



## Faszination Röhre Teil 2

***Nachdem wir uns im ersten Teil unserer Serie vor allem mit der Historie der Röhrentechnik befaßt haben, vertiefen wir im zweiten Teil den Exkurs in die interessante Technik der Elektronenröhren, deren Aufbau, ihre Wirkungsweise gefolgt von ersten praktischen Experimenten.***

### Langer Weg zum richtigen Material

Wie im ersten Teil der Artikelserie beschrieben, sind für die Funktion der Elektronenröhre zwei physikalische Effekte entscheidend:

- Austritt von Elektronen aus erhitzten Metallen und Metalloxiden und
- die gesteuerte Bewegung der ausgetretenen Elektronen im Vakuum.

Obwohl die Leitungselektronen in den Metallen frei beweglich sind, sind sie normalerweise nicht imstande, aus einer kalten Katode auszutreten. Wird diese jedoch erhitzt, können einige Elektronen aus ihr austreten.

Dabei ist es keinesfalls egal, welches Metall für die Katode eingesetzt wird.

Durchläuft ein Elektron ein elektrisches Feld mit der Potentialdifferenz von  $U$ , hat es eine Endgeschwindigkeit von

$$v = 594\sqrt{U} \text{ [km/s]} \quad (1)$$

Dabei wird die Eintrittsgeschwindigkeit als Null angenommen.

Im praktischen Gebrauch wird die Elektronengeschwindigkeit häufig nicht in km/s, sondern durch die Volt-Zahl der durchlaufenen Potentialstrecke angegeben. Das heißt, die „Geschwindigkeit 1V“ entspricht der Geschwindigkeit nach dem Durchlaufen einer Potentialstrecke von 1 V.

Zwei Begriffe spielen bei der Charakterisierung des Elektronenaustritts aus erhitzten Metallen eine wichtige Rolle: die sogenannte Temperaturspannung und die Austrittsspannung. Die Temperaturspan-

nung kennzeichnet die bis zur höchstzulässigen Erhitzung des Katodenmaterials erreichbare Geschwindigkeit der Elektronen, während die Austrittsspannung die zur Freigabe der Elektronen (zum Austritt aus der Katode) erforderliche Geschwindigkeit definiert.

Um eine einheitliche Berechnungsgrundlage zu erreichen, wird diese Temperaturspannung genannte Größe ebenfalls in eine Spannung umgerechnet - die Temperaturspannung. Sie wird als Mittelwert des Verhaltens der Elektronen im jeweiligen Material, abhängig von dessen zulässiger Höchsttemperatur, ermittelt.

Wie jetzt einfach in Beziehung zu bringen ist, unterliegen die Temperaturspannung und die Austrittsspannung einer starken Wechselwirkung. Je geringer die Aus-

	zulässige Temperatur T in °C	Temperaturspannung E <sub>t</sub> in V	Austrittsspannung E <sub>o</sub> in V
Wolfram	2300	0,21	4,5
thorisiertes Wolfram	1950	0,17	2,6
Bariumoxid	1160	0,1	1,1

**Tabelle 2: Temperaturspannung und Austrittsspannung einiger Katodenmaterialien**

trittsspannung ist, desto geeigneter ist naturgemäß das Katodenmaterial für einen effektiven Elektronenaustritt.

Die Tabelle 2 listet für einige Katodenmaterialien die durch die Erhitzung bis zur zulässigen Temperatur erreichbare Temperaturspannung und die erforderliche Austrittsspannung auf.

Es zeigt sich, daß die erforderliche Austrittsspannung durch die Temperaturspannung bei weitem nicht erreicht wird. Die geringste Differenz herrscht hier noch bei Bariumoxid. Trotz dieser ungünstigen Verhältnisse treten wegen der statistischen Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen (s. o.) doch „einige“ aus der Katode aus. Wenn auch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Elektronen mit übergroßer Geschwindigkeit relativ gering ist, reicht deren Menge bei der außerordentlich großen Anzahl freier Elektronen im Metall aus, einen Elektronenstrom zur Anode zu ermöglichen, der das Funktionieren der Elektronenröhre möglich macht.

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, liegen Austrittsspannung und Temperaturspannung bei Bariumoxid am dichtesten beieinander. Aus diesem Grunde wird insbesondere bei Empfängerröhren Bariumoxid bevorzugt als Katoden- bzw. Emitter-Material eingesetzt.

### Anode, Katode, Gitter...

So kompliziert die physikalische Funktion der Elektronenröhre klingt, die praktische Realisierung gestaltet sich dennoch recht übersichtlich.

Den prinzipiellen Aufbau einer Elektronenröhre kann man gut am Beispiel einer zerlegten Empfängerröhre demonstrieren (Abbildung 4). Die Teile {1 - 10} sind im betriebsfähigen Zustand der Röhre in der Reihenfolge {1 - 6} ineinandergeschoben und durch Glimmerscheiben {8, 9} gehalten.

Dabei ist {1} der Heizer, der für die unterschiedlichsten Heizspannungen und Heizarten (Parallel- oder Serienheizung) ausgelegt sein kann, wie man aus der Röhrenschlüssel-Tabelle im ersten Teil unserer Artikelserie sieht.

Bei direkt geheizten Röhren ist der Heizfaden direkt mit dem emittierenden Material beschichtet und bildet damit auch gleichzeitig die Katode. Direkt geheizte Röhren hatten ihre Bedeutung vorwiegend in batteriebetriebenen Geräten wie Kofferradios (Miniaturserie D ... 96) oder Hörgeräten (Subminiaturserien D ... 67).

Dagegen befindet sich das emittierende Material bei indirekt geheizten Röhren auf

einem Nickelröhrchen {2} - der Katode, in die der Heizer {1} eingeschoben ist. Fast alle Empfängerröhren sind indirekt geheizt.

Die Anode {6} ist als Rohr mit je nach Leistungsanforderung unterschiedlichsten Durchmessern und verschiedenen Querschnittsformen (reine Kreisfläche, Ovale, Rechtecke, Vielecke) ausgeführt. Sie ist außen um Heizer und Katode herumgeführt.

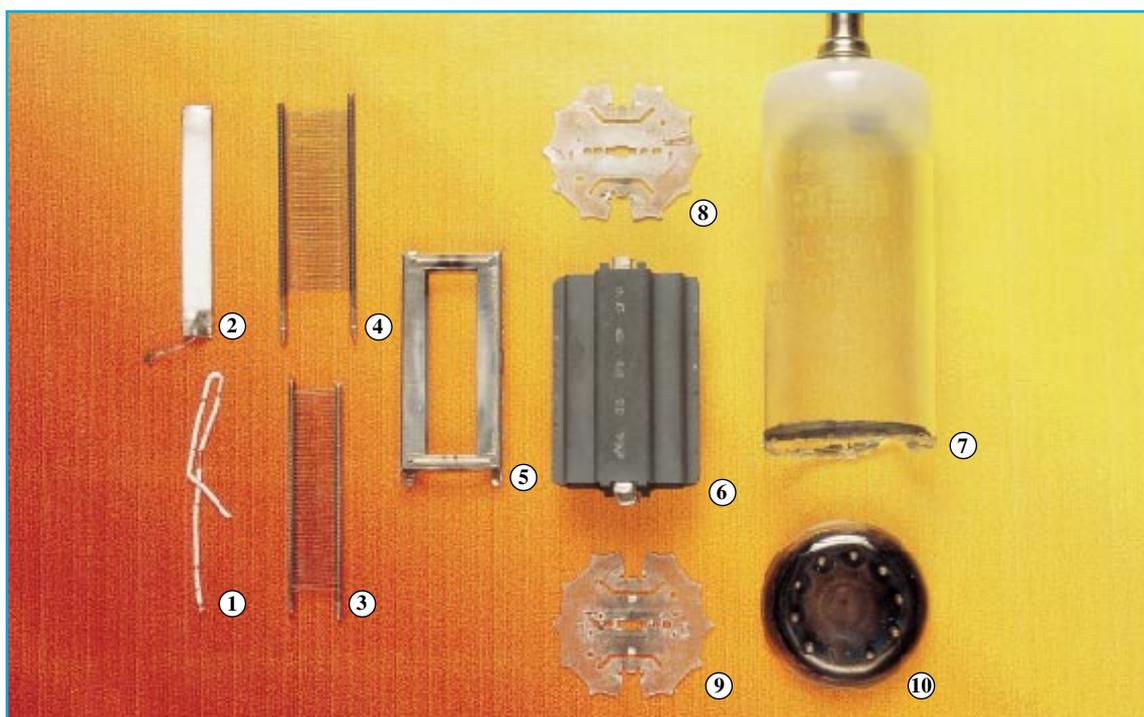
Positioniert man zwischen {2} und {6} das Teil {3} - das Steuergitter -, so erhält man eine steuerbare Röhre, die Triode. Werden nun die Elektrode {4} - das Schirmgitter - und die Elektrode {5} - das Bremsgitter - montiert, bildet die Konfiguration eine Tetrode bzw. Pentode. Die Gitter sind als Wendeln unterschiedlicher Durchmesser und Querschnittsformen sowie unterschiedlicher Steigung ausgeführt.

Bei einer Diode fehlen die Gitter {3} bis {5}. Sie wird heute noch zur Gleichrichtung der Netzspannung in High-End-Verstärkern und früher zur HF-Gleichrichtung sowie zur Hochspannungsgleichrichtung in Fernsehgeräten eingesetzt.

Gleich welche Konfiguration eine Röhre besitzt, stets werden die Einzelteile durch die Glimmerscheiben {8, 9} maßhaltig mit geringsten Toleranzen auf Abstand gehalten und mechanisch stabilisiert.

Alle Teile sind in einem evakuierten Glaskolben eingeschmolzen. Die Kontaktierung erfolgt über in den sog. Preßsteller eingeschmolzene Kontaktstifte {10} und in einigen Fällen (z. B. Hochspannungsgleichrichter) über zusätzliche, großflächige Kontakte.

Die unterschiedlichen Eigenschaften für die verschiedenen Einsatzgebiete, z. B. als NF-Leistungsröhre, HF-Verstärker-röhre, Mischröhren etc. werden neben einigen Materialvariationen durch die Größen der Elektroden, deren Abstände untereinander, die Steigung der Gitterwendeln, der Form und Größe der Anoden usw. erreicht. Dabei bleibt der Grundaufbau jedoch immer erhalten.



**Bild 4: Die Bestandteile einer Elektronenröhre. Bezeichnungen der Einzelteile siehe Text.**

**Diode, Triode, Tetrode, Pentode...**

Wie bereits beschrieben, arbeiten alle Elektronenröhren auf der Basis der Emission von Elektronen aus der geheizten Katode und der Steuerung des Elektronenstroms durch elektrische Felder, die durch die beschriebenen Elektroden, Gitter und Anoden, und deren Spannungen gegenüber der Katode erzeugt werden.

Dabei ergeben sich je nach Einsatzzweck des Systems unterschiedliche Funktionen.

Da wäre zunächst die **Diode**. Sie besteht lediglich aus Heizer, Katode und Anode. Ihre Kennlinie, die sich aus der Wirkung der Anodenspannung auf den Elektronenstrom ergibt, ist in Abbildung 5 dargestellt. Diese Kennlinie ist experimentell mit der Schaltung in Abbildung 6 zu ermitteln.

Deutlich erkennt man in der Kennlinie die Wirkung der Anodenspannung. Der Anodenstrom steigt stetig mit steigender, positiver Anodenspannung, bis ein Sättigungswert erreicht ist, d. h., alle emittierten Elektronen erreichen die Anode und die Katode ist nicht mehr in der Lage, noch weitere Elektronen abzugeben. Die Höhe dieses Sättigungsstroms ist vom Heizstrom und damit von der Katodentemperatur abhängig und steigt mit ihr (Abbildung 5).

Wechselt die Anodenspannung ihre Polarität (negativ), so hört der Stromfluß (fast) schlagartig auf, da physikalisch bedingt, ein Elektronenstrom nur von Minus nach Plus erfolgt. Einige Elektronen weisen zwar eine so hohe kinetische Energie auf, daß sie auch gegen eine negative Anodenspannung gewissermaßen „anlaufen“ können, diese Erscheinung finden wir in Röhrenkennlinienfeldern als Anlaufstrom wieder.

Die Wirkung eines solchen Röhren- (Dioden-) Systems als Gleichrichter für Wechselspannungen läßt sich nun leicht herleiten: Ein Strom durch die Röhre fließt nur, wenn die Anode positives Potential führt. So wird die positive Halbwellen durchgelassen und die negative Halbwellen durchgespart. Es entsteht eine pulsierende Gleichspannung, die später durch einen Kondensator zur rechten Gleichspannung geglättet wird.

Legt man nun zwischen Anode und Katode ein Gitter, so entsteht die **Triode**, deren Grundbeschriftung in Abbildung 7 gezeigt ist. Das Gitter soll den Elektronenstrom definiert steuern.

Bei der Triode wirken gleich zwei Elektroden auf den Elektronenstrom ein: Dies ist zum einen die Anode wie bei der Diode beschrieben und zum anderen das Gitter mit seiner Gitterspannung. Da es sich im Verhältnis zur Anode näher an der Katode befindet, ist naturgemäß seine Steuerwirkung auf den Elektronenstrom deutlich höher und es sind wesentlich geringere

Spannungen zur Beeinflussung des Elektronenstroms erforderlich.

Sie merken, wir kommen langsam zum Thema Verstärkung. Durch eine geringe Spannung am Gitter ist der Stromfluß zwischen Katode und Anode direkt steuerbar.

Legt man an das Gitter eine positive Spannung gegenüber der Katode, so verstärkt es, wie die Anode, den Elektronenstrom. Ist das Gitter umgekehrt jedoch mit einer gegenüber der Katode negativen Spannung beaufschlagt, bremst es den Elektronenstrom, da es die „Sogwirkung“ der Anode je nach Ansteuerung ganz oder teilweise aufhebt.

Die beiden steuernden Spannungen von Gitter und Anode werden unter dem Begriff resultierende Steuerspannung zusammengefaßt:

$$U_{st} = U_s + D \cdot U_a \quad (2)$$

Dabei wirkt die Gitterspannung voll und die Anodenspannung mit dem Faktor  $D < 1$ . Den Faktor  $D$  nennt man den Durchgriff, er besagt, daß nur die Feldanteile der Anode wirksam werden, die durch die „Gittermaschen“ in den Katodenraum auf die Elektronenwolke durchgreifen.

Der dabei fließende Anodenstrom wird wie folgt beschrieben:

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

Damit kommt ein Stromfluß zustande, wenn gilt:

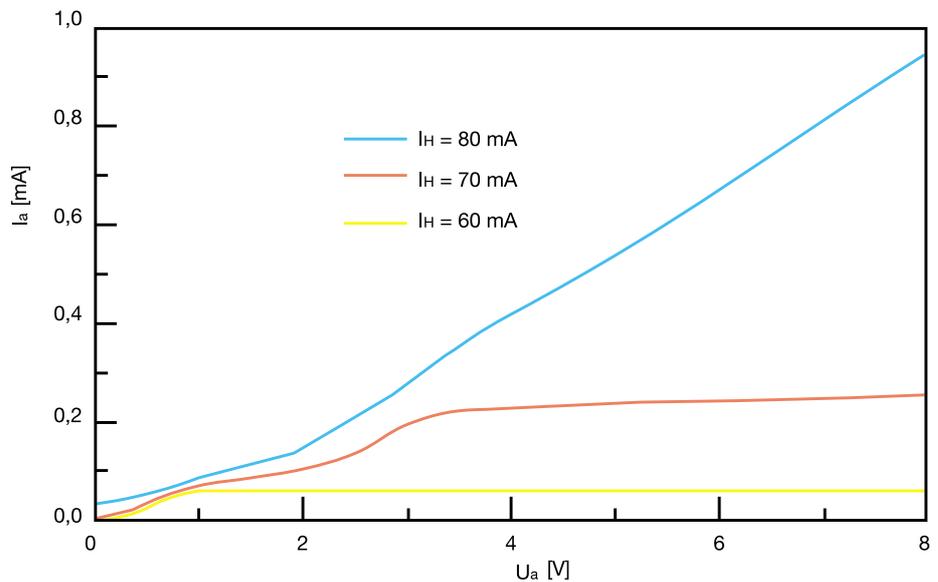
$$U_g + D \cdot U_a > 0 \quad (4)$$

Bei positiver Gitterspannung tritt jedoch ein Gitterstrom auf, d.h., der gesamte Katodenstrom teilt sich in einen Stromfluß über das Gitter und einen solchen über die Anode auf. In der Praxis ist dies unerwünscht, wie wir bei der Behandlung der Verstärkung mit Röhren und der bei der Verstärkung auftretenden Verzerrungen erfahren werden. Hier sei nur anzumerken, daß man Verstärkeröhren, wie z. B. die beschriebene Triode stets mit negativer Gitterspannung betreibt, wenn es sich um Verstärkerbetrieb handelt.

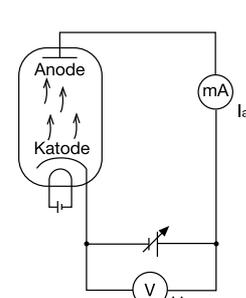
Führt man zwischen Steuergitter und Anode ein weiteres Gitter, das Schirmgitter, ein, so erhält man die Tetrode, bekannter unter dem Begriff Schirmgitterröhre (Abbildung 8).

Das Schirmgitter wird meist mit einer konstanten, positiven Spannung betrieben. Es verringert die Steuerwirkung der Anode, es schirmt sie ab.

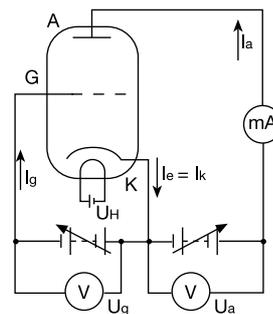
Die Gleichung (5) beschreibt die Verhältnisse analog der Gleichung (2) für die



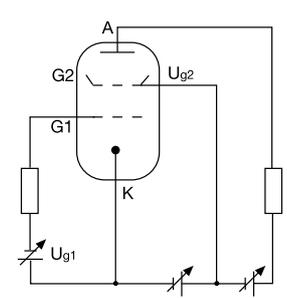
**Bild 5: Diodenkennlinie mit Oxidkatode für verschiedene Heizströme**



**Bild 6: Mit dieser Schaltung ist die Aufnahme der Kennlinie nach Bild 5 möglich.**



**Bild 7: Grund- und Meßbeschriftung einer Triode**



**Bild 8: Grund- und Meßbeschriftung einer Tetrode. G1 - Steuer-gitter; G2 - Schirmgitter**

Triode. Wir werden gleich erkennen, daß sich die Kennlinienverläufe von Triode und Tetrode sehr stark unterscheiden.

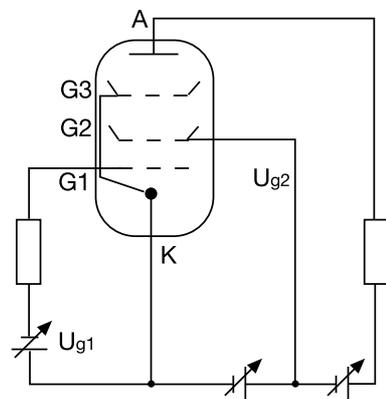
Analog zur Triode kann man auch hier wieder eine resultierende „Steuerspannung“ einführen:

$$U_{st} = U_{g1} + D_1 \cdot U_{g2} + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a \quad (5)$$

Dabei ist  $D_1$  der Durchgriff des Schirmgitters durch das Steuergitter und  $D_2$  der Durchgriff der Anode durch das Schirmgitter. Da sowohl  $D_1$  als auch  $D_2 < 1$  sind, kann als Produkt von  $D_1 \cdot D_2$  leicht ein Ergebnis  $\leq 0,01$  entstehen. Das bedeutet, daß der Einfluß der Anodenspannung auf den Anodenstrom (Steuerwirkung der Anode) vernachlässigbar ist. Bei konstant gehaltener Schirmgitterspannung erfolgt die Steuerung des Anodenstroms praktisch nur durch die Gitterspannung. Der Gesamtstrom teilt sich auf in den Schirmgitterstrom und den Anodenstrom. Für  $U_a = 0$  fließt der gesamte Strom in das Schirmgitter.

Beim Betrieb einer Tetrode ergibt sich ein entscheidendes Problem. Die auf die Anode auftreffenden Elektronen haben eine so hohe kinetische Energie, daß sie in der Lage sind, Elektronen aus der Anode herauszulösen. Diese Sekundärelektronen können, falls die Schirmgitterspannung höher als die Anodenspannung ist, zum Schirmgitter fließen. Das geschieht dann, wenn bei einer „Aussteuerung“ der Röhre mit Wechselspannung der Augenblickswert der Anodenspannung unter die Schirmgitterspannung fällt. In diesem Augenblick treten wiederum starke Verzerrungen auf.

Um diesen unerwünschten Effekt zu vermeiden, führte man ein weiteres Gitter, das Bremsgitter, ein und erhielt so ein Pentodensystem (Abbildung 9). Das Bremsgitter ist hier meist mit der Katode verbunden, hat also deren Potential. Die Primärelektronen, die den gewünschten, in Richtung Anode fließenden Strom hervorrufen, können sehr einfach die durch das Bremsgitter gebildete Potentialsenke überwin-



**Bild 9: Grund- und Meßbeschaltung einer Pentode. G1 - Steuergitter; G2 - Schirmgitter; G3 - Bremsgitter**

den. Die Sekundärelektronen jedoch werden, da sie keine hohe kinetische Energie besitzen, durch das Bremsgitter daran gehindert, zum Schirmgitter zu gelangen.

Von den beschriebenen vier Röhrenarten haben heute speziell in der High-End-NF-Verstärkertechnik und in Bühnenverstärkern Trioden und Pentoden eine Bedeutung. Die Tetrode ist in Sendeanlagen sehr hoher Frequenz, z. B. in Richtfunkanlagen, anzutreffen.

Wir wollen uns jedoch auf unsere Verstärkerprojekte vorbereiten und uns darum in der Folge schwerpunktmäßig mit den Trioden und Pentoden beschäftigen.

## Daten, Kennlinien, erste Versuche

Wer Schaltungen mit Röhren entwerfen, aufbauen und prüfen will, kommt nicht umhin, sich vor allem mit einer der wichtigsten Aussagen zum Bauelement Elektronenröhre zu beschäftigen - dem Kennlinienfeld. Hier werden die wichtigsten Abhängigkeiten, nämlich die des Anodenstroms von der Anodenspannung und die des Anodenstroms von der (Steuer-)Gitterspannung anschaulich grafisch dargestellt und eindeutig das Verhalten der Röhre beschrieben.

Nach Gleichung (3) ist z. B. für die Triode der Anodenstrom eine Funktion der Gitterspannung und der Anodenspannung:

$$I_a = f(U_g, U_a) \quad (6)$$

Bei der grafischen Darstellung wählt man die Form von Kennlinienfeldern mit jeweils zwei Variablen und einem Parameter:

$$I_a = f(U_g) \mid U_a = \text{const}$$

und

$$I_a = f(U_a) \mid U_g = \text{const}$$

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen für die Röhre EL 34, als Triode geschaltet, die  $I_a/U_g$ - und die  $I_a/U_a$ -Kennlinienfelder.

Vergleicht man das vorliegende Kennlinienfeld mit dem Kennlinienfeld einer idealen Triode, wie es durch die Gleichung (3) beschrieben wird, ergeben sich gewisse Abweichungen. Sie sind darin begründet, daß das Raumladungsgesetz nicht exakt erfüllt wird, daß das Anlaufgebiet vorhanden ist, und daß der Durchgriff nicht exakt eine konstruktiv begründete Konstante darstellt, sondern sich geringfügig mit den Betriebsverhältnissen ändert. Für die praktische Arbeit mit den Kennlinienfeldern ist dies jedoch nicht von Bedeutung, da man hier nicht von den theoretischen Werten, sondern ohnehin von den selbst ermittelten oder von den Röhrenherstellern bereitgestellten Kennlinienfeldern ausgeht.

Für die Übertragungseigenschaften der Röhren haben die Abweichungen der realen Kennlinien von den theoretischen al-

erdings eine Bedeutung, insbesondere deswegen, weil die später beschriebenen Röhrenkenngrößen in der Praxis arbeitspunktabhängig sind.

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen wie die Abbildungen 10 und 11 die entsprechenden Kennlinienfelder der EL 34, nun als Pentode geschaltet. Sofort fällt der völlig andere Kennlinienverlauf im Vergleich zur Triode auf. Der Anodenstrom ( $I_a/U_a$ -Kennlinienfeld) ist ab einem gewissen, noch relativ geringen Wert der Anodenspannung nahezu unabhängig von dieser. Außerdem kommt ein weiterer Parameter, die Schirmgitterspannung, hinzu. Nach Gleichung (5) gilt:

$$I_a = f(U_{st}) = f(U_{g1} + D_1 \cdot U_{g2} + D_1 \cdot D_2 \cdot U_a) \quad (7)$$

Diese Gleichung erklärt, daß der Anodenstrom kaum von der Anodenspannung abhängt, weil  $D_1 \cdot D_2 \ll 1$  ist. Auch die Wirkung der Schirmgitterspannung auf den Anodenstrom ist wegen des kleinen Wertes von  $D_1$  nicht so groß wie von  $U_{g1}$ .

Im Kennlinienfeld  $I_a/U_g$  liegen entsprechend die Kennlinien nahezu übereinander, während bei der Triode ein echtes Kennlinienfeld vorhanden ist.

Die beschriebenen Kennlinienfelder werden die wesentliche Grundlage für die Ermittlung der Röhrenkennwerte sowie der Schaltungsdimensionierung bilden.

## Die Röhrenkennwerte

Um das Verhalten der Röhren bei der Aussteuerung mit Wechselspannungen berechnen zu können, hat man vier Röhrenkennwerte festgelegt. Wegen der Beziehung (6) kann man Differentialquotienten von je 2 Variablen bei Konstanzhaltung der dritten Variablen bilden. In der Praxis wird der Differentialquotient durch den Differenzenquotienten ersetzt. So erhält man für die vier Kenngrößen folgende Definitionen:

**Steilheit:**

$$S = \left. \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \right| U_a = \text{const} \quad (8)$$

Für die EL 34, als Triode geschaltet, erhält man so z. B. für  $U_a = 250$  V im Bereich der Gitterspannung um 15 V:

$$S = \frac{22,4 \text{ mA}}{2,5 \text{ V}} = 8,95 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

**Verstärkungsfaktor und Durchgriff:**

$$\mu = \left. \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right| I_a = \text{const} \quad (9)$$

$$D = \left. \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \right| I_a = \text{const} \quad (10)$$

Dabei ist

$$\mu = \frac{1}{D} \quad (11)$$

Als Beispiel ergibt sich wiederum für

die EL 34, als Triode geschaltet:

$$\mu = \frac{29 \text{ V}}{2,5 \text{ V}} = 11,6 \quad \text{für } I_a = 100 \text{ mA}$$

und 
$$D = \frac{1}{\mu} = 0,086 = 8,6\%$$

**Innenwiderstand:**

$$R_i = \left. \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \right|_{U_g = \text{const}} \quad (11)$$

Für den oben betrachteten Fall der EL 34 erhält man einen Wert von:

$$R_i = \frac{25 \text{ V}}{22,4 \text{ mA}} = 1,11 \text{ k}\Omega$$

Es ist zu beachten, daß die Röhrenkennwerte nicht konstant, sondern arbeitspunkt-abhängig sind und die  $\Delta$ -Werte zur Kenn-datenbestimmung klein gewählt werden müssen.

Bildet man das Produkt aus  $S$ ,  $D$  und  $R_i$ , erhält man die innere Röhrgleichung, auch als Barkhausengleichung bekannt:

$$S \cdot D \cdot R_i = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \cdot \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = 1$$

$$S \cdot D \cdot R_i = 1 \quad (12)$$

In den Röhrentabellen werden die Kenn-daten meist nur für einen Arbeitspunkt angegeben, der den speziellen Einsatzfall der Röhre definiert. Aus den Kennlinien-feldern kann man entsprechend den Gleichungen (8) bis (11) die gewünschten Werte für jeden Arbeitspunkt ermitteln.

Die Verstärkerwirkung einer Röhre ist umso größer, je größer  $S$  und je kleiner  $D$  ist. Dabei hängen die Werte von der Kon-struktion der jeweiligen Röhre ab (Kato-denfläche, Abstand zwischen Gitter und Katode, Gitterkonstruktion usw.).

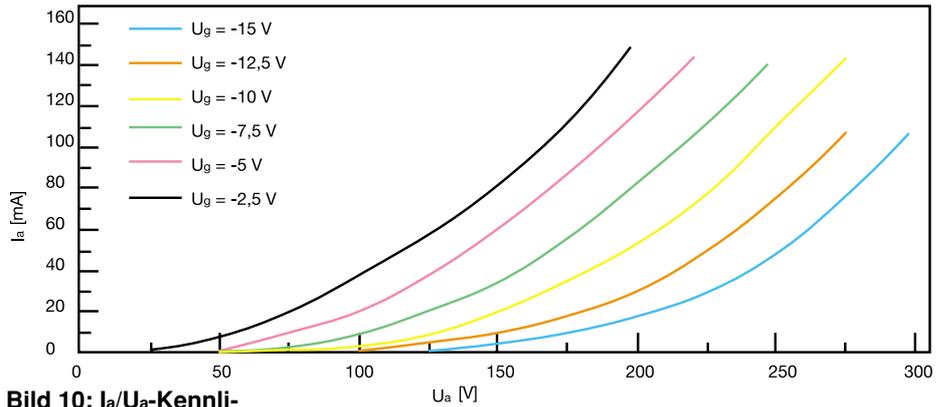
Da sich die Forderungen an die Kon-struktion einer Röhre aber teilweise entgegengesetzt verhalten, muß stets ein Kompromiß gefunden werden, der sich nach dem vorgesehenen Einsatzfall richtet. So werden an die Konstruktion einer HF-Mi-scher-Röhre andere Anforderungen gerichtet als an die einer NF-Endstufenröhre.

**Es wird praktisch - Hochspannung**

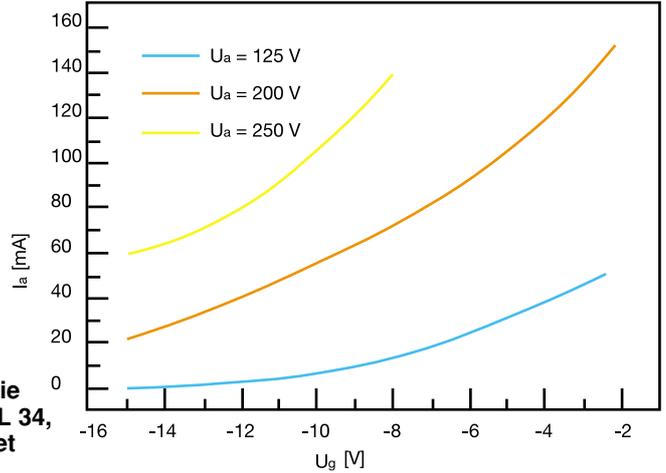
Aus den verschiedensten Gründen kann es erforderlich sein, die Kennlinie einer bestimmten Röhre selbst zu ermitteln. Diesem Zweck soll die Schaltung in Abbildung 13 dienen, denn erst das eigene Experiment läßt das Verständnis für die „Faszination Röhre“ erahnen.

**Sicherheitshinweise**

Bevor wir uns dem praktischen Teil zuwenden, wollen wir Ihnen zunächst an dieser Stelle einige wesentliche Sicherheitshinweise beim Aufbau und Umgang mit Röhrenschaltungen geben. Darüber hinaus sind die entsprechenden VDE-Be-

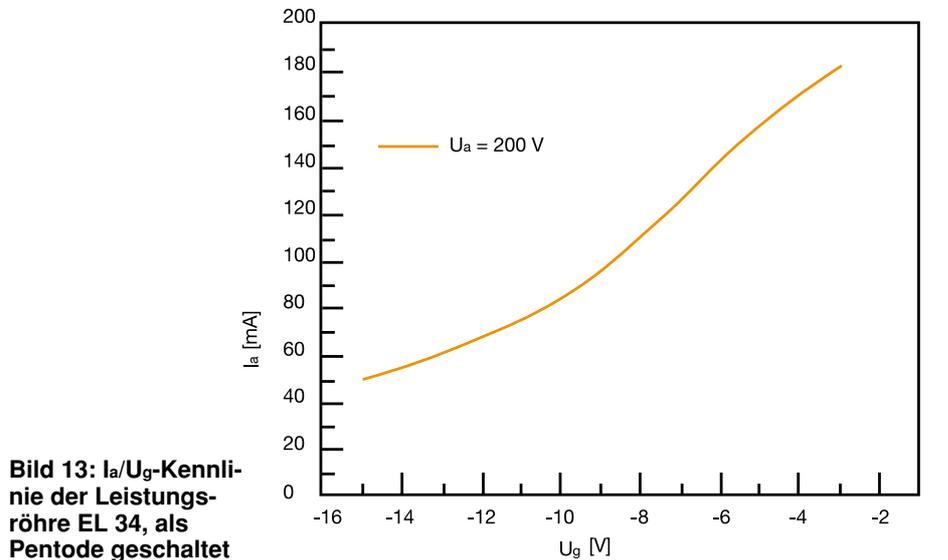
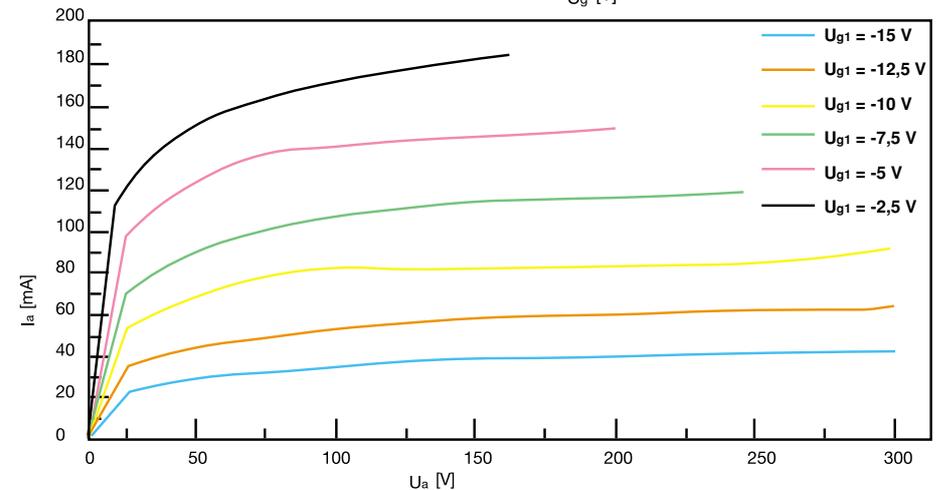


**Bild 10: Ia/Ua-Kennlinie der Leistungs-röhre EL 34, als Triode geschaltet**



**Bild 11: Ia/Ug-Kennlinie der Leistungs-röhre EL 34, als Triode geschaltet**

**Bild 12: Ia/Ua-Kennlinie der Leistungs-röhre EL 34, als Pentode geschaltet**



**Bild 13: Ia/Ug-Kennlinie der Leistungs-röhre EL 34, als Pentode geschaltet**

stimmungen sowie die einschlägigen relevanten Sicherheitshinweise unbedingt zu beachten. Der Umgang mit Röhren ist aufgrund der für den Betrieb erforderlichen hohen und damit lebensgefährlichen Spannungen ausschließlich Profis vorbehalten, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind.

**Äußerste Vorsicht ist bei jeder Röhrenschaltung wegen der lebensgefährlich hohen Spannungen geboten, die hier notwendig sind.** Diese Spannungen dürfen erst nach vollständiger Verkabelung der gesamten Schaltung einschließlich aller Zuführungs- und Meßleitungen und abschließender Überprüfung des Aufbaus angelegt werden, d. h. die Schaltung muß berührungssicher ausgeführt sein, entsprechend dürfen keine spannungsführenden Teile berührbar sein.

Die Verbindungsleitungen zwischen Schaltung und Netz- bzw. Meßgeräten müssen ausreichend spannungsfest und als VDE-gerechte Sicherheitsmeßleitungen (keine berührbaren blanken Teile) ausgeführt sein.

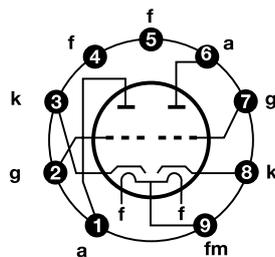
Lebensgefährlich wären hier „fliegende“ Aufbauten. Sichern Sie auch alle Geräte und Leitungen gegen Herabfallen und Berührung.

Die Fassungen für die zu untersuchenden Röhren müssen fest in ein allseitig isoliertes Gehäuse montiert werden, sorgfältig gelötete, isolierte Leitungen führen zu Sicherheitsmeßbuchsen.

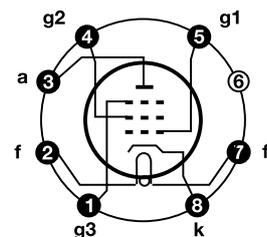
Die Sockelschaltungen einiger in unseren Experimenten und Anwendungsschaltungen eingesetzter Röhren sind in der Abbildung 15 zu sehen.

Die Zuordnung der Anschlüsse:

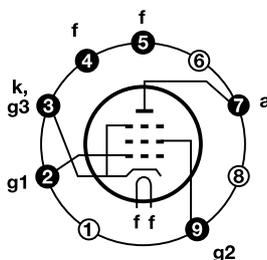
- f - Heizung
- k - Katode
- a - Anode
- g1 - Steuergitter
- g2 - Schirmgitter
- g3 - Bremsgitter



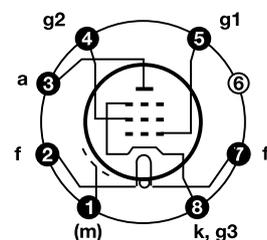
ECC 81, ECC 82, ECC 83, 12AX7, 7025, 6681, 12DW7, 7247



EL 34

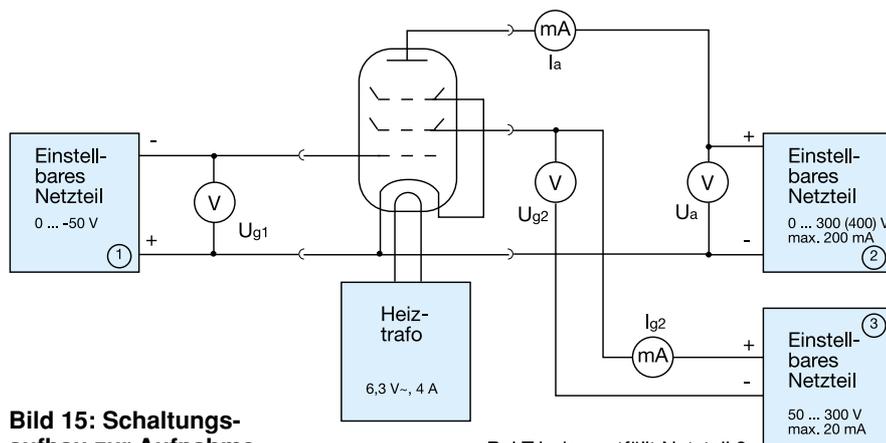


EL 84



6L6, 6V6, 6550, KT88

**Bild 14: Sockelschaltungen ausgewählter, gebräuchlicher Röhren**



**Bild 15: Schaltungsaufbau zur Aufnahme von Röhrenkennlinien**

Bei Trioden entfällt Netzteil 3 und die zugehörigen Meßgeräte

Welchen Röhrentyp Sie für die ersten Experimente wählen, bleibt Ihnen überlassen. Zweckmäßigerweise beginnt man mit einer Triode, etwa einer ECC 81, 82 o. ä.

Man kann sein Experimentierboard auch mit mehreren Röhrensockeln versehen, um verschiedene Röhren testen zu können.

Als Meßgeräte kommen normale Analog- oder Digitalmultimeter zum Einsatz, wobei auch hier auf die zulässigen Höchstspannungen und auf den Berührungsschutz sowie vorschriftsmäßige Isolation zu achten ist.

Als Netzgeräte sollten nach Möglichkeit nur industriell hergestellte Geräte zum Einsatz kommen, die ebenfalls entsprechende Sicherheit gewährleisten.

Erst mit einem solchen Equipment, das sicheres Experimentieren möglich macht, können eigene Versuche beginnen.

### Die erste eigene Kennlinie

Auch, wenn es sehr theoretisch klingt, ohne ein solches Experiment durchgeführt zu haben, sollte man keine Röhrenschaltung auf- oder nachbauen. Denn hier ist es fast noch wichtiger als in der Halbleitertechnik, überlegt zu handeln und Wechselwirkungen zu kennen. Dazu kommt die praktische Erfahrung im Umgang mit der nun einmal nicht ungefährlichen Technik.

Nach sorgfältigem Aufbau der Meßschaltung sind die Spannungen nun in folgender Reihenfolge einzuschalten:

1. Negative Gitterspannung, immer zunächst den höchsten Wert einstellen
2. Heizspannung
3. Anodenspannung
4. Bei Bedarf Schirmgitterspannung

Will man nun das Kennlinienfeld  $I_a = f(U_a)$  (mit  $U_g$  als Parameter) ermitteln, wird, mit der höchsten negativen Gitterspannung (ca. -50 V) beginnend, durch schrittweises Erhöhen der Anodenspannung der zugehörige Anodenstrom notiert.

Danach stellt man  $U_a$  wieder zurück auf 0 V, wählt den nächsten Wert für die Gitterspannung, erhöht wieder schrittweise die Anodenspannung usw.

Beachten Sie dabei, daß das Produkt  $U_a \cdot I_a = P_a$  den für die Röhre angegebenen Wert, den man einschlägigen Röhrentabellen entnimmt, nicht übersteigen darf.  $P_a$  beträgt z. B. für die ECC 82 2,5 W.

Nachdem man das komplette Kennlinienfeld ermittelt hat, können nun die Werte für S, D und R<sub>i</sub> nach den vorangegangenen Ausführungen bestimmt werden.

Damit ist unsere erste praktische Begegnung mit der Elektronenröhre absolviert.

In der nächsten Ausgabe erfolgt der Einstieg in die praktische Schaltungsdimensionierung - heben Sie also Ihr Experimentierboard auf...