

Die Entwicklung der Siemens-Fernsprechröhre

Von C. Nebel

Mitteilung aus dem Siemens-Röhren-Werk der Siemens & Halske AG und der Siemens-Schuckertwerke AG

Die Röhren, die heute in den Verstärkern der Fernsprechtechnik verwendet werden, nehmen unter den Erzeugnissen der Hochvakuumindustrie eine besondere Stellung ein. Aus den ersten für Postverstärker benutzten Röhren hat sich wegen der eigentümlichen Anforderungen, die der Fernsprechtbetrieb stellt, ein Typ entwickelt, der sich deutlich z. B. von dem für den Rundfunk verwendeten unterscheidet. Die Rundfunkröhre soll bei einem möglichst geringen Aufwand an elektrischer Energie in dem Empfangsgerät eine möglichst hohe Verstärkungsziffer aufweisen. Ihre Entwicklung hat daher über die Sparröhre zu den indirekt geheizten Röhren sehr hoher Steilheit geführt; durch die Einführung von Hilfsgittern wurde ihre Güte weiter gesteigert. Die Fernsprechröhre dagegen hat ganz andere Aufgaben zu erfüllen. Der Verstärker in einer Fernsprechleitung soll die ankommenden Spannungen nur so weit verstärken, daß gerade die Verluste der Leitung ausgeglichen sind. An einer Erhöhung der so festgelegten Verstärkungsziffer besteht kein Interesse, solange die Eigenschaften der Leitung nicht geändert werden.

Die Entwicklung der Röhre für Postverstärker hat sich daher in ganz anderer Richtung vollzogen als die der Rundfunkröhren. Die Aufgabe der Fernsprechverstärkertechnik bestand darin, das Fernsprechnetzt mit Hilfe von Verstärkern so auszugestalten, daß zwischen zwei beliebigen Orten jederzeit eine klare Verständigung möglich ist. Es war deshalb nicht allein die Forderung zu erfüllen, daß auf sehr langen Strecken sehr viele Verstärker einwandfrei miteinander arbeiten können, sondern es mußte auch ohne weiteres möglich sein, ein Leitungsstück zwischen zwei Knotenpunkten abzutrennen und für ein neues Gespräch in einen anderen Leitungszug einzuschalten. Bei derartigen Anforderungen kann eine einwandfreie Verständigung für jedes Gespräch nur dann gewährleistet werden, wenn in jedem einzelnen Knotenabschnitt die Verstärkung möglichst genau auf die Dämpfung der Leitung abgestimmt ist, so genau, daß auch bei der längsten Fernsprechverbindung das Zusammenwirken sämtlicher zufälligen oder nicht zu umgehenden Abweichungen die Verständigung noch nicht beeinflußt. Aus diesem Grunde steht bei der ganzen Entwicklung der Fernsprechsysteme die Frage der Gleichmäßigkeit stets im Vordergrund. Es

braucht nur z. B. auf die gewaltigen Fortschritte hingewiesen zu werden, die in der Herstellung der Fernsprechkabel in dieser Hinsicht erreicht worden sind. Aber auch die Herstellung der einzelnen Schaltelemente, wie z. B. der Spulen und Übertrager, steht auch heute noch ganz unter diesem Einfluß.

Besondere Rücksicht hatte die Verstärkerentwicklung aus diesem Grunde auf die Röhren zu nehmen; denn hier war nicht nur zu beachten, daß keine Röhre der anderen völlig gleicht, sondern auch, daß infolge der Veränderlichkeit der Energiequellen oder der Röhreneigenschaften zusätzliche Schwankungen auftreten können. Aus diesen Gründen mußte die Frage der Gleichmäßigkeit gerade für die Fernsprechröhre von größter Bedeutung werden.

Beim Verfolgen dieser Entwicklung sieht man daher, daß alle Konstruktionen durch einen auffallend schweren und massiven Aufbau gekennzeichnet sind, da eben die genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Eigenschaften unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet werden muß. Auch für alle Verbesserungen, die sich im Laufe der Zeit ergeben haben, war ausschließlich dieser Gesichtspunkt maßgebend.

Besonders schwer war es, die Kathode den Bedürfnissen des Fernsprechtbetriebes anzupassen. Da sie im Betrieb stets mit sehr hoher Temperatur brennt, verändert sich langsam aber stetig ihre innere Struktur, bis die Röhre schließlich unbrauchbar wird. Jedes Auswechseln einer Röhre birgt aber die Gefahr in sich, daß sich die Verstärkereigenschaften ändern, sei es, daß die Verstärkungsziffer der zu ersetzenden Röhre immer mehr absank, sei es, daß die Ersatzröhre mit der ersetzten nicht genau übereinstimmt. Beide Erscheinungen machen den Betrieb um so unregelmäßiger, je öfter sie auftreten, ganz abgesehen davon, daß jeder Ausfall einer Röhre die Gefahr einer Gesprächsunterbrechung mit sich bringt. Aus diesem Grunde mußte die Fernsprechtechnik für ihre Röhren fordern, daß sie eine möglichst lange Lebensdauer aufweisen und daß sie sich innerhalb dieser Brennzeit nicht wesentlich verändern.

Während der allmähliche Abbau des Fadens bei den Wolframkathoden keine allzu großen Schwierigkeiten bot, zeigte es sich, daß bei den Oxydkathoden die Emissionsbedingungen oft sehr stark schwanken. Dadurch entstanden für die Fertigung der Oxyd-

kathodenröhren Schwierigkeiten, die erst nach jahrelanger Arbeit völlig beseitigt werden konnten. Erst die neueste Entwicklung hat zu einer Kathode geführt, bei der die theoretisch zu erwartenden Vorteile der Oxydkathode zur Wirklichkeit geworden sind.

Die Entwicklung während der Kriegszeit 1914...1918.

Die ersten deutschen Hochvakuumröhren sind kurz vor Beginn des Krieges entstanden, und es ist interessant, zu verfolgen, wie die besonderen An-

forderungen der Kriegszeit sich auf diese Entwicklung ausgewirkt haben. Die Entwicklung der Hochvakuumröhren war bei Siemens & Halske ursprünglich für das Anwendungsgebiet der Fernsprechtechnik in Angriff genommen worden. Dieses Gebiet trat jedoch bald immer mehr in den Hintergrund vor militärischen Aufgaben, die durch Einzelverstärker gelöst werden mußten, Aufgaben, die um so dringender waren, als unsere damaligen Gegner von dem neuen Hilfsmittel schon vorher ausgiebig Gebrauch gemacht hatten. Damals erhielten Siemens & Halske den Auftrag, Geräte zum Abhören feindlicher Gespräche über die Erde zu entwickeln. Für solche Geräte sind im Herbst 1916 die ersten A-Röhren geliefert worden (Bild 1).



a Die älteste Ausführung mit Spiralgitter und Telleranode (1916).

b Die Vorstufe des Stanzgitters. Gitterdrähte mäanderförmig auf den Glasträgern befestigt; Kathode nicht mehr halbkreisförmig angeordnet (1916).

c Die fabrikmäßige Ausführung mit Stanzgitter (1917).

d Spätere Ausführung mit einer Einschmelzung und mit Steckersockel (1918).

Bild 1. Die A-Röhre.

$$i_n = 0,52 \text{ A, } D = 7\%, R_1 = 120000 \Omega.$$

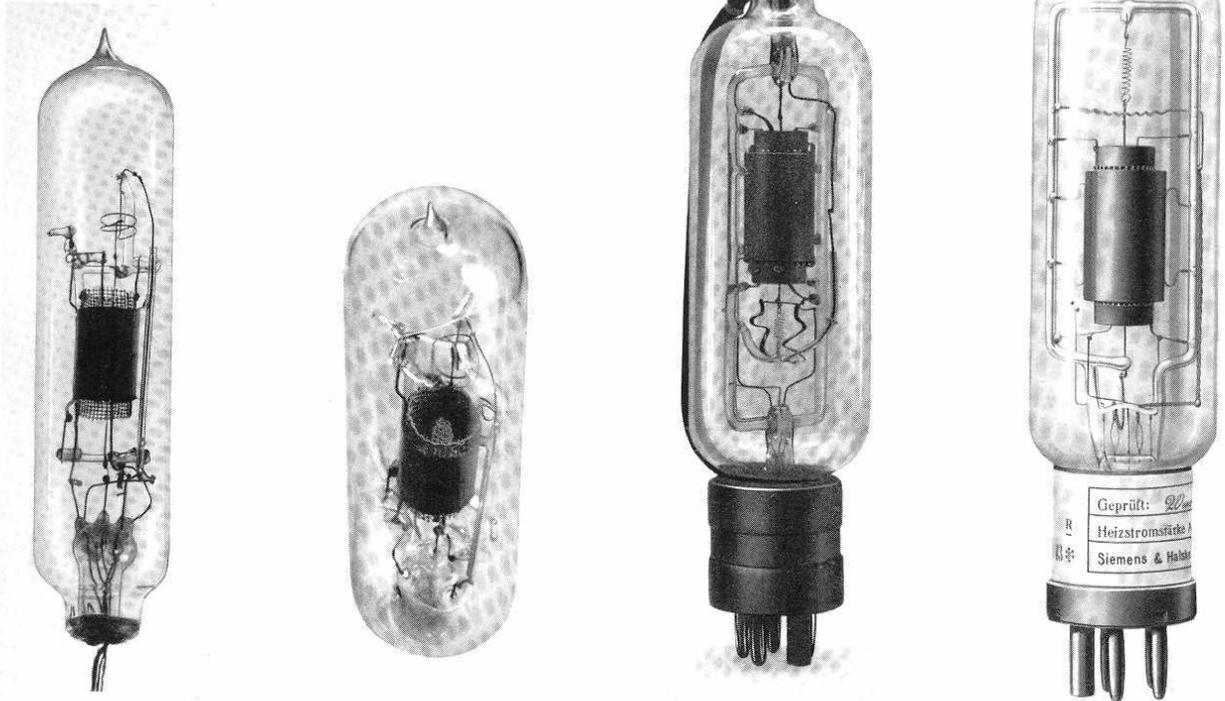
forderungen der Kriegszeit sich auf diese Entwicklung ausgewirkt haben. Die Entwicklung der Hochvakuumröhren war bei Siemens & Halske ursprünglich für das Anwendungsgebiet der Fernsprechtechnik in Angriff genommen worden. Dieses Gebiet trat jedoch bald immer mehr in den Hintergrund vor militärischen Aufgaben, die durch Einzelverstärker gelöst werden mußten, Aufgaben, die um so dringender waren, als unsere damaligen Gegner von dem neuen Hilfsmittel schon vorher ausgiebig Gebrauch gemacht hatten. Damals erhielten Siemens & Halske den Auftrag, Geräte zum Abhören feindlicher Gespräche über die Erde zu entwickeln. Für solche Geräte sind im Herbst 1916 die ersten A-Röhren geliefert worden (Bild 1).

Die Konstruktion dieser Röhren lehnt sich noch sehr an die amerikanische de Forest-Röhre an. Ihr Telleraufbau besteht aus der ebenen Anode, aus der

sie nimmt bereits Rücksicht auf die Bedingungen, die erfüllt sein müssen, wenn der Durchgriff konstant sein soll. Die Abmessungen des Gitters können jetzt genau eingehalten werden, und auch die Gleichmäßigkeit des Anodenabstandes wird durch die Verwendung entsprechender Lehren bei der Fertigung sichergestellt. Auch der Kathodenfaden ist nicht mehr, wie in der Glühlampentechnik üblich, halbkreisförmig eingesetzt, sondern möglichst lang an dem Gitter entlang geführt. Diese Ausführung hat dann allen Anforderungen, die während des Krieges gestellt worden sind, genügt. Die Firma Siemens & Halske AG hat in dieser Ausführung insgesamt mehr als 50000 Röhren angefertigt. Welche Anforderungen in elektrischer Hinsicht an die Röhren zu stellen sind, war damals noch sehr unklar. Gemessen wurde nur die Verstärkungsziffer; d. h. es wurde in einer normalen Transformatorschaltung das Verhält-

nis der Eingangs- zur Ausgangsspannung geprüft. Trotzdem waren die Anforderungen, die in den Verstärkern an die Röhren gestellt wurden, schon sehr scharf; denn die Anordnung, in der die Röhren betrieben wurden — vierfache Niederfrequenzverstärkung — forderte schon eine außerordentlich hohe Geräuschfreiheit der Röhren; wenn das unfreiwillige Pfeifen derartiger Verstärker vermieden werden sollte, waren außerdem hohe Anforderungen an die Güte des Vakuums zu stellen. Eine fabrikmäßige Überwachung des Vakuums durch die Gitterströme fand indessen noch nicht statt, obwohl das heute allgemein übliche Verfahren (Beobachtung des durch

Empfänger mit eigenen Batterien ausgerüstet. Die Möglichkeit, die sowohl die Raumlade- als auch die Schutznetzröhre bot, bei Bruchteilen der bisher erforderlichen Anodenspannungen noch größere Verstärkungsziffern zu erzielen, entsprach ganz den damaligen Ansprüchen. Welche Bedeutung man der Entwicklung der Doppelgitter damals beimaß, kann man am besten vielleicht aus einer Zahlenangabe



a und b
 Ältestes Muster (1916) einer deutschen Raumlade-Röhre. Die Gitter sind aus Metallnetzen angefertigt. Das Raumladegitter hat einen kleinen Durchmesser (4 mm), während das Steuergitter sehr nahe an der Anode angeordnet ist.

c
 Spätere fabrikmäßige Ausführung (1919) mit doppelter Einschmelzung.

d
 Letzte Ausführung (ab 1920); es werden für die Ausübung der Zugkraft und für die Stromzuführung gesonderte Elemente benutzt.

Bild 2. Die Raumladeröhre.

$$i_n = 2,1 \text{ A, } D = 4\%, \text{ } R_i = 6000 \Omega.$$

positive Ionen getragenen Gitterstromes) schon bald bekannt wurde (siehe Rukop: Röhrenentwicklung, in „25 Jahre Telefunken“).

In jene allerersten Jahre der deutschen Röhrentechnik fällt auch die Entwicklung der Doppelgitterröhren. 1915 wurden das Raumladeprinzip und 1916 das Schutznetzprinzip von Schottky angegeben¹⁾. Beide Röhrentypen mußten sich gerade für die besonderen Anforderungen, die an die Kriegsgeräte gestellt wurden, besonders gut eignen. Ähnlich wie bei der späteren Rundfunkentwicklung handelte es sich bei diesen Kriegsgeräten darum, mit möglichst geringen elektrischen Energien möglichst hohe Verstärkungen zu erzielen; denn die Geräte waren alle als tragbare

über die entwickelten Ein- und Mehrgitterröhren erkennen: In der Zeit von 1916... 1918 wurden in den Laboratorien von Siemens & Halske mehr als 100 Doppelgitterröhrentypen entwickelt, denen nur etwa 15... 20 Eingitterröhrentypen gegenüberstehen.

Die erste deutsche reihenmäßig hergestellte Raumladeröhre (Bild 2) ist die R-Röhre von Siemens & Halske. Sie ist allerdings nicht mit Rücksicht auf diese besonderen Anforderungen entstanden; vielmehr handelte es sich darum, für die Telegrafie eine Röhre zu finden, mit der ein Relais gesteuert werden konnte. Bei der geringen Steilheit der damaligen Röhren waren hierzu in den normalen Schaltungen sehr hohe Steuerspannungen nötig. Dagegen konnte mit Hilfe des Schottky'schen Raumladegitters, das

¹⁾ 31. 5. 1916, DRP. 87745.

zwischen Kathode und Steuergitter angeordnet ist, die Raumladung zum größten Teile aufgehoben und die Richtwirkung der Röhre um ein Vielfaches gesteigert werden. Diese Wolframröhren hatten im steilsten Gebiet der Kennlinie schon eine Steilheit von 3...4 mA/V. (1913 hatte Langmuir in Amerika die gleichen Vorschläge gemacht.) Die Verwendung

konnten, zeigt am besten der Vergleich ihrer elektrischen Daten mit denen der Eingitterröhre. Während eine Eingitterröhre vom Typ der A-Röhre bei einer Anodenspannung von 100 V eine Verstärkungsziffer von 2,6 Np ergibt, kann mit der SS-Röhre (Bild 4) bei nur 30 V Anodenspannung eine Verstärkung bis zu 3,5 Np erzielt werden. Von diesen „Siemens-

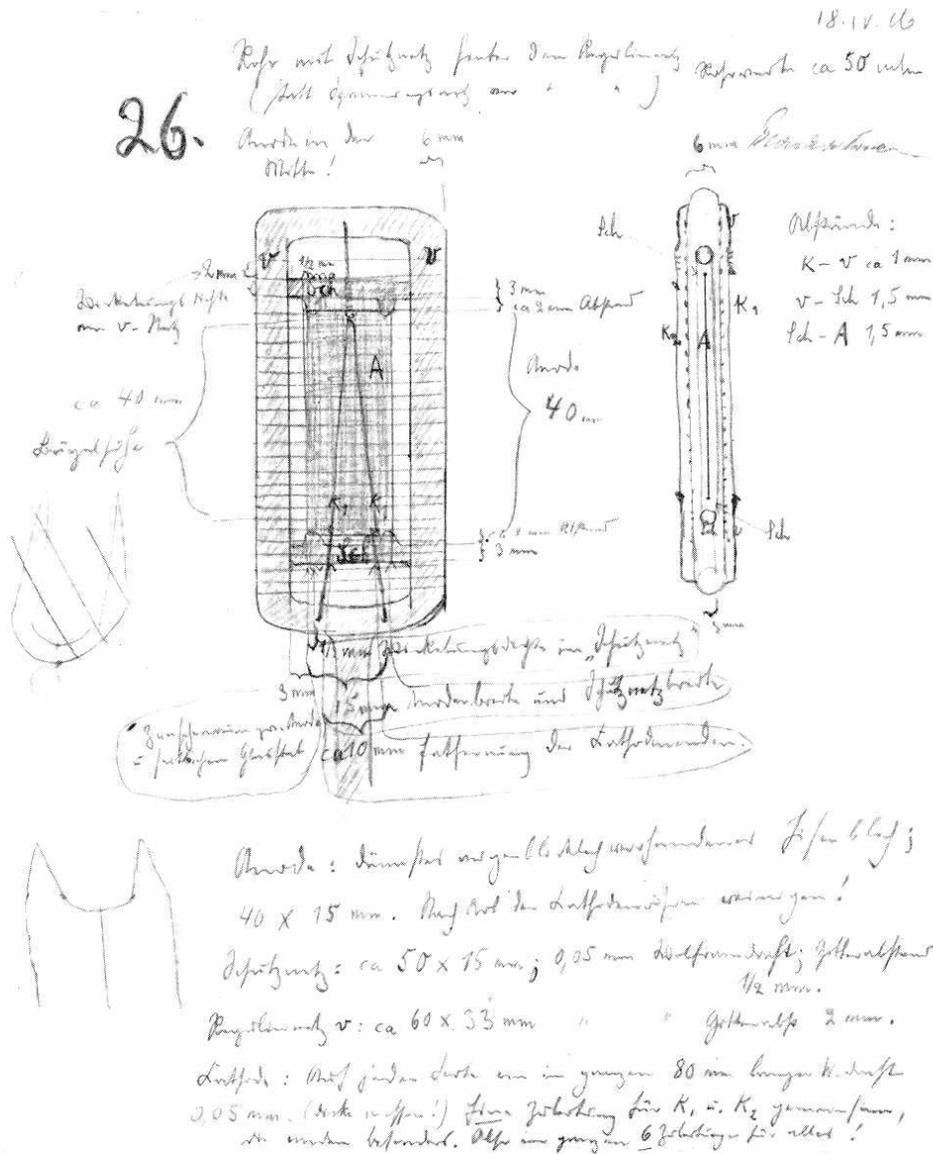


Bild 3. Entwurfskizze der ersten Versuchsausführung einer Schutznetzröhre aus dem Jahre 1916 (W. Schottky).

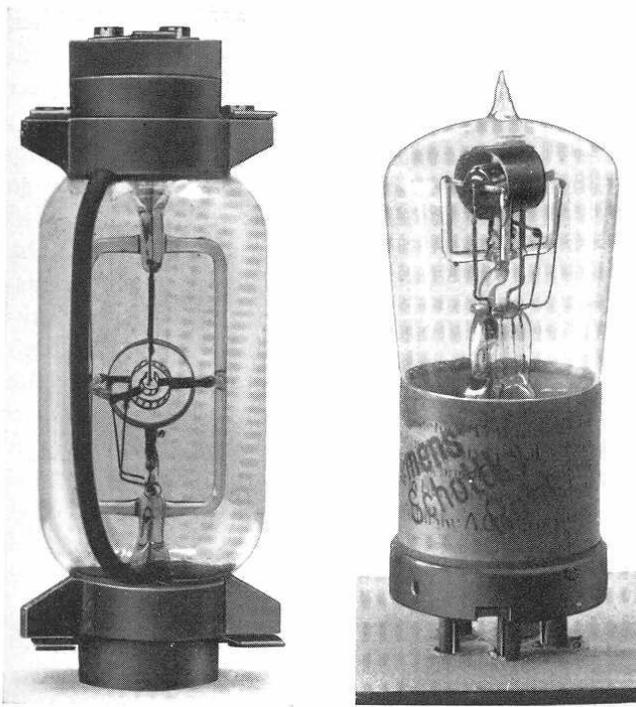
Um eine vollkommene Abschirmung zwischen Anode und Steuergitter zu erreichen, ist die Anode in der Mitte eines ebenen Elektrodensystems angeordnet und wird vom Schutznetz wie von einer flachgedrückten Spule voll-
kommen umgeben. Um dieses ganze System ist in der gleichen Weise auch das Steuergitter gewickelt. Die Elek-
tronen fliegen von zwei außerhalb dieses Aufbaues angebrachten Kathoden von beiden Seiten auf die Anode zu.

solcher Röhren in tragbaren Geräten war zunächst noch nicht vorgesehen.

Dagegen ist die Schutznetzröhre (Bild 3), in der ein Hilfsgitter vor der Anode den Durchgriff der Röhre verkleinert und damit die Verstärkungsziffer entsprechend erhöht, von Anfang an für tragbare Verstärker bestimmt gewesen. Die praktischen Vor-
teile, die mit der Schutznetzröhre erzielt werden

Schottky“-Röhren sind im letzten Kriegsjahr noch größere Stückzahlen für Heereszwecke angefertigt worden.

Von den übrigen Doppelgitterröhren, die im letzten Kriegsjahr gebaut wurden, interessieren wohl am meisten die 63er und 64er Röhre, die schon mit 3 Gittern ausgerüstet waren, d. h. gleichzeitig ein Schutznetz und ein Raumladenetz vorsahen.



a
Älteste Ausführung (Zylinder-Elektroden und doppelte Einschmelzung) Elektroden geschlitzt, um den fertigen Kathodenfuß bei der Montage in das Elektrodensystem einführen zu können.

b
Fabrikationsmäßige Ausführung der SS-Röhre mit Glasstern als Träger des Elektrodensystems.

Bild 4. Die Schutznetzröhre (SS 1918).

spannung und 90 V Raumladespannung. An diesen beiden Typen ist eine besondere Gitterausführung der Siemens-Röhren, das Stanzgitter mit gekanteten Stegen, am meisten bekannt geworden. Diese Gitterkonstruktion wirkt so, als ob das Gitter aus massiven Drähten bestünde, die so dick sind wie die Stege

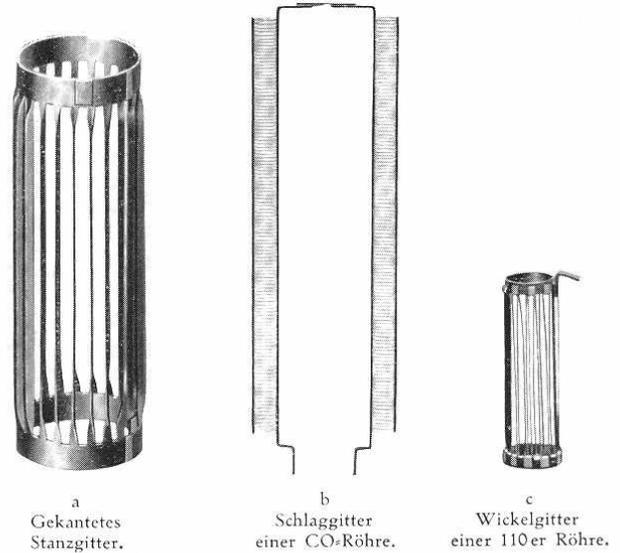
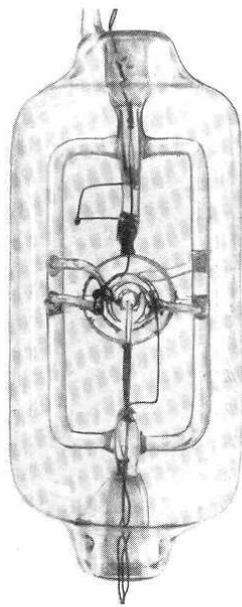


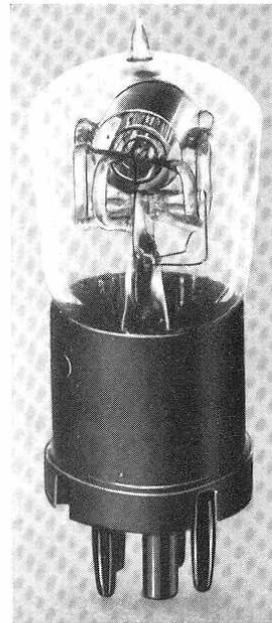
Bild 5. Gitterausführungen.

hoch. Das bedeutet, daß der Durchgriff der Anode leicht sehr klein gemacht werden kann. Ferner ist der Strom, der bei positiven Spannungen über ein solches Gitter fließt, kleiner, weil die gekanteten Stege einen kleineren Raum im elektrischen Feld einnehmen, als ein massives Gitter von gleicher elektrostatischer Wirkung. Dieser Strom spielt z. B. bei allen Raumlade- oder Schutznetzsaltungen eine

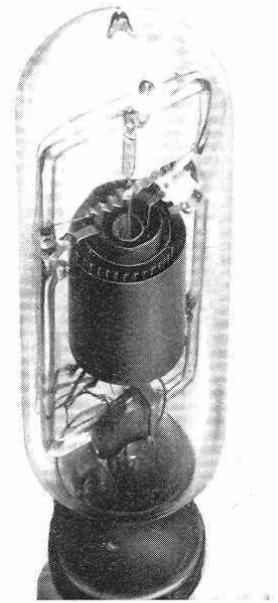
Der Abschluß des Krieges brachte die Entwicklung von Mehrgitterröhren zunächst zum Stillstand, da ein den Kriegsgeräten entsprechendes Anwendungsgebiet nicht vorhanden war. Man versuchte allerdings, so weit wie möglich, die vorhandenen Doppelgittertypen für entsprechende Zwecke der Fernsprechtechnik zu verwenden. So finden wir in den ersten Nachkriegsjahren noch ein reges Interesse für die R-Röhre, die besonders als Richtverstärkerröhre für die neue Mehrfach-Telegrafie Verwendung findet. Kennzeichnend für diesen besonderen Anwendungszweck sind z. B. die verhältnismäßig hohen Elektrodenspannungen, die sowohl die R-Röhre als auch ihre Nachfolgerin mit Oxydkathode, die OR-Röhre, besitzt. Die R-Röhre wird z. B. mit 90 V Anodenspannung und 45 V Raumladespannung betrieben, die OR-Röhre sogar mit 220 V Anodenspannung



a
Versuchsausführung mit doppelter Einschmelzung und geschlitzten Elektroden (1916).



b
Fabrikationsmäßige Röhre im SS-Aufbau (1918).



c
Fabrikationsmäßige Ausführung im R-Aufbau (1918).

Bild 6. Dreigitterröhren.

wesentliche Rolle, weil er eine nicht auszunutzende Belastung der Energiequellen darstellt.

Daneben hat die 110er Röhre (Bild 7) ebenfalls zunächst einen beachtlichen Aufschwung erlebt. Diese Röhre wird mit 24 V Anoden- und Raumladenspannung betrieben. Sie zeigt also jene besonderen Betriebsbedingungen, die auch heute noch der Raumladungsröhre ein Sonderanwendungsgebiet sichern. Die 110er Röhre wurde überall dort verwendet, wo Wechselspannungen verstärkt werden sollten, für die nur kleine Anodenspannungen zur Verfügung stan-



a

110er Röhre. Die Stege des alten Stanzgitters sind durch dünne Drähte ersetzt. Anoden- und Raumladenspannung = 24 V.



b

115er Röhre. Die Glasröhre für die Gitterteile sind verlängert zur Erhöhung des Kriechweges. Anoden- und Raumladenspannung = 7 V.

Bild 7. Raumladungsröhren für kleine Anodenspannungen.

$$i_n = 0,55, D = 16\%, R_f = 9000 \Omega.$$

den, wie dies z. B. bei Meßgeräten der Fall ist. Bei diesem Röhrentyp hat man zum erstenmal versucht, sehr dünne Gitterdrähte zu verwenden, weil dadurch die Verzerrung des elektrostatischen Feldes in der Röhre verringert werden kann. Leider ist das Aufschweißen solcher dünnster Drähte ($50 \dots 100 \mu$) sehr schwierig. Eine brauchbare Lösung stellt das Steuergitter der 110er Röhre dar, das bis heute in dieser Ausführung beibehalten und auch bei anderen Typen gelegentlich angewendet worden ist (Bild 5).

Eine noch weitergehende Ausnutzung des Raumladepinzips finden wir bei der Röhre 115, einer Weiterentwicklung der Röhre 110. Diese Röhre ist für Ionisationsmessungen entwickelt worden. Hierfür sind Röhren mit höchster Isolation des Gitters notwendig, weil dieses an Systeme von außerordentlich hohem inneren Widerstand angeschlossen

wird. Die für solche Messungen erforderlichen Gitterableitwiderstände liegen in der Größenordnung von $10^{12} \dots 10^{14} \Omega$. Das bedeutet, daß der Strom über das Gitter nicht größer als $10^{-12} \dots 10^{-14} \text{ A}$ sein darf, weil sonst der an dem Gitterableitwiderstand auftretende Spannungsabfall so stark in schwächendem Sinne rückkoppelt, daß eine Aussteuerung der Röhre unmöglich wird. Um bei diesen Messungen das Auftreten eines Gasstromes vollkommen zu vermeiden, werden Elektrodenspannungen angewendet, die unter der Ionisationsspannung der Restgase liegen. Die Röhre arbeitet deshalb nur mit 7 V Raumlade- und Anodenspannung. Bei diesen sehr kleinen Spannungen ergibt sie immerhin eine Steilheit von $0,1 \text{ mA/V}$. Dabei wird die Kathodentemperatur absichtlich sehr tief gehalten, damit nicht infolge von Photoeffekten und Ionenemission Gitterströme entstehen können. Zur Unterdrückung jeglichen Isolationsfehlers ist das Gitter außerhalb des Fußes gesondert durch das Glas hindurchgeführt; zur Isolation ist Bernstein verwendet. Die nach oben durchgeführte Gitterzuleitung kann in einem besonderen Ansatz getrocknet werden.

Die Schutznetzröhre ist in den Nachkriegsjahren im Vergleich zu der Raumladungsröhre weniger verwendet worden. Wohl werden die drei SS-Typen noch laufend hergestellt; doch beschränkt sich das Anwendungsgebiet auf einzelne Meßgeräte. Irgend eine Weiterentwicklung findet nicht statt. Es lag ja auf dem Gebiet der Fernsprechtechnik gar keine Anforderung vor, für die die hohen Verstärkungsziffern notwendig gewesen wären, um so mehr, als die volle Ausnutzung des kleinen Durchgriffs der Schutznetzröhren sehr große Schwierigkeiten bringen konnte. Erst die Rundfunktechnik hat die Frage später wieder aufgegriffen und in der Schirmgitterröhre all die Vorteile dieses Doppelgittertyps voll ausgenutzt. Allerdings interessiert es beim Rundfunk nicht mehr, daß man mit der Schirmgitterröhre bei möglichst kleinen Anodenspannungen noch hohe Verstärkungen erzielen kann, sondern man nutzte die vielseitigen Vorteile dieser Röhre aus, die sie bei den üblichen Anodenspannungen bietet.

Diesem schwindenden Interesse für die Doppelgitterröhren in den ersten Nachkriegsjahren steht natürlich das immer regere Interesse der Fernmeldetechnik für die einfachere Eingitterröhre gegenüber. Es zeigte sich immer klarer, daß dieser Typ einerseits allen Anforderungen gerecht wird und daß er andererseits infolge der einfacheren Konstruktion und der einfacheren Betriebsbedingungen wesentlich geeigneter war, besonders hohe Anforderungen hinsichtlich der Gleichmäßigkeit zu erfüllen.

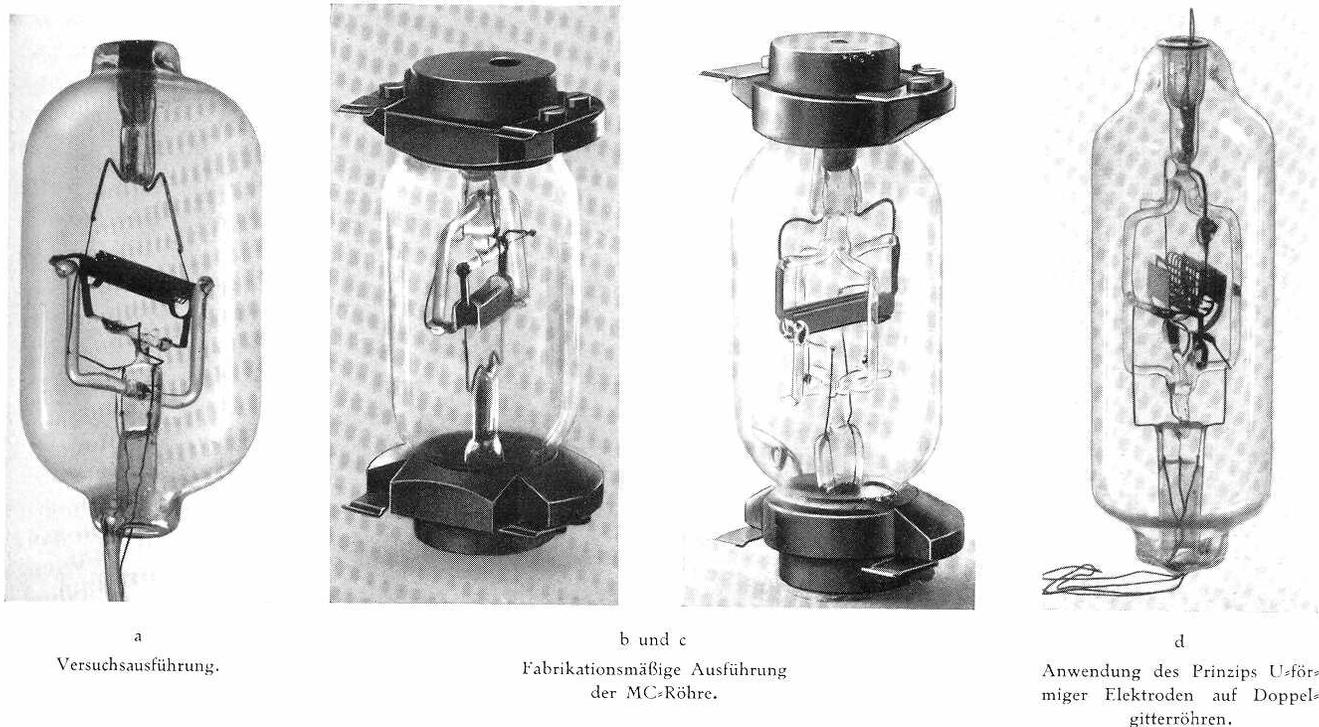
Es soll nun nochmals in die Vorkriegszeit zurückgegangen und verfolgt werden, wie sich die Verstärkeröhre, die ausschließlich für die Verstärkung in der Fernsprechtechnik bestimmt war, allmählich entwickelt hat.

Die ersten Röhren für Fernsprechverstärker.

Die ersten Verstärker des deutschen Fernsprechnetzes sind nicht mit Hochvakuumröhren sondern mit gasgefüllten Liebenröhren betrieben worden. Bekanntlich ist die Röhrenentwicklung zu Anfang dieses Jahrhunderts von der gasgefüllten Röhre ausgegangen, aus dem einfachen Grunde, weil man damals die hohen Vakua noch gar nicht erreichen konnte, die, wie man erst im Laufe der späteren Entwicklung erkannte, unbedingt notwendig sind. 1913 hat die Deutsche Reichspost die Arbeiten von Lieben

Diese Schwierigkeiten waren der Anlaß dazu, daß bei Siemens & Halske schon vor dem Kriege die von Langmuir angegebene Hochvakuumröhre aufgegriffen wurde, woran sich dann die ziemlich stürmische Entwicklung während der Kriegszeit anschloß.

Schon bald nachdem die ersten Eingitterröhren für das Heer geliefert worden waren, setzten auch die Versuche ein, diese neue Hochvakuumröhre für Fernsprechzwecke zu verwenden. Im Jahre 1917 war die Entwicklung einer geeigneten Röhre dieser Art für Fernsprechzwecke – der MC-Röhre (Bild 8) –



In dem U-förmig angeordneten Elektrodensystem ist in der Mittelebene die Kathode schwach gekrümmt eingespannt. In dieser Anordnung kann sich der Faden weitgehend dehnen, ohne dadurch die elektrischen Daten zu beeinflussen.

Bild 8. Die Entwicklung des MC-Types (U-Anoden) 1917.

$D = 15\%$, $R_i = 10000 \Omega$.

und seinen Mitarbeitern auf diesem Gebiet für die Fernsprechtechnik auszuwerten begonnen, und kurz vor dem Kriege waren schon mehrere Strecken versuchsweise mit solchen Verstärkern in Betrieb. Während des Krieges wurden dann die Liebenröhren in allen Fernleitungen der Heeresleitung verwendet; es wurde dadurch möglich, Entfernungen von mehreren 1000 km zu überbrücken. Die Gasfüllung der Liebenröhre unterscheidet sie aber deutlich von den späteren Verstärkerröhren. In diesem Unterschied liegen auch die Schwierigkeiten begründet, die bei der Verwendung der Liebenröhre als Verstärkerröhre auftreten. Nur unter ganz bestimmten Betriebsbedingungen kann diese Röhre als Verstärker arbeiten, und es besteht dabei stets die Gefahr, daß eine reine Gasentladung einsetzt, die dann jede Verstärkung unmöglich macht.

abgeschlossen. Diese Eingitterröhre unterscheidet sich von der A-Röhre durch ihre wesentlich höhere Steilheit. Interessant ist an ihrem Aufbau, daß man sich damals noch nicht entschließen konnte, den langen Faden in einen Zylinder einzubauen, weil man die Zentrierung des Fadens mit Hilfe einer Federspannung für unmöglich hielt. Deshalb wurde ein U-förmiger Aufbau verwendet, der gestattet, den Faden etwas gewölbt einzubauen. Da sich Längenänderungen nur in der Mittelebene abspielen, können sie elektrisch nicht in Erscheinung treten.

Diese Röhre ist zunächst noch während des Krieges bei den Heeresleitungen an Stelle der Liebenröhre verwendet worden, aber auch in den ersten Nachkriegsjahren fanden die Verstärker mit MC-Röhren in dem deutschen Fernsprechnetz noch Verwendung.

1920 tritt dann zum erstenmal die BF-Röhre, die erste eigentliche Fernsprechröhre (Bild 9) auf, die bis 1925 in allen Verstärkern der Deutschen Reichspost benutzt wurde. Konstruktiv zeigt sie den später üblichen Zylinderaufbau.

Zur Halterung des Elektrodensystems wird die Glaskonstruktion verwendet, die sich bei den Mehrgitterröhren sehr gut bewährt hatte, und die am besten eine genaue Einhaltung der gegenseitigen Abstände der Elektroden verbürgte. Es hat im Laufe der Zeit nicht an Versuchen gefehlt, diesen Aufbau zu „modernisieren“, aber alle Vorschläge scheiterten daran, daß keiner die Stabilität des Glasaufbaues erreichte. Dieser Vorteil der Glaskonstruktion macht sich z. B. durch die geringe Klingempfindlichkeit

Völlig beseitigt werden konnte die Gefahr des Durchbrennens der Röhren nur in der Weise, daß eine Mindestlebensdauer für jede Röhre angestrebt wurde, vor deren Erreichung die Röhre durch eine andere ersetzt werden konnte. Auf diese Weise war der Betrieb nie der Gefahr einer Unterbrechung ausgesetzt. Eine solche Verbesserung konnte natürlich nicht sofort erzielt werden. Man konnte zwar alle Werte, die die Lebensdauer einer Wolframröhre bestimmten, man wußte, daß eine Röhre um so länger arbeitet, je sparsamer sie belastet wird. Man hatte ferner festgestellt, daß ein kurzer dicker Draht einem langen, aber dünneren vorgezogen werden muß, weil dieser bei gleicher Belastung früher durchbrennt. Aber alle diese Erkenntnisse reichten noch nicht aus, um für jede Röhre eine bestimmte Garantie übernehmen zu können. Man erreichte zwar für alle Röhren eine gleichmäßig längere Lebensdauer, aber es waren immer einige dabei, die wesentlich unter dem Mittel lagen, ohne daß dies bei der Prüfung der Röhre irgendwie vorauszusehen war. Andererseits traten aber auch stets Röhren mit sehr großer Lebensdauer auf.

Diese Art der Bewirtschaftung, bei der alle Röhren mit dem Erreichen ihrer Garantie in gutem Zustand ausgeschieden werden, bedingt, daß offenbar sehr viele Lebensdauerstunden ungenutzt bleiben. Wesentlich wirtschaftlicher wird der Betrieb, wenn man die Röhren bis zur Betriebsunfähigkeit brennen lassen kann. Auch eine solche Form der Bewirtschaftung kann eine ausreichende Betriebssicherheit gewährleisten, wenn die Röhren im Durchschnitt eine ausreichende Lebensdauer haben. Angenommen z. B., daß ein Drittel aller Röhren einer Lieferung zwischen 0 und 1000 Stunden, das zweite Drittel zwischen 1000 und 2000 Stunden und das restliche Drittel zwischen 2000 und 3000 Stunden durchbrennt; nach Ablauf der ersten 1000 Stunden muß $\frac{1}{3}$ der Bestückung ersetzt worden sein; nach Ablauf der zweiten 1000 Stunden muß neben dem zweiten Drittel der ursprünglichen Bestückung noch der Ausfall ersetzt werden, der von der ersten Ersatzbestückung ausgefallen ist. Der Ersatzbedarf steigt also an. Wenn man auf diese Weise den Ersatzbedarf weiter verfolgt, so findet man, daß er nach einer längeren Anlaufzeit einem konstanten Wert 0,66 zustrebt, d. h. in 1000 Stunden müssen zwei Drittel und in 1500 Stunden muß die ganze Bestückung des Amtes einmal ersetzt worden sein. Das ist aber die gleiche Brennstundenzahl, die sich als das arithmetrische Mittel aus den Angaben über die Verteilung ergibt. In dem gleichen Maße, in dem nun die mittlere Lebensdauer der Röhren erhöht wird, verlängert sich auch die Dauer einer Neubestückung eines Amtes, und im gleichen Maße verringert sich der tägliche Ersatzbedarf. Man kann also die Betriebssicherheit so weit dem idealen Zustand nähern, als noch technische Möglichkeiten bestehen, die mittlere Lebensdauer zu steigern.

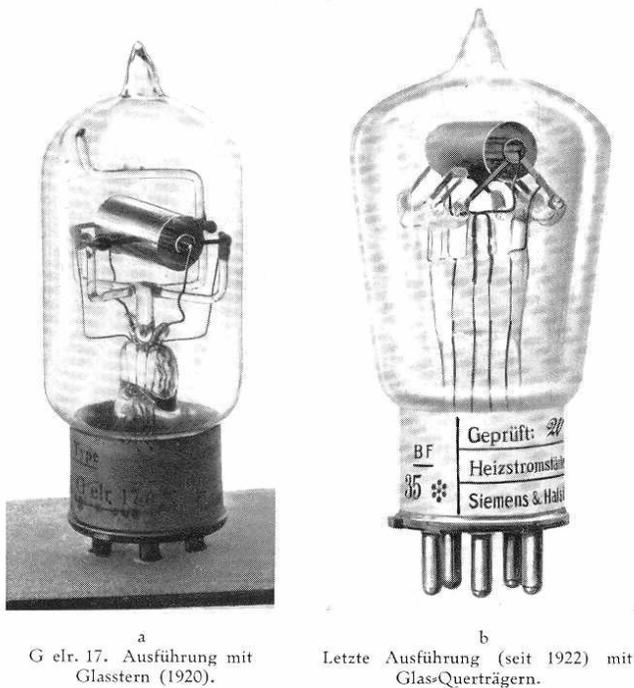


Bild 9. Die Entwicklung der BF-Röhre.

$$D = 8\%, R_1 = 30000 \Omega.$$

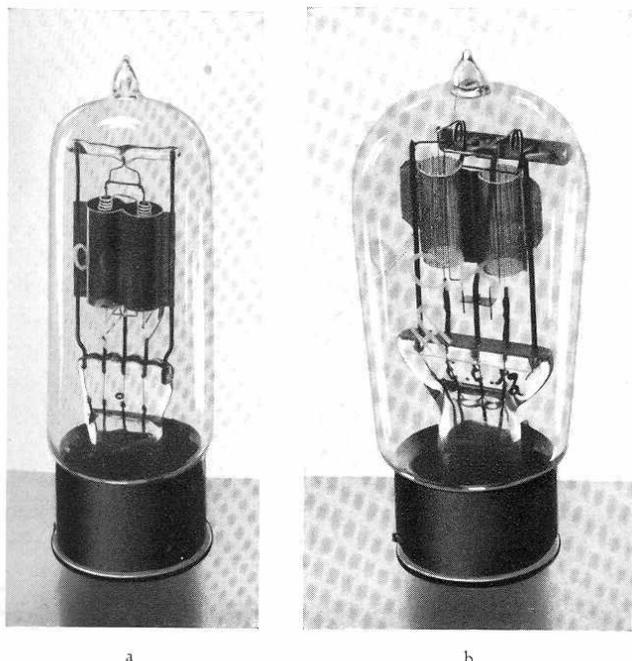
sehr maßgebend bemerkbar. Deshalb finden wir dieses Konstruktionsprinzip auch heute noch bei allen Typen beibehalten.

Mit der BF-Röhre wurde nun erstmalig das deutsche Fernsprechnet systematisch ausgebaut. An ihr wurden die Erfahrungen gesammelt, auf denen die weitere Entwicklung zur heutigen Fernsprechröhre beruht. Die wichtigste Forderung, die man an eine Fernsprechröhre stellen muß, ist die der Betriebssicherheit. Die Brenndauer der Röhren war für einen Dauerbetrieb noch sehr klein. Dazu kam, daß einzelne Röhren nur Tage, andere wieder monatelang arbeiteten. Diese Tatsache bedeutete eine sehr große Unsicherheit; es konnte auf diese Weise eintreten, daß an einem Tage mehrere Gespräche wegen Ausfalls der Röhre unterbrochen wurden. Dem mußte zunächst vorgebeugt werden.

Man kann nun verschiedene Wege gehen, um die mittlere Lebensdauer der Röhren zu erhöhen. Bei den Siemens-Verstärkerröhren wurde mit diesem Ziele vor etwa 10 Jahren die Oxydkathode eingeführt. Die höhere Aktivität dieser Kathode ermöglichte sehr viel tiefere und in Hinblick auf die Lebensdauer günstigere Betriebstemperaturen. Während die BF-Röhre z. B. eine mittlere Lebensdauer von 2500 Stunden ergab, konnte mit der Ersatzröhre mit Oxydkathode, der BO-Röhre, die Garantie auf 7500 Stunden allmählich erhöht werden. Das bedeutete, daß in einem Amt von 100 Röhren bei einem 8 stündigen Dauerbetrieb der durchschnittlich jeden dritten Tag notwendige Ersatz einer BF-Röhre bei der BO-Röhre frühestens nach 9 Tagen zu erwarten war.

Die Einführung der Oxydkathode.

Die BO-Röhre unterscheidet sich äußerlich überhaupt nicht von der BF-Röhre, auch alle elektrischen Daten stimmen überein, mit Ausnahme der Heizspannung, die etwa auf die Hälfte verringert werden konnte. Ihre dreifache Lebensdauer gegenüber der BF-Röhre mußte eine wesentlich höhere Betriebssicherheit gewährleisten. Diese Tatsache gab der



a
Erste Ausführung mit Glasbügel zur Kathodenbefestigung. Das Gitter steht oben frei (1925).

b
Spätere Ausführung. Der seitlich angeordnete Glasbügel hält Anode, Gitter und Kathode (1930).

Bild 10. Die OCK-Röhre.

$D = 15\%$, $R_i = 5000 \Omega$, 6 W Anoden-Dauerbelastung.

Deutschen Reichspost Veranlassung, das ganze deutsche Fernsprechnetz auf diesen Typ umzustellen. Weit über 100000 BO-Röhren sind im Verlauf von nahezu 10 Jahren im deutschen Fernsprechnetz im Betrieb gewesen. Innerhalb dieser Zeit haben sich die Eigenschaften der Röhren in keiner Weise geändert.

Auch die konstruktive Ausführung ist im wesentlichen stets die gleiche geblieben.

Die erste Anforderung nach einer Erhöhung der elektrischen Leistung trat in dem Augenblick auf, als neue Verstärker für die sehr langen Strecken der Seekabelverbindungen entwickelt wurden. Für diesen Zweck wurde 1926 die OCK-Röhre gebaut (Bild 10), die etwa die vierfache Leistung der BO-Röhre abgeben sollte. Die erhöhte Leistung wird dadurch erreicht, daß die Steilheit und der Durchgriff der BO-Röhre gegenüber jeweils etwa verdoppelt wurden. Die größere Steilheit wird durch einen längeren Heizfaden erzielt, der in einem Doppelzylindersystem untergebracht ist. Neu ist an diesem Typ die Gitterausführung, die in einfacher Weise die Verwendung dünner Gitterdrähte ermöglicht. Die grundsätzliche Schwierigkeit der Verwendung solcher Gitterdrähte lag ja darin, daß diese dünnen Drähte nicht angeschweißt werden können. Bei dem in der OCK-Röhre verwendeten Schlaggitter wird diese Schwierigkeit dadurch umgangen, daß man für den 50μ starken Gitterdraht sehr hartes Material, z. B. Wolfram, verwendet, das man in verhältnismäßig weiche Haltestäbe (z. B. Ni) eindrückt. Dieses Verfahren sichert in einer laufenden Fertigung eine außerordentlich hohe Gleichmäßigkeit der Gitterabmessungen (vgl. Bild 5) und damit der Durchgriffswerte.

Die nächste Leistungssteigerung brachte die CO-Röhre (Bild 11), die für etwa 1 W Wechselstromleistung entwickelt ist. Schon aus dieser Angabe kann man entnehmen, daß diese Röhre auf dem normalen Fernsprechnetz (in dem eingangs definierten Sinne) nur in beschränktem Maße Verwendung findet. Tatsächlich ist sie auch nur als Leistungsröhre für Summer oder als Senderöhre entwickelt worden. Für Fernsprechnetze dient sie nur dort, wo sehr große Dämpfungen auszugleichen sind. Konstruktiv unterscheidet sie sich nicht sehr wesentlich von der OCK-Röhre. Sowohl bei der OCK-Röhre als auch bei der CO-Röhre ist zum erstenmal als Anodenwerkstoff Netz verwendet, um die Temperatur in dem Anodenzylinder zu erniedrigen, so daß eine Emission der auf das Gitter aufgedampften Schichten nicht

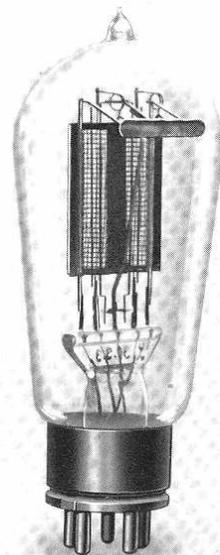


Bild 11. Die CO-Röhre.

$D = 28\%$, $R_i = 1400 \Omega$, 13 W Anoden-Dauerbelastung, 1 W unverzerrte Wechselstromleistung. Die konstruktive Ausführung entspricht der OCK-Röhre. Die höhere max. Belastung erforderte eine noch größere Maschenweite und zusätzliche Schwärzung des Anodennetzes.

mehr zu befürchten ist. Interessant ist dabei die Tatsache, daß bei der CO₂-Röhre durch diese Maßnahme die spezifische Belastung der Anode zu groß wurde, so daß diese geschwärzt werden mußte.

Neben diesen 3 Haupttypen gibt es noch eine Reihe von Röhren, die ebenfalls mit Oxydkathode ausgerüstet sind und die für besondere Zwecke oder für ältere Geräte benutzt werden. Die OBE-Röhre stellt z. B. die Ersatzröhre der alten Wolfram-Leistungsröhre BE dar. Die OCB-Röhre ist lange Zeit als Schwingröhre für einen Röhrensummer verwendet worden.

Die OR-Röhre ist die Nachfolgerin der alten Raumladeröhre; an Stelle des Wolframfadens der R-Röhre hat sie eine Oxydkathode. Sie ist im wesentlichen auch nur als Richtverstärkerröhre für Telegrafiezwecke verwendet worden. Gerade diese Doppelgitterröhre hat am deutlichsten den Beweis geliefert, daß eine Überzüchtung, wie sie eine Röhre mit einer Steilheit von 10 mA/V im Jahre 1926 darstellte, den besonderen Anforderungen der Fernsprechröhre hinsichtlich Gleichmäßigkeit nicht mehr gewachsen ist. Die zu großen Schwankungen in der Herstellung gaben schließlich den Anlaß dazu, daß diese Röhre im Laufe der Jahre durch andere Typen ersetzt wurde.

Damit soll dieser Zeitabschnitt abgeschlossen sein. In konstruktiver Hinsicht kann man bei allen diesen Röhren feststellen, daß die Forderung nach größter Stabilität überall im Vordergrund steht. Deshalb ist überall das Prinzip angewendet, die einzelnen Elektroden an möglichst vielen Stellen festzuhalten. Der typischste Vertreter dieses Prinzips ist die BO-Röhre. Unter diesem Gesichtspunkt sind aber auch die entwickelten Glasaufbauten der R- oder der BE-Röhren entstanden. Die gleichen Richtlinien sind auch für die Veränderungen maßgebend gewesen, die an den neueren Typen, wie der OCK-Röhre, im Laufe der Zeit durchgeführt wurden. Dieses Prinzip bietet die sichere Gewähr dafür, daß die gegenseitige Lage der Elektroden bei der Herstellung genau festgelegt und im späteren Betrieb auch beibehalten bleibt, so daß die Streuung der elektrischen Eigenschaften klein bleibt. Aus dem gleichen Grunde wird peinlichst dafür Sorge getragen, daß sich Veränderungen, z. B. durch Erwärmung, nicht auf die Röhrendaten auswirken können. Um zu vermeiden, daß sich die Gitterstäbe des BO-Gitters während des Bombardierens durchbiegen, hat man in der Mitte des Gitterzylinders nochmals einen Stützring angeordnet. Um eine Krümmung der Schlaggitter der OCK- und CO-Röhre zu vermeiden, sind für die Halterippen besondere Führungen angeordnet. Besonders wichtig war in dieser Hinsicht auch die Konstruktion der Federn. Einerseits durfte die Federkraft nicht zu groß werden, damit der Faden nicht gereckt wird, andererseits mußte die Ausführung so stabil sein, daß Bewegungen, die nicht in Richtung der auszuübenden Kraft liegen, möglichst stark gedämpft wurden.

Einen sehr großen Einfluß hat die Kathode selbst auf die Röhrendaten. Theoretisch machen sich zwar die Kathodendaten, wie Aktivität oder Temperatur so lange nicht bemerkbar, wie alle Kathodenteile noch im Raumladegebiet arbeiten. Dies ist aber bei keiner technischen Röhrenkonstruktion der Fall; z. B. befinden sich an den Kathodenenden oder an den Aufhängestellen stets kältere Teile, an denen sich Emissions- oder Temperaturunterschiede auswirken können. Diese Tatsache tritt besonders bei den kurzen Kathoden der BO-Röhre recht stark in Erscheinung. Aber auch die Kathodenschicht selbst macht sich hier bemerkbar, denn ihr Widerstand, den sie für den Durchgang der Elektronen ins Vakuum besitzt, liegt bei der BO-Röhre in der Größenordnung von 1000 Ω und ist zudem sehr stark von der Temperatur der Kathode und ihrer Aktivität abhängig. Schließlich ist auch die Oxydschicht nicht so gleichmäßig, wie dies z. B. von einem Wolframdraht angenommen werden kann, so daß auch aus diesem Grunde Schwankungen in den Eigenschaften der Röhre möglich sind.

Diese Erkenntnisse führten allmählich zu der Forderung, daß die Oxydkathode in dieser ersten Ausführung aus grundsätzlichen Gründen den vorliegenden Anforderungen nicht voll gerecht werden konnte, und zu dem Entschluß, ganz neue Wege in der Oxydkathoden-Herstellung zu beschreiten.

Die Verbesserung der Oxydkathode.

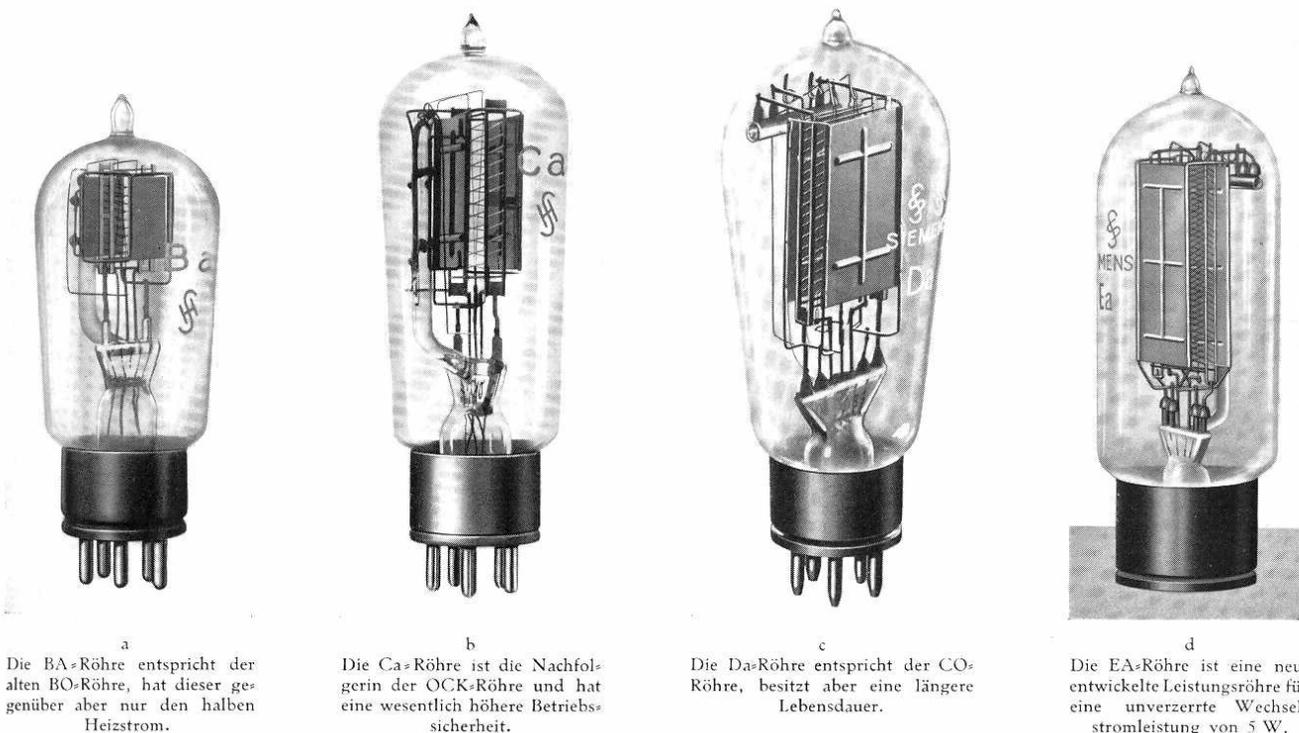
Die Aufgabe der Neuentwicklung der Röhren, die vor etwa 4 Jahren in Angriff genommen wurde, war durch die der alten Oxydkathode noch anhaftenden Mängel klar bestimmt. Die neue Kathode unterscheidet sich von der alten dadurch, daß an Stelle von Iridium als Zusatz für das Platin des Kerndrahtes Nickel verwendet wird, das gestattet, die chemischen Vorgänge der Formierung der Kathode wesentlich günstiger zu gestalten. Gleichzeitig beträgt die Schichtdicke der neuen Kathode nur noch 1/10 der Stärke der alten Platin-Iridium-Kathode. Dadurch ist erreicht, daß der Einfluß des Querwiderstandes kaum mehr in Erscheinung treten kann. Außerdem ist die Gleichmäßigkeit der Kathode dadurch noch erhöht worden, daß die Kathoden heute mit Maschinen hergestellt werden. Bei einer laufenden Fertigung, bei der das zu verarbeitende Band ohne Unterbrechung durch die verschiedenen Öfen und Bäder läuft, ist es viel leichter möglich, die Herstellungsbedingungen konstant zu halten als bei dem Verfahren des Auftrages von Hand.

Das äußerlich am stärksten in Erscheinung tretende Kennzeichen dieser neuen Fertigung ist der Aufbau in Plattenform mit einer W-förmigen Kathode. Den immer mehr steigenden Anforderungen hinsichtlich der Steilheit konnte der Zylinderaufbau allmählich nicht mehr genügen. So dürfte z. B. die CO-Röhre die Grenze dieser Entwicklung darstellen,

bei der eine 40 mm lange Kathode in einem Gitter von 3 mm Durchmesser ausgespannt ist. Bei dieser Konstruktion machen sich schon die starke Klingneigung und die Gefahr gelegentlicher Gitterkathoden-Kurzschlüsse bemerkbar. Aus diesem Grunde ist man dazu übergegangen, die Kathode durch eine Parallelschaltung zu unterteilen und in einem einzigen offenen Aufbau unterzubringen. Man kann auf diese Weise die Steilheit um so mehr steigern, in je mehr Fäden die Kathode aufgeteilt werden kann. Man muß bei dieser Konstruktion allerdings in Kauf nehmen, daß zur Erzielung der gleichen Eigenschaf-

die Röhre im Betrieb abgeben kann. Der zweite Buchstabe kennzeichnet in der Reihenfolge ihrer Entwicklung die verschiedenen Ausführungsarten, die es in dieser Klasse gibt und die sich durch verschiedene Steilheiten, Durchgriffe, Heizdaten oder andere besondere Eigenschaften unterscheiden können. Hierauf unterteilen wir in die folgenden Gruppen:

Die erste Gruppe A enthält alle Röhren, die nur sehr kleine Leistungen abzugeben haben. Von einer Umbenennung der alten Typen, die in diese Gruppe hätten aufgenommen werden müssen, wie die 110er oder SS-Röhre, hat man wegen ihrer geringen Be-



a Die BA-Röhre entspricht der alten BO-Röhre, hat dieser gegenüber aber nur den halben Heizstrom.

b Die Ca-Röhre ist die Nachfolgerin der OCK-Röhre und hat eine wesentlich höhere Betriebssicherheit.

c Die Da-Röhre entspricht der CO-Röhre, besitzt aber eine längere Lebensdauer.

d Die EA-Röhre ist eine neu entwickelte Leistungsröhre für eine unverzerrte Wechselstromleistung von 5 W.

Bild 12. Die Neuentwicklung von Verstärkerröhren.

Der Aufbau dieser Röhren ist durch den Plattenaufbau und die V- bzw. W-förmige Kathode gekennzeichnet. Auch bei dieser Ausführungsart ist der Aufbau sehr massiv gehalten und gewährleistet durch die vielfache Halterung sämtlicher Elektroden die größte Gleichmäßigkeit.

ten eine etwas größere Heizenergie erforderlich ist. Der Plattenaufbau bietet dafür den Vorteil, daß das Gitter nicht so heiß wird wie in dem Zylindersystem. Es brauchen also die Gitter zur Unterdrückung einer Gitteremission nicht besonders gekühlt zu werden.

Aber auch bei dieser ganz neuen Konstruktion sehen wir das Prinzip der vielfachen Halterung der Elektroden streng durchgeführt. Zu diesem Zweck ist der Glaskörper bzw. das Glaskreuz eingeführt, das die Möglichkeit bietet, mit möglichst kurzen Stützdrähten jeden Teil genau festzuhalten.

Bevor wir nun auf die einzelnen Typen dieser neuen Entwicklung eingehen, soll noch kurz auf die neue Bezeichnungsart hingewiesen werden. Sie wurde bei der Einführung der neuen Oxydkathode von der Deutschen Reichspost vorgeschlagen. Zur Kennzeichnung werden 2 Buchstaben verwendet: Der erste Buchstabe kennzeichnet jeweils die Leistungen, die

deutung abgesehen. Die erste Neuentwicklung in dieser Leistungsgruppe, die Aa-Röhre, hat einen Durchgriff von 3,5⁰/₀ und eine Steilheit von 1 mA/V. Besondere Maßnahmen sichern dieser Röhre eine besonders hohe Konstanz aller Daten.

Die Ba-Röhre (Bild 12) ist die Nachfolgerin der eigentlichen Fernsprechröhre, der BF- und BO-Röhre. Die ursprüngliche Ausführung dieser Röhre für 1,1 A ist nur als Versuchstyp gebaut worden. Nach den ersten günstigen Ergebnissen der neuen Kathode ging man sofort zu der verringerten Heizstromstärke von 1/2 A über. Es war nicht ganz einfach, bei dem vollkommen geänderten Aufbau sämtliche Daten wieder herzustellen. Die Schwierigkeiten der Einhaltung der kleinen Gitteranodenkapazität sind deutlich an dem weiten Aufbau des Plattensystems zu erkennen. Über die Ca-Röhre ist im wesentlichen nur zu sagen, daß sie als Ersatz für die OCK-Röhre

Verwendung findet und betriebssicherer ist als diese. Konstruktiv bietet sie der Ba-Röhre gegenüber nichts Neues.

Auch die Da-Röhre, als der Ersatztyp für die CO₂-Röhre, zeigt das gleiche Konstruktionsprinzip.

Die höchste Leistungsstufe, in der die Oxydkathode noch benutzt wird, ist die Gruppe E, in der bisher die Ea-Röhre gebaut wird für 400 V Anodenspannung und 5 W unverzerrte Wechselstromleistung.

Die bisherigen Erfahrungen mit dieser neuen Kathode zeigen, daß sie in allen Röhrentypen sehr große Fortschritte gebracht hat.

Besonders groß sind die Fortschritte, die sich hinsichtlich der Gleichmäßigkeit im Verlauf der Brenndauer erzielen lassen. Den auffallenden Unterschied zeigt der Verlauf der Kathodenspannungen. Während bei der BO₂-Röhre Spannungszunahmen bis zu 40% bei einem großen Anteil der Röhren auftreten, können bei Röhren mit Platin-Nickel-Kathoden derartige Änderungen nur in ganz geringem Umfange festgestellt werden. Auch die bei den alten Oxydkathoden häufig auftretende vorübergehende Vakuumverschlechterung kann an der neuen Kathode nicht mehr festgestellt werden. Schließlich zeigt auch der zeitliche Verlauf der Verstärkungsziffer größere Gleichmäßigkeit. Bei der BO₂-Röhre traten oft an Röhren, die gemeinsam in Betrieb waren, gleichmäßige Verschlechterungen der Verstärkungsziffer auf, die aber nach einigen Tagen wieder verschwunden waren. Es handelt sich dabei um den Einfluß von Heizschwankungen, die sich auf die Beschaffenheit der Kathode auswirken können. Diese Erscheinung konnte an den neuen Kathoden bisher noch nicht festgestellt werden.

Diesen Fortschritten steht eine ganze Reihe von neuen Anforderungen gegenüber, die die stetige Weiterentwicklung der Fernsprechtechnik mit sich gebracht hat. Den ersten Anstoß gab die Rundfunktechnik mit den Rundfunkübertragungen. Während bei der normalen Übertragung von Gesprächen die Störspannung nur in einem bestimmten Verhältnis zur mittleren Wechselspannung zu stehen braucht, muß für eine Rundfunkübertragung zwar das gleiche Verhältnis, aber für die kleinsten Amplituden der zu übertragenden Spannungen gefordert werden, d. h. die Ansprüche bezüglich der Störempfindlichkeit der Röhren wurden ganz beträchtlich erhöht. In einem ähnlichen Sinne steigerten sich auch die Anforderungen an den Klirrfaktor. Während er für den normalen Fernsprechverkehr mit seiner niemals vollen Silbenverständlichkeit nur eine geringere Rolle spielt, muß beim Rundfunk auch in dieser Hinsicht die Übertragungstechnik wesentlich höhere Ansprüche

stellen; bei der Mehrfachausnutzung der Leitungen spielt er mit Rücksicht auf das nichtlineare Nebensprechen sogar eine ausschlaggebende Rolle.

Zusammenfassung.

Die geschichtliche Entwicklung der Fernsprechröhre ist ein interessantes Beispiel für eine Entwicklung, zu der zwar der Physiker den Grund legt, in die aber sehr bald der Techniker mit den seiner Arbeitsweise eigentümlichen Forderungen so maßgebend eingreift, daß ein neues technisches Arbeitsgebiet entsteht. Sie ist ein Beispiel für eine Zusammenarbeit von Wissenschaft und Technik, bei der der eine Teil den andern befruchtet.

Die Lieben-Röhre gestattete bereits, die Dämpfung einer Fernsprechleitung durch Verstärkung aufzuheben und damit ihre Reichweite zu steigern. Sie wurde daher zunächst noch in ihrer ursprünglichen Form verwendet. Aber schon die ersten Betriebserfahrungen zeigten, in welcher Richtung die weitere technische Entwicklung vor sich gehen mußte: Das wichtigste Ziel mußte die Erreichung größerer Betriebssicherheit sein.

So führte die Entwicklung zur Hochvakuumröhre mit Wolframkathode, die an die Überwachung der Verstärkung wesentlich geringere Anforderungen stellte als die Lieben-Röhre. Auch die Röhren dieser Art waren noch sehr empfindliche Glasgebilde; man hatte bei ihnen die Betriebsbedingungen jedoch schon so in der Hand, daß sie reihenweise gebaut und in Mengen verwendet werden konnten. Mit der Entwicklung der BF₂-Röhre fand diese Entwicklung — insbesondere was die äußere Form der Röhren anlangt — ihren vorläufigen Abschluß. Die teuren und empfindlichen Glasarbeiten waren bereits bei ihr auf das unbedingt nötige Maß beschränkt.

In den folgenden Jahren wurden die Lebensdauer der Röhren um ein vielfaches gesteigert und die Toleranzen für die elektrischen Eigenschaften immer mehr eingeschränkt. Außerdem spaltete sich die Entwicklung jetzt nach Anwendungsgebieten auf; für neue Arbeitsbedingungen wurden neue Forderungen gestellt, denen die Röhren angepaßt werden mußten.

So hat die Fernsprechröhre im Laufe der Jahre ihr eigenes Gepräge erhalten, das ihr unter den Hochvakuumröhren eine Sonderstellung einräumt. Besonders die neuesten Formen der Siemens-Fernsprechröhre werden überall dort allen Anforderungen gerecht werden, wo es auf höchste Betriebssicherheit ankommt, d. h. wo hohe Konstanz der Eigenschaften während einer sehr langen Brenndauer gefordert wird.