

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 50 (1959)
Heft: 4

Artikel: Elektronenröhren, heutiger Stand und Entwicklungstendenzen
Autor: Christeler, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059440>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

nung der Lautsprecher wird am besten im Maschinenhaus selbst oder in ähnlichen Anlagen vorerst ausprobiert, damit man nachher keine Enttäuschungen erlebt. Selbstverständlich spielt bei der Übertragung die Qualität der Lautsprecher eine grosse Rolle.

Die Gegensprechanlage ersetzt den früher oft verwendeten Maschinentelegraph, der heute noch etwa in besonders lärmigen Maschinenhäusern, wie z. B. in thermischen Anlagen, zur Anwendung gelangt. Der Maschinentelegraph, bei welchem auf der Empfangsseite die vom Kommandoraum aus gegebenen Befehle auf einem Tableau durch Leuchtschriften optisch angezeigt werden, hat den Vorteil, dass keine Missverständnisse auftreten können. Er beschränkt sich aber auf einige wenige Mitteilungen und Rückantworten und jede übrige Verständigung muss trotzdem über das Telephon erfolgen.

Die Gegensprechanlage ersetzt aber auch teilweise eine Personensuchanlage, indem an beliebigen Stellen noch zusätzliche Lautsprecher angebracht werden können, ohne dass dabei immer noch ein Mikrophon zur Rückantwort mit installiert werden muss.

Im Fernverkehr mit dem Ausland und für die Regelung der Energie-Importe und -Exporte werden gerne auch Fernschreiber eingesetzt, insbesondere wenn es gilt, ganze Energielieferungsprogramme zu übermitteln.

Uhrenanlagen

Zweifellos spielt im Kraftwerkbetrieb auch die Zeitangabe eine grosse Rolle. Auf Grund der Zeit werden ein zum voraus festgesetztes Energielieferungsprogramm erfüllt, das Papier in den Registrierinstrumenten vorgeschoben, die Zähler abgelesen und deren Tarif umgeschaltet und nicht zuletzt die Netzfrequenz kontrolliert.

Normalerweise wird im Kommandoraum oder in einem Bureau eine Mutteruhr aufgestellt, welche die Nebenuhren in den verschiedenen Anlageteilen steuert. Dort, wo Zählerstände abgelesen werden, oder im Kommandoraum, wird mit Vorteil auch eine Ziffernuhr installiert, auf welcher die Zeit direkt in Zahlen abgelesen werden kann.

In Kraftwerken, wo die Regelung bzw. Konstanthaltung der Netzfrequenz vorgenommen wird, ist die Installation einer Frequenzkontrolluhr ange-

bracht. Sie gibt an, um wieviel die Netzfrequenz in Sekunden und Minuten ausgedrückt von der astronomischen Zeit abweicht. Es besteht die Möglichkeit, diese Differenzzeit direkt zur automatischen Regelung der Maschinen heranzuziehen.

Alarmanlagen

Ein lebenswichtiger Teil eines Werkbetriebes bildet auch die Alarmanlage. Bei Störungen irgendwelcher Art muss der Schaltwart im Kommandoraum oder im Maschinensaal avisiert werden. Neben der akustischen Alarmierung muss dort auch angezeigt werden, um welche Art von Störung es sich handelt, damit sofort die entsprechend notwendigen Massnahmen getroffen werden können.

Eine besondere Art von Alarm, die bei Speicherkraftwerken notwendig wird, besteht aus dem Wasseralarm, der von militärischer Seite aus verlangt wird. In Kriegszeiten muss damit gerechnet werden, dass ein Stauwehr bombardiert wird, wobei Gefahr besteht, dass bei Durchbruch des Wassers ein ganzes Tal überflutet wird. Es besteht somit die Vorschrift, dass sowohl im Maschinenhaus als auch in den gefährdeten Siedlungen Alarmsirenen angebracht werden, die im Notfall die Bevölkerung veranlassen, die Gefahrenzone zu verlassen. Die Auslösung der Sirenen erfolgt durch einen Kurbelinduktor von einem geschützten Ort in der Nähe des Stauwehrs aus über eine Schlaufe eines PTT-Kabels.

Schlusswort

Es ist leider nicht möglich, in diesem kurzen Überblick über die Gleichstrom- und Schwachstromanlagen näher auf konstruktive Probleme oder Einzelheiten einzugehen. Das erwähnte Gebiet umfasst eine solche Menge von Einrichtungen aller Art, die mit der direkten Energieerzeugung und Verteilung nichts zu tun haben und trotzdem für die Betriebsführung notwendig sind, dass dies zu weit geführt hätte. Es war sogar erforderlich, auf einige weniger problematische Hilfsmittel hinzuweisen, um auf eindruckliche Weise zu demonstrieren, an welche Unmenge von Fragen bei der Projektierung von Kraftwerkanlagen und Unterstationen gedacht werden muss.

Adresse des Autors:

E. Hüssy, Ingenieur, «Elektro-Watt», Elektrische und Industrielle Unternehmungen AG, Postfach Zürich 22.

Elektronenröhren, heutiger Stand und Entwicklungstendenzen

Vortrag, gehalten an der 22. Hochfrequenztagung des SEV vom 9. Oktober 1958 in Baden,
von A. Christeler, Neuenburg

621.385.1.001.6

Der Aufsatz bringt eine Übersicht über den heutigen Stand und die Entwicklungstendenzen der Elektronenröhren. Insbesondere werden folgende Gruppen bezüglich Art, Verwendung und Arbeitsweise kurz erläutert: Empfangsröhren, Senderöhren, Fernsehröhren, Röhren für Kurz- und Ultrakurzwellen, Glimmröhren, Spannungsstabilisatoren, Stromregleröhren, Röhrengleichrichter, Excitrons und Ignitrons.

L'auteur donne un aperçu de l'état actuel et de l'évolution probable des tubes électroniques. Il indique brièvement le genre, l'emploi et le fonctionnement des tubes de réception, tubes d'émission, tubes de télévision, tubes pour ondes courtes et ultracourtes, tubes à effluve, tubes stabilisateurs de tension, tubes régulateurs de courant, tubes redresseurs, excitrons et ignitrons.

Die Elektronenröhren sind ein wichtiges Bauelement in der Elektrotechnik geworden. Den vielseitigen Anwendungen entsprechend weisen sie eine vielfältige Verschiedenheit bezüglich Arbeitsweise

und Art auf. Dies mag ein kurzes Referat über deren heutigen Stand und Entwicklungsgang rechtfertigen.

Der einfachen Hochvakuumröhre, als Diode aus-

gebildet, sind solche mit einem und mehr Gittern gefolgt, dann solche mit mehr als einem Elektroden-system und Kombinationen von verschiedenen Systemen in einem Vakuumgefäß.

Folgende Gruppierung der Röhren soll eine Übersicht über das vielgestaltige Röhrengebiet vermitteln, ohne aber Vollständigkeit zu beanspruchen:

Elektronenröhren

Hochvakuumröhren	Röhren mit Gasfüllung
Empfängerröhren	Glimmröhren
Senderröhren	Spannungsstabilisator
Fernsehröhren	Stromregleröhren
Röhren für Kurz- und Ultrakurzwellen	Röhrengleichrichter
	Excitrons
	Ignitrons

Es soll versucht werden, diese Gruppen bezüglich ihrer Art, Verwendung und Arbeitsweise zu schildern. Dabei kann es jedoch nicht in Frage kommen, im Rahmen dieses Referates die physikalischen Grundlagen und technischen Details mehr als an der Oberfläche zu streifen, da eine ausführliche Behandlung des Stoffes das Volumen eines Buches füllen würde.

1. Empfängerröhren

Die Empfängerröhre hat am schnellsten die weiteste Verbreitung erfahren. Sie erhält deshalb in der Aufzählung den Vorrang. Ihre Typenzahl ist in wenigen Jahren auf einige hundert angewachsen, da anfänglich die Entwicklung jeweils den Erfordernissen der Schaltungstechnik angepasst wurde. Dank einer ins Leben gerufenen Normungsorganisation konnte dieses rasche Anwachsen auf einen vernünftigen Rhythmus gedrosselt werden. Trotzdem stehen heute mehrere hundert verschiedene, genormte Empfängerröhren zur Verfügung.

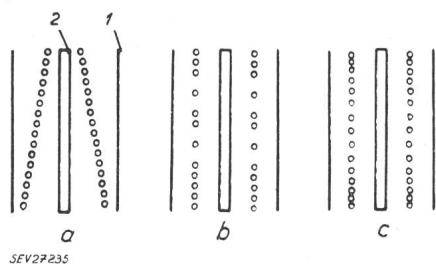


Fig. 1

Gitter mit variablem Durchgriff

a konisches Gitter; b Gitter mit einigen entfernten Windungen; c Gitter mit exponentieller Steigung

Die klassische, alte Triode ist allgemein bekannt. Zur Erzielung der Verstärkungsregelung erwuchs der Wunsch nach einer Röhre mit variablem Verstärkungsfaktor (Fig. 1). Die Lösung wurde in einem Gitter mit variablem Durchgriff gesucht und gefunden. Die ersten Versuche bestanden in der Verwendung eines Gitters mit konischer Form in der Achsrichtung. Bereits befriedigende Resultate erzielte man mit normalen Gittern mit herausgeschnittenen Windungen. Diese Lösung führte dann anfangs der 30er Jahre zu den heute noch üblichen Gittern mit variabler Steigung.

Die anfangs der 30er Jahre aufgetauchte *Metallröhre*, an welche anfänglich grosse Hoffnungen geknüpft wurden, ist bald wieder verschwunden. An Nachteilen wären anzuführen: Schwierigkeiten im vakuumdichten Verschmelzen, Gasdurchlässigkeiten der Metallumhüllung, höhere Gestehungskosten. Die Vorteile, wie natürliche Abschirmung gegen äussere Feldeinflüsse, grössere mechanische Festigkeit, höhere Temperatur beim Pumpprozess und damit Verkürzung desselben, haben die Nachteile nicht aufgewogen.

Eine wesentliche Verfeinerung in der Herstellung von Einzelheiten führte in den 40er Jahren zur *Miniatur-* und später zur *Subminiaturröhre*. Die Verkleinerung der Abstände und der Dimensionen der Bauteile brachte engere elektrische Toleranzen und gestattete die Verwendbarkeit der Röhren für höhere Frequenzen. Als interessantes Beispiel soll das *rahmengespannte Gitter* erwähnt werden (Fig. 2). Dieses zeichnet sich durch ausserordentliche, mechanische Genauigkeit aus und kompensiert bis zu einem gewissen Grad die während des Betriebes durch Temperaturanstieg in gewöhnlichen Gittern vorkommende Formveränderung. Weiter vermittelt der massive Rahmen eine grössere Wärmeabfuhr, und somit eine höhere Belastbarkeit der Röhre.

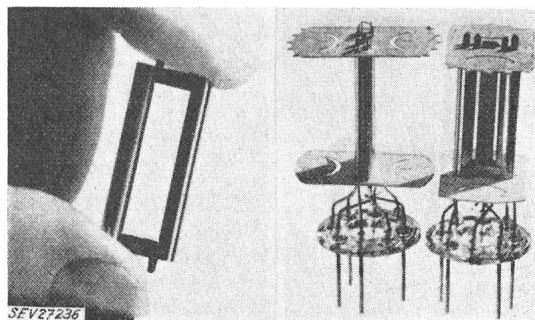


Fig. 2
Rahmen-Gitter

Ebenfalls dank der verfeinerten Herstellungsmethoden wurde es möglich, in Mehrgitterröhren die Windungen des Steuergitters mit denjenigen der folgenden, z. B. Schirmgitter, so auszurichten, dass das Schirmgitter durchwegs «im Schatten» des Steuergitters liegt. Demzufolge kollidieren die Elektronen auf ihrem Wege von der Kathode zur Anode in bedeutend geringer Zahl mit den Bauteilen des Schirmgitters. Daraus resultiert ein kleinerer Schirmgitterstrom, was sich bei der Verwendung der Röhre günstig auswirkt.

In der «*Beam-power*»-Röhre wird der Elektronenstrahl in eine vorgezeichnete Richtung gebündelt. Dies geschieht durch Anbringen von zusätzlichen Richtelektroden. Die Einführung dieser elektronenoptischen Massnahme, in Verbindung mit den ausgerichteten Gitterwindungen, hat zu einer weiteren Verbesserung der Röhre in bezug auf unerwünschte Steuer- und Abschirmleistungen geführt.

Für hohe Anforderungen sind in den letzten Jahren *Keramikröhren* entwickelt worden, bei welchen die Elektronen, in axialer Richtung betrachtet, scheibenförmig übereinander angeordnet sind

(Fig. 3). Die Elektronenbahn verläuft in axialer Richtung gegenüber in radialer Richtung bei den herkömmlichen Röhren. Solche Röhren erlauben eine engere mechanische Masshaltigkeit und können vorzüglich für Verwendung in Stromkreisen mit sehr hohen Frequenzen verwendet werden.

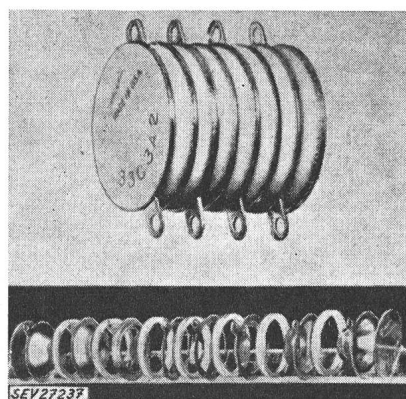


Fig. 3
Keramik-Röhre

2. Senderöhren

Die ersten brauchbaren und serienmässig hergestellten Senderöhren datieren aus den Jahren 1924/25. Fig. 4 zeigt deutlich den Unterschied zwischen der damaligen und der heute allgemein gebräuchlichen Konstruktion. Die in den ersten Jahren der Senderöhrenherstellung zur Verfügung stehenden

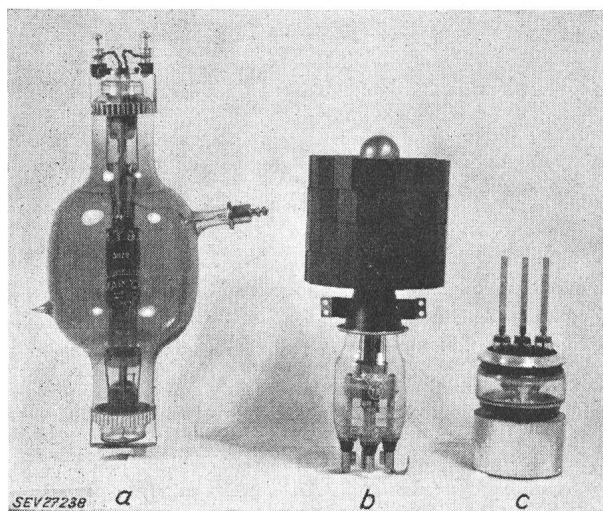


Fig. 4
Senderöhren
a MT9L für 500 W; b BR152 für 700 W; c BR191B für 3 kW
Anoden-Verlustleistung

Glassorten und Metalle und die damalige Glasmetallverschmelzungstechnik gestatteten nur Elektrodendurchführungen kleinerer Abmessungen von z. B. einigen mm. Wenn man auch daran gedacht haben mag, Röhren mit offenen Aussenanoden herzustellen, so war dies mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich. Die Durchführungen waren denn auch ausschliesslich aus Mobyddän oder Wolfram, für kleinere Stromstärken aus Platin hergestellt, entsprechend den Ausdehnungskoeff-

fizienten der zur Verfügung stehenden Gläser. *Housekeeper* gab dann das Verfahren an, um ein weiches Glas mit Kupfer zu verschmelzen, dies trotz dem wesentlichen Unterschied der beiden Materialien in bezug auf Wärmeausdehnung (Fig. 5). Für die Verschmelzung wurde der Kupferteil zu einer

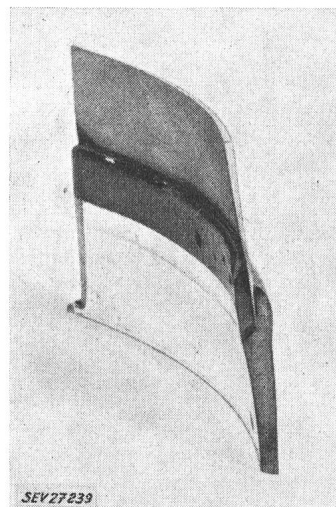


Fig. 5
Schnitt durch eine Kupfer—Glas-Verschmelzung

schwach konischen äusserst feinen Schneide ausgebildet, und das Glas auf diese Schneide aufgeschmolzen. Der geringe Kupferquerschnitt ist mechanisch so schwach, dass die von der Erwärmung und der Verschiedenheit der Wärmeausdehnungszahlen der beiden Berührungsmaterialien verursachte Schubkraft von ihm aufgenommen wird, ohne dass das Glas dabei übermässig beansprucht wäre. Dieses Verfahren hat dann erlaubt, Röhren mit Aussenanoden aus Kupfer herzustellen und hat damit der wassergekühlten Röhre den Weg bereitet.

Die Durchführung für die Kathodenheizung wurde für verschiedene Röhrentypen auf gleiche Art gelöst oder, wo Gläser höherer Qualität verwendet werden mussten, wurde ein Platinnapf mit dem Glas verschmolzen und die Zuführung zur Kathode im zylindrischen Teil dieses Napfes von aussen eingeklemmt.

Mit diesen beiden Verfahren wurden Röhren mit Wasserkühlung von 30...150 kW Anoden-Verlustleistung hergestellt und sind bis zum heutigen Tage verwendet worden. Abgesehen von Spezialfällen zählen diese Röhren zu jenen mit den grössten Leistungen, für welche Senderöhren gebaut worden sind. In der Schweiz waren lange Jahre in den Kurzwellensendern von Schwarzenburg sowie im alten Sender Beromünster solche Röhren im Betrieb (Fig. 6).

Die Einführung von neuen Gläsern von höherem Schmelzpunkt, mit besseren elektrischen Eigenschaften und besserer Verschmelzbarkeit des Metalls mit dem Glas, bedeuten weitere Verbesserungen an den Senderöhren. Die harten Gläser erlauben eine Steigerung der Betriebstemperatur, ohne die Gefahr von Glaserweichung, Elektrolyse und elektrischem Widerstandszusammenbruch zu erhöhen.

Einen weiteren Schritt in der Entwicklung bedeutete die Einführung der thorierten Wolfram-

kathode. Bei gleicher Elektronenemission kommt diese Kathode mit ungefähr einem Drittel der Heizleistung aus, gegenüber einer reinen Wolframkathode. Die reine Wolframkathode arbeitet bei einigermaßen wirtschaftlichen Betriebsbedingungen bei ca. 2500 °K, währenddem die Temperatur bei

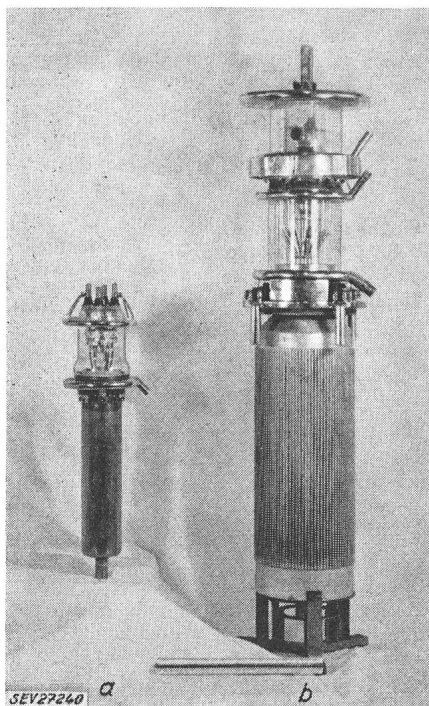


Fig. 6
Senderöhren

a BW153 für 18 kW Anoden-Verlustleistung; b CAT17 für 150 kW Anoden-Verlustleistung

der thoriierten Kathode bei ca. 1900 °K liegt. Bei dieser Temperatur hält die Erneuerung der Thoriumoberflächenschicht der Verdampfung des Thoriums die Waage, so dass die Kathode bis zum Abbau des Thoriumgehaltes betrieben werden kann. Bei normalen Bedingungen sind ungefähr 6000... 10 000 Betriebsstunden zu erwarten.

Heute werden die meisten Wolfram-Thorium-Kathoden vor dem Zusammenbau der Röhre karburisiert. Dies geschieht durch Hochheizen der fertig montierten Kathode in einer mit Kohlenwasserstoff gesättigten Atmosphäre. Es bildet sich dabei Wolframkarbid, welches sich in die äussere Schicht reinen Thoriummetalls einbaut. Dieser Wolframkarbid-Zusatz macht die Kathode gegen Ionenbombardement unempfindlicher und vermindert die Verdampfung des Thoriumfilms. Trotzdem ist in diesen Röhren die Verwendung eines Getters angezeigt, welches allfällige Gasreste, die während dem Betrieb der Röhre noch aus dem molekularen Aufbau der Metallteile austreten, bindet.

Das während dem Betrieb von der Kathode aus thoriiertem Wolframdraht abgedampfte Thorium kondensiert zum Teil auf die Gitterstäbe und Gitterwindungen. Der schon ursprünglich als störend empfundene Gitterstrom, verursacht durch thermische und Sekundärelektronen-Emission, wird durch das aufgedampfte Thorium noch vergrößert, da Thorium kleinere Austrittsarbeit der Elektronen

besitzt als das Molybdän, aus welchem meistens die Gitter hergestellt sind. Um diesem nachteiligen Effekt entgegenzuwirken, wurden verschiedene Massnahmen angegeben, z. B. Aufrauhnen des Molybdängitters durch Ätzen oder Oxydieren und nachheriges Blankglühen, oder Auftragen — nach verschiedenen Verfahren — von z. B. Zirkonoxyd. Keines dieser Verfahren hat befriedigt, indem allmählich im ersteren Fall das Gitter wieder blank geworden, und im anderen Fall die Schutzschicht verdampft ist. Seit einigen wenigen Jahren ist es der Drahtverarbeitungstechnik gelungen, Molybdän- und Wolfram-Stäbe und -Drähte mit gut haftendem Platinmantel zu versehen. Dieser Platinmantel schaltet zufolge der Emmissionseigenschaft des Platins den oben erwähnten Störeffekt weitgehend aus. Es ist vielleicht von Interesse, zu vernehmen, wie diese Platinmanteldrähte hergestellt werden.

Der Ausgang ist ein Stab des Basismaterials aus Wolfram oder Molybdän von z. B. 12 mm Durchmesser und einer Länge von ca. 30 cm. Auf diesen Stab wird ein Mantel aus Platin aufgeschoben. Dieses Stück wird in einer Schutzgasatmosphäre zusammengesintert und hernach auf kleineren Durchmesser rund gehämmert. Der Prozess wird mehrere Male wiederholt, bis der Draht auf herkömmliche Art durch Düsen auf den gewünschten Durchmesser gezogen werden kann. Dass eine solche Herstellung des Drahtes mit beträchtlichen Kosten verbunden ist, dürfte verständlich sein, der Röhrenbauer darf aber nur vom Guten das Beste verwenden.

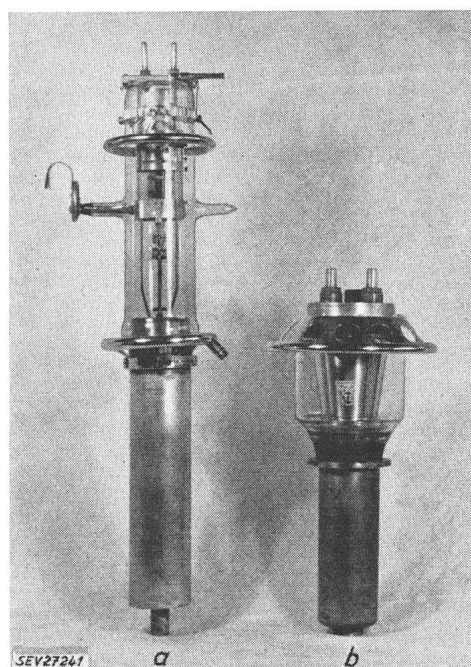


Fig. 7
Senderöhren

a CAT9 für 18 kW; BW161 für 30 kW Anoden-Verlustleistung

Die Röhren konnten dank dieser Verbesserung kleiner, leichter und mit höherer elektrischer Gesamtausbeute gebaut werden (Fig. 7).

In neuerer Zeit sind Röhren für sog. Dampfkühlung gebaut worden, deren Verwendung besonders in wasserarmen und heisseren Ländern be-

grüssert werden dürfte. Da die Verdampfungswärme von Wasser bedeutend grösser ist als die Wärme, welche durch Luftkühlung oder nur durch Wasserspülung an der Anodenoberfläche abgeführt werden kann, ist diese Überlegung berechtigt (Fig. 8).

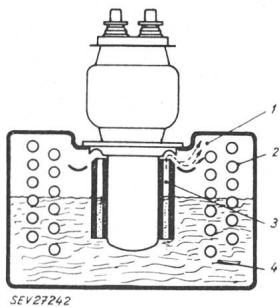


Fig. 8

Röhre mit Dampfkühlung
1 Dampf; 2 Kühlschlange;
3 Umlauflöcher; 4 destilliertes
Wasser

Seit einigen Jahren wird für Röhren, an welche besondere Ansprüche gestellt werden, wie hohe Betriebstemperatur von über 200 °C, grosse Bruchfestigkeit, Hotspotfestigkeit, Verwendung für hohe Frequenzen usw., das Glas durch Keramik ersetzt. Dazu musste eine besondere Verschmelzungstechnik für Keramik mit Metall entwickelt werden. Eine Methode verwendet Verglasung des Metalls und nachherige Verschmelzung mit der Keramik-Glasur. Bei einer andern wird der zu verbindende Keramikrand metallisiert und dann mit dem Metall verlötet (Fig. 9).

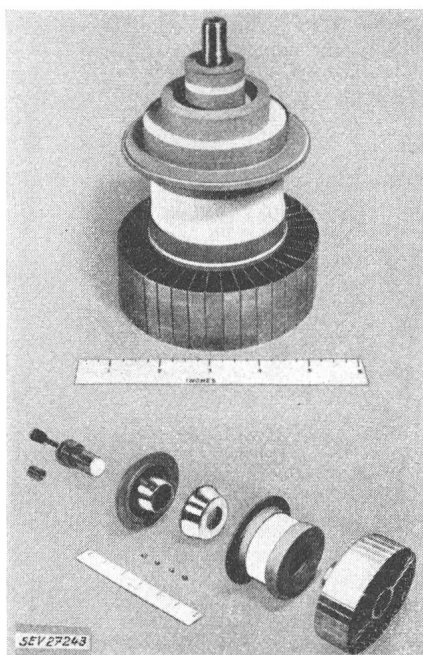


Fig. 9

Keramik-Senderöhre

Trotz den erwähnten Vorteilen, zu welchen noch die grössere Genauigkeit im Aufbau erwähnt werden muss, wird im Röhrenbau der Verwendung von Keramikgefässen Schranken gesetzt, da zufolge öfters vorkommender Fehler im Keramikgefäss grössere Ausschüsse zu befürchten sind, die Herstellungskosten höher liegen als bei Verwendung von Glas und da für den heutigen allgemeinen Gebrauch die Glaskonstruktion vollauf befriedigt. Von den Röhren mit grossen Anodenverlustleistungen

ist man seit einigen Jahren eher zu Parallelschaltung kleinerer Röhren übergegangen, was zufolge der kleinen Streuung in den elektrischen Daten ermöglicht wurde. Anodenverlustleistungen von ca. 50 kW zählen heute, abgesehen von Spezialfällen,

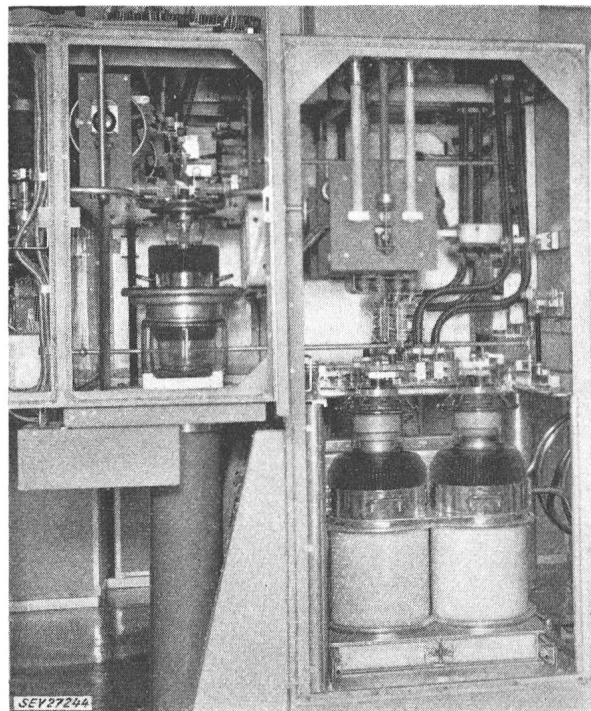


Fig. 10

Senderstufe mit 2 Senderöhren BR 189 (rechts)

zu den geläufigen grösseren Einheiten. Die letzten Exemplare von 150-kW-Röhren in der Schweiz sehen im Kurzwellensender Schwarzenburg ihrer Sterbestunde entgegen, um moderneren Nachfolgern Platz zu machen. Fig. 10 zeigt eine moderne 30-kW-Röhre im Einsatz einer 100-kW-Senderstufe.

3. Laufzeitröhren

Laufzeitröhren sind zufolge ihrer Arbeitsweise im Aufbau wesentlich verschieden von den bisher erwähnten. Bei jenen spielte die Laufzeit der Elektronen zwischen den beteiligten Elektroden wenn überhaupt, so eine vernachlässigbare Rolle. Anders bei den Laufzeitröhren, wo — wie der Name schon andeutet — die Laufzeit die funktionelle Hauptrolle spielt. Ein befriedigendes Funktionieren einer Elektronenröhre verlangt, dass die Elektronen auf ihrem Weg von der Kathode zur Anode von keinen Störwechselfeldern beeinflusst werden. Diese Bedingung wird bei Verwendung konventioneller Röhren im Ultrakurzwellenbereich zufolge ihrer Elektrodenabstände, denen mechanische Grenzen gesetzt sind, nicht mehr erfüllt. Um das Problem zu lösen, ist das Prinzip des gebündelten und gruppierten Elektronenstrahles angewendet worden. Die klassischen Repräsentanten dieser Gruppe sind das Magnetron und das Klystron, sowie die Traveling wave tube, oder Wanderwellen-Röhre.

Das Magnetron beruht auf der Beeinflussung der Elektronenbahn durch ein Magnetfeld, kombiniert mit einem elektrischen Feld. Die prinzipielle An-

ordnung des Aufbaues ist in Fig. 11 veranschaulicht. Dieses stellt ein sogenanntes Cavity-Resonator-Magnetron dar. Bei positivem elektrischem Potential an der Anode wandern die Elektronen von der Ka-

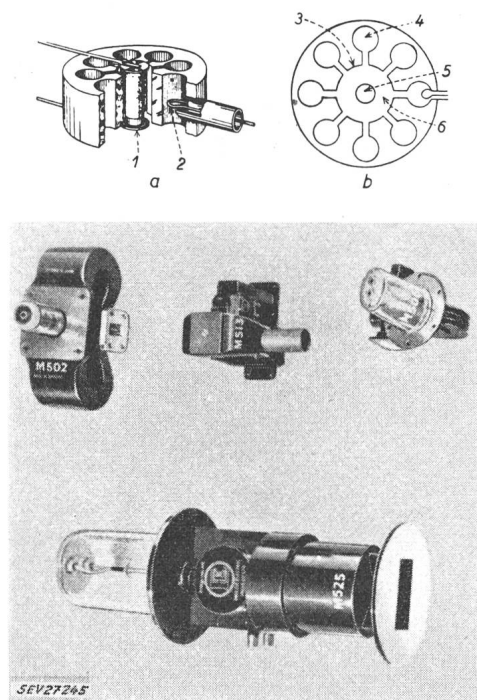


Fig. 11
Magnetron

a Ausschnitt: 1 Achsring; 2 Ausgangsschleife; b Querschnitt senkrecht zur Kathodenachse: 3 Anodenpol; 4 Anodenhohlraum; 5 Kathode; 6 Wechselwirkungsraum

thode zur Anode geradlinig. Während des Aufbaues des axialen Magnetfeldes werden die Elektronen in kreisförmige Bewegung versetzt, bis schließlich deren Bahn die Anode nur gerade noch tangiert oder bei weiterer Steigerung nicht mehr erreicht. Der an den «Polen» der Anode vorbeifliessende Elektronenstrom induziert in dieser wechselweise ein Resonanzfeld. Der in der Richtung der Elektronenbewegung geschehene wechselnde Feldverlauf wirkt je nach Richtung des Feldes auf die Elektronengeschwindigkeit beschleunigend, bzw. verzögernd und verursacht auf diese Weise eine Gruppenbildung oder einen an Intensität variierenden Elektronenstrahl. Diese «Elektronenspeichen» rotieren bei aufeinander abgestimmtem Magnetfeld und Anodenpotential in der Kreisbahn und geben dauernd einen Teil der Leistung an die Resonatoren ab, währenddessen der Hauptteil der Leistung an eine in einem Resonator eingebaute Schleife der axialen HF-Leistung abgegeben wird. Der Arbeitsbereich des Magnetrons liegt, wie bereits erwähnt, im cm-Gebiet. Dauerleistungen von einigen hundert Watt, bei Stossbelastung einige hundert oder tausend kW können auf diese Weise abgegeben werden. Das Magnetron wird hauptsächlich in Oszillatorkreisen eingesetzt.

Auf ähnliche Weise arbeitet das *Klystron*. Dieses findet Anwendung im Kurzwellengebiet ebenfalls in der Gegend von 500...30 000 MHz, also bei Wellenlängen von 60...1 cm. Im Gegensatz zu der in konventionellen Röhren angewendeten Amplitudenmodulation wird hier die Geschwindigkeit der

Elektronen gesteuert. Die Arbeitsweise ist aus Fig. 12 zu entnehmen. Die von der Kathode emittierten Elektronen werden in der Richtung der Röhrenachse zu einem engen Strahl gebündelt. Dieser gelangt vorerst durch ein Gittersystem des sog. Kavitäten-Resonators, wo die Elektronen entsprechend den Potentialschwankungen dieser Gitter beschleunigt oder gebremst werden. Durch die Brems- oder Beschleunigungswirkung wird der homogene Elektronenstrahl auseinander gezerzt, so dass die Elektronen in Paketen aus der Einflußsphäre austreten. Diese Gruppierung wird während dem Durchlaufen

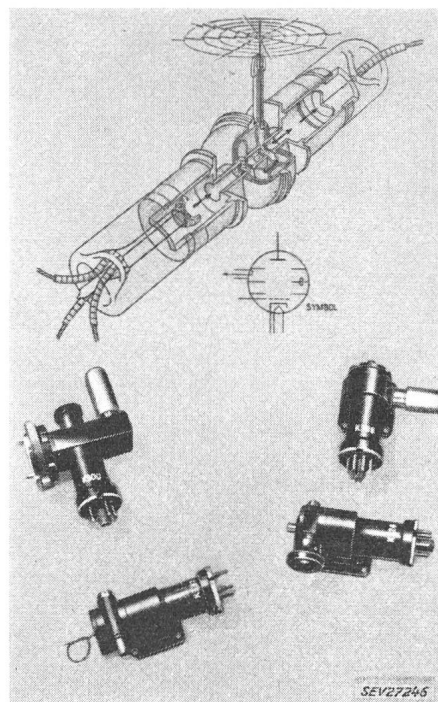


Fig. 12
Klystron

des Driftraumes beibehalten und gelangt durch das Gittersystem des Ausgangsresonators, wo der Hauptteil der aufgespeicherten Energie auf den angekoppelten Ausgangskreis abgegeben wird. Die aus einer derartigen Röhre zu gewinnende Leistung ist annähernd umgekehrt proportional der Frequenz und kann z. B. bei 50 cm Wellenlänge im Dauerbetrieb einige 100 W und im Impulsbetrieb einige hundert kW betragen. Anwendung finden die Klystrons in lokalen Oszillatoren, Schiffs- und Aviatik-Radar und in neuerer Zeit für die Geschwindigkeitskontrolle von Fahrzeugen.

Das Travelling wave tube oder die *Wanderwellenröhre* ist ein weiterer Vertreter in der Gruppe der Ultrakurzwellenröhren. Sie wird als Leistungsverstärker für Frequenzen von 3000 MHz und höher verwendet und findet somit ebenfalls Verwendung als Verstärkerglied in Richtstrahl-Übertragungen. Aus Fig. 13 ist der Aufbau dieser Röhre ersichtlich. Die von der Kathode austretenden Elektronen bewegen sich in fokussiertem Strahl in der Richtung gegen die Anode. Die Bündelung des Strahles wird z. B. nach Austritt aus der Fokussierungselektrode durch ein axiales Magnetfeld zusätzlich unterstützt. Die Innenseite des Rohres ist mit einer Drahtspirale

versehen, welche mit dem zu verstärkenden Signal gespeist wird. Diese Signalwelle wandert mit angenäherter Lichtgeschwindigkeit, also von $3 \cdot 10^{18}$ cm, durch die Spirale. Die axiale Fortbewegungs-

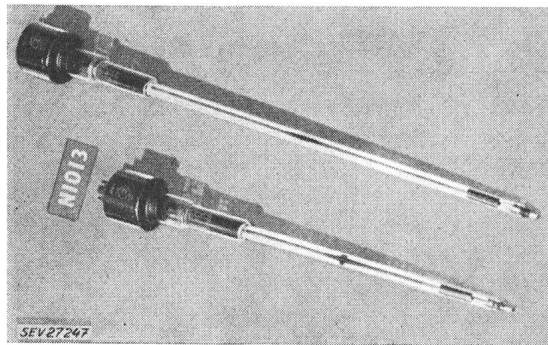
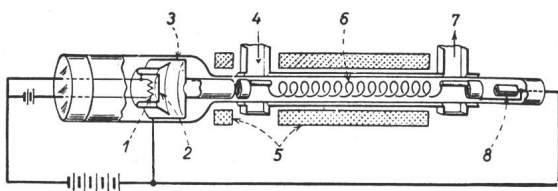


Fig. 13

Travelling Wave Tube (Wanderwellenröhre)

1 Heizelement; 2 Kathode; 3 Anodenloch; 4 Eingang (Wellenleiter); 5 Fokussierspulen; 6 Wendel; 7. Ausgang (Wellenleiter); 8 Kollektor (Auffangelektrode)

geschwindigkeit wird um eine Zahl verkleinert, die dem Umfang der Spirale durch die Steigung derselben entspricht. Die aus der Fokussierelektrode austretenden Elektronen werden mit einer Spannung von ca. 1500 V beschleunigt. Wenn nun diese Elektronen eine um wenig höhere Geschwindigkeit besitzen, als die vorerwähnten in axialer Richtung fortschreitenden Signalwellen, so entsteht eine Wechselwirkung zwischen diesen und dem Elektronenstrahl, so dass ein grosser Teil der in den Elektronen gespeicherten Leistung an die Signalwellen abgegeben und damit eine wesentliche Verstärkung erzielt wird.

4. Kathodenstrahlen- und Fernschröhren

Die Kathodenstrahlröhre basiert wiederum auf einer unterschiedlichen Grundlage gegenüber den bisher aufgezählten Röhrenarten. Der von der Kathode emittierte Elektronenstrahl wird durch ein elektrisches Linsensystem gebündelt und von magnetischen Ablenkspulen oder elektrostatischen Platten von ihrer natürlichen axialen Richtung in vorgegebenem Rhythmus in beiden Richtungen abgelenkt. Die auf den Leuchtschirm aufprallenden Elektronen bringen die Leuchtmasse zum Aufleuchten. Durch Intensitätsmodulation des Elektronenstrahls kann ein elektrisches Signal sichtbar gemacht werden.

Bei der *Fernsehaufnahmeröhre* wird das umgekehrte Verfahren angewendet, d. h. Lichteffekte werden in elektrische Signale umgewandelt. Als erster Repräsentant dieser Gruppe ist der Farnsworth Image Dissector zu nennen (Fig. 14). Das Lichtbild wird über ein optisches Linsensystem auf eine ebene Photokathode gelenkt. Diese emittiert unter Ein-

wirkung eines elektrischen Feldes Photoelektronen in axialer Richtung auf eine Ebene am andern Ende der Röhre. Die Ladungsdichten auf dieser Ebene entsprechen den auf die Lichtintensitäten

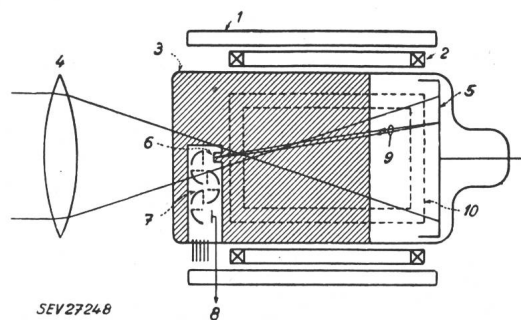


Fig. 14

Farnsworth Image Dissector (Bildzerlegerröhre nach Farnsworth)

1 magnetische Fokussierspule; 2 Horizontalablenkspule; 3 Nickelüberzug auf der inneren Oberfläche; 4 Objektiv; 5 Photokathode; 6 Auffangblende; 7 Elektronen-Vervielfacher; 8 Signalausgang; 9 Elektronenweg; 10 Vertikalablenkspule

der auf die Photokathode geworfenen Bildpunkte. In der genannten Ebene befindet sich nun die erste Stufe eines Elektronenvervielfachers. Mit Hilfe eines vertikalen und horizontalen Ablenkensystems wird nun das projizierte Intensitätsbild zeilenweise an dieser ersten Elektronenvervielfacherstufe vorbeigeführt, also abgetastet. Das so im Elektronenvervielfacher aufgefangene Bild, in Form von elektrischen Signalen, kann nun zur Ausstrahlung verwendet werden.

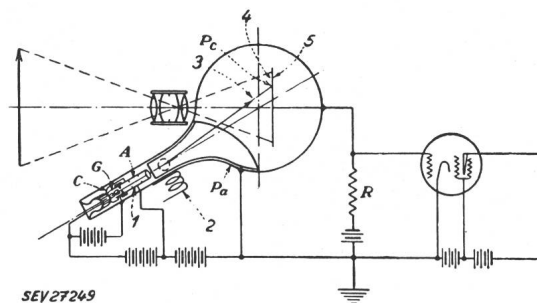


Fig. 15

Image Iconoscope (Ikonoskop, Bild-Mosaikröhre)

A Beschleunigungselektrode; C Kathode; G Steuerelektrode; P_a Kollektor (Auffangelektrode); P_c Photokathoden; R Lastwiderstand

1 Elektronenstrahlerzeuger (Wehnelt-Zylinder); 2 Ablenkspulen; 3 Elektronenstrahl; 4 Mosaik; 5 Signalplatte

Diese Röhre wurde bald vom *Ikonoskop* abgelöst. Sie brachte eine wesentliche Verbesserung in bezug auf Empfindlichkeit gegenüber der Farnsworthröhre. Der Aufbau ist aus Fig. 15 ersichtlich. Im evakuierten Gefäss sind im wesentlichen die Elektronenkanone und die Signalplatte oder Anode untergebracht. Die Elektronenkanone ist von herkömmlicher Konstruktion. Die Signalelektrode besteht im wesentlichen aus einer Glimmerplatte, welche vorn mit einem Mosaik von Silberpartikeln und auf der hintern, dem Elektronenstrahl abgekehrten Seite, mit einer leitenden Metallschicht versehen ist. Das auf diese Platte durch ein optisches Linsensystem projizierte Bild veranlasst die Mosaikplättchen, Photoelektronen zu emittieren. Die Plättchen werden dadurch entsprechend der auftreffenden

Lichtintensität bzw. entsprechend der Anzahl emittierter Photoelektronen positiv geladen. Ein analoges Ladungsbild entsteht auf der aussenseitig der Glimmerplatte befindlichen Metallschicht. Wenn nun der Abtastelektronenstrahl auf die einzelnen Mosaikplättchen trifft, werden diese wiederum neutralisiert. Dasselbe geschieht mit der Ladung auf der rückwärtigen Metallschicht. Die von der Schicht auf diese Weise erzeugten elektrischen Impulse werden auf konventionelle Art verstärkt und zur elektrischen Übertragung des optischen Bildes ausgewertet. Trotz der wesentlichen Verbesserung gegenüber der Farnsworthröhre haften dem Ikonooskop noch Fehler an, zufolge Sekundärelektronen und Querstrom auf der Mosaikplatte, welche die Linearität der Ladung zum betreffenden Bild stören.

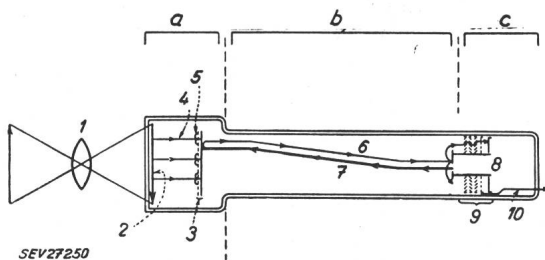


Fig. 16

Image Orthicon (Orthikonoskop, Orthikon)

1 Linse; 2 empfindliche Photoelektrode; 3 Auftreffplatte; 4 Photoelektronen; 5 freigewordene Elektronen; 6 zurückkehrender Strahl; 7 Abtaststrahl; 8 Elektronenstrahlerzeuger; 9 Elektronenvervielfacher; 10 Ausgangssignal

Mit dem *Orthicon* war der letzte Schritt zur heutigen Qualität der Bildübertragung erreicht (Fig. 16). Durch das auf die Photokathode auftreffende Bild werden Photoelektronen emittiert, und zwar an jeder Stelle mengenmässig entsprechend der an jedem Punkt herrschenden Lichtstärke. Unter Einfluss eines statischen und magnetischen Feldes werden diese Elektronen auf eine Glasplatte gelenkt. Sie sind so stark beschleunigt worden, dass sie auf der Glasplatte bei ihrem Aufprall Sekundärelektronen ablösen, und zwar ein Mehrfaches der auftreffenden Primärelektronen. Die Sekundärelektronen werden von einem der Glasplatte vorgelagerten Gitter abgesogen. Es entsteht somit ein positives Ladungsbild, das dem aufgenommenen optischen Bild entspricht. Um dieses Ladungsbild auf der Rückseite originalgetreu zu erhalten, muss die Glasplatte, welche eine Dicke von einigen hundertstel mm aufweist, ganz bestimmten elektrischen Bedingungen entsprechen. Mit äusserst fein fokussiertem Elektronenstrahl wird nun diese Rückseite abgetastet. An den Stellen, wo eine positive Ladung herrscht, werden die auftreffenden Elektronen, zufolge ihrer negativen Ladung, gebunden, an Stellen ohne Ladung werden sie jedoch zurückgestossen, und gelangen auf die erste Dinode des Elektronenvervielfachers. Hier wird dieser Rückstrom verstärkt und als Sendesignal im folgenden Verstärker und Senderkreis zur Übertragung verarbeitet.

5. Elektronenvervielfacher

Elektronenvervielfacher erfüllen in den vorerwähnten Röhren eine wichtige Aufgabe; sie machen

diese überhaupt praktisch verwendbar. Über die Vervielfacher, welche an der Afif¹⁾ in mehreren Ausführungen hergestellt werden, ist anlässlich einer frühern Tagung ausführlich berichtet worden²⁾. Zur Abrundung des Themas sollen diese Elektronenröhren kurz geschildert werden, mit den Worten von N. Schätti und W. Baumgartner, wie sie in der «Chimia» im Jahre 1951 veröffentlicht wurden:

«Diese Vervielfacher beruhen auf der Eigenschaft aller festen Körper, beim Beschuss durch Elektronen selbst solche, die sog. Sekundärelektronen, abzugeben. Die Zahl der pro einfallendes primäres Elektron ausgelösten Sekundärelektronen hängt dabei von der Beschleunigungsspannung der primären Elektronen sowie von den Eigenschaften der Prallplatten ab. Als besonders günstig wurde eine Silber-Magnesium-Legierung gefunden. Die grossen Vorteile der Anwendung der Sekundärelektronenvervielfacher zur Verstärkung kleinster Photoströme liegen im günstigen Verhältnis von Nutz- zu Störsignal über eine ausserordentlich grosse Frequenzbreite.»

6. Röntgenröhren

Die Röntgenröhren bilden eine Gruppe für sich. Sie dienen nicht zur Signalübertragung. Sie werden weder moduliert, noch zur Verstärkung oder Schwingungserzeugung verwendet. Trotzdem sind sie ein Glied der grossen Elektronenröhrenfamilie und verdienen Erwähnung an dieser Stelle.

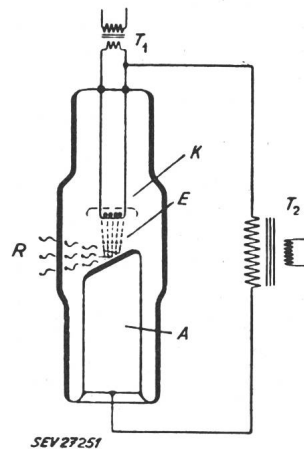


Fig. 17

Röntgen-Röhre

A Anode; E Elektronen; K Glühkathode; R Röntgen-Strahlen; T₁ Heiztransformatoren; T₂ Hochspannungstransformatoren

Fig. 17 zeigt schematisch den Aufbau eines typischen Vertreters dieser Gruppe. Der Elektronenstrahl trifft mit grosser Geschwindigkeit, je nach Verwendung der Röhre von einigen 10 kV bis einigen 100 kV, auf die Wolframanode. Der Kupferkörper derselben dient als Ableiter für die durch den heftigen Aufprall der Elektronen erzeugte Wärme. Durch den Aufprall der Elektronen auf die Anode werden Röntgenstrahlen erzeugt, welche im komplementären Winkel zu den auftreffenden Elektronen aus der Röhre austreten. Die Leistung der Röhre kann durch Wasser, Öl oder Luftkühlung des Anodenträgers gesteigert werden. Eine weitere Massnahme zur Leistungssteigerung besteht in der Anwendung einer rotierenden Anode. In diesem

¹⁾ Afif: Abteilung für industrielle Forschung des Institutes für Technische Physik an der Eidg. Technischen Hochschule.

²⁾ Siehe auch Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 23, S. 989...995.

Falle wird dem durch das Elektronenbombarde-
ment erhitzten Teile der Anode — jeweils während
einem ganzen Umlauf — Zeit zum Abkühlen gelas-
sen und zugleich die Lebensdauer der Röhre, wel-
che im wesentlichen durch Abnutzung der Anode
begrenzt wird, verlängert.

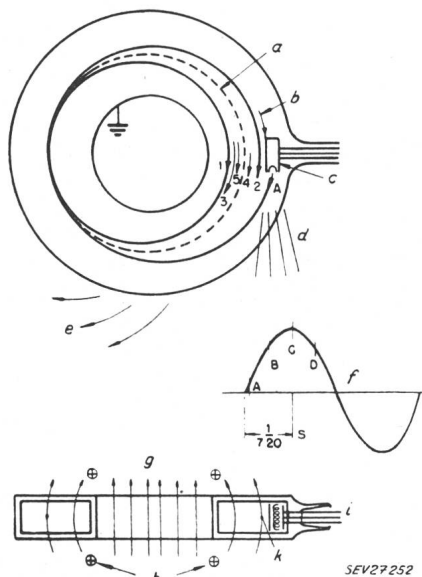


Fig. 18

Betatron

bis zur Auftreffplatte ausgedehnter Strahl

A, B, C, D verschiedene Zeitpunkte;
a Gleichgewichts-Kreisbahn; b nach der Beschleunigung;
c Injektor; d Röntgen-Strahlen; e Elektronen; f zeitlicher
Verlauf des magnetischen Feldes; g magnetischer Fluss;
h Spulen zur Ausdehnung der Kreisbahn; i Injektor;
k Kreisbahn

Ein weiterer Repräsentant in dieser Gruppe ist
das *Betatron*, bei welchem im Gegensatz zur Rönt-
genröhre keine Hochspannungsquelle nötig ist
(Fig. 18). Bei dieser Röhre werden Elektronen
beim Nulldurchgang eines magnetischen Feldes am
Injektor in den Entladungsraum gelassen. Sie wer-
den mittels eines veränderlichen magnetischen Fel-
des im evakuierten Ring auf einer Kreisbahn auf
Lichtgeschwindigkeit beschleunigt, deren Radius
von der Stärke des Magnetfeldes bestimmt ist. Nach
mehreren Umgängen im Kanal erreicht das Elek-
tron eine einige Millionen eV betragende Energie
und erzeugt beim Aufprallen auf die Anode Rönt-
genstrahlen.

7. Röhren mit Gasfüllung

Gasgefüllte Röhren füllen ein ebenso grosses und
wichtiges Gebiet wie die Vakuumröhre.

Spannungsstabilisatoren und Spannungsteiler
finden in der Schaltungstechnik weite Verwendung.
Sie beruhen auf einer mit Edelgas (z. B. Xenon)
gefüllten Röhre eigenen und von Stromänderungen
fast unbeeinflussten Entladungsspannung. Diese
Röhren sind im allgemeinen gebaut für Regelberei-
che von einigen mA bis in die Gegend von 100 mA
Verbraucherstrom (Fig. 19). Bei richtiger Anpas-
sung des Stromkreises liegt die Änderung der Aus-
gangsspannung unter 1 %.

8. Stromregelröhren

Stromregelröhren werden mit Erfolg in Strom-
kreise geschaltet, bei welchen sich — bei erhebli-
chen Spannungsänderungen, aber gleichbleibendem
Kreiswiderstand — der Durchgangsstrom nicht

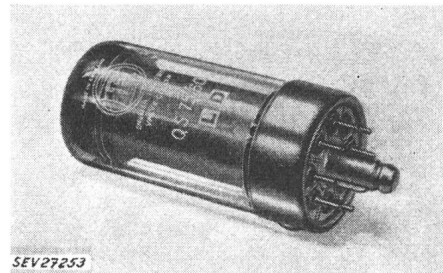
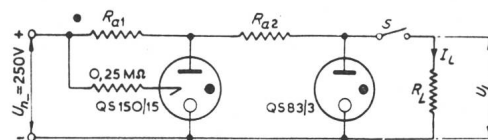


Fig. 19

Stabilovolt

I_L Verbraucherstrom; R_{a1} , R_{a2} Anoden-Seriewiderstände;
 R_L Verbraucherwiderstand; S Schalter; U_L Ausgangsspan-
nung; U_n Nennspeisespannung

oder nur unwesentlich ändern darf. Als Prinzip
wird der grosse Widerstandstemperaturkoeffizient
von bestimmten Metallen wie z. B. reinem Eisen
oder Nickel, angewendet. Die Widerstandsänderung
ist besonders ausgeprägt bei höhern Temperaturen.
Das für den Regelbereich verwendbare Gebiet liegt
in der Umgebung von 300..700 °C. Da bei dieser
Temperatur der Draht sehr rasch oxydiert und bald
zerstört würde, muss er in einer Schutzatmosphäre
betrieben werden. Meistens wird Wasserstoff ver-
wendet, da dieser zusätzlich eine erwünschte, grosse
Wärmeleitfähigkeit besitzt. Bei günstiger Druck-
dosierung des Wasserstoffes kann auf diese Weise
eine weitgehende Regelwirkung erreicht werden, so
dass bei Spannungsänderungen von $\pm 50\%$ vom
Nennwert der Durchgangsstrom in Grenzen von
 $\pm 5...10\%$ gehalten werden kann. Entsprechend
dem Arbeitsprinzip kann die Regelwirkung nicht
einer sehr raschen Spannungsänderung folgen; sie
stellt sich nach Erreichung der der Verlustleistung
entsprechenden Drahttemperatur ein.

9. Röhrengleichrichter mit Gasfüllung

Gasgefüllte Röhrengleichrichter für kleinere Lei-
stungen, aber für Spannungen mit mehreren kV,
werden oft mit direkt oder indirekt geheizten Ka-
thoden ausgerüstet. Sie besitzen gewöhnlich eine
Graphitanode und haben eine Quecksilberfüllung,
welche den Dampfdruck im Gefäss vermittelt. Der
Zündeinsatz, der ohne Zwischenelektrode an-
nähernd mit der Bogen Spannung übereinstimmt,
kann durch Anbringen eines Gitters zwischen Ka-
thode und Anode beeinflusst werden und so eine
Spannungsregelung ermöglichen, was z. B. im Thy-
ratron der Fall ist. Eine besondere Ausführung
dieses Gleichrichters, ebenfalls mit Streugitter
ausgerüstet, ist das *Excitron* (Fig. 20). Dieses besitzt an
Stelle der geheizten Oxydkathode einen Queck-

silberteich, in welchen eine bewegliche Zündanode eintaucht. Für die Zündung wird diese Hilfsanode mittels eines ausserhalb des Gefässes angebrachten Elektromagneten gehoben und leitet durch den entstehenden kleinen Lichtbogen die Hauptzündung ein. Der Zündvorgang findet nicht nach jeder durchlaufenen Halbwelle statt, da während der Sperrphase ein separat gespeister Hilfslichtbogen auf die Zündanode für eine neue einwandfreie Zündung zwischen Quecksilberkathode und Hauptanode sorgt. Die Zündanode bleibt also während dem Betrieb angezogen. Diese Zündeinrichtung ist keine Neuheit und hat ihre Bewährungsprobe in

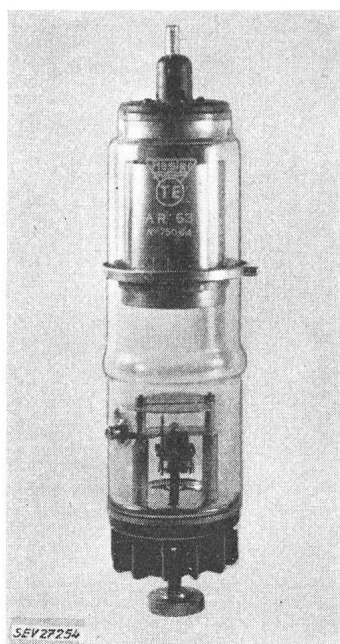


Fig. 20
Excitron AR63
für 12 000 V 5 A Dauerbetrieb

Grossgleichrichtern längst bestanden. Der Vorteil solcher Röhren liegt in der augenblicklichen Betriebsbereitschaft, da sie keine Anheizzeit benötigen. Ferner sind sie gegen grosse Überlastungen unempfindlich, da das als Kathode verwendete Quecksilber auf solche weniger empfindlich ist, als direkt oder indirekt geheizte Oxydkathoden. Excitrons werden für Mittelspannungen bis ca. 1000 V und 30 A Dauerstrom und 150 A Spitzenstrom oder für Hochspannung von ca. 15 000 V und ca. 6 A Dauerstrom, bzw. 30 A Spitzenstrom gebaut.

Für grössere kurzzeitige Stromschaltungen steht schliesslich das Ignitron zur Verfügung (Fig. 21). Dieses ist im Prinzip ebenfalls ein Quecksilbergleichrichter, ähnlich dem Excitron. Gewöhnlich ist das Rohr mit einem Metallgefäss versehen. Die Zündelektrode besteht wiederum in einem in den Quecksilberteich eingetauchten, hier aber fixen

Stift. Wird auf diesen ein Stromimpuls gegeben, so entsteht an dessen Spitze eine starke Feldkonzentration, welche Ionisation des umgebenden Gases einleitet. Zusätzlich entwickelt sich an der Stromübergangsstelle grosse Wärme. Zuzufolge Verdampfens des dem Stift nächst gelegenen Quecksilbers kann

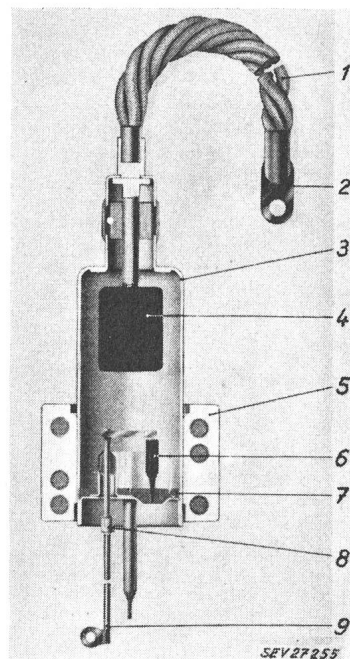


Fig. 21
Schnitt durch ein Ignitron
1 Anodenzuführungskabel; 2 Anschluss; 3 Stahlkolben (luftleer); 4 Hauptanode; 5 Wasserkühlungsplatte und Kathodenanschluss; 6 Zündelektrode; 7 Quecksilberkathode; 8 Steckverbindung für Zündelektrode; 9 Anschluss für Zündelektrode

sich ein kleiner Bogen und damit ein Brennfleck bilden. Durch diese Vorgänge am Zündstift wird die Hauptzündung zur Anode eingeleitet. Die Entladung im Ignitron erlischt nach jeder positiven Halbwelle. Durch Verlegen des Zündimpulses auf einen beliebigen Ort der Zündphase hat man es in der Hand, die Zünddauer auf einen fast beliebigen Bruchteil der Halbwelle zu begrenzen, oder durch Abzählen der Halbwellen über mehrere solche auszuweiten. Dank ihrer robusten Bauart bewältigen sie bei Spannungen von z. B. 250...600 V beträchtliche Dauerstromstärken, die für Impulsbetrieb das hundertfache des Dauerbetriebswertes betragen können. Für grössere Leistungen ist diese Röhre für Wasserkühlung eingerichtet. Den Eigenschaften entsprechend eignet es sich vorzüglich zur Schaltung von starken Stromimpulsen, wie sie z. B. bei Punktschweissmaschinen vorkommen.

Adresse des Autors:

A. Christeler, Ingenieur, Leiter der Hasler Elektronenröhren AG, Neuenburg.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Neue Wege zur Verwertung der Verlustwärme von Grossgeneratoren und -umspannern

[Nach W. Pinkawa: Neue Wege zur Verwertung der Verlustwärme von Grossgeneratoren und -umspannern. Elin-Z, Bd. 9(1957), Nr. 4, S. 179...188]

Der Verwertung der Verlustwärme grosser elektrischer Maschinen und Transformatoren wurde bis heute im allgemeinen keine wesentliche Bedeutung geschenkt. Es gehen dadurch gewaltige Energiemengen nutzlos verloren. Bei offener Bauart der Maschinen wird die erwärmte Kühlluft in den