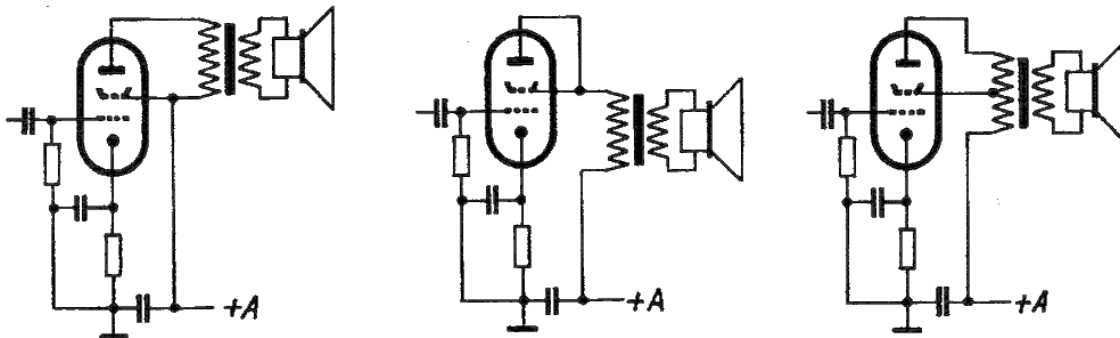


## Schirmgitter-Gegenkopplung

Viele Elektroakustiker hängen immer noch an der Idee des Triodenverstärkers mit den Röhren AD1. Hier wird gezeigt, daß eine Schirmgittergegenkopplung mindestens ebenso verzerrungsfrei arbeitet.

Zwischen der Einstellung einer Vier-oder Fünfpol-Endröhre als Tetrode oder Pentode nach **Bild 1a** und als Triode nach **Bild 1b** gibt es eine Reihe weiterer Möglichkeiten, wenn das Schirmgitter nach **Bild 1c** an eine Anzapfung der Primärwicklung des Ausgangstransformators gelegt wird.



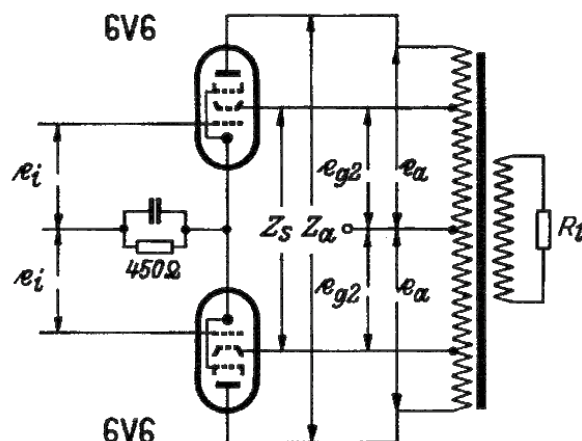
**Bild 1. Schaltung einer Endtetrode; a) mit fester Schirmgitterspannung, b) als Triode, c) mit Schirmgittergegenkopplung**

Während das Schirmgitter bei der Tetroden- und Pentodeneinstellung lediglich Gleichspannung aber keine Wechselfspannung aufweist, führt es bei Triodeneinstellung die gleichen Spannungen wie die Anode. Je nach Lage der Anzapfung des Ausgangstransformators kann ihm bei der dritten Einstellung ein beliebiger Teil der Anodenwechselfspannung zugeführt werden, der eine Gegenkopplung bewirkt. Die Steuerung des Schirmgitters ändert nämlich die Arbeitssteilheit der Röhre im Takt der Gegenkopplungsspannung. Am Steuergitter ist der durch den Durchgriff  $D_s$  des Schirmgitters bestimmte Anteil der Schirmgitterspannung wirksam. Danach berechnet sich der Gegenkopplungsgrad  $\alpha$  aus dem Verhältnis der ursprünglichen Verstärkung  $V$  zur Verstärkung mit Gegenkopplung  $V'$  zu

$$\frac{V}{V'} = 1 + D_s \cdot \alpha \cdot V, \quad \alpha = \frac{\frac{V}{V'} - 1}{D_s \cdot V}$$

Deutlicher als Worte läßt das Diagramm **Bild 3** die Verhältnisse bei einer Gegentaktendstufe mit zwei Röhren 6 V 6 nach **Bild 2** erkennen. Auf der Waagerechten ist das Verhältnis der Impedanz  $Z_s$  im Schirmgitterkreis zu der Impedanz  $Z_a$  im Anodenkreis aufgetragen. Bei Pentodeneinstellung ist die Impedanz des Schirmgitterkreises null, infolgedessen auch das angeführte Verhältnis.

Bei Triodeneinstellung ist die Impedanz beider Kreise die gleiche; das Verhältnis ist also eins. Dieser Sachlage trägt der Vermerk „Pentoden-Einstellung“ an der linken Senkrechten und „Trioden-Einstellung“ an der rechten Senkrechten Rechnung.

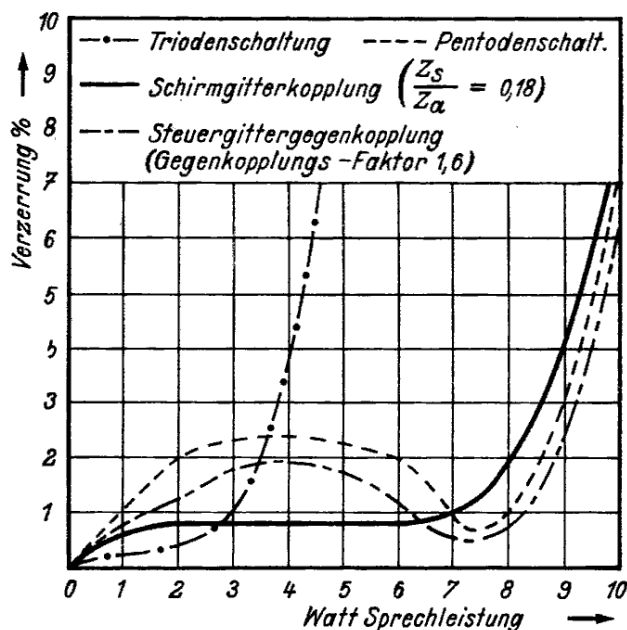


**Bild 2. Gegentakt-Endstufe mit zwei Röhren 6V6 und Schirmgittergegenkopplung**

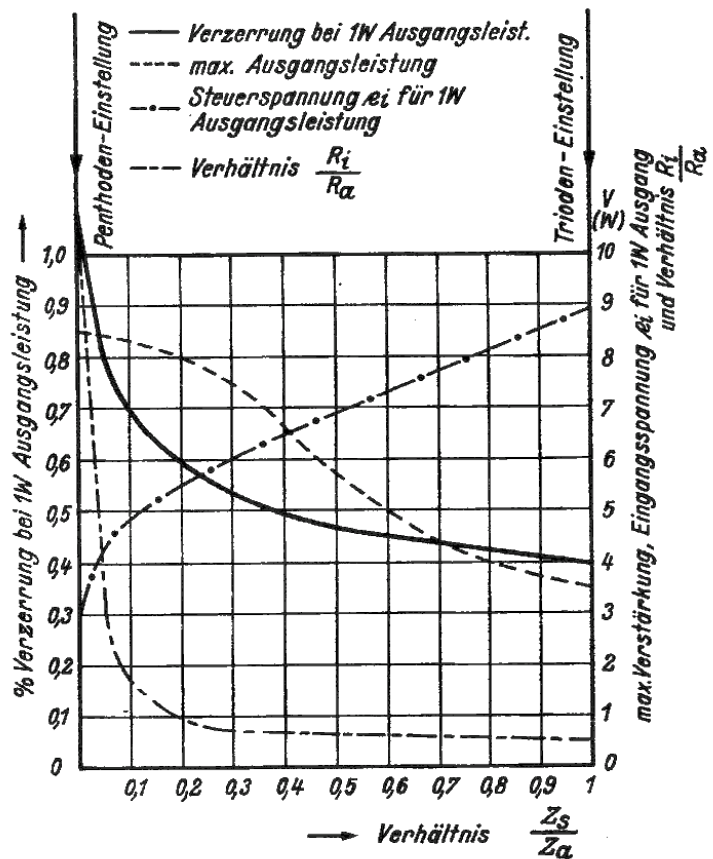
Die vier eingetragenen Kurven lassen die Änderungen der Röhreneigenschaften mit wechselndem Impedanzverhältnis erkennen. Während beim Übergang von der Pentoden- zur Triodeneinstellung Verzerrung, max. Ausgangsleistung und das günstigste Verhältnis zwischen Innen- und Anpassungswiderstand abnehmen, steigt die erforderliche Steuerspannung an. Bei kleinen Impedanzverhältnissen bis etwa 0,2 treten stärkere Änderungen ein als im übrigen Bereich zwischen 0,2 und 1.

Das Diagramm **Bild 4** läßt den Prozentsatz der Verzerrungen bei verschiedenen Einstellungen erkennen. Bei A-Betrieb, d. h. bei einer Gittervorspannung von der Höhe, daß bei voller Aussteuerung kein Gitterstrom fließt, ist die maximale Sprechleistung einer Gegentakt-Endstufe mit zwei Röhren 6 V 6 etwa 10 W, wenn das Schirmgitter an der vollen Spannung und nicht an einer Anzapfung des Ausgangstransformators liegt. Übrigens läßt **Bild 4** erkennen, daß man im Interesse geringer Verzerrungen nicht über eine Sprechleistung von etwa 8 W hinausgehen soll.

Die strichpunktierter Kurve, die der Triodeneinstellung entspricht, läßt die bei dieser Schaltung geringere Sprechleistung erkennen, die sich durch das schnelle Anwachsen der Verzerrungen jenseits etwa 3 W Sprechleistung verrät. Der Vorteil der Schirmgittergegenkopplung gegenüber der einfachen Pentodeneinstellung oder Gegenkopplung auf das Steuergitter ist klar zu erkennen, denn die entsprechende Kurve verläuft zwischen



**Bild 4.** Verzerrung bei verschiedener Aussteuerung und verschiedener Schaltung der Gegentakt-Endstufe nach Bild 2



**Bild 3.** Abhängigkeit der Röhreneigenschaften vom Verhältnis der Schirmgitterkreis-Impedanz  $Z_s$  zur Anodenkreis-Impedanz  $Z_a$

1 und 7 W Sprechleistung fast waagrecht, während im zweiten Falle der Prozentsatz der Verzerrungen bei kleinen Sprechleistungen anwächst, um erst in der Nähe von 7,5 W ein ausgesprochenes Minimum zu erreichen.

Es muß in Zweifel gezogen werden, daß geringe Verzerrungen bei kleinen Aussteuerungsgraden ein entscheidender Vorteil ist, der die Einführung der Schirmgittergegenkopplung fördern könnte. Dagegen spricht die Tatsache, daß erst ein wesentlich größerer Prozentsatz Verzerrungen vom Menschen wahrgenommen wird. Der Unterschied zwischen etwa 0,8% bei Schirmgittergegenkopplung und etwa 2% bei reiner Pentodeneinstellung und Gegenkopplung aufs Steuergitter ist zu gering, um als entscheidender Vorteil angesehen zu werden.

Dagegen liegt ein wesentlicher Vorteil der

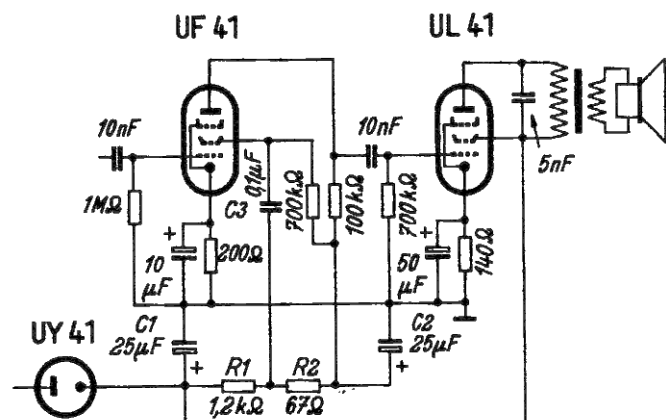
Schirmgittergegenkopplung in der Tatsache, daß durch sie nicht die Wechselfspannung am Steuergitter und der Eingangswiderstand der Röhre herabgesetzt werden, sondern nur Verstärkung und Ausgangsleistung. Bei Schirmgittergegenkopplung steigt der Schirmgitterstrom mit wachsender Ausgangsleistung der Röhre wesentlich weniger an als ohne diese Gegenkopplung; ferner gibt das Schirmgitter Sprechleistung ab. Schirmgittervorwiderstände oder Glühlampen als veränderliche Schirmgitterwiderstände bei Röhren größerer Sprechleistung (z. B. bei der EL 51) können fortgelassen werden.

Bei Gegenkopplung auf das Steuergitter wird die Gegenkopplungsspannung zur Unterdrückung nichtlinearer Verzerrungen einem linearen Spannungsteiler entnommen; dadurch zeigen Verstärkung und Verzerrungen das gleiche Verhalten. Bei Schirmgittergegenkopplung wird jedoch die nichtlineare Charakteristik des Schirmgitters miteinbezogen, so daß Verzerrungen, die durch dieses Gitter verursacht sind, mehr herabgesetzt werden als die Verstärkung.

In einem Fall hat die Schirmgitter- Gegenkopplung auch in einem Rundfunkempfänger des deutschen Marktes Verwendung gefunden, nämlich im Saba- Empfänger Freiburg W 5 des Baujahres 1954/55. Die Endstufe dieses Empfängers ist mit zwei Röhren EL 84 in Gegentakt-schaltung bestückt. Jedes der beiden Schirmgitter liegt an einer Anzapfung des Gegentakt-Ausgangstransformators, der infolgedessen an der Primärwicklung drei Anzapfungen aufweist, die bekannte Mittelanzapfung und zwei weitere zwischen dieser Mittelanzapfung und den Wick-lungsenden.

### Brummkompensation durch Schirmgitter-Gegenkopplung

Bereits vor längerer Zeit wurde der Vorschlag gemacht, durch eine Schaltung nach **Bild 5** das Brummen der Endstufe des Nf-Verstärkers zu kompensieren, deren Anodenstrom dem Ladekondensator entnommen wird. Der Beruhigungswiderstand im Siebteil des Netzgerätes setzt sich aus den Widerständen R 1 und R 2 zusammen. Die zwischen diesen Widerständen herrschende Brummspannung gelangt durch den Kondensator C 3 an das Schirmgitter der Spannungsverstärker-röhre UF 41. Die Phasenlage dieser Brummspannung wird durch die Endpentode UL 41 um 180° gedreht und ist infolgedessen gegenphasig zur Brummspannung im Anodenkreis der Endröhre. Bei geeigneter Höhe der dem ersten Schirmgitter zugeführten Brummspannung kann also eine Beseitigung des Brummens erzielt werden. Allerdings wäre es zweckmäßig, die Widerstände R 1 und R 2 zu vereinigen und den Kondensator C 3 an einen an diesem Widerstand liegenden veränderlichen Abgriff anzuschließen. -dy



*Bild 5. Brummkompensation bei einem Nf-Verstärker durch Brummspannung am Schirmgitter der Spannungsverstärker-röhre*

### Literatur

- R. Y. Drost, Schermrooster-Tegenkoppeling, Radio Electronica 1954. 2. Jahrg., Nr. 6. Juni, Seite 264 ff ;  
H. Pitsch, Lehrbuch der Funkempfangstechnik, 2. Aufl., Leipzig 1950, Seite 526 (Dort weitere Literaturangaben);  
Ferner: Audio-Engineering, November 1951; Wireless World, September 1952, Seite 357; Electronics, November 1953, Seite 148; Radio-Bulletin, Januar 1954, Seite 28