

Anatomie der Röhrenamps II: Klangliche Vorteile der Impedanzanpassung

Vergleicht man Röhren- und Transistorverstärker, so fällt ein grundlegender Unterschied auf: Während am Transistorverstärker eine Mindestimpedanz für den anzuschließenden Lautsprecher angegeben ist, wird der Röhrenverstärker mit einem Lautsprecher passender Impedanz betrieben. Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass der Röhrenamp durch diese Impedanzanpassung einen inhärenten Klangvorteil hat. Außerdem lässt sich mit handfesten Argumenten beweisen, wieso bei gleichem Leistungsrating Röhrenverstärker lauter als Transistorverstärker sind.

Um zu verstehen, was es mit der Impedanzanpassung auf sich hat, muss man ein paar Funktionsprinzipien der Röhrenendstufe kennen. Hierzu erst mal eine kurze Einleitung.

Einfach ausgedrückt ist es die Aufgabe einer Audioendstufe (also auch einer Gitarrenendstufe) eine elektrische Schwingung mit einer gewissen Leistung auf den angeschlossenen Lautsprecher zu bringen, der wiederum die elektrische Leistung in die abgestrahlte Luftschalleistung wandelt. Aus den Grundlagen der Elektrotechnik wissen wir, dass Leistung das Produkt aus Spannung und Strom ist. Die Endstufe muss also dem Lautsprecher die Ausgangsspannung bei einem entsprechenden Ausgangsstrom zur Verfügung stellen.

Ein Transistorverstärker arbeitet hierbei, wie eine (fast) ideale Spannungsquelle: Er gibt ein Spannungssignal am Ausgang aus und die Impedanz des angeschlossenen Lautsprechers bestimmt den Strom, der nun aus der Endstufe in den Lautsprecher fließt. Der Zusammenhang lautet: $\text{Ausgangsstrom} = \text{Ausgangsspannung} / \text{Lautsprecherimpedanz}$. Wenn also statt eines 8 Ω Lautsprechers ein 16 Ω Lautsprecher verwendet wird, so fließt ein halb so großer Strom durch den Lautsprecher und die abgegebene Leistung ist nur noch halb so groß!

Röhrenverstärker hingegen sind keine idealen Spannungsquellen, sondern besser als Stromquellen zu beschreiben. Ein grundsätzlicher Unterschied zu idealen Spannungsquellen - wie sie durch Transistoramps recht gut realisiert werden - besteht darin, dass der Ausgangsstrom im Kurzschlussfall bereits durch den eigenen Innenwiderstand begrenzt wird. Der Strom steigt bei beliebig kleiner Lastimpedanz also nicht beliebig stark an.

Wird die Lastimpedanz kleiner, so sinkt die Ausgangsspannung und der Laststrom steigt bis zu einem definierten Maximalwert. Im Kurzschlussfall ist die Ausgangsspannung Null und der Ausgangsstrom maximal. Wird die Lastimpedanz hingegen erhöht, so sinkt der Laststrom und die Ausgangsspannung steigt. Da Leistung aber das Produkt aus Strom und Spannung ist, wird weder im Kurzschluss noch im Leerlauf Leistung abgegeben.

Das Maximum an Leistung wird bei einer bestimmten Impedanz abgegeben, bei der das Produkt aus Strom und Spannung maximal ist.

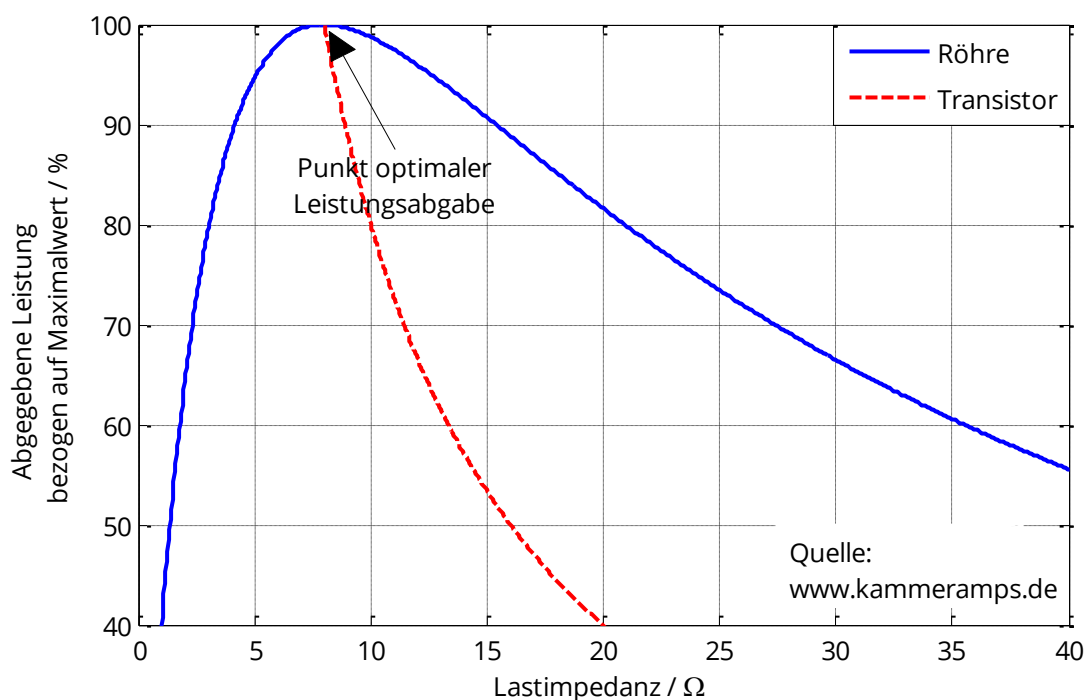
Ein wichtiges Bauteil ist der Ausgangsübertrager des Röhrenverstärkers, der dafür sorgt, dass die Endröhren über das Kennlinienfeld ideal angesteuert werden – anders gesagt: Der Ausgangsübertrager stellt sicher, dass die Endröhren gegen eine Last mit der passenden Impedanz arbeiten. Das ist notwendig, da typische Lautsprecherimpedanzen im Gitarrenbereich zwischen 4 Ω und 16 Ω betragen und die ideale Lastimpedanz für Leistungsröhren im k Ω -Bereich liegen.

Bei dieser Art der Anpassung ist der Begriff der Leistungsanpassung etwas irreführend, da die klassische Leistungsanpassung im elektrotechnischen Sinn die Gleichheit von Ausgangsimpedanz zu Lastimpedanz bedeutet. Bei Röhrenverstärkern ist die Ausgangsimpedanz des Verstärkers jedoch von der Lautsprecherimpedanz verschieden, d.h. die optimale Aussteuerung der Endröhren liegt in der Regel nicht unbedingt dann vor, wenn die Ausgangsimpedanz gleich der Lastimpedanz ist. Typische Ausgangsimpedanzen sind, vor allem bei gegengekoppelten Röhrenverstärkern, deutlich kleiner als die angepassten Lautsprecherimpedanzen. Allerdings gibt es auch Arbeitspunkte, insbesondere bei nicht gegengekoppelten Röhrenverstärkern, in denen die Ausgangsimpedanzen um ein vielfaches größer als die Lautsprecherimpedanzen sind.

Im Folgenden sei aus Gründen der Einfachheit jedoch angenommen, dass Ausgangs- und ideal angepasste Lautsprecherimpedanz gleich $8\ \Omega$ betragen.

Wie gravierend wirkt sich nun eine Fehlanpassung auf die ausgegebene Leistung aus?

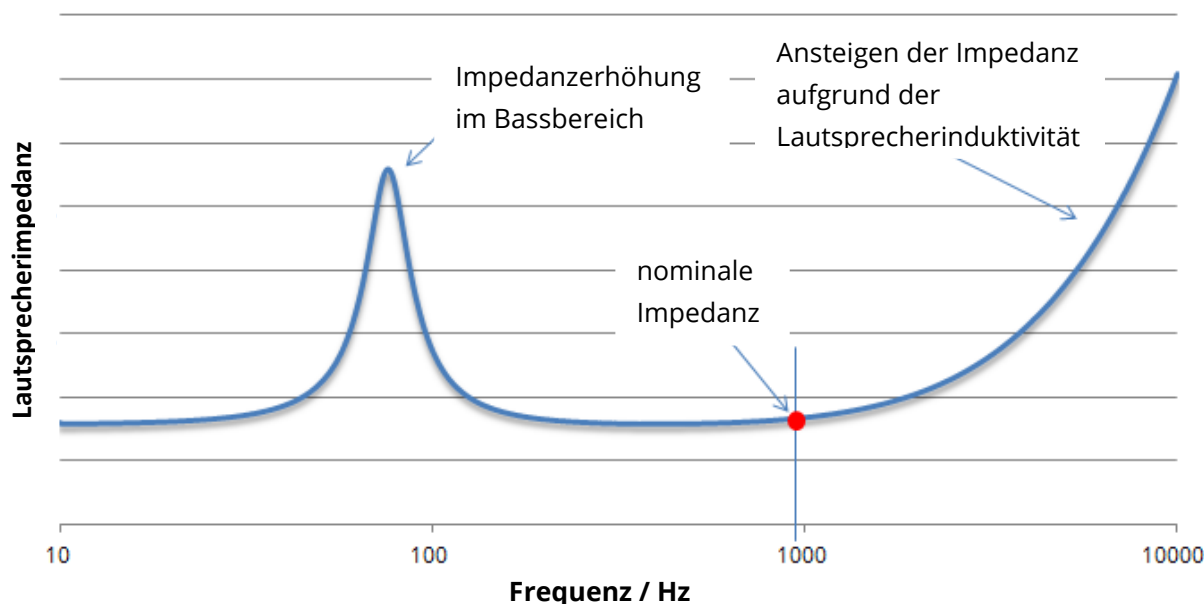
Mit Hilfe der Formel $4 \cdot R_i \cdot R_l / (R_i^2 + 2R_i R_l + R_l^2)$ wird das Verhältnis von tatsächlicher zu maximal abgebarer Leistung abhängig von der Lastimpedanz R_l berechnet. Hierbei ist R_i der Innenwiderstand des Röhrenverstärkers. Beispielhaft ist in folgender Abbildung die Berechnung für eine ideale Anpassung bei $8\ \Omega$ gezeigt.



Wird statt des $8\ \Omega$ Lautsprechers nun ein $16\ \Omega$ Lautsprecher verwendet, so ist die abgegebene Leistung auf 89% gesunken. Wir erinnern uns: Bei dem Transistoramp bedeutet dies eine Halbierung der Leistung!

Interessant wird es, wenn die Impedanz eines realen Lautsprechers ins Spiel kommt. Kein Lautsprecher hat in seinem komplett nutzbaren Frequenzbereich eine konstante Impedanz! Die Angabe $4\ \Omega$, $8\ \Omega$, $16\ \Omega$ etc. bezieht sich immer auf den Wert, der bei einer Frequenz von 1kHz gemessen wird.

Die folgende Abbildung zeigt den Impedanzverlauf, wie er für einige 12-Zoll Gitarrenlautsprecher üblich ist.



Auffallend sind eine deutliche Überhöhung der Impedanz im Bass-Bereich und ein stetiges Ansteigen bei Frequenzen über 1kHz. Die Impedanzen können im gesamten Frequenzbereich (bzw. innerhalb der Lautsprecherbandbreite) locker um Faktor 5 (und mehr) erhöht sein! Die Transistorendstufe kann in diesen Bereichen die Leistung weniger gut an den Lautsprecher abgeben, als die Röhrenendstufe. Faktor 5 bedeutet bei der Transistorendstufe ein Einbruch des Schalldrucks um 7dB! Die Röhrenendstufe gibt in diesem Fall laut obiger Formel noch 56% der Leistung ab, entsprechend einer Einbuße von nur rund 2,5dB Schalldruck. In absoluter Leistung ausgedrückt wird dieses Zahlenbeispiel noch beeindruckender: In diesem Fall benötigt man eine 85W-Transistorendstufe, um die gleiche Leistung, wie eine 30W-Röhrenendstufe abzugeben!

Dass der Röhrenverstärker in der Praxis seine Leistung im kompletten Frequenzbereich gleichmäßiger an den Lautsprecher abgeben kann, als der Transistorverstärker, ist ein Faktor, weshalb der Klang von Röhrenverstärkern häufig als satter, runder und lebendiger wahrgenommen wird. Ein anderer Aspekt ist der, dass Röhrenverstärker häufig gegenüber Transistorverstärkern als lauter beschrieben werden, was ebenfalls durch die bessere Abgabe der Leistung erklärt werden kann.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Röhrenverstärker aufgrund ihres Funktionsprinzips ein grundlegend anderes Interaktionsverhalten mit dem Lautsprecher aufweisen als Transistorverstärker. Röhrenverstärker arbeiten leistungsangepasst, Transistorverstärker spannungsangepasst. Es lässt sich rein analytisch mit den Grundlagen der Elektrotechnik das zeigen, was Gitarristen schon lange wissen: Röhrenverstärker sind in der Praxis lauter als Transistorverstärker, auch wenn sie das gleiche Leistungsrating aufweisen. Die Lautheitsempfindung wird außerdem von weiteren Faktoren geprägt, deren Erklärung unter Anderem im Bereich der Psychoakustik zu finden ist, was allerdings den Rahmen dieses Artikels deutlich sprengt.