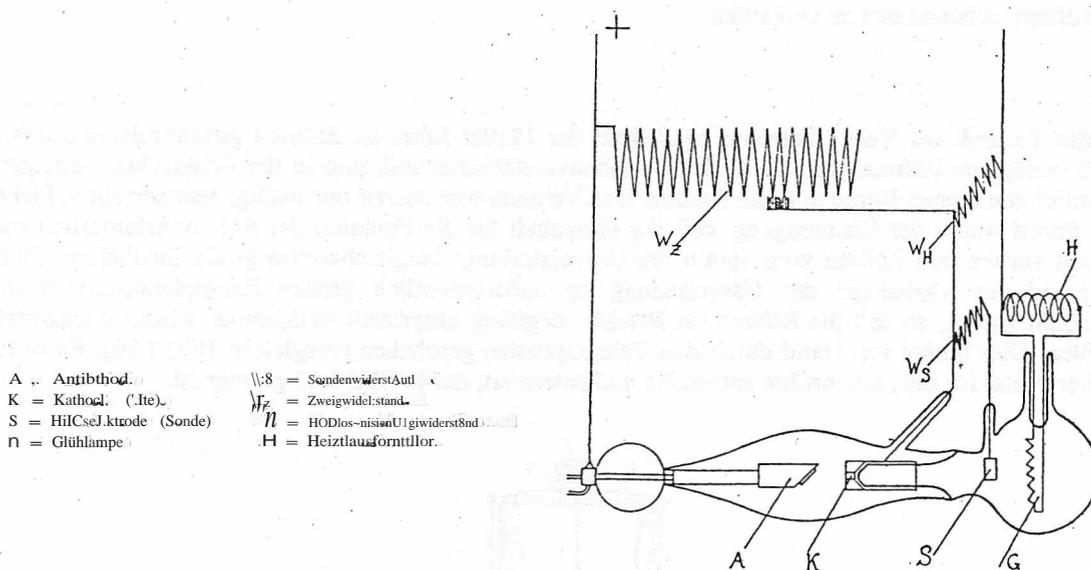
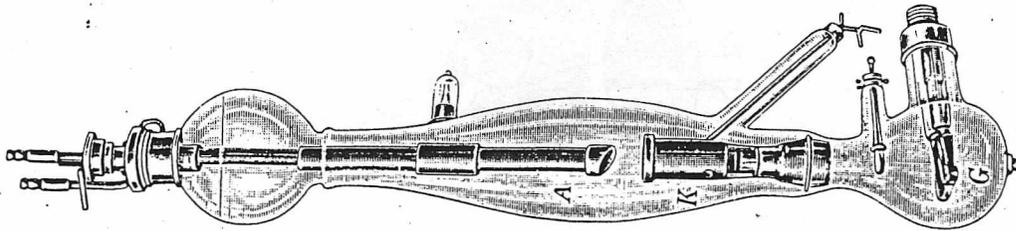


Bild 2.1  
Skizze der Lilienfeldröhre mit Beschaltung, 1914 [5]

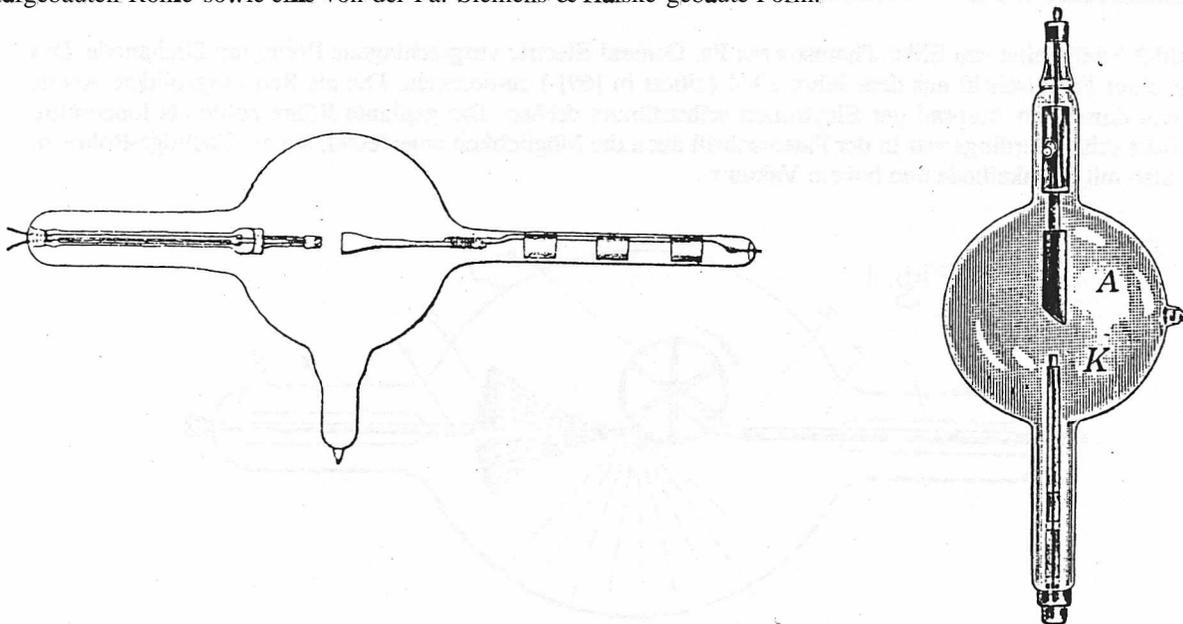
Die Lilienfeldröhre hatte nach damaliger Auffassung gegenüber der noch zu besprechenden hochevakuierten Coolidge-Röhre den Vorzug "besserer Konstanz" und eines "schärferen Brennpunktes" [5]. Ich glaube, dies lag wohl daran, daß der auf die Antikathode A gerichtete Elektronenstrahl durch den Gasgehalt der Röhre konzentriert wurde, ähnlich wie es bei den späteren Braun'schen Röhren mit Glühkathode und Gasgehalt geschah und bei denen man von der "Gasfokussierung" sprach. Letztendlich hat sich die Lilienfeld'sche Konstruktion nicht durchgesetzt. Bild 2.2 zeigt ein Bild der Lilienfeldröhre, wie sie von der Firma Koch & Sterzel aus Dresden gebaut wurde. An dieser Röhre ist noch ein Palladium-Röhrchen zur Osmo-Regenerierung unter einer Schutzröhre aus Glas zu sehen, wie sie auch bei den Ionenröhren üblich war. Der Zweigwiderstand  $W_z$ , der an der Hochspannung lag, bestand nach [34] aus einer Vielzahl hintereinandergeschalteter Glasröhren, die auf der Innenseite einen dünnen Kohleniederschlag enthielten.



**Bild 2.2**  
Lilliefeldröhre, Fabrikat Koch & Sterzei, Dresden, ca. 1915 [34]

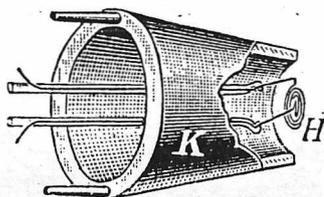
### Coolidge-Röhre

W.D. Coolidge war ein Mitarbeiter der Fa. General Electric in den USA. Seine Röntgenröhre hat die Form, die sich schließlich durchgesetzt hat. Alle heutigen Röntgenröhren sind im Prinzip Coolidge-Röhren. Die Röhre ist eine Diode mit möglichst hohem Vakuum, bei der die Glühkathode einen gut gebündelten Elektronenstrahl erzeugt, dessen Elektronen durch die Hochspannung beschleunigt werden, mit hoher Energie auf die Anode prallen und dort die Brems- oder Röntgenstrahlen erzeugen. Bild 2.3 zeigt eine Zeichnung der sehr einfach aufgebauten Röhre sowie eine von der Fa. Siemens & Halske gebaute Form.



**Bild 2.3**  
Coolidge-Röhre, Zeichnung 1914 [5] und Fabrikat von Siemens & Halske 1916 [34]

Im Bild 2.4 ist in Vergrößerung die Kathode der Röhre zu sehen. Der Wolfram-Glühdraht ist zu einer flachen Spirale gewickelt, die von einer kegelförmigen Elektrode aus Molybdän umgeben ist. Sie ist mit dem Glühdraht verbunden und soll die Elektronen auf die Anode fokussieren. Dies ist nach meiner Kenntnis die erste Stelle, an der diese Elektrode auftaucht, die gemeinhin als "Wehneltzylinder" bezeichnet wird.



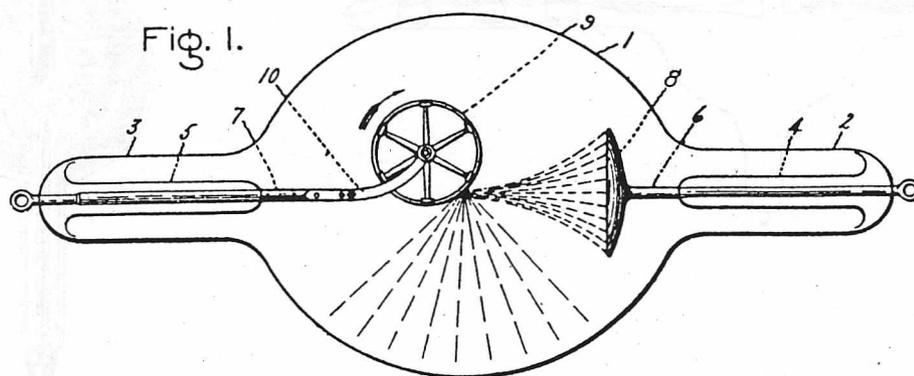
**Bild 2.4**  
Kathode der Coolidge-Röhre mit  
Molybdän-Kegel zur Fokussierung  
[34]

### Erste Ansätze zur Drehanodenröhre

Die Kühlung der Anode (oder Antikathode) der Röntgenröhre war ein dauerndes Problem, u.a. weil der Brennfleck auf der Anode im Interesse eines scharfen Röntgenbildes sehr klein sein sollte und damit die spezifische Belastung sehr hoch war. So kam der Gedanke auf, das Anodenmaterial zu bewegen, so daß die Hitze des Brennflecks sich besser verteilen konnte. Zwei interessante Ansätze dazu gab es schon in dieser Zeit, obwohl die erste praktisch brauchbare Drehanodenröhre erst 1930 auf den Markt kam („Rotalix“ von Fa. Philips)

### Drehanodenröhre von Elihu Thomson

Das Bild 2.5 zeigt eine von Elihu Thomson bei Fa. General Electric vorgeschlagene Röhre mit Drehanode. Das Bild ist einer Patentschrift aus dem Jahre 1914 (zitiert in [69]) entnommen. Die als Rad ausgebildete Anode sollte sich durch den Aufprall der Elektronen selbstständig drehen. Die geplante Röhre sollte als Ionenröhre ausgebildet sein, allerdings war in der Patentschrift auch die Möglichkeit angedeutet, sie als Coolidge-Röhre zu bauen, also mit Glühkathode und hohem Vakuum.

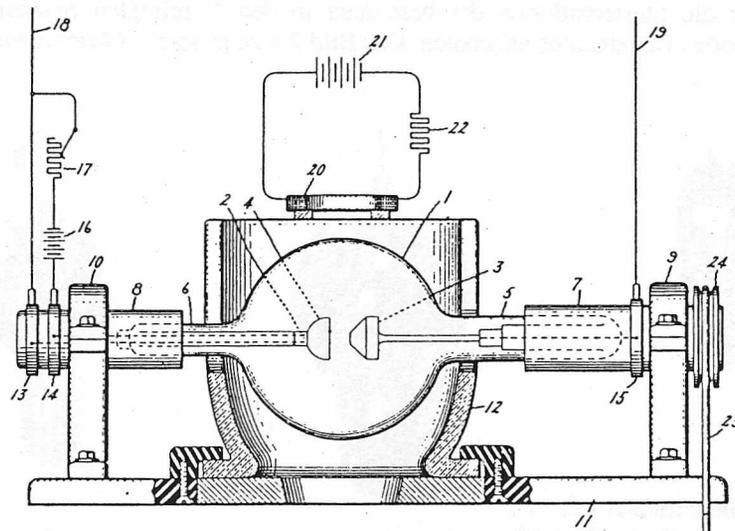


**Bild 2.5**  
Vorschlag einer Drehanodenröhre von Elihu Thomson, 1914 [69]

### Drehröhre von Coolidge

Ein anderer Vorschlag stammt von W.D. Coolidge aus dem Jahre 1915. Seine rotations-symmetrisch gebaute Röhre wurde (aus Strahlenschutzgründen in einer Bleiabschirmung!) über den Treibriemen mit der Nummer 23 in der Zeichnung gedreht. Natürlich mußten deshalb die Betriebsspannungen für Heizung der Kathode und die Anode über Schleifringe zugeführt werden. Der Elektronenstrahl wurde magnetisch über das Feld der

äußeren Spule 20 so nach unten abgelenkt, daß der Kegelmantel der kegelförmig gestalteten Anode getroffen wurde. Durch die Drehung der Röhre wurde der Brennfleck kreisförmig über den Kegelmantel der Anode geführt. Bild 2.6 zeigt diese Röhre.



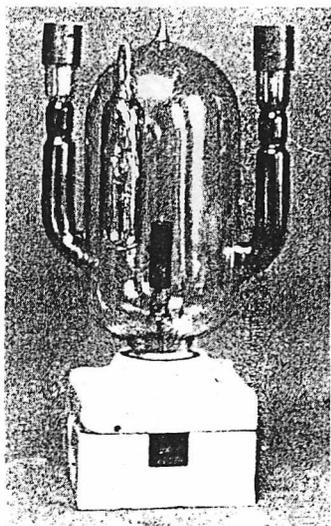
**Bild 2.6**  
Vorschlag einer Drehröhre von Coolidge mit magnetischer Strahlableitung 1915 [69]

## 2.2 Gleichrichterröhren

Die Gleichrichterröhren des Abschnittes 1.2 entwickelten sich mit dem Stand der Technik weiter. Ein wesentlicher Fortschritt bestand darin, daß man die Bedeutung des Hochvakuums erkannte und es auf Grund besserer Pumpentechnik auch herstellen konnte (siehe 2.6 Verstärkerröhren).

### Wehnelt-Gleichrichter

Die Wehnelt-Gleichrichter nach 1.2 blieben in Gebrauch. Nach [35] sind die "moderneren Gleichrichter gewöhnlich noch mit einem Bauerschen Ventil (Abschn. 1.1) ausgerüstet, um eine Regeneration des Gasdruckes im Innern nach längerem Dauerbetrieb vornehmen zu können". Bild 2.7 zeigt einen solchen Zweiweggleichrichter.

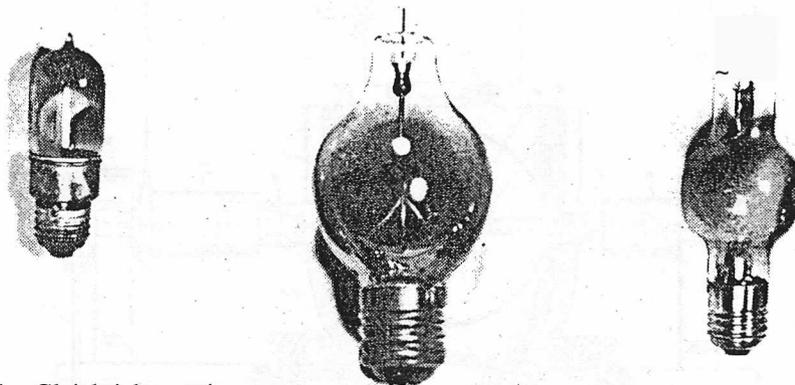


**Bild 2.7**  
Wehnelt-Gleichrichter  
mit Bauer-Ventil [35]

### Gasgefüllte Gleichrichter

Gasgefüllte Gleichrichter nach Art des Wehnelt-Gleichrichters, aber mit geheizter Wolframkathode, wurden ab 1916 von der Fa. General Electric angeboten. Sie enthielten zunächst eine Quecksilber-, dann aber eine

Argonfüllung, die bessere Konstanz der Betriebswerte und weniger Abhängigkeit von der Temperatur bot. Unter der Marktbezeichnung "Tungar-Rectifier" oder "Tungar-Bulb" wurden sie hauptsächlich als Ladegerichter für die Starterbatterien der besonders in den Vereinigten Staaten von Amerika immer gebräuchlicher werdenden Benzinautos angeboten. Das Bild 2.8 zeigt solche Gleichrichter.



**Bild 2.8**  
Argongefüllte Gleichrichter mit  
geheizter Wolframkathode "Tungar  
Bulbs" der Fa. General Electric ab 1916  
[7]

### Hochvakuum-Gleichrichter

Entsprechen den Fortschritten im Verstärkerröhren- und auch Senderöhrenbau wurden auch die prinzipiell ähnlichen Gleichrichterröhren entwickelt und gebaut. Diese Röhren hießen bei der Fa. General Electric. Co. "Kenotron". Besonders bekannt wurde eine Röhre von General Electric mit der Typenbezeichnung "TB I". Sie wurde in für die Zeit hohen Stückzahlen (nach [7] etwa 4500) gebaut und bei der Regelung der Ausgangsspannung windgetriebener Flugzeuggeneratoren eingesetzt. Bild 2.9 zeigt diese Röhre.



**Bild 2.9**  
Kenotron (Hochvakuumgleichrichter)  
TB I der Fa. General Electric für Span-  
nungsregelung in windgetriebenen  
Flugzeuggeneratoren., 1918 [7]

### 2.3 Eisenwiderstände

Reine Metalle haben einen positiven Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes. Den höchsten Temperaturkoeffizienten hat das Eisen, das deshalb benutzt wird, um temperaturabhängige Widerstände zu bauen. Diese sind dann "Widerstände mit positivem Temperaturkoeffizienten" oder kurz 'YTC'-Widerstände. Solche Widerstände kann man dazu benutzen, elektrische Ströme konstant zu halten. Damit der verwendete Eisendraht nicht verrostet, schließt man den Widerstand zum Schutz gegen atmosphärische Einflüsse in einen Glaskolben ein. Der Kolben ist mit einem besonders gut wärmeleitenden Gas, nämlich Wasserstoff, gefüllt. Das

Bild 2.10 zeigt solche "Eisenwasserstoffwiderstände", die zur Regelung des Heizstromes der damaligen Verstärkeröhren mit Wolframbkathode eingesetzt wurden, um die Heizfäden nicht zu überlasten. Diese Eisenwiderstände gehen auf W. Nernst, den Erfinder der nach ihm benannten "Nernst-Lampe", zurück ([38], zitiert in [10]).



**Bild 2.10**  
Eisenwasserstoffwiderstände zur  
Regelung des Heizstromes früherer  
Verstärkeröhren [10]

## 2.4 Die Verstärkeröhre

In die Zeit bis 1918 fallen entscheidende Fortschritte im Bau von Verstärkeröhren. Bis zum Ende des ersten Weltkrieges 1918 war die Röhre vom eher handwerklich gefertigten Einzelstück, dessen Wirkungsweise noch nicht ganz klar verstanden war, zum durchkonstruierten industriellen Produkt geworden.

Es wurden theoretische Erkenntnisse gefunden und umgesetzt:

Schon 1903 hatte Owen William Richardson die Elektronenemission aus glühenden Oberflächen untersucht und mit seiner Formel, eben der Richardson'schen Formel, richtig beschrieben.

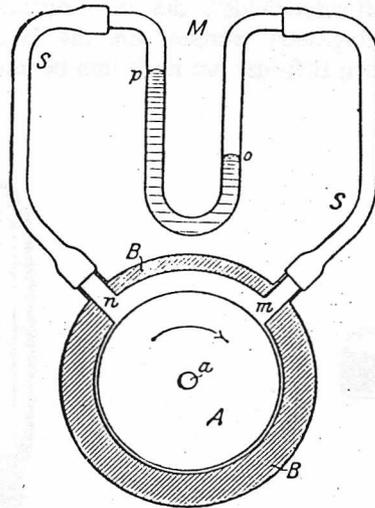
Irving Langmuir, Walter Schottky und Samuel Dushman untersuchten den Elektronenstrom im Vakuum theoretisch und durch Messungen, so daß Langmuir im Jahre 1913 sein " $U^{3/2}$ "-Gesetz für raumladungs- begrenzte Ströme formulieren konnte.

Es wurden die Begriffe Steilheit, Durchgriff und innerer Widerstand definiert (im englischsprachigen Raum wurde der Kehrwert des Durchgriffs  $D$  benutzt, nämlich der amplification factor  $\mu$ ). Damit wurde die "Röhrgleichung"  $D \cdot S \cdot R_j = 1$  formuliert, wobei sich nach meiner Kenntnis die Experten nicht einig sind, ob sie auf Heinrich Barkhausen, damals Mitarbeiter der Torpedoinspektion in Kiel, oder auf H.J. van der Bijl zurückgeht, der bei der Firma Western Electric beschäftigt war.

### Deutschland

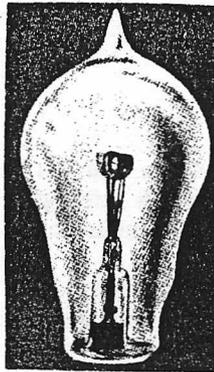
Bis zum Ausbruch des ersten Weltkrieges 1914 waren in Deutschland im Wesentlichen die Firmen des Lieben-Konsortiums (Abschnitt 1.6), nämlich Siemens & Halske, AEG, deren gemeinsame Tochterfirma Telefunkon sowie TeKaDe mit der Weiterentwicklung der Röhre beschäftigt. Siemens untersuchte vorrangig die Verwendung als Telefonverstärker, während AEG und Telefunkon Röhren hauptsächlich für die Funktechnik einsetzen.

Anfangs waren es noch Liebenröhren oder ebenfalls gashaltige Weiterentwicklungen. Die ersten Hochvakuumröhren wurden 1914 von M. Pirani bei Siemens gebaut. Da Hochvakuumröhren wesentlich gleichmäßigere und weniger temperaturabhängige Eigenschaften haben, setzten sie sich in der Folgezeit durch, gestützt auf die Erkenntnisse von Langmuir und anderen. Dies war nur deshalb möglich, weil Wolfgang Gaede 1913 seine Molekularluftpumpe erfunden hatte, mit der erstmalig Vakua der erforderlichen Höhe erreicht werden konnten. Bild 2.11 zeigt eine Prinzipzeichnung dieser Pumpe.



**Bild 2.11**  
Prinzipzeichnung der  
Molekular-Luftpumpe von  
Wolfgang Gaede 1913 [40]

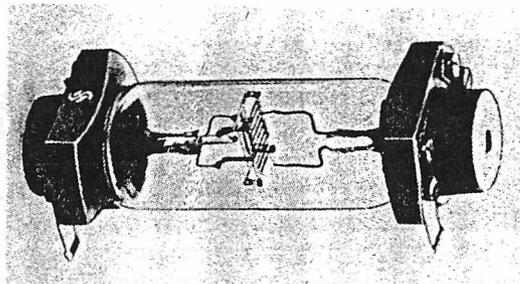
Bild 2.12 zeigt die erste in der Siemens-Lampenfabrik hergestellte Vakuumröhre.



**Bild 2.12**  
Erste Siemens-Hochvakuumröhre  
1914 [7]

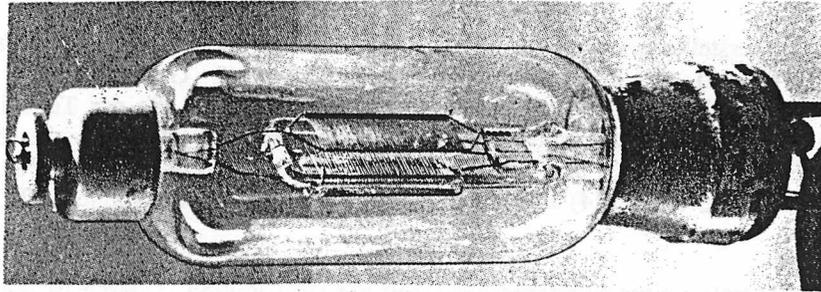
Mit Ausbruch des ersten Weltkrieges stieg der Bedarf an Röhren stark an. Da zu Kriegszeiten die Patentrestriktionen außer Kraft gesetzt waren, konnten sich etliche Firmen an der Röhrenfabrikation beteiligen. Einige typische Röhren der Zeit sind im folgenden abgebildet.

Bild 2.13 zeigt die A-Röhre der Firma Siemens & Halske. Sie wurde überwiegend für Niederfrequenzverstärkerzwecke in den sog. Arendt-Geräten eingesetzt. Diese waren mehrstufige transformatorgekoppelte Verstärker, mit denen über Erdsonden der (feindliche) Feldfernsprechverkehr abgehört wurde. Es wurden ca. 50000 Stück produziert [7].



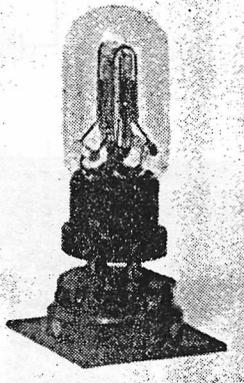
**Bild 2.13**  
A-Röhre von Siemens & Halske  
1916 [7]

Bild 2.14 zeigt eine kleine Senderöhre der Firma TeKaDe von 1918 mit der Bezeichnung ST 12. Der Röhrensockel besteht aus Holz mit einer Außenhülle aus dünn vernickeltem Eisen, ein Zeichen der Materialverknappung.



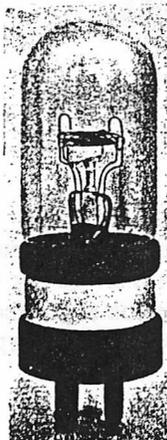
**Bild 2.14**  
Senderröhre ST 12 der Finna TeKaDe  
1918 [7]

Eine sehr vielseitige und, wie man heute sagen würde, äußerst innovative Finna war die Dr. Erich F. Huth GmbH. In kurzer Zeit wurde sie zum Lieferanten damaliger High-Tech-Geräte. Da sie aber nicht Inhaberin der wichtigen Röhren- und anderer Patente war, wurde sie in der Zeit nach dem ersten Weltkrieg von der Fa. Telefunken nach einer Reihe erbitterter Patentauseinandersetzungen 1926 zum Konkurs gezwungen. Bild 2.15 zeigt zwei Röhren dieser Finna.



**Bild 2.15**  
Sende- (RS5) und Verstärker-  
röhre (LE 219) der Fa. Dr. Erich F. Huth  
1918 [44]

Die Firma Telefunken war 1903 als gemeinsame Tochterfirma von Siemens und AEG gegründet worden, um die Aktivitäten im Bereich der neu aufkommenden Funktechnik zu bündeln. Auf Grund der von den Mutterfirmen übernommenen und der in der Folgezeit weiter erworbenen Patente war die Rechtsposition dieser Firma außerordentlich stark. Im Bild 2.16 sind einige Röhren gezeigt.



a) EVN 171, 1917 [41]



b) EVE 173, 1918 [41]

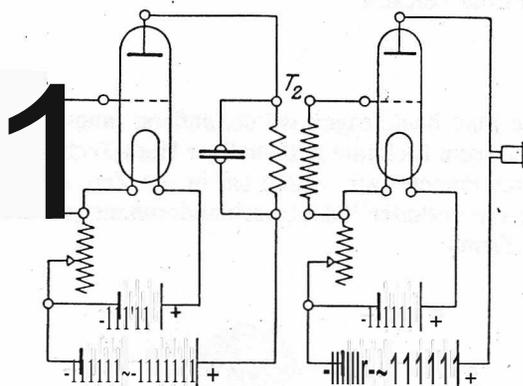


c) RE 11, 1918 [10]

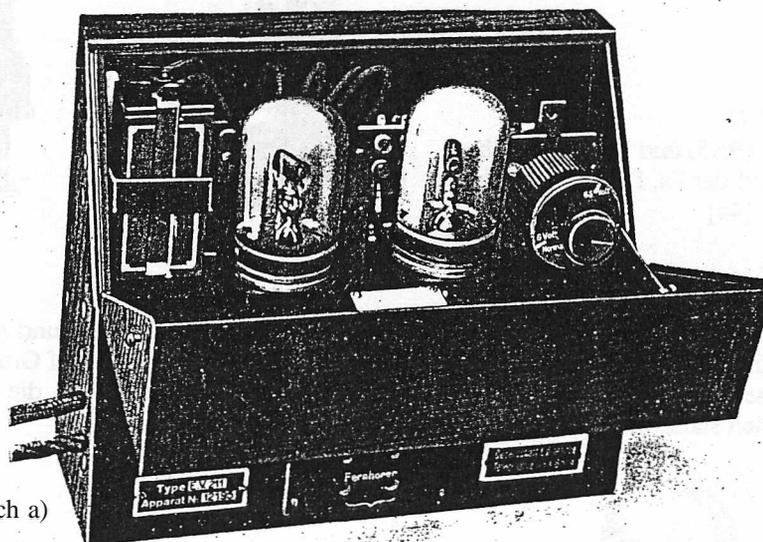
**Bild 2.16**  
Röhren der Fa. Telefunken

Weitere deutsche Röhrenhersteller dieser Zeit waren z. B. die Firmen Auer Studiengesellschaft für elektrische Leuchtröhren (später Osram), C. Lorenz AG, Glaswerke Schott & Gen, Jena, die Röhreninstandsetzungswerkstatt von Prof. I. Seddig an der Universität Würzburg RIW, die der Technischen Abteilung Funkgerät (Tafunk) zugeordnet war, die Deutschen Telephonwerke (D.T.W.), die bereits genannte Röntgenröhrenfabrik E. Gundelach [43] und nicht zuletzt die ebenfalls bereits genannte Röntgenröhrenfabrik von CHF Müller in Hamburg, die (1924) die Tochterfirma Radioröhrenfabrik Hamburg RRF, später Valvo genannt, gegründet hat.

Bild 2.17 a) zeigt die Schaltung eines Verstärkers der Z~it mit zwei Röhren. Typisch ist die Signalkopplung über Transformatoren und der für jede Röhre einzeln vorhandene Regelwiderstand zur Einstellung des Heizstromes. Bild 2.17 b) zeigt eine Ansicht des Verstärkers, der von der Fa. Telefunken gebaut wurde.



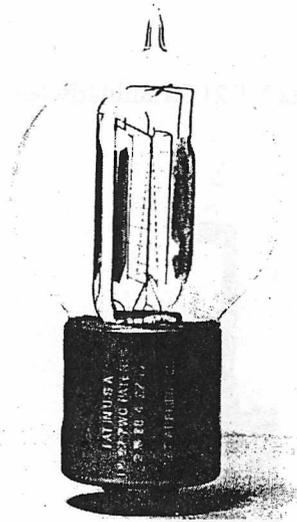
**Bild 2.17 a)**  
Schaltung eines Zweiröhren-  
verstärkers mit Transformator-  
kopplung, ca. 1918 [41J



**Bild 2.17 b)**  
Ansicht des Verstärkers nach a)

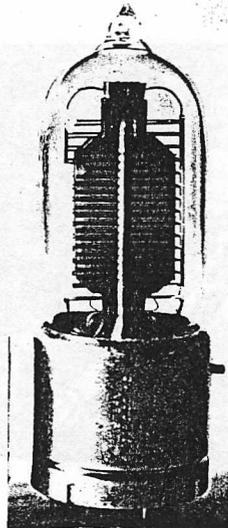
## Vereinigte Staaten von Amerika

In den USA hatte die Telefongesellschaft AT&T die Audionpatente von de Forest gekauft. Ihr verbunden war die Firma Western Electric Co., die faktisch die Fabrik für AT&T war. Dort arbeitete u.a. vander Bijl. Das Hauptarbeitsgebiet waren Telephonverstärkerröhren. Dazu wurde das de Forest'sche Audion abgewandelt; eine der ersten typischen Telephonverstärkerröhren, natürlich schon mit hohem Vakuum, ist die Röhre Type M, die später 101A genannt wurde und die in Bild 2.18 gezeigt wird.



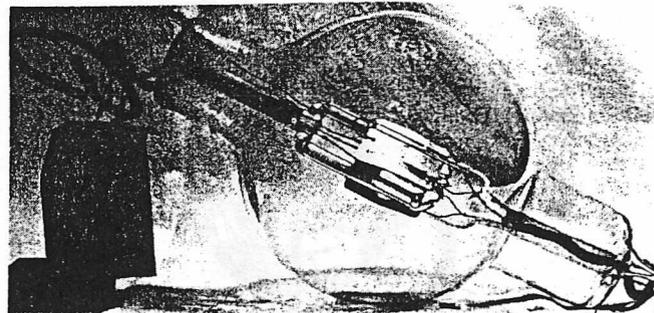
**Bild 2.18**  
Telephonverstärkerröhre  
(telephone repeater) type M  
von Western Electric 1914,  
später IOIA [7]

Im Laufe des ersten Weltkrieges fertigte Western Electric auch Röhren für militärischen Bedarf. Die wohl bekannteste davon ist die VT 1, die in Bild 2.19 gezeigt wird.



**Bild 2.19**  
Militärrohre VT 1 von  
Western Electric 1917 [7]

Lee de Forest hatte seine Patente zwar an AT&T verkauft, sich aber ein persönliches, unverkäufliches Recht daran vorbehalten. Diese nutzte er in mehr oder weniger glücklichen Unternehmungen aus. Bild 2.20 zeigt eine "oscillion" genannte Senderöhre, die 1915 in seiner Fabrik in High Bridge, New York gefertigt wurde.



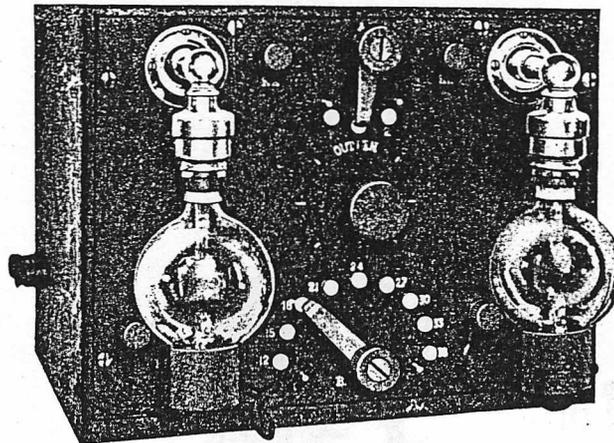
**Bild 2.20**  
"Oscillion", 50-Watt-  
Senderöhre von de Forest,  
1915 [7]

Eine Röhre von de Forest mit der Bezeichnung VT 21 für militärischen Bedarf zeigt das Bild 2.21.



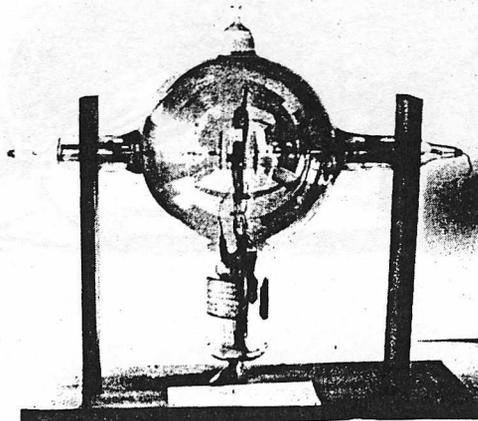
**Bild 2.21**  
Röhre VT 21 von de Forest,  
1917 [7]

Bild 2.22 zeigt einen von de Forest gebauten Audionempfänger.



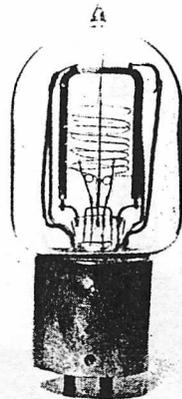
**Bild 2.22**  
Audionempfänger von  
de Forest, ca. 1916 [10]

Die Firma General Electric beschäftigte sich hauptsächlich mit Energieversorgung und Beleuchtung. Auf Anfrage von Reginald A. Fessenden von der Fa. National Electric Signalling Co. beschäftigte sich E.F.W. Alexanderson mit dem Bau von Hochfrequenzmaschinen für Senderzwecke. Auf der Suche nach einem geeigneten Modulator für diese Maschinen begann man, sich für Röhren zu interessieren. Bei GE arbeiteten u.a. Coolidge (siehe Röntgen-Röhren) und Langmuir. Sie verbesserten das Audion, bis es für ihre Zwecke geeignet war. Bild 2.23 zeigt eine Röhre, mit der Alexanderson 1914 eine kleine Hochfrequenzmaschine modulierte.

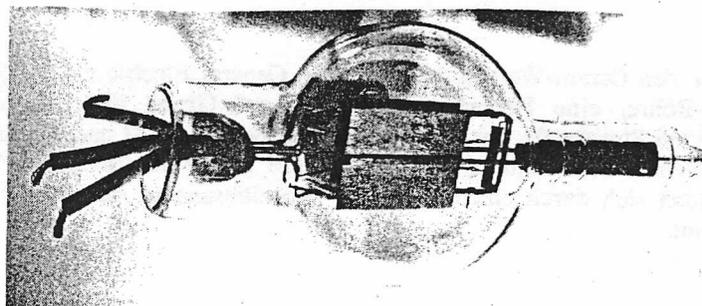


**Bild 2.23**  
von Alexanderson 1914 benutzte  
Modulatorröhre [7]

Bei GE hießen die Dioden "Kenotron" (von griechisch kenos, leerer Raum) und die Trioden, also die Verstärkerröhren, Plotron (von griechisch pleion, mehr). Bild 2.24 zeigt eine Verstärkerröhre aus dem Jahr 1918, und Bild 2.25 zeigt eine Modulatorröhre, die vielfach parallelgeschaltet wurde.



**Bild 2.24**  
Plotron (Triode), Type CA  
1918 [7]



**Bild 2.25**  
Plotron Type P  
als Modulatorröhre  
1918 [7]

## England

Die Röhrenentwicklung in England wurde zunächst hauptsächlich von der Fa. British Marconi getragen. Sie hatte im Jahr 1913 mit der Fa. Telefunken in Deutschland ein Abkommen zum Austausch nahezu aller Patente geschlossen. Vor allem Captain H.J. Round war der Träger der Aktivitäten. Seine „Round-Valves“, die ab ca. 1911 gebaut wurden, waren nach Art der Lieben-Röhre gasgefüllt und mit Oxidkathode versehen, hatten aber eine koaxialzylindrische Elektrodenanordnung. Bild 2.26 zeigt eine typische Round-Röhre.



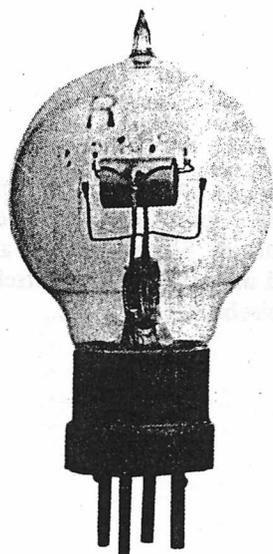
**Bild 2.26**  
Round N - Röhre, 1913  
Der Fortsatz an der Spitze  
enthält den Gasvorrat in Asbest  
gespeichert. [7]

Das British Post Office verwendete Röhren mit zylindrischem System. Bild 2.27 zeigt diese „Valve, Amplifying, No. 1“



**Bild 2.27**  
Valve, Amplifying, No. 1 des  
British Post Office, ca. 1917 [7]

Bild 2.28 zeigt zwei von den Osram-Werken der britischen General Electric Co. (GEC) hergestellte Röhren. Die eine ist die "R"-Röhre, eine Hochvakuumröhre, die auf Grund ihrer guten Eigenschaften "die" Standardröhre der alliierten Streitkräfte war und die der französischen 1M nachgebaut wurde. Die zweite ist eine auf Round zurückgehende Konstruktion, die erstmals 1916 mit der Bezeichnung V24 gebaut wurde. Diese Hochvakuumröhre zeichnet sich durch einen besonders kapazitätsarmen Aufbau aus und war noch in den 1930er Jahren im Angebot.



R-Röhre ca. 1917  
"Standardröhre" [7]

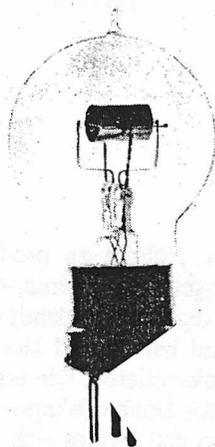


V24, besonders kapazitätsarm  
"für Hochfrequenz", ab 1916 [10]

**Bild 2.28** Röhren der Fa. Osram

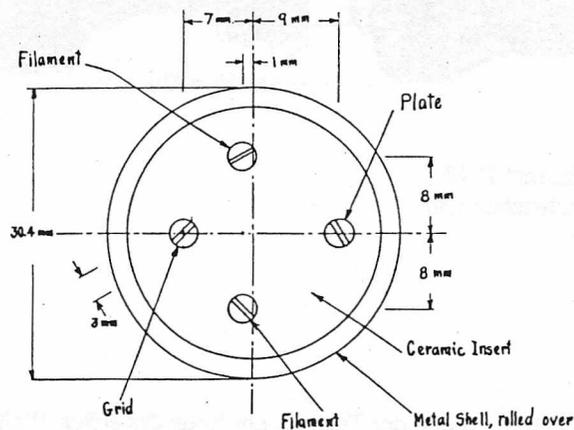
## Frankreich

In Frankreich gab es zwei Lampenfabriken, die Compagnie General des Lampes (Markenname Metal) und EC&A Grammont (Markenname Fotos). Die Röhrenentwicklung wurde hauptsächlich von General Feme für den militärischen Bedarf vorangetrieben. Wegen des hohen Bedarfs des ersten Weltkrieges war die französische Entwicklung im wesentlichen von Fertigungsgesichtspunkten bestimmt, so daß "die" französische Röhre, die Tube Militaire oder TM, wohl die am besten durchkonstruierte Röhre der Zeit war. Sie wurde sogar in England nachgebaut (s.o.). Bild 2.29 zeigt die Röhre TM von Metal.



**Bild 2.29**  
Französische Röhre TM  
"Tube Militaire" von Metal  
ca. 1917 [7]

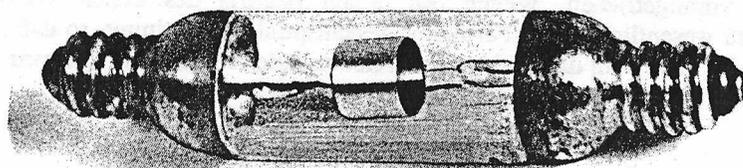
Der bei dieser Röhre verwendete Sockel (Bild 2.30) war bald nach dem ersten Weltkrieg weit über Frankreich hinaus verbreitet und hieß allgemein "französischer Sockel". Nach 1927 hatte er sich als "Europasockel" europaweit durchgesetzt. Die gewählte zylindrische Elektrodenanordnung wurde 1915 für Peri und Biguet patentiert.



**Bild 2.30**  
Französischer Sockel 1915,  
später "Europasockel"

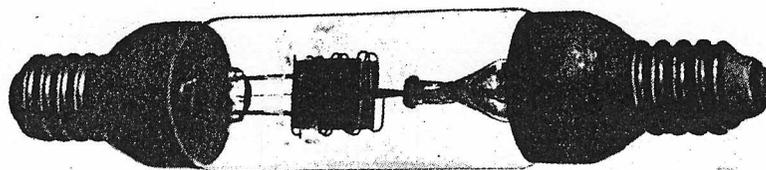
## Holland

Im vergleichsweise kleinen Holland wurde 1917 auf Veranlassung der holländischen Streitkräfte in der Metalldraadlampenfabrik „Holland“ Röhren hergestellt, die in Bild 2.31 gezeigt sind.



**Bild 2.31**  
Holland.Röhre 1917 [7]

Auch die Philips Gloeilampfabriken begannen, Röhren zu produzieren. Dies geschah aber nicht aus militärischem Bedarf, sondern auf Wunsch eines Ingenieurs Idzerda, der anschließend wohl als erster auf der Welt privaten Rundfunk betrieben hat. Er brauchte die Röhren, damit seine Hörer sich Empfangsgeräte bauen konnten. Philips erklärte sich anfangs nur zögernd bereit, und Herr Idzerda mußte eine hohe Abnahmeverpflichtung von mindestens 180 Röhren im Jahr akzeptieren. Die ersten Röhren (Bild 2.32) wurden Anfang 1918 ausgeliefert. Der Elektrodenaufbau war dem des Double-Wing-Audion (Bild 1.41) sehr ähnlich, und die Röhre war gasgefüllt. Sie fand reißenden Absatz, so daß Philips sich entschloß, selbst in das Röhrengeschäft einzusteigen.

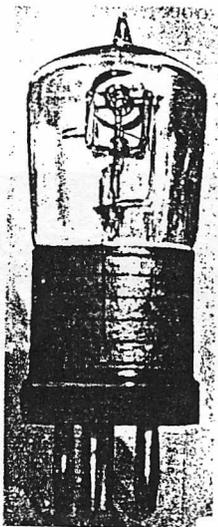


**Bild 2.32**  
Röhre Philips "Ideezet" 1918  
(IDZ = Anfangsbuchstaben von  
Idzerda) [7]

#### Fazit:

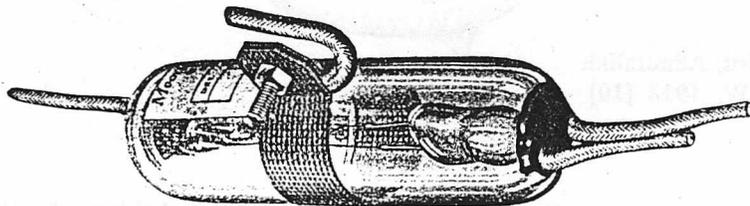
Zusammenfassend läßt sich der Stand der Technik am Ende des ersten Weltkrieges 1918 wie folgt beschreiben: Die Verstärkerröhre ist ein durchkonstruiertes Produkt geworden. Obwohl auch noch gasgefüllte Röhren produziert werden, hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß nur das Hochvakuum gleichmäßige und stabile Betriebseigenschaften zuläßt. Dennoch ist die Diskussion um die Gasfüllung nicht zu Ende, wie wir in den Folgekapiteln sehen werden. Das Kathodenmaterial ist im wesentlichen Wolframdraht, den man inzwischen auch als gezogenen Draht herstellen kann. Es kommen auch Oxidkathodenvor, die dann aus einem Heizdraht (meist Wolfram oder Platin) mit aufgestrichenem Barium- oder Kalziumoxid bestehen. Die Anordnung der Elektroden ist entweder koaxialzylindrisch, wie bei der R-Röhre, oder plattenförmig wie bei der VT 1. Als Sockel haben sich die Stiftsockel durchgesetzt.

Es gibt bereits Röhren mit mehreren Gittern (Schottky und HuB), die in "Raumlade"- oder "Schutznetz"-Schaltung betrieben werden (Siehe Kapitel 3). Bild 2.33 zeigt die Doppelgitterröhre nach Schottky, die von Siemens gebaut wurde.



**Bild 2.33**  
Doppelgitterröhre ("Siemens-Schottky-Röhre") 1917 [44]

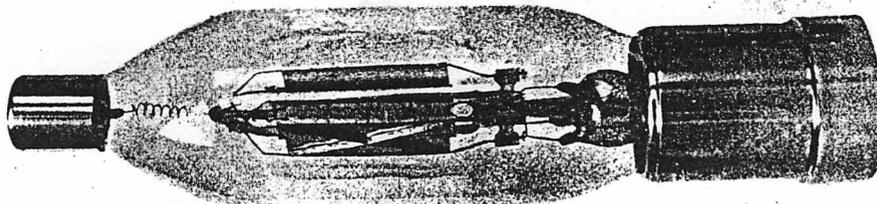
Es wurden auch Röhren gebaut, bei denen das "Gitter", also die Steuerelektrode, außerhalb des Glaskolbens angebracht ist. Dies ist prinzipiell ebenfalls möglich, allerdings ergeben sich große Gitter-Kathoden-Abstände und damit nur kleine Steilheiten, also auch kleine Verstärkungsziffern. Ein großes Problem ist dabei das Auftreten von Ladungen auf der Innenseite des Glaskolbens, die dann wie eine Steuerspannung wirken. Solange die Röhre Gasgehalt hat, werden diese Ladungen durch die vorhandenen Gasionen neutralisiert, so daß sie anfangs unbemerkt blieben. Bei hohem Vakuum aber führen diese Wandladungen zu instabilem und wenig vorhersagbarem Verhalten. Bild 2.34 zeigt eine solche Röhre mit "Außengitter", die in den USA von Moorhead gebaut wurde.



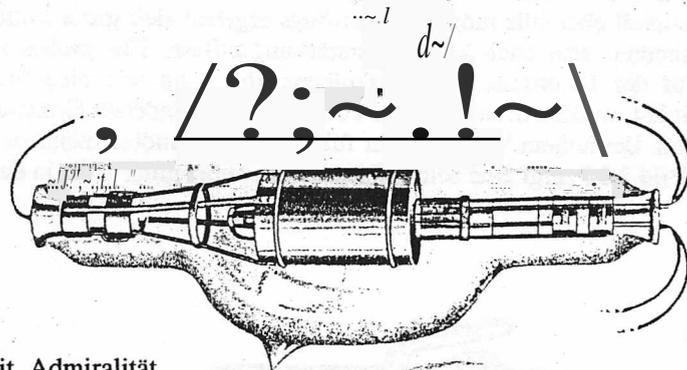
**Bild 2.34**  
Röhre von Moorhead  
mit Außengitter [10]

## 2.5 Senderöhren

Wie im Abschnitt 2.4 bereits kurz angeklungen, ist die Technik der Senderöhren eigene Wege gegangen, weil hier das Problem des Leistungsumsatzes, der Verlustleistung und der Wärmeabfuhr im Vordergrund steht. Vom Prinzip her sind Senderöhren größere Verstärkeröhren. Um bei hohen Betriebsspannungen Spannungsdurchschläge durch Gasentladungen zu vermeiden, war man auf Hochvakuumröhren angewiesen. Oxidkathoden waren nicht genügend betriebssicher, so daß nur Wolframkathoden in Betracht kamen. Die folgenden Bilder zeigen zwei Senderöhren mit Strahlungskühlung, bei denen die an der Anode entstehende Verlustwärme nur durch Wärmestrahlung an die Umgebung abgegeben werden kann.

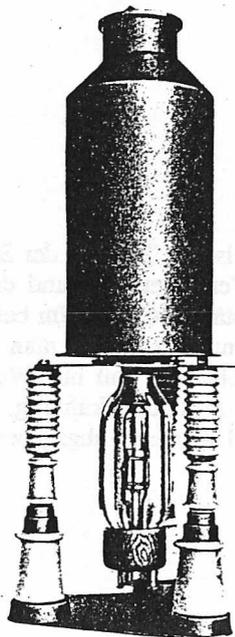


**Bild 2.35**  
2,5kW-Senderöhre der Fa.  
Dr. Erich F. Huth 1918 [35]



**Bild 2.36**  
Senderöhre der Brit. Admiralität  
(Fabr. Osram) 2kW, 1918 [10]

Es wurden auch schon Versuche angestellt, die Verlustwärme durch Wasserkühlung abzuführen. Dazu wurde die Anode als Kupferhohlzylinder ausgeführt, der gleichzeitig ein Teil der Vakuumhülle war. Ein besonderes Problem ist dabei die Übergangsstelle vom Kupfer zum Glas. Diese Problem wurde später durch Housekeeper gelöst (Housekeeper-seal 1922). Bild 2.37 zeigt eine Wasserkühlröhre der Fa. Siemens, bei der zwischen Glas und Kupferzylinder noch ein Zwischenring aus Platin erforderlich war. Bei späteren Konstruktionen wurde die Anordnung umgedreht, so daß die wassergekühlte Anode unterhalb des Systems angeordnet war.



**Bild 2.37**  
Erste wassergekühlte  
Senderöhre der Fa.  
Siemens. [10]

Als Beispiel für die damalige Gerätetechnik zeigt Bild 2.38 a) einen Sende-Empfänger der Fa. Dr. E.F. Huth, der in Flugzeugen eingesetzt wurde, das Bild 2.38 b) stellt die Innenschaltung dar, allerdings ohne den Drei-Röhren-Niederfrequenzverstärker und das Bild 2.38 c) die verwendete Senderöhre RS 15 der Fa. Huth.

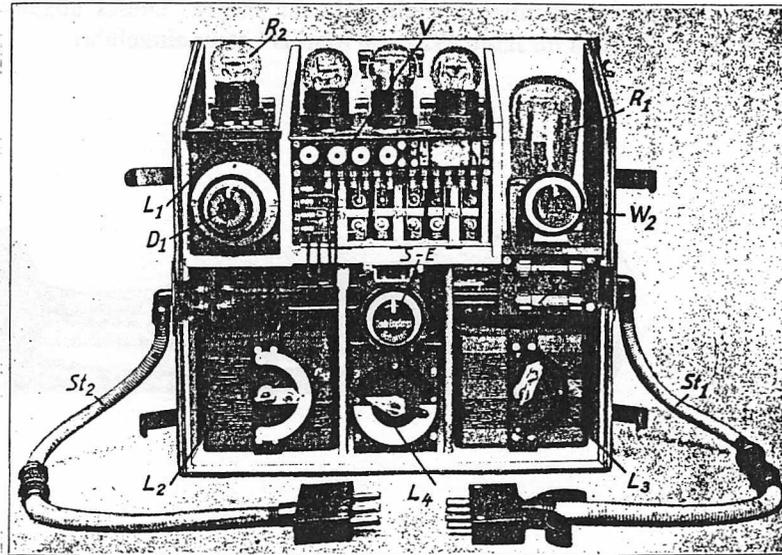


Bild 2.38 a)  
Sendeempfänger  
der Dr. E.F. Huth, 1918

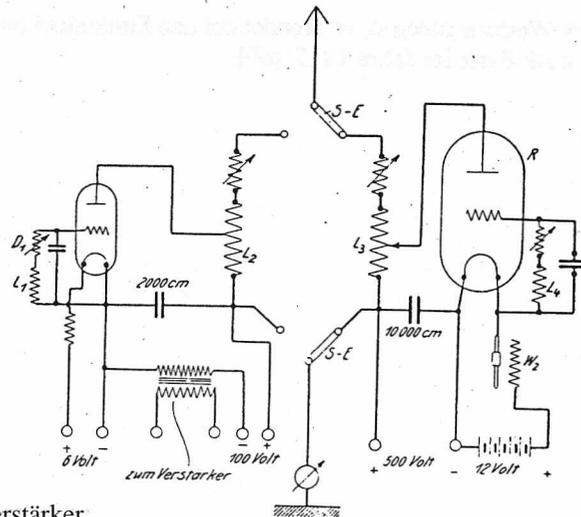


Bild 2.38 b)  
Schaltung des Sendee-  
empfängers nach a) [45],  
ohne den Drei-Röhren-NF-  
Verstärker

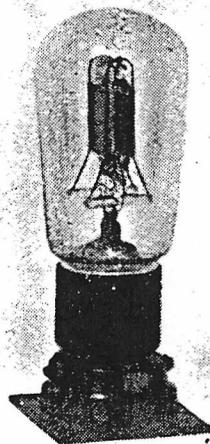
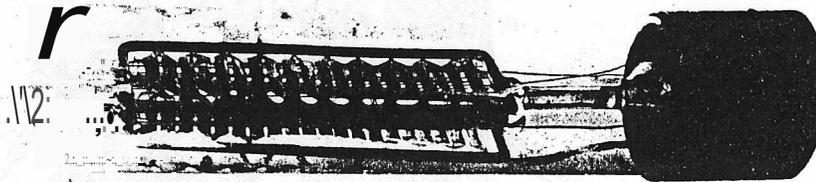


Bild 2.38 c)  
Senderöhre RS 15 der Fa. Dr. E.F. Huth [35]

Von Interesse ist noch die Senderöhre Typ W der Fa. Western Electric (Bild 2.39), die bei den ersten transatlantischen Telephoniesendeversuchen im Jahre 1915 von Arlington im US-Staat Virginia zur Eiffelturmstation in Paris verwendet wurde. 550 parallelgeschaltete Röhren gaben eine Antennenleistung von

3kW auf Langwelle. Bemerkenswert ist dabei die Form der Anode als geschwängelttes Band. Dieses Band wurde beim Evakuieren durch elektrischen Strom bis zur Glut erhitzt, um die enthaltenen Gasreste auszutreiben und so ein besseres Vakuum zu erreichen. Später wurden die Metallteile in den Röhren mit Hilfe einer von außen übergeschobenen Spule durch Hochfrequenzwirbelströme entgast. Dieses allgemein übliche Verfahren zur Entgasung wurde nach [69] etwa im Jahre 1922 von Marius Latour eingeführt.



**Bild 2.39**

Senderöhre Typ W von Western Electric, verwendet bei den Funktelefonieversuchen von Arlington (USA) nach Paris im Jahre 1915 [69]

### 3. Die frühe Radiozeit (bis 1927)

#### 3.1 Die Radoröhre

##### 3.1.1 Die Situation nach 1918

Nach dem Ende des ersten Weltkrieges war der militärische Absatzmarkt zusammengebrochen. Es gab weiterhin den Markt für Telephonverstärkerrohren, einen zwar kleinen, aber stabilen Markt. So entwickelten sich die Röhren für Telephonbetrieb, die bisher schon etwas Besonderes waren, vollends zu einem Spezialgebiet, denn hier kam es hauptsächlich auf Gleichförmigkeit und Zuverlässigkeit an (Abschnitt 3.4). Daneben gab es einige Funkdienste für kommerzielle und staatliche Nachrichten. Und es gab größere Mengen von Röhren aus dem Krieg, die billig zu haben waren. Einen öffentlichen Rundfunk gab es 1919 nur - privat betrieben und von kleinem Umfang - in Holland, wo der schon erwähnte Herr Idzerda tätig war. Nach und nach setzte sich der Rundfunk, öffentlich oder privat betrieben, in den verschiedenen Ländern durch. In Deutschland beispielsweise wurde der öffentliche Rundfunkbetrieb im Jahre 1923 aufgenommen, natürlich versuchsweise, staatlich und streng reglementiert. Die ersten Rundfunkhörer mußten sogar in einer Art Prüfung nachweisen, daß sie imstande waren, das Empfangsgerät ordnungsgemäß zu bedienen. Dann erhielten sie die "Audionversuchserlaubnis". Diese Vorschrift hatte allerdings auch einen technischen Hintergrund, denn ein damals üblicher Audion-Empfänger mit falsch bedienter Rückkopplung war eine Art Störsender.

Der öffentliche Rundfunk, eben das „Radio“, setzte sich innerhalb weniger Jahre durch. Es grenzte für die Hörer fast an ein Wunder, daß man sich scheinbar aus dem nichts, nur mit Hilfe eines Apparates, Unterhaltung, Musik und Nachrichten in seine Wohnung holen konnte. Und so entwickelte sich in rasantem Tempo ein riesiger Markt für das Radio und damit auch für die Radoröhre. Anfangs gab es noch keine etablierte gerätebauende Industrie, und so war der Markt zum großen Teil auch durch den Selbstbau beherrscht. Das Radio wurde aus Batterien betrieben, Akkumulatoren für die Heizung der Röhren (A-Batterie) und Trockenbatterien oder Akkus für die Anodenspannung (B-Batterie) und manchmal noch eine Batterie für die Gittervorspannung (C-Batterie).

Die weitere Entwicklung wurde maßgebend dadurch mitbestimmt, daß nach Kriegsende die Patente wieder in Kraft gesetzt wurden. So kam es, daß in fast allen für den Funk technisch maßgebenden Ländern die Finnen das Geschehen bestimmten, die Patentinhaber waren. Die anderen mußten Lizenzgebühren zahlen, sich an starke Partner anlehnen oder sich in rechtlichen Grauzonen bewegen. Viele Finnen wurden nach langen und teils hart geführten Patentprozessen in den Konkurs getrieben. Die Finna Huth beispielsweise wurde Ende 1926 aufgelöst und in Teilen von Telefunken und Lorenz übernommen. In den frühen InOer Jahren gab es einige interessante bis abenteuerliche Röhrenkonstruktionen, die nur das Ziel hatten, bestehende Patente zu umgehen: Ich glaube, man kann ohne große Übertreibung sagen, daß die radiotechnische Welt nach 1927 nahezu vollständig unter den maßgebenden Firmen der verschiedenen Länder in Einflußzonen aufgeteilt war. Man sieht, daß auch die "Globalisierung" keine neue Erfindung ist.

Im einzelnen stellt sich die Situation so dar:

#### USA

Der erste Weltkrieg hatte gezeigt, daß die Verfügbarkeit von Nachrichtenverbindungen einen wesentlichen Machtfaktor bildete. Unter diesem Eindruck wurde im Oktober 1919 in den Vereinigten Staaten von Amerika auf Veranlassung der Navy die Radio Corporation of America gegründet (RCA), die die nationalen Interessen der USA auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik vertreten sollte; insbesondere wollte man von der damals allmächtigen britischen Marconi-Gesellschaft unabhängig sein [7].

Diese RCA war bis zur Gründung der RCA Radiotron Co. im Jahre 1930 eine reine Vertriebsgesellschaft ohne eigene Produktionsstätten. Die Produktion, auch der Röhren, wurde von den Firmen General Electric Co. (GE) und Westinghouse Electrical & Manufacturing Co. übernommen. Die Lizenzverträge zwischen AT & T und GE wurden auf alle Beteiligten erweitert, so daß die RCA auch die Rechte an den Röhrenpatenten besaß.

Die "lizensierten" Firmen waren also AT & T Pzw. Western Electric Co., RCA, GE und Westinghouse sowie de Forest.



**Bild 3.1**  
Markenzeichen "Radio Corporation" ab 1920 und "RCA" ab 1922 [7]

## England

In Großbritannien war die Marconi-Gesellschaft, die Inhaberin der Rechte an den Röhrenpatenten. Sie ließ ihre Röhren in den Osram-Werken fertigen, die zur GE-Gruppe gehörten. Ferner war die Firma Standard Telephones & Cables (STC) als Tochterfirma von Western Electric lizenziert. Im Laufe der 1920er Jahre schlossen sich die meisten britischen Röhrenhersteller zusammen, die wesentlichste Vereinigung war die „British Valve Manufacturers Association“ BVA, die 1926 gegründet wurde. Ihr gehörten folgende Firmen an:

British Thomson-Houston Co. Ud (B.T.H.), die Verbindungen zur französischen Thomson CSF hatte,  
(Britisch- bzw. französisch-Mazda) „

Bundepst Wireless Ltd.

Cleartron Wireless Ud.

A.C. Cossor Ud.

Edison Swan Electric Co. Ud. (Ediswan)

General Electric Co. Ud. (GECO), zur amerikanischen GE gehörig.

Marconi Wireless Telegraph Co. Ud.

Mullard Radio Valve Co. Ud, die 1927 von Philips übernommen wurde.

Standard Telephones & Cables Ud., zu Western Electric gehörig.

Die Rundfunkgesellschaft, British Broadcasting Company (BBC) wurde 1922 gegründet. Viele Röhren aus der Zeit, von 1922 bis 1926 tragen ein "BBC"-Zeichen mit dem kreisförmig herumgezogenen Vermerk "Type Approved by Post Master General".



**Bild 3.2**  
"BBC"-Zeichen [47]

## Frankreich

In Frankreich gab es die Firmen Compagnie des Lampes (Metal) und E.C. & A Grammont (Fotos), die bereits im ersten Weltkrieg Röhren produziert hatten. Folgende größere Firmen kamen u.a. in den 1920er Jahren dazu:

**Société Independante de TSF (SIF) von 1919 bis 1931,**

Societe la Radiotechnique 1919, 1921 gekauft von Societe Francaise Radioelectrique (SFR), [Tochterfirma von Compagnie Generale de Telegraphie sans Fit (CSF), später Thomson-CSF, Handelsmarke (französisch-) Mazda], Handelsmarke R ab 1923 RT, ab 1927 Dario, 1931 gekauft von Philips,

**Radio Visseaux 1928**

Einige französische Röhren tragen ein Zeichen "G-D-E-R" in einer langgezogenen Ellipse. Dies ist die Abkürzung von "Groupement pour le Developpement des Emissions Radiophoniques", eine von 1924 bis 1929 bestehende Vereinigung, die Rundfunksendestationen finanziell unterstützt hat.

## Deutschland

"Lizenzierte" Firmen, also die Inhaber von Rechten an den Röhrenpatenten, waren die Firmen des Lieben-Konsortiums, also AEG, Siemens, TeKaDe und Telefunken. Weiterhin wurden Röhren produziert von der Fa. Dr. Erich F. Huth, der Radioröhrenfabrik Hamburg (RRF), die 1924 als Tochter der Röntgenfirma CHF Müller gegründet wurde (ab 1926 "VALVO", 1927 von Philips übernommen), der Fa. C. Lorenz und der Fa. D.S. Loewe.

Weiterhin gab es eine Reihe von kleinen Produzenten, wie z.B. die Firmen Hochvakuumgesellschaft (HOVA) in Hamburg, Radio-Röhren-Laboratorium Dr. Nickel (RLR Ultra), Niggel Audion GmbH in München und Dr. G.O. Spanner GmbH, Berlin (Delta).

Nach einer langen Reihe von Patentstreitigkeiten und Prozessen, die besonders von der Fa. Telefunken betrieben wurden, wurden die "nichtlizenzierten" Firmen während der 1920er Jahre zur Aufgabe gezwungen. Danach und nach Verhandlungen mit den Firmen Philips (Holland) und Tungsram (Ungarn) über die außerdeutschen Märkte blieben ab 1927 als Röhrenfabrikanten noch die Firmen AEG, Siemens und Telefunken sowie Loewe, TeKaDe und Valvo übrig. Die Firma Valvo (die als Radioröhrenfabrik RRF der CHF Müller GmbH 1924 gegründet wurde) überlebte beispielsweise nur deshalb, weil sie 1927 von Philips übernommen wurde; die Fa. C. Lorenz stellte die Röhrenfabrikation ein.

Ein Bild der damaligen Patentstreitigkeiten liefern einige Schriften der Zeit. So gaben die z.B. die Firmen Hova, Delta, Niggel und Ultra noch im Mai 1927 eine gemeinsame Schrift "Der Kampf um die Radioröhre" heraus [48], in der die Patentansprüche Telefunkens in der Sache in Frage gestellt wurden und in der von Preis- Bedingungs- und Qualitätsdiktatur die Rede war. Auf der anderen Seite befand die Fa. Telefunken in ihrer Schrift zum 25-jährigen Firmenjubiläum 1927 [49]: "Erst eine spätere Zeit wird das Opfer voll zu würdigen wissen, das Telefunken der deutschen Nation dargebracht hat, indem es auf eine Monopolstellung verzichtete."

Von 1923 bis 1925 erhob die Reichstelegraphenverwaltung eine Abgabe für jede Radioröhre, die dafür mit einer Abgabenbanderole, eben der "RTV"-Banderole, versehen wurde (Bild 3.3). Ähnliche Abgaben gab es später z.B. auch in Italien.



**Bild 3.3**  
RTV-Banderole

## Holland

In Holland gab es die "große" Firma Philips, die 1918 mit der Röhrenfertigung begonnen hatte. Philips war einer der ersten "global player" und belieferte den Weltmarkt, soweit er nicht durch landeseigene Firmen oder Kartellabsprachen abgedeckt war. Daneben gab es eine erstaunlich große Zahl von kleineren Firmen, die ebenfalls Röhren produzierten. Darunter waren z.B.

Heussen & Co, Arnhem ab 1921 (Frelat),

N.V. Gloeilampenfabriek Radium, Amsterdam ab 1922 (Record)

N.V. Pope Draad en Lampenfabrieken, den Haag ab 1919, später zu Philips,

N.V. Splendor Gloeilampenfabriek, Nijmegen, Röhren ab 1927,

Thermion

## Ungarn

Im nach dem ersten Weltkrieg selbstständigen Ungarn gab es die große Firma Tungram, die erst Glühlampen und dann ab 1920 auch Röhren herstellte. Tungram war z.B. maßgeblich an der Entwicklung der Wolframtechnologie für die Glühlampe beteiligt (Dr. Just). Ähnlich wie Philips war auch Tungram stark exportorientiert, weil der Heimatmarkt zu klein war, und hatte Niederlassungen z.B. in England und Frankreich. Tungram war u.a. gemeinsam mit Philips Teilnehmer an Glühlampen- und Röhrenkartellen.

## Weiterhin....

Natürlich wurden in vielen Ländern der Welt in dieser Zeit auch schon Röhren produziert, in Rußland, Japan, Australien und vielen anderen Ländern. In Dänemark z.B. gab es meines Wissens drei Röhrenfabriken, nämlich Oxytron, Elektromekano und Manufaktur Pedersen (MP).

Ich glaube aber, daß die Entwicklung durch den Gang der Dinge in Europa und den Vereinigten Staaten von Amerika bis auf wenige Ausnahmen hinreichend gut beschrieben wird.

### 3.1.2 Technische Entwicklung

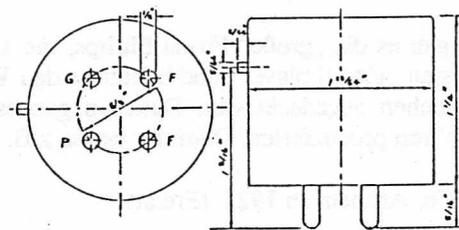
Nach dem Stand von 1918 gab es Röhren mit Kathoden aus reinem Wolfram und Oxidkathoden, deren Heizdraht auf Platinbasis mit einer Paste aus Barium- oder Kalziumoxid bestrichen war. Die weitaus häufigsten Röhren waren Trioden, es gab aber bereits Tetroden mit Raumladegitter zur Kompensation der negativen Raumladung um den Heizfaden herum, das die erforderliche Anodenspannung herabsetzte, oder mit Schirmgitter (Schutznetz) zur Vergrößerung des Innenwiderstandes. Sogar Röhren mit drei Gittern, also Raumlade- Steuer- und Schirmgitter waren schon gebaut. Typische Radioröhren dieser Frühzeit waren:

RCA-Typ Radiotron UV 201 (UV stand für Uit Vacuum, später meist nur mit 01 bezeichnet). Diese Hochvakuumröhre wurde ab Dezember 1920 zum Verkauf angeboten. Sie hatte eine Wolframkathode, die mit ca. 5V Heizspannung betrieben wurde und einen Strom von 1A verbrauchte. Die Spannung von 5V wurde gewählt, weil die Röhren üblicherweise aus einem 6V-Akkumulator geheizt wurden, und zwar zur genauen Einstellung des Stromes über einen einstellbaren Heizwiderstand, an dem etwa 1V Spannung abfiel. Dies war die meistgebrauchte Röhre und universell für alle Zwecke geeignet. Sie hatte den vierpoligen UV-Sockel mit Bajonettverschluß, (Bild 3.4)

**Bild 3.4**  
Röhre UV 201  
mit Wolframheizfaden  
1920 [7]



a) Röhre



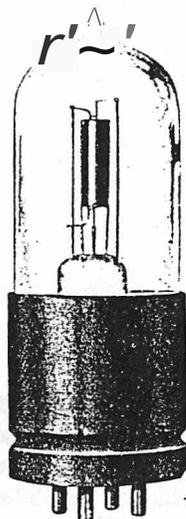
b) UV-Sockel [47]

Daneben gab es die Röhre UV 200. Sie war äußerlich mit der UV201 identisch, hatte aber eine Gasfüllung von Argon niedrigen Druckes. Die Gasfüllung bewirkte zwar größere Exemplarsteuungen und Temperatur...

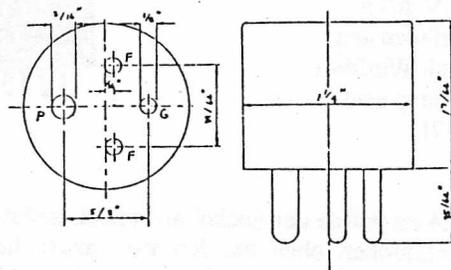
abhängigkeit der Betriebswerte, die Röhre hatte aber dafür bei richtiger Einstellung durch die Gasverstärkung eine größere Steilheit und war als Detektor in der Audionschaltung empfindlicher (vergl. Abschnitt 1.6)

Die Fa. Westinghouse Electrical & Manufacturing Co., die auch Röhren für RCA baute, brachte 1922 die Röhre Aeriotron WD 11 heraus. Diese Röhre hatte eine Oxidkathode, die mit 1,1V bei 0,25A betrieben wurde und somit aus einer einzigen Trockenzelle geheizt werden konnte (Bild 3.5).

Bild 3.5  
Röhre WD 11  
mit Oxidfaden  
1922 [7]



a) Röhre



b) Sockel [47]

Die erste wesentliche Verbesserung in der frühen Radiozeit war die Einführung des Heizfadens aus thoriertem Wolfram. Wolfram mit Thoriwnzusatz war schon längere Zeit aus der Glühlampenfertigung bekannt, weil sich damit wegen der besonderen Eigenschaften des Wolframs bessere Glühfäden ziehen ließen. Der Thoriwnzusatz war der Firma Westinghouse seit 1910 patentiert. [zitiert in [50] ]. Nach [7] wurde 1920 im Werk der General Electric in Harrison durch einen Fehler eine Partie Röhren UV 201 mit thorierten Wolframfäden ausgestattet. Es stellte sich heraus, daß diese Röhren schon bei stark reduzierter Heizspannung ausreichende Elektronen-emission zeigten. Die anschließenden Untersuchungen zeigten, daß thoriertes Wolfram wesentlich bessere Emissionseigenschaften als reines Wolfram hat. Eine Kathode aus reinem Wolfram braucht für ausreichende Elektronenemission eine Temperatur von ca. 2400°C, d.h. sie leuchtet hell wie eine Glühlampe (daher auch die Bezeichnung "Radiolampe", im Englischen "Bright Emitter"). Die Kathode aus thoriertem Wolfram braucht für gleiche Emission nur eine Temperatur von ca. 1800°C, sie leuchtet nur noch mit mäßiger Gelbglut (im Englischen „Dull Emitter“).

Im Dezember 1922 kündigte RCA die Röhre UV 201A an, das war eine Röhre mit den Eigenschaften der UV201, aber sie benötigte nur ein Viertel des Heizstromes, nämlich 0,25A. Deshalb ersetzte die UV201A oder kurz 01A innerhalb kurzer Zeit ihre Vorgängerröhre.

Äußerlich ist die UV201A leicht von von der UV201 zu unterscheiden. Zwar sind äußere Form und der Sockel gleich, aber die neue Röhre ist von innen verspiegelt, dh. sie ist "gegetert". Das hat folgenden Grund: Die reine Wolframkathode ist gegenüber Gasresten relativ unempfindlich. Das Vakuum in der Röhre muß "nur" so gut sein, daß bei der verwendeten Anodenspannung von 40 bis 100V keine Gasentladung einsetzen kann. Das thorierte Wolfram dagegen ist insbesondere gegen Sauerstoffreste sehr empfindlich. Das Vakuum muß daher bei thorierten Fäden wesentlich besser als bei reinen Wolframfäden sein. Solche hohen Vakua sind durch bloßes Pumpen auch mit den besten Pumpen nur schwer zu erreichen, weil nach dem Abschmelzen der Pumpe noch gebundene Gasreste wieder frei werden. Diese Gasreste lassen sich durch Getterstoffe erneut binden, also unschädlich machen. Solche Getterstoffe sind chemisch aktive Stoffe wie z.B. Phosphor, Magnesium oder Barium. Anfangs wurde in der Röhrentechnik hauptsächlich Magnesium verwendet, das nach dem Abschmelzen der Pumpe von außen durch Hochfrequenzwärmerung in der Röhre verdampft wurde. Dieses verdampfte Magnesium schlägt sich auf der Innenseite des Glaskolbens nieder und bildet den blanken Getterspiegel, der leicht zu erkennen ist. (Bild 3.6)



**Bild 3.6**  
Röhre UV 201A  
mit Heizfaden aus  
thorisiertem Wolfram  
und Getterspiegel  
1923 [47]

Vom Jahr 1924 an wurde der Sockel aus Plastik gefertigt. Ebenso begann man die Vakuumpumpe nicht mehr über ein Glasröhrchen oben am Kolben anzuschließen, das nach dem Abschmelzen eine kleine Spitze hinterließ. Das Pumpröhrchen wurden nun am Quetschfuß angebracht und verschwand bei der fertigen Röhre im Sockel, so daß man jetzt eine Röhre ohne Spitze erhielt. 1925 erhielten die Röhren einen Sockel mit längeren Stiften, der UX-Sockel hieß. Die Standardröhre hieß damit UX201A. Sie sah äußerlich so aus wie die in Bild 3.7 gezeigte Röhre UX112. Dies war die erste Lautsprecherröhre für Batteriegeräte und lieferte die damals respektable Ausgangsleistung von 200mW [7].



**Bild 3.7**  
Lautsprecherröhre UX112  
für 200mW Ausgangsleistung.  
1925 [7]

Röhren aus dem Bereich deutscher Produktion waren meist etwas kleiner als die amerikanischen. Die "Nonnal"-Röhre der Radioröhrenfabrik Hamburg RRF (Bild 3.8) ist ein Beispiel für eine Röhre mit Heizfaden aus reinem Wolfram. Die Röhren wurden meist aus einem 4V-Akkumulator geheizt und hatten daher eine Heizspannung von 3,2V, damit man noch einen Regelwiderstand zur genauen Einstellung des Heizstromes von 0,5A vorschalten konnte. Die Röhre hatte im Regelfall den französischen Sockel (Bild 2.28), war aber auf Wunsch auch mit dem amerikanischen UV-Sockel (Bild 3.4 b) oder dem Telefunktensockel (Bild 3. ) lieferbar.



Bild 3.8  
"Normal"-Röhre der  
Radioröhrenfabrik Hamburg  
1924 [51]

Dieser Röhre folgte bald (1925?) die Röhre "Oekonom" mit Heizfaden aus thoriertem Wolfram. Die äußere Form war die der Normalröhre, sie war aber, wie schon oben bei der UV201A erläutert, mit Getterspiegel versehen. Sie brauchte nur noch einen Heizstrom von 60mA.

Auch hier ist ein kleiner technischer Exkurs angebracht:  
In der Frühzeit des Radios war Röhre gleich Röhre. Die meisten Empfänger bestanden nur aus der Audion-Stufe, die mit dem Kopfhörer abgehört wurde. Wollten mehrere Personen Radio hören" so wurden mehrere Kopfhörer parallelgeschaltet. Dafür gab es besondere Mehrfachanschlußbrettchen im Handel. Schon bald aber wurde die Empfängertechnik umfangreicher. So gab es Hochfrequenzverstärkerstufen vor dem Audion und ein oder zwei Niederfrequenzverstärkerstufen nach dem Audion, womit sogar schon Lautsprecherempfang möglich war. Die ersten Lautsprecher waren Trichterlautsprecher nach Bild 3.9. Sie bestanden aus einem einzelnen, besonders kräftigen Kopfhörersystem, das über einen Schalltrichter an das Freifeld angepaßt war.



Bild 3.9  
Trichterlautsprecher  
1924 [52]

Zu Beginn wurden alle Stufen des Empfängers mit gleichen Röhren ausgerüstet. Bald aber begann man damit, die Röhren für die Verwendung in bestimmten Stufen zu spezialisieren. Die Fertigungsstreuung war anfangs so groß, daß man die Röhren für bestimmte Anwendung einfach ausgemessen hat. Die so selektierten Röhren wurden dann entsprechend gekennzeichnet. Bei der Radioröhrenfabrik Hamburg (RRF, ab 1926 Marke VALVO) wurde beispielsweise wie folgt gekennzeichnet:

Die Standardröhre hieß Oekonom. Für Hochfrequenzverstärkerzwecke selektiert war es die Oekonom H. Dies waren Röhren, deren Innenwiderstand besonders hoch war, die also den angeschlossenen Schwingkreis wenig bedämpften.

Röhren mit kleinem Innenwiderstand (oder großem Durchgriff) waren besonders für Niederfrequenzverstärkerstufen mit Transformatorkopplung, auch für den Betrieb kleiner Lautsprecher geeignet. Sie hießen Oekonom N.

Röhren ohne besondere Eigenschaften waren für alle Stufen geeignet und wurden meist für die Audionstufe benutzt. Die Standardschaltung eines guten Empfängers war 1925 das Audion mit zwei folgenden Niederfrequenzstufen. Ein Hochfrequenzverstärker war das Kennzeichen eines "Fernempfängers" und daher eine seltene Besonderheit. Ein typisches Schaltbild eines solchen Empfängers zeigt das Bild 3.10.

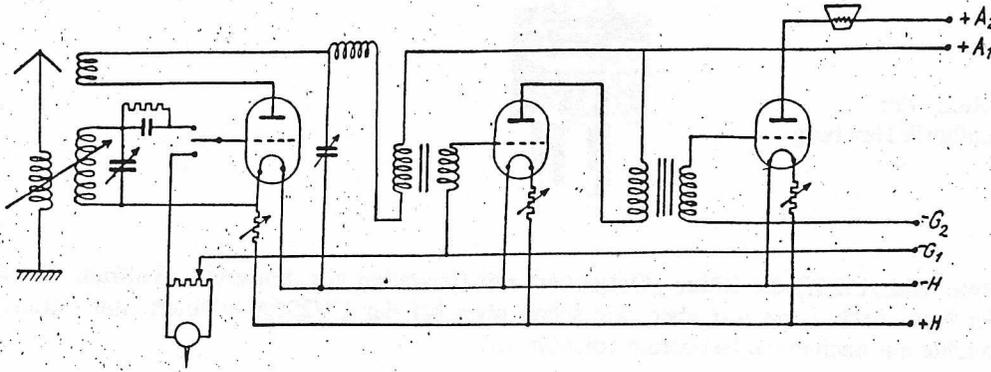


Bild 3.10

Schaltbild eines Audion-Empfängers mit zwei transformatorgekoppelten Niederfrequenz-Verstärkerstufen [53]. In der Audionstufe ist ein Umschalter für elektrische Schallplattenwiedergabe!

Weitere Entwicklungen führten zu Niederfrequenzröhren, die für Widerstandskopplung geeignet waren. Bild 3.11 zeigt das Schaltbild eines typischen Empfängers mit Widerstandskopplung zwischen den Verstärkerstufen. Dies hatte den Vorteil des besseren Frequenzganges und man ersparte sich die teuren und schweren Koppeltransformatoren. Allerdings brauchte man dafür Röhren mit ebenfalls hohem Innenwiderstand. Die dafür passende Röhre hieß Oekonom W.

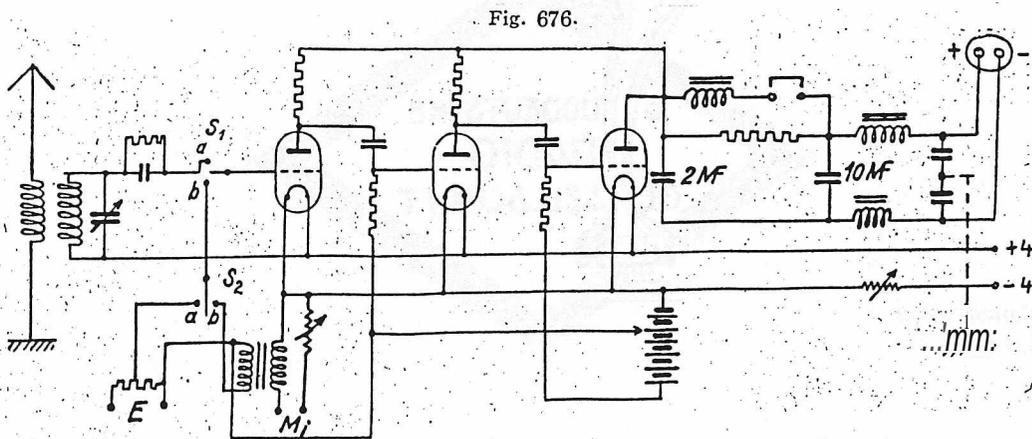
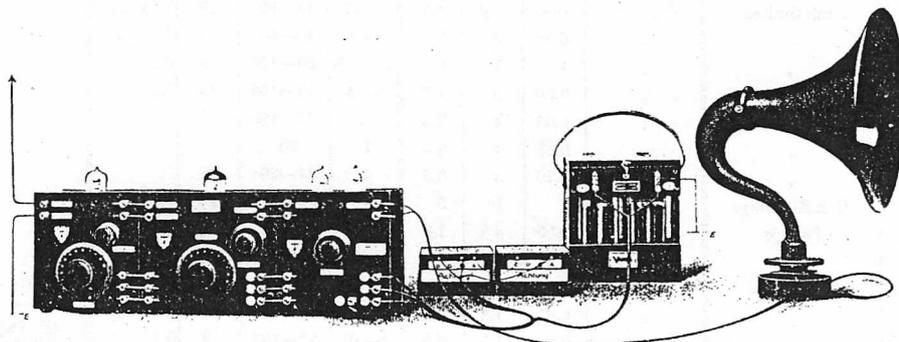


Bild 3.11

Audionempfänger mit widerstandsgekoppelten Verstärkerstufen [53]

Der nächste Schritt war der Wunsch nach einer kräftigeren Endröhre für den Lautsprecher. Bei Valvo hieß die entsprechende Röhre Valvo Lautsprecher 201, sie war der amerikanischen UV 201 nachempfunden. Eine entsprechende Röhre der englischen Firma Cossor hatte den schönen Namen Stentor Two, um an die berühmte Stentor-Stimme zu erinnern. Bei Telefunken war es schlicht die RE 209, wobei R für Röhre und E für Empfänger stand.

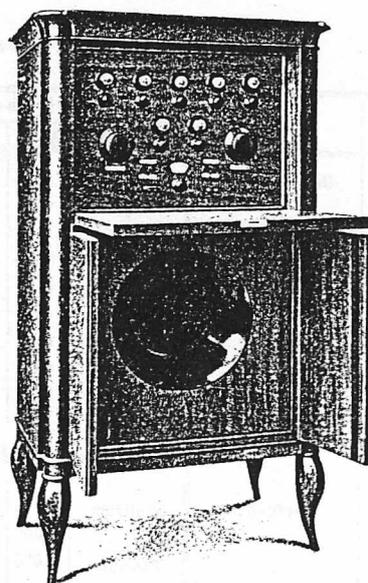
Die kommerziell erhältlichen Radioempfänger der frühen Radiozeit sahen recht "technisch" aus. Bild 3.12 zeigt ein komfortables Gerät, das aus einzelnen Bausteinen zusammengestellt ist. Es enthält eine Hochfrequenzverstärkerstufe, ein Audion und einen zweistufigen Niederfrequenzverstärker. Die Bausteinform hatte den Vorteil, das die Teile auch einzeln gekauft und verwendet werden konnten. Die offen sichtbaren Röhren entsprachen erstens dem Zeitgeschmack und hatten einen gewissen Repräsentationswert (so wie man heute [1999] sein Handy gerne offen im Holster trägt). Zweitens aber „urde der richtige Wert des Heizstromes mit Hilfe des Heizreglers meist so eingestellt, daß die Röhre "richtig" leuchtete, also weißglühend bei reinen und strohgelb bei thorierten Wolframkathoden. Dazu aber mußte die Röhre sichtbar sein.



**Bild 3.12**

Frühes Radio-Gerät in Bausteinform ("D-Zug). Die Röhre in der Audion-Stufe ist eine rot markierte R.E.84 ("Rotköppchen"), die besonders für Detektorzwecke ausgemessen war. Fabrikat Siemens, 1924 [10]. Man beachte den hohen Heizakku. und die Anodenbatterien sowie den Lautsprecher!

Wurden die Röhren in das Gerät eingebaut, so waren im Gehäuse oft Sichtfenster vorgesehen. Bild 3.13 zeigt ein solches Gerät mit sieben Röhren, für die die Sichtfenster und zugehörigen Heizregler zu erkennen sind. In [10] hieß dieses Gerät "Amateurempfänger"; es war sicher ein Luxusgerät.



**Bild 3.13**

Geschlossenes Gerät mit 7! Röhren [10]  
"Amateurgerät" der Fa. Telefunken, ca. 1924  
Unter den 7 Sichtfenstern für die Röhren sind die 7 zugehörigen Heizregler zu erkennen.  
Dieses Gerät hatte drei! Hochfrequenzstufen und zwei parallelgeschaltete Röhren als Endverstärker.

Bild 3.14 zeigt eine Tabelle [10], in der typische Röhren der Zeit aufgelistet sind.

Eingitter-Röhren.

Type	Herkunft	Glühkathode				J Milli- ampere	E/AO Volt.	"	S	Bemerkungen
		Material	Amf	Volt	Watt					
RE 11 . . . .	Telefunken	Wolfram	0,50	2,8	1,4	2-3	40-60	10	0,15-10-	
RE 38/73 . . .	"	"	0,50	3,8	2	3-5	40-60	10	0,30	
RE 58 . . . . .	"	"	1	5	5	10-15	50-100	12	0,3'	
R 5 . . . . .	S.F.R.	"	0,50	3,5	1,8	3-5	50-100	12	0,20	
L S. 3. . . . .	Marconi-Comp.	"	0,65	4	2,5	—	70-100			
R . . . . .	"	"	0,65	4	2,5	5	70			
V 24 . . . . .	"	"	0,70	5	3,5	)	24-30	18		
UV 201 . . . .	Gen.El.Comp.	"	1	5	5	10-15	30-100	14	0,35	
D II . . . . .	Philips	"	0,50-	3,5	1,8	3-5	30-70	11	0,20	
RE 48 . . . . .	Telefunken	Oxyd	0,16	1,4	0,2	10	50-100	20	0,30	
RE 84 . . . . .	"	"	0,25	1,3	0,3	10-15	50-100	30	0,40	Oxyd kathoden haben oft. einen so geringen Siltigungs- stromcharakter. daß die Bezeichnung J. nicht ganz berech- tigt ist
RE 86 . . . . .	"	"	0,25	1,3	0,3	5-10	50-100	7	ü,40	
R 215 A . . . .	West.El.Comp.	"	0,25	1	0,25	3-5	50-100	18	0,20	
W D 11/12 . . .	Westinghouse-Co. Gen.El.Comp.	"	0,25	1	0,25	10	50-100		0,20	
BII . . . . .	Philips	"	0,20	1,7	0,35		30-75	10	0,20	
RE 83 . . . . .	Telefunken	Thorium	0,20	2,5	0,5	10-15	50-100	20	0,40	
RE.78 . . . . .	"	"	0,07	2,5	0,18	5-8	40-80	12	0,80	

Bild 3.14  
Tabelle typischer Röhren aus der Anfangszeit des Radios [10]

Eingitter-Röhren  
(Fortsetzung).

Type	Herkunft	Glühkathode				J Milli- ampere	E/AO Volt.	"	S	Bemerkungen
		Material	Amf	Volt	Watt					
UV 201a . . . .	Gen.El. . Cornl.	Thorium	0,25	5	1,2	80	80-200	20	0,60-10-s	
UV 199 . . . . .	"	"	0,06	8	0,18	5-8	40-80	15	0,30	
C 299 . . . . .	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
DEV. . . . .	Marconi-Comp.	"	0,2	3	0,60	10-20	20-80	18		
DER. . . . .	"	"	0,40	1,6	0,65	10-20	30-50			
B 5 . . . . .	Br.Th.Houst	"	0,06	8	0,18	5-8	40-80	17	0,30	
Radio-Mikro. .	G.D.E.R.	"	0,06	3	0,18	5-8	40-80	11	0,30	
	Radiola	"	0,06	3	0,18	5-8	40-80.	11	0,80	
	Metal	"	0,06	8	0,18	5-8	40-80	11	0,80	
Rau mlad ungsg itter-Röh re n										
RE 20 . . . . .	Telefunken	Wolfram	0,50	2,8	1,4	%-8	12-18	14	0,80	
RE 26 . . . . .	"	"	0,50	4	2	3-5	12-18	14	ü,40	
RE 82 . . . . .	"	Thorium	0,070	8,5	0,25	5	4-12	30	0,40	
FE 1 . . . . .	M-reoni.Comp.	Wolfram	1,5	4,5	6,5	10-15	25-100			
RDGI . . . . .	S.F.R.	"	0,4	4	1,6	8-5	12-20	20	0,85	

Bild 3.14 Fortsetzung  
Tabelle typischer Röhren aus der Anfangszeit des Radios [10]

Bild 3.15 zeigt einige der in Tabelle Bild 3.14 genannten Röhren.

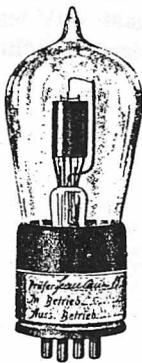


R.E. 58 (Telefunken)



R 5 (Métal)

**Bild 3.15 a)**  
Röhren mit Wolframkathoden



RE 48



RE 84/86



R 215 A

**Bild 3.15 b)**  
Röhren mit Oxidkathoden



UV 199 (RCA)



Radiola (Métal)

**Bild 3.15 c)**  
Röhren mit Kathoden aus thoriertem Wolfram

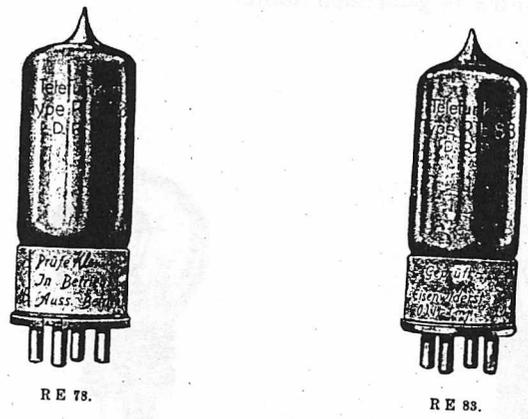


Bild 3.15 d)  
noch Röhren mit Kathoden aus thoriertem Wolfram (Telefunken)

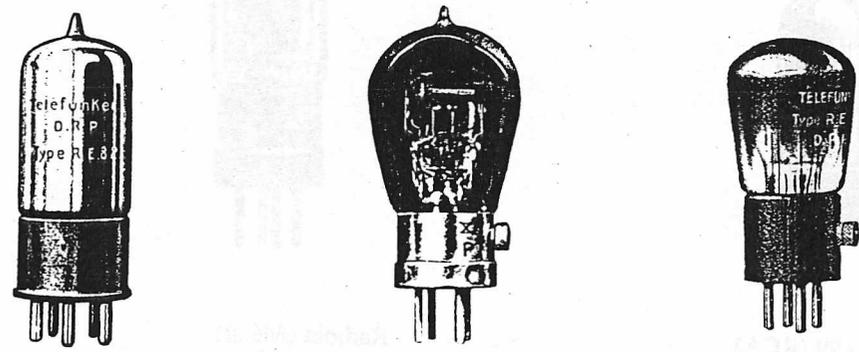
Röhren mit mehreren Gittern

Röhren mit mehreren Gittern waren schon aus der Zeit des ersten Weltkrieges bekannt. Langmuir hatte 1913 gezeigt, daß die begrenzung Wirkung der negativen Raumladung um die Kathode herum durch ein positiv geladenes Gitter in Kathodennähe kompensiert werden kann. Bei Verwendung eines solchen "Raumladegitters" kann man daher mit kleinen Anodenspannungen auskommen, Z.B. mit 4V bis 20V statt 40V bis 100V. Die erste inir bekannte Röhre mit Raumladegitter ist die von W. Schottky konstruierte Siemens-Röhre 110 (Bild 3.16), die ab 1917 gefertigt wurde [54]



Bild 3.16  
Raumladegitterröhre Siemens 110  
1917 [55]

In der frühen Radio-Zeit waren diese Raumlade- oder einfach Doppelgitterröhren sehr beliebt, weil sie mit niedrigen Anodenspannungen auskamen und daher besonders für Bastler sehr geeignet waren. Bekannte Raumladegitterröhren waren die RE.82 (Bild 3.17) ab. ca. 1923, sie hieß später mit Europasockel versehen RE.212 und ab 1926 mit neuem, spitzenlosen Kolben RE072d (ebenfalls Bild 3.17). Sehr beliebt war auch die DM300 der holländischen Firma Radio Record. Als drittes zeigt Bild 3.17 die Röhre B VI von Philips.



RE. 82 [10]                      Philips B VI [7]                      Telefunken RE 072d [56]  
(5-poliger Telefunkensockel)                      (Europasockel mit Seitenschraube)

Bild 3.17  
Raumladegitterröhren mit Thoriumkathode

Die zweite Form der Doppelgitterröhre war die Schirmgitterröhre. Das Schirmgitter wurde 1916 von Schottky zum Patent angemeldet. Es ist zwischen Steuergitter und Anode angeordnet und erhöht den Innenwiderstand der Röhre. Eine Schirmgitterröhre ist somit für Widerstandskopplung oder für Hochfrequenzverstärkung besonders gut geeignet. Die erste Serienröhre war die Schottky-Schutznetz-Röhre SS (Bild 3.18)

**Bild 3.18**  
Siemens-Schottky-Röhre SS  
Schirmgitterröhre 1917 [7]

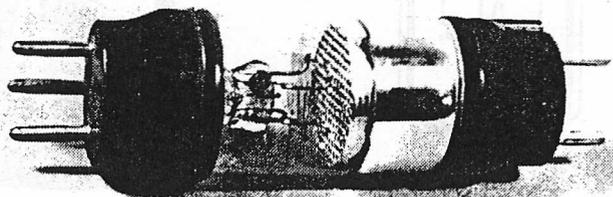


Für Widerstandskopplung in Niederfrequenzverstärkern reichten die Trioden mit besonders kleinem Durchgriff, also hohem Innenwiderstand, aus. Für den Radioempfänger waren die Schirmgitterröhren besonders als Hochfrequenzverstärker interessant. Sie wurden ab etwa 1926 eingesetzt und verbesserten die Hochfrequenzverstärkung in erheblichem Maße. (Durch die damit mögliche hohe Verstärkung traten allerdings Folgeprobleme auf, nämlich die Selbsterregung von Verstärkern und die Abschirmung). Eine bekannte Schirmgitterröhre war die UX 222 von RCA. Bild 3.19 zeigt einige Stufen der Herstellung dieser Röhre. Das Steuergitter ist an einen Kontakt oben auf dem Sockel geführt; dieser weit von den anderen entfernte Auswurf ist typisch für Hochfrequenzröhren.



**Bild 3.19**  
Schirmgitterröhre RCA UX 222, 1926 [7], Steuergitterkontakt auf dem Kolben

Besonders markant ist die englische Schirmgitterröhre S625 von Marconi nach Bild 3.20. Bei ihr trennt das Schirmgitter die Anode nahezu vollständig vom Steuergitterkathodenraum ab. Um diese elektrisch erwünschte Trennung nicht zu stören, ist die Röhre mit zwei Sockeln versehen. Diese Röhre war zwar elektrisch gut, aber wegen der erforderlichen zwei Sockel in der Anwendung problematisch.



**Bild 3.20**  
Schirmgitterröhre S625 von Marconi (1926) mit zwei Sockeln [7]

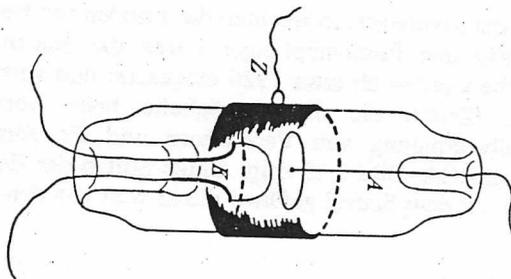
### 3.1.3 Besonderheiten und Kuriositäten

#### Umgehung von Basispatenten

Wie oben bereits erläutert, war die Welt der Radioröhre eingeteilt in „Lizenzierte“ und „Nichtlizenzierte“. Die Nichtlizenzierten hatten es schwer, und um Patentstreitigkeiten mit den Lizenzierten zu umgehen, wurden einige teils abenteuerliche Konstruktionen in der Hoffnung erdacht, damit die grundlegenden Röhrenpatente zu umgehen.

#### Außensteuerung

Das Steuergitter ist eine Elektrode, die den Elektronenstrom von der Kathode zur Anode auf elektrostatischem Wege beeinflusst. Wo dieses Gitter sitzt, ist zwar von großem Einfluß auf z.B. die Steilheit der Röhre, also auf wichtige Röhrenkennwerte; für die Grundfunktion aber ist es ohne Bedeutung. Schon vor 1918 wurden Experimente mit Außengittern durchgeführt, und entsprechende Röhren gebaut. Bild 3.21 zeigt eine von RA. Weagant bereits 1916 vorgeschlagene und das Bild 2.32 (s. oben) eine von Moorhead ab 1916 gebaute Version.

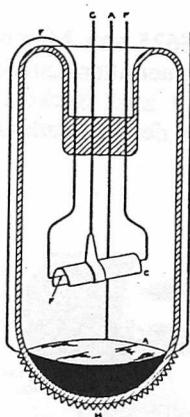


**Bild 3.21**  
Weagant-Röhre  
mit Außengitter  
ab 1916 [10]

Wegen auftretender stark schwankender Wandladungen ist die Außengittersteuerung zumindest für Verstärkerröhren sehr unzuverlässig. Man hat sie später nur noch für gasgefüllte Gleichrichter- und Schaltröhren verwendet. Eine Ausnahme sind die um 1930 von Telefunken gebauten Arcotrons (s.d.), die sich ebenfalls nicht bewährt haben.

#### Andere Elektrodenformen

Auch mit anderen Formen der Elektroden, besonders von Gitter und Anode, hat man versucht, die Basispatente zu umgehen. Beim „Sodium“-Detektor von H.P. Donle aus dem Jahre 1922 wurde z.B. eine Anode aus flüssigem Natrium verwendet. Bild 3.22 zeigt die Prinzipzeichnung und eine Ausführungsform dieser Röhre. Das Natrium wurde geheizt, damit es flüssig wurde, und die Röhre mußte dementsprechend über Kopf hängend betrieben werden.

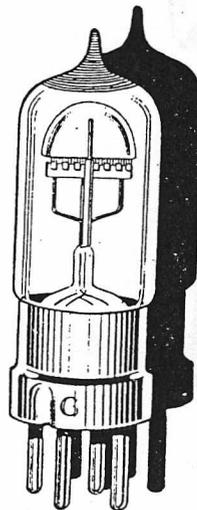


**Bild 3.22**  
Sodium-Röhre mit Anode aus  
flüssigem Natrium. 1922, [7]

a) Prinzip

b) kommerzielle Form

Die Firma Cossor in England baute ihre "Tin-Hat-Tubes". Das besondere daran war die hutförmige, an einen englischen Stahlhelm (Tin Hat) Form von Anode und Gitter, mit der man glaubte, kein Patent zu verletzen. Bild 3.23 zeigt ein aus einer Anzeige entnommenes Bild.



**Bild 3.23**  
"Tin-Hat"-Röhre der Fa.  
Cossor 1922 [57]

Ein besonderes Kuriosum ist die Röhre des Franzosen Peri: Die weitverbreitete zylindrische Anordnung von Heizfäden, Gitter und Anode war den Herren Peri und Biguet 1915 patentiert (s. Kapitel 2). Sie erkannten den Wert ihrer Erfindung nicht und verkauften ihr Patent wohl weit unter Wert. So verbrachte Peri später Jahre seines Lebens damit, sein eigenes Patent zu umgehen. Bild 3.24 zeigt eine seiner späteren Konstruktionen mit einer Anode aus parallelgeschalteten Scheiben.



**Bild 3.24**  
Röhrenkonstruktion von Peri  
zur Umgehung seines eigenen  
inzwischen verkauften Patentes  
ca. 1923 [7]

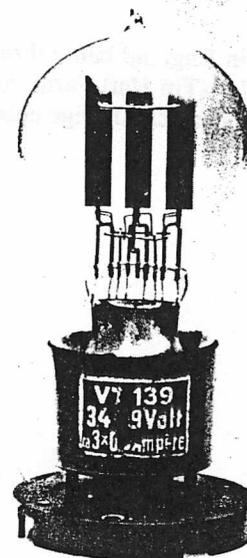
#### Mehrfachröhren

In Deutschland war die Firma Telefunken Inhaberin der Röhren- und der meisten Schaltungspatente. Sie vergab Schaltungslizenzen an die Radiogeräte bauende Industrie. Dabei mußte für jede im Gerät vorhandene Röhrenfassung eine Gebühr bezahlt werden. So lag es für die Lizenznehmer nahe, die Zahl der Fassungen zu minimieren. Ein Weg dazu war, mehrere Röhrensysteme in einem Kolben zu vereinen.

Die Firma Tekade war Mitglied des Lieben-Konsortium und somit auch Patentinhaber. Sie baute Röhren mit zwei und drei Triodensystemen in einen Kolben, der natürlich auch nur einen Sockel für eine Fassung - mit entsprechend vielen Anschlüssen - hatte. So war es möglich, mit nur einer Fassung Zwei- und Drei-Röhren-Geräte zu bauen. Bild 3.25 zeigt eine Zwei- und eine Dreifachröhre der Fa. Tekade.



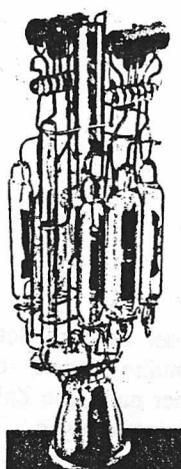
VT 126



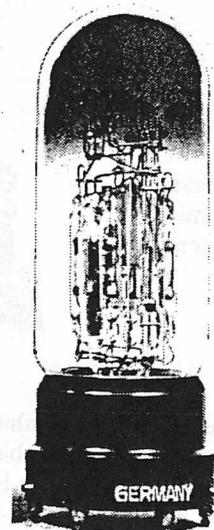
VT 139

Bild 3.25  
Mehrfachröhren der Fa.  
Tekade, 1927 [58]

Es gab auch weitere konstruktive Ziele und technische Gründe dafür, mehrere Röhrensysteme in einen Kolben zu setzen. Ein Beispiel dafür ist die Firma Loewe. Sie war ein Pionier der Widerstandskopplung zwischen den Verstärkerstufen. In ihrer wohl bekanntesten Mehrfachröhre, der 3NF, waren drei Röhrensysteme, darunter ein Lautsprecherröhrensystem, und die zur Verschaltung erforderlichen Widerstände und Kondensatoren vereint (Bild 3.26). So brauchte man für ein normales Dreiröhrengerät außer dieser Röhre nur noch die Spulen und den Drehkondensator für den Schwingkreis. Der damit gebaute Ortsempfänger OE 333 erreichte wegen seines günstigen Preises als erstes Gerät die Millionenaufgabe. Der technische Vorteil war die innerhalb des Kolbes sehr kurze und kapazitätsarme Verdrahtung. So konnten mit dieser Technik auch widerstandsgekoppelte Hochfrequenzverstärker gebaut werden. Die entsprechende Röhre hieß 2HF. Sie enthielt zwei Schirmgittersysteme und die erforderlichen Widerstände und Kondensatoren (Bild 3.27).

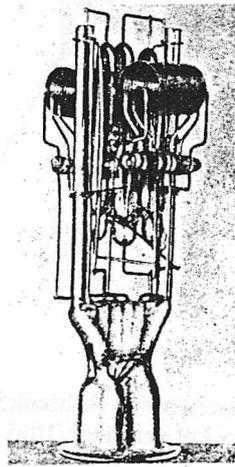


Innerer Aufbau

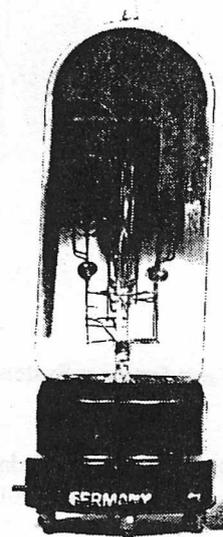


Außenansicht

Bild 3.26  
Mehrfachröhre 3NF mit Widerstands-Kondensator-Beschaltung, 1926  
3 Triodensysteme, das senkrechte in der Mitte als Lautsprechersystem [7]



Innerer Aufbau



Außenansicht

Bild 3.27  
Mehrfachröhre 2HF mit  
Widerstands-Kondensator-  
Beschaltung, 1926 [7]  
2 Schwinggittersysteme

### 3.1.4 Aufbau und Kolbenform

Der Aufbau der „klassischen“ Radioröhre läßt sich an Hand des Bildes 3.28 verfolgen. Das System wird von einem gläsernen Quetschfuß getragen, durch dessen gequetschten Teil die Anschlußleitungen vakuumdicht hindurchgeführt sind. Das Metall der Durchführung muß gut mit dem Glas verschmelzen und soll einen dem des Glases ähnlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten haben, damit später keine Risse auftreten. Deshalb wurde zu Anfang Platin für die Durchführungsstelle benutzt, an das die Leitungen aus Nickel oder Kupfer angelötet wurden. Später verwendete man an dieser Stelle Kupfermanteldrähte. Während z.B. Philips und RCA schon von Beginn der 1920'er Jahre an Manteldrähte benutzten, verwendeten deutsche Firmen wie Tekade oder Telefunken noch am Ende der 1920'er Platindurchschelzungen.

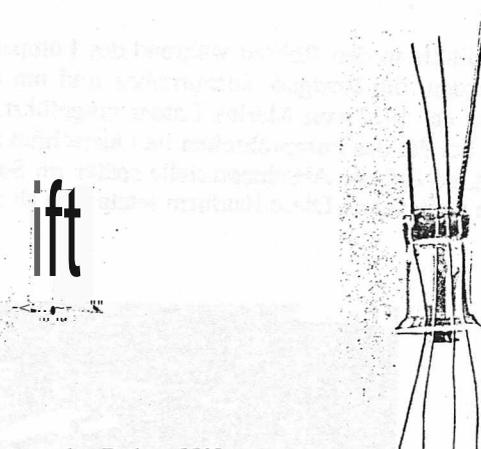
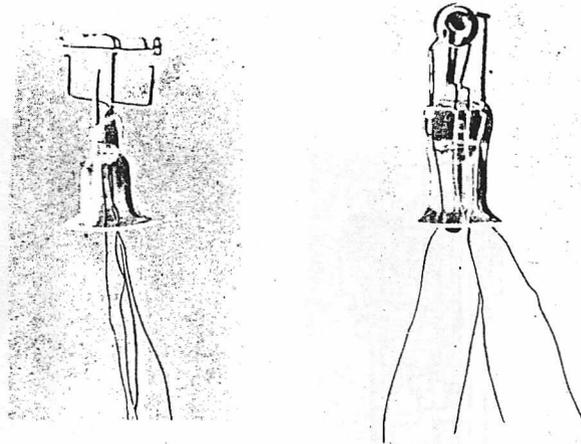


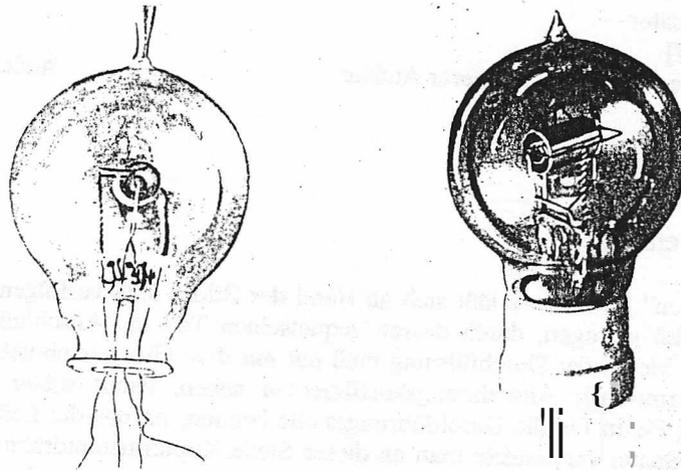
Bild 3.28  
Quetschfuß aus Glas als Systemträger der Röhre [59]

An den passend gebogenen Drähten des fertigen Quetschfußes werden durch Punktschweißen, Klemmen oder Nieten die Systemteile, also Heizfaden, Gitter und Anode befestigt, wie in Bild 3.29 gezeigt. In diesem Beispiel liegt das System waagrecht; ebenso waren aber auch senkrechte Systeme in Gebrauch, die meist in zylindrische Glaskolben eingesetzt wurden.



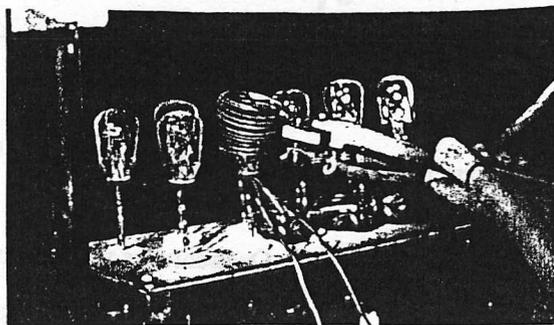
**Bild 3.29**  
Quetschfuß mit fertigem System [59]

Der Boden des Quetschfußes wird dann mit dem übergeschobenen Röhrenkolben verschmolzen. Anschließend wird die Röhre gepumpt, abgeschmolzen und mit dem Sockel versehen (Bild 3.30)



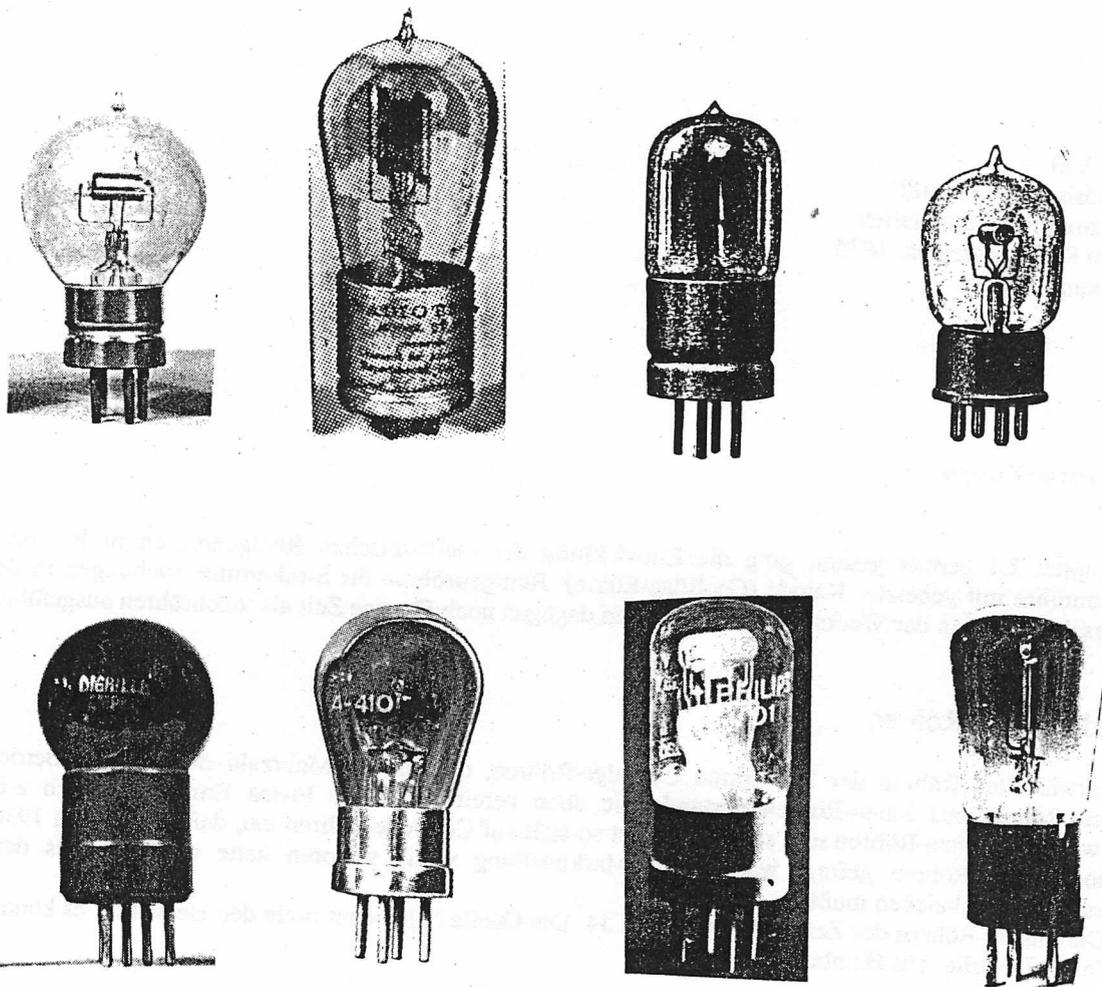
**Bild 3.30**  
Verschmelzen des Quetschfußes mit dem Kolben, Abschmelzen und Sockeln [59]

Das Bild 3.31 zeigt, wie die Metallteile in den Röhren während des Pumpens durch eine Hochfrequenzspule mittels Wirbelstrom erhitzt werden, um Restgase auszutreiben und um das Gettermaterial zu aktivieren. Nach [69] wurde dieses Verfahren ca. 1922 von Marius Latour eingeführt. Die abgebildeten Röhren haben schon eine "modernere" Bauform, bei der das Pumpröhrchen im Quetschfuß angesetzt wird. Dadurch kann die Röhre von unten gepumpt werden, so daß die Abschmelzstelle später im Sockel verschwindet und die Röhre keine empfindliche Spitze auf dem Kolben hat. Diese Bauform setzte sich ab ca. 1926 allgemein durch.



**Bild 3.31**  
Entgasen und Gettern durch Hochfrequenzerhitzung.  
"Moderne" Röhrenform mit Pumpröhrchen im Quetschfuß (ab ca. 1926) [50]

Das Bild 3.32 schließlich zeigt typische Kolbenformen der Zeit, angefangen vom Kugelkolben mit Pumpspitze bis zum spitzenlosen konischen Kolben, der bis in die 1930'er. Jahre hinein gebräuchlich war. Im amerikanischen Sprachgebrauch hießen die Kugelkolben "globular", die zylindrischen "tubular" und die konischen "straight".



**Bild 3.32**  
Typische Kolbenformen von 1920 bis 1927

Radoröhren hatten in der Zeit einen vergleichsweise hohen Preis; in Deutschland z.B. kostete eine Röhre zwischen 10 und 15 Mark. Deshalb lohnte es sich, durchgebrannte Heizfäden ersetzen zu lassen. So eine Röhrenreparatur - die Röhre zu beiden Seiten des Systems öffnen, die alten Heizfädenreste entfernen, einen neuen Heizfaden einziehen, die seitlichen Öffnungen zuschmelzen, die Röhre neu zu pumpen und abzuschmelzen - kostete ca. 4 bis 8 Mark. So gab es in vielen Ländern, z. B. USA, Deutschland und Frankreich, kleine Firmen, die eine Röhrenreparatur anboten. In Deutschland gab es z.B. die Firma Großberliner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft (Grobag), die dieses Geschäft betrieb [60]. Auch die Herstellerfirma der Loewe-Mehrfachröhren bot eine Heizfadenreparatur für diese Röhren an, meines Wissens nur einen Preis von 10 Mark.

Bild 3.33 zeigt eine reparierte Röhre aus Frankreich, bei der die reparaturbedingten Schmelzstellen an der Kolbenseite, durch die der neue Heizfaden eingezogen wurde, deutlich zu erkennen sind.

**Bild 3.33**  
 Französische Röhre mit  
 sichtbaren Reparaturstellen  
 an den Kolbenseiten ca. 1925  
 (Eigenaufnahme)

## 3.2 Röntgenröhren

Wie im Kapitel 2.1 bereits gesagt, ging die Entwicklung der medizinischen Röntgenröhren in Richtung Hochvakuumröhre mit geheizter Katode (Coolidge-Röhre). Röntgenröhren für Strukturuntersuchungen in der Materialforschung und in der Werkstoffprüfung wurden dagegen noch für eine Zeit als Ionenröhren ausgeführt.

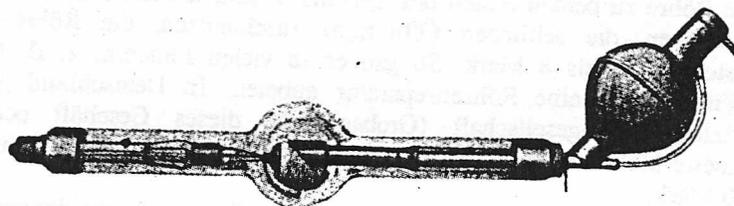
### 3.2.1 Medizinische Röhren

Die neu entwickelten Röhren der Zeit waren Coolidge-Röhren, obwohl die Mehrzahl der noch in Betrieb befindlichen Röhren aus Ionen-Röhren bestand. Die oben bereits erwähnte Firma Emil Gundelach z.B. fabrizierte weiterhin Ionen-Röhren und stellte sich erst so spät auf Coolidge-Röhren um, daß sie ab etwa 1930, als nur noch diese Röhren gefragt waren, ihre Marktstellung völlig verloren hatte und sich aus dem Röntgengeschäft zurückziehen mußte.

Typische Diagnostik-Röhren der Zeit zeigt das Bild 3.34. Die Quelle [61] nennt nicht den Hersteller, es könnte m.E. die Fa. CHF Müller aus Hamburg sein.



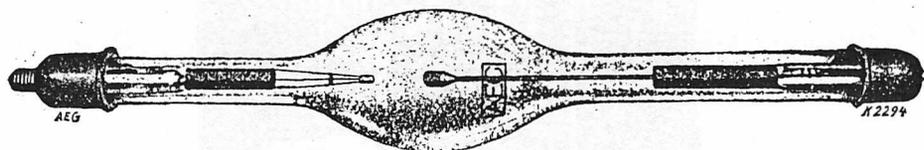
Rippenkühlröhre



Wasserkühlröhre

**Bild 3.34**  
 Röntgenröhren vom Coolidge-Typ für Diagnostikzwecke [61]

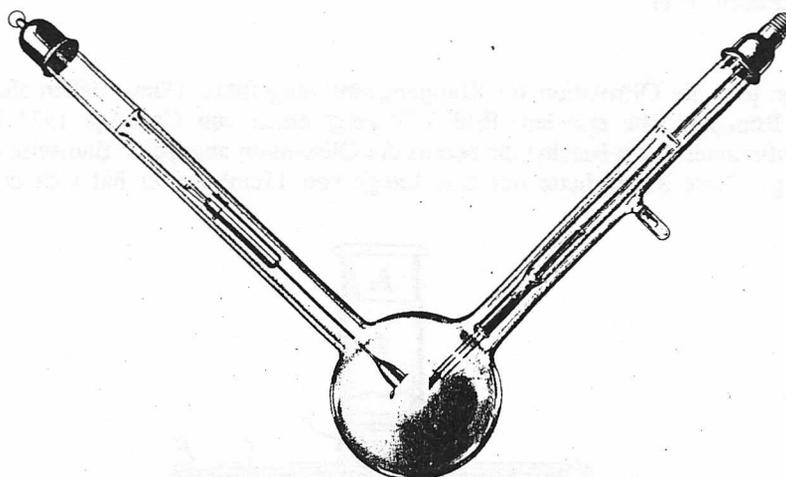
Eine Coolidge-Röhre für Therapie zeigt das Bild 3.35. Die Röhrenleistung von über 1kW bei 230kV Spannung läßt die Anode der Röhre beim Betrieb weißglühend werden; es wird reine Strahlungskühlung angewendet, d.h. die Wärme wird ausschließlich durch Wärmestrahlung abgeführt.



**Bild 3.35**

"Hochleistungs-Röntgenröhre" für Tiefentherapie, Fabrikat AEG [62]

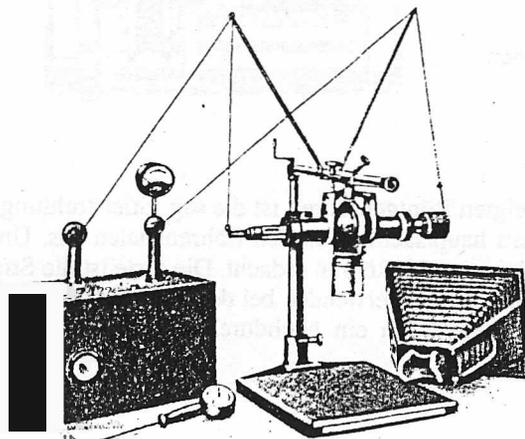
Eine Therapieröhre besonderer Bauart zeigt das Bild 3.36. Hier sind die gläsernen Anschlußrohre V-förmig abgewinkelt, damit die Strahlenquelle möglichst nah an den Patienten herangeführt werden kann.



**Bild 3.36**

"Siemens-Glühkathodenröhre für Bestrahlungskästen" 1922 [63]

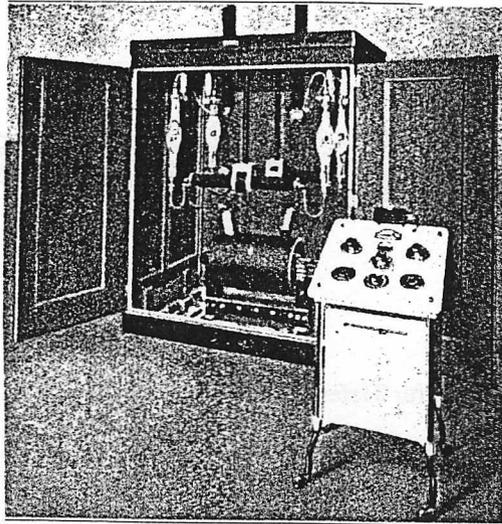
Das typische Röntengerät der Zeit hatte Luftisolation, d.h. die Hochspannung von bis zu einigen hundert kV wurde durch entsprechende Abstände in Luft isoliert. Bild 3.37 zeigt eine „kleine, tragbare Röntgenanlage“.



**Bild 3.37**

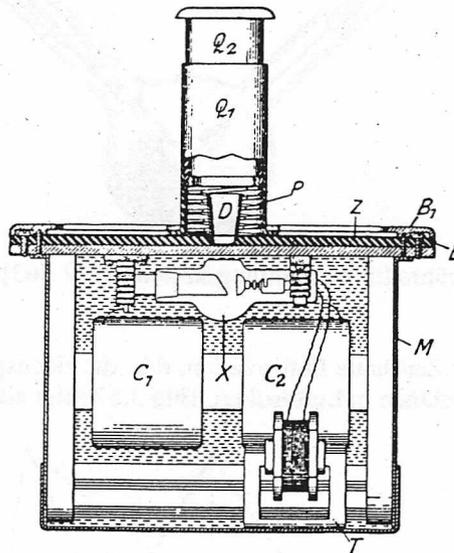
"kleine, tragbare Röntgenanlage" [61]

Im Bild 3.38 ist eine stationäre Röntgenanlage mit Schalttisch zu sehen. Im Schrank sind über dem Hochspannungstransformator vier Hochspannungsgleichrichterröhren zu erkennen, die in Graetz-Schaltung arbeiten.



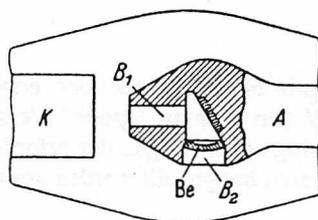
**Bild 3.38**  
"Röntgen-Diagnostikapparat  
im Schrank mit Schalttisch" [61]

Schon 1921 hatte Coolidge [64] die Ölisolation für Röntgeneräte eingeführt. Damit ließen sich wesentlich kleine Abmessungen der Röntgeneräte erzielen. Bild 3.39 zeigt einen von Coolidge 1921 konstruierten Röntgenapparat für Zahnaufnahmen. Man beachte die bereits der Ölisolation angepaßte Bauweise der Röntgenröhre (X in der Zeichnung). Diese Röhre hatte nur eine Länge von 11cm! Später hat sich die Ölisolation vollständig durchgesetzt.



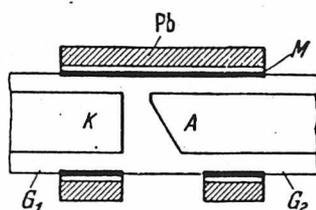
**Bild 3.39**  
Röntgenerät für Zahnaufnahmen  
von Coolidge 1921 [64]

Ein besonderes Problem bei den gezeigten Röntgenröhren ist die sog. Stielstrahlung. Sie wird durch Streu- und Sekundärelektronen ausgelöst und tritt hauptsächlich an den Röhrenstielen aus. Um diese Sekundärelektronen zu vermeiden, wurden neue Konstruktionen der Röhren erdacht. Die erste ist die Strahlenschutzröhre nach Bild 3.40. Hier wird eine besonders geformte Anode verwendet, bei der der Brennfleck im Inneren des Kupferblocks liegt. Die Röntgenstrahlung tritt seitlich durch ein hochdurchlässiges Fenster aus Beryllium aus, das die Sekundärelektronen zurückhält.

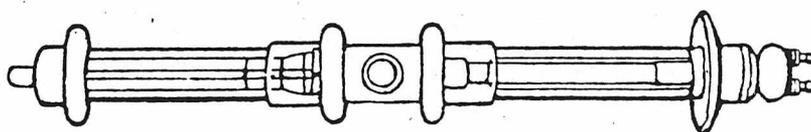


**Bild 3.40**  
Elektrodenanordnung  
der Strahlenschutzröhre [65]

Bild 3.41 zeigt die 1924 [68J von der Fa. Philips eingeführte Metalix-Röhre. In den mittleren Teil der Glasröhre ist ein Metallrohr eingefügt, das die Sekundärelektronen aufnimmt und z.B. gegen Erde ableiten läßt. Ein äußerer Bleimantel fängt gleichzeitig die Röntgenstreustrahlung auf.



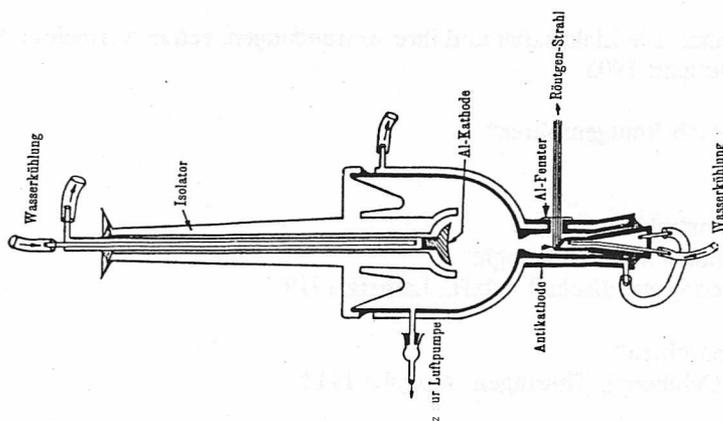
Anordnung der Elektroden



äußere Form (für Wasserkühlung)

**Bild 3.41**  
Metalix-Röhre der Fa. Philips 1924 [66]

Für Röntgenstrukturanalysen in der Materialkunde hat sich die Ionenröhre länger gehalten. Insbesondere Siegbahn hat an der Universität in Lund (Schweden) eingehende Untersuchungen dazu angestellt. Sein Mitarbeiter Hadding hat 1920 eine besonders geeignete Röhrenform dafür entwickelt. Diese Röhre hatte einen wassergekühlten Metallkolben und die Hochspannungsisolation wurde durch einen Porzellanisolator sichergestellt. Das Bild 3.42 zeigt diese Röhre. Die Antikathode (Anode) war auswechselbar und die Röhre war dauernd mit der Vakuumpumpe verbunden.



**Bild 3.42**  
Ionenröhre nach Siegbahn und Hadding zur Strukturanalyse 1920 [67]  
Die Röhre hatte einen Metallkolben und war dauernd mit der Vakuumpumpe verbunden.

### 3.3 Senderöhren

Wie im Abschnitt 2.5 bereits beschrieben, gab es zum Ende des ersten Weltkrieges strahlungsgekühlte Senderöhren mit Leistungen bis zu ca. 2,5kW (im Prinzip "große" Verstärkeröhren), ja, es wurden sogar schon wassergekühlte Röhren gebaut, die allerdings noch wegen der erforderlichen großflächigen Metall-Glas-Verschmelzung schwierig und nur zu hohen Kosten hergestellt werden konnten.

#### Strahlungsgekühlte Senderöhren

#### Quellennachweis:

- [1] Hanns Günther, Dr. Franz Fuchs: Der praktische Radio-Amateur  
Franck'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1923
- [2] Elektronenröhren, Grundlagen, Bauformen, Anwendungen  
Valvo GmbH, Hamburg 1959
- [3] Prof. Dr. L. Graetz: Die Elektrizität und ihre Anwendungen, zehnte vermehrte Auflage  
1. Engelhorn, Stuttgart 1903
- [4] Katalog "Gundelach-Röntgenröhren"  
ca. [914
- [5] E. Marx: Röntgenstrahlen  
in: E. Marx: Handbuch der Radiologie  
Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H., Leipzig 1919
- [6] Katalog "Röntgenröhren"  
Fa. Gundelach, Gehlberg i. Thüringen, Ausgabe 1911
- [7] Gerald F.J.Tyne: Saga of the Vacuum Tube, 2nd Printing  
Howard W. Sams & CO., Indianapolis 1987

- [8] Bild entnommen aus: Albert Kloss: Auf den Spuren der Leistungselektronik  
VDE-Verlag, Berlin und Offenburg 1990
- [9] Arthur Wehnelt: "Eine elektrische Ventilröhre"  
Annalen der Physik 19, 1906
- [10] I. Zenneck, H. Rukop: Drahtlose Telegraphie, Fünfte Auflage  
Ferdinand Enke, Stuttgart 1925
- [11] Peter Cooper Hewitt: Gleichrichter für Wechselstrom  
Deutsche Patentschrift Nr. 157642 aus dem Jahre 1902
- [12] Alfred Holz Hrsg.: Die Schule des Elektrotechnikers Bd. 11.2. Auflage  
Moritz Schäfer, Leipzig ca. 1912
- [13] P. Villard: Transformateur à haute voltage à survolteur cathodique  
Journal de Physique 1901
- [14] Alfred Holz Hrsg.: Die Schule des Elektrotechnikers, Band IV, 2. Auflage  
Moritz Schäfer, Leipzig ca. 1912
- [15] Joseph John Thomson: Philosophical Magazine Bd. 44 (1897), S.293
- [16] Ferdinand Braun: Über ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen  
Verlaufes variabler Ströme. Wiedemanns Annalen der Physik Bd.60 (1897) S. 552
- [17] Jonathan Zenneck: Eine Methode zur Demonstration und Photographie von Stromkurven.  
Wiedemanns Annalen der Physik Bd. 69 (1899) S. 838
- [18] Arthur Wehnelt: Empfindlichkeitssteigerung der Braun'schen Röhre durch Benutzung von  
Kathodenstrahlen geringer Geschwindigkeit.. Physikalische Zeitung Bd. 6 (1905) S. 732
- [19] Karl Eichhorn: Heinrich Geissler: Leben und Werk eines Pioniers der Vakuumtechnik.  
Schriftenreihe Deutsches Röntgen-Museum Nr.6, März 1984
- [20] Emil Gundelach: Katalog Ausgabe Jan. 1909 Nr. 68 : Physik
- [21] Bernard Magers: "75 Years of Western Electric Tube Manufacturing" 2nd Edition  
Antique Electronic Supply, Tempe, AZ. 1994
- [22] wie [3], S. 579
- [23] S.G. Brown: A Telephone Relay, Electrician 65, S. 139, 1910 und  
Neues Telephonrelais, ETZ 31, S. 612, 1910
- [24] R. v. Lieben: Kathodenstrahlrelais, Deutsches Reichspatent Nr. 179807, erteilt 19.11.1906  
angemeldet 4.3.1906
- [25] Robert v. Lieben, Eugen Reisz und Siegrund Strauss: Relais für undulierende Ströme  
DRP 249149, angemeldet 20.12.1910, erteilt 12.07.1912
- [26] Festschrift: 75 Jahre TeKaDe
- [27] Ernst Ruhmer: Das Selen  
Verlag der Administration der Zeitschrift: "Der Mechaniker", Berlin 1902
- [28] H. Dember: Empfindlichkeitsänderung lichtelektrischer Zellen  
Physikalische Zeitschrift 9, S. 188-190, 1908
- [29] Wilhelm Hallwachs: Die Lichtelektrizität

- in: E. Marx Hrsg. Handbuch der Radiologie, Band III,  
Akademische Verlagsgesellschaft GmbH, Leipzig 1916
- [30] I. Zenneck: Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie, 2. Auflage  
Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart 1913
- [31] E. Branly, Comptes Rendus, Bd. 111, S.785, 1890  
zitiert in I.A. Fleming: Elektrische Wellen-Telegraphie, Deutsch von E. Aschkinass  
B.G. Teubner, Leipzig und Berlin 1906
- [32] E. Rutherford und H. Geiger: An electrical method of counting the number of  $\alpha$ -particles from  
radioactive substances  
Proceedings of the Royal Society of London A81, 141, 1908
- [33] E. Fünfer, H. Neuert: Zählrohre und Szintillationszähler  
G. Braun, Karlsruhe 1954
- [34] L. Graetz: Die Elektrizität, 21. Auflage  
I. Engelhorn's Nachf., Stuttgart 1922
- [35] Ludwig Kühn: Technische Entwicklung der Röhrensender  
Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie Band 14, Heft 4 1919
- [36] R. Pohl, P. Pringsheim: Die lichtelektrischen Erscheinungen  
Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1914
- [37] I. Elster, H. Geitel: Notiz über eine neue Form der Apparate zur Demonstration der  
lichtelektrischen Entladung durch ultraviolettes Licht.  
Wiedemanns Annalen der Physik:42, S. 564, 1891
- [38] H. Busch, Phys. Zeitschrift 21, S. 632, 1920
- [39] Zitiert in Karl Becker und Fritz Ebert: Metallröntgenröhren  
Vieweg & Sohn, Braunschweig 1925
- [40] W. Gaede: Die Molekularluftpumpe  
Annalen der Physik:6, Bd. 41, S. 337-380, 1913
- [41] H. Rein, K. Wirtz: Radiotelegraphisches Praktikum, 3. Auflage  
I. Springer, Berlin 1922
- [42] H. Rothe, W. Kleen: Grundlagen und Kennlinien der Elektronenröhren, 3. Auflage  
Akad. Verlagsgesellschaft Geest & Portig KG. Leipzig 1951
- [43] R. Jaeger: Über Kennlinienmessungen von Elektronenröhren  
Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie 14, Heft 4, 1919, S. 361-385
- [44] E. Nesper: Der Radioamateur "Broadcasting"  
Julius Springer, Berlin 1923
- [45] E. Niemann: Funkentelegraphie für Flugzeuge  
Richard Carl Schmidt & Co, Berlin 1921
- [46] Dr. I. Rosenthal: Ueber eine neue regulierbare Röntgenröhre, die Voltohm-Röhre  
Vortrag, gehalten auf dem 11 Kongress für Elektrotechnik und Radiologie zu Bern  
Elektrotechnischer Anzeiger Nr. 80, 1902, S. 2436f.
- [47] J.W. Stokes: 70 Years of Radio Tubes and Valves  
Vestal Press Ltd, New York 1982
- [48] Der Kampf um die Radio-Röhre. Streitschrift, herausgegeben von den Herstellern der

Ultra-, Delta-, Hova- und Niggl-Röhren, 1927

- [49] Otto v. Bronk: Telefunken's Patentbesitz, in: 25 Jahre Telefunken, Jubiläumsschrift der Fa. Telefunken, 1927
- [50] W. Espe, M. Knoll: Werkstoffe der Hochvakuumtechnik  
Julius Springer, Berlin 1936
- [51] 40 Jahre Valvo, Sonderdruck der Zeitschrift „Wir bei Philips“ 1964
- [52] Anzeige in: Eugen Nesper: Der Radioamateur, 4. Auflage  
Springer Verlag, Berlin 1924
- [53] H. Wigge: Rundfunktechnisches Handbuch, neue Ausgabe  
M. Krayn, Berlin 1930
- [54] ohne Verfasserangabe: Siemens-Verstärkerröhren, logbuchartige Beschreibung der Siemens-Röhrenaktivitäten, Erscheinungsdatum unbekannt (ab. ca. 1970)
- [55] B. Pohlmann, A. Gehrts: Die Verstärkerrohre der Fernmeldetechnik  
Siemens-Zeitschrift 5./6. Heft, 1922, S. 282-290
- [56] H. Rukop: Technische Anwendung der Glühelektroden, in: Marx: Handbuch der Radiologie  
2. Auflage, 4. Band, 3. Teil, AVG, Leipzig 1927
- [57] Anzeige in: Wireless World and Radio, November 1923
- [58] A. Meißner: Über Röhrensender  
ETZ 40 Heft 71919, S. 65-68 und Forts.
- [59] P.J. Prisdon: Wireless, second edition  
Ward, Lock & Co. Ud., London and Melbourne, ca. 1925
- [60] Funk- Bastler 1926, Heft 39 S. 479 „Kritisches Laboratorium“: Regenerierte Röhren der Grobag
- [61] C. Hanfland: Die neuzeitliche Elektrotechnik  
Verlag der Literaturwerke "Minerva", Leipzig 1928
- [62] K. Norden: Die Technik glas-elektrischer Vakuumapparate  
ETZ 1926, Heft 8 vom 25.2.1926, S. 212-217
- [63] K. Lasser, F. Janus: Die neue Röntgenanlage der Universitätsklinik Würzburg  
Siemens-Zeitschrift 1922, Heft 5/6, S. 291-300
- [64] General Electric Review Bd. 28. S. 182, zitiert in ETZ 1927, Heft 34, 25.8.1927
- [65] A. Wölfel : Fortschritte im Röntgenröhrenbau  
ETZ 60, Heft 23 (1939), S. 687-691
- [66] K. Bauer: ABC der Röntgentechnik, 2. Auflage  
Georg Thieme Verlag, Leipzig 1943
- [67] K. Becker, F. Ebert: Metallröntgenröhren  
Sammlung Vieweg, Braunschweig 1925
- [68] Philips Honderd, Jubiläumsschrift der Philips-Werke  
Eindhoven, Mai 1991
- [69] Kaye Weedon: Av elektronroerenes historie, in  
Norsk Teknisk Museum, Volund 1980, Oslo 1980
- [70] H. Rein: Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie

Springer Verlag, Berlin 1917

1917

1916

1915

1914

1913

1912

1911

1910

1909

1908

1907

1906

1905

1904

1903

1902

1901

1900

1899

1898

1897

1896

1895

1894

1893

1892

1891

1890

1889

1888

1887

1886

1885

1884

1883

1882

1881

1880

1879

1878

1877

1876

1875

1874

1873

1872

1871

1870

1869

1868

1867

1866

1865

1864

1863

1862

1861

1860

1859

1858

1857

1856

1855

1854

1853

1852

1851

1850

1849

1848

1847

1846

1845

1844

1843

1842

1841

1840

1839

1838

1837

1836

1835

1834

1833

1832

1831

1830

1829

1828

1827

1826

1825

1824

1823

1822

1821

1820

1819

1818

1817

1816

1815

1814

1813

1812

1811

1810

1809

1808

1807

1806

1805

1804

1803

1802

1801

1800

1799

1798

1797

1796

1795

1794

1793

1792

1791

1790

1789

1788

1787

1786

1785

1784

1783

1782

1781

1780

1779

1778

1777

1776

1775

1774

1773

1772

1771

1770

1769

1768

1767

1766

1765

1764

1763

1762

1761

1760

1759

1758

1757

1756

1755

1754

1753

1752

1751

1750

1749

1748

1747

1746

1745

1744

1743

1742

1741

1740

1739

1738

1737

1736

1735

1734

1733

1732

1731

1730

1729

1728

1727

1726

1725

1724

1723

1722

1721

1720

1719

1718

1717

1716

1715

1714

1713

1712

1711

1710

1709

1708

1707

1706

1705

1704

1703

1702

1701

1700

1699

1698

1697

1696

1695

1694

1693

1692

1691

1690

1689

1688

1687

1686

1685

1684

1683

1682

1681

1680

1679

1678

1677

1676

1675

1674

1673

1672

1671

1670

1669

1668

1667

1666

1665

1664

1663

1662

1661

1660

1659

1658

1657

1656

1655

1654

1653

1652

1651

1650

1649

1648

1647

1646

1645

1644

1643

1642

1641

1640

1639

1638

1637

1636

1635

1634

1633

1632

1631

1630

1629

1628

1627

1626

1625

1624

1623

1622

1621

1620

1619

1618

1617

1616

1615

1614

1613

1612

1611

1610

1609

1608

1607

1606

1605

1604

1603

1602

1601

1600

1599

1598

1597

1596

1595

1594

1593

1592

1591

1590

1589

1588

1587

1586

1585

1584

1583

1582

1581

1580

1579

1578

1577

1576

1575

1574

1573

1572

1571

1570

1569

1568

1567

1566

1565

1564

1563

1562

1561

1560

1559

1558

1557

1556

1555

1554

1553

1552

1551

1550

1549

1548

1547

1546

1545

1544

1543

1542

1541

1540

1539

1538

1537

1536

1535

1534

1533

1532

1531

1530

1529

1528

1527

1526

1525

1524

1523

1522

1521

1520

1519

1518

1517

1516

1515

1514

1513

1512

1511

1510

1509

1508

1507

1506

1505

1504

1503

1502

1501

1500

1499

1498

1497

1496

1495

1494

1493

1492

1491

1490

1489

1488

1487

1486

1485

1484

1483

1482

1481

1480

1479

1478

1477

1476

1475

1474

1473

1472

1471

1470

1469

1468

1467

1466

1465

1464

1463

1462

1461

1460

1459

1458

1457

1456

1455

1454

1453

1452

1451

1450

1449

1448

1447

1446

1445

1444

1443

1442

1441

1440

1439

1438

1437

1436

1435

1434

1433

1432

1431

1430

1429

1428

1427

1426

1425

1424

1423

1422

1421

1420

1419

1418

1417

1416

1415

1414

1413

1412

1411

1410

1409

1408

1407

1406

1405

1404

1403

1402

1401

1400

1399

1398

1397

1396

1395

1394

1393

1392

1391

1390

1389

1388

1387

1386

1385

1384

1383

1382

1381

1380

1379

1378

1377

1376

1375

1374

1373

1372

1371

1370

1369

1368

1367

1366

1365

1364

1363

1362

1361

1360

1359

1358

1357

1356

1355

1354

1353

1352

1351

1350

1349

1348

1347

1346

1345

1344

1343

1342

1341

1340

1339

1338

1337

1336

1335

1334

1333

1332

1331

1330

1329

1328

1327

1326

1325

1324

1323

1322

1321

1320

1319

1318

1317

1316

1315

1314

1313

1312

1311

1310

1309

1308

1307

1306

1305

1304

1303

1302

1301

1300

1299

1298

1297

1296

1295

1294

1293

1292

1291

1290

1289

1288

1287

1286

1285

1284

1283

1282

1281

1280

1279

1278

1277

1276

1275

1274

1273

1272

1271

1270

1269

1268

1267

1266

1265

1264

1263

1262

1261

1260

1259

1258

1257

1256

1255

1254

1253

1252

1251

1250

1249

1248

1247

1246

1245

1244

1243

1242

1241

1240

1239

1238

1237

1236

1235

1234

1233

1232

1231

1230

1229

1228

1227

1226

1225

1224

1223

1222

1221

1220

1219

1218

1217

1216

1215

1214

1213

1212

1211

1210

1209

1208

1207

1206

1205

1204

1203

1202

1201

1200

1199

1198

1197

1196

1195

1194

1193

1192

1191

1190

1189

1188

1187

1186

1185

1184

1183

1182

1181

1180

1179

1178

1177

1176

1175

1174

1173

1172

1171

1170

1169

1168

1167

1166

1165

1164

1163

1162

1161

1160

1159

1158

1157

1156

1155

1154

1153

1152

1151