

# Elektronenröhren

## Ein Rückblick auf die Anfänge der Elektronik

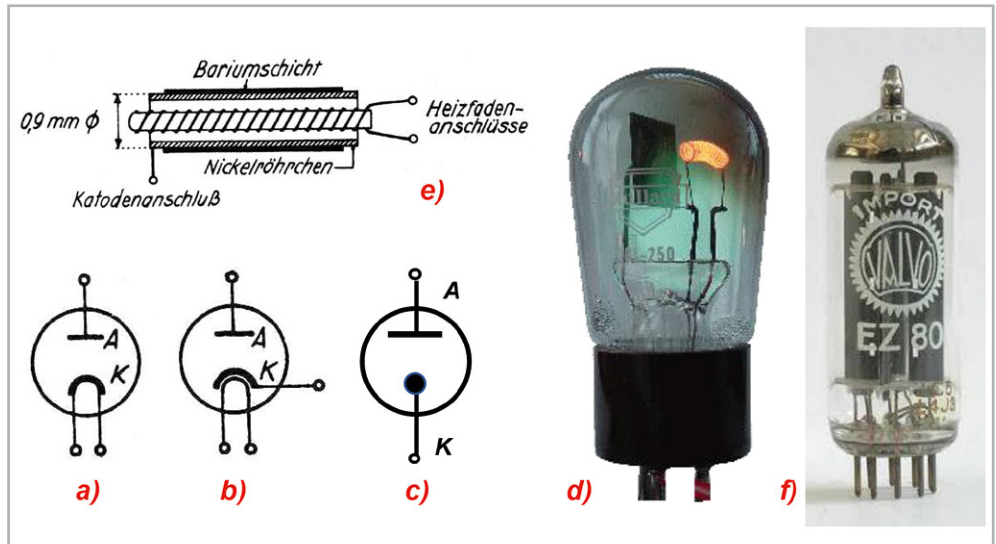
Teil 1

Bis zur Erfindung des Transistors im Dezember 1947 durch die drei Physiker und späteren Nobelpreisträger William Shockley, John Bardeen und Walter Brattain in den Bell Laboratories war die (Hochvakuum-)Elektronenröhre der einzige und allein übliche aktive Bauteil der damaligen Radio- und Elektronik-Zeit. Die in den Jahren danach beginnende Verwendung von Transistoren, sei es in der Nachrichtentechnik, der Elektrotechnik oder der Elektronik, profitierte von den umfangreichen Erfahrungen, die zuvor mit Elektronenröhren gesammelt wurden. *Autor des Beitrages: Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit*



Bild 1: Elektronenröhren-Dioden – Verwendung: Netzgleichrichtung und Demodulation

- a) Symbol für eine Röhren-Diode mit direkter Katoden-Heizung.
- b) Symbol für eine Röhren-Diode mit indirekter Katoden-Heizung.
- c) Allgemeines Dioden-Symbol, bei dem die Katode nur durch einen Punkt dargestellt ist.
- d) Röhren-Diode (aus der Anfangszeit), bei der die Anode noch als ebene Elektrode der direkt geheizten Glühkatode gegenüberstand. Spätere Ausführungen besaßen eine quasi zylinderröhrige Anode mit der Glühkatode in der Mitte.
- e) Aufbau einer indirekten Katoden-Heizung. Dort befindet sich die Emissionsschicht auf einem dünnen Nickelröhrchen, innerhalb dessen ein meist bifilar gewendelter Heizfaden liegt; letzteres zur Vermeidung von Brummstörungen.
- f) Beispiel für eine moderne Doppeldiode (mit 2 Anoden) Typ EZ 80, mit Allglas-Sockel.



Eines der Standardwerke über Elektronenröhren in deutscher Sprache ist das vierbändige Werk von Heinrich Barkhausen (1881-1956) [1], das nacheinander in der Zeit zwischen 1951 und 1954 vom Hirzel-Verlag Leipzig herausgegeben wurde. Die allererste Ausgabe seiner Arbeiten zu diesem Thema erschien übrigens schon im Jahre 1921, d. h. genau vor 100 Jahren. Professor Barkhausen lehrte bis 1956 an der TH Dresden am Institut für Schwachstromtechnik. Auf die nach ihm benannte Röhrenformal S · Ri · D = 1 kommen wir weiter unten noch zu sprechen.

Ganz vergessen ist die Elektronenröhre auch heute noch nicht, im Gegenteil. Auch in unserer Zeit werden hochwertige Verstärker noch mit Elektronenröhren hergestellt und angeboten, und das nicht ohne Grund. Doch auch darüber später mehr.

Unsere heutigen Transistoren besitzen im Allgemeinen drei Anschlüsse: Emitter, Basis und Kollektor. Entsprechendes findet man auch bei den dreipoligen Röhren, den Trioden: Katode, Steuergitter und Anode. Zuvor aber noch eine Anmerkung zu einer speziellen Röhre, der Diode oder Zweipolröhre. Sie besitzt nur zwei Elektroden, eine Anode und eine Glühkatode (Bild 1). Durch die angelegte Heizspannung (6,3 Volt – früher 4 Volt) wird die Molekularbewegung im Heizfaden der Glühkatode so stark

erhöht, dass Elektronen austreten und sich so eine richtige Elektronenwolke um die Katode herum ausbildet.

Hauptverwendung der Zweipolröhre: Netz-Gleichrichtung und Demodulation von HF-Signalen. Dioden gibt es auch mit zwei Anoden, so genannte Doppeldioden, die für eine Zweiweg-Gleichrichtung geschaffen wurden. Für Elektronenröhren gilt generell, dass für die im Vakuum aus der Katode austretenden Elektronen die mittlere freie Weglänge sehr groß ist.

Ansonsten gibt es auch noch Elektronenröhren mit mehr als drei Elektroden. Auch darüber später mehr. Bleiben wir hier zunächst bei den dreipoligen Ausführungen von Transistoren (npn oder pnp dotiert) und von Trioden, mit direkt und mit indirekt geheizter Katode (Bild 2). Moderne Elektronenröhren haben fast ausschließlich indirekt geheizte Katoden, so dass man in den Schaltbildern den Heizfaden gar nicht mehr mit einzeichnet, und die Katode nur noch durch einen dicken Punkt darstellt (Bild 1c).

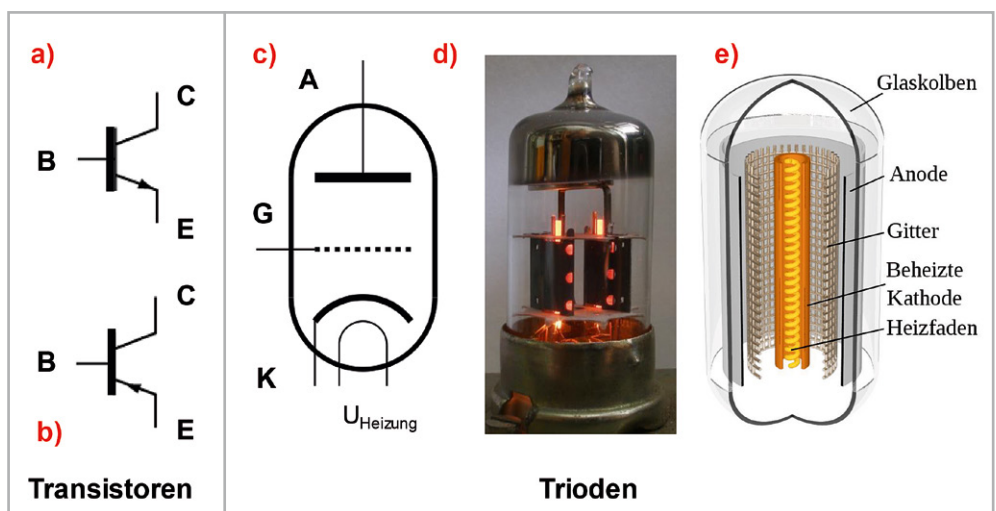
### Transistoren und Trioden

Der Aufbau und die Funktion von Transistoren sowie die zugehörige Schaltungstechnik dürften den Lesern dieser Zeitschrift weitgehend bekannt sein. Auch, dass sie anfangs noch auf Germaniumbasis hergestellt waren – später verwendete man zu ihrer Herstellung Silizium. Elektronenröhren dagegen sind, zumindest den jüngeren Lesern, weniger geläufig.

Fügt man zwischen der Glühkatode K und der Anode A einer Diode ein Gitter G ein, so bekommt man eine Triode, d. h. eine Dreipolröhre.

Bild 2: Aktive Bauelemente mit 3 Anschlüssen: Transistoren und Trioden (Dreipolröhren)

- c) Trioden-Symbol, für indirekt geheizte Katode;  $U_{\text{Heizung}}$  = Heizspannung; meist: 6,3 Volt, früher: 4 V; A = Anode, G = Steuergitter, K = Katode
- d) Doppel-Triode (2 Trioden in einem Kolben), mit eingeschalteter Katodenheizung
- e) Dreidimensionale Darstellung des Innenaufbaus einer Triode



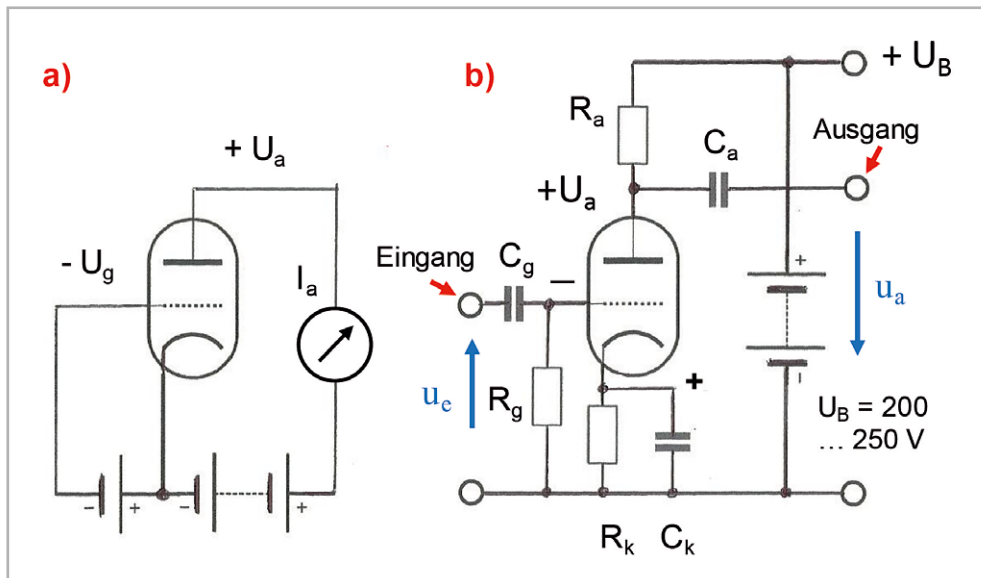


Bild 3: Triodenschaltung

- a) Prinzipschaltbild einer Triode. Zwischen Anode und Katode befindet sich das Steuergitter, mit dem der Anodenstrom gesteuert wird. Damit aber über das Gitter kein Strom fließt, erhält es eine negative Vorspannung.
- b) Grundschialtung einer RC-gekoppelten Verstärktriode in Katoden-Basis-Schaltung. Die negative Gittervorspannung erzeugt man auf dem "Umweg" über den Katodenwiderstand R<sub>k</sub>. Der durch ihn fließende Gleichstrom erzeugt daran einen Spannungsabfall mit positivem Vorzeichen an der Katode. Um den gleichen Betrag wird das Gitterpotential „negativer“. Zu dieser Potentialgestaltung trägt der sehr hochohmige, so genannte Gitterableitwiderstand R<sub>g</sub> (≥ 1 MΩ) bei.

Mithilfe des Gitters kann man den Anodenstrom steuern (daher auch die Bezeichnung: Steuergitter), und zwar so, dass der Innenwiderstand R<sub>i</sub> der Röhre verändert wird. Über das Gitter darf allerdings kein Strom (I<sub>g</sub> = 0) fließen. Um das zu erreichen, gibt man dem Gitter eine negative Vorspannung -U<sub>g</sub> (Bild 3). In der Praxis erreicht man das dadurch, indem man die Katode um den gleichen Spannungsbetrag „positiv anhebt“. Dazu dient der Katodenwiderstand R<sub>k</sub>, an dem der ihn durchfließende Strom einen Span-

nungsabfall gleicher Höhe erzeugt, nur mit positivem Vorzeichen an der Katode.

Wenn U<sub>g</sub> stark negativ ist, können keine Elektronen durch das Gitter hindurch zur Anode gelangen und I<sub>a</sub> wird 0. Bei einer weniger negativen Spannung U<sub>g</sub> erreicht bereits ein Teil der Elektronen die Anode, und I<sub>a</sub> ist nicht mehr gleich 0. Legt man jetzt zusätzlich zur negativen Vorspannung an den Verstärkereingang, d. h. zwischen Gitter und Masse einer Triode (= Minuspol der Stromquelle) – und das gilt auch für alle anderen noch zu behandelnden Röhrentypen – eine Signalspannung u<sub>s</sub> = ΔU<sub>g</sub> an, so schwankt der Anodenstrom I<sub>a</sub> im Rhythmus des Signals, und zwar gegenphasig zum Eingangssignal.

Im Bild 4 ist das sehr deutlich zu erkennen. Die Stromänderungen ΔI<sub>a</sub> lassen am Arbeitswiderstand R<sub>a</sub> (Bild 3) ein verstärktes Ausgangssignal U<sub>a</sub> entstehen. Der Quotient u<sub>a</sub>/u<sub>e</sub> ergibt schließlich die Verstärkung V der betreffenden Triodenstufe, die, wie man in der Grafik deutlich sieht, von der Steilheit S = ΔI<sub>a</sub>/ΔU<sub>g</sub> (Einheit: mA/V) des steil ansteigenden Teils der I<sub>a</sub>-U<sub>g</sub>-Kennlinie bestimmt wird.

Das ist, wie schon in der Einleitung erwähnt, eine der drei Barkhausen'schen Kenngrößen für Elektronenröhren.

In Bild 5 ist die Definition auch der zweiten Kenngröße R<sub>i</sub> (Einheit: Ω) der Röhrenformel grafisch verdeutlicht. Bleibt nur noch der Durchgriff

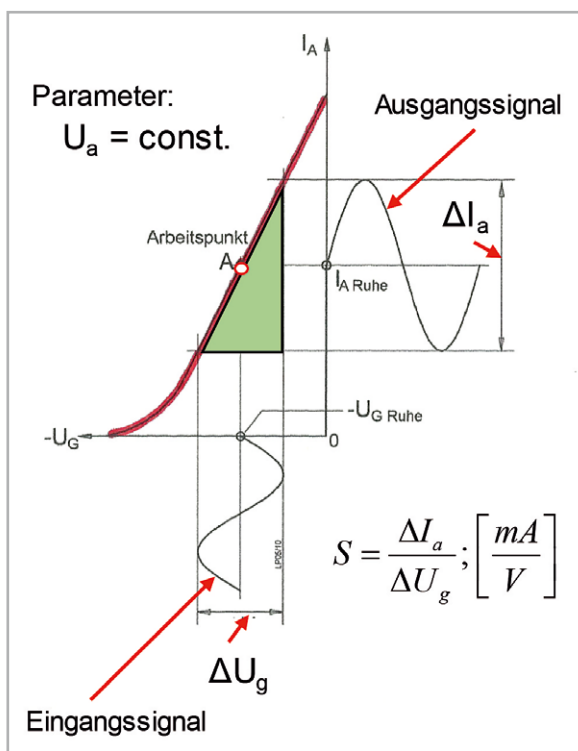


Bild 4: I<sub>a</sub>-U<sub>g</sub>-Kennlinie einer Triode bei konstanter Anodenspannung U<sub>a</sub>. Um zu vermeiden, dass über das Steuergitter einer Triode ein Strom fließt, erhält es eine negative Vorspannung (-U<sub>g</sub>). Aus der Kennlinie ist zu ersehen, dass mit zunehmender (negativer) Gittervorspannung der Anodenstrom I<sub>a</sub> sinkt, d. h. der Innenwiderstand R<sub>i</sub> steigt an. Mit der Gittervorspannung kann daher der Anodenstrom „gesteuert“ werden. – Bei positiverer Gittervorspannung beginnt ein Gitterstrom zu fließen, der letztlich zu Verzerrungen führt. Der Anstieg der Kennlinie wird durch den Begriff der Steilheit S beschrieben, eine der drei Barkhausen'schen Röhren-Kenngrößen.

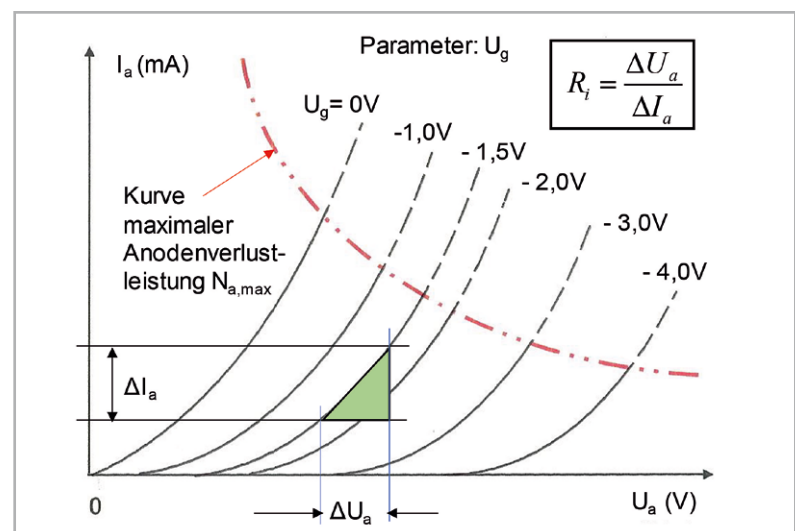


Bild 5: Typische I<sub>a</sub>-U<sub>a</sub>-Kennlinien einer Triode mit dazugehöriger Anodenverlustleistungskurve (Hyperbel). Für einen Wert von beispielsweise N<sub>a,max</sub> = 2,5 Watt darf bei einer Triode bei einer Anodenspannung U<sub>a</sub> von 250 V der Anodenstrom I<sub>a</sub> einen Wert von 2,5 W/250 V = 0,01 A = 10 mA nicht überschreiten.

$D = \Delta U_g / \Delta U_a \cdot 100$  (Einheit: %). Der Kehrwert des Durchgriffs  $1/D$  entspricht bei der Triode auch dem theoretischen Verstärkungsfaktor  $\mu$

$$\mu = S \cdot R_i = 1/D \quad (1)$$

Dazu folgendes Zahlenbeispiel für eine Triode, z. B. eine EC 92: Bei einer Steilheit  $S = 5 \text{ mA/V}$  und einem Durchgriff  $D = 1\text{V}/50\text{V} = 2 \%$  ergibt sich für den Verstärkungsfaktor ein Wert von  $\mu = 1/D = 1/0,02 = 50$ .

Für ideale Trioden gilt die Beziehung

$$I_a = I_k = k \cdot (U_g + D U_a)^{3/2} = k \cdot U^{3/2} \quad (2)$$

die auch unter der Bezeichnung  $U^{3/2}$ -Gesetz bekannt ist. Darin ist  $k$  eine nur von den Röhrenabmessungen abhängige Raumladungskonstante, und  $D$ , wie oben schon erwähnt, das Verhältnis von Gitterspannungs-Änderung  $\Delta U_g$  zur Anodenspannungs-Änderung  $\Delta U_a$ , ausgedrückt in Prozent. Bildlich gesprochen ist das ein Maß für das Durchgriffs-Vermögen des Potentials der Anode durch das Gitter hindurch auf die Elektronenwolke um die Katode herum.

Die dritte in Gleichung (1) genannte Größe ist der Innenwiderstand  $R_i$ . Das kann zum einen der Gleichstromwiderstand  $U_a/I_a$  sein, der sich einfach aus dem Ohmschen Gesetz ergibt, oder aber es ist der interessantere Wechselstromwiderstand, der sich aus der Anodenspannungs-Änderung  $\Delta U_a$  zur Anodenstrom-Änderung  $\Delta I_a$  ergibt (Bild 5). Für den Verstärker ist das die wichtigere Größe. Um beim obigen Beispiel zu bleiben: Dieser Widerstand beträgt  $R_i = 50 \text{ V}/5 \text{ mA} = 10 \text{ k}\Omega$ . Und damit stimmt die Gleichung:  $5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 1$

Das in Bild 3b dargestellte Schaltbild zeigt die Grundsaltung einer RC-gekoppelten Trioden-Verstärkerstufe, und zwar in Katoden-Basis-Schaltung. Da das Gitter normalerweise stromlos arbeitet, ist der Eingangswiderstand eines jeden Röhrenverstärkers sehr hochohmig, im Gegensatz zum Eingang von Transistor-Verstärkern. Der Wert des Gitterableitwiderstandes  $R_g$  wird entsprechend hochohmig ( $R_g \geq 1 \text{ M}\Omega$ ) gewählt.

In den Datenblättern wird für jede Elektronenröhre eine maximal zulässige Anodenverlustleistung  $N_{a,max}$  (Einheit: Watt) angegeben, die im Betrieb nicht überschritten werden darf. Es handelt sich dabei um eine Gleichstromleistung (Anodenerwärmung). Im  $I_a$ - $U_a$ -Kennlinienfeld ist diese Grenze durch eine Hyperbel (s. Bild 5 und Bild 6) gekennzeichnet.

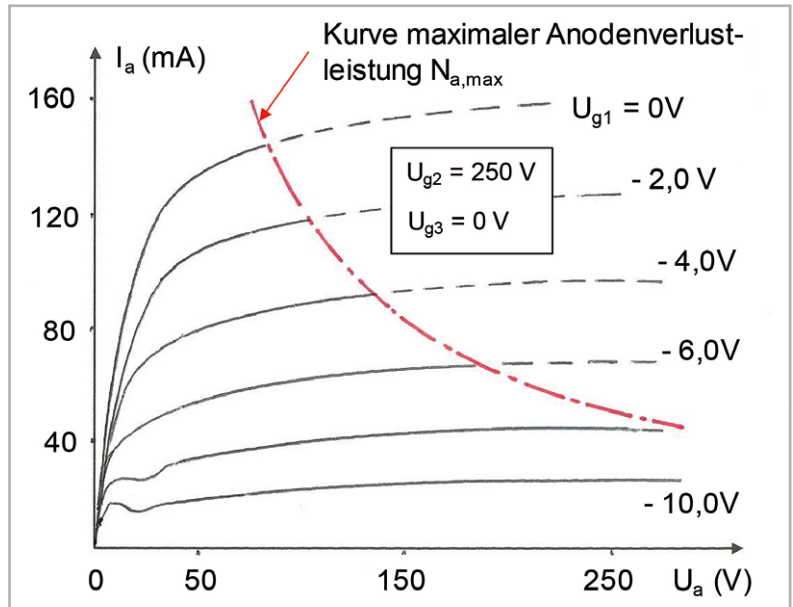


Bild 6: Typisches  $I_a$ - $U_a$ -Kennlinienfeld einer Pentode mit dazugehöriger maximaler Anodenverlustleistungskurve (Hyperbel). Parameter:  $U_{g1}$ ,  $U_{g2}$  und  $U_{g3}$ , z.B.:  $U_{g2} = 250 \text{ V}$  und  $U_{g3} = 0 \text{ V}$ .

zeichnet. Bei der Aussteuerung der Röhre darf die Leistungshyperbel durchaus auch überschritten werden.

### Mehrgitter-Röhren

Neben Trioden gibt es auch noch Röhren mit mehr als nur mit einem Gitter (Bild 7). Beginnen wir zunächst mit der Tetrode, einer Vierpolröhre, die hinter dem Steuergitter noch ein zweites Gitter besitzt, das so genannte Schirm- oder auch Schutzgitter (Bild 7b). Dieses Gitter bekommt eine feste, positive Vorspannung, die etwas niedriger ist als die Spannung der Anode. Es übernimmt die „Funktion einer Anode“ und bestimmt damit die Geschwindigkeit des Elektronenstroms. Infolge der relativ großen Zwischenräume des Schirmgitters fliegt ein Großteil der Elektronen durch diese hindurch und erreicht so die Anode. Gibt man dem Schirmgitter eine höhere Spannung als der Anode, so erreicht ein Teil des Elektronenstromes nicht mehr die Anode und kehrt zurück zum Schirmgitter. Das hat zur Folge, dass im Bereich der niedrigeren Anodenspannung eine fallende  $I_a$ - $U_a$ -Kennlinie (Einsenkung) vorliegt, was den Verwendungsbereich der Tetrode deutlich einschränkt. Das kann durch die Einfügung eines dritten Gitters zwischen Schirmgitter und Anode, des so genannten Bremsgitters, verhindert werden. Man erhält damit eine Fünfpolröhre, eine Pentode (Bild 7c). Tetroden wurden später nur noch in Sonderfällen verwendet, z. B. als Endröhren oder auch als Sende-Röhren.

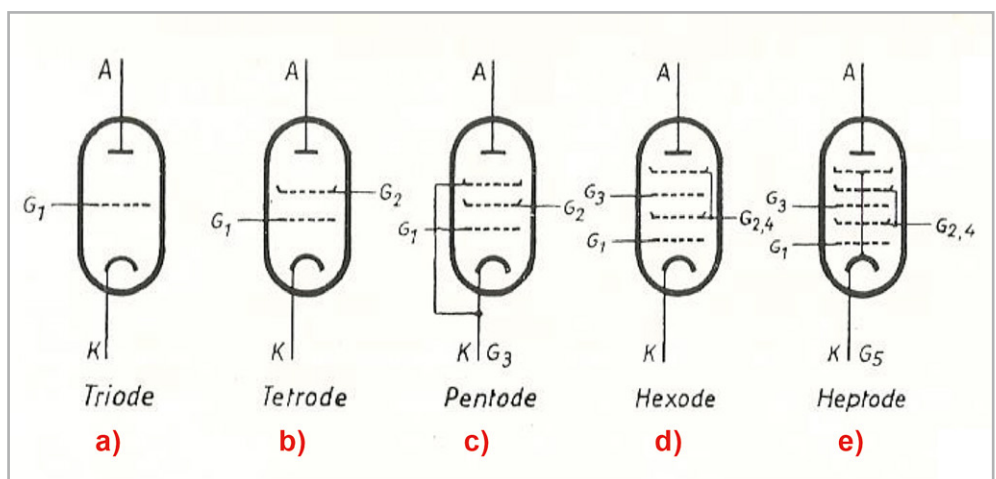


Bild 7: Weitere Röhrenarten mit zwei und mehr Gittern sowie deren Symbole, von der Tetrode (Vierpolröhre) bis zur Heptode (Siebenpolröhre). Einige der Gitter sind bereits innerhalb des Röhrenkolbens miteinander verbunden.

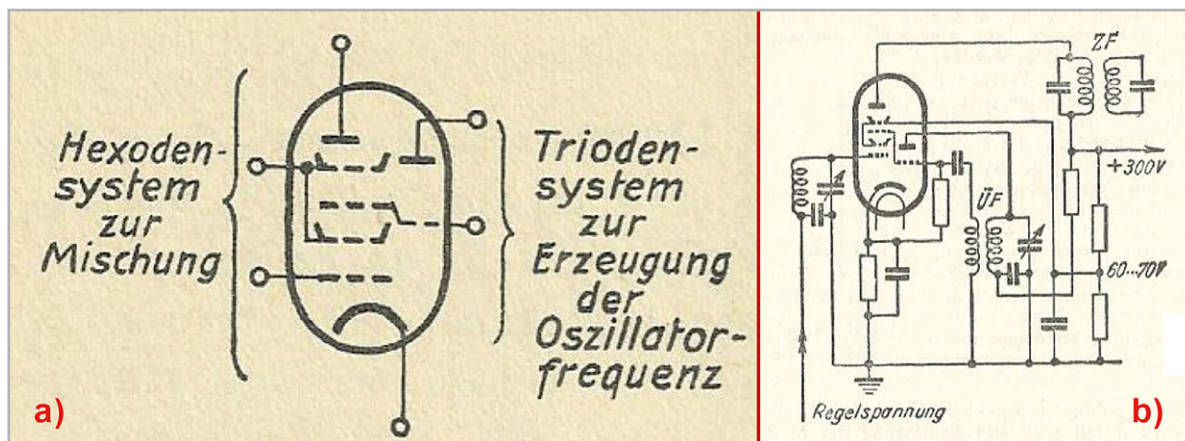


Bild 8: Verbund- oder Doppelröhre: Hexode – Triode, beide in einem Glaskolben.

- a) Prinzipbild einer Hexode-Triode, wie sie früher in Superhet-Rundfunkempfängern verwendet wurde. Das Hexodensystem diente zur Mischung des Empfangssignals mit dem für die Erzeugung des ZF-Signals erforderlichen und vom Triodensystem erzeugten Oszillatorsignals. Beide Systeme haben eine gemeinsame Katode.  
 b) Schaltbild einer derartigen Mischstufe. Die Hexode hatte meist auch noch die Eigenschaft einer regelbaren Röhre, für die automatische „Schwundregelung“. Das dritte Gitter der Hexode ist das Modulationsgitter, dem im Inneren der Röhre das Oszillatorsignal direkt vom Steuergitter der Triode zugeführt wird.

Das Bremsgitter liegt auf Katodenpotential. Es verhindert, dass die Elektronen vor dem Erreichen der Anode umkehren und als Sekundärelektronen zum Schirmgitter zurückfliegen. Mit Pentoden erreicht man, übrigens genauso wie mit Trioden, eine wesentlich höhere Verstärkung als mit Trioden. Damit wurden von Anfang an fast alle NF-Verstärkerstufen bestückt.

Trioden und Pentoden unterscheiden sich nicht nur durch die Anzahl ihrer Gitter, sondern auch durch den Verlauf ihrer Ia-Ua-Kennlinien (s. Bild 5 und Bild 6). Die Kennlinien von Pentoden ähneln denen von Transistoren.

Weitere Mehrgitterröhren sind z. B. die Hexode (Sechspolröhre) und die Heptode (Siebenpolröhre), die jeweils ein zweites Steuergitter  $G_3$  (Bild 7d und 7e) haben, an das man eine weitere Wechselspannungsquelle anschließen kann. Damit ist es möglich, diese mit einer am ersten Gitter liegenden Wechselspannung zu mischen oder ihr zu überlagern. Beide Röhrentypen wurden gern in Mischpultverstärkern zu Mischzwecken verwendet.

Erwähnt werden müssen an dieser Stelle auch noch Doppelröhren, d. h. Röhren, die in einem Kolben zwei Röhrenarten vereinen, z. B. Doppeltrioden, oder Triode und Hexode etc. Röhren der zuletzt genannten Art waren früher in Mischstufen von fast allen Rundfunkempfängern (Superhet-Prinzip) anzutreffen.

Bild 8 zeigt a) den prinzipiellen Aufbau solch einer Hexode-Triode und b) das Schaltbild einer geregelten Mischstufe mit einer Doppelröhre. Sämtliche in Rundfunkempfängern seinerzeit verwendeten Hexoden waren regelbare Röhren. Sie dienten gleichzeitig der automatischen Schwundregelung sowie zur Mischung des Empfangssignals mit dem Oszillatorsignal, das für die Erzeugung des ZF-Signals erforderlich war. Das Oszillatorsignal wurde vom Triodensystem erzeugt. Die Zwischenfrequenz betrug 468 kHz für AM und 10,7 MHz für FM. Signale mit konstant bleibender Frequenz lassen sich naturgemäß leichter verstärken als Signale mit wechselnder Eingangsfrequenz.

Die Schwundregelung hatte die Aufgabe, die verschiedenen Feldstärken der empfangenen Sender auszugleichen, so dass beim Abstimmen des Gerätes die einzelnen Sender immer mit der gleichen Lautstärke empfangen wurden.

### Abstimmanzeige-Röhren

Abstimmanzeige-Röhren, seinerzeit auch unter der Bezeichnung „Magisches Auge“ (Magic Eye) bekannt, dienten in Rundfunkempfängern zur genauen Abstimmung auf einen Sender, sowie außerdem auch in der damaligen Messtechnik als Nullindikator. Den Aufbau einer solchen Röhre zeigt das Bild 9. Die Innenseite des Leuchtschirms war mit einer fluoreszierenden Substanz belegt, ähnlich wie auch der Leuchtschirm von Kathodenstrahlröhren. Treffen Elektronen auf diese Schicht, so leuchtet diese auf. Im Betrieb liegt der Leuchtschirm auf dem gleichen Potential wie die Anode bei etwa 250 V. Er kann als besonders ausgebildete Anode angesehen werden. Der zum Leuchtschirm fließende Strom wird durch ein Anzeigegitter und durch zwei oder vier Steuerstege gesteuert. Infolge einer bestimmten Ausbildung dieses Systems wird der Elektronenstrom gebündelt, sodass auf dem Leuchtschirm zwei oder vier leuchtende Sektoren entstehen. Die Breite dieser Sektoren hängt ab von den Spannungen der Steuerstege und des Anzeigegitters. Je kleiner die Potentialdifferenz zwischen Leuchtschirm und Steuerstege ist, umso größer wird der Leuchtwinkel. Eine negative Spannung am Anzeigegitter verkleinert den Leuchtwinkel.

Die Steuerspannung für die Steuerstege bekommt man von der Anode eines Triodensystems. Beide Röhrensysteme sind über eine gemeinsame Katode miteinander verbunden. Die Steuerstege stehen in Verbindung mit dieser Trioden-Anode. Bei der Verwendung als Abstimmanzeige gelangt an das Gitter des Triodensystems eine Gleichspannung, die durch Gleichrichtung der verstärkten Hochfrequenz gewonnen wird. Die gleichgerichtete, d. h. demodulierte HF-Spannung ist dann am größten, wenn der Empfangsteil genau auf den empfangenen Sender abgestimmt ist. Der Leuchtwinkel des magischen Auges wird dann besonders groß.

### Ziffernanzeige-Röhren

Ziffernanzeige-Röhren waren früher das, was heute digitale Anzeigeelemente sind. Sie waren im Prinzip zum Teil wie Elektronenröhren in Glaskolben eingebaut. Erwähnt seien hier nur zwei Arten davon, zum einen die so genannte Vakuum-Fluoreszenz-Anzeige (VFA) und zum anderen die Nixie-Röhre (Bild 10).

Zunächst aber zu den Fluoreszenz-Anzeigen. Sie entstanden um 1967 und lösten die bis dahin verwendeten, auf dem Glühlampen-Prin-

zip beruhenden Nixie-Röhren ab. VFA-Röhren sind echte Elektronenröhren. Sie bestehen aus einem dünnen, mit Oxyden beschichteten Wolfram-Heizdraht, der als beheizte Katode thermisch Elektronen emittiert (Glühemission), die bei anliegender Anodenspannung zu den davor befindlichen Anodensegmenten fliegen. Die Anoden ihrerseits sind mit einer Leuchtstoffschicht bedeckt, die beim Auftreffen der Elektronen zu leuchten beginnen, ähnlich wie beim „Magischen Auge“. Vor den Anodensegmenten befindet sich ein Gitter, mit dem der Elektronenstrom gesteuert wird, bzw. die Elektronen auch zurückgestoßen werden, ähnlich wie bei einer Triode.

Die gesamte Anordnung war anfangs innerhalb eines evakuierten Glaskolbens untergebracht, so wie jede andere Röhre auch. In den Folgejahren wurden die Fluoreszenz-Anzeigen auch als flache Anzeigeelemente hergestellt. Die Anoden bestanden dabei meist aus Segmenten in Gestalt von 7-Segment-Anzeigen (Bild 10a). Es gibt aber auch 14-Segment-Anzeigen, mit denen sogar Buchstaben angezeigt werden können. Jedes dieser Segmente leuchtet nur dann, wenn sowohl das Gitter als auch die dazugehörige Anode auf einem positiven Potential gegenüber der Katode liegen. VFA-Anzeigen findet man heute noch in Taschenrechnern und Bürorechnern.

Jetzt zu den Nixie-Röhren, die eigentlich keine Röhren im Sinne von Elektronenröhren sind. Es sind Glimmlampen. Stromträger bei diesen Röhren sind freie Elektronen und positive Ionen. Den Namen erhielt diese Anzeigeröhre 1955 von der Firma Burroughs. Er ergibt sich als Abkürzung von der Bezeichnung „Numeric Indicator eXperimental No 1“, zum gängigeren Namen „Nixie“. Nixie-Röhren gab es bis in die 70er Jahre zur Anzeige von Zahlenwerten. Sie wurden danach von den VFA-Anzeigen abgelöst.

Es handelt sich hier um eine Gasentladungsröhre, die meist Neon enthält. Im Prinzip arbeitet sie wie eine Glimmlampe, in der sich mehrere hintereinander angeordnete und elektrisch voneinander isolierte Kalt-Katoden befinden, von denen jede einzelne die Form eines der anzuzeigenden Zeichens besitzt. In der Regel sind das die Ziffern von 0-9 inkl. Dezimalpunkt oder -komma, meist aus Draht gebogen oder aus feinem Blech ausgestanzt. Ein davor angeordnetes durchsichtiges Gitter oder Metallnetz bildet die Anode. Bei diesen Röhren unterscheidet man zwischen Zünd-, Brenn- und Löschespannung. Die Zündspannung muss erreicht werden, um den Zündvorgang einzuleiten. Die Brennspannung ist erforderlich, um den Entladungsvorgang aufrecht zu erhalten, und die Löschespannung ist die Spannung, bei der die Glimmröhre erlischt. Ihr Wert liegt bei ca. 5-10 % unterhalb der Brennspannung. Wie schon erwähnt, verlor dieser Röhrentyp an Bedeutung, als in den 1970er-Jahren die VFA-Röhren aufkamen.

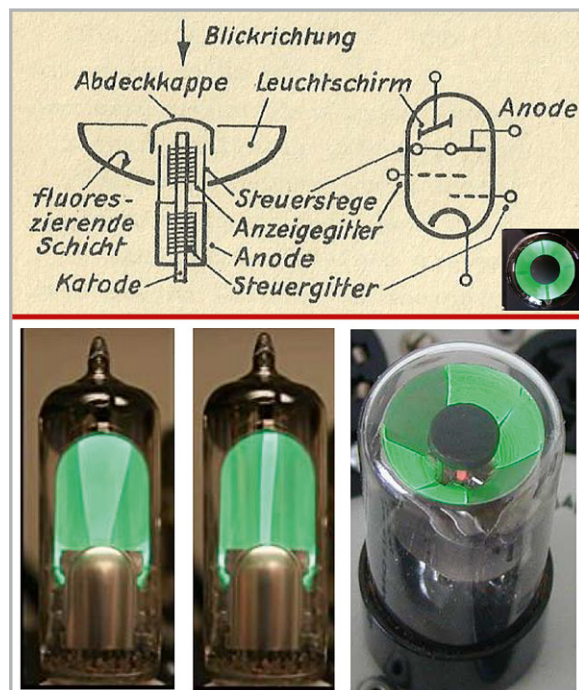


Bild 9: Abstimmröhren. - Das obige Bild zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Abstimmröhre; in der rechten Ecke ein „magisches Auge“ von vorne, mit voll ausgeleuchteten Sektoren. Die Darstellungen darunter zeigen Abstimmröhren in Form von magischen Fächern (links) und ein magisches Auge (rechts), bei dem noch die eingeschaltete Glühkatode zu erkennen ist.

### Weitere Ausführungen zum Thema Elektronenröhren

In der Anfangszeit waren die Glaskolben der Röhren noch über ihre Anschluss-Sockel voneinander getrennt, z. B. der Europa-Sockel: 3-, 4- und 5-polig (z. B. REN904). Sehr viel später kamen Allglas-Sockel auf mit bis zu neun Stiften (z. B. EF 80, EABC 80, Bild 11). Hinzu kamen dann noch Subminiatur-Röhren, flach und rund, mit fünf anlötbaren Anschlüssen (z. B. DF 651, DF 67, Bild 12), speziell geschaffen für die damals noch häufig benutzten Taschen-Hörgeräte [2].

Eine Besonderheit bildete die Verstärker-Pentode RV 12 P 2000 (Bild 13). Das war die meistgebaute Röhre für die Wehrmacht. Aus den Restbeständen

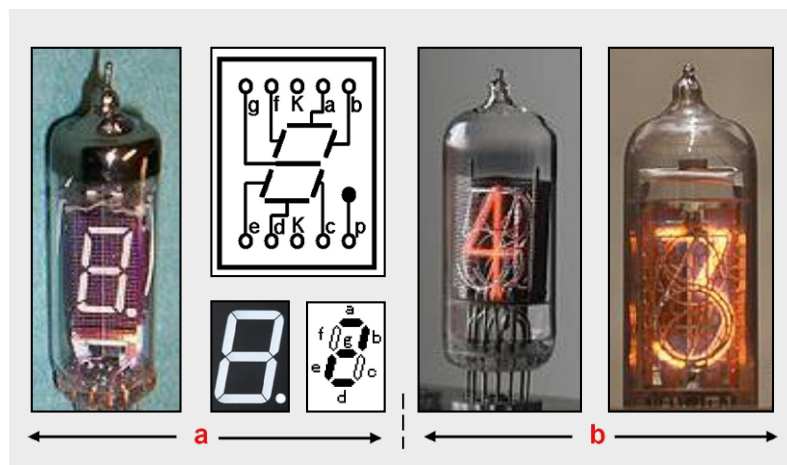


Bild 10: Ziffernanzeige-Röhren

- a) Vakuump-Fluoreszenzanzeigen (VFA), hier mit 7-Segmenten. Es gibt aber auch 14-Segment-Anzeigen, mit denen neben Zahlen auch Buchstaben angezeigt werden können.
- b) Nixie-Röhren. Das sind edelgasgefüllte Gasentladungsröhren.

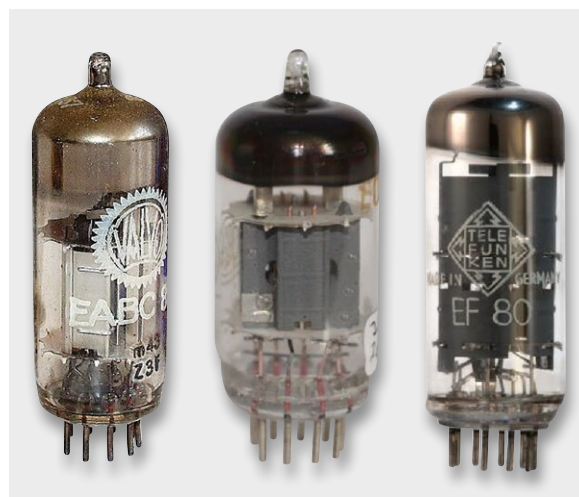


Bild 11: Elektronenröhren (EABC 80, ECC 82 und EF 80) mit Allglas-Sockeln und deutlich erkennbaren Kontakt-Stiften. Bei allen Röhren sieht man sehr deutlich auch die Anodenbleche.



Bild 12: Beispiele für Subminiaturröhren mit direkt geheizter Katode und anlötbaren Drahtenden, die speziell für (Taschen-) Hörgeräte geschaffen wurden. Ihre Heizspannung betrug 0,625 V bei einem Heizstrom von etwa 13,5 mA. Für zwei in Reihe geschaltete Heizungen benötigte man somit eine Spannungsquelle mit einer Spannung von 1,3 Volt. Zur Anwendung bei Hörgeräten kam eine ganze Reihe von Typen, z. B. mit den Bezeichnungen: DF64, DF651, DF67, DL 67, etc., alles Pentoden. Die Abmessungen dieser Röhren betragen nur ca. 7 x 5 x 25 mm (DF 651) und ca. 8 mm  $\varnothing$  x 30 mm (DF 67)

Bild 13: Verstärkerröhre RV 12 P 2000 mit Aussenkontakten, eine ursprünglich für militärische Geräte der Wehrmacht entwickelte Röhre (Pentode) mit einer Heizspannung von 12,6 Volt, Heizstrom 0,075 A, und Abmessungen: 20 mm  $\varnothing$  x 46 mm. Nach dem Ende des 2. Weltkrieges stand dieser Röhrentyp noch in großen Mengen zur Verfügung, so dass damit nicht nur die ersten Rundfunkempfänger der Nachkriegszeit entstanden, sondern auch die ersten netzbetriebenen Hörgeräte hergestellt wurden [4]. Die rechte Darstellung zeigt eine P 2000 mit einem abschraubbaren Knopf zum Herausziehen der Röhre aus ihrer speziellen Patronenfassung.



Bild 15: Beispiel für eine strahlungsgekühlte Senderöhre (Triode, T 1000-1) mit den Abmessungen: 26 cm (Höhe) und 14 cm (Durchmesser). Vier Anschlüsse unten (Heizung, Katode, Steuergitter) und ein Anschluss oben (Anode)

## Fazit

Im Rahmen dieser Übersicht kann nur ein lückenhafter Überblick über dieses hochinteressante Gebiet vermittelt werden. Es gäbe noch über vieles zu berichten, z. B. über die mit Elektronenröhren verbundene Schaltungstechnik, über Katodenstrahlröhren, über Stahlröhren, über die Vielfalt an Röhrensockeln bzw. Anschlüssen, ferner über das Thema Verzerrungen, und warum manche Musikliebhaber Röhrenverstärkern im High-End-Sektor immer noch eine besondere Klangqualität attestieren und über vieles andere mehr.

Zum Schluss noch eine ergänzende Anmerkung zum Thema Senderöhren (Bild 15). Auch diese Röhrenart hat eine sehr interessante Entwicklungsgeschichte durchlaufen. Hier nur so viel: Senderöhren teilt man generell ein nach der Leistung, die die jeweilige Röhre liefern soll. Davon hängt in hohem Maße die Art ihrer Kühlung ab. Bei HF-Leistungen bis zu etwa 2–3 kW genügte es anfangs, die Anode nur durch Strahlung zu kühlen. Bei höheren Anodenverlustleistungen verwendete man eine künstliche Kühlung, meist eine Wasserkühlung [4]. Auch bei Senderöhren gibt es Trioden, Tetroden und Pentoden. **ELV**

entstanden in den ersten Nachkriegsjahren damit auch erste Rundfunkempfänger. Die Röhre war sogar für den Einsatz im UKW-Bereich geeignet. Und nicht zuletzt war diese Röhre damals auch beliebt bei KW-Amateuren.

Eines der ersten röhren- und netzbetriebenen Hörgeräte (Siemens Phonophor-Super) war ebenfalls mit dieser Röhre P 2000 bestückt (Bild 14, [3]).

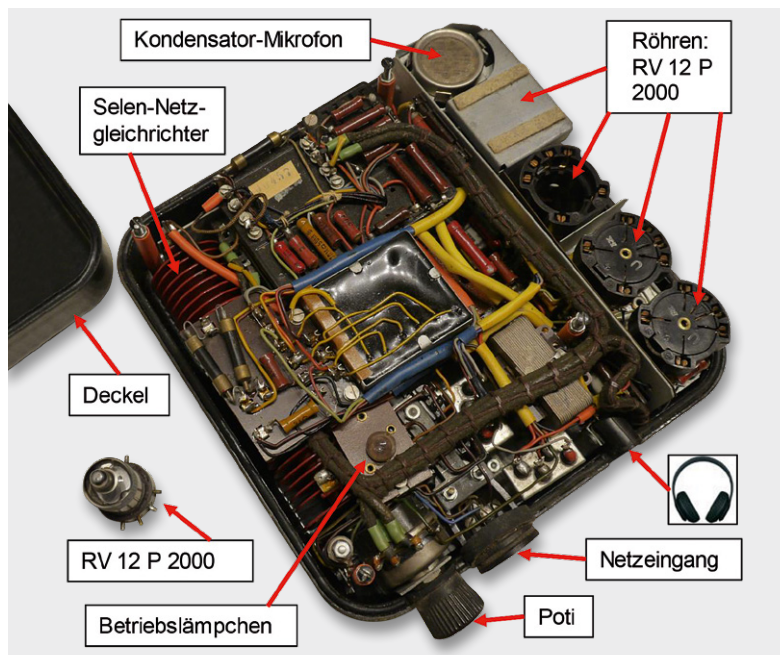


Bild 14: Eines der ersten röhrenbestückten Hörgeräte (Siemens Phonophor-Super), aus dem Jahre 1948, im wesentlichen bestehend aus einem Kondensator-Mikrofon und einem netzbetriebenen Verstärker (110/220 Volt) mit 4 Röhren vom Typ RV 12 P 2000. Die erste Röhre befindet sich verdeckt vom metallischen Abschirmdeckel oben gleich neben dem Mikrofon. Eine einzelne Röhre steht links unten im Bild, außerhalb des Gerätes. Ein Kopfhörer wurde bei diesem Gerät von außen über eine Steckverbindung angeschlossen. Das Gerät war in einem Bakelit-Gehäuse eingebaut. Ein Lämpchen zeigte den Betriebszustand an: Ein-Aus. Durch den Netzbetrieb war auch die Bereitstellung der Polarisationsspannung für das Kondensator-Mikrofon sichergestellt. (Foto: Veit)

## i Weitere Infos

- [1] Barkhausen, H.: „Elektronenröhren“, Band 1 bis 4, Hirzel-Verlag, Leipzig, 1951-1954
- [2] Veit, I.: „Hörgeräte-Elektronik: „Von der Elektronenröhre bis zum integrierten Schaltkreis und zur Digitaltechnik“, ELVjournal 6/2021
- [3] Veit, I.: „Vom röhrenbestückten Verstärker zum digitalen Hörgerät“, Hörakustik, Nr. 3, 2017, S.12-16
- [4] Heyboer, J.P. und Zijlstra, P.: „Senderöhren“, 7. Band, Philips' Technische Bibliothek, Eindhoven (Holland), 1951