



50 Jahre Entwicklung  
und Fertigung von Elektronenröhren  
im Hause Siemens

Erweiterter Sonderdruck aus der »SIEMENS-ZEITSCHRIFT«

36. Jahrgang · Februar 1962 · Heft 2

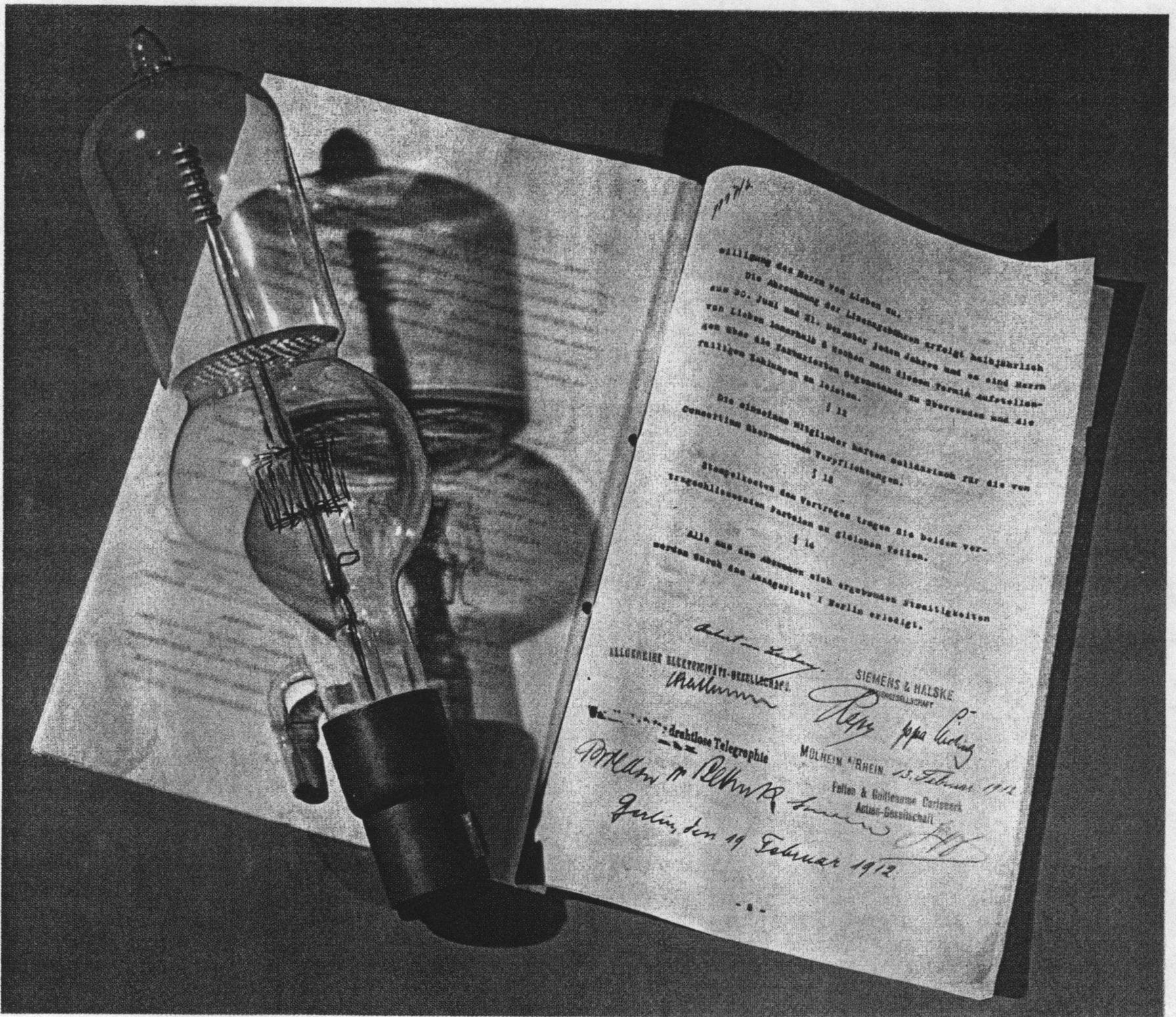
· S I E M E N S & H A L S K E A K T I E N G E S E L L S C H A F T  
W E R N E R W E R K F Ü R B A U E L E M E N T E

## INHALT

EDUARD MÜHLBAUER	Zum Geleit	4
FRANZ MICHEL und OSKAR PFETSCHER	Siemens-Röhren haben Tradition Vorgeschichte und Werden der Siemens-Röhrenfabrik	6
WALTER SCHOTTKY	Jena 1912 und das $U^{3/2}$ -Gesetz Eine Reminiszenz aus der Vorzeit der Elektronenröhren	22
	Kurzberichte aus der heutigen Siemens-Röhrenfabrik	
WERNER JACOBI	Entwicklungslinien des Röhrenbaues im Hause Siemens	25
HELMUT KATZ	Weitverkehrsröhren – ein traditionelles Erzeugnis des Hauses Siemens	26
HARTMUT GANSWINDT und ARNO BUCHWALD	Senderöhren einst und jetzt	28
HANS-EMIL DÄRR	Empfängerröhren für Rundfunk und Fernsehen	31
WERNER VEITH	Laufzeitröhren hoher Bandbreite für den Nachrichtenverkehr	32
KURT THEML	Fertigung und Fertigungsstätten der Röhrenfabrik	35
WERNER MÜLLER	Überlegungen zur künftigen Röhrenentwicklung	42

## Zum Geleit

Am 19. Februar 1962 ist ein halbes Jahrhundert vergangen seit dem Tage, an dem das »Lieben-Konsortium« gegründet wurde. In diesem Konsortium hatten sich die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, die Felten & Guillaume Carlswerk Actien-Gesellschaft, die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. und die Siemens & Halske Aktiengesellschaft zusammengefunden, um eine Erfindung von ROBERT VON LIEBEN, von ihm als »Relais für undulierende Ströme« bezeichnet, der technischen Verwendung zuzuführen. Es wird mit eines der großen Verdienste WILHELM VON SIEMENS, des damaligen Chefs des Hauses Siemens, bleiben, daß er den Wert dieser Erfindung klar erkannte, eine Entwicklung voraussehend, die entscheidend mit Robert von Lieben verbunden war, und in der richtigen Einschätzung dieses Mannes auch seine Arbeiten zu würdigen wußte.



Die Unterschriften der Konsortiumsmitglieder unter dem Vertrag mit Robert von Lieben (Siemens-Archiv) Links: Eine Lieben-Röhre

Wie schwierig es war, das Wesentliche dieser Person zu erkennen, hat einer der begabtesten Dichter Österreichs, nämlich HUGO VON HOFMANNSTHAL, in seinem Nachruf auf Robert von Lieben, der die Gründung des Konsortiums nur um ein Jahr überlebte, in die Worte gefaßt: »Das geistige Antlitz Robert von Liebens blieb den meisten seiner Zeitgenossen verborgen.« Seiner Gegenwart war stets ein Element von Abwesenheit beigemischt. »Er war ein Träumer und für ihn bedurfte es keiner Beglaubigung, daß er eine jenseitige Küste betreten hatte. Er trug diese Beglaubigung in sich als das Nachgefühl einer höchsten sinnlich-seelischen Lust. Aber eine Fügung wollte es, daß er von einem dieser Ausflüge das »Relais für undulierende Ströme« mitbrachte und, fast als eine Nebensache, den Schatz des menschlichen Wissens bereicherte und der die Sinnenwelt unterwerfenden Technik etwas Bleibendes zu schenken hatte.«

Es gibt in diesem Jahrhundert wenige Entdeckungen, deren Bedeutung diesem Ereignis gleichkommt. Wenn auch auf dem Weg zu den neuzeitlichen, vielseitigen, raumsparenden und zuverlässigen Hochvakuumröhren die Technik schließlich etwas andere Wege gegangen ist, als sie von Lieben vorschwebten, so bleibt es doch sein unbestrittenes historisches Verdienst, erstmals gezeigt zu haben, daß man die Steuerung elektrischer Entladungsvorgänge mit Erfolg zur Schwingungsverstärkung benutzen kann.

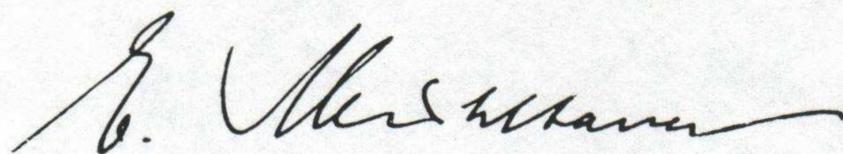
Man darf dabei gerechterweise frühere Arbeiten, insbesondere die der Vorgänger von Liebens, zu erwähnen nicht vergessen. Diese Männer haben in teilweise kühnen und stürmischen, teils in geduldigen, mühevollen Entwicklungsarbeiten die Voraussetzungen für die in den folgenden Jahrzehnten sich fortsetzende Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronenröhre erst geschaffen. Erinnerung sei z. B. nur daran, wieviel Mühe der im Hause Siemens tätige Dr. BOLTON aufwenden mußte, um den Werkstoff Tantal erstmals zu schmelzen und so umzugestalten, daß er auch für die Röhrenfabrikation brauchbar wurde! Dazu bedurfte es seines ganzen Einsatzes und kühnen Wagemuts, als er sich – wie ein später Epigone des Prometheus – über an sich sehr begründete Vorsichtsmaßnahmen und Sicherheitsvorschriften hinwegsetzte. Die zum Schmelzen des Tantals notwendige große Energie an das Schmelzgut heranzuführen gelang erst, nachdem er in dem damaligen physikalisch-chemischen Laboratorium sämtliche Sicherungen des Hochstrom-Generators entfernt und durch massive Kupferbolzen ersetzt hatte. Dr. Bolton riskierte dabei die Exi-

stenz der ganzen Schmelzanlage. Er setzte alles auf eine Karte, und die Karte stach!

Unter den Männern, die – an diese Arbeiten und die von Liebens anknüpfend – im Hause Siemens die moderne Entwicklung der Hochvakuumröhre entscheidend gefördert haben, muß besonders Prof. Dr. SCHOTTKY genannt werden. Er entwickelte als einer der ersten die theoretischen Grundlagen für die Wirkungsweise der Elektronenröhre und beeinflusste entscheidend den Übergang zur Doppel- und Mehrgitterröhre. Insbesondere ist Prof. Dr. Schottky die Erfindung des Schirmgitters zu verdanken, das in den Tetroden das maßgebende, in den Pentoden eines der beiden funktionsbestimmenden zusätzlichen Konstruktionselemente ist.

Zur Zeit, als die Elektronenröhre in ihrem Anfang stand, konnte man das Schlagwort von der Elektronenröhre als dem trägheitsfreien Schalter mit Stolz proklamieren. Aber wie oft im Leben stellte man nach einiger Zeit fest, daß dieses Schlagwort die Wirklichkeit nicht richtig wiedergab. Beim Übergang zu kürzeren Wellenlängen gelangte man an eine Grenze, bei der die Zeit, die das Elektron braucht, um von der Kathode zur Anode zu gelangen, entscheidend mitspricht. Es ist bezeichnend für den menschlichen Geist, daß er es verstand, gerade aus dieser scheinbaren Begrenzung, nämlich der endlichen Laufzeit, eine vollkommen neue Art von Röhren zu entwerfen. Bei diesen wird der scheinbare Nachteil zum entscheidenden Mittel für die Erzeugung und Verstärkung ungedämpfter Mikrowellen. Die sogenannten Laufzeitröhren werden geboren. Ihre technische Bedeutung wurde bei Siemens & Halske früh erkannt. Ende der 30er Jahre wurden im Siemens-Röhrenwerk bereits Versuchsröhren des Magnetrontyps gebaut. Nach 1939 mußte allerdings die Entwicklung der Laufzeitröhren wegen anderer dringender Aufgaben zunächst zurückgestellt werden, bis dann in den Jahren 1943/44 in den Wiener Laboratorien funktionsfähige Reflexklystrone für 3 cm Wellenlänge erstellt werden konnten. Heute hat sich das Haus Siemens auch auf dem Gebiet der Laufzeitröhren maßgebend in die Entwicklung eingeschaltet.

Blickt man zurück, so zeigt sich, daß auf dem Gebiet der Elektronenröhren immer wieder Sperren, die einmal unüberwindlich erschienen, mit großem Schwung durchbrochen wurden von den Ideen bedeutender Persönlichkeiten und von dem unermüdlichen Schaffen ihrer Mitarbeiter. Ebenso wird auch in Zukunft die Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronenröhren wieder neue Wege finden, wo man heute Grenzen zu sehen glaubt.



# Siemens-Röhren haben Tradition

Vorgeschichte und Werden der Siemens-Röhrenfabrik

VON FRANZ MICHEL UND OSKAR PFETSCHER\*

Der Tag der Gründung des Lieben-Konsortiums am 19. Februar 1912 darf als Geburtstag der deutschen Röhrenindustrie betrachtet werden. Die damals getroffenen Vereinbarungen sahen die Auswertung der grundlegenden Patente ROBERT V. LIEBENS und seiner Mitarbeiter durch vier deutsche Unternehmen der Elektroindustrie vor, die bereits in vorstehendem Geleitwort aufgeführt wurden. Bei der Siemens & Halske AG hatte man die große Bedeutung der Verstärker für die Nachrichtentechnik frühzeitig erkannt; schon mehrere Jahre vorher waren hier unter PROF. GERDIEN Versuche durchgeführt worden mit dem Ziel, den Durchgang elektrischer Ladungen durch Entladungsgefäße richtungs- oder mengenmäßig zu steuern.

Der Beitritt der Firma Siemens & Halske zum Lieben-Konsortium, das sich übrigens nach dem Erlöschen der Patente von selbst auflöste (um 1937), soll uns heute ein Anlaß sein, rückschauend über die verflossenen 50 Jahre, den Weg zu verfolgen, den die Röhrenfertigung in unserem Haus genommen hat. Dabei darf erwähnt werden, daß die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft und die Siemens & Halske AG bis zum Jahre 1941 je zur Hälfte an der Firma Telefunken GmbH beteiligt gewesen sind.

Im vorgegebenen Rahmen ist es zwar nicht möglich, die Namen aller derer aufzuführen, die direkt oder indirekt zur Entstehung der Elektronenröhre beigetragen haben. Trotzdem wollen wir versuchen, wenigstens in großen Zügen, auch die wichtige und aufschlußreiche Vorgeschichte<sup>1)</sup> der Röhrenentwicklung zu skizzieren.

## Grundlagenforschung bereitet den Boden

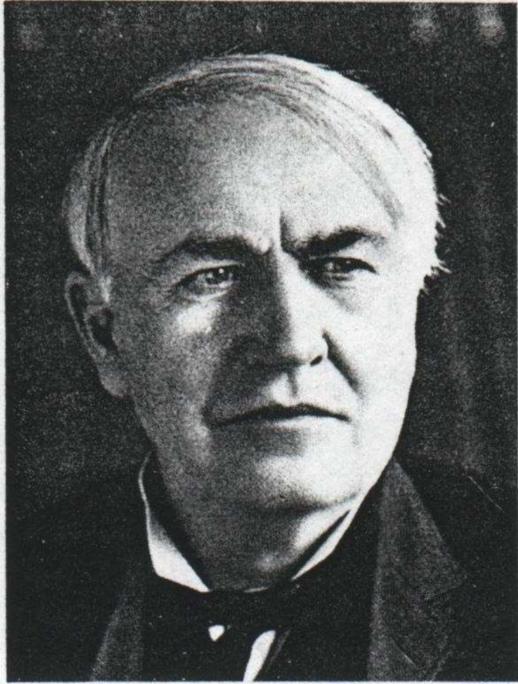
Im 19. Jahrhundert, dem sog. goldenen Zeitalter der Experimentalphysik, wurde in mühevoller Arbeit nicht nur der Grund gelegt für die um die Jahrhundertwende sich anbahnende mächtige Evolution unseres physikalischen Weltbildes, die dann zur Relativitätstheorie, zur Quantenphysik und zur Wellenmechanik führte, damals wurde mit einer Fülle von Forschungsergebnissen auch für die Technik unserer Tage der Boden bereitet. Das Feld der physikalischen Forschung bot sich zu Beginn des neuen Säkulums der nutznießenden Technik dar wie kaum jemals zuvor, einem fruchtbaren, wohlbestellten Acker gleich, der nur eines auslösenden Regens bedurfte, um eine vielfältige Saat aufgehen zu lassen. Solche Keime waren u. a. damals noch die Röntgentechnik, die Funktechnik, die moderne Beleuchtungstechnik, die Verstärkertechnik und überhaupt all das, was man in unseren Tagen unter dem Begriff »Elektronik« zusammenzufassen

versucht. Dem Zurückschauenden bietet sich heute ein eigenartiges Bild: Die zunächst rein wissenschaftlich, d. h. um ihrer selbst willen, betriebene Forschung und die oft von ganz verschiedenen Punkten ausgehenden Ströme der Erkenntnis bewegen sich merkwürdig zielstrebig und sinnvoll auf zunächst noch verborgene, große technische Aufgaben hin. Ein solches damals noch verstecktes Ziel ist z. B. die Verstärkeröhre, jener »Zauberstab« im Reiche der Elektrotechnik, wie C. F. VON SIEMENS sie gelegentlich genannt hat.<sup>2)</sup>

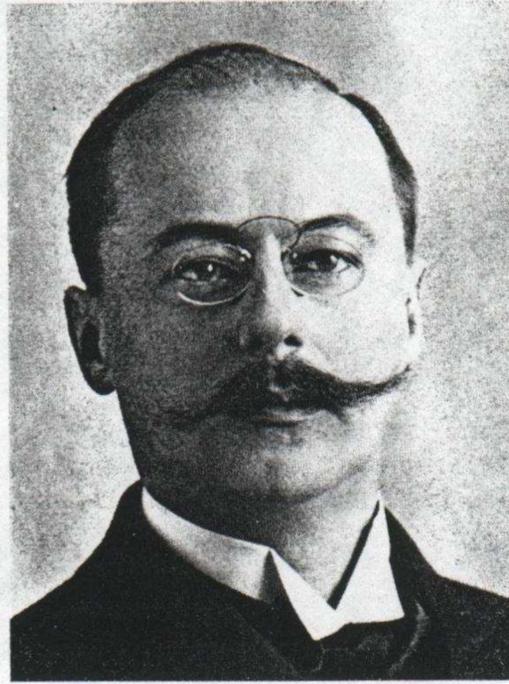
Ausgehend von den spielerischen Demonstrationen eines H. GEISSLER und den tastenden Versuchen eines J. PLÜCKER hatte sich über W. HITTDORF, W. CROOKES, E. GOLDSTEIN, H. HERTZ, und P. LENARD eine exakte Physik der Kathodenstrahlen herausgebildet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen vereinigten sich mit Überlegungen, die – fußend auf M. FARADAYS Äquivalentgesetz – über SVANTE ARRHENIUS, H. V. HELMHOLTZ, H. A. LORENTZ, J. LARMOR, J. J. THOMSON zur Definition des »Elektrons«, der schon von J. STONEY (1874) erstmals so bezeichneten negativen Elementarladung, führten. Eine andere Forschungsrichtung, die sich seit dem 18. Jahrhundert mit der elektrischen Leitfähigkeit der Luft in der Nähe erhitzter Metalle beschäftigte, geht über E. BECQUEREL, F. GUTHRIE, J. ELSTER und H. GEITEL, TH. EDISON, W. PREECE u. a. zur Theorie der thermoelektrischen Emission von O. W. RICHARDSON (1901) und schließlich zur WEHNELTSchen Oxydkathode (1903).

Die Jahrhundertwende brachte übrigens auch in den bis auf E. TORRICELLI und O. V. GUERICKE zurückgehenden Bemühungen um die Herstellung luftverdünnter Räume, bei denen man sich z. Z. Geißlers und Toeplers noch recht umständlicher Anordnungen bediente, einen entscheidenden Fortschritt: W. KAUFMANN und W. GAEDE führten 1905 rotierende Quecksilberpumpen ein, denen 1912 bzw. 1915 Molekular- und Quecksilberdampfstrahlpumpen folgten. Hiermit war eine wichtige Voraussetzung für die neuzeitliche Hochvakuumtechnik geschaffen. Die Welt der Physik und Technik war also damals mit neuen Denkmöglichkeiten geradezu gesättigt. Wie sehr die Dinge »in der Luft lagen«, geht aus den in der Folgezeit fast gleichzeitig und in vielen Punkten ähnlich ablaufenden technischen Entwicklungen in den einzelnen Ländern hervor, zumal sie oft völlig unabhängig voneinander erfolgten. Aber noch fehlten die auslösenden Momente.

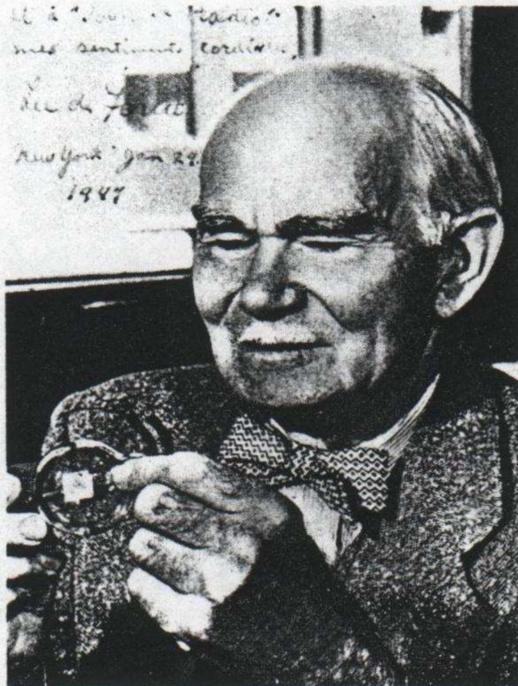
\* Herrn Prof. Dr. Spandöck (Siemens-Archiv) und seinen Mitarbeitern gebührt unser Dank für tatkräftige Unterstützung bei der Ermittlung einzelner Fakten. Den Herren Prof. Dr. Schottky, S. Ganswindt, Dr. Gruschke und Dr. Hölzler möchten wir für wertvolle Hinweise auch an dieser Stelle danken.



THOMAS ALVA EDISON  
1847-1931  
(Foto Deutsches Museum München)



ARTHUR WEHNELT  
1871-1944  
(Foto Deutsches Museum München)



LEE DE FOREST  
1873-1961  
(Siemens-Archiv)



ROBERT VON LIEBEN  
1878-1913  
(Siemens-Archiv)

### Technische Probleme rufen die Erfinder auf den Plan

Die eigentlichen Impulse zur Erfindung der Verstärkeröhre entsprangen zwei verschiedenen technischen Aufgabenstellungen: Die auf den physikalischen Versuchen von H. Hertz (1888) und den technischen Pionierarbeiten von G. MARCONI (1895) und F. BRAUN (1898) aufbauende drahtlose Nachrichtentechnik suchte für die elektrischen Wellen nach einem Indikator, der zuverlässiger und empfindlicher sein sollte, als der bis dahin meist verwendete BRANLYsche Kohärer oder der Kristalldetektor. 1904 schlug J. A. FLEMING die Verwendung einer Zweielektrodenröhre mit Glühkathode als Gleichrichter vor. Im Jahre 1907 verbesserte LEE DE FOREST die Flemingsche Röhre durch Einfügung eines Steuergitters zwischen Kathode und Anode, wie es im Prinzip auch bereits P. Lenard (1903) bei seinen Kathodenstrahluntersuchungen

verwendet hatte. Damit hatte Lee de Forest zwar die Grundkonzeption der späteren Dreielektrodenröhre geschaffen, benutzte jedoch seine als »Apparat zur Verstärkung« bezeichnete Anordnung in den ersten Jahren eigentlich nur als Detektor. Die richtige Gestaltung, Dimensionierung und Funktionsweise der zugehörigen Schaltung wurde erst später erkannt.

Eine von vornherein einfachere und klarere Aufgabe stellte damals die Technik der drahtgebundenen Nachrichtenwege. Hier handelte es sich darum, die Sprechströme, die längs der Leitung an Intensität eingebüßt hatten, formgetreu zu verstärken. Versuche in dieser Richtung wurden auch in unserem Hause schon frühzeitig (1910/11) betrieben. Zunächst bediente man sich dazu eines elektromagnetisch gesteuerten, nicht sehr konstant arbeitenden Relais, einer Konstruktion des

Engländer S. G. BROWN, die später mit einem Kohlemikrophon kombiniert wurde. Die von der damaligen Übertragungstechnik gestellte Aufgabe, ein möglichst trägheitsfreies Relais zu schaffen, verfolgte der österreichische Physiker Robert v. Lieben mit leidenschaftlichem Eifer. Nachdem er schon 1906<sup>3)</sup> vorgeschlagen hatte, ein – damals allerdings noch magnetisch gesteuertes – Kathodenstrahlenrelais zur Lösung der Aufgabe zu benutzen, versahen er und seine Mitarbeiter 1910<sup>4)</sup> seine mit einer Oxydkathode ausgerüstete Röhre mit einem elektrostatisch wirkenden Steuergitter. Durch Einführung einer geeigneten elektrischen Vorspannung an diesem Gitter konnten sie Sprachschwingungen einwandfrei – d. h. nahezu unverzerrt – mit dieser Röhre verstärken.

Robert v. Lieben und seine Mitarbeiter hielten allerdings ziemlich lange an zwei völlig unwesentlichen Merkmalen ihrer Röhren fest, an dem unnötigen und störenden, relativ hohen Gehalt an Quecksilberdampf und an ihrer für heutige Begriffe unförmigen Größe; überdies wurde die weitere Entwicklung, wie wir sehen werden, durch andersartige Untersuchungen entscheidend beeinflusst. Überhaupt ist die Erfindung der Elektronenröhre in Wirklichkeit ein außerordentlich vielschichtiger Vorgang gewesen, bei dem zahlreiche Menschen unentbehrliche Zuarbeit geleistet haben. Deshalb wäre es auch kaum gerechtfertigt, mit dieser Erfindung nur einen bestimmten Namen zu verbinden.

#### **Die Industrie organisiert Entwicklung und Produktion**

Angesichts der überragenden Bedeutung, die ein mit gesteuertem Ladungsdurchgang arbeitender Verstärker für die gesamte Nachrichtentechnik bekommen mußte, im Hinblick aber auch auf das Risiko und die nicht geringen Unkosten der ersten Entwicklungsarbeiten schlossen sich in Deutschland die bereits im Geleitwort genannten vier Unternehmen der Elektroindustrie zusammen, um die Patente Robert v. Liebens und seiner Mitarbeiter E. REISS und S. STRAUSS zu erwerben und gemeinsam auszuwerten. Das war der Zweck des am 19. Februar 1912 gegründeten Lieben-Konsortiums.

Vor allem galt es damals, durch Laboratoriumsversuche die Brauchbarkeit der Lieben-Röhre in der vertraglich festgesetzten Optionszeit von 9 Monaten zu überprüfen. Hierzu unterhielten die Unternehmen unter Führung der AEG ein gemeinsames Laboratorium. Unabhängig davon hatte die Siemens & Halske AG eine eigene Entwicklungsstätte unter Leitung von Professor H. Gerdien in ihrem physikalisch-chemischen Laboratorium. Dort waren nämlich schon früh Entwicklungsvorschläge<sup>5)</sup> und entsprechende Untersuchungen (RAGMAR HOLM ab 1911) getätigt worden, die die Steuerung einer Glimmentladung zum Ziel hatten. Dies hatte u. a. auch schon zu Vergleichsversuchen mit der Lieben-Röhre und teilweiser Verwendung von deren Steuerungsmethoden

geführt, so daß auf diesem Gebiet bereits eine gewisse Sachkunde bestand.

Die von Robert v. Lieben verwendeten Glasgebilde fanden allerdings in der ersten Zeit nicht überall Anerkennung und Zustimmung, wie aus einem Brief<sup>6)</sup> von Prof. Gerdien hervorgeht, in dem er den Ausspruch eines Skeptikers zitiert: »... Sie werden doch nicht im Ernst glauben, daß es möglich sein wird, in einem Telefonamt eine Vakuumröhre zu verwenden...«

Immerhin, die Prüfung der Liebenröhre schien zu einer positiven Beurteilung zu führen. »Die ersten Versuchsergebnisse sind befriedigend... Gleichwohl wird noch viel Arbeit zu leisten sein, ehe das Telephon-Relais ein zuverlässiges Betriebsmittel wird...«, steht im Jahresbericht der Firma zu lesen<sup>7)</sup>.

So wurden die Lieben-Patente von dem Konsortium endgültig erworben: dabei ist es interessant festzustellen, daß neben einer einmaligen größeren Abfindung dem Erfinder für »jede fakturierte Röhre« eine Lizenzgebühr von 18 Goldmark zu zahlen war. Außerdem mußte für jedes Gerät, das mit diesen Röhren bestückt wurde, eine Lizenz von 3 Goldmark entrichtet werden<sup>8)</sup>.

Der Weg schien zwar jetzt zunächst frei von patentlichen Behinderungen. Man darf jedoch nicht glauben, daß in den folgenden Jahren in dieser Beziehung alles reibungslos ablief. Im Jahre 1914 entstand bezüglich des Gitters ein heftiger Urheberstreit zwischen E. Reiß und Lee de Forest. Außerdem hatte die Vereinigte Telephon- und Telegraphenfabrik Aktien-Gesellschaft Czeija, Nissl in Wien gegen die Patente Nichtigkeitsklage erhoben; erst im Jahre 1918 wurde diese Klage vom Reichsgericht abgewiesen. Und immer wieder finden sich in den Geschäftsberichten dieser Jahre Mitteilungen über Verhandlungen zur Neugestaltung der Lizenzverpflichtungen.

#### **Theorie und Experiment klären die Wirkungsweise des neuen Bauelementes**

Über die ursprünglichen Ideen und Versuchsanordnungen Robert v. Liebens wuchs die Verstärkerröhren-Entwicklung sehr bald hinaus. Ein neues, den weiteren Verlauf entscheidend beeinflussendes Moment trat dadurch ein, daß das Verhalten von Elektronenströmen im völlig gasfreien Raum bekannt und experimentell nachgeprüft worden war. I. LANGMUIR hatte in den Jahren 1913–1915<sup>9)</sup> das vorher nur für Ionenströme zwischen ebenen Elektroden errechnete  $U^{3/2}$ -Gesetz (C. D. CHILD 1911)<sup>10)</sup> auf Elektronen und zylindrische Ausbreitung übertragen, nachdem er, unterstützt von der General Electric Comp., erstmals Hochvakuumröhren hergestellt und patentlich geschützt hatte.<sup>11)</sup> Kunde von dieser Entwicklung brachten die im ersten Weltkrieg erbeuteten Röhren, die in ihrer vergleichsweise kleinen Bauweise und der zylindrischen Elektrodenanordnung auf die ursprüngliche de Forestsche Konzeption hindeuteten.



ker«<sup>13)</sup>, »Zur Raumladungstheorie der Verstärkerröhren«<sup>14)</sup>, die »experimentelle Untersuchung des Schrotteffektes an Glühkathodenröhren«<sup>15)</sup>. Die in diesen Arbeiten insbesondere<sup>13)</sup> mitgeteilten Untersuchungen hatten schon früh zu wichtigen Patentanmeldungen geführt. Die zylindrische Raumladegitterröhre (1915)<sup>16)</sup> und die (später als Tetrode bezeichnete) Schirmgitterröhre (1916)<sup>17)</sup> – Pionierleistungen auf dem Gebiet der Verstärkerröhren – verdanken den mit exakten quantitativen Ansätzen durchgeführten Überlegungen Schottkys ihre Entstehung.

Die Fertigung, allmählich auf Serien umgestellt, erhielt vom Laboratorium her fortgesetzt neue Anregungen. Wieviel Kleinarbeit, Einzelversuche und Messungen erforderlich waren, kann nur der beurteilen, der die sorgfältigen Versuchsaufzeichnungen kennt, die Dr. Schottky damals über seine Arbeiten gemacht hat. Es ist hier nicht möglich, auf alle neu gewonnenen Erkenntnisse und die Vielzahl der Versuchstypen im einzelnen einzugehen. Im folgenden soll nur gezeigt werden, wie aus einer kleinen Laborfertigung bei Siemens & Halske im Lauf der Zeit eine moderne Fabrik für Elektronenröhren erstand. Der Rahmen dieses Berichtes erlaubt es leider nicht, daß wir uns mit den mehr oder weniger gleichzeitigen Entwicklungen in anderen europäischen Ländern und in den USA<sup>18)</sup> befassen.

### Tantal, ein idealer Werkstoff für das Hochvakuum

Wertvolle Vorarbeit für die technologische Seite unserer Röhrenentwicklung hat – wenn auch unbewußt und indirekt – DR. W. BOLTON geleistet, dem es 1903 bei seinen Arbeiten im Glühlampenwerk der Siemens & Halske AG zum erstenmal gelungen war, Tantal in duktiler Form her-

zustellen. Er fertigte daraus die ersten gezogenen metallischen Leuchtfäden für Glühlampen. In den Jahren 1905–1909 gewann das Tantal in der Glühlampenherstellung, wo es die Kohlenfadenlampen völlig verdrängte, eine überragende Bedeutung. Solang man die Bearbeitung des Wolframs noch nicht beherrschte, hatte die Firma Siemens in der Herstellung der den Kohlenfadenlampen weit überlegenen Metallfadenlampen eine Monopolstellung in der Welt.

Aber auch in der Röhrenindustrie fand Tantal wegen seiner vorzüglichen physikalischen und chemischen Eigenschaften, z. B. der Getterwirkung, rasch Eingang, vorzugsweise als Anoden- und Gitterdraht-Material. Bis zum Jahre 1945 blieb die Siemens & Halske AG in Europa die alleinige Herstellerin von Tantal, beginnend mit der chemischen Gewinnung des reinen Metallpulvers aus dem Erz (Tantalit) über den komplizierten Sintervorgang bis zu dem fertigen Produkt in Form von Blechen, Drähten, Rohren usw. Wegen seiner chemischen Indifferenz und seiner leichten Bearbeitbarkeit ist Tantal auch für andere Industriezweige, u. a. für die chemische Industrie, ein wichtiger Werkstoff geworden.

### Die ersten Siemens-Röhren

Anfangs stellten Glasbläser und Mechaniker die erforderlichen Röhren in mühsamer Handarbeit in einer Versuchswerkstatt her. Schon 1914 hatte man sich sowohl bei Siemens als auch bei Telefunken entschlossen, sobald wie möglich, von den Quecksilberdampf enthaltenden Lieben-Röhren zu Hochvakuumröhren überzugehen. Die ersten derartigen Röhren in Deutschland wurden 1914 im Glühlampenwerk der Siemens & Halske AG von PROFESSOR M. PIRANI, dem späteren Leiter der Osram-Studien-Gesellschaft, gebaut. Die alte Lieben-



Bild 2 Tantal (Ausgangserzeugnisse und Halbzeuge)

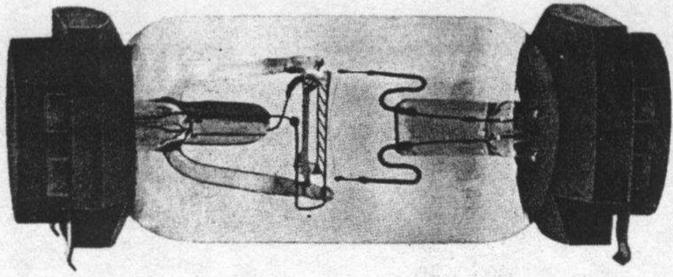


Bild 3 A-Röhre  
Erste Siemens-Hochvakuum-Verstärkerröhre in fabrikmäßiger Ausführung (Kathode ungefedert, Stanzgitter)

Röhre mit ihren unnötig großen Abmessungen wurde damit durch Röhren mit wesentlich kleineren Bauformen abgelöst. Mit einem solchen neuen Röhrentyp, der »A-Röhre«, konnte bei Siemens bereits 1915 unter Leitung von DR. E. THÜRMELE und seiner Mitarbeiter, DR. G. GRUSCHKE und B. POHLMANN, im »Laboratorium Versuche P«, dem sog. Pupin-Labor (das dem Kabel-Vertriebsbüro unter DR. A. EBELING angegliedert war) die erste serienmäßige Herstellung aufgenommen werden. Während des ersten Weltkrieges waren diese A-Röhren in Zwei- und Vierdrahtverstärkern für den Fernsprechtweitverkehr, z. B. auf der Strecke Charleroi-Bukarest, eingesetzt.

Der Aufbau der Röhren war für unsere heutigen Begriffe noch reichlich primitiv: eine ungefederte, in leichtem Bogen gespannte, fadenförmige Wolfram-Kathode, ein flaches, gestanztes Gitter und eine glatte Blechplatte als Anode waren die Elektroden. Die Zuleitungen in Form von Federklemmen waren außen in Hartgummiplatten gehalten.

In rascher Folge änderten sich die Konstruktionen: Die bisherigen plumpen seitlichen Zuführungen wurden durch Stifte an der Fußseite der Röhren ersetzt; damit war die auch uns Heutigen noch vertraute äußere Grundform gefunden. Die Kathode wurde gefedert, auch die Gitterkonstruktionen wandelten sich und eine große Zahl neuer Typen legte von der unermüdlichen Arbeit des Pupin-Laboratoriums Zeugnis ab.

Im Jahresbericht 1916/17<sup>19)</sup> lesen wir: »... Es ist gelungen, ein Verstärkerrohr für stärkere Ströme herzustellen, das in erster Linie für die Mittelschaltungen\* dienen soll, welche in langen Fernsprechleitungen zur Hebung der Lautstärke eingeschaltet werden. Mit diesen Röhren haben wir einen ausgezeichneten Ersatz für das eigentliche Liebenrohr geschaffen, das eine Reihe für den Betrieb unerwünschter Eigenschaften\*\* besaß, die nunmehr vermieden sind...« Gemeint sind hier leistungsstarke Trioden mit besonders starken Heizfäden. Übrigens wird in diesem Bericht auch zum ersten Mal die Röhre als Schwingungserzeuger erwähnt: »...Eine weitere Verwendung findet die Verstärkerröhre in der drahtlosen

\* Damalige Bezeichnung für die Zweidraht-Zwischenverstärker

\*\* U. a. waren die Eigenschaften der Liebenröhre, die ionisierten Quecksilberdampf enthielt stark, temperaturabhängig.

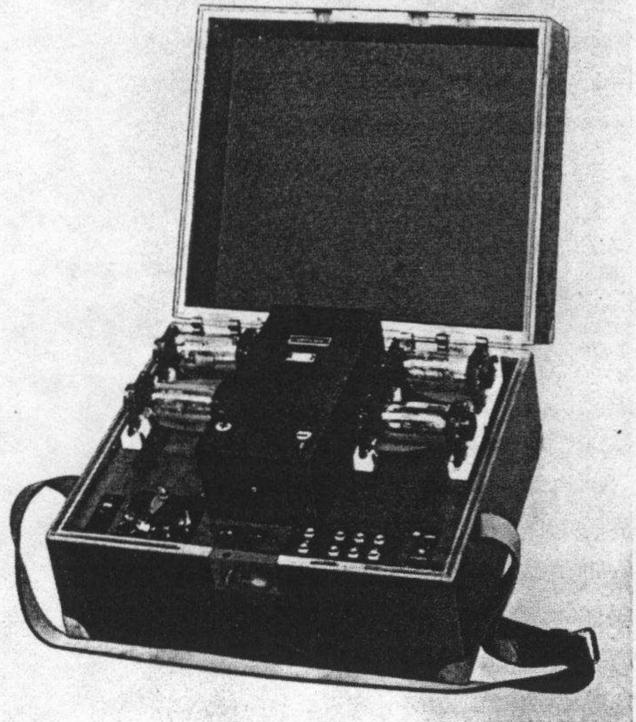


Bild 4 Verstärker mit vier A-Röhren bestückt, sog. Vierer-Kasten

Telegraphie zur Erzeugung von Sendeströmen als Schwingungsröhre...«

Gegen Ende des Krieges kamen auch die sog. Schottky-Schutznetz-Röhren noch zum Einsatz, mit deren Hilfe es gelang, die bisher als Verstärker gebräuchlichen »Viererkästen« durch »Zweierkästen« zu ersetzen. Mit

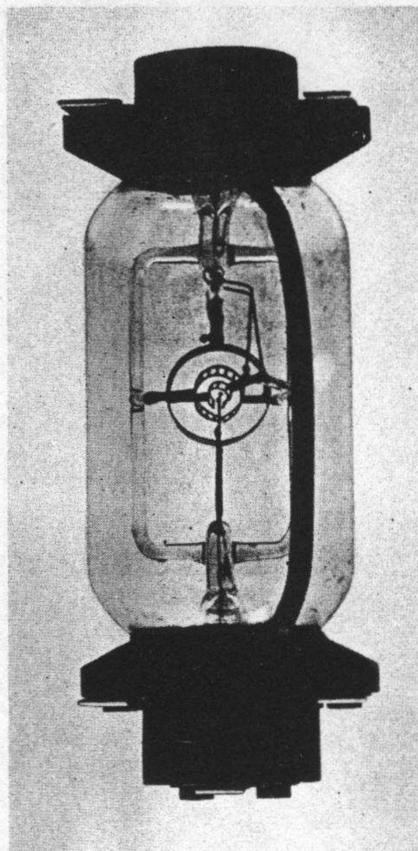


Bild 5  
Schottky-Schutznetz-Röhre.  
Zylindrischer Aufbau mit zwei  
Gittern. Die Gitter sind in  
Achsrichtung nicht  
geschlossen, um den Einbau  
der Kathode zu erleichtern

dem wachsenden Bedarf an Röhren wurde 1917 eine erste eigentliche Röhrenfertigung in besonderen Räumen in Berlin, Alt-Moabit eingerichtet. Dort wurden die A-Röhren hergestellt und ein erster Auftrag über 3500 Stück Schottky-Schutznetz-Röhren ausgeführt. Auch die Fabrikation der Eisenwasserstoff-Widerstände lief dort an. Der Jahresbericht erwähnt, daß bereits ein nennenswerter Anteil des Bestelleingangs auf Röhren fällt.

### Rückschläge können nicht entmutigen

Dieses erste Aufblühen der Fertigung brach jedoch 1918 mit dem Ende des Ersten Weltkrieges jäh ab. Es liefen zwar Entwicklungsarbeiten an End- und Zwischenverstärkern, »die mit Verstärkerröhren unter einfachen Verhältnissen arbeiten« und »guten Erfolg versprechen«<sup>20)</sup>, aber der Röhrenbedarf hierfür war zunächst nur gering. Auf dem Gebiet der drahtlosen Telegraphie »...stehen die Konstruktionsarbeiten im Zeichen der Kathodenröhren... doch befindet sich die ganze Entwicklung noch im Anfangsstadium«<sup>21)</sup>. So muß man sich dazu entschließen, die Fertigung der Verstärkerröhren in Alt-Moabit einzustellen und in verkleinertem Umfang vorübergehend dem Wernerwerk I einzugliedern, »da der Bedarf an Verstärkerröhren in absehbarer Zeit nicht bedeutend sein wird...«<sup>22)</sup>

»So hat die Herstellung dieser Verstärkerröhren uns sehr bedeutende Erfahrungen verschafft, die uns für die Friedensaufgaben auf dem Gebiet der Fernsprechverstärker gut zustatten kommen werden...«<sup>23)</sup>

Diese Bemerkungen der Geschäftsberichte lassen erkennen, daß man trotz der damaligen schlechten Geschäftslage nicht gewillt war, die Röhrenfertigung ganz einzustellen. Hatte man doch klar erkannt, daß der Verstärker der Zukunft in erster Linie ein Röhrenverstärker sein würde.

### Glasbläser standen damals hoch im Kurs

Glücklicherweise wirkten sich verschiedene Verträge bald wieder günstig auf die weitere Produktion aus. Mit

PROF. E. MARX hatte das Lieben-Konsortium einen Vertrag über die Verwendung von Verstärkerröhren mit Erd-Alkali-Kathoden abgeschlossen. Mit der AEG wurde ein bestehender Vertrag dahingehend erweitert, daß sämtliche Schutzrechte auf dem Röhrengebiet, soweit sie das Nachrichtengebiet betrafen, ausgetauscht werden sollten.

So waren für die Fertigung zwar neue Möglichkeiten gegeben, doch zeigten sich auch neue Schwierigkeiten, wie der Geschäftsbericht erkennen läßt: »...Der Grund dafür liegt einmal darin, daß dieses Gebiet stark in Entwicklung begriffen ist, zum anderen aber darin, daß wir mit den Glasbläsern große Schwierigkeiten hatten. Der Umstand, daß diese, von denen wir nur hochwertige Arbeitskräfte gebrauchen können, dem Metallarbeiter-tarif unterliegen, erschwerte es außerordentlich, Personal zu bekommen und zu halten. Da sich kein Ausweg aus diesen Schwierigkeiten fand, andererseits aber die gesamten Fernkabelanlagen mit ihren kostspieligen Kabeln auf eine regelmäßige Lieferung der Verstärkerröhren angewiesen sind, entschloß man sich dazu, für die Fabrikation der Verstärkerröhren eine besondere Gesellschaft zu gründen, welche, sobald das zur Fabrikation notwendige Gebäude errichtet ist, die Herstellung der Verstärkerröhre übernehmen soll...«<sup>24)</sup>

Diese trug den Namen »Gesellschaft für technische Glaswaren GmbH« und wurde kurz **TEGLA** genannt. Sie erhielt einen zweistöckigen Stein-Fachwerkbau mit 3000 qm Arbeitsraum in der Straße 63 (später Holtzdam genannt) in der Jungfernheide.

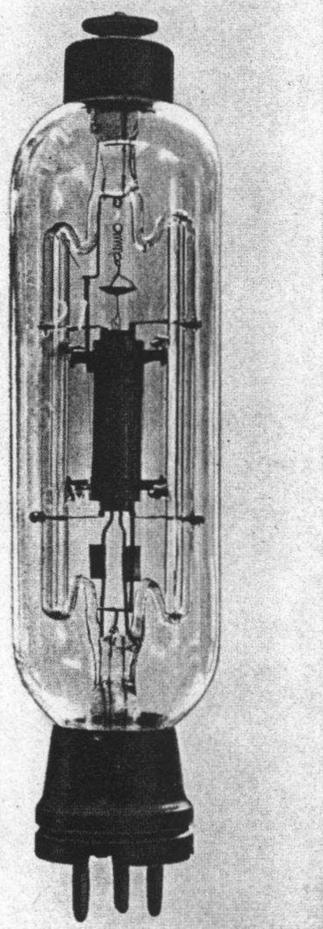


Bild 6 »Kraftverstärkerröhre« VS 27. Typisch für diese Röhren der 20er Jahre ist der komplizierte Glasaufbau zur Halterung des Systems



Bild 7 Techn. Glaswaren GmbH. (»TEGLA«), Berlin-Charlottenburg, Holtzdam

Im Jahre 1921 wurde der geplante Bau fertiggestellt. Ein großer Saal im Erdgeschoß (etwa 500 qm) diente als Pumpraum, gegenüber befand sich die Glasbläserei. Im Obergeschoß waren die mechanische Werkstätte, das Laboratorium mit einer Versuchswerkstatt und die Büros untergebracht.

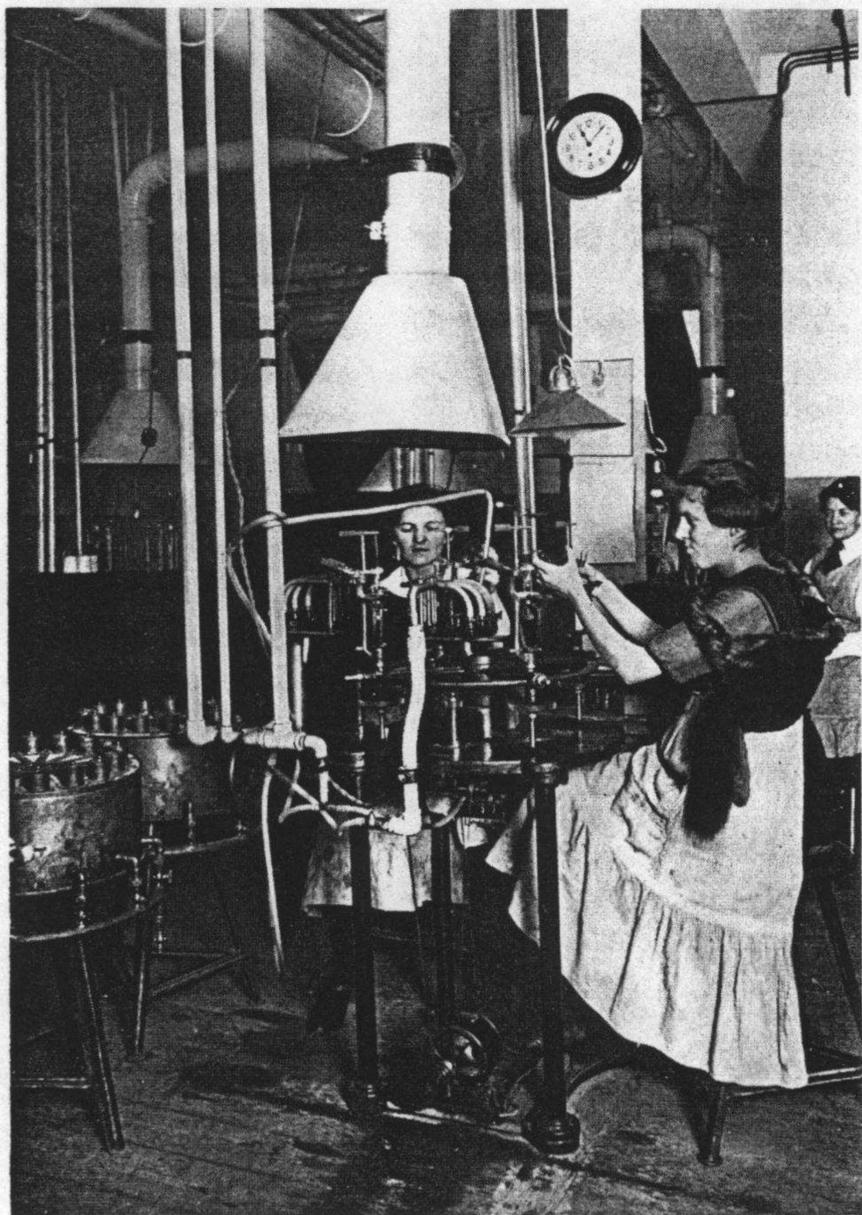


Bild 8 Quetschmaschine für Tellerfüße (TEGLA 1922)

### Die Röhrenentwicklung wird vom Zentral-Laboratorium übernommen

Organisatorisch wurden zu dieser Zeit im gesamten Wernerwerk umwälzende Änderungen durchgeführt. Durch Direktions-Rundschreiben von DR. FRANKE vom 18. Juni 1921 wurden die verschiedenen Entwicklungslaboratorien zum Zentral-Laboratorium unter DR. LÜSCHEN zusammengefaßt, einer Einrichtung, die heute mit ihren etwa 1000 Wissenschaftlern und Ingenieuren ein gewaltiger technischer Führungsstab unseres Hauses geworden ist. Der Abteilung 3 dieses ZL oblag die Röhrenentwicklung unter PROF. A. GEHRTS. Außerdem wurden dem Laboratorium die Handglasbläserei und der Pump- raum unterstellt, da sich diese bis zu einem gewissen Grade noch im Versuchsstadium befanden.

Im darauffolgenden Jahr, am 25. März 1922, wurde die Verstärkerabteilung unter Leitung von DR. GRUSCHKE

ins Leben gerufen, die nun den Vertrieb der Röhren übernahm<sup>25)</sup>.

Zur Verbesserung der Röhrenqualität wurde Wolfram-Einkristall-Draht, ein Erzeugnis der Firma Julius Pintsch AG Berlin, mit deren Einvernehmen als Kathodenmaterial eingesetzt. Im übrigen galt die Hauptaufmerksamkeit der Verbesserung und weiteren Durchbildung der Fabrikationsmethoden. Der Ausstoß in diesem Jahre (1921/22) betrug 17 094 Verstärkerröhren und 11 429 Eisen-Wasserstoff-Widerstände<sup>26)</sup>. Wenn man bedenkt, daß die damalige Fertigung weitgehend noch handwerklichen Charakter hatte, daß der komplizierte Glasaufbau ausschließlich von Glasbläsern gefertigt wurde und noch keinerlei Automaten zur Verfügung standen, muß man zugeben, daß dies eine beachtliche Leistung war, die von der kleinen Belegschaft von etwa 300 Personen vollbracht wurde.

Im Laboratorium war man bemüht, die wenig ergiebige Wolframkathode durch die Erdalkali-Oxydkathode zu ersetzen. Diese Entwicklung war 1923 so weit gediehen, daß der Reichspostverwaltung die ersten Muster von Oxydkathoden-Röhren für Verstärkerämter übergeben werden konnten<sup>27)</sup>. Es waren dies überhaupt die ersten Verstärkerröhren mit Oxydkathoden, die in Deutschland auf den Markt kamen<sup>28)</sup>.

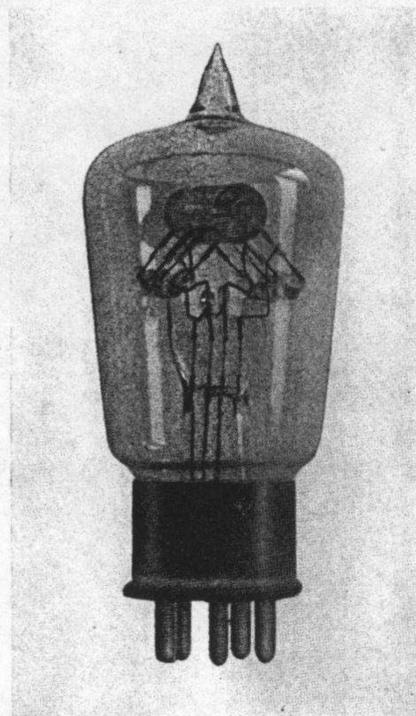


Bild 9 BO-Röhre  
Erste technische Röhre  
mit Oxydkathode

Damit wurde die Lebensdauer der Röhren, die trotz aller Bemühungen bei Wolfram-Kathoden unbefriedigend blieb (Mittelwert etwa 1500 Std.), sprunghaft erhöht, die Lizenzgebühren für die Wolfram-Einkristalldrähte entfielen.

### Die ersten Rundfunk-Empfängerröhren

Da jedoch die Fertigungsanlagen mit dem noch bescheidenen Bedarf an Verstärkerröhren für die Post nicht voll ausgelastet waren, wurde »...das Empfängerrohr für den Liebhaber-Funkempfang, freilich nach sehr langwierigen Vorarbeiten...« in die Fertigung aufgenommen<sup>29)</sup>.

Von diesen ersten Rundfunk-Empfängerröhren sind die Audionröhren – nach ihren in roten Lack getauchten Glaskolben »Rotkäppchen« genannt – allen alten Radioamateuren und Röhren-Fachleuten noch heute in Erinnerung. Auch »Kleinsende- und Großverstärkerröhren« erschienen im Typenprogramm, womit die Vakuumröhre sich weitere Anwendungsgebiete eroberte. Schließlich waren auch die Entwicklungsarbeiten an Kleingleichrichterröhren mit Edelgasfüllung (Argon) so weit gediehen, daß mit ihrer Fabrikation begonnen werden konnte.

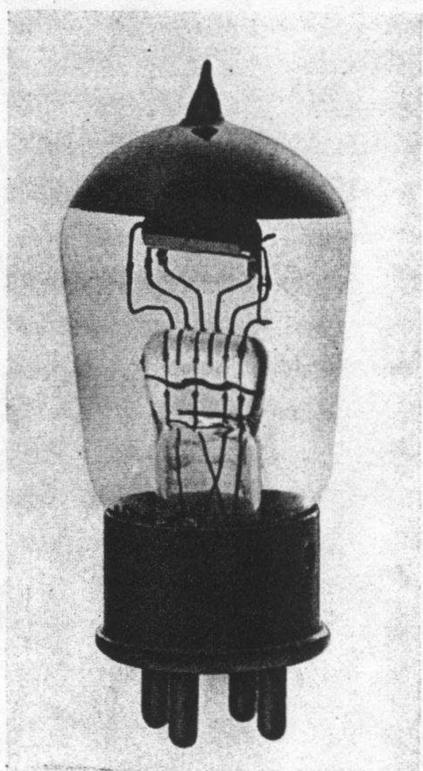


Bild 10 Rundfunkröhre  
RE 86, 1923/24  
(»Rotkäppchen«)

Nach diesen Jahren des Aufbaues konnte in der Folgezeit »von einer wirklichen Fabrikation« gesprochen werden; der Jahresausstoß hatte die Einhunderttausender-Grenze überschritten. Nach und nach wurden die wichtigsten Typen auf solche mit Oxydkathoden umgestellt, so daß ab 1924 für Fernsprechzwecke, für die Tonfrequenz-Telegraphie und den Rundfunk nur noch Oxydkathodenröhren gefertigt wurden. Die durchschnittliche Lebensdauer der Poströhren war auf 5000 Std. angestiegen.

Die Herstellung der Rundfunkröhren wurde 1923/24 an die Osram GmbH abgegeben, während sich die TEGLA in der Folge mit ihrem Röhrenprogramm ganz auf die Bedürfnisse der Nachrichtentechnik einstellte.

### Die Oxydkathode – in der ersten Zeit ein Sorgenkind!

Die größte Sorge bereitete anfangs die Herstellung der direkt geheizten Oxydkathode. Zunächst wurde auf das als Träger verwendete Platin-Iridium-Band eine dünne Kalziumoxydschicht aufgestrichen und eingebrannt. Auf diese Haftschrift wurden dann mehrere Schichten eines in Paraffinöl aufgeschlemmten Gemisches von Bariumoxyd und Strontiumoxyd aufgetragen und durch elektrisches Erhitzen aufgeschmolzen. Da diese Oxyde der Erdalkalimetalle sehr hygroskopisch sind, mußten die fertig gestrichenen Kathoden unter Vakuum aufbewahrt

werden. Für den Einbau war nur eine kurze Zeitspanne zugelassen: Innerhalb einer Stunde die Kathode einsetzen, die Röhre einschmelzen und abpumpen, lautete die Vorschrift. Es ist also nicht verwunderlich, daß an besonders schwülen Sommertagen mit hoher Luftfeuchtigkeit die Fertigung zeitweise überhaupt stillstand. Da man damals noch keine klimatisierten Räume hatte, gab es auch mit dem Personal in der Glasbläserei an heißen Tagen Schwierigkeiten. Aus jener Zeit stammt der Stoßseufzer:

»Dr. Gehrts, der Röhrenkönig,  
baut jetzt Röhren, doch zu wenig.  
Wär' doch ihre Lebensdauer  
auch so »lang« wie ihr Erbauer!«

Erst im Jahre 1930 brachte die Herstellung der Oxydkathoden aus Karbonaten unter Verwendung von Platin-Nickelband als Trägermaterial eine wesentliche Vereinfachung im Fertigungsgang. Sie waren bedeutend unempfindlicher gegen klimatische Einflüsse. Auch die Lebensdauer der Röhren besserte sich jetzt beträchtlich; sie wurde nun mit 7500 Std. garantiert, wobei jedoch Spitzenwerte über 60000 Std.<sup>30)</sup> erreicht wurden. Noch heute werden damals entwickelte Röhrentypen, z. B. Ba-Röhren, allerdings in etwas modernerer Technologie, hergestellt und als Ersatzbestückung in älteren Verstärkersystemen benutzt.

Auch als die Arbeiten an der Oxydkathode aus dem Frühstadium reiner Empirie in systematische Forschung übergingen, waren Mitarbeiter unseres Hauses maßgeblich daran beteiligt (W. Espe<sup>31)</sup>, A. Gehrts<sup>32)</sup>, W. Schottky<sup>33)</sup>).

### Ein neuer Zweig der Fertigung: Gasgefüllte Röhren

Gleichrichterröhren mit Gasfüllung gewannen in diesen Jahren ständig an Bedeutung. Es entstand eine Reihe von Typen für 1 bis 30 A Ladestrom, die in großer Zahl, z. B. für das Aufladen der Radio-Akkumulatoren, verwendet wurden.

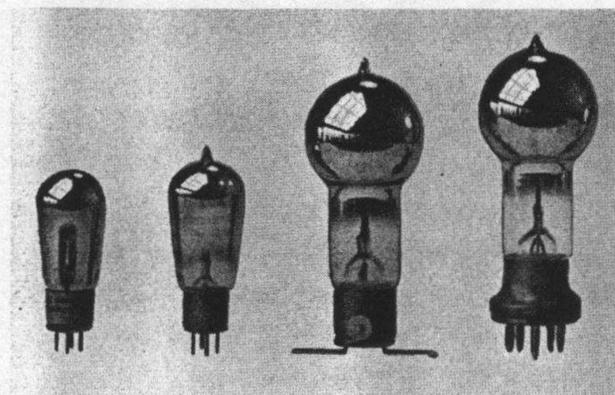
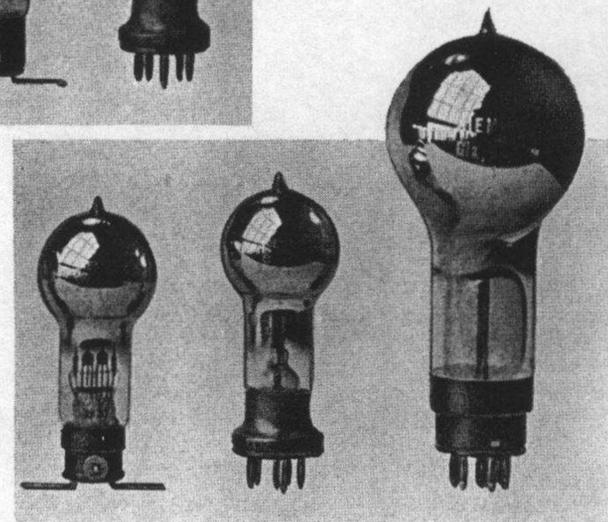


Bild 11  
Gasgefüllte  
Gleichrichterröhren mit  
Glühkathoden  
für 1 bis 10 A  
Ladestrom

Kathode: Thorierter Molybdändraht  
(später Oxydkathode)  
Anode: Ursprünglich Tantalblech  
(später Graphit)



Die älteren Bautypen dieser Röhren waren mit Anoden aus Tantal ausgerüstet, einem Material, das später durch Graphit ersetzt wurde; die Kathode wurde, in Umgehung hindernder Sperrpatente, aus thoriertem Molybdän hergestellt, bis schließlich auch hier die Oxydkathode eingesetzt werden konnte.

Der Bedarf war zeitweilig so groß, daß bei den Siemens-Reiniger-Werken in Rudolstadt eine Zweigfertigung für diese Typen eingerichtet werden mußte.

Die Weiterentwicklung führte in den folgenden Jahren zu den Stromtoren, die nunmehr überwiegend mit Quecksilberdampf arbeiteten und als Steuer- und Schaltorgane für militärische und friedliche Zwecke vielseitige Verwendung fanden.

Erwähnt sei noch, daß auch Vakuumschalter und Blitzschutzpatronen (Gasentladungsröhren), die als Überschlagsicherungen zum Schutz von Fernsprechanlagen eingesetzt werden, schon damals zu vielen Tausenden gefertigt wurden.

### Konstruktion von Senderöhren – Neue technologische Probleme

Ansätze einer Entwicklung kleinerer Typen von Senderöhren waren schon im Pupin-Laboratorium vorhanden. Die kommerziellen Nachrichtensender und die zahlreich

Anfang der dreißiger Jahre gebauten Rundfunksender erforderten indessen immer größere Hochfrequenzleistungen. Bis etwa 5 kW Nutzleistung ließ sich die in der Röhre entstehende Anodenverlustwärme noch gut durch Strahlung abführen. Darüber hinaus ergaben sich jedoch so große technische Schwierigkeiten, daß zusätzliche Kühleinrichtungen geschaffen werden mußten. Die Lösung brachte die wassergekühlte Senderöhre. Auf diesem Gebiet bestand mit Telefunken eine enge Zusammenarbeit, insofern als bei Siemens Entwicklung- und Fertigungsaufträge durchgeführt wurden. Geprüft und vertrieben wurden die Röhren von der Telefunken-Gesellschaft, die sich auf dem Siemens-Gelände in Berlin die für die Abnahme notwendigen Senderanlagen eingerichtet hatte. Die erste wassergekühlte Röhre mit einer Hochfrequenzleistung von 5 kW wurde von K. W. HAUSER im Jahre 1918 bei Telefunken gebaut. Es war dies eine Röhre mit Siedekühlung, ihrer Form wegen damals »Milchkanne« genannt. Im Jahre 1919 trat K. W. Hauser zu Siemens & Halske über und erhielt hier die Leitung des physikalisch-medizinischen Laboratoriums des Wernerwerks für Meßtechnik. Zusammen mit S. GANSWINDT setzte er hier die Entwicklung von Großleistungs-röhren, insbesondere von solchen mit Wasserumlaufkühlung fort. Diese hatten bereits Leistungen von 10 kW und befriedigten besser als die damaligen Röhren mit

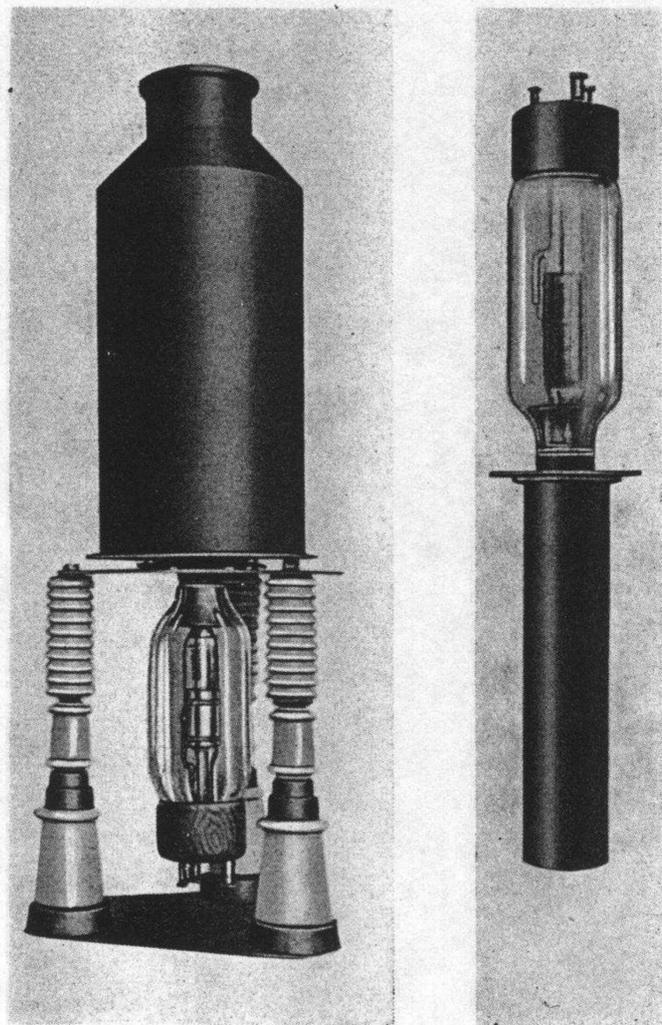


Bild 12 Senderöhren mit Außenanoden  
links: mit Siedekühlung (»Milchkanne«)  
rechts: für Wasserumlaufkühlung

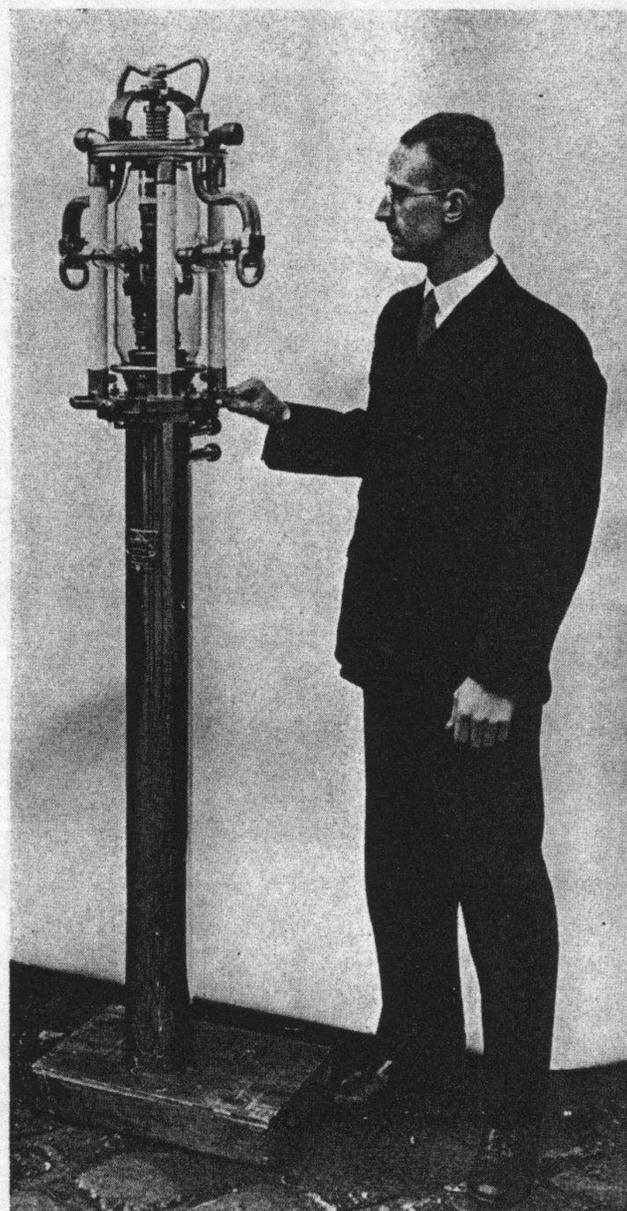


Bild 13  
300-kW-  
Senderöhre  
RS 300  
Erster Einsatz  
i. Sender Wien-  
Bisamberg,  
Frühjahr 1933  
(Auf der Welt-  
ausstellung  
Paris 1937  
mit dem  
Grand-Prix  
ausgezeichnet)

Siedekühlung. Bei ihrer Herstellung waren die Erfahrungen, die Siemens schon beim Bau von Röntgenröhren mit Ringeinschmelzungen gemacht hatte, von großem Nutzen.

Während die weitere Entwicklung strahlungsgekühlter Senderöhren damals hauptsächlich von Telefunken betrieben wurde, spezialisierte sich Siemens immer mehr auf die Herstellung von Großleistungsröhren mit zusätzlicher Kühlung. Um den für hohe Leistung erforderlichen großen Emissionsstrom der Wolframkathode zu erzielen, wurde zunächst der Kathodendraht länger und stärker gewählt; schließlich war man genötigt, mehrere Drähte parallel zu schalten. Aber auch mit dieser Konstruktion kam man bald an eine Grenze.

Zur Unterstützung von S. Ganswindt war im Jahre 1927 Dr. K. MATTHIES, der ursprünglich bei Telefunken im Senderlaboratorium tätig gewesen war, »leihweise« an unsere Röhrenentwicklung abgegeben worden. Nach etwa einem Jahr trat er endgültig zu Siemens über und war in der Folge an den weiteren Fortschritten maßgeblich beteiligt. Anfangs der dreißiger Jahre schufen S. Ganswindt und Dr. K. Matthies<sup>34)</sup> aus eigener Initiative ihre berühmte, erstmals im Sender Wien-Bisamberg eingesetzte Groß-

leistungsröhre RS 300 mit einer Hochfrequenz-Leistung von 300 kW. Diese Röhre hatte eine halb-indirekt geheizte, rohrförmige Niobium-Kathode, bei der das Magnetfeld des starken Heizstromes in geschickter Weise unschädlich gemacht wurde. Röhren dieser Bauart, später allerdings mit Tantalrohr-Kathoden, haben sich zwei Jahrzehnte lang als Endröhren in Großsendern bestens bewährt.

#### »Röhren« für den Starkstrom

Während in der dem Wernerwerk für Meßtechnik angeschlossenen Abteilung für Vakuumtechnik Groß-Senderöhren gebaut und in der TEGLA Kleinröhren gefertigt wurden, befaßte sich damals noch eine dritte Stelle unseres Hauses mit Aufgaben der Röhrentechnik. Die zunehmende Umstellung der Starkstromnetze von Gleichstrom auf Wechselstrom hatte der Entwicklung von Quecksilberdampf-Großgleichrichtern starken Auftrieb gegeben. Für eine Reihe von technischen Aufgaben benötigte man nach wie vor Gleichstrom, sei es für verschiedene elektro-chemische Prozesse, sei es zum Betrieb spezieller elektrischer Bahnen, wie etwa der Berliner S-Bahn. Diesen Aufgaben hatte sich der Großgleichrichterbau im Dynamowerk der Siemens-Schuckertwerke

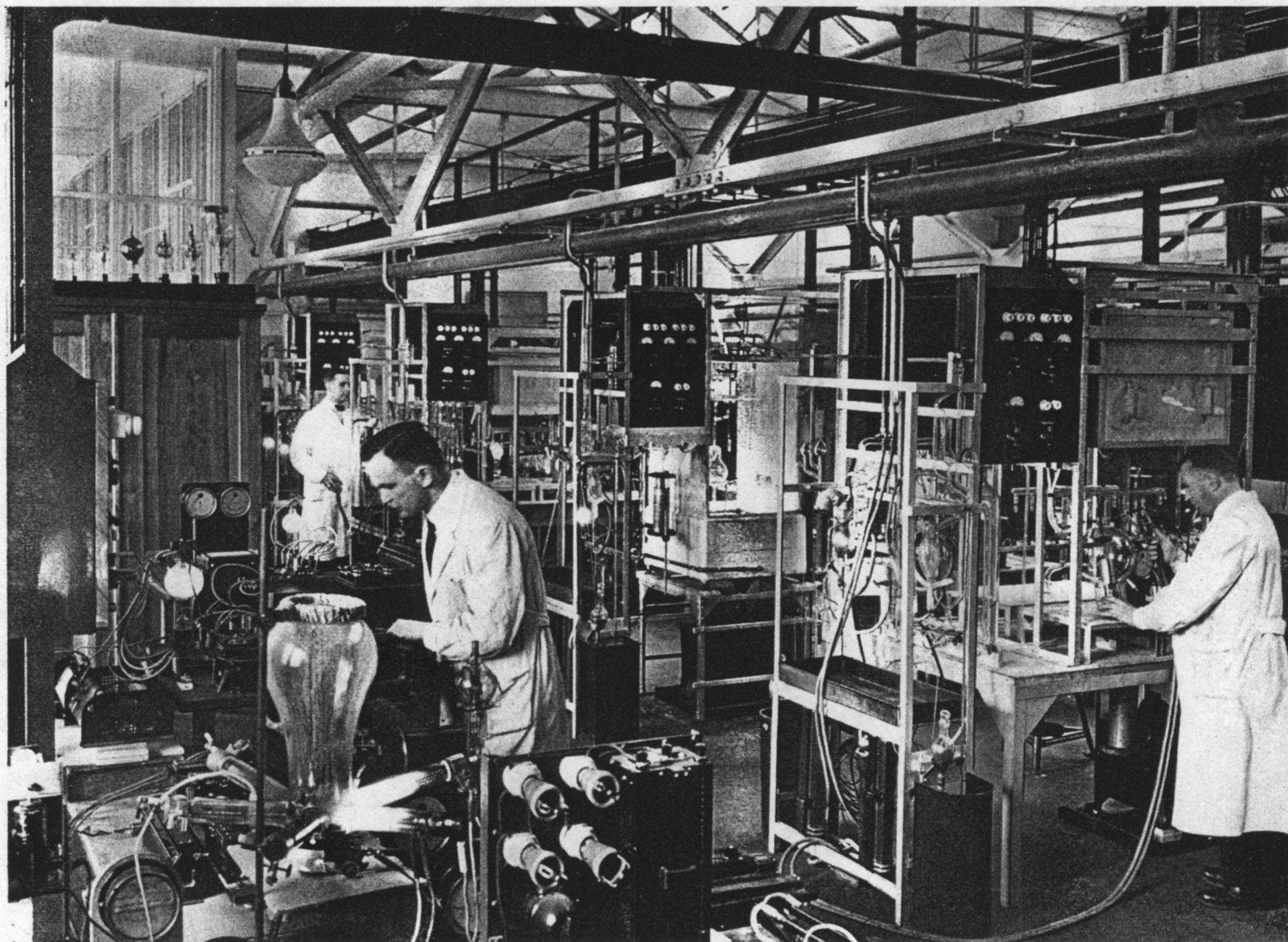


Bild 14 Siemens-Röhrenwerk, Röhrenlaboratorium (1934)

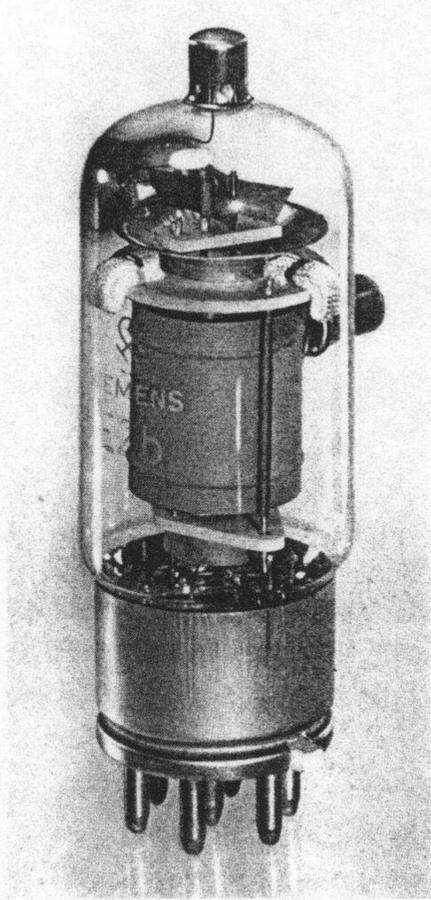


Bild 15 Erste europäische Breitband-Verstärkerröhre E2b

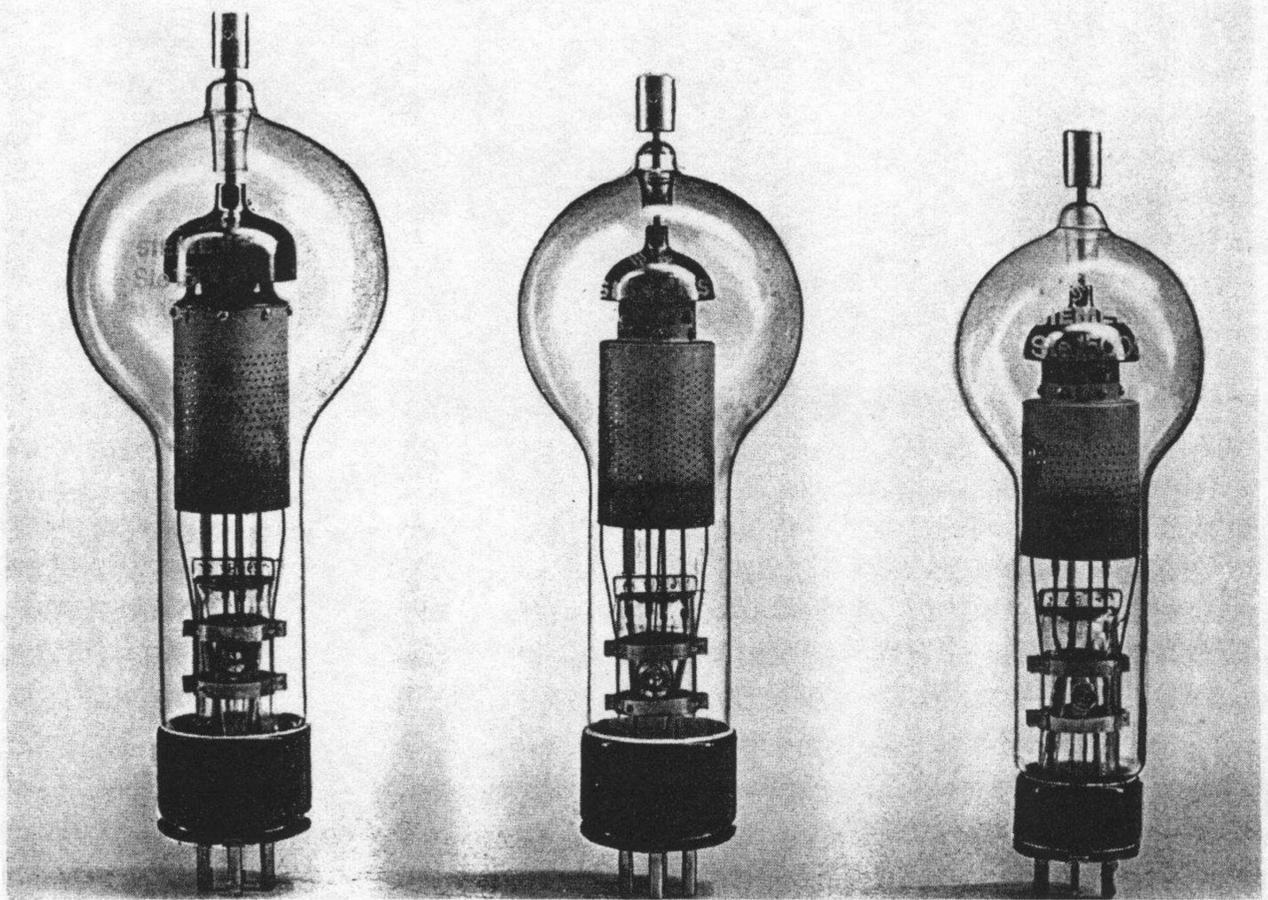


Bild 16 Siemens-Röhrenwerk. Hochspannungs-Stromtore mit Quecksilberdampf-Füllung (insbesondere zur Stromversorgung von Sendeanlagen)

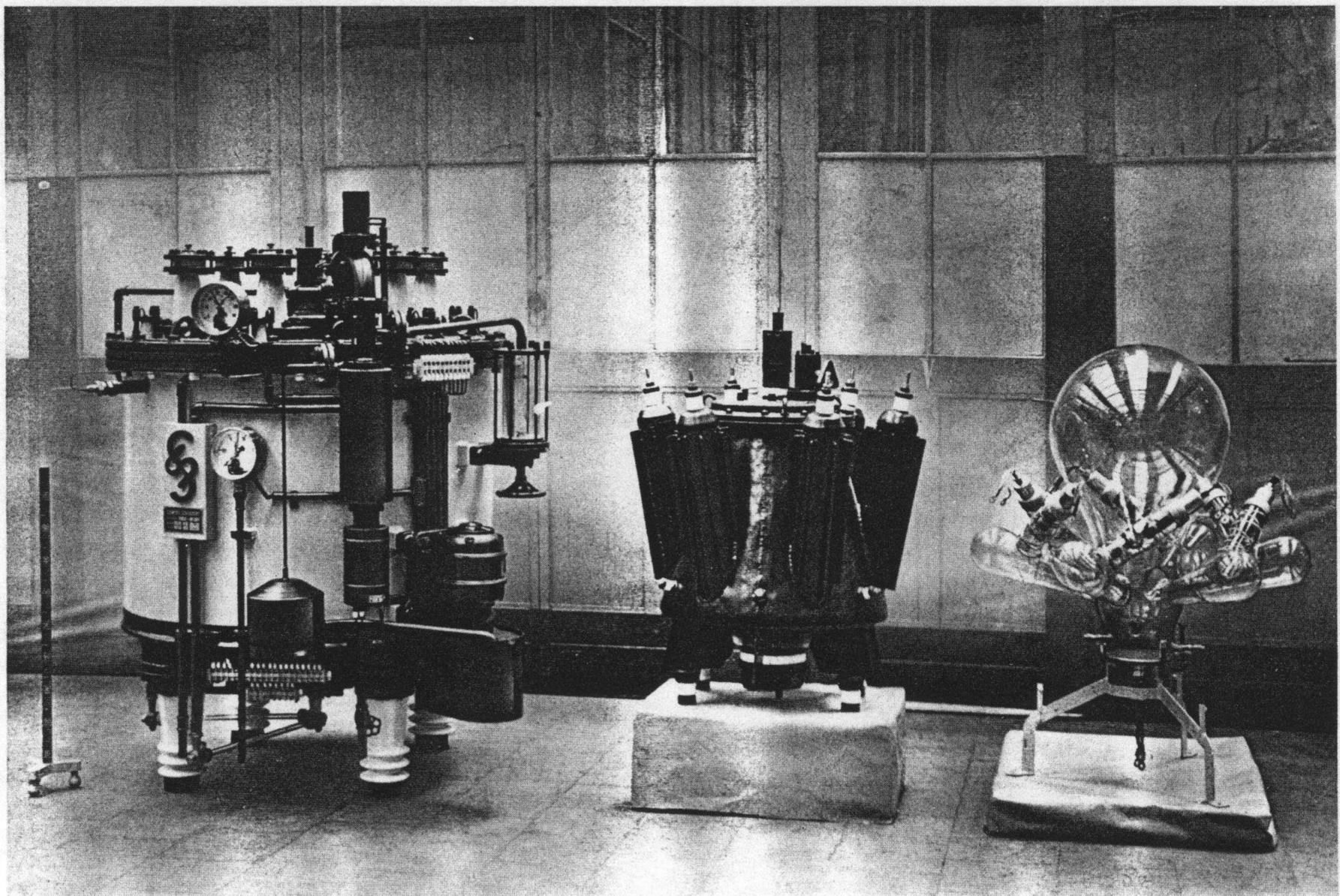


Bild 17 Siemens-Röhrenwerk. Erzeugnisse des Großgleichrichterbaues:

a) Großstromrichter mit Pumpe

b) pumpenloser Eisenstromrichter

c) Glasstromrichter

gewidmet und zahlreiche Typen solcher Quecksilberdampf-Gleichrichter auf den Markt gebracht.

### Das »Siemens-Röhrenwerk«

Was lag näher, als die genannten drei Fabrikationszweige unter gemeinsamer Leitung in einem Werk zu vereinigen? So wurde am 1. April 1934 unter Dr. M. SCHENKEL und Dr. H. KERSCHBAUM das »Siemens-Röhrenwerk« ins Leben gerufen. In bedeutend erweiterten Räumen an der Nonnendamm-Allee in Siemensstadt wurden die drei Fertigungsstellen untergebracht. Die Entwicklungslaboratorien wurden aus dem Zentral-Laboratorium ebenfalls dorthin verlegt, großzügig ausgebaut und konnten sich in der neuen Zusammenfassung jetzt gegenseitig anregen und unterstützen. Vor allem waren es technologische Fragen, die jetzt durch systematische Untersuchungen, an denen sowohl die Schwachstrom- wie auch die Starkstromseite interessiert war, beantwortet werden konnten.

Als markantestes Ergebnis der weiteren Kleinröhren-Entwicklung muß hier die Breitband-Verstärkerröhre erwähnt werden. Der Typ E2b war der erste dieser Art, der in Europa zum Einsatz kam. Der Preßsteller löste schließlich bei weiteren Röhren dieser Gattung den Quetschfuß ab und führte zu kleineren Bauformen mit günstigeren Kapazitäten.

Im übrigen beschäftigte man sich damals intensiv mit den Fragen der Stromverteilung in Mehrgitterröhren, der Sekundäremission, der thermischen Schirmgitteremission, der erhöhten Kathodenbelastung sowie mit der Einführung indirekt geheizter Kathoden in technische Röhren. Außer Verstärkerröhren wurden Dezimeterwellenröhren, Fotozellen, Sekundäremissions-Vervielfacher, Vakuum-Relais, Vakuumschalter, Überspannungssicherungen, Glimmentladungsröhren, Gleichrichter und Stromtore entwickelt. Besonders diese letzteren erlangten so große Bedeutung, daß hierfür eine vollständige Typenreihe aufgelegt wurde. Die Stromtore waren gesteuerte Gasentladungsröhren mit Oxydkathoden, die als Hochspannungs-Stromrichter schon damals für die Gleichspannungsversorgung von Sendern benötigt wurden.

Im Großstromrichterbau hatte man neben vielanodigen Großaggregaten den pumpenlosen Eisengleichrichter entwickelt und in die Fertigung übernommen. Von der Keramiktechnik wurde dabei weitgehend Gebrauch gemacht.

In besonders großen Stückzahlen wurden auch die oben erwähnten, ebenfalls in Keramiktechnik entwickelten Überspannungssicherungen hergestellt.

Schließlich seien noch die Fortschritte erwähnt, die das damalige Röhrenwerk im Bau von Senderöhren erzielen konnte. Sie lassen sich durch folgende Schlagworte zusammenfassen: Bau von Kurzwellenröhren für Wellen bis  $\lambda = 10$  m herab (z. B. eine 50-kW-Röhre RS 263 für

den Kurzwellensender Brüssel), Einführung thoriertes Kathoden, Übergang zu Hartglasgefäßen und Scheibendurchführungen, Entwicklung luftgekühlter Senderöhren und Konstruktion von Vierschlitz-Magnetrons großer Leistung bei 1 m Wellenlänge.

Die angeführten Beispiele mögen einen Begriff von der vielseitigen und umfangreichen Arbeit des Röhrenwerkes geben.

Nach 7jährigem Bestehen wurde das Siemens-Röhrenwerk im Jahre 1941 aus technischen und organisatorischen Gründen in zwei neue Werke aufgespalten, von denen jedes zwei bis dreimal so groß war wie das gesamte Röhrenwerk z. Z. seiner Gründung im Jahre 1934<sup>35</sup>.

Die beiden neuen Werke waren: der Betrieb Röhren im Wernerwerk für Funkgerät der Siemens & Halske AG, der die Tradition der Kleinröhren- und Senderöhrenfertigung sowie der Vakuummetallurgie fortsetzte und das Stromrichterwerk der Siemens-Schuckertwerke AG, das die weitere Großstromrichterfertigung im Rahmen eines vollen Zusammenschlusses der gesamten Stromrichtertechnik bei SSW übernahm.

### Krieg, Zusammenbruch . . .

Der Zweite Weltkrieg führte, wie überall, zu tiefgreifenden Veränderungen, da seinen Folgeerscheinungen notgedrungen Rechnung getragen werden mußte. Vor allem traten jetzt neben den Verstärkerröhren für die Nachrichtenverbindungen die Stromtore (Thyratrons) in den Vordergrund, die nunmehr in Ganzmetall-Ausführung mit Druckglaseinschmelzungen gebaut wurden. Einge-

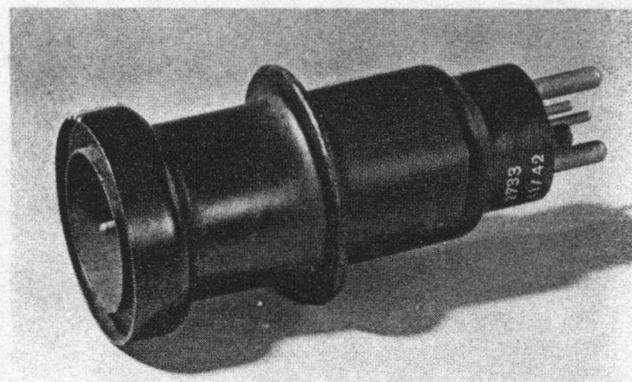


Bild 18  
Metallstrom-  
tor mit  
Druckglasein-  
schmelzungen

setzt wurden sie für Regelungs- und Steuerungsaufgaben der Starkstromtechnik. Auch Glimmentladungsröhren mit kalter Kaliumkathode wurden gebaut. Mit ihren sehr harten Betriebsbedingungen stellten sie den Ingenieur damals vor fast unlösbare Aufgaben.

Die Beschaffung der erforderlichen Materialien, das Ausweichen auf Ersatzbaustoffe, die erzwungene Errichtung von Zweigfertigungsstellen forderten von der Gesamtorganisation und von jedem Mitarbeiter den Einsatz aller Kräfte.

In der Nacht vom 3. auf den 4. September 1943 wurde unsere Röhrenfertigung von einem vernichtenden Schlag getroffen. Das gesamte Werk fiel einem Bombenangriff zum Opfer.

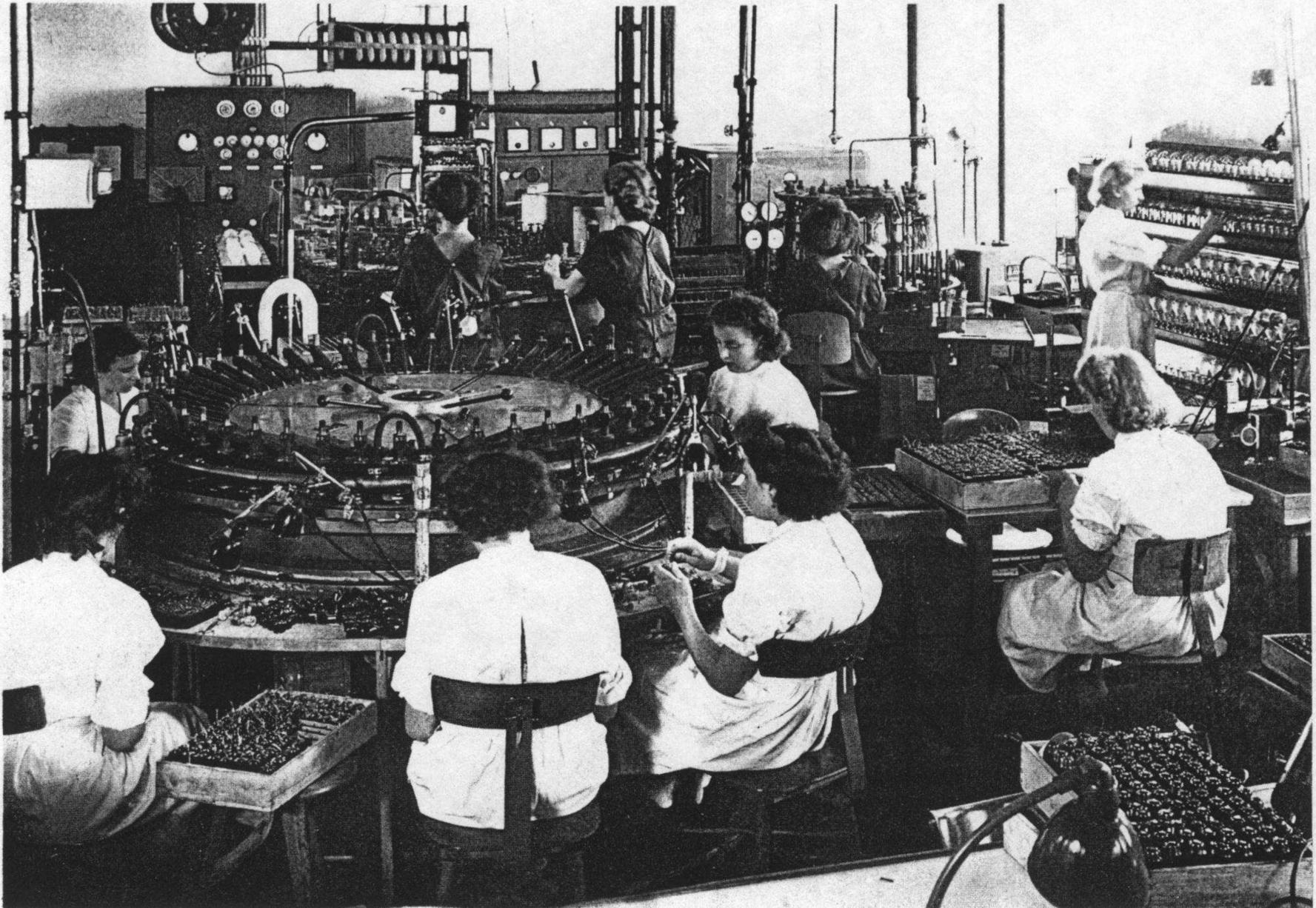


Bild 19 Röhrenfertigung auf engstem Raum in Erlangen 1951 (Pumpen, Sockeln und Altern der EM4/EM34)

Zwar konnte der Senderöhrenbau damals in dem weniger zerstörten Hauptgebäude in Berlin wieder in Gang gesetzt werden, während die übrigen Fertigungsstellen in einer im Aufbau begriffenen Fabrik in Wien eine neue Heimstatt fanden. Dort ging die Arbeit an fünf verschiedenen Stellen weiter.

Doch alle diese Anstrengungen waren umsonst. Das Kriegsende brachte schließlich den Verlust fast sämtlicher Werkstätten und Einrichtungen.

#### ... und Wiederaufbau der Fertigung

An dieser Stelle muß eine organisatorische Umstellung nachgetragen werden, die sich für die weitere Entwicklung der Siemens-Röhrenfertigung recht günstig auswirkte. Im Jahre 1941 war die Bindung zwischen den Firmen Siemens und Telefunken gelöst worden. Durch den Wegfall vertraglicher Verpflichtungen war damit der Weg frei zur Wiederaufnahme einer eigenen Rundfunkröhren-Fertigung und für den Bau von Sendeanlagen mit den zugehörigen Röhren. Die Großleistungsenderöhren waren zwar bis dahin im Hause Siemens entwickelt und gebaut worden, aber unter dem Zeichen der bisherigen Beteiligungsgesellschaft auf den Markt gekommen.

Glücklicherweise war es unmittelbar nach dem Zusammenbruch noch gelungen, einen kleinen Restbestand von Maschinen und Einrichtungen in Erlangen sicherzustellen. Dort sammelten sich um Dr. Matthies auch die versprengten Mitarbeiter. So konnte mit einigen wenigen Getreuen in Räumen der Siemens-Reiniger-Werke bereits Ende 1945 mit dem Wiederaufbau begonnen werden. Allen Widerständen zum Trotz lief die Fertigung, wenn auch zunächst in bescheidenem Rahmen, wieder an, so daß bereits 1946 die ersten Weitverkehrsröhren, wie die Poströhren nun genannt wurden, geliefert werden konnten.

Als erste Neuentwicklung dieser Röhrengattung reifte dort der Typ C3m, eine universell verwendbare Pentode, heran; andere Typen folgten.

Darüber hinaus wurden, wenn auch zeitbedingt erschwert, jetzt die Vorbereitungen für den Aufbau einer Rundfunkröhren-Massenfertigung getroffen. Der Mitarbeiterkreis erweiterte sich durch Übersiedlung früherer Siemens-Angehöriger aus Berlin und aus anderen Städten sowie durch neue Arbeitskräfte aus Erlangen und Umgebung. Maschinen, Werkzeuge, Einrichtungen, Prüfgeräte usw. mußten allerdings neu beschafft werden.

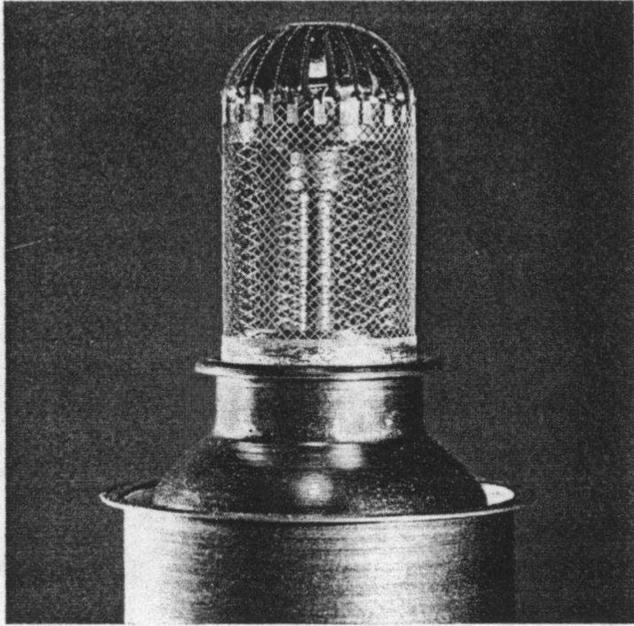


Bild 20 Konzentrischer, freitragender Innenaufbau einer modernen Siemens-Senderöhre (Kathode und Gitter in Maschenbauweise)

1950 war es dann mit Unterstützung befreundeter Firmen soweit gekommen: Die Serienfertigung der Rundfunkröhren lief an, zunächst mit den Typen EM 4 und EM 34.

Weitere kamen hinzu, bis schon bald ein kleines Typenprogramm aus eigener Fertigung zur Verfügung stand.



Bild 21 Sendetriode RS 1001 L mit Luftkühlung, erster Typ in der neuen Bauweise (1950)

Auch die Senderöhrenfertigung kam erstaunlich schnell in Gang. Anfang 1946 konnte schon wieder die erste Senderöhre an die Behörde geliefert werden.

Im übrigen hatten die Zerstörungen des Zweiten Weltkrieges insofern auch etwas Gutes, als man jetzt umso ungehemmter neuzeitlichen Entwicklungstendenzen folgen konnte. Das zeigte sich gerade auf dem Gebiet der Senderöhren besonders deutlich, wo der aufkommende Ultrakurzwellen-Rundfunk mit seinen neuartigen Forderungen ohnedies dazu zwang, in der Entwicklung neue Wege zu beschreiten. Moderne Konstruktionsprinzipien, wie z. B. die Maschenbauweise der Kathoden und Gitter, haben bei Siemens zu völlig neuen Bauformen der Leistungsröhren geführt. Sie sind von berufener Seite eingehend beschrieben worden<sup>36)</sup>.



Bild 22 Luftgekühlte 10-kW-Fernsehtetrode RS 1032 C für Fernsehsender Band IV/V (420 bis 790 MHz)  
Koaxiale Durchführung sämtlicher Elektroden, Metall-Keramik-Bauweise

Nach der Röhre RS 1001, dem Standardtyp für die Endstufen der deutschen UKW-Sender, deren erstes Exemplar im März 1950 in Betrieb genommen wurde und über 20000 Brennstunden erreichte, wurden im Laufe der folgenden Jahre nach dem gleichen Bauprinzip Typen für alle Zwecke und Leistungen auf den Markt gebracht, die die Röhren alter Konstruktion schließlich vollständig verdrängten.

Die beiden Tetroden RS 1032 C und RS 1052 C in Metall-Keramik-Ausführung, die im Dezimeterwellenbereich als Endröhren für die Sender des Fernsehbandes IV und V eingesetzt werden, sind Spitzenerzeugnisse unserer neuzeitlichen Fertigung. Damit hat auch die Fabrikation der Großleistungsröhren ihre traditionelle Bedeutung und frühere Ausdehnung zurückgewonnen.

In Erlangen wurden die Räume für die sich ausweitende Rundfunk- und Spezialröhrenfertigung bald zu klein, so daß die Firmenleitung sich entschließen mußte, die Fabrik in ein ausbaufähiges Gebäude nach München zu verlegen. Im Jahre 1952 wurden in der St.-Martin-Straße die Werkstätten und Laboratorien nach modernen Gesichtspunkten eingerichtet.

In den folgenden Jahren schufen großzügige Erweiterungsbauten Raum für neue Entwicklungsarbeiten (Laboratorien für Spezialverstärker- und Laufzeitröhren usw.) und für dem wachsenden Bedarf angemessene Produktionsstätten.

Einen kleinen Einblick in die neuzeitlichen Aufgaben der Röhrenfertigung sollen die nachfolgenden Kurzberichte aus unserer heutigen Fabrik geben.

Mit der Gründung des Wernerwerks für Bauelemente im Jahre 1954, dessen Leitung Prof. E. MÜHLBAUER übernahm, fand die Röhrenfabrik den ihr gemäßen Platz in der Gesamtorganisation des Hauses. Neben der Bauelemente- und Halbleiterfabrik wurde sie ein dritter wichtiger Bestandteil dieses Werkes.

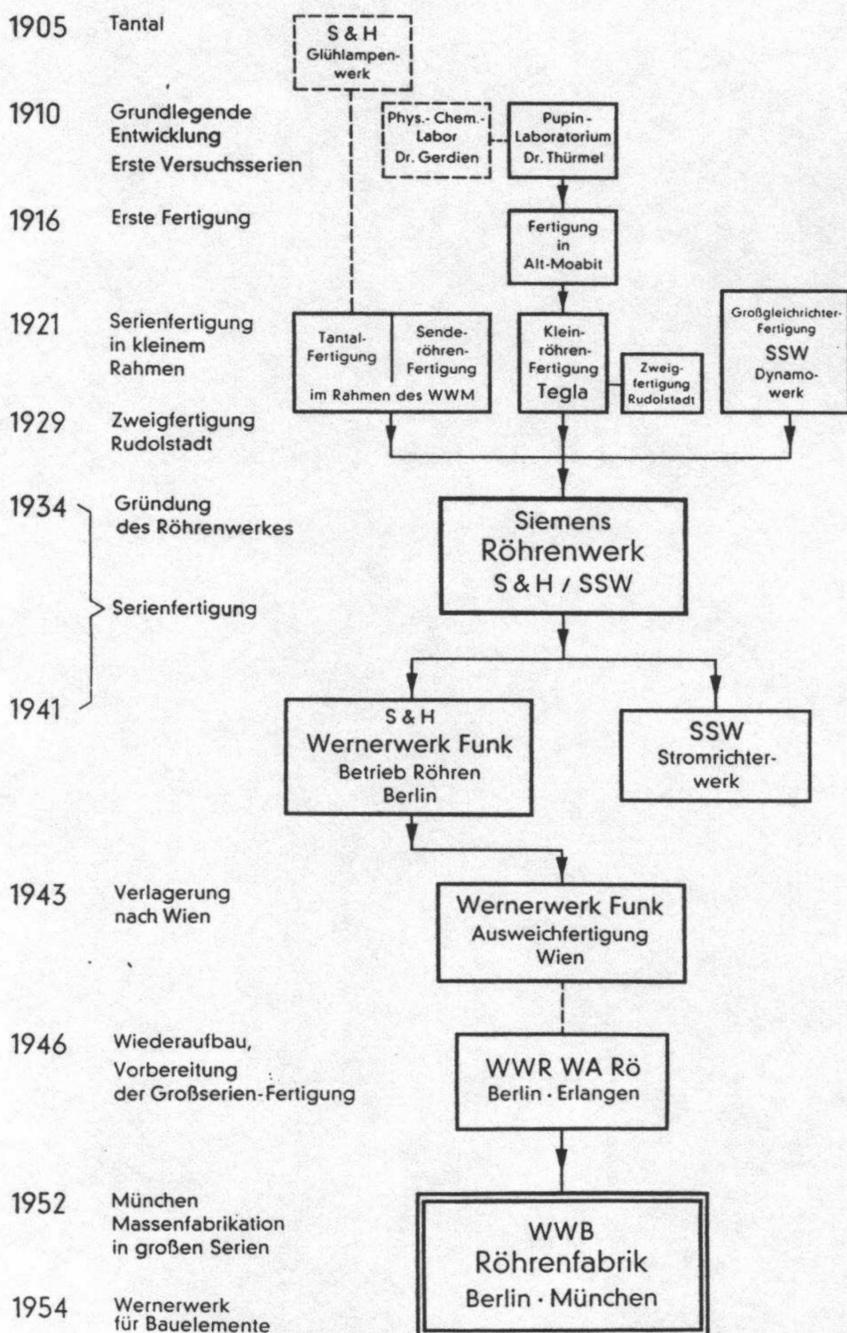


Bild 23 Von der Versuchswerkstatt zur Fabrik (Übersichtsschema)

Schrifttum:

- 1) Siehe hierzu: Tyne, G. F. J.: »The Saga of the Vacuum Tube«. Radio News (März 1943 bis April 1946)  
v. Laue, M.: »Geschichte der Physik«. Univ.-Verlag Bonn  
v. Laue, M.: »Geschichte des Elektrons«. Phys. Bl. 15 (1959) 105  
Warnecke, R.: »La découverte de Wehnelt. L'évolution des conceptions sur le mécanisme de l'émission thermoélectronique des cathodes à oxydes«. Le Vide, 9 (1954) 8
- 2) Vortrag von C. F. v. Siemens am 13. 3. 1929 vor der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften über  
»Die Bedeutung der Elektrizität zur Gestaltung des menschlichen Lebens«.
- 3) DRP 179807 v. 4. 3. 1906 »Kathodenstrahlenrelais«
- 4) DRP 249142 vom 20. 12. 1910 »Relais für undulierende Ströme«
- 5) DRP 276528 v. 12. 1. 1910  
»Verfahren zur Erzeugung einer quantitativen Relaiswirkung«
- 6) Siemens-Archiv 12 Lh 583
- 7) Geschäftsbericht der S & H AG 1912/13
- 8) Lieben-Vertrag, Siemens-Archiv
- 9) Phys. Rev. 2 (1913) 450. Phys. Z. 15 (1914) 348 u. 516.  
Proc. IRE, 13 (1915) 261
- 10) Phys. Rev. 32 (1911) 492
- 11) USA Patent 1558436 vom Okt. 1913 (I. Langmuir)
- 12) Phys. Z. 15 (1914) 526
- 13) Arch. f. Elektrotechn. 8 (1919) 1, 12 u. 299
- 14) Wiss. Veröff. Siemens-Konzern I (1920) 64
- 15) Z. f. Phys. 2 (1920) 206. Ann. d. Phys. 57 (1918) 541
- 16) DRP 310605 v. 19. 3. 1915 (W. Schottky)
- 17) DRP 300617 v. 1. 6. 1916  
»Vakuumverstärkerröhre mit Glühkathode und Hilfselektrode«
- 18) Siehe hierzu: Tyne, G. F. J.: »The Saga of the Vacuum Tube« Radio News, März 1943 bis April 1946
- 19) Geschäftsbericht der S & H AG 1916/17, 90
- 20) Geschäftsbericht der S & H AG 1917/18, 68 u. 70
- 21) Geschäftsbericht 1917/18, 92
- 22) Geschäftsbericht 1918/19, 82
- 23) Geschäftsbericht 1918/19, 82
- 24) Abteilungsbericht 1920/21, 23
- 25) Siemens-Archiv SAA 70/Lm 294
- 26) Abteilungsbericht 1921/22, 17
- 27) Geschäftsbericht 1921/22, 144
- 28) ZL-Bericht 1922/23, 107
- 29) ZL-Bericht 1922/23, 33
- 30) Nach Aufzeichnungen der Deutschen Bundespost
- 31) Wiss. Veröff. Siemens Konz. 5 (1927) 29 und 46
- 32) Z. f. Techn. Phys. 11 (1930). Naturw. 20 (1932) 732
- 33) Phys. Z. 27 (1926) 701. Phys. Rev. 28 (1926) 74.  
Z. f. Phys. 36 (1926) 311. Ramsauer, Das freie Elektron (Springer 1940) 48.  
Halbleiterprobleme III (Vieweg 1956) 203
- 34) Zeitschrift für techn. Physik 15 (1939) 25
- 35) Bericht: »Siemens-Röhren-Werk, 7 Jahre Entwicklungsarbeit«
- 36) Müller, W.: »Die Senderöhrentechnik unter Berücksichtigung des UKW-Betriebes«  
Siemens-Zeitschrift 25 (1951) 65 bis 74  
Müller, W.: »Siemens-UKW- und Fernseh-Senderöhren«. FTZ 5 (1952), Heft 11

# Jena 1912 und das $U^{3/2}$ -Gesetz

Eine Reminiszenz aus der Vorzeit der Elektronenröhren

VON WALTER SCHOTTKY

Im April des Jahres 1912 sah ich mich plötzlich aus meinem Elternhaus in Berlin-Steglitz nach Jena, in das von Blüten überquellende Saaletal, versetzt. Hinter mir lag der Abschluß einer langwierigen theoretischen Arbeit zur relativistischen Energetik und Dynamik, mit der ich im Februar 1912 bei Planck promoviert hatte. Nun aber sollte, als Gegenmittel gegen die reine Abstraktion, ein experimentelles Zwischenspiel folgen, verbunden mit einem Ortswechsel, der mir, nach den langen Berliner Studienjahren, wohl zugebilligt werden durfte.

So war ich also in Jena, am Sonnenberg in der Wörthstraße, bei zwei alten adligen Fräuleins einquartiert und wanderte täglich durch Villenstraßen am Berghang entlang zum Physikalischen Institut, wo mir Prof. MAX WIEN einen Arbeitsplatz eingeräumt hatte. Der Plan war, mich dort eine Art Praktikum für Fortgeschrittenere durchlaufen zu lassen und es dem Schicksal anheimzustellen, ob mir bei dieser Beschäftigung etwas einfiel, was einer eingehenderen Untersuchung wert erschiene.

Nach einigen kleineren Aufgaben kamen elektrometrische Übungsmessungen an die Reihe, und zwar wurden lichtelektrische Ströme von Metalloberflächen durch Potentialmessungen an einem hochohmigen »Bronson«-Widerstand bestimmt. Experimentell spielte dabei, als wesentlichster eigener Beitrag zur Versuchsanordnung, die mir von meinen jugendlichen Schreinerkünsten vertraute, im übrigen etwas anstrengende Holzbearbeitungstechnik aus irgendwelchen Gründen die Hauptrolle; theoretisch wurde ich aber schon durch diese Versuchsanordnung zu einer zwar naiven, im weiteren aber doch recht folgenreichen Überlegung angeregt.

Die Elektronentheorie der Metalle war damals so weit entwickelt, daß man mit einer nur durch gelegentliche Stoßprozesse behinderten, aber sonst völlig freien thermischen Bewegung der Elektronen im Metallinnern rechnen konnte. Die Frage, was diese frei beweglichen Elektronen daran hinderte, ebenso frei in beliebiger Menge in den Außenraum auszutreten, stellte sich mir angesichts der gemessenen, äußerst bescheidenen Ströme, die überdies erst nach kurzweiliger Belichtung aus dem Metall herauszuziehen waren, besonders eindrucksvoll vor Augen. Elektrische Doppelschicht, spezifische Anziehungskraft – gut; aber konnte nicht auch die bloße Tatsache, daß der austretende Strom, als Elektronenstrom, unipolaren Charakter hatte und deshalb eine sein eigenes Fließen behindernde räumliche Gegenladung erzeugen mußte, schon den Austritt »meßbarer« Ströme unter »üblichen« Bedingungen verhindern? Eine Über-

schlagsrechnung – statt entgegenstehender sonstiger Argumente oder Literaturstudien – mußte hierüber sofort Auskunft geben; wenn sich herausstellte, daß unter durchschnittlichen Spannungs- und Dimensionsverhältnissen z. B. nur Ströme von  $10^{-12}$  A zu erwarten waren, konnte mein Raumladungseffekt in der Tat den Elektronenaustritt praktisch unterbinden.

Am 14. August fuhr ich nach Hause in die Ferien; schon vorher, im Juli oder August 1912 hatte ich aber für den ebenen Fall sowie für die zylindrische Anordnung mit kleinem Drahradius die  $U^{3/2}$ -Gesetze für die je  $\text{cm}^2$  bzw. je cm Drahtlänge übergehenden Ströme in der heute bekannten Form, d. h. unter Vernachlässigung kleinerer Zusatzeffekte, quantitativ abgeleitet. Als Größenordnung der Ströme unter üblichen Bedingungen ergab sich nicht  $10^{-12}$  A, sondern  $10^{-3}$  A; es war also sicher, daß die Raumladung der austretenden Elektronen als strombegrenzende Ursache nur bei Elektronenstromstärken in Frage kam, die für damalige Verhältnisse als ungewöhnlich hoch zu betrachten waren. Damit war aber mein Interesse zunächst einmal von der Deutung der Austrittsarbeit der Metalle abgelenkt; erst 1914 mit der Bildkraftarbeit und später von der thermodynamischen Seite her bin ich auf diese Frage zurückgekommen. Jetzt schien es mir dagegen als wichtigste Aufgabe, nach Fällen zu suchen, unter denen empirisch besonders hohe Elektronenströme im Vakuum zu erwarten waren, und damit kam ich zu dem Gebiet der glühelektrischen Elektronenemission und zu meinem gesuchten experimentellen Thema, wobei sich, nach Edison, Kohlefäden, im übrigen aber auch die Glühfäden aus den hochschmelzenden Metallen Tantal und Wolfram als Versuchsobjekte empfahlen. Wenn man solche Fäden mit einer zylindrischen Anode umgab und ihre Temperatur genügend steigerte, mußte, anstelle der Emissionsbegrenzung, eine, je nach Dimension und Spannung in angebarbarer Weise variierende Raumladungsbegrenzung der übergehenden Ströme auftreten, deren Nachweis u. a. eine neuartige  $e/m$ -Bestimmung der übergehenden Träger ermöglichen würde.

Als ich im Oktober 1912 wieder nach Jena zurückkehrte, machte ich MAX WIEN einen entsprechenden Vorschlag, dem er zustimmte, indem er mir zugleich empfahl, den Heizspannungsabfall auf dem Glühdraht, der besonders bei den Kohlefäden erheblich und für die Auswertung der Messungen störend sein mußte, nach dem Vorgang v. BAEYERS, 1909, durch rasch alternierende Heizung und Messung mittels einer rotierenden Kontaktierungsscheibe zu vermeiden.

Eine gewissenhafte Schilderung meiner experimentellen Bemühungen – vor allem der Vakuumschwierigkeiten – würde heute, nach einer Entwicklung, die diese Dinge spielend meistern gelehrt hat, wohl kaum Interesse erwecken. Ich möchte deshalb nur sagen, daß ich immerhin im Laufe der Zeit von der Schreinerei zur Metall- und Glasbearbeitung übergegangen war und auch in der Institutswerkstatt und der Jenaer Glastechnik jede notwendige Unterstützung fand. Um aber doch einen Eindruck von den Bedingungen, von der Atmosphäre zu geben, in der ich damals arbeitete, darf ich aus meinen Papieren ein im Herbst 1913 entstandenes poetisches Stimmungsbild hervorholen, das, in Verbindung mit passenden Anmerkungen, immerhin, über das Stimmungsmäßige hinaus, auch ein Stück der damaligen Wirklichkeit zu vermitteln geeignet scheint.

Eine dunkle Stube, die Läden geschlossen,<sup>1)</sup>  
 Die Motoren sausen unverdrossen,<sup>2)</sup>  
 In der Ecke ein Zischen und Wasserguß,<sup>3)</sup>  
 Auf einmal erglänzt Homunculus.<sup>4)</sup>  
 Er leuchtet, am Motor die Funken knattern,<sup>5)</sup>  
 Jetzt heißt es, die köstlichen Früchte ergattern.  
 Die Früchte: es sind die Zeichen und Zahlen,  
 Die wir in dickleibige Bücher malen;  
 Die Zahlen verriet uns das Galvanometer,  
 Sie bedeuten elektrische Ströme im Äther.<sup>6)</sup>  
 Man sitzt und schreibt sich die Finger krumm,  
 Zur Scheune wird das Diarium,  
 Und so wird, nach mancherlei Mühen und Sorgen,<sup>7)</sup>  
 Doch zuletzt<sup>8)</sup> die ersehnteste Ernte<sup>9)</sup> geborgen.

Man erkennt, daß diese Zeilen, bei aller Schalkhaftigkeit, eine gehobene Stimmung verraten; in der Tat durfte ich eine gewisse Befriedigung darüber empfinden, daß ich nicht nur einen mir vorher unbekanntem Effekt überlegt und errechnet hatte, sondern zu guter Letzt auch eine experimentelle Bestätigung, wenn auch in beschränktem Spannungsgebiet, geben konnte, die die Realität und Bedeutsamkeit des Effekts außer Frage stellte.

Nach meiner Heimkehr im Dezember 1913 begann ich sogleich mit der Ausarbeitung einer größeren Veröffentlichung, die die gesamte theoretische und experimentelle Ernte der Jenaer Arbeitszeit enthalten sollte. Schon bei dieser Beschäftigung wurde jedoch meine Hochstimmung merklich herabgemindert; da ich experimentell auf relativ kleine Anodenspannungen beschränkt war, genügten die Annäherungsformeln von 1912 nicht mehr, um eine auf einige Prozent genaue Übereinstimmung von Theorie und Beobachtung zu erreichen. Ich vertiefte mich also in genauere Rechnungen, wobei, als allerdings wesentlicher Punkt, der Begriff der durch die Raumladungsströme vor der Glühkathode ausgebildeten Potentialschwelle hervortrat, deren Tiefe und Kathodenentfernung sich von größerem Einfluß erwies, als, wenigstens bei dünnen Drähten, der Drahradius und u. U. auch die thermische Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen. Ebenso wurden die Berechnungen der Anlaufströme, die nur für ebene Elektroden, und hier auch nur ohne Raumladung, bekannt waren, für den zylindrischen Fall durchgeführt und dabei für das Einsetzen der Raumladungswirkung im Anlaufgebiet eine Abschätzung vorgenommen.

Verlorene Zeit? Vielleicht, wenn man Prioritätsfragen für entscheidend hält und sich das Erscheinen der Raumladungsarbeit von I. LANGMUIR im Aprilheft, S. 348, der Physikalischen Zeitschrift 1914 vergegenwärtigt, die

1) Es wurde mit einem Spiegelgalvanometer gemessen, das auf eine frei im Raume montierte Skala einen Lichtstrich warf, der nur bei verdunkeltem Zimmer zu sehen war. Im Anlaufgebiet war in der Tat eine empfindlichere Strommessung nötig, als sie mit den damaligen Zeigerinstrumenten zu verwirklichen war; bei höheren Strömen wurde geschuntet.

2) Es lief einerseits eine Gaedepumpe, andererseits der Motor, der die in viele Segmente unterteilte Kontaktscheibe in schnelle Drehung zu versetzen hatte.

3) Wasserstrahlpumpe als Vorvakuum für die Gaedepumpe;  
 »Hochvakuum« 1 bis  $2 \cdot 10^{-3}$  mm Hg

4) Homunculus: »In dieser holden Feuchte,  
 Was ich auch hier beleuchte,  
 Ist alles reizend schön.«

(Faust II, 2. Akt) Umhüllendes Glas, geheimnisvolles Leuchten, umgebende Feuchte waren nicht nur Attribute von Goethes künstlichem Männlein in der Phiole. Sie konnten auch meiner Versuchsröhre zugestanden werden, deren ungewisses Licht, aus den Enden des Anodenzylinders und den Spalten zwischen dem Meßzylinder und den äußeren Schutzzylindern (gleichen Potentials) hervortretend, einen oberen und unteren Wasserbottich beleuchtete, die durch eine um den ziemlich weiten Glasschliff gewickelte Kühlschlange verbunden waren; dazu noch allerhand Apparate und phantastisches Gestänge.

5) Trotz parallel geschalteter Kondensatoren war die ständige, gewaltsame mechanische Heizstromunterbrechung nicht ohne erhebliches Geknatter zu bewerkstelligen.

6) Poetischer Ausdruck für Vakuum; die Äthervorstellung hatte schon vor 1912 ihre Rolle ausgespielt.

7) Fast unüberwindliche Schwierigkeiten hatte ich natürlich mit der für meine Versuche im Grunde unentbehrlichen Hochvakuumtechnik, deren elementarste Prozeduren, Erhitzen, Ausfrieren mit flüssiger Luft, Bombardieren, jedenfalls 1912 noch nicht zu den Selbstverständlichkeiten unserer Experimentalinstitute gehörten. Was gelang, waren die Messungen von  $U^{3/2}$ -Kurven, die, unter Berücksichtigung gewisser die Theorie verfeinernder Korrekturen, mit jeder wünschenswerten Genauigkeit den erwarteten Verlauf hatten, bei Wolfram- und Tantalfäden in 13 und 22 mm weiten Zylindern zwischen 0 und etwa 11 V Spannung (Phys. Z. 15, Seite 628, Fig. 2, 1914). Bei höheren Spannungen setzte Restgasionisation ein, die die Ströme rasch auf Sättigung ansteigen ließ. Den größten Zeitverlust hatte ich durch die anfängliche Beschränkung auf Kohlefäden, die, wie sich durch Umpolung und raumladungsmäßige e/m Bestimmung nachweisen ließ, eine langdauernde Emission positiver Ionen vom Atomgewicht 20 bis 30 produzierten. Durch diesen Effekt war bei den Kohlefäden auch das Gebiet unterhalb 11 V für den elektronischen Raumladungsnachweis unbrauchbar (ebendort Fig. 3).

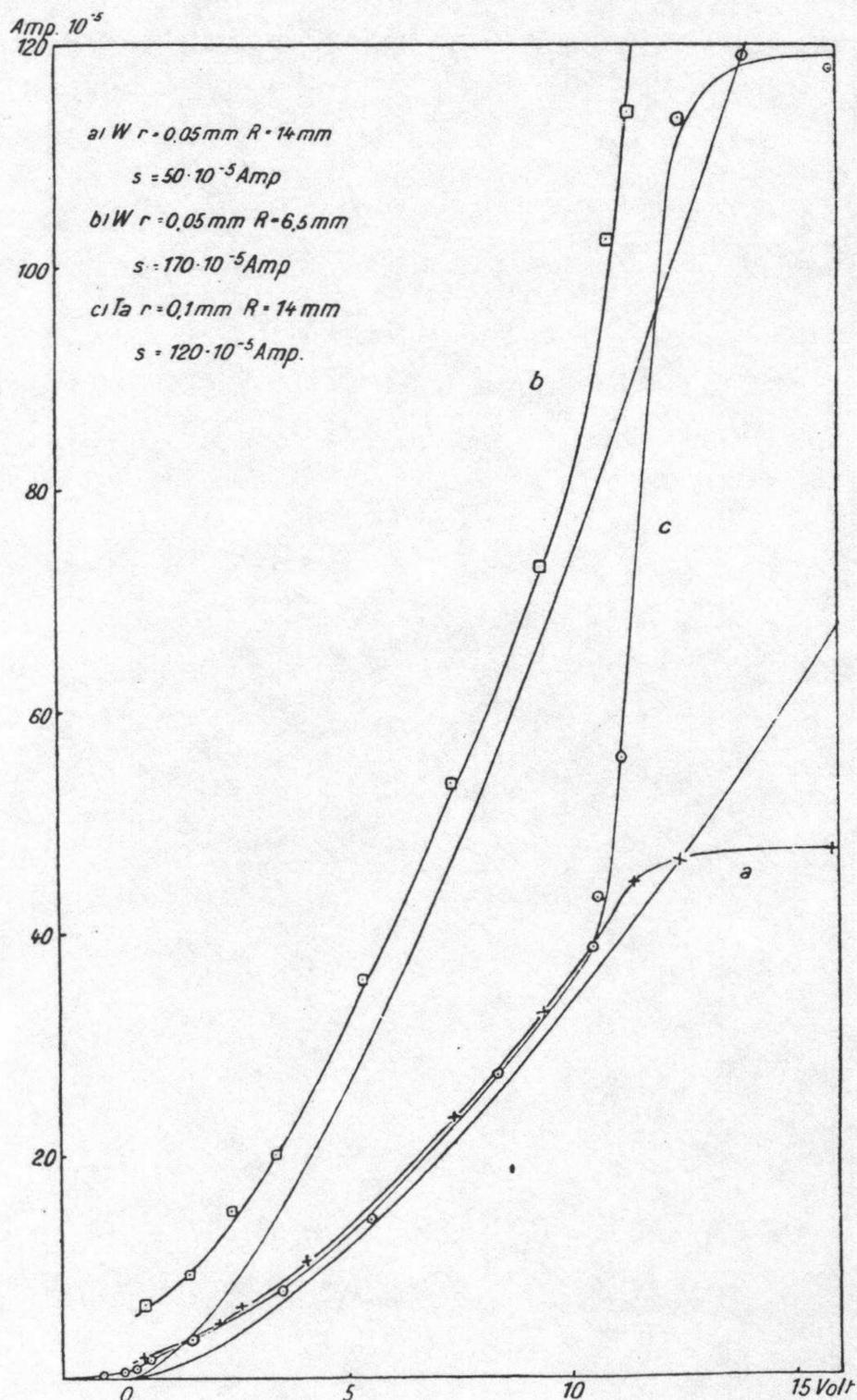
8) November 1913.

9) Außer den unter 7) genannten Ergebnissen: Anlaufmessungen in zylindrischen Systemen mit und ohne Raumladungseffekte, Messung von Voltaspannungen zwischen verschiedenen Zylindersubstanzen aus der Verlagerung der Anlaufkennlinien.

am 24. 4. 14 zu meiner Kenntnis kam und einen Keulenschlag für meine jugendlichen Hochpläne bedeutete. Es zeigte sich aber, daß gerade meine letzten Überlegungen und Bemühungen einiges ergeben hatten, was über den Status dieser Langmuir-Veröffentlichung hinausging, in der überdies auf vorgängige Publikationen von 1913 Bezug genommen und die (allerdings auf positive Ionen bezogene) ebene Raumladungsformel von C. CHILD, 1911, aufgeführt war. So war ich wenigstens in der Lage, in einer Anzahl kleinerer Abhandlungen zusätzliche theoretische und experimentelle Beiträge zu dem in seiner Bedeutung schnell emporwachsenden Problemkreis beizusteuern. Wichtiger war aber wohl noch die Befruchtung,

die meine weiteren Arbeiten durch solch intensive Beschäftigung mit dem Vakuumdurchgang von Schwärmen geladener Korpuskeln erfuhren. Vor allem aber erwies sich meine Jenaer Zeit als eine unübertreffliche Vorbereitung zur Lösung der Aufgaben, die mir vom Frühjahr 1915 an entgegentraten, als ich, durch Vermittlung meines späteren Freundes RAGNAR HOLM, von der Siemens & Halske AG Berlin zur Entwicklung von Verstärker- röhren herangezogen wurde; denn deren Verhalten wird ja, bis zu recht hohen Frequenzen, eben durch das für die zylindrische Elektrodenanordnung errechnete  $U^{3/2}$ -Gesetz bestimmt, von dem im Spätsommer 1912 meine Jenaer Betätigung ihren Ausgang genommen hatte.

Physik. Zeitschr. XV, 1914.



Beobachtete Strom-Spannungs-Kurven in zylindrischen Elektronenröhren mit Wolfram- und Tantal-Glühdrahten vom Radius  $r$ , Zylindern vom Radius  $R$  und Sättigungsströmen  $s$ .

(Theoretische Vergleichskurven aus der für zylindrische Anordnung gültigen Näherungsformel von 1912 für den betreffenden  $R$ -Wert berechnet.)

Aus W. Schottky: »Über den Einfluß von Potentialschwellen auf den Stromübergang zwischen einem Glühdraht und einem koaxialen Zylinder«. Phys. Z. 15 (1914) 628

# Kurzberichte aus der heutigen Siemens-Röhrenfabrik

## Entwicklungslinien des Röhrenbaues im Hause Siemens

VON WERNER JACOBI

Die Fertigungstechnik der Verstärkerröhren und damit der maschinelle und personelle Aufbau einer Röhrenfabrik haben im Verlauf ihrer fünfzigjährigen Entwicklung zwei wesentliche Impulse erhalten. Das gilt sowohl für die Empfänger- als auch für die Senderöhren und war bedingt durch das Aufkommen von neuen Zweigen der Nachrichtentechnik: Im zweiten und dritten Jahrzehnt dieser Entwicklung war es die Einführung des Rundfunks, im vierten und fünften die stürmische Ausbreitung des Fernsehens.

Auf dem Rundfunkröhrengebiet hatte sich aus dem Wettstreit zwischen Stahl- und Allglasröhre nach 1945 die technisch günstigere Allglasröhre durchgesetzt, und die Miniaturtechnik war die Grundlage für eine immer weiter fortschreitende Rationalisierung und Automatisierung der Röhrenfertigung geworden. Damit war die Röhrentechnologie vorgegeben, als das Fernsehen mit seinem riesigen Bedarf an Verstärkerröhren die Röhrenfabriken der Welt vor die Aufgabe stellte, eine Kapazität von mehreren hundert Millionen Stück Jahresausbringung zu erreichen. Erschwert wurde dieser Aufbau durch die Forderung, Röhrenpreise zu erzielen, die erheblich dazu beitragen sollten, ein rasches, stetiges Wachstum der Zahl der Fernsehteilnehmer sicherzustellen.

In diesen Zeitraum des vierten und fünften Jahrzehnts der Verstärkerröhrenfertigung fiel der Wiederaufbau der Röhrenfabrik von Siemens & Halske.

Von den bescheidenen Anfängen um 1916 und vom Stand der TEGLA\* mit deren etwa 300 Belegschaftsangehörigen im Jahre 1921 war die Fabrik in ihren letzten Standorten 1944 in Wien und Berlin auf 4000 Mitarbeiter angewachsen. Der Zusammenbruch brachte den Verlust fast aller Einrichtungen und Maschinen, in Wien auch den der Gebäude. Ein Neubeginn in Erlangen, der in München fortgesetzt wurde, verlangte neben dem Wiederaufbau in Berlin außerordentliche Anstrengungen, um aus dem Nichts heraus wieder eine neuzeitliche Röhrenfabrik zu errichten. Die Hilfe befreundeter Firmen hat dabei manches erleichtert.

Von vornherein war es selbstverständlich, daß der 1924 abgerissene Faden der Produktion von Rundfunkröhren in der neuen Fabrik wieder angeknüpft werden mußte, neben der Weiterführung der Fertigung aller für die Nachrichtentechnik wichtigen Sende- und Empfängeröhren. So entstand wiederum an zwei Standorten eine Röhrenfabrik der früheren Größe, allerdings mit verändertem, der neuen Zeit angepaßtem Fertigungsspektrum. Verglichen mit der Entwicklung in den ersten vier Jahrzehnten geschah das sozusagen im Eilzugtempo.

Neben dem schon erwähnten Fernsehen löste auch der Hör-Rundfunk nach 1945 eine wesentliche Belebung des Röhrenmarktes aus. Der UKW-Funk wurde eingeführt und brachte neue Anforderungen an Sende- und Empfängeröhren. Neue Trägerfrequenzsysteme, Koaxialkabelverstärker und Richtfunkgeräte verlangten nach neuen Röhrentypen.

Beginnend schon in den Jahren zwischen 1939 und 1945 waren völlig neuartige, für den Einsatz bei sehr hohen Frequenzen (im Dezimeter- und Zentimeterwellengebiet) bestimmte Röhren entstanden, wie z. B. Wanderfeldröhren, Klystrons, Carzinotrons u. dgl., deren Herstellung in der Fabrik die Beherrschung ganz neuer technologischer Verfahren voraussetzte. Ein allgemeiner Trend, weg von Glas und Glimmer, begann sich damit sowohl bei den Spezialröhren wie auch bei den Senderöhren abzuzeichnen. Die neue Technologie stand in unmittelbarem Zusammenhang mit den gesteigerten Forderungen nach Präzision, Zuverlässigkeit und hoher Lebensdauer. Heute erstrecken sich diese Qualitätsverbesserungen nicht nur auf das Gebiet der Sende- und Spezialröhren; auch an die Massenhöhre für Rundfunk und Fernsehen werden immer höhere Anforderungen gestellt. Das bedeutet, daß in einer neuzeitlichen Röhrenfabrik der technische Überwachungsapparat für Material und Herstellungsverfahren ständig an Bedeutung gewinnt und daß die Entwicklungslaboratorien bei ihren Entwürfen und Konstruktionen sowie bei der Auswahl der Materialien immer größere Sorgfalt aufwenden müssen, um die erwartete Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

\* TEGLA, Technische Glaswaren GmbH, 1921 von Siemens & Halske gegründet

Schließlich ging auch das in der ganzen Bauelemente-technik immer mehr fußfassende Bestreben nach Verkleinerung der Abmessungen nicht spurlos an der Röhre vorüber. Ein Vergleich neuester Ausführungen mit denen früherer Jahre (vgl. die folgenden Veröffentlichungen dieser Aufsatzreihe) läßt erkennen, wie erstaunlich weit man damit schon gekommen ist.

Die Verstärkerröhrenfabrikation, die im ersten Jahrzehnt ihres Bestehens in der Welt nur den Wert von wenigen

Millionen Mark im Jahr repräsentierte, hat heute für die gleiche Zeit sicherlich die Zehnmilliardengrenze längst hinter sich gelassen. Zu verdanken ist dieses ungeheure Anwachsen der Röhrenfertigung dem Nachrichten hunger der Menschen, dem Forschungs- und Gestaltungsdrang der Physiker und Ingenieure und einer klugen, weltweiten Organisation.

An allen Phasen dieser Entwicklung waren die Röhrenlaboratorien und -fertigungsstätten des Hauses Siemens maßgeblich beteiligt.

## Weitverkehrsröhren – ein traditionelles Erzeugnis des Hauses Siemens

VON HELMUT KATZ

Schon bald nach den ersten erfolgreichen Versuchen auf dem Gebiet der Verstärkertechnik hat sich das Haus Siemens der Entwicklung der Verstärkerröhren für postalische Zwecke angenommen und sie seither ohne Unterbrechung fortgesetzt. In Zusammenarbeit zwischen Röhren- und Verstärkerlaboratorien sind die sogenannten »technischen Röhren« oder, wie sie heute heißen, »Weitverkehrsröhren« entstanden (Bilder 1 und 2). Man ist dabei in den nahezu 50 Jahren seit Entwicklungs-

beginn mit nur 35 Typen ausgekommen, darunter in den letzten fünfzehn Jahren mit nur vier Typen. Das rührt daher, daß der Röhrenentwickler, um die Forderungen einer vorausschauenden Nachrichtensystemplanung erfüllen zu können, zu recht großen Schritten in der Röhrentechnologie gezwungen wird.

Auf dem Gebiet der Weitverkehrsröhren sind häufig Fortschritte erzielt und Erkenntnisse gesammelt worden, die später auch in anderen Zweigen Bedeutung erlangt haben. Ein Beispiel aus den Anfängen ist die Einführung der Mehrgitterröhren. Aus neuerer Zeit sind bemerkenswert: die verbreitete Einführung der Spanngittertechnik und das erhöhte Interesse für die Verbesserung der Kathoden. Hatte sich doch bei Röhren größerer Steilheit bald eine nachteilige Erscheinung bemerkbar gemacht, die sich zunächst so betrachten ließ, als ob sich Teile der Oxydschicht von ihrer Nickelunterlage ablösen. Heute wird diese Verschlechterung der Kathoden im Laufe der Lebensdauer mit dem Auftreten eines Zwischenschichtwiderstandes erklärt.

Aus dem bisher Ausgeführten ist schon ersichtlich, daß bei den Weitverkehrsröhren Begriffe wie Typenlang- lebigkeit, Typenkonstanz, Lebensdauer und Toleranz der Daten im Vordergrund stehen. Als Beispiel für den ersten Punkt sei die »Ba«-Röhre erwähnt, die vor etwa 27 Jahren für den Niederfrequenz-Telefoniebetrieb der damaligen Reichspost entstanden ist und heute noch für die älteren Verstärkergestelle und Meßeinrichtungen gebaut und geliefert wird. Die Typenkonstanz besagt, daß alle wesentlichen Eigenschaften eines Röhrentyps während der ganzen Zeit des Bestehens unabhängig von etwaigen Verbesserungsmöglichkeiten unverändert bleiben sollen. Bezüglich der mittleren Lebensdauer schließlich sei angeführt, daß diese für manche Typen, wie z. B. die C3m, bei 50000 bis 60000 Stunden liegt. Sie soll keineswegs weniger als 10000 Stunden betragen.

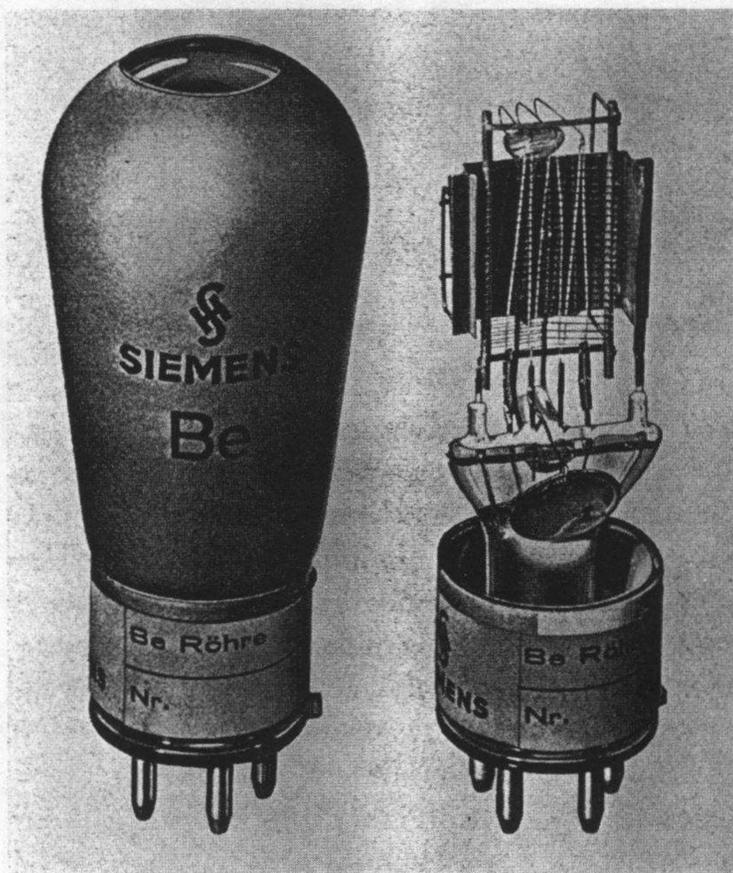


Bild 1 Röhren für den Nachrichten-Weitverkehr aus den dreißiger Jahren. Kennzeichnend sind die direkt geheizte Kathode, das verhältnismäßig dickdrähtige Gitter und der Quetschfuß, auf dessen Durchführungen die Elektroden direkt aufgeschweißt sind. Auf die fertige Röhre wurde zur Abschirmung eine Metallschicht aufgeschloopt

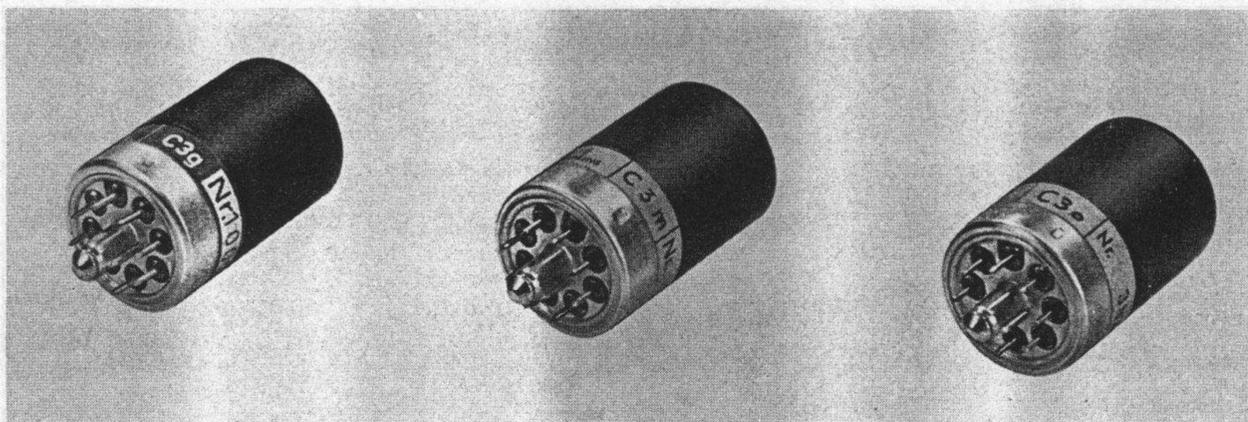
Wie auf allen Gebieten der Bauelementetechnik, so ist auch bei der Röhre die fortschreitende Verkleinerung unter gleichzeitiger Verbesserung der Daten kennzeichnend. Die Steilheiten beispielsweise, die bei den ursprünglich direkt geheizten Röhren mit Wolfram-Kathode  $0,1 \text{ mA/V}$  betragen haben, liegen bei einer neueren Breitbandröhre bei  $35 \text{ mA/V}$ ; die Notwendigkeit einer Steilheit von  $70 \text{ mA/V}$  wird diskutiert. Ein Fortschritt in dieser Richtung war notwendig bei der Einführung der trägerfrequenten Übertragungstechnik und in Anbetracht der steten Ausdehnung der Anforderungen bei dieser Technik in bezug auf Bandbreite. Er war möglich durch den Übergang auf indirekt geheizte Kathoden, den Ersatz der ursprünglich sehr groben Gitter durch die extrem feinen Spanngitter und eine Aufbautechnik, die besonders im Röhrenfuß große Einsparung an toter Kapazität brachte.

Naheliegender war es, das hier Erarbeitete auch anderen Gebieten der Technik zukommen zu lassen; denn auch in zahlreichen anderen Anwendungsbereichen braucht man Geräte, auf deren unbedingte Zuverlässigkeit man bauen muß. Dafür sind die Spezialverstärkerröhren geschaffen worden, die man entweder erhält, indem man von einer Weitverkehrsröhre ausgeht und die Konstruktion zweckentsprechend vereinfacht, oder indem man in

eine passende Rundfunkröhre von der Weitverkehrsröhre her bekannte Elemente einbaut, die besseres Verhalten gewährleisten. Dazu gehören beispielsweise die Langlebensdauer-Kathoden, bei denen durch sehr harte Forderungen in bezug auf die Beimengungen im Kathodennickel und durch eine besondere Aufbringungsart der Karbonatmasse die Zwischenschichtbildung und eine übersteigerte Reaktionsgeschwindigkeit vermieden sind. Dies führt auch bei weiteren Fertigungsgängen dieser Röhren zu einem zusätzlichen Aufwand.

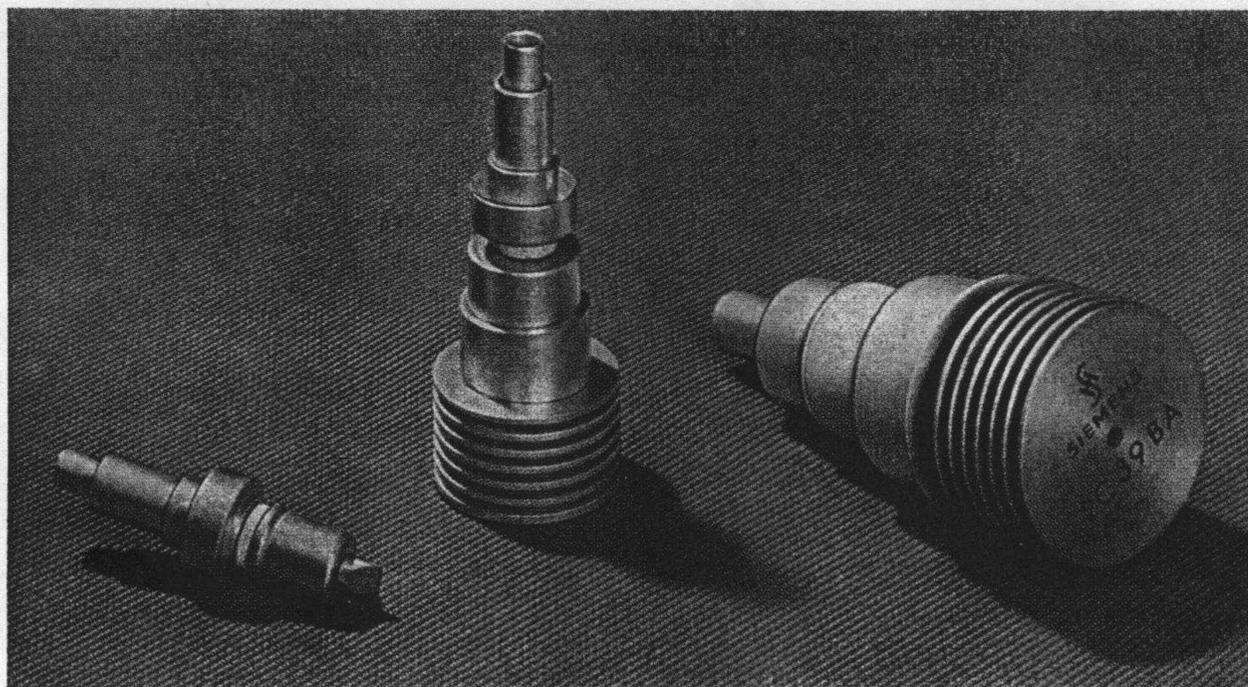
Der heutige Nachrichten-Weitverkehr spielt sich nicht mehr nur über Leitungen ab; er benutzt in zunehmendem Maße Funkstrecken. Auch dafür mußten geeignete Röhren zur Verfügung gestellt werden. Für einige Aufgaben werden dabei gittergesteuerte Röhren gebraucht, die sich von den bisher geschilderten dadurch unterscheiden, daß sie bei sehr viel höheren Frequenzen brauchbar sein müssen. Das bedingt eine völlig andere Aufbauweise. Nach der Art, wie der Aufbau durchgeführt ist, bezeichnet man sie auch als Scheibenröhren (Bild 3). Kathode, Gitter und wirksame Anodenfläche sind kreisrund und einander eben gegenübergestellt. Sie bilden dabei den Abschluß rohrförmiger Zuleitungen, die als Fortsetzung einer äußeren Koaxialleitung angesehen werden können. Die Hauptprobleme bei der Herstellung dieser

Bild 2 Weitverkehrsröhren der fünfziger Jahre. Schon das äußere Bild hat sich wesentlich gewandelt. Der Quetschfuß ist durch einen flachen Teller ersetzt, der kurze und damit induktivitäts- und kapazitätsarme Zuleitungen ergibt. Eine metallische Abschirmhaube ist mit der Röhre zu einer Einheit verbunden



Links: RH7C Mitte: RH6C Rechts: 2C39 BA

Bild 3 Scheibentrioden in Metall-Keramik-Technik



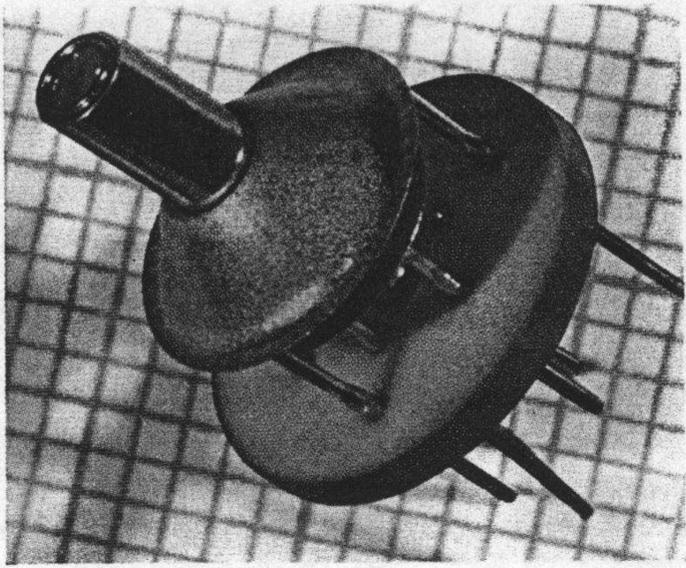


Bild 4 Nuvistor-Röhre. Freitragender Systemaufbau auf Keramikscheibe, ohne Verwendung von Glas und Glimmer (das unterlegte Millimeterpapier ermöglicht einen Größenvergleich)

Röhren liegen beim Gitter und in der Röhrenhülle. Es hat sich gezeigt, daß die Ausbildung des Gitters als Kreuzspanngitter nicht nur erhöhte mechanische Stabilität und

bessere Wärmeverteilung mit sich bringt, sondern auch elektrische Vorzüge hat, die eine beträchtliche Erhöhung der Selbstneutralisationsfrequenz bewirken. Damit war die Möglichkeit gegeben, diese Art von Röhren für höhere Frequenzen zu entwickeln. Allerdings mußte dabei auch die Kathodenbelastung so hoch getrieben werden, daß Oxydkathoden unter diesen Umständen keine ausreichende Lebensdauer hätten. Die Metall-Kapillarkathoden erfüllen diese Bedingung jedoch leicht.

Für die Röhrenhülle gewinnt neuerdings anstelle von Glas der Werkstoff Keramik allgemein breiteren Raum. Wegen der damit verbundenen Vorzüge, wie Maßhaltigkeit, besseres dielektrisches Verhalten, höhere Temperaturbelastbarkeit, ist die Verwendung von Keramik bei Scheibenröhren für sehr hohe Frequenzen eine Notwendigkeit. Aber bald wird dieser Werkstoff auch bei den herkömmlichen Weitverkehrsröhren und den Spezialverstärkerröhren in Erwägung gezogen werden müssen; beispielsweise ist bei der »Nuvistor«-Triode, einer Miniatur-Metall-Keramik-Röhre, das ganze Elektroden-system auf einer Keramikscheibe aufgebaut (Bild 4).

## Senderöhren einst und jetzt

VON HARTMUT GANSWINDT UND ARNO BUCHWALD

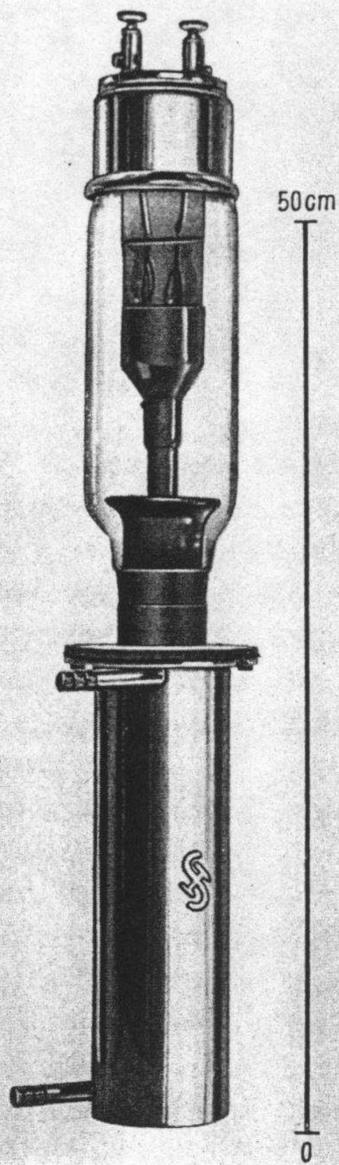
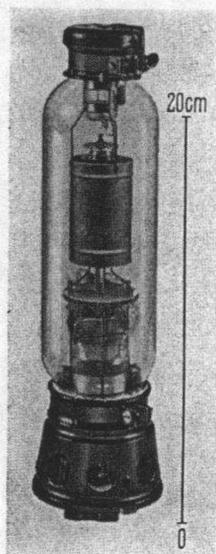
Seit Beginn der Nutzbarmachung von Elektronenröhren zum Erzeugen und Verstärken hochfrequenter Schwingungen hat sich das Haus Siemens auch mit der Entwicklung und Herstellung von Senderöhren befaßt. Die ersten betriebsfähigen Muster zeigten in ihrer Ausführung eine aus rein physikalischen Gesichtspunkten und der damals möglichen Technologie hervorgegangene Konstruktion, die in ihrem Aussehen stark von dem Baustoff Glas bestimmt wurde. So glichen diese Röhren, obgleich Spitzenerzeugnisse ihrer Zeit, anstatt einem technischen Bauelement mehr einem »kunstgewerblichen Gegenstand«. Schon bald nach Inbetriebnahme der ersten Rundfunksender in den zwanziger Jahren stellte sich heraus, daß die Leistung dieser Röhren zu gering war, um den Wünschen der Senderbauer nach immer höherer Leistung gerecht zu werden; mußte doch die gesamte Verlustleistung, die etwa 50% der Nutzleistung entspricht, durch den Glaskolben der Röhre abgestrahlt werden. Man erkannte bald, daß die Anode durch ein Medium – sei es Öl oder Wasser – gekühlt werden mußte, um der Anodenverlustleistung Herr zu werden. Es galt also, die Anode der Röhre, die bis dahin

innerhalb des Glaskolbens untergebracht war, nach außen zu verlegen, um so die Möglichkeit einer intensiven Kühlung zu schaffen. Bei diesem neuen Konstruktionsprinzip war es damals noch nicht möglich, den Baustoff Glas auszuschließen, der aufgrund seiner Sprunganfälligkeit zu hohen Ausfällen führte. Als Isolator, der sich vakuumdicht verschmelzen läßt, konnte man Glas seiner guten Eigenschaft wegen nicht entbehren.

Die erste große Schwierigkeit, die sich beim Bau der sogenannten Außenanodenröhre ergab, war die vakuumdichte Verschmelzung von Glas mit Metall. Es gab kein Metall außer Platin, das annähernd den Ausdehnungskoeffizienten des vorhandenen Glases hatte. Platin jedoch schied wegen der zu hohen Kosten für die erforderlichen Materialmengen aus. Umfangreiche Versuche, bei denen Rückschläge und Enttäuschungen nicht ausblieben, brachten die Erkenntnis, daß das Metall – in diesem Fall der Kupferzylinder der Anode – an dem anzuglasenden Ende so dünn ausgezogen werden mußte, daß es in der Dicke einer Rasierklinge gleichkam. Durch die Elastizität dieser »Schneidenanglasun-

Bild 1 Links: strahlungsgekühlte 0,5-kW-Triode GR 502, Bauart in den 20er Jahren

Rechts: Senderöhre mit Wasserkühlung für 10 kW HF-Leistung (Anodenspannung 12 kV; Baujahr etwa 1923)



gen« wurde erreicht, daß die infolge der verschiedenen Wärmeausdehnungen der beiden Materialien entstehenden Spannungen nicht mehr die gefährlichen Werte annehmen konnten, die zu Sprüngen führten. Bild 1 (links) zeigt eine bis in die Mitte der zwanziger Jahre übliche Ausführung einer strahlungsgekühlten Senderöhre mit einer Leistungsabgabe von etwa 0,5 kW, der (rechts) eine der ersten 10-kW-Röhren mit wassergekühlter Außenanode gegenübergestellt ist. Diese beiden Röhren lassen den ersten Schritt – von einem empfindlichen Glasapparat zu einem wesentlich stabileren und leistungsfähigeren technischen Erzeugnis – deutlich erkennen. Aber kaum in ihrer Entwicklung abgeschlossen, erwies sich auch diese Leistungsklasse der Senderöhren als zu klein. Bald wurden noch höhere Senderleistungen verlangt. Dieser Notwendigkeit konnte man nach dem neuen Bauprinzip bis zu einer Leistung von 150 kW gerecht werden. Darüber hinaus sah man sich wegen der geringen spezifischen Emission des Wolframs gezwungen, ein günstigeres Kathodenmaterial zu finden. Man wählte zunächst das Niobium, das sich aber wegen des niedrigeren Schmelzpunktes und der damit verbundenen geringeren Standfestigkeit im Vergleich zu Wolfram und Tantal für eine hohe Lebensdauer als ungeeignet erwies. So verblieb noch das Tantal, dessen Name – einer griechischen Sage entnommen –

daran erinnern soll, welche »Tantalusqualen« die Gewinnung dieses Metalls seinerzeit den Physikern und Chemikern bereitete. Umfangreiche technologische Vorbereitungen waren notwendig, um dieses Metall bereitzustellen, das man bis dahin nur in kleineren Stücken von 50 bis 100 g herstellen konnte, jetzt aber zur Fertigung der geplanten Tantal-Rohrkathoden in Barren von 6 bis 8 kg benötigte. Die ersten Ergebnisse konnten nur mit an sich untauglichen Mitteln erzwungen werden, nämlich mit Hochvakuumöfen, die zum Erzielen der notwendigen Temperatur (bis zu 2700 °C) in unvorschriftsmäßiger Weise überlastet werden mußten. Aber der Erfolg rechtfertigte schließlich auch diese gewagten Schritte. Jetzt stand endlich das Material zur Verfügung,

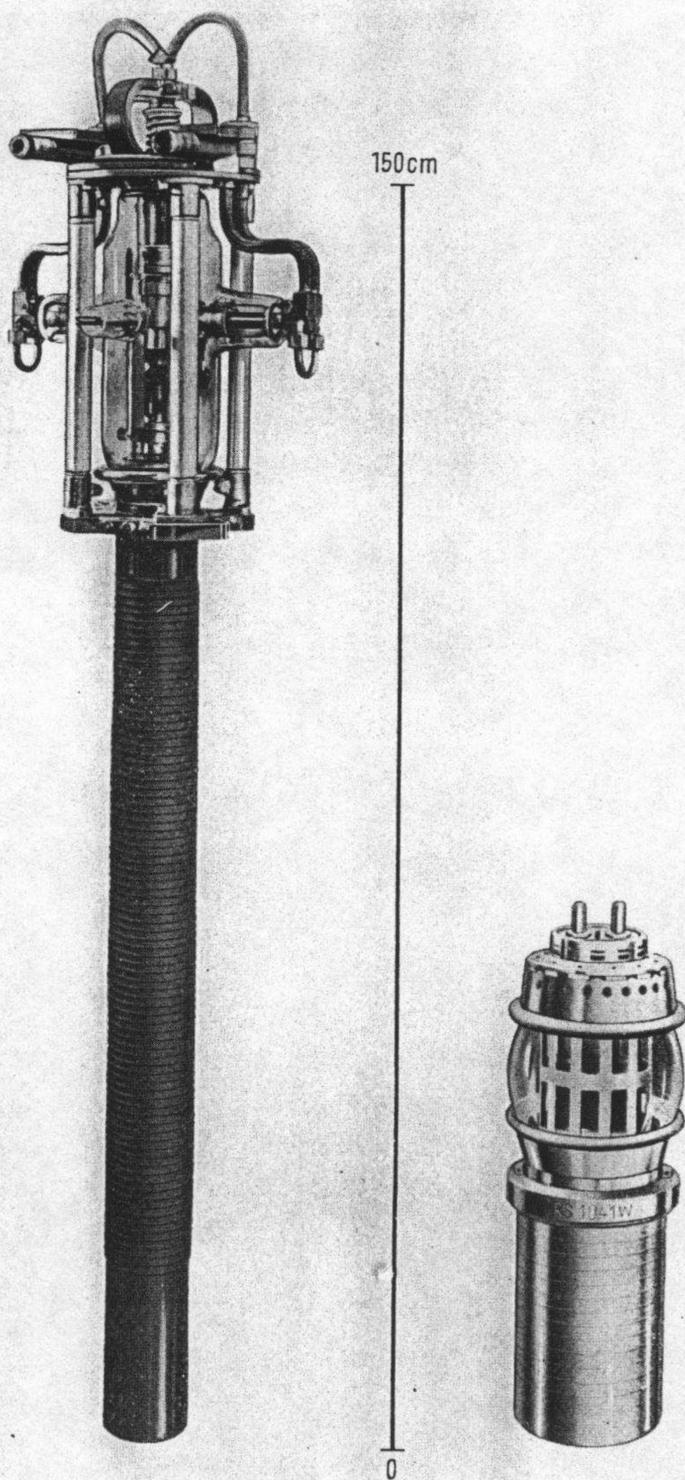


Bild 2 Links: wassergekühlte 300-kW-Triode RS 300, Heizleistung 36 kW, Baulänge 170 cm (Baujahr 1932). Rechts: wassergekühlte 360-kW-Triode RS 1041 W, Heizleistung 5 kW, Baulänge 66 cm (Baujahr 1953)

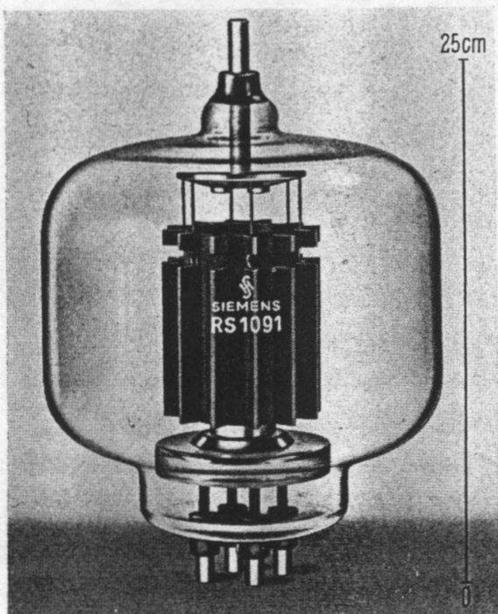


Bild 3 Strahlungsgekühlte 5,5-kW-Triode RS 1091 für Frequenzen bis 80 MHz (mit Maschenkathode)

um eine 300-kW-Röhre (die RS 300, Bild 2, links), die damals größte Senderöhre der Welt, zu bauen. Etwa zwei Jahrzehnte blieb diese Senderöhre, die eine Lebensdauer von mehr als 20000 Stunden erreichte, ein Standardtyp für Großsender.

Im Zuge der Erschließung weiterer Übertragungskanäle und der Vergrößerung der Bandbreite ging die Sendetechnik in der Folgezeit zunehmend zu höheren Frequenzbereichen über. Die bisherigen Leistungs-Senderöhren mit ihrer großen Baulänge, die durch die damalige noch recht umständliche Technologie und die niedrige spezifische Emission der Wolfram- und Tantalkathoden bedingt war, waren hierfür nicht geeignet. Schon um 1940 hatte man versuchsweise damit begonnen, die Wolframkathoden durch solche aus thorierten Wolframdrähten zu ersetzen, was neben einer Erhöhung der spezifischen Emission auch eine Verringerung der Baulänge der Röhren mit sich brachte. Als dann die Einführung des UKW-Rundfunks und des Fernsehens begann, setzte eine intensive Entwicklungsarbeit ein, in



Bild 4 Luftgekühlte 30-kW-Sendetetrode RS 1082 CL in Metall-Keramik-Technik mit vollkonzentrischem Aufbau für Einseitenband-Nachrichtensender

deren Verlauf die Grundlagen der neuartigen Aufbauformen und Konstruktionsgrundsätze geschaffen wurden. So entstanden die Maschenkathode und das Maschengitter, mit denen – in Verbindung mit dem Übergang auf thoriertes Wolfram als Kathodenmaterial – kurze, gedrungene Bauformen hoher mechanischer Festigkeit und Genauigkeit verwirklicht werden konnten. Eine weitere Verkürzung der Baulänge wurde dadurch erreicht, daß die Röhre nicht mehr, wie bisher, durch Verschmelzen von Glasteilen miteinander verschlossen wurde, sondern durch Lichtbogenschweißen von Metall mit Metall. Die Forderungen nach induktivitäts- und verlustarmen Elektrodenzuleitungen konnten durch konzentrische oder scheibenförmig ausgebildete Durchführungen erfüllt werden, die das rohrförmige Gitter und – erforderlichenfalls auch die Kathode – gewissermaßen nach außen hin koaxial fortsetzen. Mit dieser Bauweise war es ferner möglich, die Genauigkeit im Aufbau der Elektroden zu vergrößern, die Steilheit und damit die Breitbandigkeit der Röhren durch kleinere Gitter-Kathoden-Abstände zu erhöhen sowie das Gitter unter Fortfall der Abstützung gegen die Kathode freitragend zu gestalten. Wegen dieser und anderer fertigungstechnischer Vorteile wurden die ursprünglich nur für die Anwendung bei sehr hohen Frequenzen vorgesehenen neuen Aufbauformen jetzt auch der Entwicklung einer allgemeinen Typenreihe der Senderöhren zugrunde gelegt. Bei dem Vergleich einer solchen neuzeitlichen Röhre, der wassergekühlten 360-kW-Triode RS 1041 W (Bild 2, rechts), mit der in Bild 2 links dargestellten alten RS 300 erkennt man unschwer den erreichten Fortschritt.

Auch neue Kühlverfahren (neben der bisher allein verwendeten Wassenumlaufkühlung »W«): die Kühlung in einem Luftstrom »L« mit Hilfe von Kühlrippen und eine von allen ursprünglichen Mängeln befreite neue Art der Verdampfungskühlung »V« wurden eingeführt.

In Bild 3 ist die strahlungsgekühlte 5,5-kW-Triode RS 1091 gezeigt, die ebenfalls eine Maschenkathode hat und gegenüber der alten GR 502 (in Bild 1, links) die zehnfache Nutzleistung abgibt. Sie ist die z. Z. größte Ausführung einer gleichfalls nach neuzeitlichen Gesichtspunkten entwickelten Typenreihe strahlungsgekühlter Röhren.

Ein besonders hervorzuhebendes Ergebnis der jüngsten Entwicklung sind die Sendetetroden in Metall-Keramik-Technik, von denen Bild 4 die für Einseitenband-Nachrichtensender entwickelte luftgekühlte RS 1082 CL zeigt. Ein anderes Beispiel ist die 10-kW-Tetrode RS 1032 C für das UHF-Fernsehband IV/V. Bei allen diesen Röhren werden anstelle des Glases gesinterte Keramikringe aus Aluminiumoxyd verwendet, mit denen die Herstellung vakuumdichter Metall-Keramik-Verbindungen mit geringsten dielektrischen Verlusten, hoher mechanischer Festigkeit und Temperaturbeständigkeit sowie ausgezeichneter Maßhaltigkeit möglich wurde.

# Empfängerröhren für Rundfunk und Fernsehen

VON HANS-EMIL DÄRR

Während sich die Fertigung von Spezialröhren im Hause Siemens heute über einen zusammenhängenden Zeitraum von etwa 50 Jahren erstreckt, erfuhr die Herstellung von Röhren für den nichtkommerziellen Bereich, nachdem sie nach Aufkommen des Rundfunks (1922/23) einen für damalige Verhältnisse beachtlichen Aufschwung genommen hatte, bald eine längere Unterbrechung. Aus wirtschaftlichen Gründen waren die Aufgaben zwischen Siemens & Halske und der damaligen Beteiligungsgesellschaft Telefunken\* so verteilt worden, daß Siemens & Halske sich in der Folge auf die Herstellung von kommerziellen Röhren und Telefunken auf die Fabrikation von Rundfunkröhren spezialisieren sollte. Erst die Zeit nach 1945 brachte, nachdem die Verbindung zu Telefunken inzwischen gelöst worden war, in dieser Hinsicht eine Neuorientierung. Einer Wiederaufnahme der Rundfunkröhren-Produktion stand nun nicht nur nichts mehr im Wege, sie wurde durch die Verhältnisse nach 1945 geradezu gefordert. Man konnte davon ausgehen, daß eine große Anzahl der vorhandenen Rundfunkempfänger zerstört war; dazu kam ein gesteigertes Bedürfnis nach Information und Unterhaltung. So wurde die Fertigung von Rundfunk- und Fernsehempfangerröhren beim Wiederaufbau der Röhrenfabrik ein nicht zu unterschätzender Faktor.

\* Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft und die Siemens & Halske AG waren bis zum Jahre 1941 je zur Hälfte an der Telefunken GmbH beteiligt.

Die damals schon fast 35jährige große physikalische und technologische Erfahrung auf dem Gebiet der Spezialröhren konnte sich nun in dem Bereich der Rundfunkröhren mit dessen meistens leichter erfüllbaren Anforderungen günstig auswirken und war eine gute Grundlage für diesen Neubeginn.

Wo stand damals die Technik dieses Produktionszweiges? In Europa war die Stahlröhre die gebräuchliche Ausführungsform geworden. Doch in den USA hatte sich eine neue Bauform, die »Allglasröhre«, durchgesetzt. Sie kam in ihrer Einfachheit und Kleinheit den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen, die man beim Bau von Rundfunkgeräten stellen mußte, am weitesten entgegen. So war es ein guter Anfang, von einer technischen Lösung auszugehen, die alle Voraussetzungen für eine fruchtbare Weiterarbeit bot. Genau ausgerichtet auf die Schaltungserfordernisse, erstand bald ein kleines, den Kurz-, Mittel- und Langwellenempfang berücksichtigendes Röhrenprogramm. Den Anstoß zur Entwicklung weiterer Typen gaben neue Aufgaben: Der UKW-Rundfunk stellte mit seinen höheren Frequenzen und der Frequenzmodulation neue Probleme. Später regte das Fernsehen wiederum zu neuen Anstrengungen und Lösungen an (Bild 1). Die bis dahin ausschließlich verwendeten gewickelten Gitter (Kerbgitter) konnten den wachsenden Anforderungen an Verstärkung und Rauschfreiheit nicht mehr hinreichend genügen. So bedeutete es einen bahn-

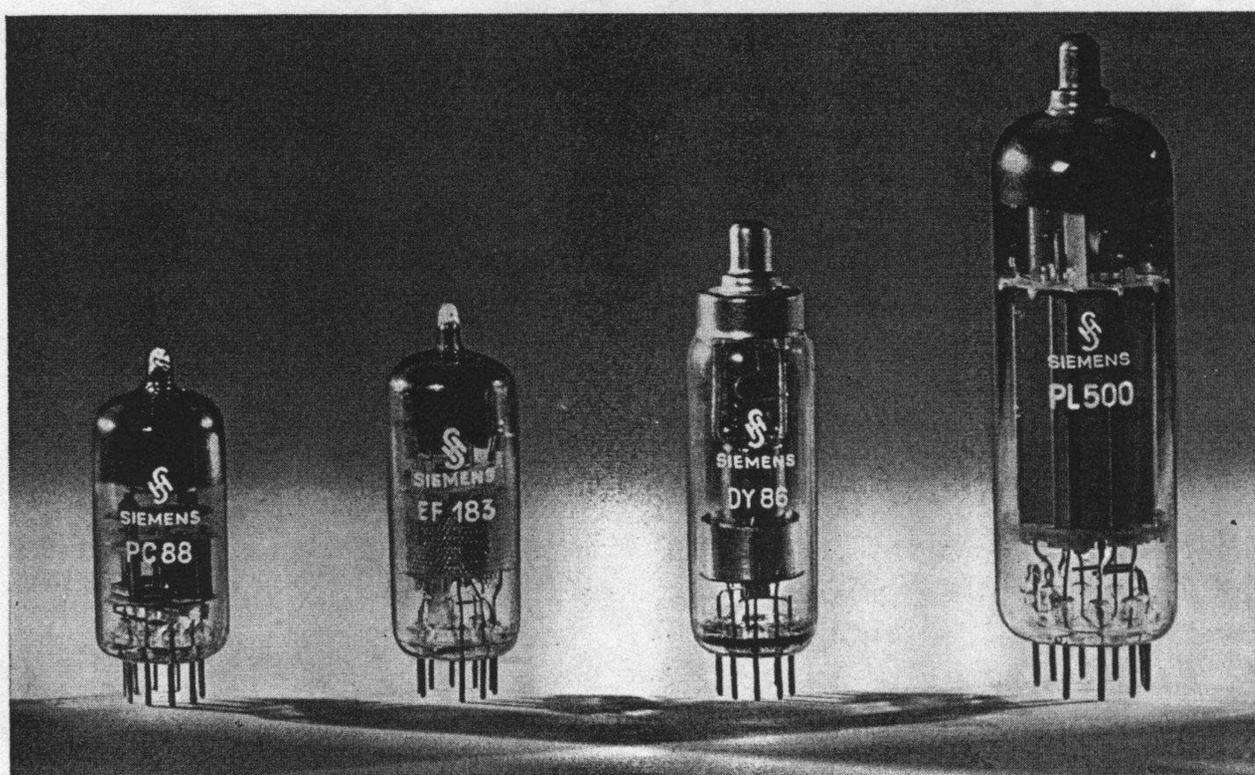


Bild 1 Neue Fernseh-Empfängerröhren

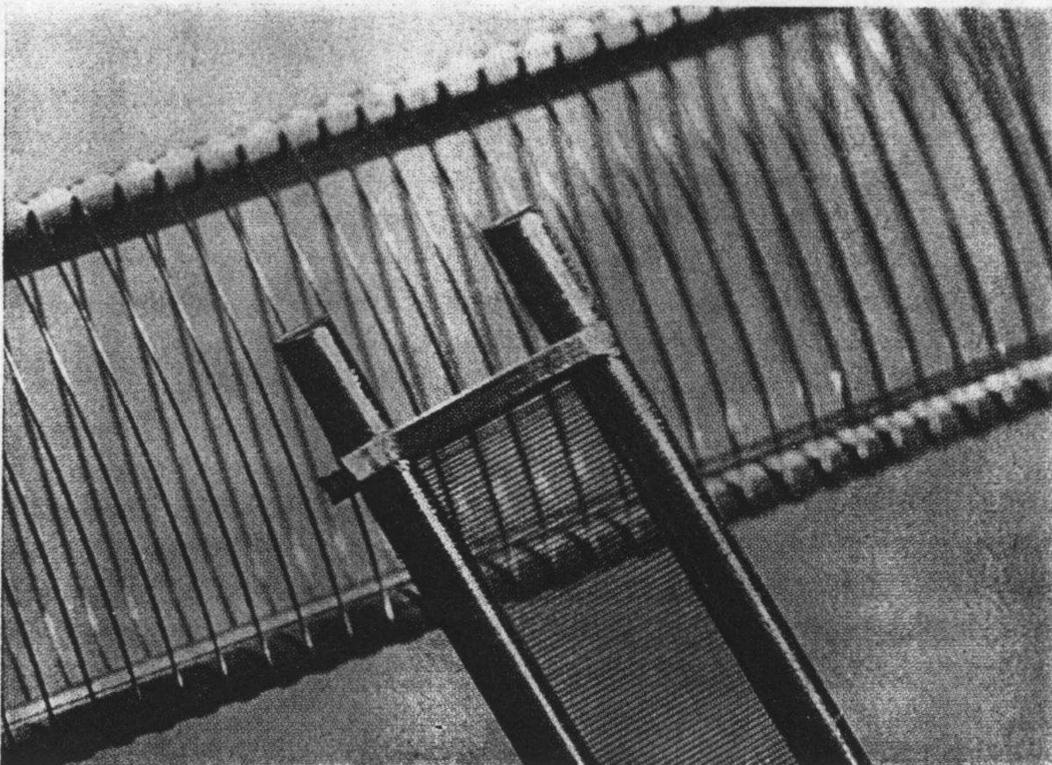


Bild 2 Spanngitter im Vergleich zu einem üblichen Kerbgitter (Vergrößerung im Verhältnis 7:1)

brechenden Fortschritt, als im Jahre 1956 erstmals Siemens-Röhren mit Spanngitter – in Massenfertigung hergestellt – für Fernsehempfänger zur Verfügung standen (Bild 2). Ein neuer Weg war aufgetan, der in mannigfachen Verzweigungen beachtenswerte technische Möglichkeiten eröffnete. So hat diese neue Technik mit dazu beigetragen, den Bereich der Dezimeterwellen für das Fernsehen zu erschließen, und zwar auf einer wirtschaftlich tragbaren Grundlage.

Lange Zeit ist die Entwicklung der Rundfunkröhre in Deutschland amerikanischen Vorbildern gefolgt. Jetzt hat die Beherrschung der Massenfertigung von Spanngittern und die Verwendung des Spanngitters in der Rundfunkröhre die Verhältnisse merklich verschoben und damit die Möglichkeit geschaffen, erfolgreich mit der Industrie der USA in Wettbewerb zu treten.

War es zwischen den USA und Westeuropa der technische Wettbewerb, der für die Weiterentwicklung starke Im-

pulse gab, so kann man umgekehrt – bei der Betrachtung der Typenprogramme östlicher Länder – feststellen, wie die gut gezielten Entwicklungen der westlichen Seite in Technik und Typenprogramm dort heute beispielgebend wirken und mit Interesse aufgegriffen werden.

Es läßt sich bei dieser Rückschau heute feststellen, daß die Röhrenfabrik von Siemens & Halske in den letzten zehn Jahren nicht nur eine in der Quantität beachtliche und in ihrer Qualität anerkannte Rundfunkröhrenfertigung aufgebaut, sondern auch einen wesentlichen Beitrag zur technischen Entwicklung der Rundfunkröhre geleistet hat.

Am Ende eines Rückblickes liegt es nahe, sich auch in einer kurzen Vorschau Gedanken über den weiteren Gang der Dinge zu machen. In diesem Fall ist hierzu um so mehr Anlaß gegeben, als heute im Transistor ein neues Bauelement erstanden ist, das – ein Verstärkerelement wie die Röhre – in zunehmendem Maße seine Verwendung in gleichen oder ähnlichen Aufgaben findet. Über die künftigen Abgrenzungen der Anwendungsbereiche gehen die Meinungen heute zuweilen noch weit auseinander. Immerhin haben Röhre und Transistor einige recht unterschiedliche spezifische Eigenschaften: Der Ersparnis der Heizleistung und der Kleinheit in den Abmessungen beim Transistor stehen bei der Röhre u. a. die weitgehend leistungslose Steuerungsmöglichkeit und die Unempfindlichkeit gegen erhöhte Umgebungstemperaturen gegenüber. Man darf also annehmen, daß in Zukunft beide Bauelemente nebeneinander ihren Platz von Fall zu Fall dort einnehmen werden, wo sie für die Erfüllung der Anforderungen die jeweils besseren technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften aufweisen.

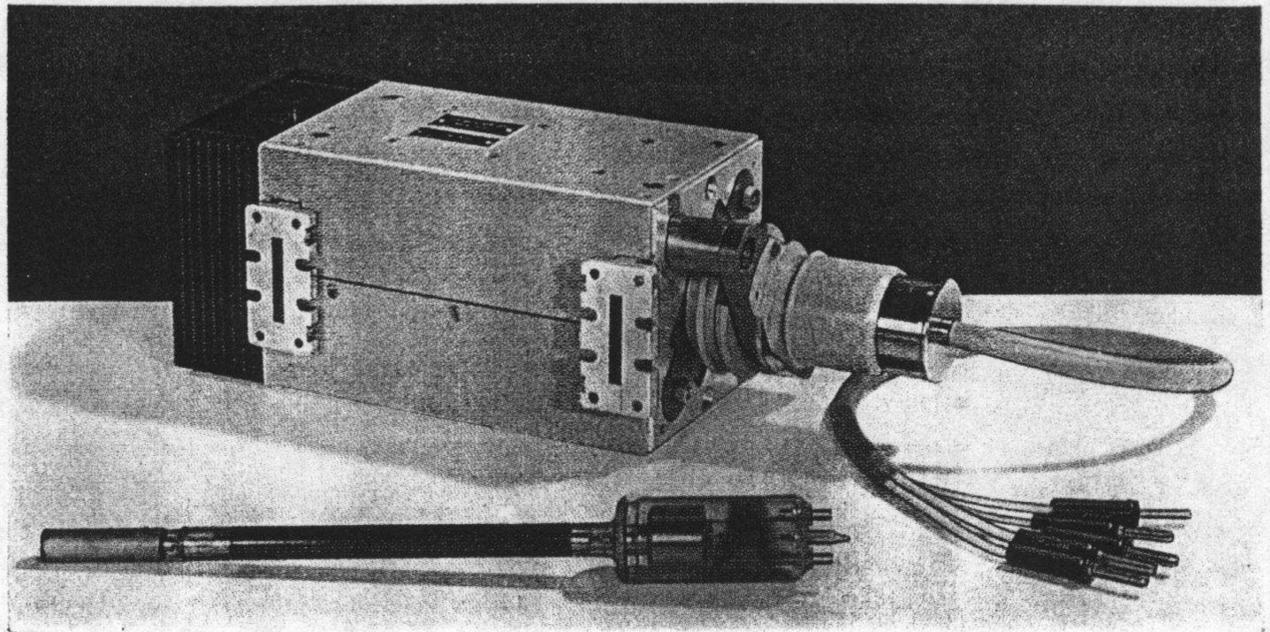
## Laufzeitröhren hoher Bandbreite für den Nachrichtenverkehr

VON WERNER VEITH

Das Bestreben der Entwicklungsingenieure, für die Nachrichtentechnik durch Erschließung höherer Frequenzbereiche neue Kanäle zu gewinnen, wurde von der Röhre her dadurch behindert, daß bei sehr hohen Frequenzen die Elektronenlaufzeit stört. Zwar hatte BARKHAUSEN bereits 1920 gezeigt, daß man gerade durch Ausnutzung dieses Effektes sehr hochfrequente Schwingungen er-

zeugen kann, jedoch brauchte man für die Entwicklung technisch geeigneter Röhren noch etwa 20 weitere Jahre. Die ersten typischen Laufzeitröhren, das Klystron und das viel ältere Magnetron, bekamen ihre große Bedeutung erst in den Jahren zwischen 1939 und 1945; die Wanderfeldröhre wurde überhaupt erst später erfunden. Wegen der Unterbrechung nach 1939 begann sich

Bild 1 Wanderfeldröhre RW 6.  
Frequenzbereich 5900 bis 6850 MHz,  
HF-Leistung 10 W,  
6000fache Leistungsverstärkung



die Industrie in Deutschland erst Ende der 40er Jahre eingehend mit Laufzeitröhren zu beschäftigen. Im damals neu entstandenen Arbeitsgebiet des Zentimeterwellen-Richtfunks wurden als Senderöhre eine Wanderfeldröhre mit einigen Watt Ausgangsleistung und ein Reflexklystron als Modulator und Oszillator benötigt.

Nach einem ersten Fußfassen in der Technik dieser Röhren und nach Vertrautwerden mit der Wirkungsweise der verschiedenen Laufzeitröhren setzten sich allmählich auch eigene Erkenntnisse und Bauprinzipien durch. So wurde im Hause Siemens frühzeitig die einfache elektromagnetische Fokussierungsspule für Wanderfeldröhren verlassen und durch Permanentmagnete ersetzt und schließlich ein eigenes System für räumlich periodische Fokussierung gefunden, das sich sehr gut bewährt hat und noch mancherlei Anwendungsmöglichkeiten erkennen läßt. Mit diesem System, bei dem die magnetische Achse sehr genau mit der geometrischen Achse des Weicheisenkerns zur Deckung gebracht werden kann, wird es möglich, auch Wanderfeldröhren in ebenso einfacher Weise einzusetzen, wie man es von normalen Röhren verlangt (plug-in). Darüber hinaus läßt sich hiermit die Reihe der Wanderfeldröhren in weiten Frequenzbereichen und mit Dauerleistungen von einigen Watt bis in die Kilowatt erweitern (Bild 1).

Die wichtigste Eigenschaft des Reflexklystrons ist bei der Verwendung in Richtfunkgeräten seine Linearität, also die lineare Änderung der Oszillatorfrequenz mit der Reflektorspannung. Mit der fortschreitenden Erhöhung der Sprechkanalzahl verlangt man eine Verbreiterung dieses linearen Bereichs, was letztlich nur durch eine verbesserte Elektronenoptik erreichbar ist. Auch hier konnten Werte erzielt werden, die weit über das technisch bisher übliche hinausgehen.

Schon sehr frühzeitig wurden die Arbeiten an einer noch neuartigen Röhrenart aufgenommen, der Rückwärts-

wellenröhre, die sich besonders für solche Anwendungen eignet, bei denen ein breites Frequenzgebiet mit möglichst einfachen Mitteln, also vorzugsweise elektronisch, überstrichen werden soll (Bild 2). Das Studium dieser Art von Röhren ergab schließlich, daß sie ganz vorzüglich zur Erzeugung von sehr hohen Frequenzen, d. h. von Millimeterwellen, geeignet sind. Die Absicht, diese Röhre bei sehr kurzen Wellen zu verwenden, verlangte wiederum nach Verzögerungsleitungen für sehr hohe Frequenzen; dabei wurde von vornherein das Augenmerk darauf gerichtet, einfache, robuste und mit vertretbarem technischen Aufwand herstellbare Formen zu finden. Deshalb lag der Schwerpunkt der Entwicklungs- und Forschungsarbeit im Auffinden geeigneter Verzögerungsleitungen, und dies ist bis heute so geblieben, weil für die meisten Laufzeitröhren besonders dieses Bauteil von ausschlaggebender Bedeutung ist. Es ist wohl fast unnötig zu erwähnen, daß hierzu auch eine entsprechende Technologie entwickelt werden mußte. Außerdem werden der Entwicklungsingenieur und Physiker bei diesen Röhren für sehr hohe Frequenzen genauso wie bei den Hochleistungsröhren vor immer wieder neue und reizvolle elektronenoptische Aufgaben gestellt – eben die Probleme der Elektronenoptik sehr stromstarker Strahlen, einer Disziplin, die noch dauernd im Fluß ist.

Für viele Zwecke der Nachrichtentechnik genügen Leistungen, wie sie mit den oben beschriebenen Röhren erzielt werden können. Für andere Anwendungen, z. B. in Navigationsgeräten oder in Anlagen für die Teilchenbeschleunigung, sind ganz andere Röhrentypen mit wesentlich größeren Leistungen, wie das Impulsmagnetron oder das Hochleistungsklystron, notwendig.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, daß diese äußerlich so verschiedenen Elektronenröhren als Glieder einer großen Röhrenfamilie weitgehend verwandte Züge zu den schon geschilderten Typen aufweisen.

So unterscheidet sich z. B. ein Mehrkammerklystron nicht sehr von einer Wanderfeldröhre mit periodischer Struktur, und es gibt stetige Übergänge zwischen den beiden Röhrenarten. Auch das einfache Magnetron hat heute in dem sogenannten Travelling-Wave-Magnetronverstärker einen nahen Verwandten, der sich von der Wanderfeldröhre wiederum nur durch die Anordnung des magnetischen Feldes und die damit verbundene Fokussierungsart unterscheidet. Dabei haben solche Röhren aber doch ihre eigenen Vorzüge, und es ergibt sich für die Entwicklungsarbeit die Notwendigkeit, das ganze Gebiet zu beherrschen, um den richtigen Röhrentyp für den gewünschten Zweck herausfinden zu können. Daher muß auch die Röhrenfabrik sich heute mit magnetronähnlichen Röhren beschäftigen.

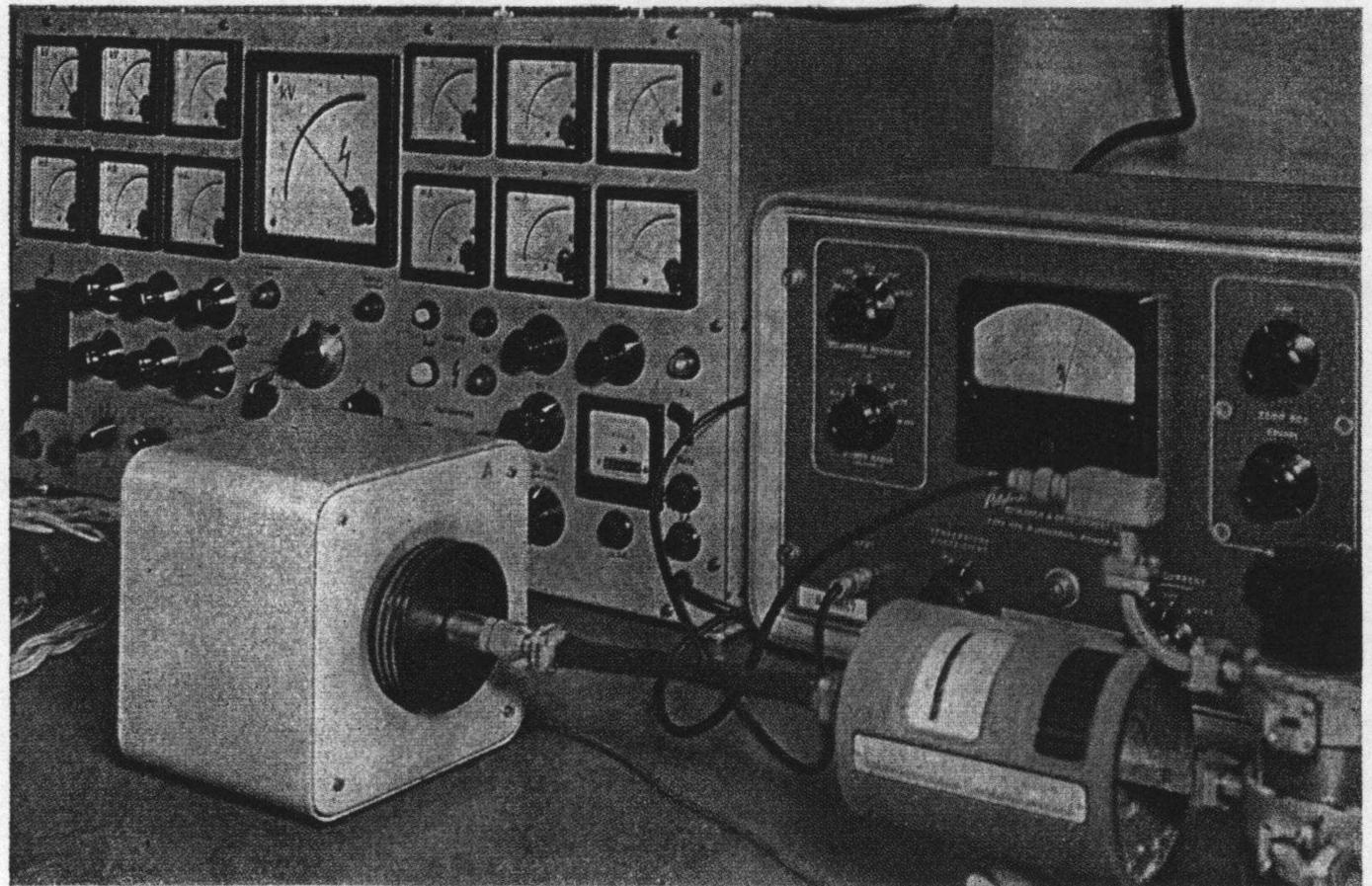
Ein gutes Beispiel für die Verwandtschaft von zwei ganz verschieden scheinenden Röhren ist auch die Resonanz-Rückwärtswellenröhre, die – als handlicher Oszillator im Millimeterwellengebiet verwendet – zwischen der normalen Rückwärtswellenröhre und dem Zweispaltklystron (Heilscher Generator) steht (Bild 2).

Die Vervollkommnung des Arbeitsgebietes der Laufzeitröhren ist aber doch nicht so weit fortgeschritten, daß nicht immer wieder neue Gedankengänge und Effekte zur Verbesserung der Röhren herangezogen werden würden. Hier sei nur das Problem der Einsparung des magnetischen Fokussierungsfeldes genannt, also des Übergangs zur elektrostatischen Fokussierung. Auch auf

diesem Arbeitsgebiet hat die Röhrenentwicklung im Hause Siemens eine Tradition. Die Verfolgung dieses Zieles, insbesondere im Zusammenhang mit der Verstärkung von »langen« Wellen, dürfte in der Zukunft große Bedeutung bekommen.

Die Tendenz zum Beschreiten neuer Wege zeigt sich noch stärker bei der Aufgabe der Verstärkung sehr schwacher Signale. Neben die rauscharmen Wanderfeldröhren klassischer Bauart sind neuerdings die parametrischen Verstärker mit Elektronenstrahlen getreten, worunter man allgemein Verstärker versteht, bei denen die verstärkte Hochfrequenzleistung einer Wechselstromquelle noch höherer Frequenz entnommen wird. Diese neuen Röhren mit extrem kleiner Rauschzahl haben die Entwicklung auf dem ganzen Arbeitsgebiet außerordentlich gefördert. Man fand dann auch für die normalen rauscharmen Wanderfeldröhren neue Verfahren, um den Strahl schon im Kathodenraum wesentlich rauschärmer zu machen, als dies mit den bisher entwickelten Theorien vereinbar schien. Auch diese neuen Möglichkeiten wurden von der Röhrenentwicklung im Hause Siemens aufgegriffen. Darüber hinaus läßt sich erwarten, daß mit der sogenannten Ablenkverstärkerröhre – d. h. einer Röhre, bei der statt der longitudinalen Raumladungswellen der Wanderfeldröhren Transversalwellen ausgenutzt werden – ein dritter Weg zur Verstärkung sehr schwacher Signale, vielleicht sogar bei sehr hohen Frequenzen, beschritten werden kann.

Bild 2 Meßplatz  
im Millimeterwellen-  
Laboratorium



Im Vordergrund links ein Rückwärtswellen-Oszillator. Sichtbar sind nur die aus dem Abschirmgehäuse herausragenden Kühlrippen der Kollektoranode. Über einen flexiblen Hohlleiter ist ein Frequenzmesser angeschlossen (rechts). Darüber im Hintergrund die Skale des Leistungsmessers

# Fertigung und Fertigungsstätten der Röhrenfabrik

VON KURT THEML

Aus jener kleinen Versuchswerkstatt der Jahre 1912 bis 1916, in der damals die ersten Siemens-Röhren gebaut wurden, sind mittlerweile zwei umfangreiche Fabrikbetriebe mit den Standorten Berlin und München geworden (Bilder 1 und 2). Außerdem wurde der Röhrenfabrik

München noch ein Zweigbetrieb in Grafing bei München angegliedert. In diesen Produktionsstätten werden heute Rundfunkröhren, Weitverkehrsröhren, Höchsthfrequenzröhren, Spezialverstärkerrohren, Senderrohren, Hochspannungsgleichrichter und Stromtore gefertigt.

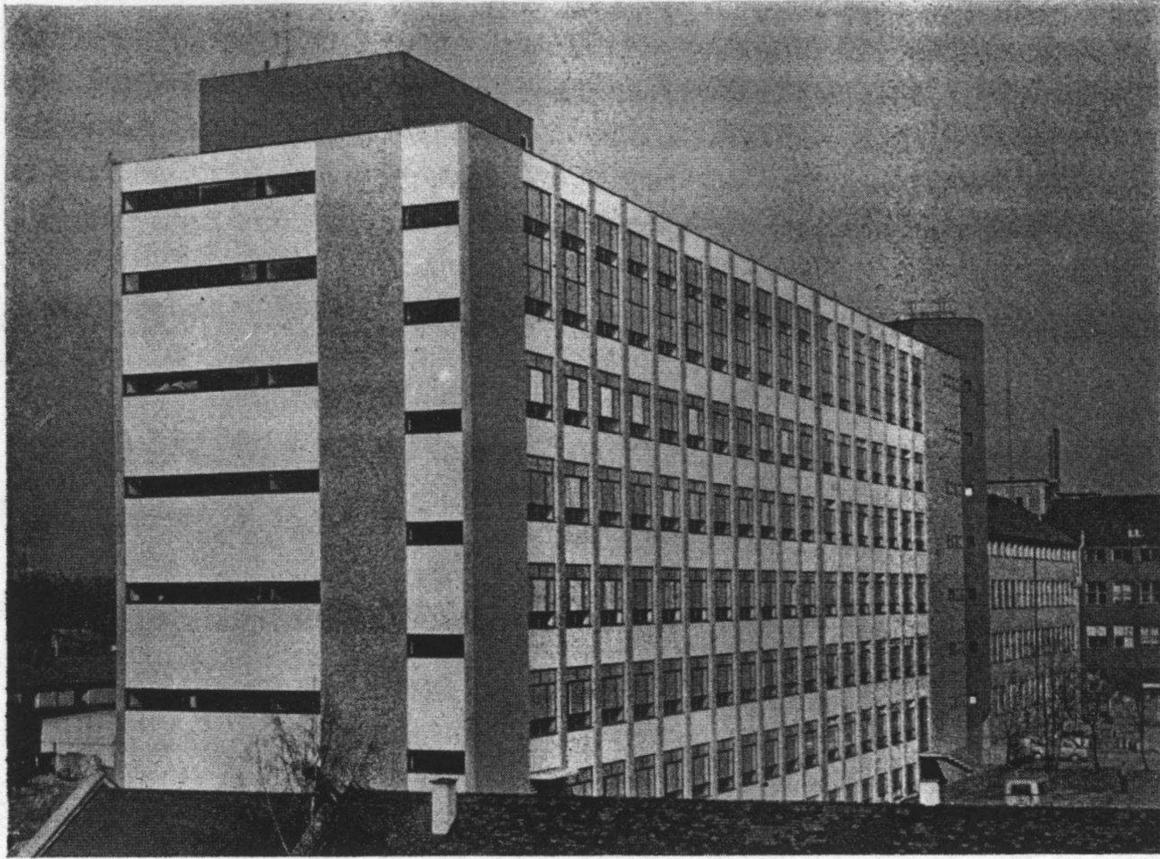


Bild 1 Erweiterungsbau 1960/61  
der Röhrenfabrik  
in München, St.-Martin-Straße



Bild 2 Röhrenfabrik Berlin,  
Berlin-Siemensstadt

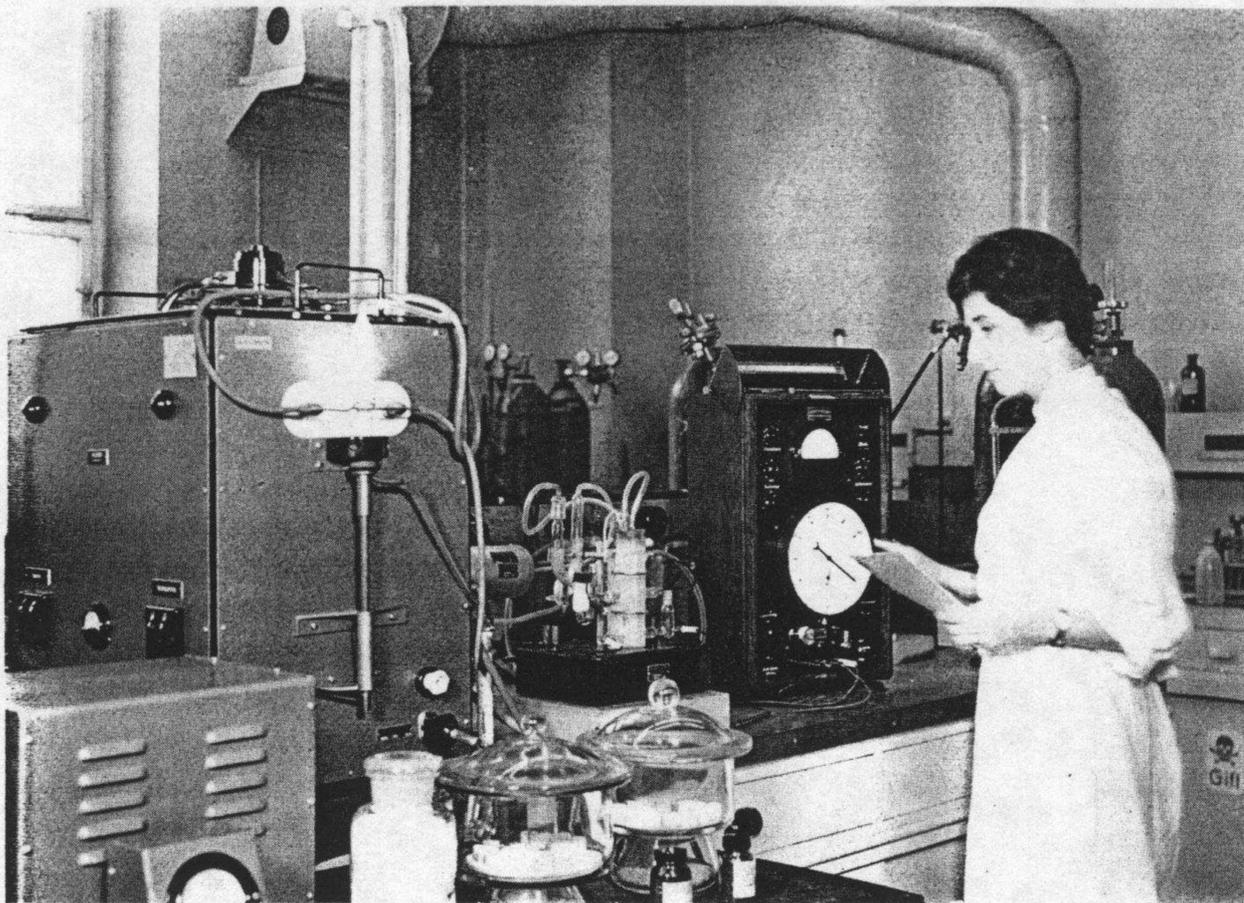


Bild 3 Mikroanalytische Bestimmung von Spurenelementen in Metallen (z. B. im Kathodennickel oder im Anodenmaterial)

Obwohl sich diese verschiedenen Röhrengattungen nicht nur in ihrer äußeren Gestalt und ihrem Verwendungszweck, sondern auch in der Fertigung erheblich voneinander unterscheiden, haben sie doch eines gemeinsam: Ihre Herstellung verlangt ein außerordentlich breites Spektrum fertigungstechnischen Wissens: Vakuumtechnik, Feinwerktechnik, die Technik der Glasverarbeitung und Chemotechnik greifen vielfältig ineinander. Nur eine Fabrik, in der alle diese Gebiete wirklich beherrscht werden, ist heute in der Lage, Röhren der verlangten Qualität wirtschaftlich herzustellen. Dabei reicht der Fertigungsumfang der einzelnen Röhrentypen – den benötigten Stückzahlen entsprechend – von der Einzelfertigung über die Serienfertigung bis zur weitgehend automatisierten Massenfertigung.

Innerhalb einer Röhrenfabrik heben sich folgende Bereiche der Produktion deutlich voneinander ab: Die Werkstoffprüfung, die Metallteilerfertigung, die Glas-teilerfertigung, die Gitterfertigung, die Kathodenfertigung, die Heizerfertigung, die chemische Fertigung (mit ihren Unterabteilungen Chemische Massen und Galvanik), die Montage, der Fertigbau (umfassend die Arbeitsgänge des Einschmelzens, Pumpens und Alterns), die Serien- und die Stichprobenprüfung (letztere einschließlich der Lebensdauererprobung) und schließlich die Packerei. In alle Bereiche der Teilerfertigung und des Fertigbaues hat die Revision Kontrollen eingebaut. Sie bedient sich dabei, ebenso wie die Werkstoffprüfung, der neuzeitlichen Verfahren statistischer Qualitätslenkung.

Neben diesen mit dem Röhrenbau unmittelbar zusammenhängenden Unterabteilungen stehen der Werkzeugbau, der Spezialmaschinenbau und der Bau elektrischer

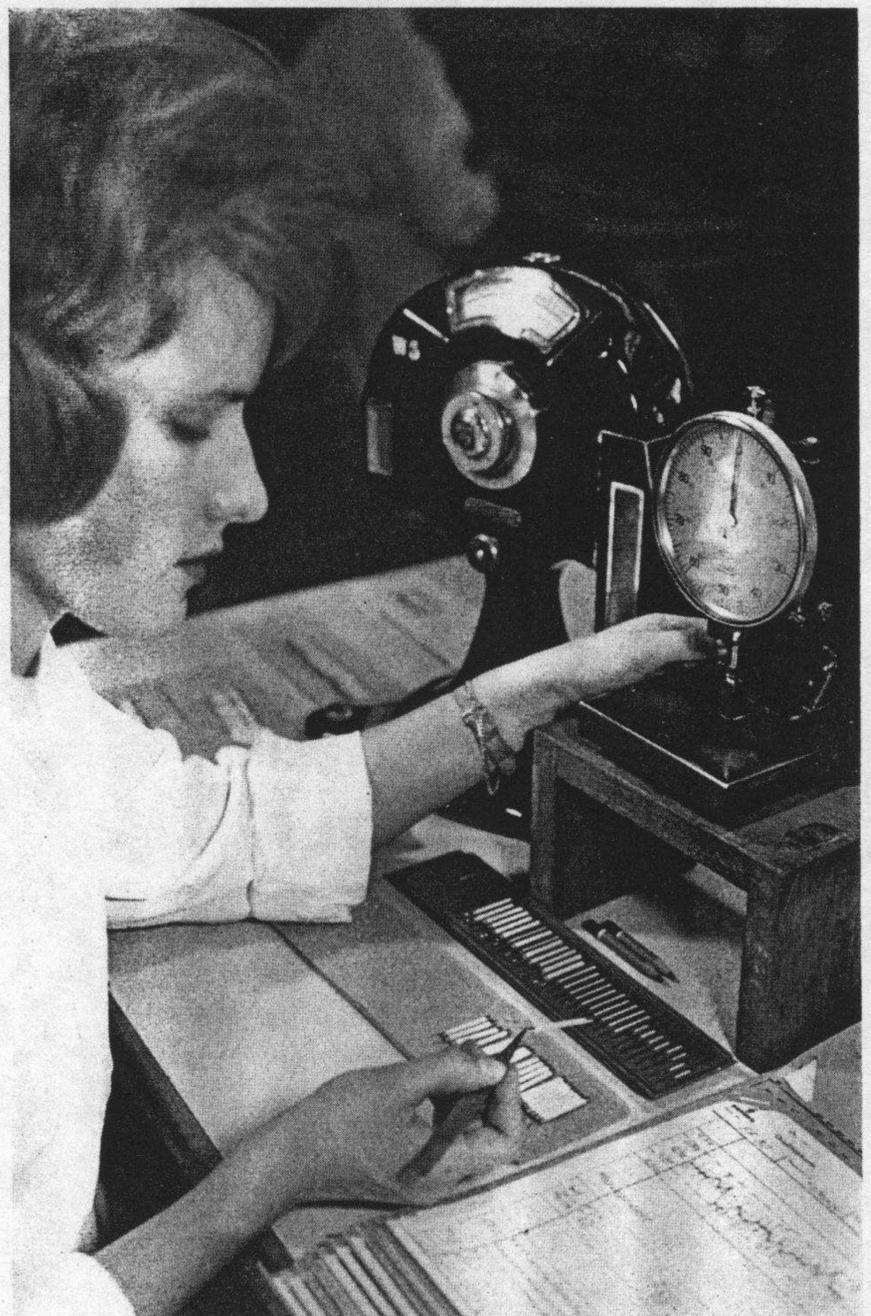


Bild 4 Im Rahmen der statistischen Qualitätskontrolle wird die Dicke der auf die Kathodenröhren aufgetragenen Emissionsschichten fortlaufend gemessen

Anlagen und Prüfgeräte. Vom Erfindergeist der hier beschäftigten Mitarbeiter und von der Qualität der hier geleisteten Arbeit wird die Wirtschaftlichkeit der Fabrik entscheidend mit beeinflusst.

Wollte man alle genannten Bereiche erschöpfend behandeln und damit den vollständigen Ablauf einer Röhrenfertigung schildern, so müßte man den Rahmen dieses Aufsatzes weit überschreiten. Es sollen deshalb aus dem Fertigungsgang nur einige Stationen, die einem allgemeineren Interesse begegnen, herausgegriffen werden.

Am Anfang der Fertigung steht die Werkstoffprüfung. Wegen des Verhaltens der Werkstoffe in der Röhre, d. h. im Vakuum und bei hohen Temperaturen, und wegen der gegenseitigen Reaktionen werden Werkstoffzusammensetzungen genauester Definition benötigt. Dies geht so weit, daß einzelne Halbzeuge im Hause selbst hergestellt werden (z. B. Vakuumkupfer und Tantal). Dabei ist nicht nur die chemische Zusammensetzung wichtig, auch die physikalischen Eigenschaften, die wesentlich durch die Herstellverfahren der Werkstoffe beeinflusst werden, erfordern eine Prüfung, beispielsweise die Warmfestigkeit und selbstverständlich die Dehnung, Härte, Oberflächenbeschaffenheit und nicht zuletzt die Maßhaltigkeit. Bei den meistens sehr kleinen Abmessungen der Bauteile mußten in vielen Fällen bekannte Prüfverfahren durch besonders ausgeklügelte mechanische und optische Verfahren ergänzt werden.

Auch bei der Überwachung der Qualität der Fertigung selbst reichen die klassischen Verfahren nicht mehr aus. Bei Abmessungen, die sich in der Größenordnung eines tausendstel Millimeters bewegen, ist eine sichere Feststellung der Maße am einzelnen Teil schwer möglich. Nur über Mittelwerte der Maße von mehreren Teilen können brauchbare Rückschlüsse auf die wahrscheinlichen Abweichungen vom Sollmaß gezogen werden. Das war mit der Grund, weshalb zu statistischen Verfahren übergegangen werden mußte.

Erfahrungsgemäß sind Besucher einer Röhrenfabrik von der Glasteilefertigung am stärksten beeindruckt. Beim Glas ist i. a. auch viel weniger bekannt, was z. B. beim Stahl und bei Metallegierungen Allgemeinwissen ist: daß es nämlich Sorten verschiedener Festigkeiten, Härten, Schmelzpunkte und Ausdehnungskoeffizienten gibt. Mancher ist überrascht, daß das Glas, dem doch der Ruf großer Empfindlichkeit und Unberechenbarkeit anhaftet, in der Röhrentechnik so sicher, ja sogar auf Automaten, verarbeitet werden kann.

Ein nur der Elektronenröhre eigentümliches Bauteil ist das Gitter, zu dessen Herstellung in der Massenfertigung Verfahren höchster Präzision und Ausgereiftheit erforderlich sind. Für Kerbgitter, Spanngitter, Kreuzspanngitter im Kleinröhrenbau sowie für Maschengitter im Senderöhrenbau wurden Schritt um Schritt Spezialmaschinen und -automaten entwickelt, die den heuti-

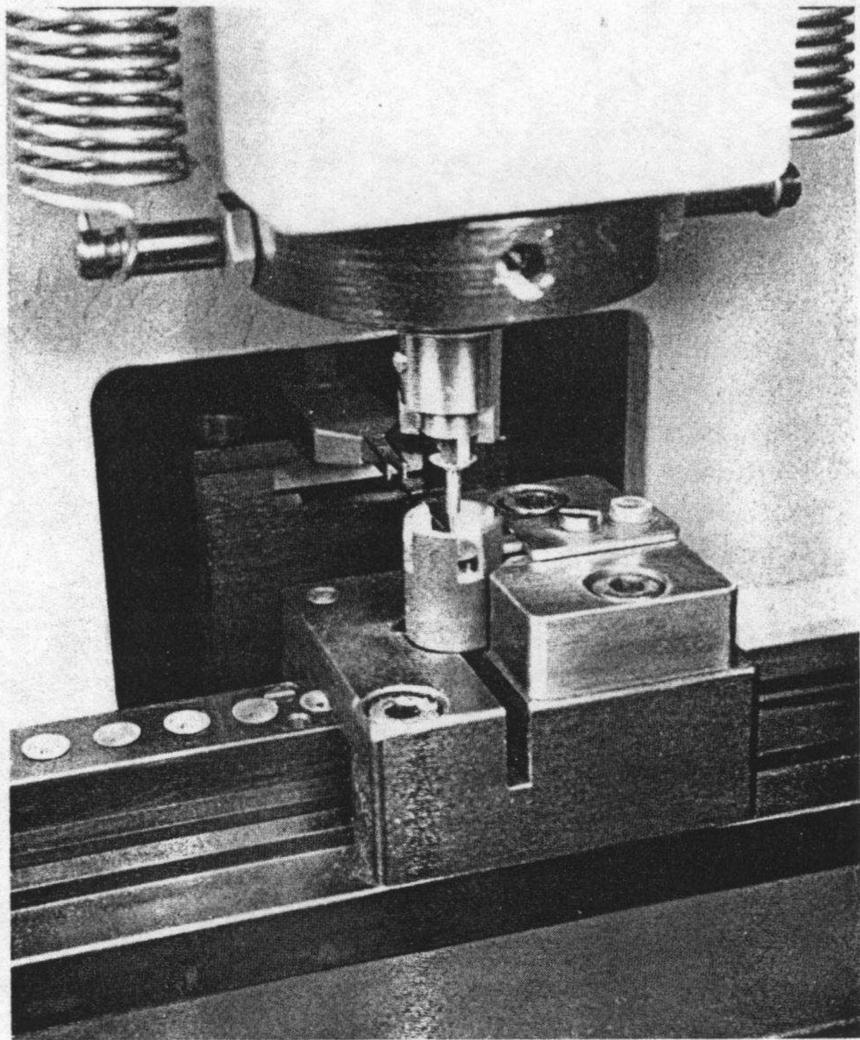


Bild 5 Nuvistor-Herstellung. Der fertige Gitteraufbau wird in eine Lötlehre eingesetzt

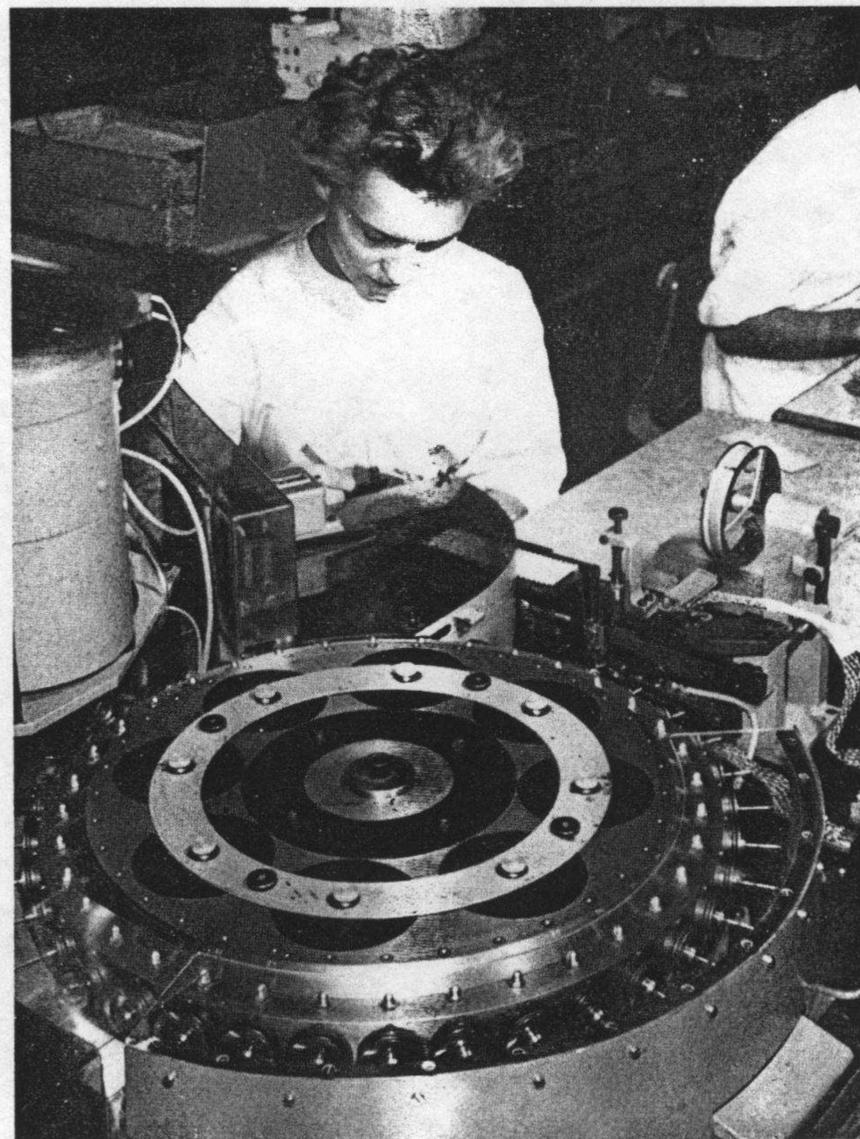


Bild 6 Kathoden-Streichautomat. Hier werden die Kathodenröhrchen mit der Emissionsmasse bestrichen, getrocknet und mit einem Zuführungsbändchen versehen

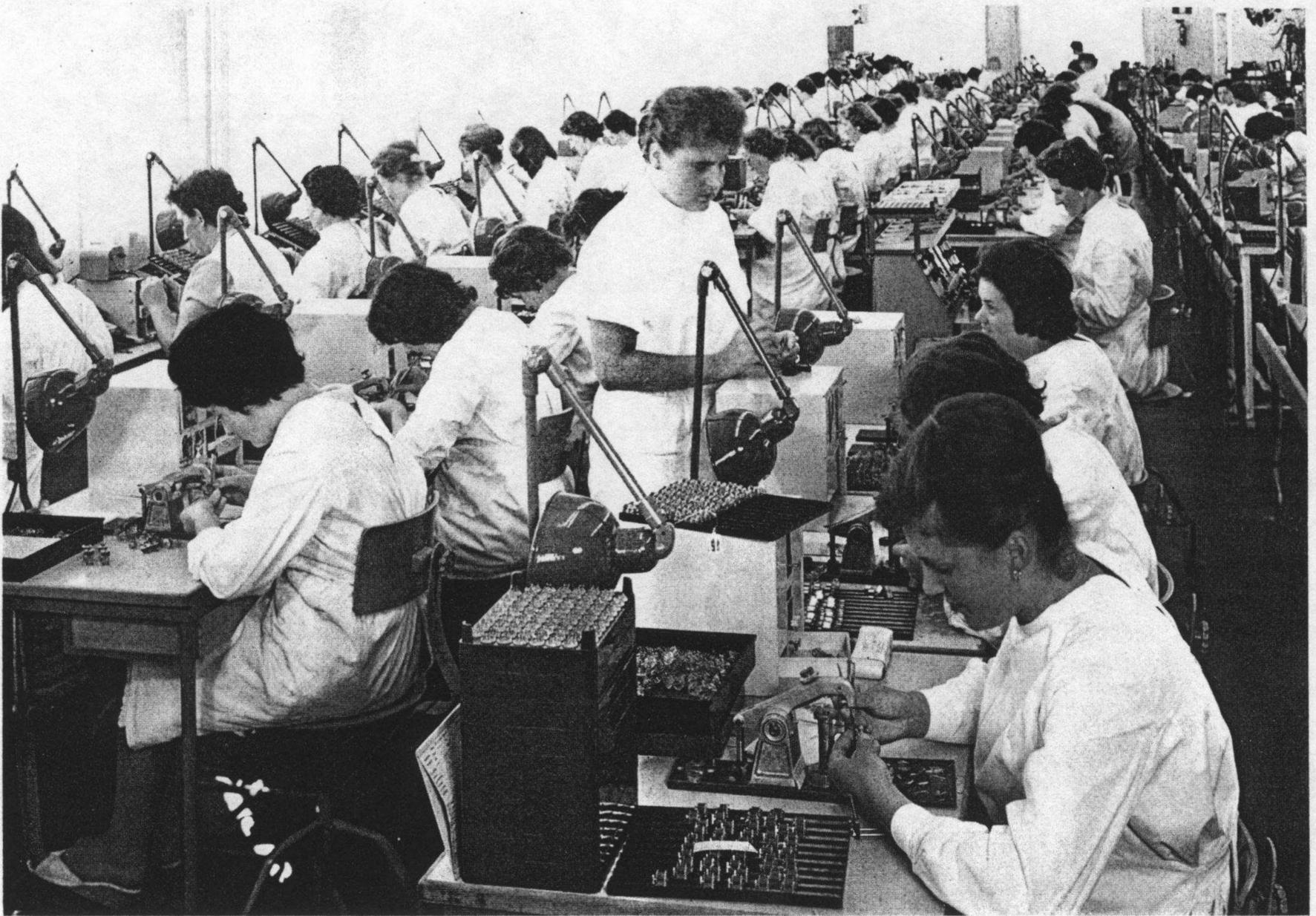


Bild 7 Montagesaal für Empfängerröhren

gen Forderungen nach hoher Leistung und Genauigkeit entsprechen.

Vielseitig wie die Gitterformen entwickelten sich auch die Kathoden. Die weiteste Verwendung findet die indirekt geheizte Oxydkathode. Je nach dem Verwendungszweck wird die emittierende Schicht auf den Kathodenträger wie eine Lackschicht mit normalen Spritzpistolen oder elektrostatisch aufgesprüht, kathodetisch aufgebracht oder in genauer Dosierung aufgestrichen. Kathoden der Senderöhren werden aus thorierten Wolframdrähten in Maschenbauweise (ähnlich wie die Maschengitter) hergestellt.

Der Zusammenbau der Systeme geschieht nicht nur bei den Senderöhren, sondern auch bei den Rundfunkröhren in der Regel von Hand, allerdings unterstützt durch sinnreiche Vorrichtungen und Lehren. Nur für wenige Rundfunkröhrentypen größter Stückzahl lohnt sich der Einsatz von Montage- und Schweißautomaten.

Auf einen den ganzen Röhrenbau betreffenden wichtigen Gesichtspunkt muß noch besonders hingewiesen werden: Ohne allergrößte Sauberkeit ist heute eine hochwertige Röhrenfertigung nicht denkbar. Das beginnt

schon bei der Herstellung der Einzelteile und gilt ebenso für die Montage. Die Röhreinbauteile werden vor der Montage physikalisch und chemisch gereinigt. Um eine nachträgliche Verunreinigung auszuschließen, werden die Montage, das Einschmelzen und das Pumpen in kürzest möglichem Durchlauf vorgenommen. Straffe Organisation und Disposition der Fertigung sind hierfür Voraussetzung. Die Montagewerkstätten und Arbeitsplätze müssen, soweit dies überhaupt möglich ist, staubfrei sein.

Bild 8 Schweißautomat. Die Verbindungen zwischen dem Elektrodensystem der Röhre und den Zuleitungen im Preßsteller werden hier automatisch geschweißt. Jeder Position des Karussells ist eine bestimmte, zu schweißende Stelle zugeordnet

Bild 9 Einschmelzautomat. (Bildausschnitt) Der das System tragende Preßfuß wird mit der Glasglocke verschmolzen

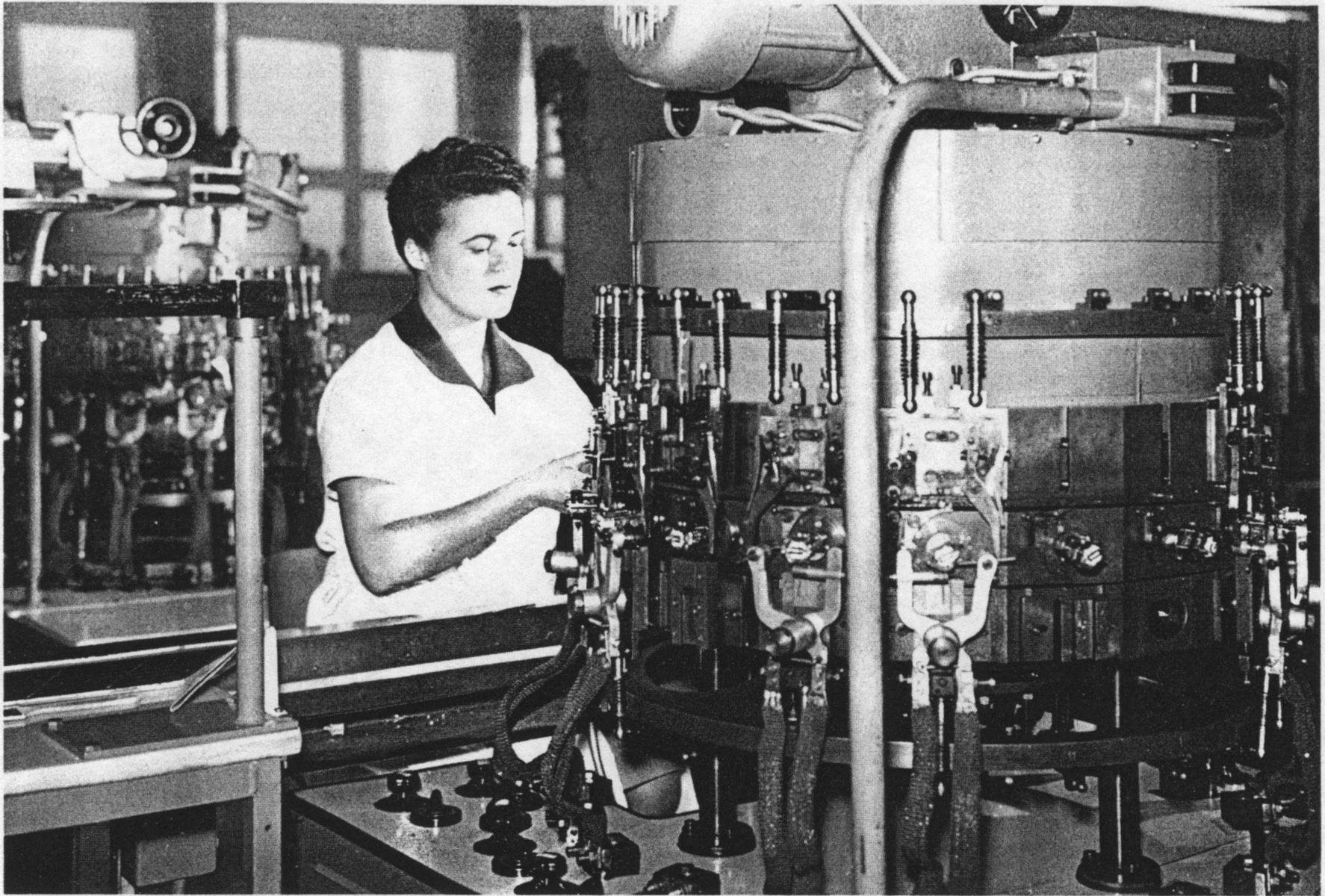


Bild 8



Bild 9

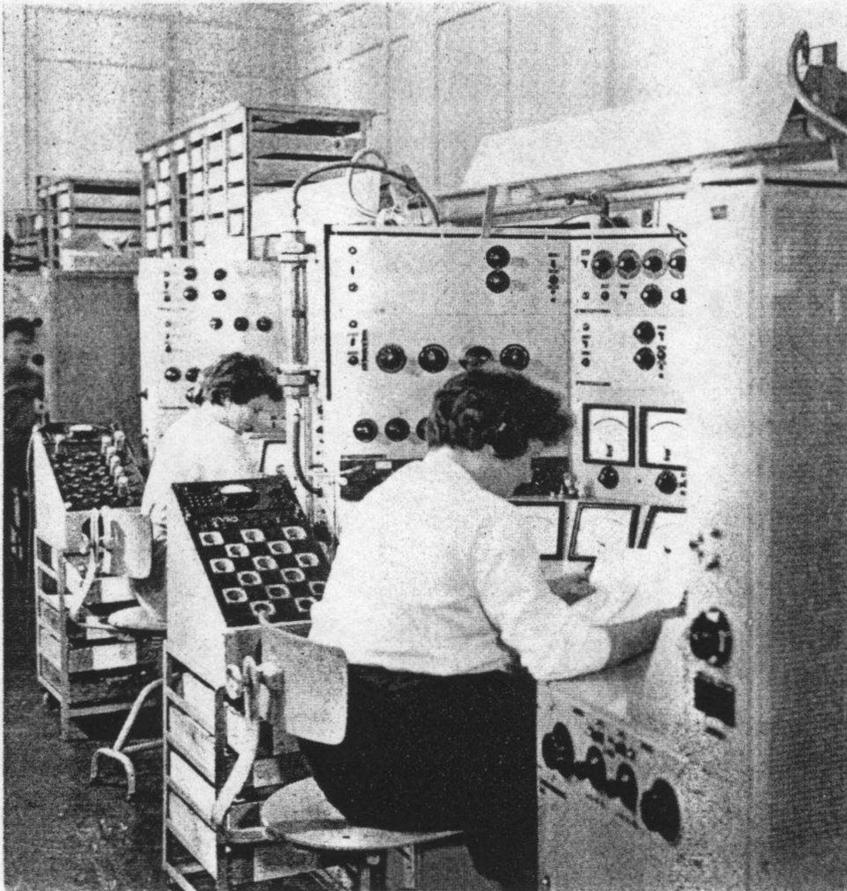


Bild 10 Meßplätze im Stichprobenprüffeld: Während die Serienprüfung lediglich die Aufgabe hat, ungeeignete Röhren auszusondern, werden im Stichprobenprüffeld sämtliche für die praktische Anwendung wichtigen Eigenschaften der Röhren an Stichproben laufend überwacht, protokolliert und für die Fertigungssteuerung statistisch ausgewertet.

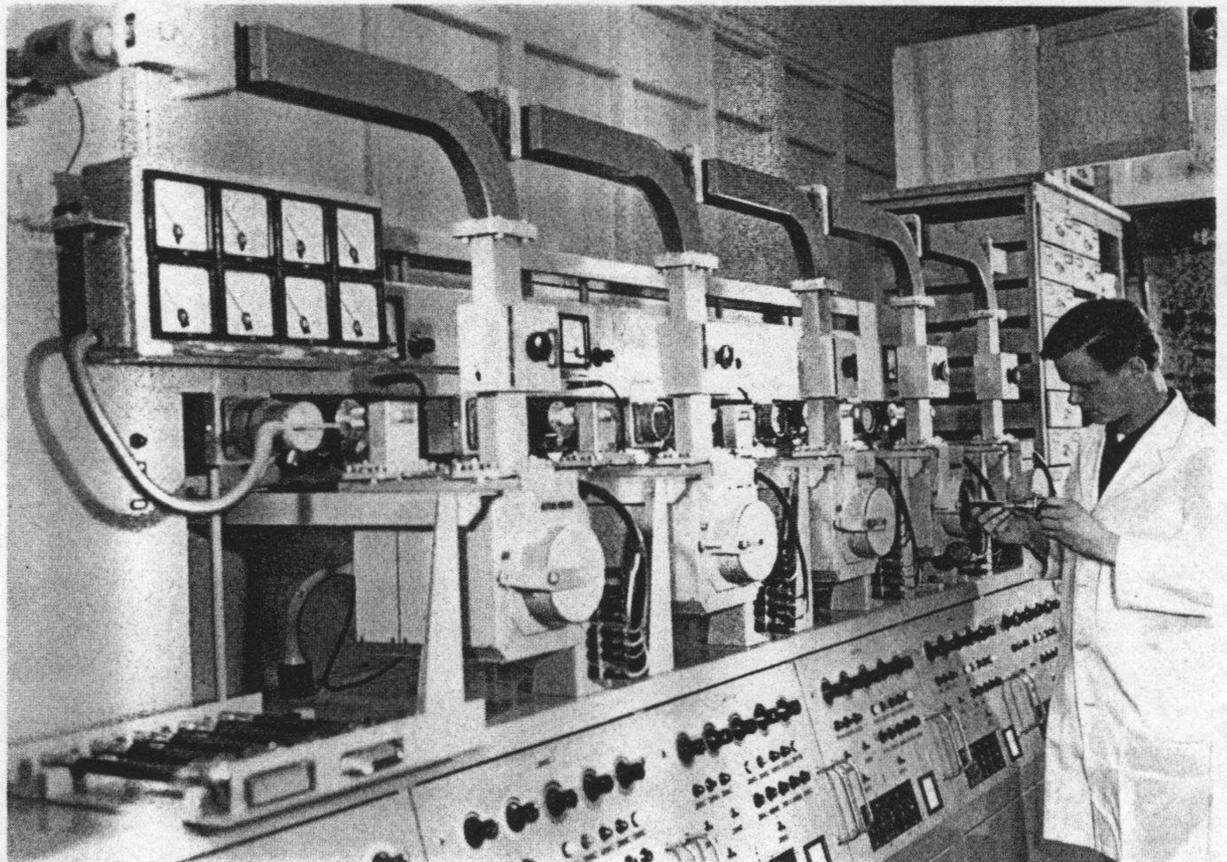


Bild 11 Lebensdauerkontrolle an Wanderfeldröhren: Um das Lebensdauerverhalten zu erforschen, werden regelmäßig einige Exemplare der laufenden Fertigung in Dauerbetrieb genommen

Die weiteren Fertigungsgänge sind: das Einschmelzen, Pumpen, Entgasen, Formieren sowie die verschiedenen Funktionsprüfungen. Ein Teil der Röhren geht zusätzlich in das Stichproben-Prüffeld und in die Lebensdauer-

erprobung. So ist mit einer Vielfalt von Kontrollen die Gewähr dafür gegeben, daß nur solche Röhren die Fabrik verlassen, die allen Anforderungen der Praxis entsprechen.

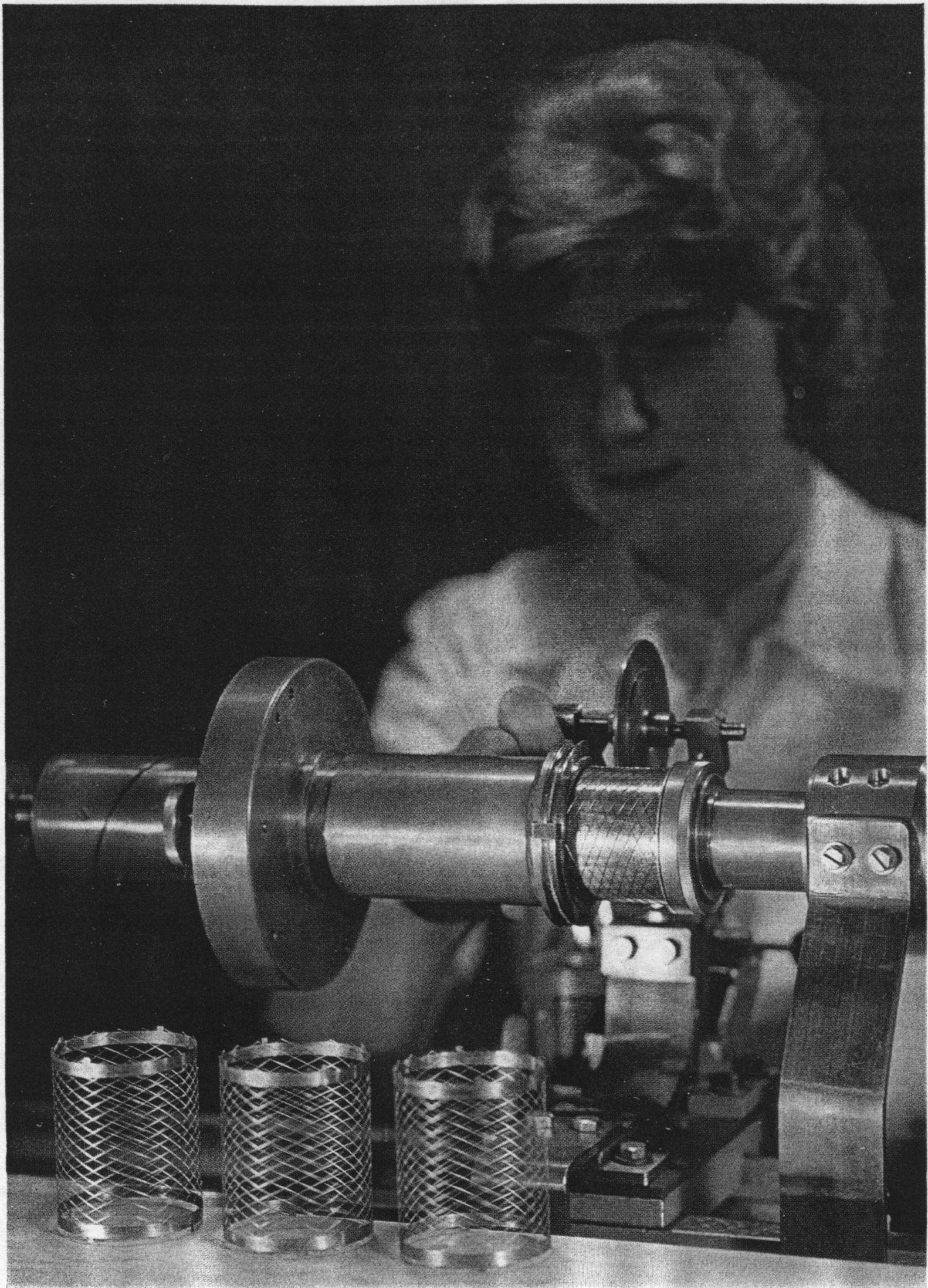


Bild 12 Herstellung neuzeitlicher Maschenkathoden für Senderöhren größerer Leistung:  
Zwei Scharen thoriertes Wolframdrähte werden auf einer Spezialmaschine gegensinnig gewickelt und an den Kreuzungsstellen verschweißt

# Überlegungen zur künftigen Röhrenentwicklung

VON WERNER MÜLLER

Sowohl die neuzeitliche rationalisierte und automatisierte Produktionstechnik mit ihren oft komplizierten Regel- und Steuerungsvorgängen als auch die Technik des kommerziellen und des unterhaltenden Nachrichtendienstes mit ihrem wachsenden Bedarf an Frequenzbändern für die Übermittlung der notwendigen Informationen zwingen heute die Röhrenentwicklung, Bauformen für immer höhere Frequenzen und Leistungen bereitzustellen. Während im Jahre 1950 im Frequenzgebiet bis 1 GHz Leistungen von 5 bis 10 kW Dauerstrich zur Verfügung standen, lassen sich diese Leistungen heute bis zu Frequenzen von etwa 5 GHz erzielen, und man darf erwarten, daß zehn Jahre später bei gleichen Leistungen die Grenze von 10 GHz überschritten werden wird.

Da die notwendigen Einrichtungen zur Aufbereitung der Information für die Zwecke der elektrischen Übertragung mit steigender Frequenz immer umfangreicher und komplizierter werden, müssen die dazu benötigten Bauelemente so zuverlässig wie nur irgend möglich ausgeführt werden.

Abgesehen von den Verlusten, die durch den Ausfall breitbandiger Übertragungskanäle entstehen, wird auch die zur Behebung notwendige Wartung aus Kosten- und personellen Gründen immer schwieriger. Beide Forderungen – Röhren für immer höhere Frequenzen bei erhöhter Zuverlässigkeit zur Verfügung zu stellen – führen zur Verkleinerung der Röhren oder auch zu völlig neuartigen Prinzipien der Schwingungserzeugung und -verstärkung:

Auf der Empfängerseite sind es Anordnungen zur parametrischen Verstärkung, die die Eigenschaften der schnellen Raumladungswelle ausnutzen, bei der eine Auskopplung der Rauschkomponenten möglich ist, wogegen dies bei der z. B. in Wanderfeldröhren benutzten langsamen Raumladungswelle nicht durchführbar ist.

Auf der Senderseite zielen die Überlegungen dahin, durch neuartige Verzögerungsleitungen die guten Eigen-

schaften der konventionellen Wanderfeldröhren – große Bandbreite und Stabilität – mit denen des Klystrons – hoher Verstärkungs- und Wirkungsgrad – zu vereinigen. Diese Untersuchungen sind verbunden mit umfangreichen Arbeiten auf dem Gebiet hochverdichteter Elektronenstrahlen. Es geht hier darum, den störenden Einfluß der Raumladungskräfte auszuschalten, die bei hohen Stromdichten einer Elektronenpaketierung durch die Strahlmodulation entgegenwirken. Hier sei nur der Hohlstrahl als eine Möglichkeit genannt.

Die hohen Anforderungen, die neuerdings hinsichtlich der hochfrequenztechnischen Eigenschaften sowie des Verhaltens bei hohen und schwankenden Temperaturen an das Material der Vakuumschule gestellt werden müssen, machten den Übergang von Glas zur Keramik notwendig. Die technologischen Voraussetzungen hierfür waren inzwischen glücklicherweise durch Arbeiten auf dem Gebiet der Metall-Keramik-Verbindungen geschaffen worden. Mit Hilfe dieser neuen Technik wird es vor allem gelingen, die gestiegenen Ansprüche an die Zuverlässigkeit der Röhren zu erfüllen.

Soweit man die Eigenschaften der Halbleiter – insbesondere hinsichtlich der möglichen Elektronengeschwindigkeiten und Stromdichten – bisher überblicken kann, dürfte von der Festkörperphysik her in absehbarer Zeit keine Unterstützung bei der Lösung der bereits bekannten zahlreichen neuen Aufgaben zu erwarten sein. Die bereits jetzt vorliegenden Forderungen der Nachrichtentechnik – man denke nur an die Projekte der Übertragung von Millimeterwellen über Hohlkabel und die Übertragung von Informationen über aktive oder passive Satelliten – stellen der Röhrentechnik Aufgaben, deren Bewältigung in einem terminlichen Ablauf nur durch äußerste Anstrengung und beschleunigten Ausbau von Forschung und Entwicklung möglich sein wird.

