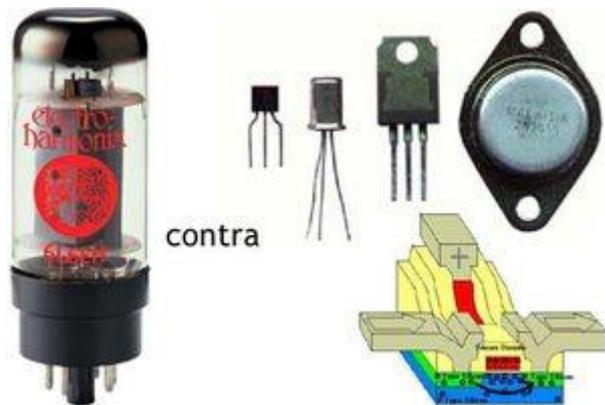


## Gegenüberstellung von Röhren- und Transistorverstärkern



Quelle:

[https://www.thomann.de/de/onlineexpert\\_page\\_roehrentopteile\\_roehren\\_oder\\_transistoren.html](https://www.thomann.de/de/onlineexpert_page_roehrentopteile_roehren_oder_transistoren.html)

Beliebte Röhren sind die, EL 84, EL 34, KT 88, 6C33 und 6AS7G.

Röhrenverstärker	Transistorverstärker
Bei gleicher Qualität etwas teurer, da insbesondere die Ausgangsübertrager eines hohen Fertigungsaufwandes bedürfen.	Bei gleicher Qualität preisgünstiger.
Überwiegend Class A/B Verstärker mit höherem Energieverbrauch. Aufwendiges Netzteil, da die Anodenspannung mehrere 100 V betragen muss und eine Heizspannung erforderlich ist.	Überwiegend Class D Verstärker mit geringem Energieverbrauch. Der Transistorverstärker arbeitet mit geringerer Spannung.
Etwas höherer K2, dadurch warmer Klang!	Geringer Klirrfaktor
Höheres Gewicht.	Kompakte Bauweise, geringes Gewicht.
Bei Überlastung steigt der Klirrfaktor stark an. Zerstörung der Halbleiter bei zu hoher Last, insbesondere bei zu niedrigen Impedanzen.	Moderater Anstieg des Klirrfaktors bei Überlast, Röhren können kurzzeitig ohne sofortige Zerstörung überlastet werden.
Laststabilität erfordert zusätzlichen Aufwand. Mit wechselnder Impedanz wird bei den Röhrenverstärkern der Frequenzgang beeinflusst. Impedanzlinearisierung erforderlich.	Der Frequenzgang wird wenig durch den Impedanzgang beeinflusst.
Mit den üblich verwendeten Röhren werden eher niedrige Leistungen erzielt, zwischen 10 und 50 Watt.	Die Leistungen der Transistorverstärker sind bereits im Heimbereich wesentlich höher, zwischen 50 und 1000 Watt.
Auswahl passender Lautsprecher mit hohem Kennschalldruck erforderlich, z.B. Elektrostaten, Hörner, größere Konuslautsprecher.	Nur geringe Anforderungen an die Lautsprecher.
Röhren zeigen Verschleißerscheinungen auf. Nach ca. 5-10 Jahren Nutzung ist ein Wechsel der Röhren sinnvoll.	Geringer kaum nachweisbarer Verschleiß bei Transistoren.
Die Röhre ist unempfindlich gegenüber kosmische und ionisierende Strahlung.	Je kleiner die Leiterbahnen in modernen Chips sind, umso empfindlicher sind diese.
Niedriger Dämpfungsfaktor (5...10)	Hoher Dämpfungsfaktor (100...1000)
Optisch eleganteres Aussehen (Glaskolben).	Schlichtes technikbasiertes Aussehen.

## Deutliche Vorteile des Röhrenverstärkers

Um einen funktionsfähigen Verstärker auf Röhrenbasis zu bauen, benötigt man im Allgemeinen viel weniger aktive Bauteile, als das bei einem Transistoramp mit dem gleichen Leistungsverhalten der Fall wäre. Die Tatsache, dass die kapazitive Rückwirkung der einzelnen Bauteile untereinander bei einem Transistoramp höher ausgeprägt ist, als bei einem entsprechenden Röhrenverstärker, führt bei Transistoramps zu einer Beeinträchtigung des Impulsverhaltens. Röhrenamps arbeiten in dieser Hinsicht wesentlich effektiver. Die daraus resultierenden schnelleren Anstiegszeiten der Röhren (ca. 500 bis 1000 mal schnellere Signalverarbeitung als bei Transistoren) und das traumhafte Impulsverhalten führt in Verbindung mit höheren internen Betriebsspannungen und Signalpegeln zu dem Dynamikverhalten, das Gitarristen so lieben.

Quelle: [https://www.thomann.de/de/onlineexpert\\_page\\_roehrentopteile\\_roehren\\_oder\\_transistoren.html](https://www.thomann.de/de/onlineexpert_page_roehrentopteile_roehren_oder_transistoren.html)

Röhrenverstärker die über ihr Grenzbereich hinaus ausgesteuert werden, im Gegensatz zu Transistorverstärkern nicht in ein Hard-Clipping übergehen, sondern in ein sogenanntes Soft-Clipping. In der Praxis heißt das, dass bei Übersteuerung keine abrupte Leistungsbegrenzung einsetzt die dazu führen kann, dass Hochtöner zerstört werden. Diese Eigenschaft machen sich seit Jahrzehnten E-Gitarristen zunutze, die ihre Röhrenverstärker bewusst übersteuern. Sie missbrauchen ihn dann quasi als weich einsetzenden Limiter, der in diesem Zustand lang gezogene, gleich laute und mehr oder weniger angenehm verzerrte Töne von sich gibt. Ein Transistorverstärker würde in dieser Situation Rechtecksignale erzeugen und entsetzlich klingen.

Quelle: [http://www.hifiaktiv.at.xserv08.internex.at/?page\\_id=81](http://www.hifiaktiv.at.xserv08.internex.at/?page_id=81)

## Trioden und Pentodenbetrieb

Vom Grundsätzlichen her betrachtet produziert die Triode eben geradzahlige Verzerrungsprodukte, also k<sub>2</sub>, k<sub>4</sub> usw., was vielen Hörern gefällt. Bei Pentoden überwiegen dagegen die ungeradzahligen Harmonischen, k<sub>3</sub>, k<sub>5</sub> usw. Da in der Musik häufig geradzahlige Frequenzverhältnisse vorkommen, gibt es viele Hörer, die klanglich Trioden den Vorzug geben, da sie „natürlicher“, Musik-ähnlicher klingen. Aber das gilt so in der Reinform nur im einstufigen Betrieb, ohne Gegenkopplung und ohne andere schaltungstechnische Kniffe.

Quelle:

<https://www.fairaudio.de/dwt/artikel/2012-firmenberichte/btb-elektronik-roehren-interview-3.html>

## Dämpfungsfaktor

Der Dämpfungsfaktor ist das Verhältnis zwischen dem Widerstand (genauer: der Impedanz) des Lautsprechers und dem Ausgangswiderstand des Verstärkers. Die Formel lautet also:

$$D = I_{ls} / I_{amp}$$

Dem Dämpfungsfaktor wird meist ein positiver Einfluss auf das Ausschwingverhalten der Lautsprecherchassis eingeräumt: Der Verstärker treibt ein Chassis nicht nur an, er sollte es auch am Ende eines Impulses bremsen. Die Ausschwingbewegung des Basschassis erzeugt durch Selbstinduktion in der Schwingspule eine Spannung, die im Verstärker quasi kurzgeschlossen wird. Die Folge hieraus ist eine **elektromagnetische Dämpfung** dieser unerwünschten Schwingung, die besonders im Bereich der Resonanzfrequenz stark ist. Ein Grund, warum Mittel- und Hochtontreiber

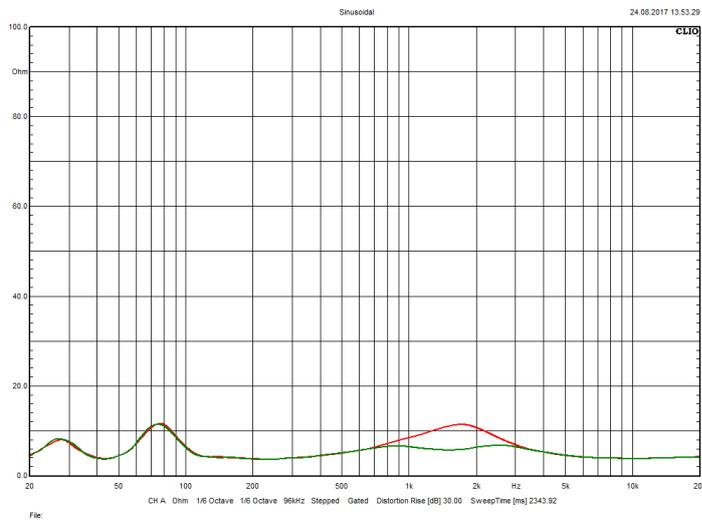
von einem hohen Dämpfungsfaktor nicht im gleichen Ausmaß profitieren ist, dass ihre Schwingspulen kleiner sind und somit auch die induzierte Spannung und der daraus resultierende Bremseffekt.

Quelle:

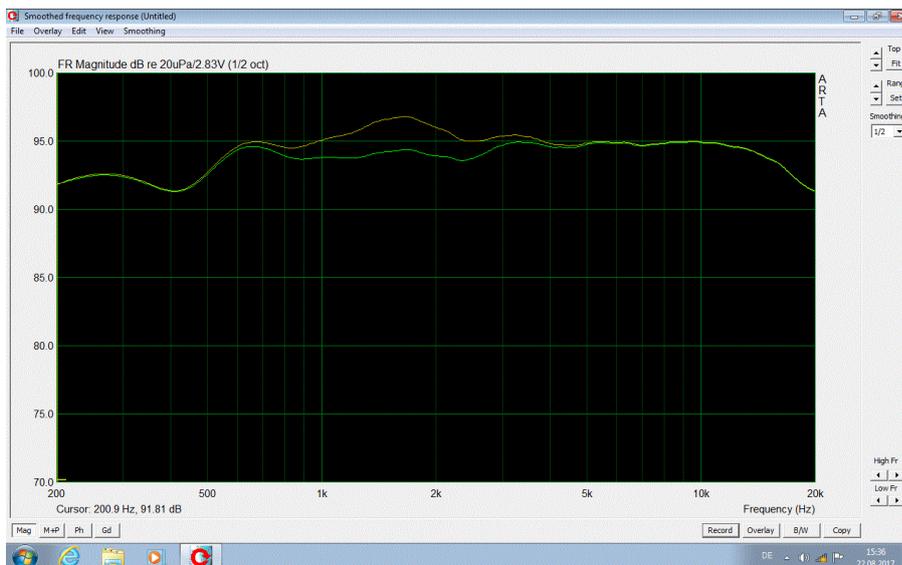
<https://www.fairaudio.de/lexikon/daempfungsfaktor/>

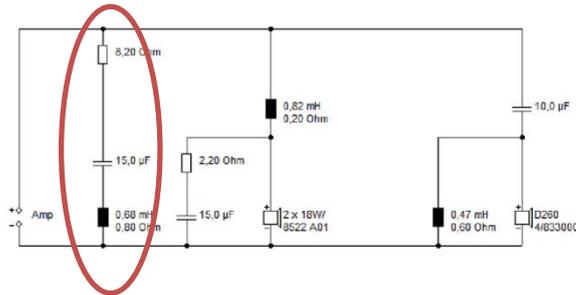
## Laststabilität

### Impedanzgang



### Frequenzgang

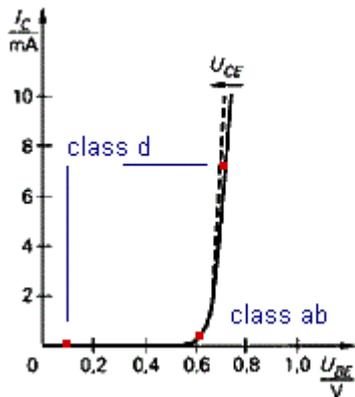




## Verstärkertypen

Kennlinien

Kennlinie Transistor und Arbeitspunkte von class ab und class d



Quelle: <http://hifiakademie.de/?id=11.1.8.3&si=MTUwNjcxMDC3Ni44NzU3fDk1LjkwLjI0MC4xNTR8IA>

**Eintaktverstärker Klasse A:** Ein aktives Bauelement leitet immer, der fließende Strom wird gesteuert. Anwendung in Vorverstärkern sowie in Röhrenendstufen von Gitarrenverstärkern. Nachteilig ist der geringe theoretische Wirkungsgrad bei Vollaussteuerung von 6,25 %.

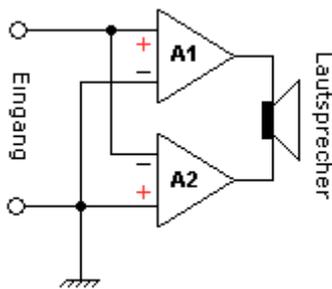
Ein Klasse-A-Verstärker ist eine Schaltung mit einem Verstärkerbauteil, das im linearen Teil seiner Kennlinie betrieben wird. Sein Arbeitspunkt liegt in der Mitte der Kennlinie.

**Gegentaktverstärker Klasse A:** Es gibt zwei aktive Bauelemente, beide leiten immer. Anwendung in transformatorlosen Leistungsverstärkern. Maximaler theoretischer Wirkungsgrad bei Vollaussteuerung ist 50 %.

**Gegentaktverstärker Klasse AB:** zwei aktive Bauelemente arbeiten in einer Gegentaktschaltung abwechselnd (engl. *push-pull*). Theoretischer Wirkungsgrad bei Vollaussteuerung: 50 % ... 78,5 %. Durch eine schaltungstechnische Erweiterung fließt ein Ruhestrom, der die Verzerrungen während des Wechsels von positiver zu negativer Halbwelle bzw. umgekehrt vermindert.

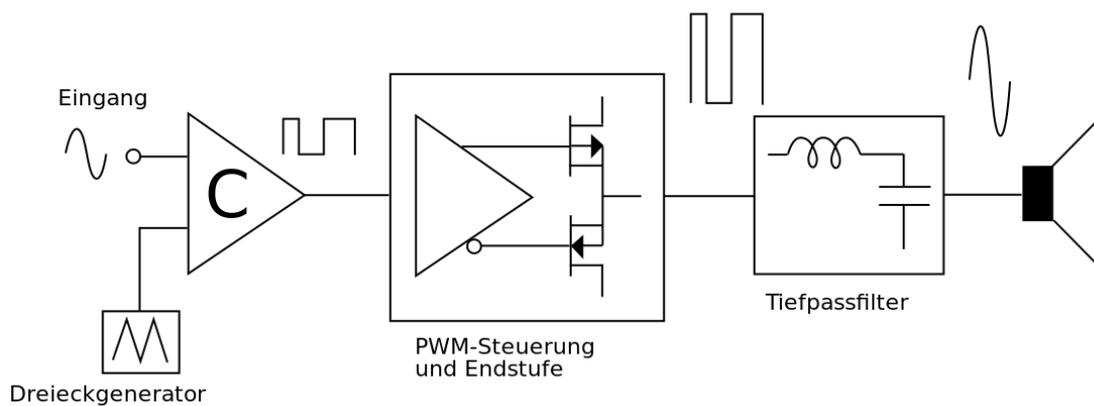
In einem *Vollbrückenverstärker* arbeiten zwei Gegentaktverstärker gegeneinander auf jeweils einen der Lastanschlüsse. Der Lautsprecher bildet eine „Brücke“ zwischen beiden Verstärkern. Sie werden

eingesetzt, wenn an einer gegebenen Lastimpedanz und bei gegebener Versorgungsspannung möglichst hohe Leistung erzielt werden muss (z. B. Autoradios).<sup>1</sup>



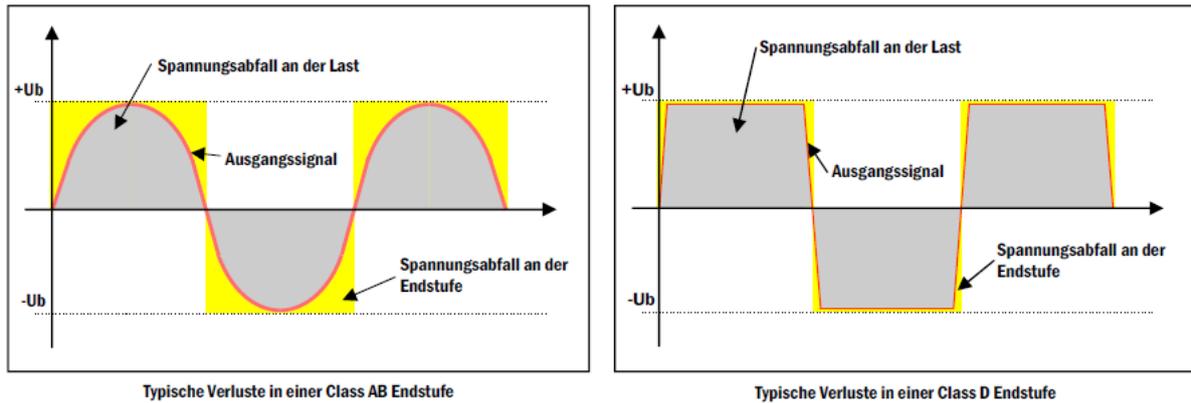
Beim Brücken zweier Endstufen wird mittels einer Phasenumkehrstufe für eine der beiden Endstufen die Phase eingangsseitig um 180 Grad gedreht. Diese Endstufe arbeitet dann spiegelverkehrt zur anderen. Ihr ausgangsseitiger Pluspol wird dann zu einem um 180 Grad phasengedrehten Minuspol (nicht zu verwechseln mit dem Masseanschluss, der immer wieder falsch als Minuspol bezeichnet wird!). Somit stehen ausgangsseitig zwei potentialführende Klemmen (meist die beiden Roten) zur Verfügung, zwischen denen der Lautsprecher angeschlossen (gebrückt) wird. Die Masseanschlüsse werden nicht mehr verwendet!

**Klasse-D-Verstärker (Verstärker im Schaltbetrieb):** Analoge Leistungsverstärker können auch mithilfe von Schaltverstärkern aufgebaut werden. Dabei wird ein analoges Signal mit einem PWM-Modulator in ein pulswidenmoduliertes Schaltsignal umgewandelt, das mit hoher Frequenz (Frequenz von ca. 250 kHz entsprechend einer Frequenzauflösung von 96 kHz Samplerate) große Leistung ein- und ausschaltet. Ein Tiefpass-Filter entfernt die unerwünschten Schaltfrequenzanteile und rekonstruiert das gewünschte zeitkontinuierliche Nutzsignal. Diese Methode bezeichnet man bei Audioverstärkern als Digitalendstufe, deren Wirkungsgrad erheblich höher ist als bei Klasse-AB- und -B-Verstärkern.



**Vorteile:**

Class-D-Verstärker zeichnen sich sowohl bei Netz- als auch bei Batteriebetrieb durch sparsameren Verbrauch und geringere Abwärme aus. Da somit kleinere Kühlkörper, bei integrierten Schaltungen sogar ein Verzicht auf Kühlkörper möglich sind, ergibt sich ein kompakterer Aufbau.



Quelle: <http://www.widatec.com/CAE.pdf>

#### Nachteile:

Um einen Kurzschluss durch gleichzeitiges Schalten beider Transistoren auszuschließen, wird zwischen den Schaltzyklen eine zwangsweise Zeitverzögerung, die sog. *Deadtime* eingefügt. Durch diese Verzögerung kommt es sowohl in der Frequenz-, als auch in der Quantisierungsauflösung zu Verlusten sowie durch die damit bedingte Verfälschung des Signals zu einem erhöhten Klirrfaktor (THD) des Verstärkers.

Bei nicht rückgekoppelten Class-D-Verstärkern, bei denen also etwaige Störsignale im Ausgang nicht gegengesteuert werden, kommt es durch lastbedingte Schwankungen der Versorgungsspannung durch Über- und Unterschwingen der Halbbrücken zu Verzerrungen des Ausgangssignals, da die Versorgungsspannung sowohl die Verstärkerschaltung, als auch die Last an sich versorgt.

Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Verst%C3%A4rker\\_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Verst%C3%A4rker_(Elektrotechnik))