

# Kaffewärmer mit Röhrenantrieb

Wie bitte? Was soll das denn? Muss man denn Röhren unbedingt für solche banalen Zwecke missbrauchen? Natürlich nicht. Der Sinn ist ein ganz anderer: ein leistungsstarker Lastwiderstand. Den braucht man zum Test von Endstufen. Sollen diese bis zur Leistungsgrenze ausgefahren werden, dann ist der Einsatz von Lautsprechern nicht angebracht, weil man dann schnell einen Gehörschaden bekäme und die Umwelt akustisch erheblich belästigen würde. Also setzt man die Leistung besser erstmal in Wärme um und prüft, ob der Verstärker überhaupt funktioniert und ob er die erwartete Leistung bringt. Erst danach hat er Lautsprecher verdient und Musik statt Sinus.

Dipl.-Phys. Helmut Lemme

Was der Lastwiderstand können soll: Bis 200 Watt Belastbarkeit, damit er auch stärksten Endstufen gewachsen ist, und er soll umschaltbar sein zwischen 4, 8 und 16 Ohm. Die nächstliegende Lösung wären zwei leistungsstarke 8-Ohm-Widerstände mit den Schaltungsarten parallel, einer allein und beide in Serie.

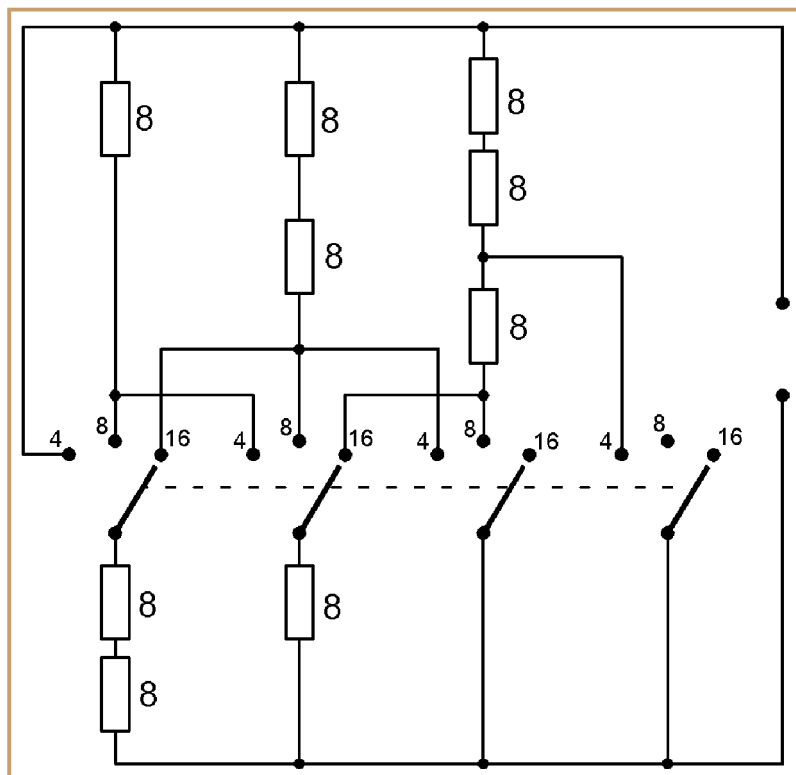


Bild 1. Schaltung des umschaltbaren Lastwiderstandes.

Allerdings hätte man dann in der mittleren Schaltstellung für 8 Ohm nur die halbe Belastbarkeit. Eine bessere Ausnutzung ist zu erreichen, indem man neun schwächere Widerstände zu je 8 Ohm nimmt, für 4 Ohm schaltet man vier Stränge aus zwei in Serie geschalteten parallel, wobei einer übrig bleibt, für 8 Ohm drei Stränge zu je drei, für 16 Ohm zwei zu je vier, wobei wieder einer still liegt. Bild 1 gibt die Schaltung wieder.

Im praktischen Aufbau werden 27 Drahtwiderstände zu je 2,7 Ohm verwendet, wobei jeder eine Belastbarkeit von 11 Watt hat. Die Baugröße ist 38 x 9 x 9 mm<sup>3</sup>. Drei der Widerstände sind immer fest in Serie gelegt. Die Abweichung

von 0,1 Ohm geht in den Toleranzen unter. Der Drehschalter, eine übliche Ausführung im Kunststoffgehäuse mit 4 x 3 Kontakten für Leiterplattenmontage, ist zusammen mit den Widerständen auf einer Europakarte untergebracht. Zum Anschluss dienen zwei Bananenbuchsen. Das Layout (Bilder 2 und 3) kommt nicht ohne die zwei Drahtbrücken aus; wer diese auf der Oberseite nicht schön findet, kann sie auch unten setzen. Vier Abstandsrollchen an den Ecken dienen als Beine. Wenn man bei jedem Widerstand vor dem Einlöten Aderendhülsen auf die Drähte schiebt (z. B. 8 mm lang), dann kommen sie alle sauber auf gleiche Höhe wie in Bild 4 zu sehen. Damit wird dann die Kaffeetasse satt aufliegen.

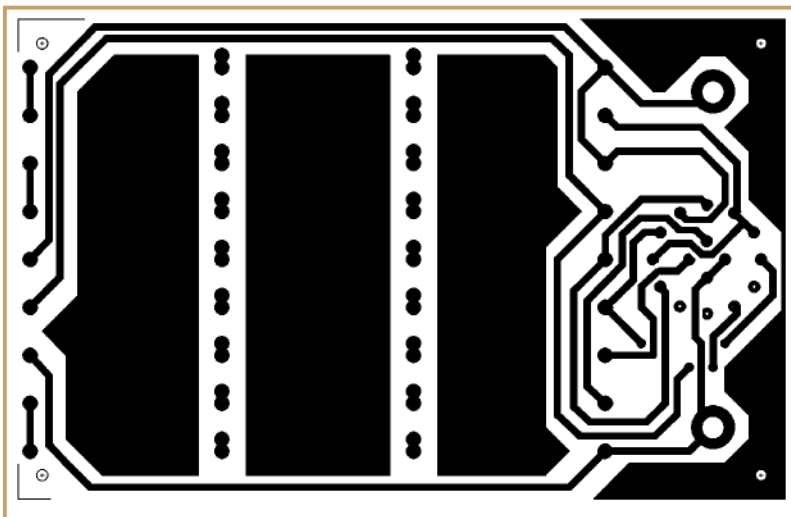


Bild 2. Platinenlayout.

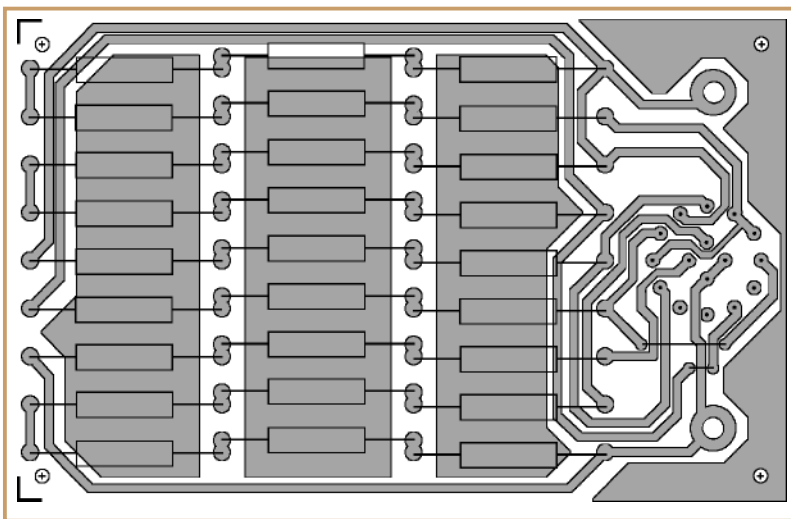


Bild 3. Bestückung.

**Messen mit Sachverstand**

Bei der Gelegenheit noch ein Wort zu Messungen an Röhrenendstufen mit Widerstand als Last: Alle Ergebnisse haben nur einen vorläufigen Charakter. Der Frequenzgang ist nicht derselbe wie mit einem realen Lautsprecher, weil wegen des nicht zu vernachlässigenden Innenwiderstands dessen Impedanzverlauf hier kräftig mit eingeht. Auch bei den Klirrvverzerrungen ergibt sich nicht unbedingt der tatsächliche Wert, weil ein Lautsprecher, vor allem eine Kombination, immer Blindanteile in der Impedanz hat. Da hier der Ausgangsstrom zeitweise rückwärts fließt, verhält sich ein Verstärker anders als mit rein ohmscher Last. Das äußert sich auch in den Klirrvverzerrungen.

Dann noch eine Anmerkung zur Nennimpedanz. Die Ausgänge von Verstärkern sind meistens mit 4, 8 oder 16 Ohm gekennzeichnet. In der Bedienungsanleitung heißt es immer, dass hier unbedingt ein Lautsprecher mit der richtigen Impedanz angeschlossen werden müsse, andernfalls könne es zu Beschädigungen kommen. Doch hier wird etwas Unmögliches gefordert. Eine perfekte Anpassung gibt es prinzipiell nicht, weil ein Lautsprecher eben kein rein ohmscher Widerstand ist. Der aufgedruckte Wert gilt nur beim Impedanzminimum oberhalb der Eigenresonanzfrequenz, in der Regel bei 400 Hz. Ein 8-Ohm-Typ hat bei Gleichstrom etwa 5 bis 6 Ohm, auf der Eigenresonanz kann er aber 100 Ohm oder mehr erreichen, bei 5 kHz auch schon an die 20 Ohm. Wie die Erfahrung zeigt, geht es trotzdem gut. Auch bei einer gewissen Fehlanpassung passiert dem Verstärker so schnell nichts.

Weiterhin ist vielfach davon die Rede, dass bei einer Fehlanpassung Ausgangsleistung verloren gehen soll. Doch auch davon merkt man in der Praxis nicht viel. Die theoretische Formel „doppelter Lastwiderstand ergibt halbe Leistung“ stimmt bei realen Verstärkern überhaupt nicht. Denn bei einem höherem Lastwiderstand

wird dem Netzteil weniger Strom entnommen, dadurch gibt es, wenn es nicht gerade stabilisiert ist, was bei den allermeisten Konsumgeräten unüblich ist, eine höhere Spannung ab und der Aussteuerbereich des Verstärkers steigt. Erfahrungsgemäß ist ein Leistungsverlust bei Verwechslungen von 4 Ohm und 8 Ohm, sowie von 8 Ohm und 16 Ohm kaum wahrnehmbar. Einen zusätzlichen Anpassungsübertrager dazwischenzusetzen, wenn Verstärkerausgang und Lautsprecher-Nennimpedanz nicht exakt zusammenpassen, ist deshalb in den meisten Fällen eine unnötige Investition.

Schon eher sollte man Verwechslungen von 4 Ohm und 16 Ohm vermeiden. Bei Unteranpassung, 4-Ohm-Lautsprecher am 16-Ohm-Ausgang, sinkt die maximal erzielbare Leistung schon stärker ab. Hier setzt der Kathodenstrom der Endröhren die Grenze, eine Übersteuerung kommt hier also durch eine Strombegrenzung zustande. Gefahr für die Endröhren besteht nicht. Bei Überanpassung, 16-Ohm-Lautsprecher am 4-Ohm-Ausgang, sinkt die Leistung ebenfalls. Hier ist die Grenze durch die Versorgungsspannung des Verstär-

kers gegeben, es liegt also eine Spannungsbegrenzung vor. Eine starke Überanpassung kann unter Umständen gefährlich werden, weil hier der von den Kathoden der Endröhren abgegebene Strom nicht mehr ausreichend über die Anoden abfließen kann. Er nimmt dann den Umweg über die Schirmgitter, die dafür nicht ausgelegt sind. Bei Überlastung kommen sie ins Glühen. Wenn sich dadurch Schweißstellen lösen, kann es in der Röhre zu inneren Kurzschlüssen zwischen verschiedenen Elektroden kommen, das bedeutet schlagartigen Totalschaden. Auch eine starke Aussteuerung genau auf der Eigenresonanzfrequenz des Lautsprechers oder bei einer sehr hohen Frequenz, z. B. 5 kHz oder mehr, sollte man vermeiden. Bei normaler Musikwiedergabe kommt das nicht vor, wohl aber bei Rückkopplung. Wie resistent eine Endstufe gegen Fehlanpassungen ist, hängt ganz entscheidend von ihrer Gegenkopplung ab. Je fester diese angezogen ist, desto stärker darf die Lastimpedanz vom Nennwert abweichen. Sehr stramm gegengekoppelte verkraften sogar einen Leerlauf, der für wenig oder überhaupt nicht gegengekoppelte (etwa Vox AC30) tödlich wäre. Wer ganz

auf Nummer Sicher gehen will, der kann auch eine Schmelzsicherung passender Stärke in die Schirmgitterzuleitung einfügen.

Die höchste Ausgangsleistung gibt eine Endstufe ab, wenn Strombegrenzung und Spannungsbegrenzung gleichzeitig einsetzen. Für alle Frequenzen ist das natürlich nur mit einem ohmschen Widerstand zu schaffen. Bei einem Lautsprecher mit seiner stark frequenzabhängigen Impedanz variiert die Art der Begrenzung über die Frequenz hinweg. Das ist unvermeidlich.

Wer will, kann mit diesem Lastwiderstand seinen Verstärker jetzt einem Härtetest unterwerfen: Eine halbe Stunde mit voller Leistung braten lassen, eine halbe Stunde Gelegenheit zum Abkühlen geben, und dann dasselbe x-mal von vorne. Durch die wiederholte thermische Ausdehnung und Kontraktion zeigen sich Schwachpunkte wie schlechte Lötstellen sehr bald. Wenn der Verstärker diese Prozedur beispielsweise zwanzigmal durchgestanden hat, dann wird man sich später bestens auf ihn verlassen können.

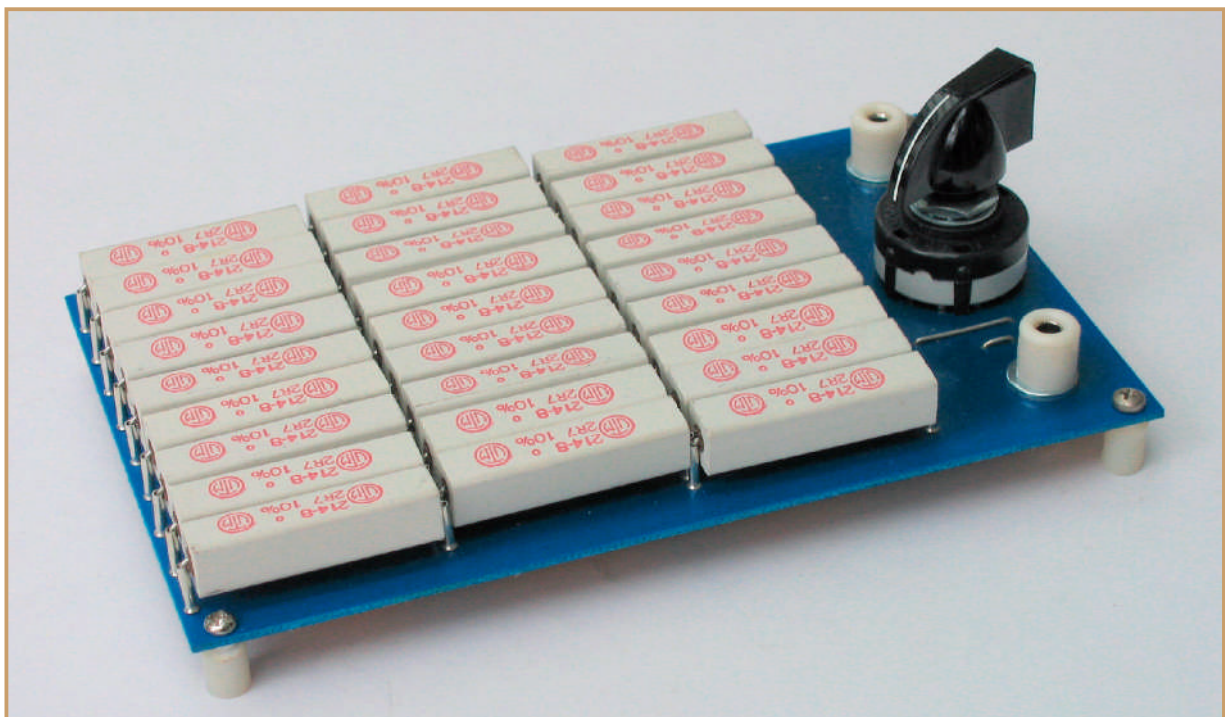


Bild 4. Der fertige Aufbau.

Dieser Artikel wurde zuerst veröffentlicht  
in Elektor "Special Project Röhren 5"  
(Juni 2009)