

Röhren.



Vakuumpipen

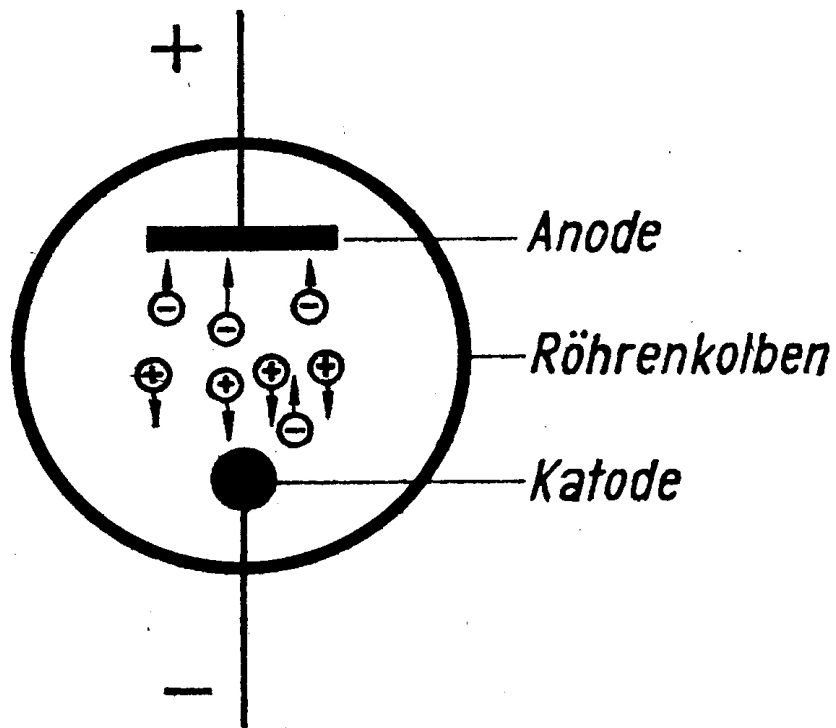
Wir unterscheiden zwischen gasgefüllten und Vakuumpipen, die auch Hochvakuumpipen genannt werden. Die bekanntesten Vertreter der gasgefüllten Röhren sind Leuchtstoffröhren.



Auch das ist eine gasgefüllte Röhre.

Leitungsvorgänge im Vakuum und in Gasen.

Wir betrachten zunächst die Wirkungsweise einer gasgefüllten Röhre. Die gasgefüllten Röhren gehören zu den *Ionenröhren*. Jede Röhre, egal ob Vakuumröhre oder gasgefüllte Röhre, hat in ihrer Grundform mindestens zwei Elektroden. Eine Elektrode, die negative Kathode, sendet Elektronen aus und nimmt positive Ionen auf. Die andere, die positive Anode, nimmt Elektronen und negative Ladungsträger auf.



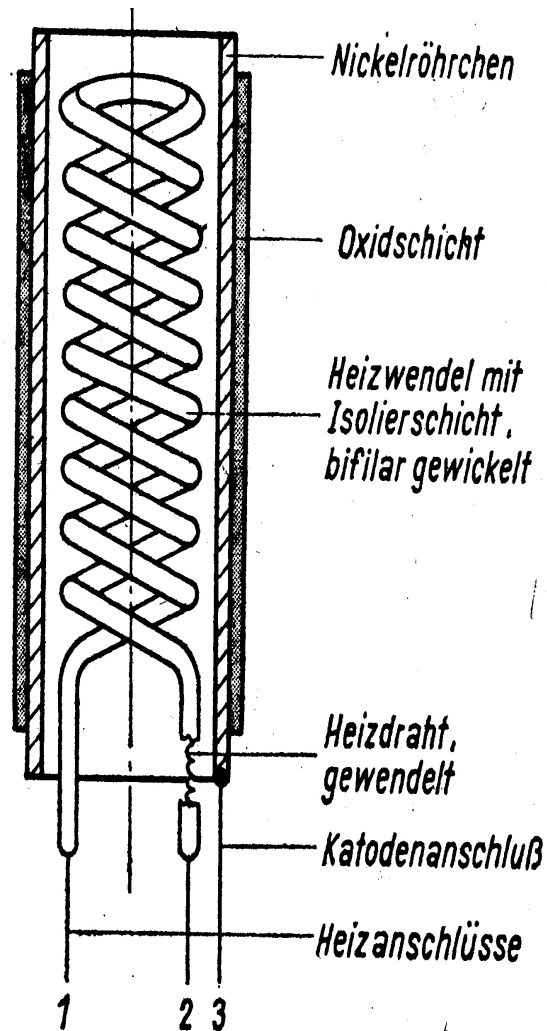
Wie werden Elektronen ausgesendet?
Wir unterscheiden:

1. Thermoemission (Wärmezufuhr)
2. Fotoemission (Licht)
3. Sekundäremission durch schnelle Elektronen und Ionen
4. Feldemission (elektrische Energie)
5. Radioaktive Emission

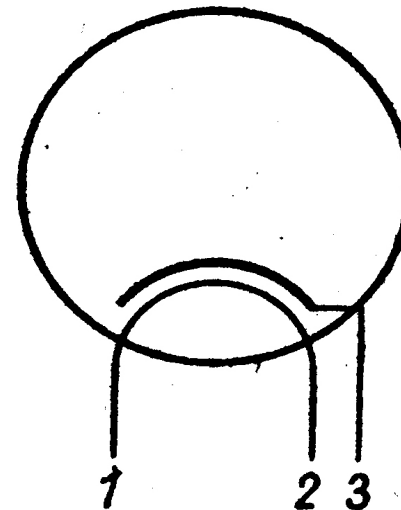
Für unsere Anwendungszwecke ist die Thermoemission das wesentliche Element. Sie soll hier näher beleuchtet werden. Wir kennen zwei Arten von Kathoden:

1. die direkt geheizte Kathode
2. die indirekt geheizte Kathode.

Zunächst die indirekt geheizte Kathode.



Das Nickelröhrchen ist dem Heizfaden gegenüber isoliert



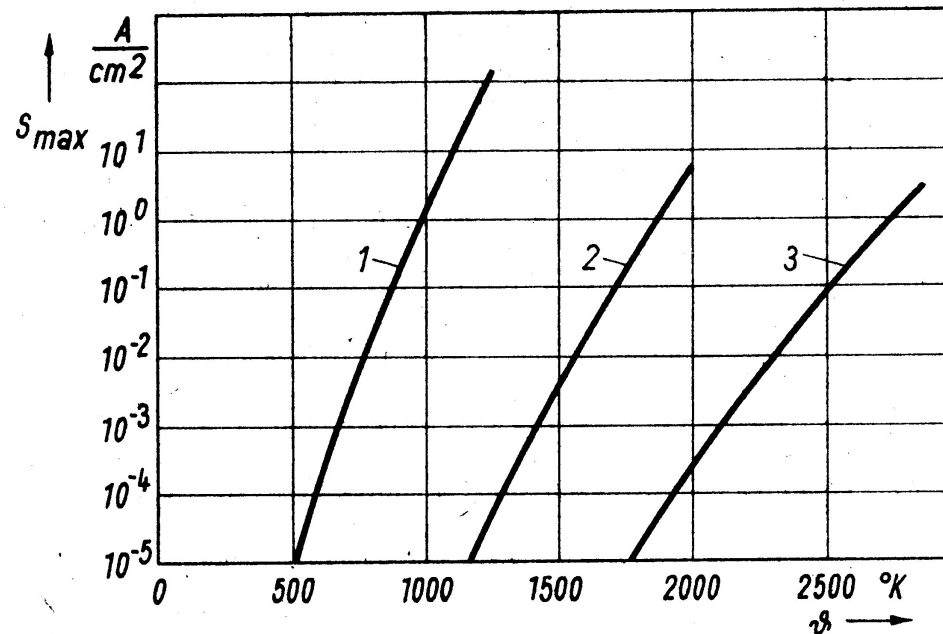
Das dazugehörige Schaltbild.

Das Kathodenmaterial kann auch direkt auf den Heizwendel aufgetragen sein, der somit die Elektronen selber emittiert. Wir sprechen dann von direkter Heizung.

Die Anzahl der emittierten Elektronen ist vom Material abhängig. Eigentlich dürfte das Ganze nicht klappen, denn die zugeführte Energie reicht nicht aus, aber auf Grund der statistischen Verteilung der Energie erhält ein Teil der Elektronen eine höhere Energie als die anderen. Wegen dieser höheren Energie treten die Elektronen aber aus.

Als Kathodenmaterial verwendet man heute Barium-Strontium-Oxyd.

Höchstmögliche
Emission verschiedener
Kathodenwerkstoffe
in Abhängigkeit von der
Temperatur (ValvoGmbH)
1 = Barium-Strontium-
Oxid; 2 = Thoriertes
Wolfram; 3 = Wolfram



Gegenüberstellung verschiedener Kathodenmaterialien.

Die Geschwindigkeit der Elektronen.

Auf dem Weg von der Kathode zur Anode erreichen die Elektronen unter dem Einfluß der Spannung zwischen Anode und Kathode eine bestimmte Geschwindigkeit, die direkt von der Spannung abhängig ist. Da gibt es zuerst Naturkonstanten, die nicht beeinflußt werden können.

Es sind die Elektronenmasse und die Elementarladung. Die Elektronenmasse beträgt $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$. Die Elementarladung beträgt $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{As}$.

In einer vereinfachten Formel, die die Konstanten berücksichtigt, wird die Geschwindigkeit ermittelt. Sie zeigt aber auch die Grenzen der Anwendung in Bezug auf den Zusammenhang zwischen dem mechanischen Zusammenhang, der Spannungsfestigkeit und der Grenzfrequenz auf.

Ein Rechenbeispiel soll die Zusammenhänge erklären:

Abstand Kathode -> Anode = 3mm

$U = 100 \text{V}$

Frage: welche Geschwindigkeit erreichen die Elektronen?

$$v = 6 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U} \quad U \text{ in V,} \quad v \text{ in m/s}$$

$$v = 6 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{100}$$

$$v = 6 \cdot 10^6$$

$$v = 6000 \text{ km/s}$$

Wie groß ist die Laufzeit der Elektronen beim obigen Beispiel?

v_a = Anfangsgeschwindigkeit

v_e = Endgeschwindigkeit

v_m = mittlere Geschwindigkeit

$$V_m = l / t$$

$$t = l / v_m$$

$$v_m = (v_a + v_e) / 2 \quad \text{Anfangsgeschwindigkeit} = 0$$

$$v_m = (0 + 6 \cdot 10^6 \text{ m/s}) / 2$$

$$v_m = 3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$t = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m} / 3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$t = 1 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 1 \text{ ns}$$

Rechnet man das in eine Frequenz um, entspricht es 1 GHz.

Der letzte Satz hinkt zwar etwas, zeigt aber das Problem der mechanischen Abmessungen einer Röhre in Bezug auf die Frequenz und die Spannungsfestigkeit auf.

Vakuümröhren.

Die Röhren sind nach Anwendungszweck und Heizung normiert. Die Heizungen werden mit Buchstaben bezeichnet und stehen an erster Stelle.

Beispiel: **E**C92.

A steht für 4V

D für 1,5V, sogenannte Batterieröhren für tragbare Radios o.ä.

E für 6,3V

U für Heizstrom 100mA, 12,6V

P für Heizstrom 300mA, 12,6V

E- Röhren können aber auch 12,6V Heizspannung haben. Beispiel ECC81.

Sie hat eine Heizspannung von 12,6V mit einer Mittelanszapfung und kann damit auch an 6,3V betrieben werden. Die Daten von Röhren sind in den Röhrenbüchern bzw. Datenblättern der Hersteller zu finden.

An zweiter Stelle steht die Röhrenart:

Beispiel: **E****C**92

A steht für Diode, Anwendung als Gleichrichter kleiner Leistung

B für Doppeldiode, Anwendung als Gleichrichter kleiner Leistung

C für Triode

F für Pentode

H für Heptode, in der Regel Mischröhren

L steht für Leistungspentode

M für magisches Auge oder Band

Y für Gleichrichter Einweg, größere Leistung

Z für Gleichrichter Zweiweg, größere Leistung

Zwei Beispiel sollen die Systematik veranschaulichen:

EL95: 6,3V Heizspannung

EL95: Leistungspentode

95: Seriennummer des Herstellers

Im Datenblatt steht dazu:

Anzahl der Elektroden: 5

Verwendungszweck: EP

Sockelschaltung: Mi

Heizart: ~ oder =

Heizspannung: 6,3V

Heizstrom: 0,2A

Kathodenart: ind. (bezieht sich auf indirekte Heizung)

Anodenspannung: 250V

Gitterspannung: 250V (hier Schirmgitter)

Gitterspannung: -9V (hier Steuergitter)

Kathodenwiderstand: 0,32kΩ

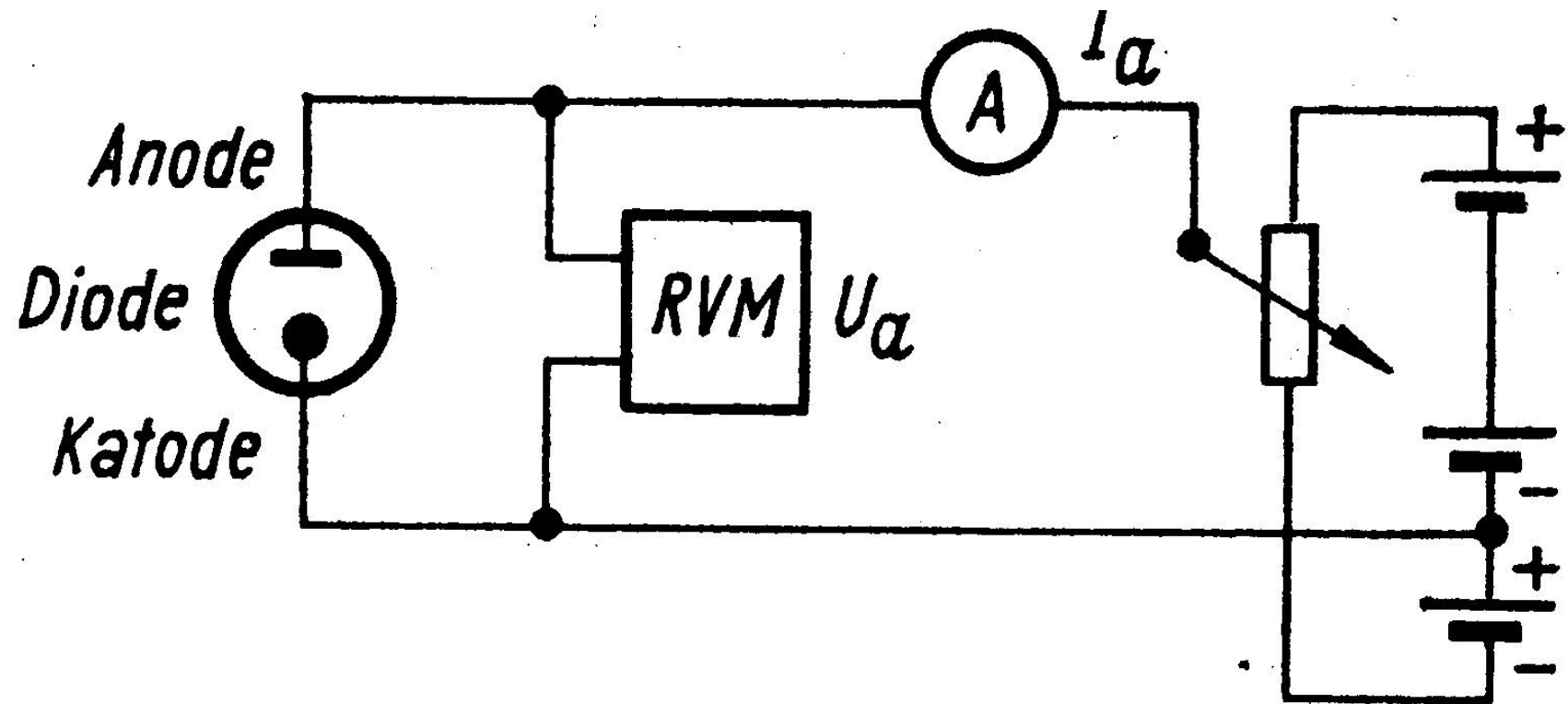
Anodenstrom: 24mA
Schirmgitterstrom: 45mA
Steilheit: 6mA/V
optimaler Außenwiderstand: 10kΩ

Das ist ein Ausschnitt aus **einem** Datenblatt.

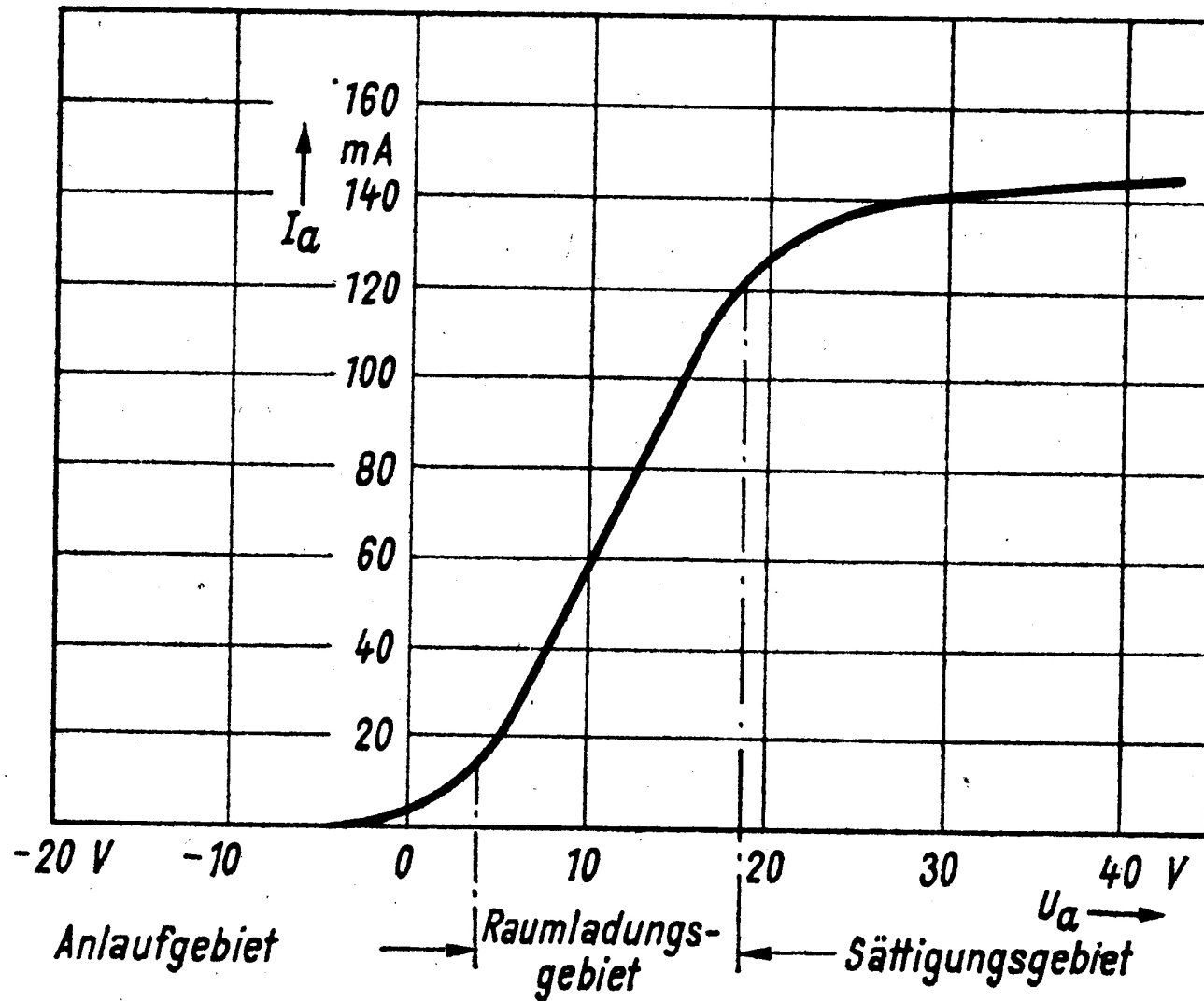
Wir haben nun erfahren, daß es auch verschiedene Sockelarten gibt. Im obigen Fall ist als Sockel Mi, steht für Mignon, angegeben
Alle Sockel unterscheiden sich in der Form und Größe. Über all diese Daten geben die Datenblätter der Hersteller Auskunft. Darin sind auch in der Regel auch die Darstellungen der Kennlinien enthalten.

Es gibt alleine 20 Arten von Röhrensockeln, die sich in der Größe und der Anzahl der Anschlüsse unterscheiden.

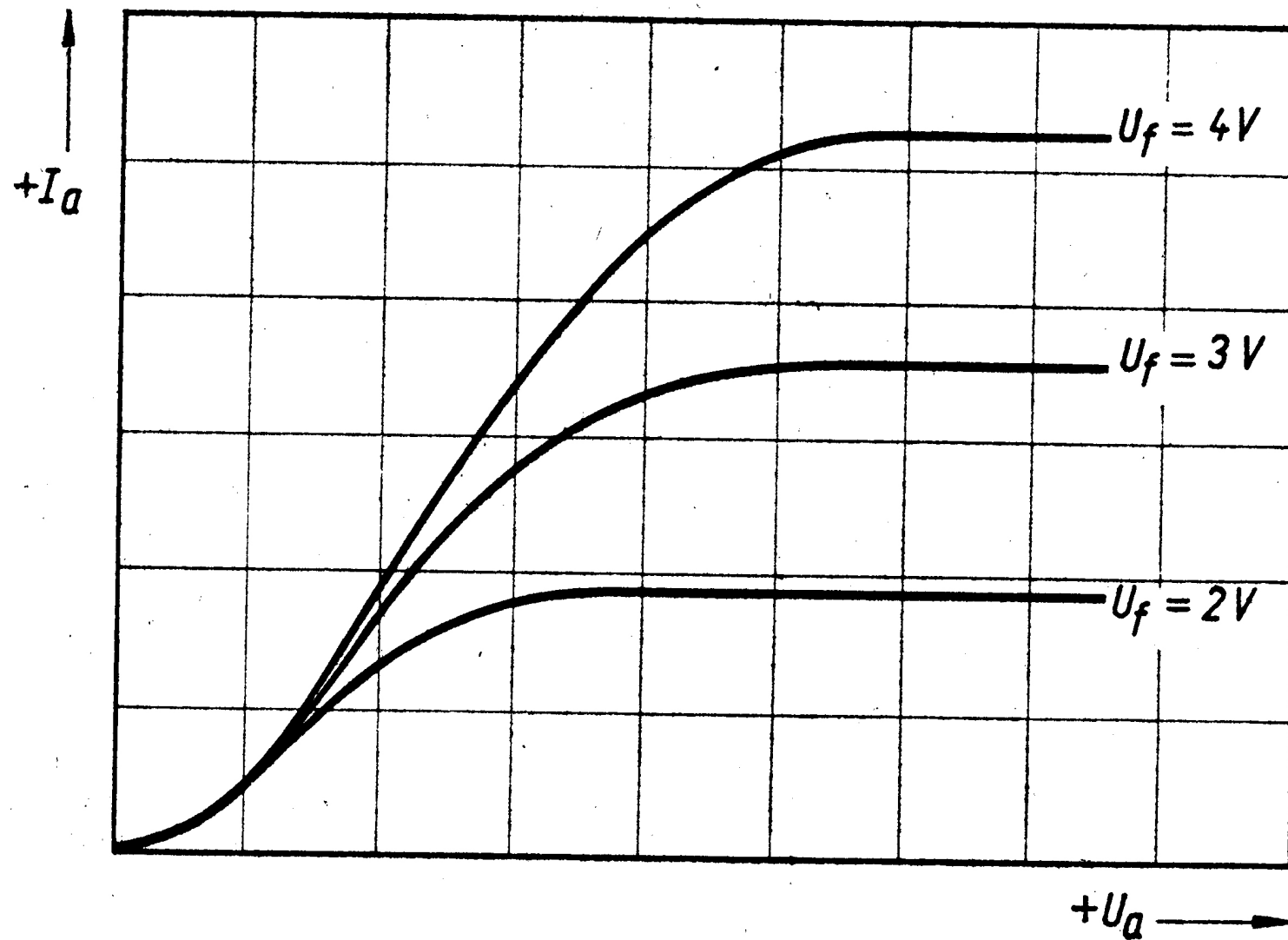
Wir kommen zu der einfachsten Form der Hochvakuumröhre, der Diode, zurück. Wir haben erfahren, daß bei Erwärmung der Heizung Elektronen aus der Kathode austreten und den Vakuumraum überschwemmen. Die Anzahl der Elektronen ist von der Höhe der Anodenspannung abhängig. Sie werden sogar bei geringer negativer Spannung zur Anode hingezogen. Das sieht man sich am besten an der Kennlinie an, die man mit geringen Mitteln selber aufnehmen kann.



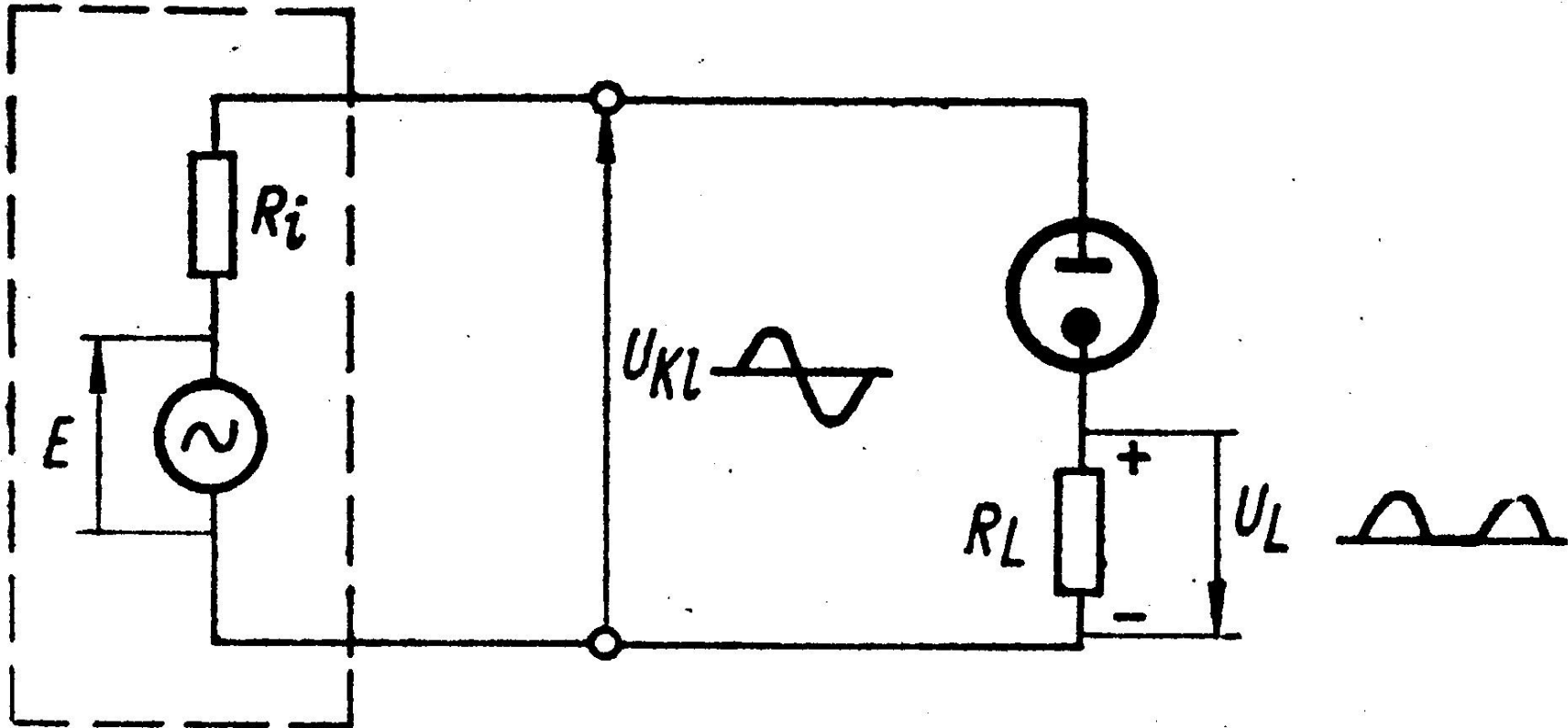
Schaltung zur Aufnahme einer Diodenkennlinie



Was läuft hier ab? Bei negativer Spannung an der Anode bewegen sich trotzdem noch Elektronen zur Anode. Mit steigender Anodenspannung steigt der Strom bis zu einem bestimmten Wert recht schnell an. Danach aber nur noch langsam, weil die Kathode keine Elektronen mehr schicken kann.

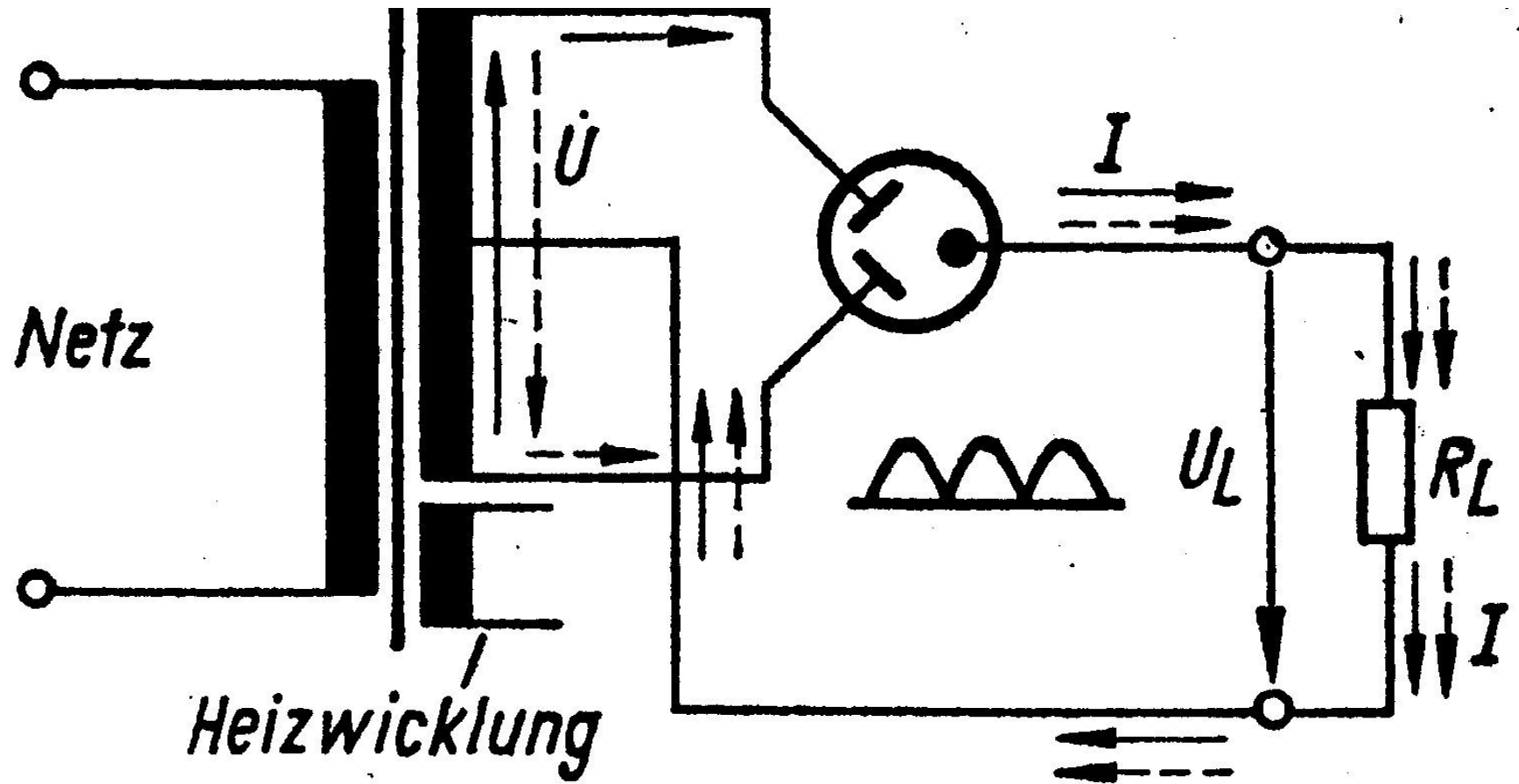


In diesem Bild wird die Abhängigkeit des Anodenstromes von der Heizspannung gezeigt. Das ist in sich logisch, denn je höher die Temperatur der Katode ist, umso mehr Elektronen können freigesetzt werden.



Schaltung in Einweggleichrichtung, vergleiche mit der Halbleiterdiode.

Hinweis: bei indirekt geheizter Kathode wird diese nur mit einem Punkt gekennzeichnet.
 Die Schaltung wird ähnlich bei der Gleichrichtung von HF- Signalen verwendet. Dann sind aber ganz kleine Leistungen zu behandeln. In diesem Fall würde man z.B. eine EA... oder EB... statt EY... oder EZ... nehmen, denn Y und Z stehen für hohe Ströme.

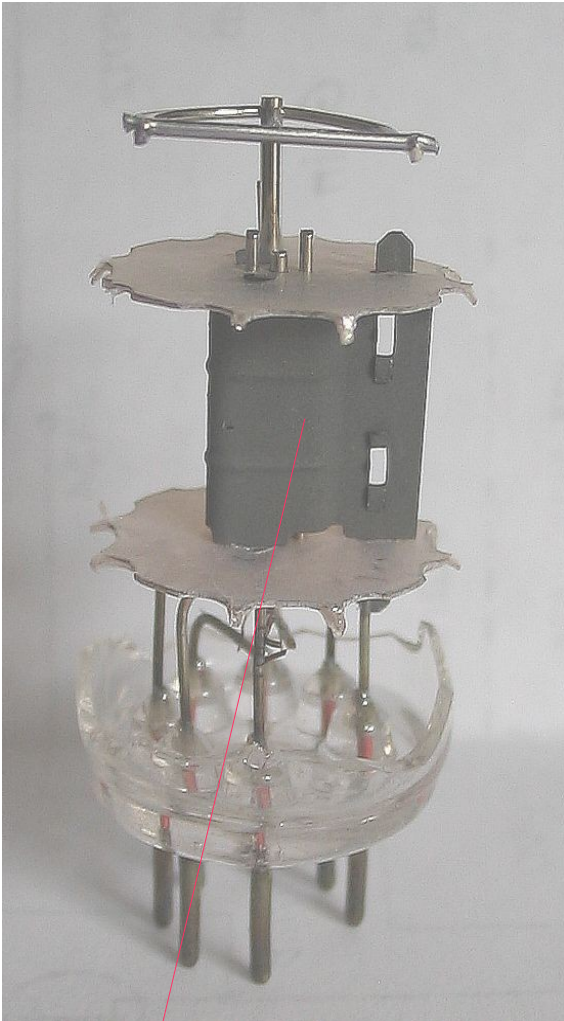


Schaltung in Zweiweggleichrichtung.

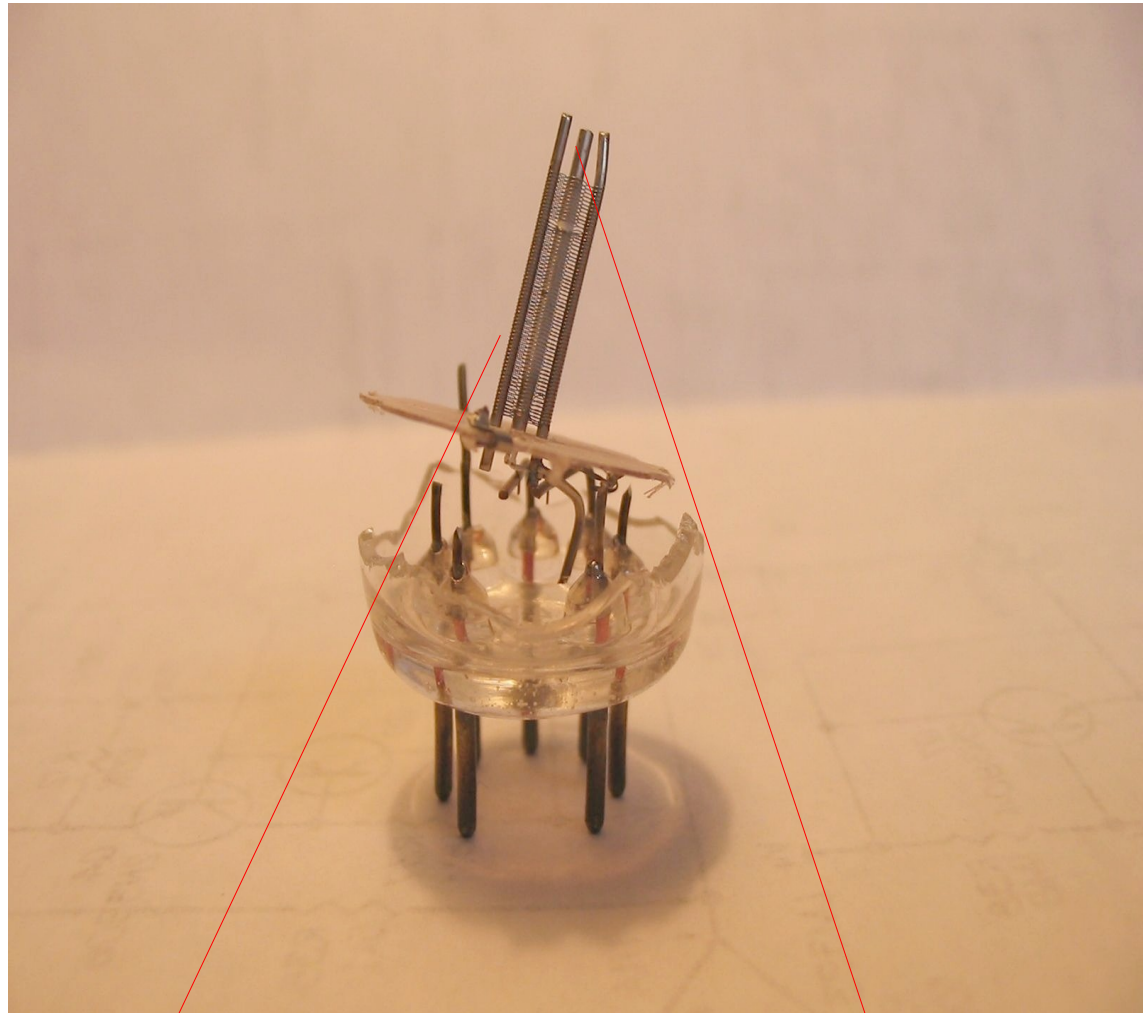
Die Schaltung ist für hohe Ströme geeignet wie z.B. Versorgung von kompletten Röhrenschaltungen, wie große NF- oder HF- Verstärker oder auch Radios b.z.w Röhrentransceiver.

Triode

Gleichrichtung reicht für unsere Zwecke aber nicht aus. Wir wollen den Elektronenstrom auf dem Weg von der Kathode zur Anode steuern d.h. In seiner Größe verändern können. Zum Steuerzweck wird eine weitere Elektrode in die Röhre eingeführt, das Steuergitter. Der Begriff muß zunächst erläutert werden.

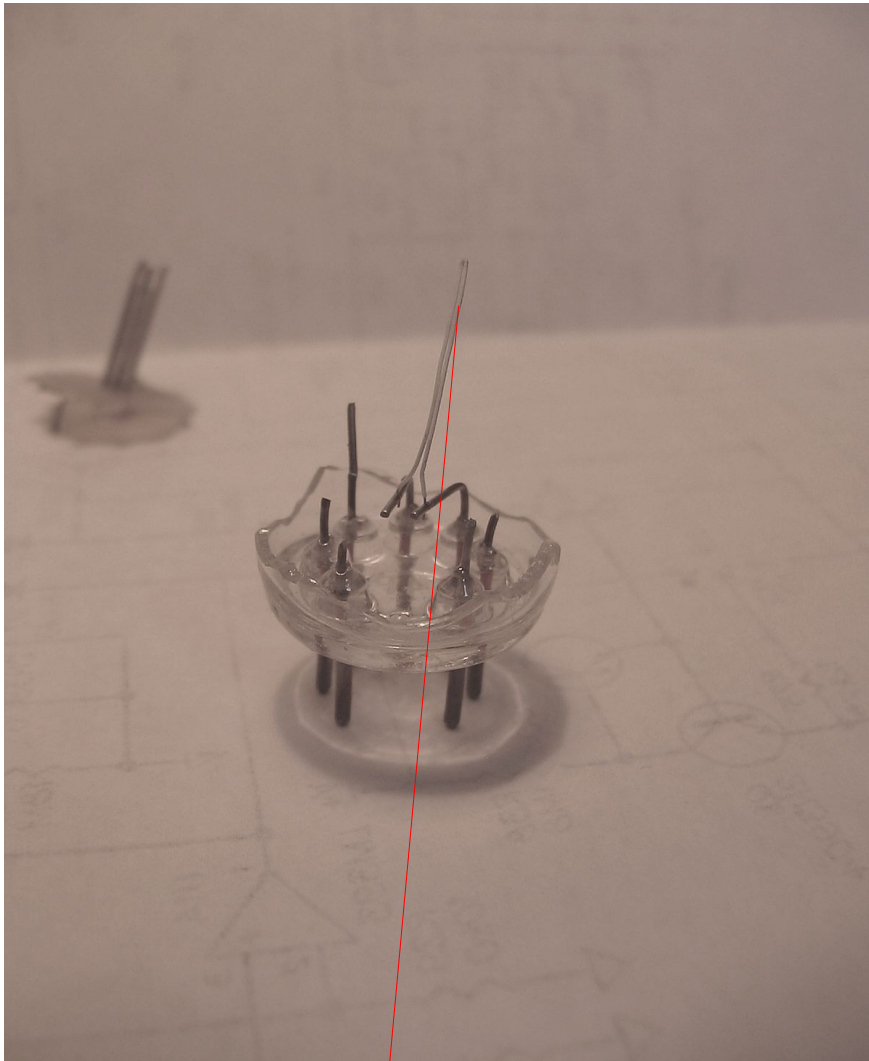


Anode der EC92

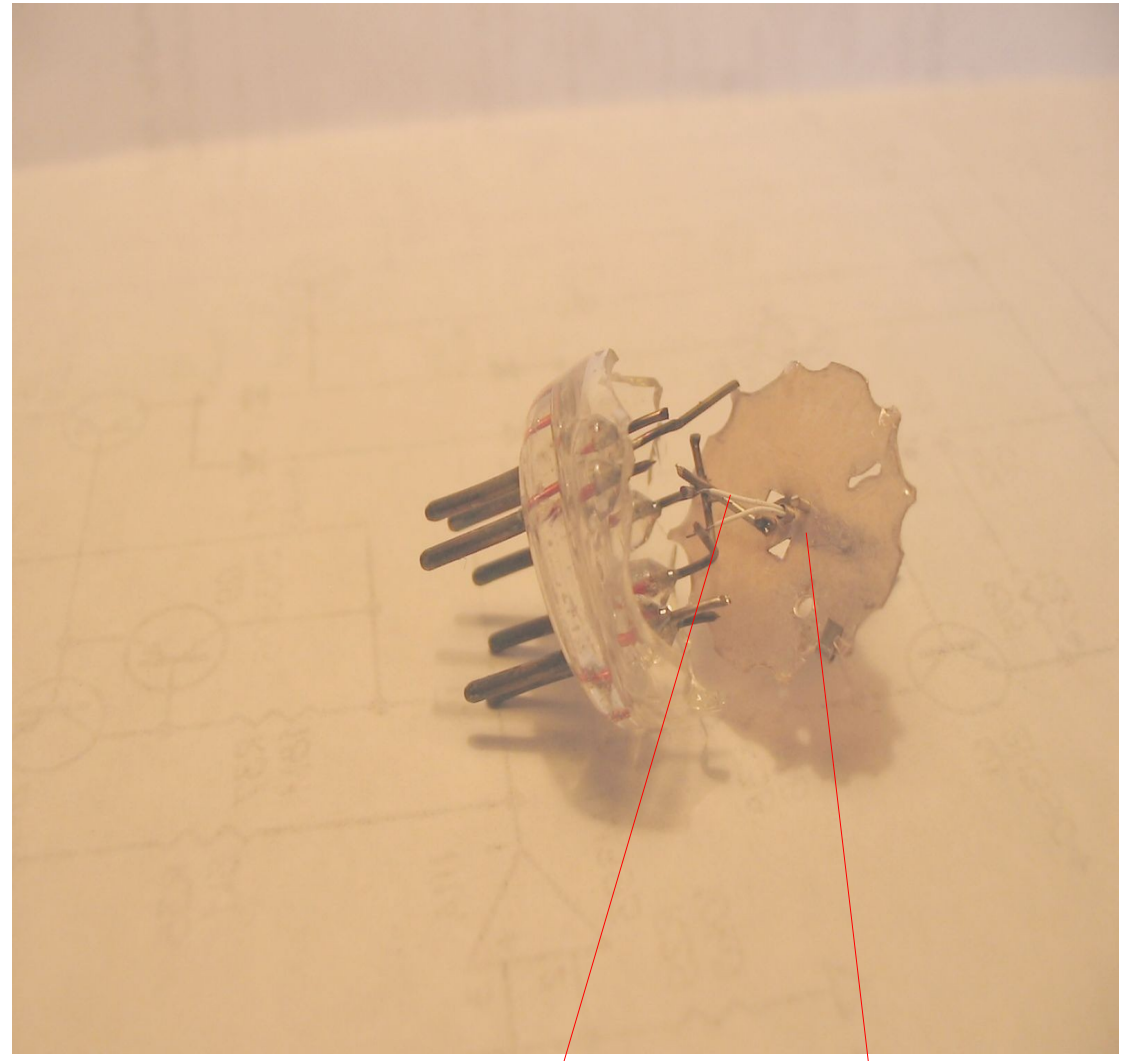


Gitterwendel mit innenliegender Kathode

Die Bilder der vorhergehenden Seite zeigen zunächst einmal den Innenaufbau eine Triode (EC92). Nachdem die Anode entfernt ist, kommen das Gitter als Wendel und die dazwischenliegende Kathode zum Vorschein.



Die Heizung alleine

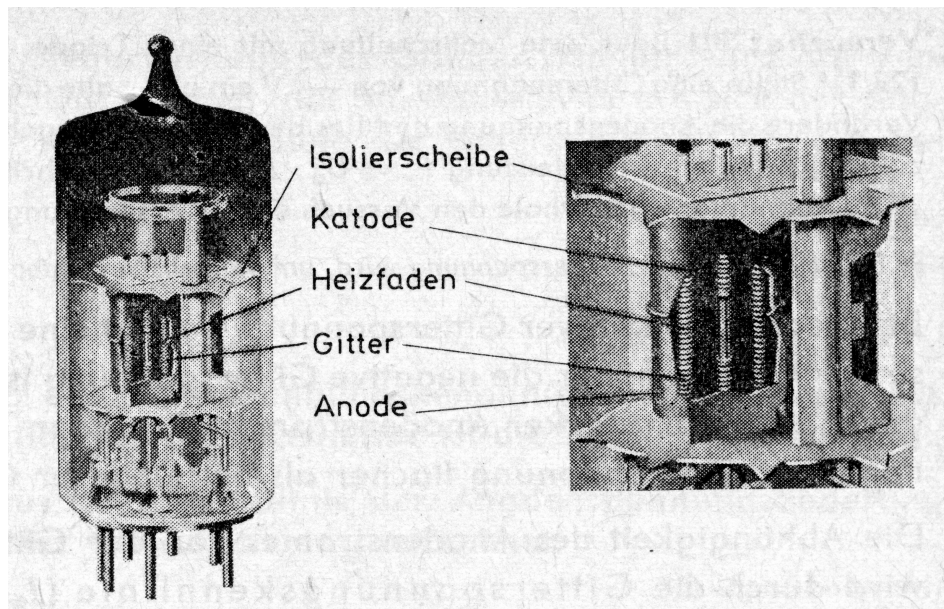


Das Bild zeigt die Heizung im Kathodenrohr

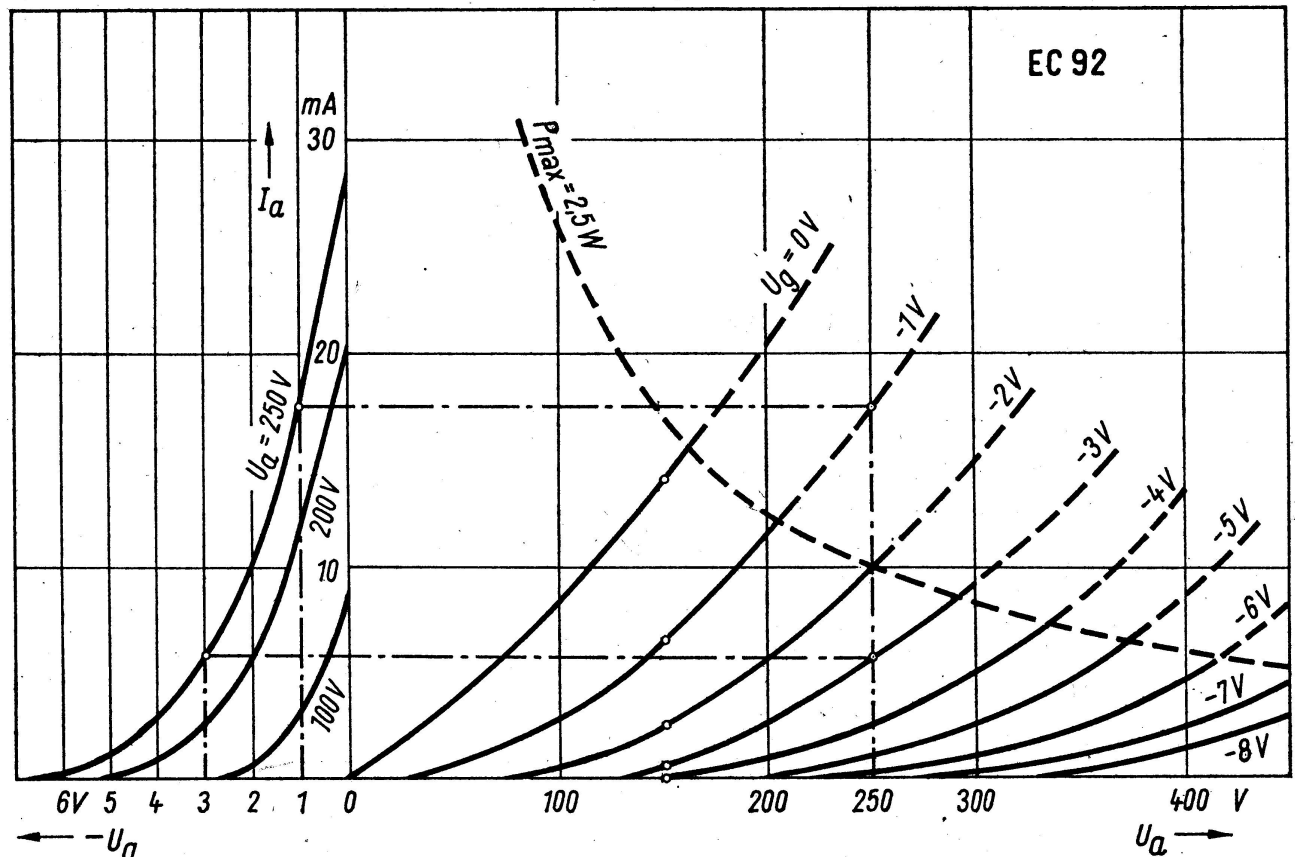
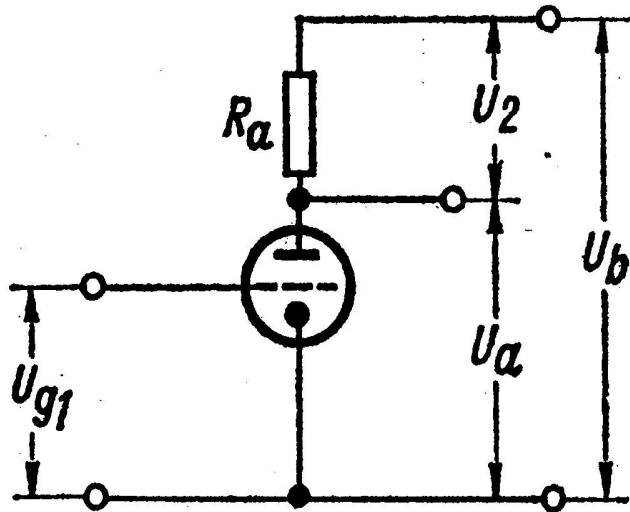
Reihenfolge von innen nach außen: Heizung, Katode, Gitter, Anode

Das Gitter hat folgende Funktionsweise:

Wir wissen generell, daß gleichnamige Pole sich abstoßen. Das Steuergitter wird der Katode gegenüber negativ gepolt. Es hat also logischerweise eine abstoßende Wirkung. Unter dem Einfluß der Anodenspannung werden die Elektronen aber beschleunigt und zur Anode hingezogen. Weil das Gitter aber wendelförmig ist, werden nicht alle Elektronen abgestoßen, sondern ein Teil gelangt durch die Wendel hindurch zur Anode. Je geringer aber die negative Spannung am Gitter ist, umso mehr Elektronen gelangen zur Anode. Das heißt, mit der sich ändernden Spannung am Gitter ändert sich der Anodenstrom. Wird das Gitter positiv, wird es zur Anode und es fließt ein Gitterstrom, der eigentlich zu vermeiden ist. Wird er nämlich zu groß, wird das Gitter zerstört. Der Anodenstrom ist nicht nur von der Gitterspannung abhängig, sondern auch von der Höhe der Anodenspannung. Das Kennlinienfeld soll das verdeutlichen.

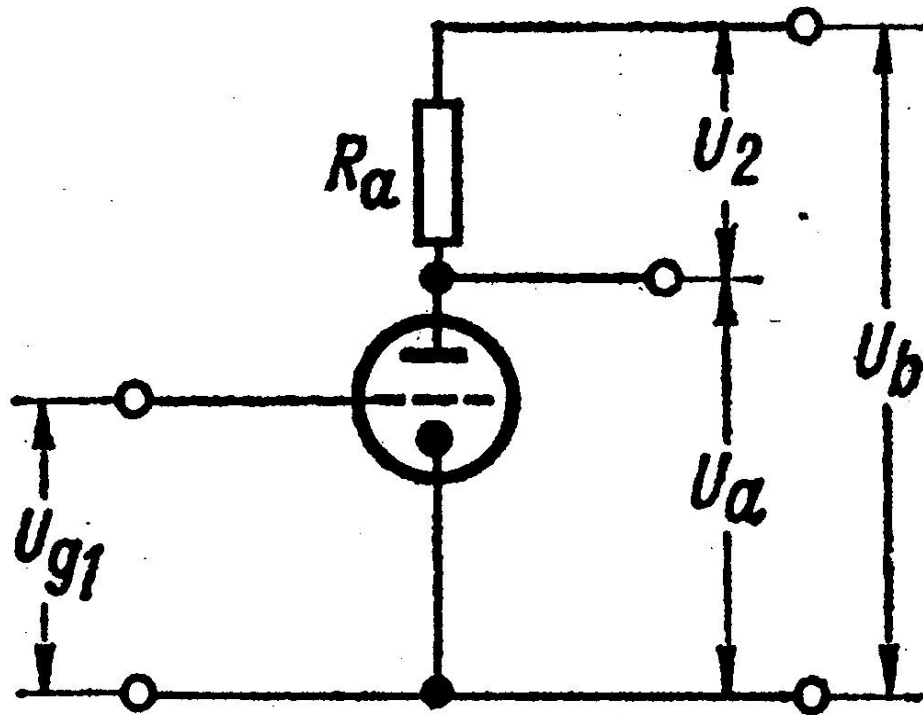


Hier ist noch einmal ein Bild einer aufgeschnittenen Röhre (Triode) zu sehen.

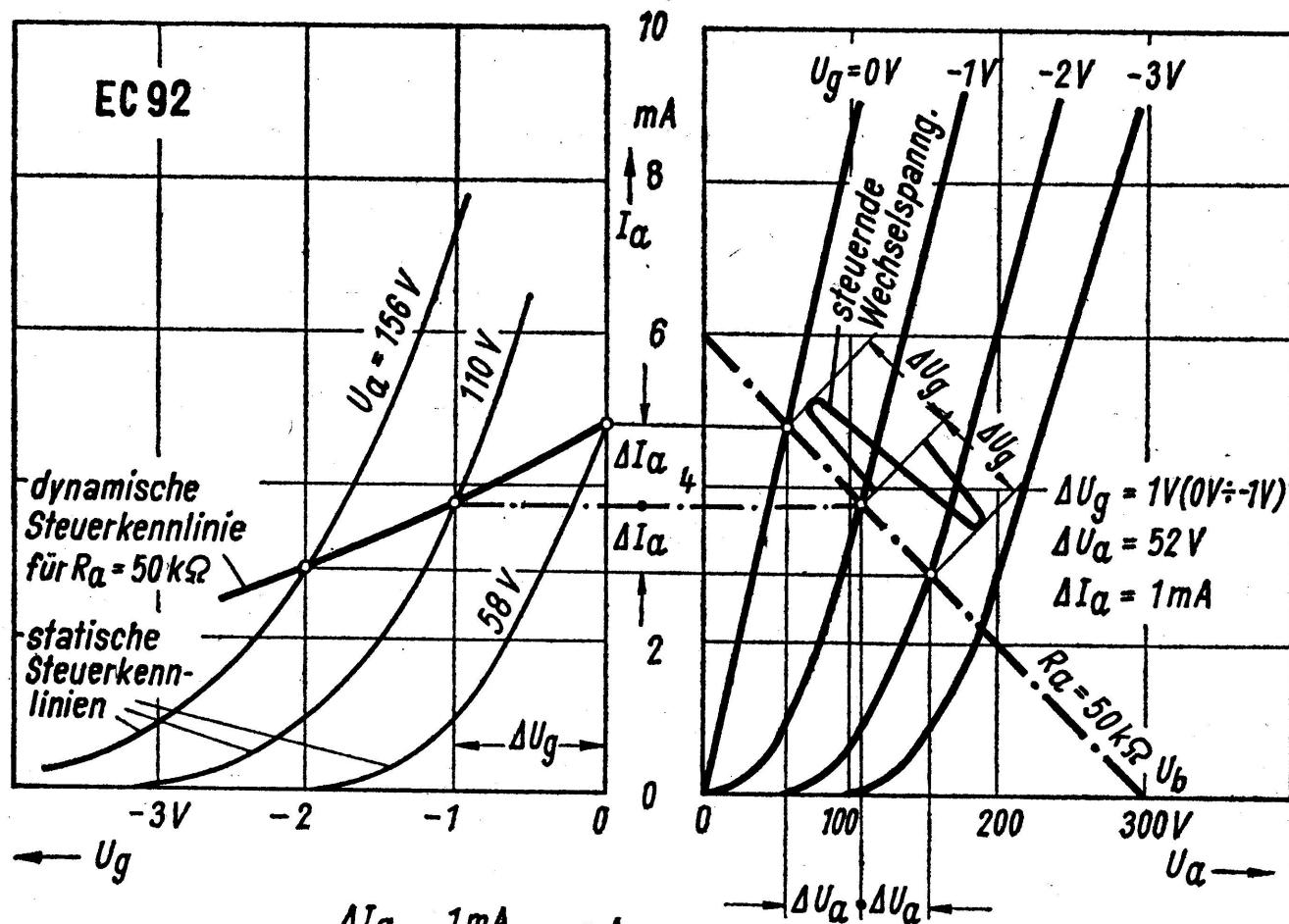


Hier ist eine Triode als Verstärker dargestellt. Die beiden Kennlinienfelder sollen die Zusammenhänge verdeutlichen

Der Anodenstrom kann sowohl durch die Höhe der negativen Gitterspannung als auch durch die Höhe der Anodenspannung beeinflusst werden. Durch die beiden Kennlinienfelder ist das besser zu erkennen. Zunächst die Spannungsbeziehungen. Wir sehen die Betriebsspannung U_b , den Spannungsabfall U_2 am Anodenwiderstand und U_a als Spannungsabfall an der Röhre selber. Die Summe der Spannungen U_2 und U_a ergeben wie bei einer ganz normalen Reihenschaltung wieder die Gesamtspannung U_b .



Wird der Verstärker mit Wechselspannung angesteuert, ändert sich der Anodenstrom mit der Wechselspannung. Er wird größer oder kleiner, je nachdem die Steuerspannung gerichtet ist. Wird I_a größer, wird auch U_2 größer, denn an R_a fällt mehr Spannung ab. Logischerweise wird aber U_a kleiner. Über die genauen Zusammenhänge soll die Skizze Auskunft geben.



$$\text{dyn. Steilheit } S_{dyn} = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{1mA}{1V} = 1 \frac{mA}{V}$$

tatsächliche Spannungsverstärkung

$$V = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} = \frac{52V}{1V} = 52$$

Ausgangswechselspannung $\hat{U}_2 = \Delta U_a$

statische Steilheit $S \approx 7 \frac{mA}{V}$

Durchgriff $D = 0,014$ bzw. $D = 1,4\%$

Verstärkungsfaktor $\mu = \frac{1}{D} = 71,5$

Der Gitterspannung $U_g = -1V$ ist eine Wechselfspannung von $2V$ überlagert. Es fließt ein Strom I_a von ca. $3,8mA$ bei $U_{g1} = -1V$. Beim ansteigenden Zweig geht die U_{g1} auf $0V$ zurück und der Strom steigt auf $4,8mA$. In der anderen Richtung sinkt der Strom bei $U_{g1} = -2V$ auf $2,9mA$. Am Anodenwiderstand fällt also eine wechselnde Spannung ab.

Das auf der vorigen Seite Gesehene ist nochmals als Tabelle dargestellt:

bei $U_g = 0V$;	$I_a = 4,8mA$;	$U_a = 58V$;	$U_2 = 242V$
$= -1V$;	$I_a = 3,8mA$;	$U_a = 110V$;	$U_2 = 190V$
$= -2V$;	$I_a = 2,9mA$;	$U_a = 156V$;	$U_2 = 144V$

$$U_a + U_2 = U_b = 300V$$

An der Anode entsteht bei einer Ansteuerung von $2V^{^^}$ eine Wechselspannung von $98V^{^^}$. Es ist das typische Erscheinungsbild eines Verstärkers.

Wir unterscheiden statische und dynamische Daten. Statische Daten sind die Daten, die in den Röhrenbüchern angegeben sind. Die dynamischen Daten ergeben beim Betrieb der Röhre. Sie werden rechnerisch ermittelt.

Das wichtigste Datum ist die Steilheit. Wir unterscheiden zwischen statischer und dynamischer Steilheit. Die statische Steilheit sagt etwas über die Anodenstromänderung in Abhängigkeit von der Gitterspannung aus und wird wie folgt ausgedrückt:

$$S = mA / V$$

Die dynamische Steilheit wird als Änderung der Werte ausgedrückt:

$$S_{dyn} = \Delta I_a / \Delta U_a$$

Die tatsächliche Spannungsverstärkung ist:

$$V = \Delta U_a / \Delta U_g$$

Im Beispiel unserer Kennlinien wäre das :

$$V = 52V / 1 V = 52$$

Wie sieht es mit dem Innenwiderstand einer Röhre aus: er wird ebenfalls als Änderung zweier Werte dargestellt:

$$R_i = \Delta U_a / \Delta I_a$$

in V / mA = k Ω , bei $U_g = \text{const}$

Ein weiterer Kennwert einer Röhre ist der Durchgriff, der auch als dynamischer Wert dargestellt wird:

$$D = \Delta U_g / \Delta U_a$$

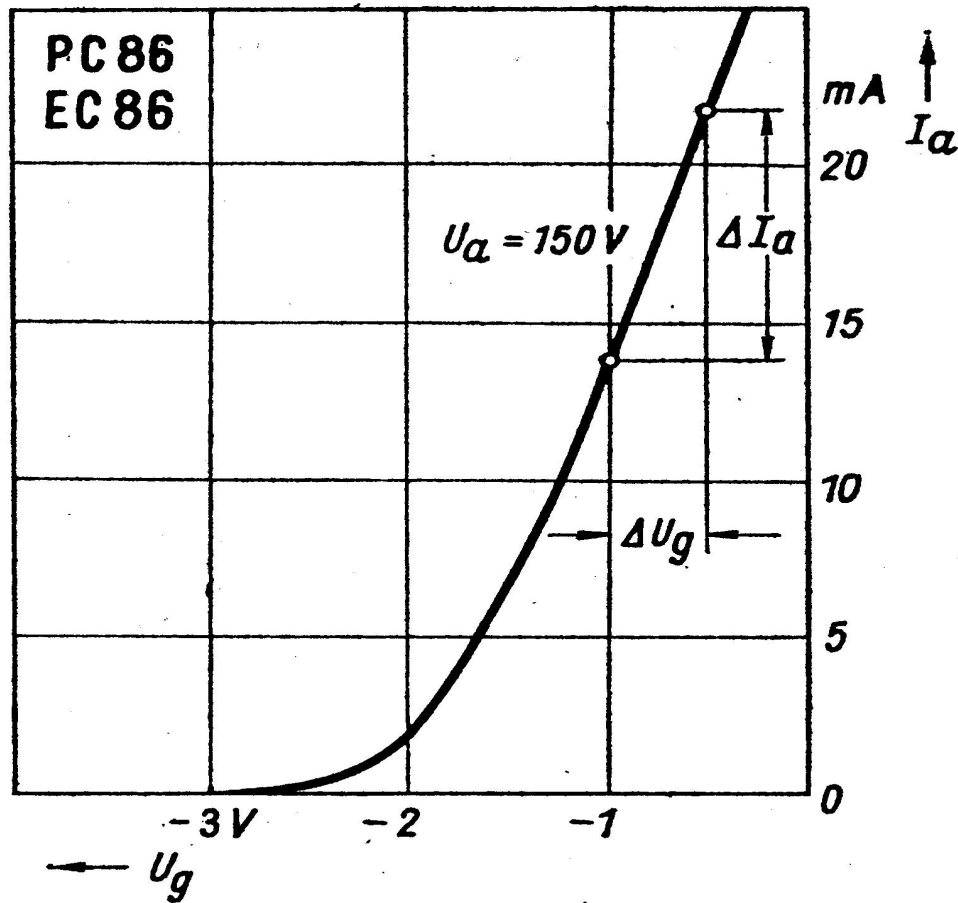
in V / V = 1, bei $I_a = \text{const}$
oder
 $D = \Delta U_g / \Delta U_a \times 100$ in %

Die Kennwerte Steilheit, Durchgriff und Innenwiderstand werden in einer Gleichung miteinander verknüpft:

$$R_i \times S \times D = 1$$

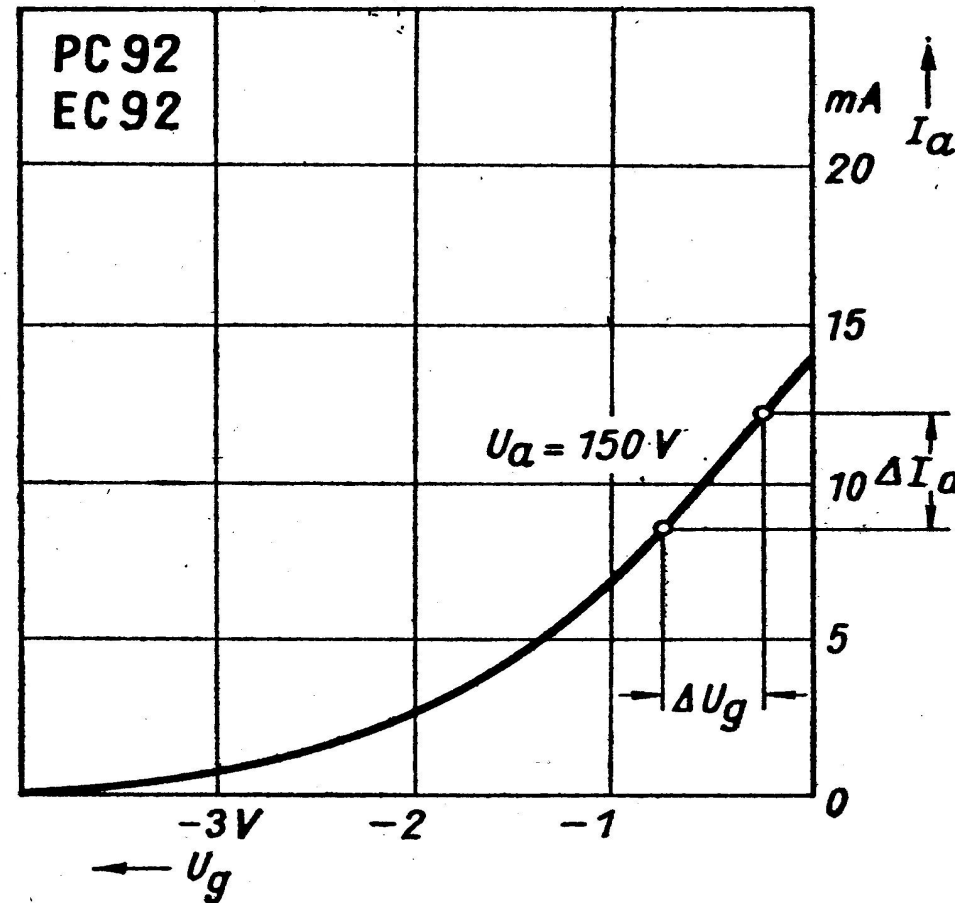
Sie als die Barkhausen- Röhrengleichung bekannt.

Merke: Das Produkt der Kenngrößen Steilheit, Durchgriff und Innenwiderstand ist immer 1



$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{8 \text{ mA}}{0,5 \text{ V}} = \underline{16 \frac{\text{mA}}{\text{V}}}$$

bei $U_a = 150 \text{ V}$



$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{3,7 \text{ mA}}{0,5 \text{ V}} = \underline{7,4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}}$$

bei $U_a = 150 \text{ V}$

Hier werden verschiedene Trioden dargestellt. Es ist unschwer zu erkennen, daß diese sich erheblich voneinander unterscheiden. Man beachte dabei nur die Steilheit, die alles Notwendige zeigt.

Eine Berechnung der Verstärkung ist mit folgender Formel möglich:

$$v = 1 / D * R_a / (R_i + R_a)$$

Weitere Vereinfachungen sind möglich, wenn R_a ungefähr $10 \times R_i$ ist. Dann ist der Quotient

$$R_a / (R_i + R_a) = \text{ungefähr } 0,8 \dots 0,9$$

Die Berechnung der Verstärkung in der vereinfachten Form ist dann:

$$v = \text{ungefähr } S \times R_i \times (0,8 \dots 0,9)$$

Merke: Im Verstärkerbetrieb fällt am Anodenwiderstand eine wechselnde Spannung ab. Dabei bleibt die Anodenspannung nicht konstant und die dynamische Steilheit verringert sich gegenüber der statischen Steilheit.

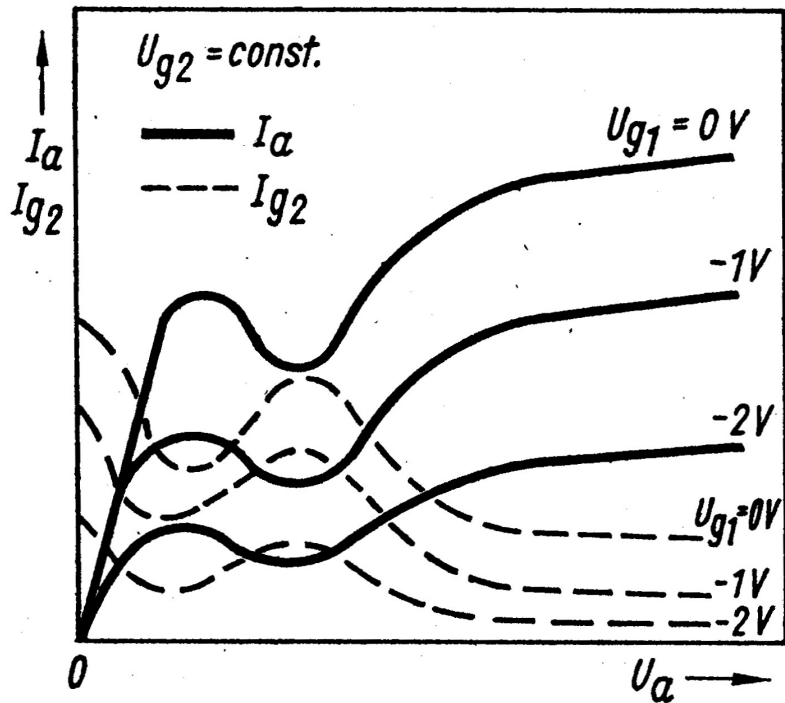
Auf der vorhergehenden Seite werden zwei Trioden, EC86 und EC92, miteinander verglichen. Wie kommen die Unterschiede zustande? Die Antwort ist einfach. Der Konstrukteur bestimmt das Verhalten der Röhre.

Wir kommen zu einem anderen Thema.

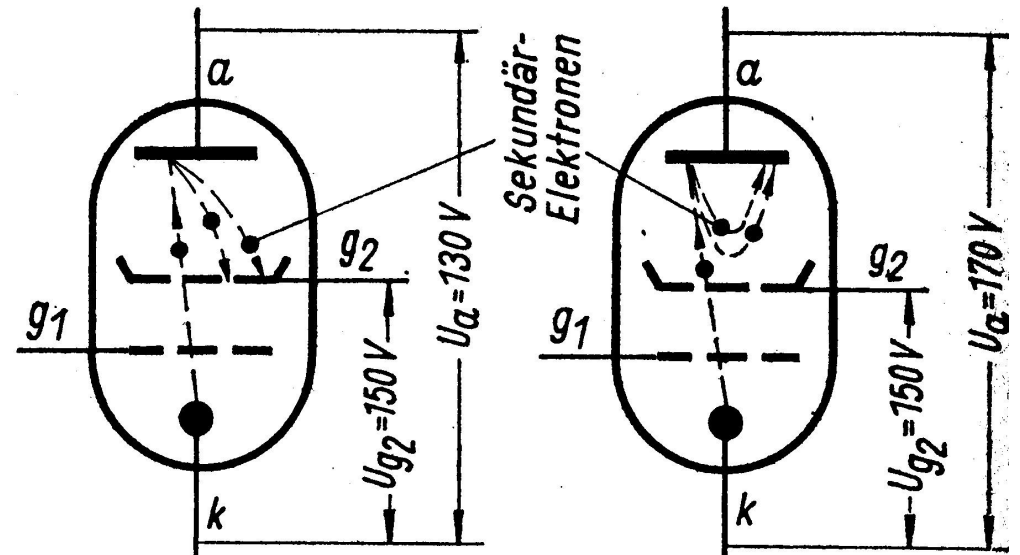
Wir haben erfahren, daß die Elektronen auf ihrem Weg von der Kathode zur Anode unter dem Einfluß der Anodenspannung beschleunigt werden. Die Beschleunigung hängt von der Höhe der Anodenspannung ab. Dabei nehmen die Elektronen Energie auf. Ist die aufgenommene Energie zu hoch, so schlagen die Elektronen beim Auftreffen auf die Anode Sekundärelektronen aus ihr aus. Darum wurde ein weiteres Gitter in die Röhre eingebaut. Es ist das sogenannte Schirmgitter Ug2 und liegt spannungsmäßig unterhalb der Kathodenspannung, ist aber positiv. Es hat aber noch eine andere Wirkung. Die Elektronen werden mit gleicher Kraft zur Anode gezogen, unabhängig von der Höhe der Anodenspannung. Der Strom innerhalb der Röhre steigt schon bei geringen Anodenspannungen steil an, wird aber bei weiter steigender Anodenspannung kaum noch ändert. Es ist auch klar, daß wegen der positiven Spannung am Schirmgitter ein Strom fließt. Sollte aber die Anodenspannung ausfallen, muß das Schirmgitter den gesamten Strom aufnehmen. Bei Leistungsröhren kann das zur Zerstörung der Röhre führen.

Die Wirkung des Schirmgitters ist wie folgt:

Gegenüber der Kathode ist das Schirmgitter positiv, der Anode gegenüber aber negativ, weil hier die Spannung kleiner ist. Das hat zur Folge, daß die Sekundärelektronen zur Anode hin befördert werden (gleichnamige Pole stoßen sich ab) und damit der komplette Strom aus der Kathode zur Verfügung steht



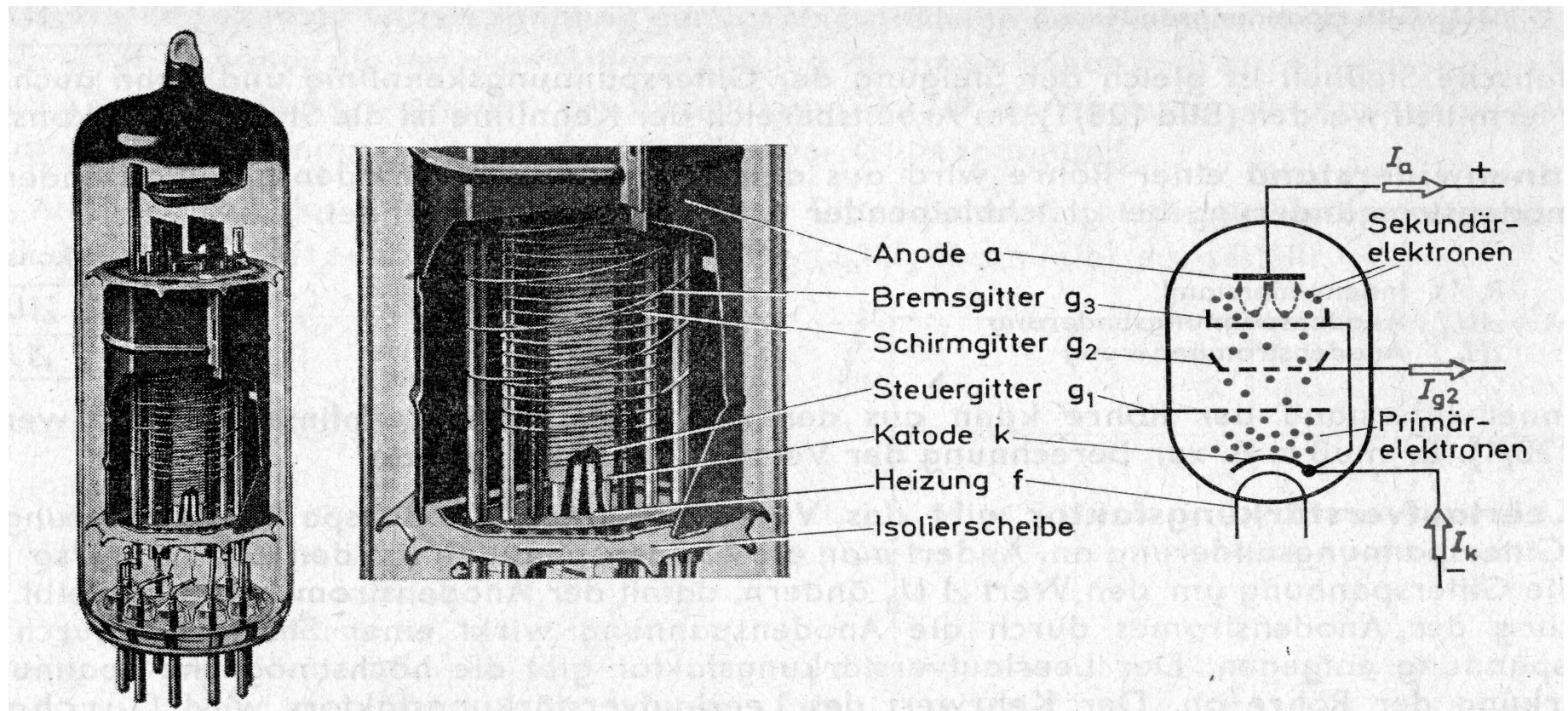
Darstellung des Anodenstroms in Abhängigkeit von der Höhe des Schirmgitterstroms, denn logischerweise kann der Strom, der über das Schirmgitter abfließt nicht mehr an der Anode zur Verfügung stehen.



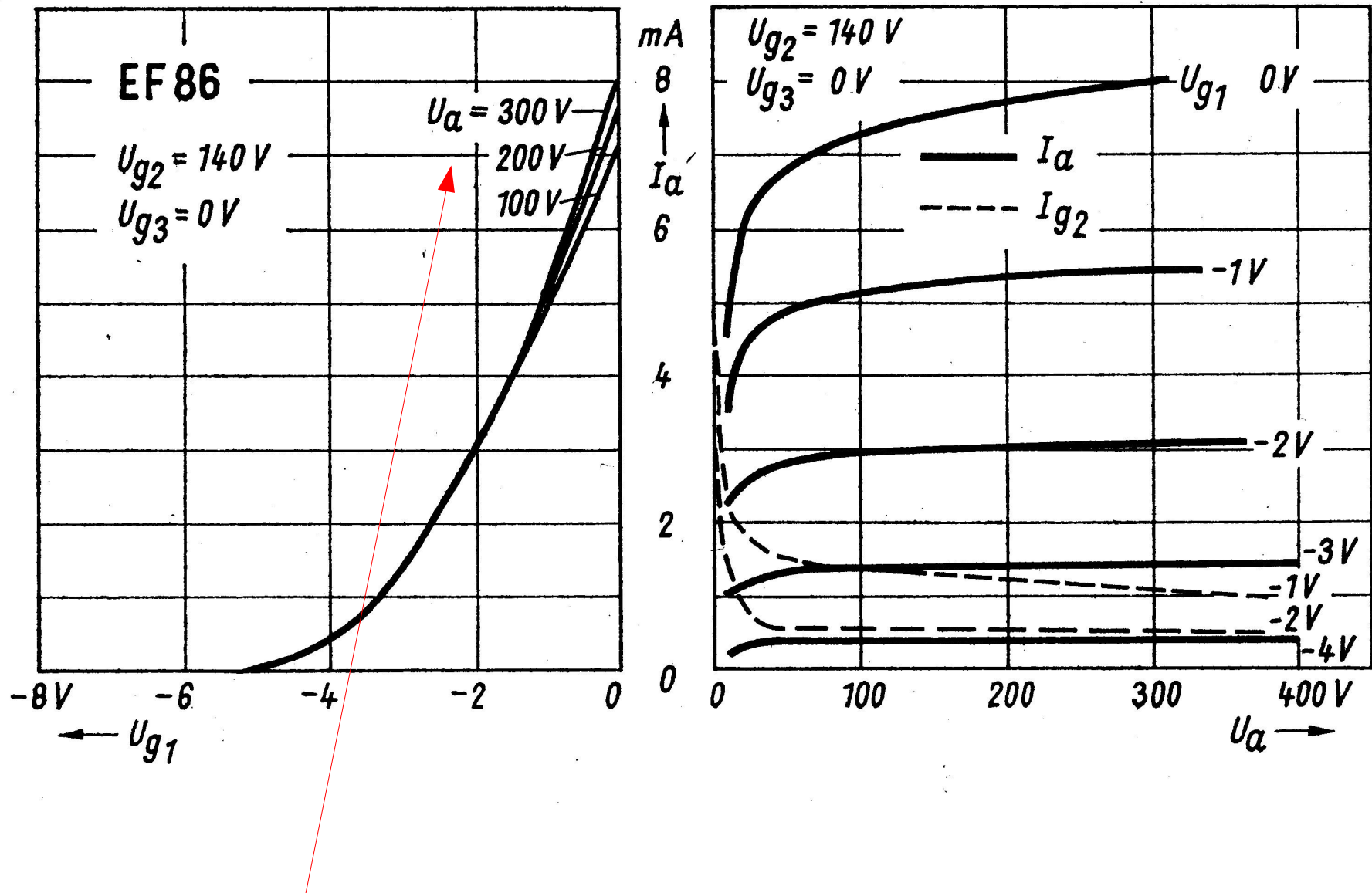
Darstellung des Sekundärelektroneneffekts in Abhängigkeit von der Höhe der Schirmgitterspannung.

Die gezeigten Daten sind statische Daten. Beim realen Betrieb kann natürlich der Fall auftreten, daß bei einem hohen Anodenstrom die Schirmgitterspannung oberhalb der Anodenspannung liegt. Begründung: Die Schirmgitterspannung wird fest angelegt. Die Anodenspannung ist eine Funktion des Anodenstromes, weil der Innenwiderstand mit steigendem Anodenstrom sinkt.

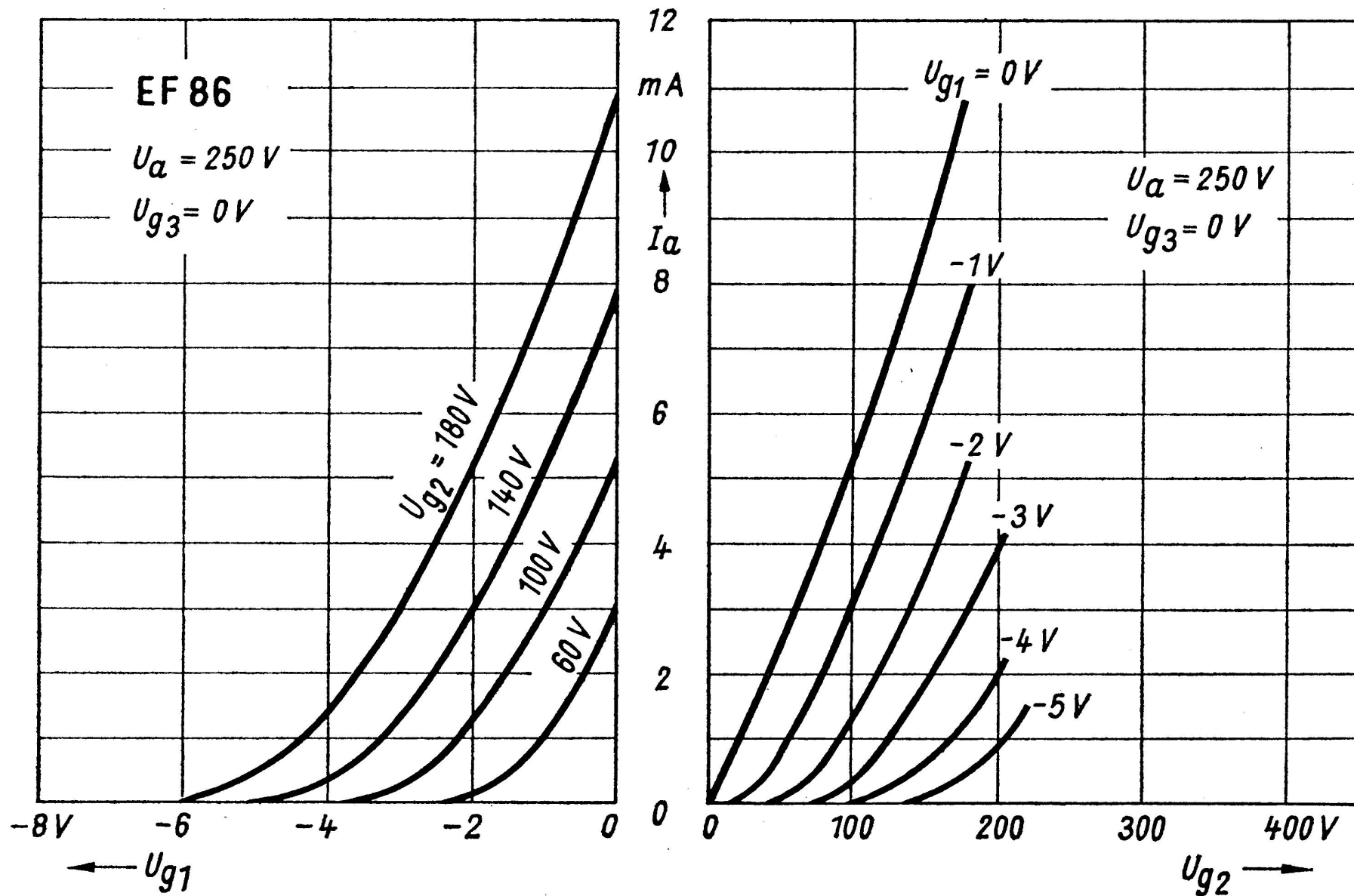
Jetzt stellt sich die Frage: wie ist der Sekundärelektroneneffekt ganz zu verhindern? Es wird ein weiteres Gitter, das Bremsgitter, eingeführt. Damit sind nun 5 Elektroden innerhalb der Röhre. Wir reden von der Pentode. Das Bremsgitter liegt in der Regel auf Kathodenpotential und ist damit sowohl der Anode als dem Schirmgitterpotential gegenüber negativ. Gleichnamige Pole stoßen sich ab. Sekundärelektronen sind ebenfalls negativ und werden vom Bremsgitter in Richtung Anode zurückgetrieben. Es gibt Pentoden, bei denen ist das Bremsgitter nach außen geführt. Es gibt aber auch andere, bei denen muß das Bremsgitter auf andere Art auf das Potential der Kathode gebracht werden



Die Gitter sind wie bei der Triode oder Tetrode als Wendel ausgeführt. Je nach Anforderung der Konstruktion sind die Wendel nicht gleichmäßig auf die Stege aufgebracht.



Die Anodenspannung hat keinen nennenswerten Einfluß auf den Anodenstrom.



Anders sieht es mit dem Einfluß der Schirmgitterspannung auf den Anodenstrom aus. Mit kleiner werdender Schirmgitterspannung geht der Anodenstrom zurück. Erklärung: die Schirmgitterspannung wird der Anode gegenüber immer negativer.

Die Pentode und die Pentode haben auch einen Schirmgitterdurchgriff. Der errechnet sich wie folgt:

$$D_{g2} = \Delta U_{g1} / \Delta U_{g2} \quad \text{bei } U_a = \text{const, } I_a = \text{constant}$$

Dazu kommt noch der Anodendurchgriff:

$$D_a = \Delta U_{g1} / \Delta U_s \quad \text{bei } U_{g2} = \text{const, } I_a = \text{constant}$$

Damit ergibt sich ein Gesamtdurchgriff:

$$D_{\text{ges}} = D_a \times D_{g2}.$$

Die dynamische Steilheit ist:

$$S_{\text{dyn}} = \text{ungefähr } S \quad \text{wie die Daten im Röhrenbuch}$$

Der Außenwiderstand ist immer größer als der Innenwiderstand der Röhre. Man kann damit ohne große Rechnung die Verstärkung mit hinreichender Genauigkeit bestimmen.

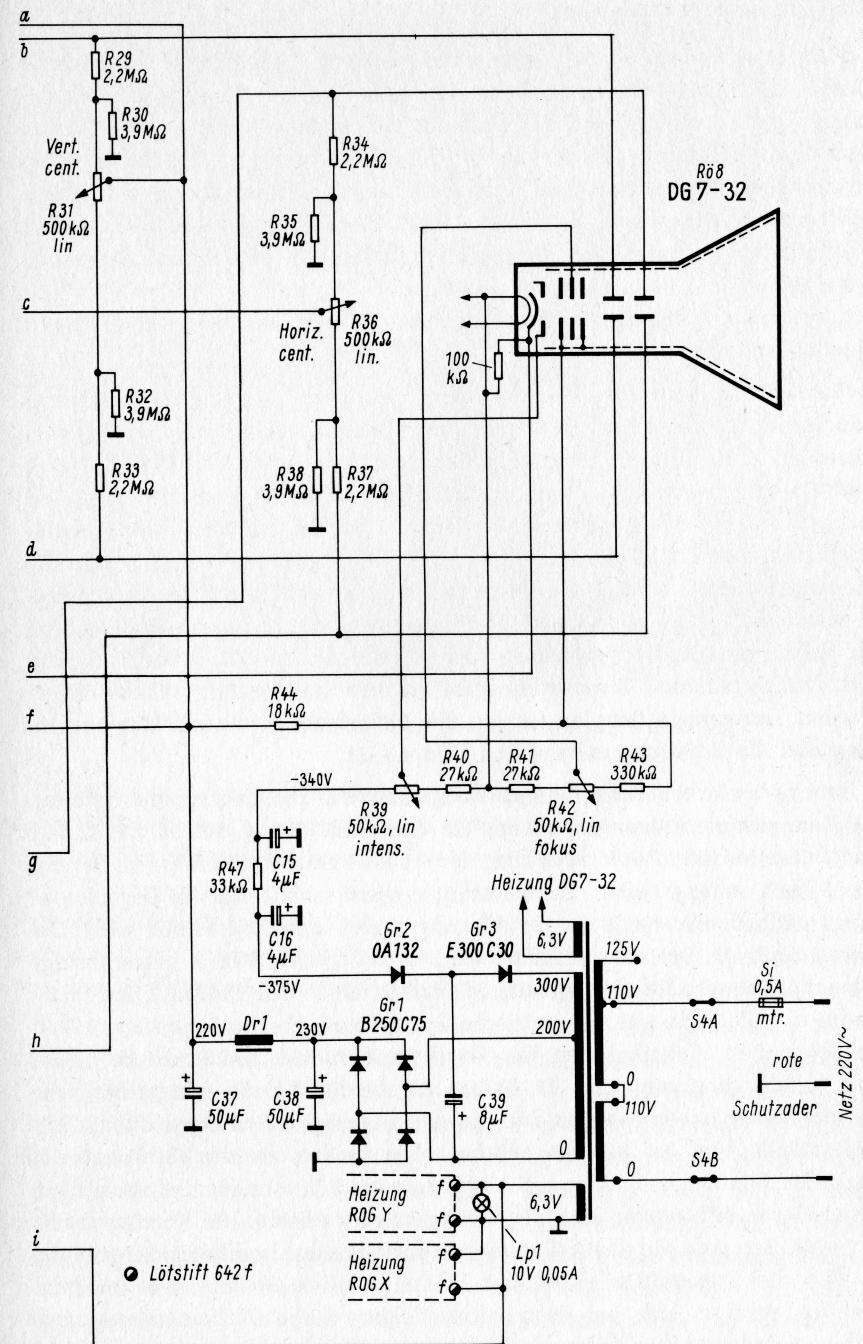
$$V = \text{ungefähr } S \times R_a$$

Den Ausklang soll eine kurze Betrachtung einer Oszillographenröhre bilden. Denn hier werden die umfassenden Voraussetzungen besonders sichtbar.

Um den Umfang zu verdeutlichen, ist hierdie Anzeigeröhre eines Oszilloskops dargestellt. Die Anschlüsse a und g dienen der Symetrierung der Röhrenschaltung. B (b) und d sind die Anschlüsse der y- Ablenkung, g und h die der X- Ablenkung.

Zur Röhre selber: auf die Kathode folgt der Wehneltzylinder, das Steuergitter 1. Es ist nicht gewendelt, sondern etwa topförmig mit einem kleinen Loch und liegt and negativer Spannung. Je negativer es ist, umso weniger Elektronen dringen durch und die Helligkeit sinkt. Da nächste Gitter konzentriert den Strahl, damit er punktförmig wird. Das Gitter ist gleichzeitig mit der Anode verbunden. Auch diese beiden sind zylinderförmig. Warum? Von der Kathode aus kommend nehmen die Elektronen Energie auf und fliegen durch die Gitter und die Anode, treffen auf den Leuchtschirm auf und hinterlassen hier einen Leuchtfleck. Die nächsten Gitter, plattenförmig, lenken den Strahl noch oben und unten ab. Hier tritt aber ein Problem zutage. Die Platten bilden einen Kondensator. Die beiden Verstärker (und Y) müssenin Bezug suf die Grenzfrequenz entsprechend kräftig sein.

4.3 Selbstbaugeräte



Es tritt nun aber das Problem der sinkenden Helligkeit bei steigender Frequenz auf, weil der Strahl weniger lang auf einen Punkt gerichtet ist. Und, je höher die Anodenspannung, umso kleiner die Ablenkung. Die Ablenkung hängt von der aufgenommenen Energie der Elektronen ab. Weiter, je näher die X- und Y- Platten an den Gittern liegen, umso leichter lässt sich der Strahl ablenken. Aber je höher die Anodenspannung, umso schwieriger die Ablenkung. Es muss also ein Kompromiss her. Der sieht dann so aus: niedrige Anodenspannung, um die Ablenkung zu erleichtern, Um dann aber eine genügend hohe Helligkeit zu erreichen, wird eine Nachbeschleunigungsspannung an eine weitere, aber wendelförmige Anode, die Hilfsanode, gelegt. Das heißt, nach der Ablenkeinrichtung werden die Elektronen weiter beschleunigt. Das Geschilderte wirkt sich bis auf die X- und Y- Verstärker aus. Als Hinweis sei hier noch einmal auf die Kapazität der Gitter einer Röhre hingewiesen.

Hier soll die grundsätzliche Betrachtung von Röhren enden. Zu einem späteren Zeitpunkt kann noch auf Sonderröhren, wie Glimmröhren, Stabilisatoren, Anzeigeröhren, Fotoröhren etc. eingegangen werden.