

1. Beschreibung einiger Röhrentypen

1.1 Diode:

Die einfachste Form einer Elektronenröhre ist die Diode. Sie besitzt zwei Elektroden, eine Kathode und eine Anode. Wenn man nun eine Positive Spannung an die Anode anlegt, werden die aus der geheizten Kathode austretenden Elektronen zur Anode geleitet, d.h.: es fließt ein Strom. Ein umgekehrter Elektronenfluss ist nicht möglich, da die Elektronen nur aus der Kathode austreten können. Der Grund hierfür liegt darin, dass ein Austritt von Elektronen nur durch Energiezufuhr (Heizung) erreicht werden kann.

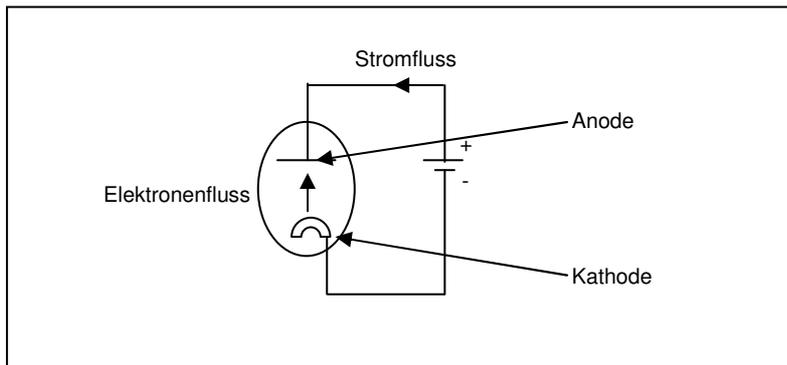


Abbildung 1: Prinzip einer Diode

Eine Diode eignet sich aus diesem Grund unter anderem zur Gleichrichtung von Wechselspannung.

Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Kathoden:

- Die direkt geheizte Kathode, hier ist der Glühfaden und die Elektrode ein und das selbe. Der Vorteil liegt hier im besseren Wirkungsgrad der Röhre. (Beispiele: 300B, 211, 845).
- Die indirekt geheizte Kathode. Bei dieser Form der Realisierung wird ein Zylinderblech von Innen durch einen Heizdraht erwärmt. Es besteht keine elektrische Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten, wodurch das Brummen beim heizen mit Wechselspannung minimiert wird. (Beispiele: Die meisten Röhren, wie EL34, ECC83, usw.)

1.2 Triode:

Wenn man jetzt eine dritte Elektrode (das sog. Steuergitter G1) zwischen der Anode und der Kathode einfügt, wird diese Röhre als Triode bezeichnet. Über ein solches Gitter kann der Elektronenfluss, also auch der Strom reguliert werden. Erst dieses Steuergitter macht es möglich eine Verstärkerschaltung zu realisieren.

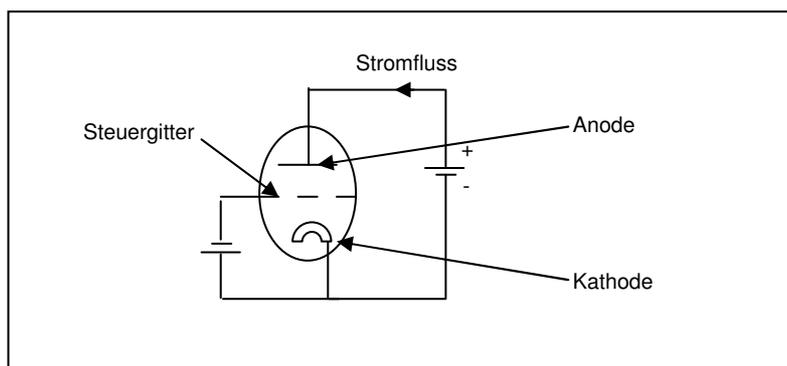


Abbildung 2: Prinzip Triode

1.3 Tetrode:

Nun ist es allgemein nicht unproblematisch einfach ein weiteres Gitter in eine Elektronenröhre einzufügen. Schon bei einer einfachen Triode treten, je nach Architektur und verwendeten Materialien, negative Effekte in Form von internen Kapazitäten auf. Diese Kapazitäten (bekannt von Kondensatoren?!) möchte man bei der Produktion von Röhren möglichst gering halten, da hierdurch der Frequenzbereich des Bauteils einschränkt wird.

Mit Hilfe eines zweiten Gitters (das sog. Schirmgitter G2) besteht nun die Möglichkeit, die besonders kritische Kapazität zwischen Anode und Steuergitter zu minimieren. Die GU-29 ist ein Beispiel für eine Doppel-Tetrode, die für die Leistungsverstärkung von UKW-Sendeanlagen eingesetzt wurde.

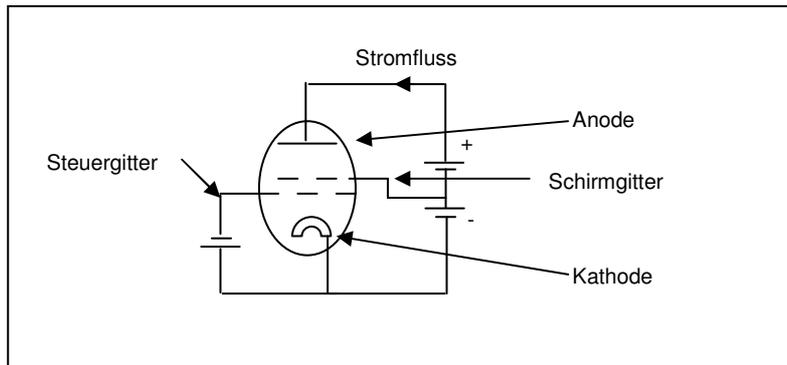


Abbildung 3: Prinzip Tetrode

1.4 Pentode:

Hier handelt es sich um Röhren mit fünf Elektroden. Das sog. Unterdrückungsgitter (G3) soll in erster Linie eine mögliche Sekundär-Emission verhindern. Eine Sekundär-Emission kann unter Umständen dadurch auftreten, dass die Anode zu stark mit Elektronen beschossen wird, wodurch sie selbst Elektronen in die Röhre abgibt, die dann vom Schirmgitter aufgenommen werden. Durch die Unterdrückung dieses Effektes kann man nun eine höhere Leistungsverstärkung erzielen.

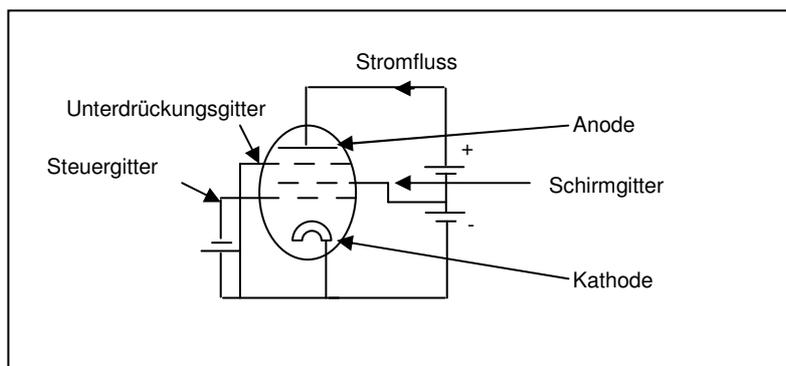


Abbildung 4: Prinzip Pentode

2. Leistungsverstärkung

2.1 Class A-Betrieb:

Der einfachste Verstärker im A-Betrieb besteht aus einer Röhre (oder Transistor). Der Arbeitspunkt wird hier so gewählt, dass die Strom- und Spannungssteuerung in beide Richtungen gleich ist. Es ist also möglich die positive und negative Halbwelle eines Sinussignals direkt zu verstärken. Dadurch kann eine sehr verzerrungsarme Leistungsverstärkung erzielt werden. Ein Nachteil ist jedoch der geringe Wirkungsgrad ($\gg 50\%$) und die relativ geringe Ausgangsleistung. Die Parallelschaltung mehrere Bauteile oder der Push-Pull-Betrieb kann in puncto Leistung zwar Abhilfe schaffen, jedoch muss man dabei wieder andere Einflüsse in Betracht ziehen.

Abschliessend kann jedoch behauptet werden, dass die Class A-Verstärkung mit nur einer Röhre im Ausgang wohl die besten Wiedergabeergebnisse erzielen kann. Auch ist zu bemerken, dass die Eingangs- und Treiberstufen immer in dieser Betriebsart eingesetzt werden.

2.2 Class AB-Betrieb:

Der AB-Betrieb kann gewissermaßen so erklärt werden: Die Signalverarbeitung von positiven- und negativen Halbwellen werden hier auf zwei Röhren (oder Transistoren) aufgeteilt. Der Arbeitspunkt wird für jede Röhre so eingestellt, dass in den nun kritischen Nulldurchgängen keine Übergangverzerrungen auftreten. Allgemein betrachtet ist die wesentlich höhere Leistungsausbeute eine Stärke dieser Schaltung. Man unterscheidet jetzt noch zwischen dem AB₁ und AB₂ Betrieb, die sich vorerst nur durch die Einstellung des Arbeitspunktes und der Ausgangsleistung unterscheiden. Der AB₂-Betrieb bietet den Vorteil geringerer Verzerrungen, jedoch auch eine geringere Ausgangsleistung.

Diese Schaltungsarten sind in Leistungsendstufen sehr stark verbreitet und erzielen bei entsprechender Sorgfalt in der Konstruktion ebenfalls sehr gute Klangergebnisse.

2.3 Push-Pull-Betrieb der Endröhren:

Parallelschaltung und / oder der Push-Pull-Betrieb (PP) kann für die oben genannten Betriebsarten gleichermaßen eingesetzt werden, wobei sich für den PP-Betrieb neben der höheren Leistungsverstärkung noch weitere Vorteile ergeben. Abgesehen von einer Verminderung der Verzerrungen gilt ebenfalls, dass hier nur harmonische Oberwellen gebildet werden, d.h. es entstehen nur ganzzahlige Vielfache der Grundwelle des Eingangssignals. Solche Verzerrungen werden vom menschlichen Ohr bis zu einem gewissen Grad als sehr angenehm empfunden und sie zerstören nicht die harmonische Struktur eines Musikstücks. (Beispiel: Dreiklang bzw. Akkord. Die Grundwellen der Terz und der Quinte sind im Obertonspektrum des Grundtones enthalten).

Brummen oder andere Störungen werden durch diese Schaltung kompensiert oder zumindest stark reduziert.

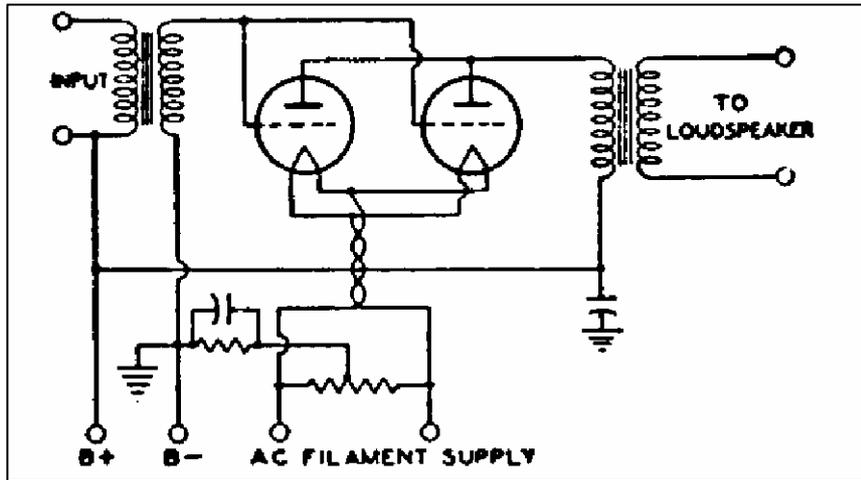


Abbildung 5: Zwei Röhren parallel im Class A-Betrieb

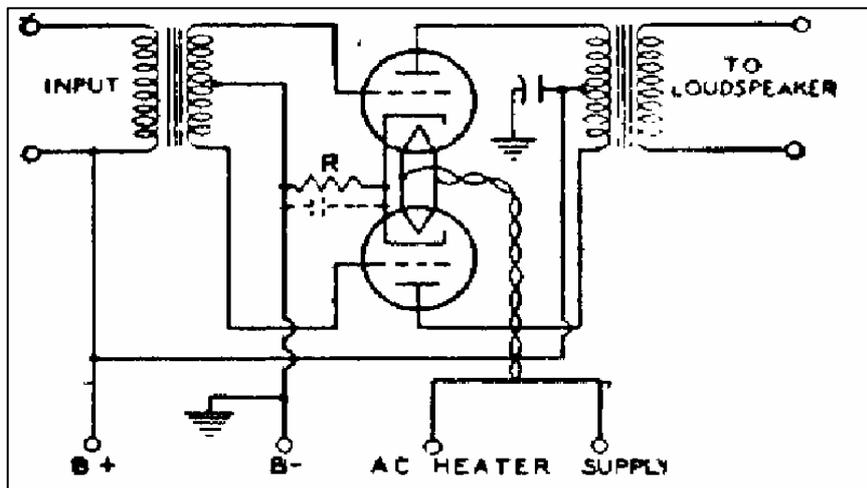


Abbildung 6: Push-Pull-Schaltung für A- oder AB-Betrieb

3. Signalverarbeitung (symmetrisch / unsymmetrisch):

Störungen sind bei der Verstärkung von Signalen immer kritisch, da sie das Nutzsignal überlagern und somit ebenfalls verstärkt werden. Das macht sich unter Umständen bei einem CD-Player nicht so stark bemerkbar wie bei einem Mikrofon oder Plattenspieler, da der CD-Player von sich aus schon eine sehr hohe Ausgangsspannung besitzt und Störungen oft nur geringe Signalamplituden haben. Bei der unsymmetrischen Signalverarbeitung (wie man sie von herkömmlichen Geräten kennt z.B. mit Cinch-Steckverbindungen) muss daher immer auf eine gute Abschirmung der Kabel bzw. des Signalweges geachtet werden. Bei der symmetrischen Signalleitung hat man nun drei Leiter, davon ist einer die Abschirmung und die anderen beiden leiten die Signale, wobei diese um 180° phasenverschoben sind. Wenn das Signal nun alle Verstärkungsstufen durchlaufen hat, so dass eine Störampplitude nicht mehr ins Gewicht fällt, kann es z.B. mit Hilfe des Ausgangsübertrages wieder unsymmetrisch gemacht werden. An dieser Stelle löschen dann sich die Störungen, die sich auf das Signal gelegt haben, gegenseitig auf (Siehe Bild 7): Der Übertrager macht im Prinzip nichts anderes als das eine Signal wieder um 180° zu verschieben und mit dem anderen zu addieren. Da nun die Störung gegenphasig ist, einmal ein pos. und ein neg.

Vorzeichen besitzt, löscht sie sich aus und das Nutzsignal steigt auf den doppelten Wert an.

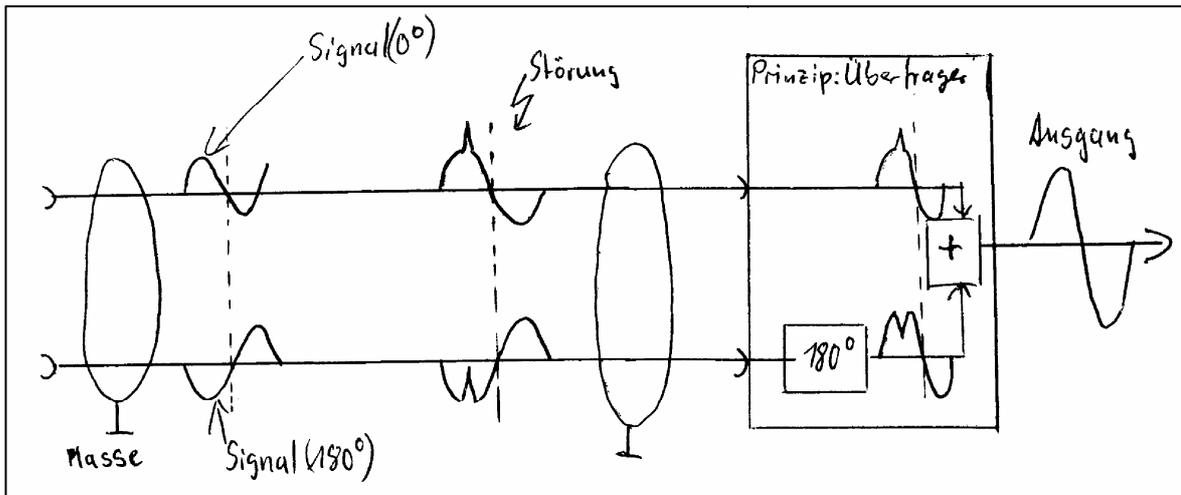


Abbildung 7: Symmetrische Leitungsführung und Kompensation der Störung

4. Allgemein

4.1 Klirrfaktor:

Bei jeder Verstärkung mit aktiven Bauelementen, wie Röhren oder Halbleiter entstehen durch die Kennlinie dieser Teile Frequenzen, die im eigentlichen Signal nicht vorhanden sind. Das Verhältnis zwischen dem Frequenzspektrum des Originalsignals und dem des Ausgangssignals wird als Klirrfaktor (THD total harmonic distortion) bezeichnet.

Ein relativ hoher Klirrfaktor muss nicht unbedingt negativ sein. Bei Röhrenverstärker ist dieser in der Regel etwas höher als bei Transistorverstärkern, jedoch macht das in diesem Fall den charakteristischen warmen und weichen Klang aus.

4.2 Gegenkopplung:

Bei der Gegenkopplung wird das Ausgangssignal in verminderter Form wieder auf die Eingangsstufe zurückgeleitet. Diese Methode wird dazu eingesetzt, den Frequenzgang zu linearisieren und den Klirrfaktor zu senken. Je nach dem wie stark die Kopplung ist, nimmt die Verstärkung ab und es kann zu Phasenverzerrungen kommen, die die räumliche Auflösung eines Verstärkers verschlechtern. Verstärker ohne Gegenkopplung müssen wesentlich aufwendiger gestaltet sein um den gleichen Frequenzgang zu haben, verhalten sich aber in der Phase wesentlich besser.

4.3 Bias- / Arbeitspunkteinstellung:

Bei Kleinsignalröhren (z.B.: ECC83) oder Leistungspentoden mit geringer Verstärkung (EL84) ist oftmals keine Einstellung nötig, da sich die Röhre über den Spannungsabfall an ihrem Kathodenwiderstand „selbst“ einstellt. Kleine Verluste in der Leistungsausbeute können hier vernachlässigt werden. Bei größeren Endstufenröhren muss der Arbeitspunkt für jede Röhre einzeln und nach jedem

Austausch neu eingestellt. Hiermit wird sichergestellt, dass die Röhre ihren Arbeitsbereich optimal ausnutzen und somit beste Klang- und Verstärkungseigenschaften liefert. Ein falsch eingestellter Arbeitspunkt kann die Lebensdauer einer Röhre stark vermindern. Niemals gleiche Röhrentypen untereinander vertauschen. Auch keine Vorstufen- oder Treiberröhren, da hier in manchen Geräten ein Symmetrie- oder Brummabgleich gemacht werden muss.

4.4 Netzteile:

Das Netzteil dient zur Spannungs- und Stromversorgung und ist somit ebenfalls ein Teil der Signalverarbeitung. Hier wird ebenfalls ein hoher Arbeitsaufwand betrieben um die Klangeigenschaften von Audiogeräten zu verbessern (z.B. Netzteile mit Röhren- oder Halbleiter-Gleichrichtung klingen unterschiedlich!).