

www.tube-town.de

BIAS-Einstellung

Edition 5 / Januar 2007

D. Munzinger

Vorwort

Es kann nicht oft genug gesagt werden: Röhrenverstärker arbeiten mit Spannungen bei denen Lebensgefahr besteht. Auch wenn sie ausgeschaltet und vom Netz getrennt sind, können Kondensatoren immer noch genügend Ladung gespeichert haben, die zu schmerzhaften und gefährlichen Verletzungen führen kann. Zusätzlich zur Gefahr für das eigene Leben besteht bei unsachgemäßer Handhabung auch eine erhebliche Gefahr für den Verstärker.

Ein gründliche Lektüre dieser Dokumentation vor Arbeitsbeginn ist von daher sehr sinnvoll. Danach sollte man sich ganz offen die Frage stellen: "Bin ich in der Lage die Einstellung selbst vorzunehmen oder gehe ich lieber zu einem Fachmann?"

Ehrlichkeit ist hier oberstes Gebot, eine Selbstüberschätzung kann schnell zu fatalen Fehlern führen.

Ist man sich unsicher, ist der Gang zu einem Techniker auf alle Fälle vorzuziehen.

Die in der Praxis im Zusammenhang mit Einstellarbeiten an Röhrenverstärkern aufkommenden Fragen können mit dieser Dokumentation nicht alle beantwortet werden. Für weitergehende Fragen empfiehlt sich daher das Technik-Forum auf der Homepage von www.tube-town.de.

Ein Blick in das Forum – auch unter Zuhilfenahme der Suchfunktion – bringt sicher weitere Klarheit und wenn die Frage doch noch nicht beantwortet wurde, dann kann man diese selbstverständlich auch dort einstellen ;-)

... und nun viel Spaß in der Welt der Röhrentechnik.

Bias-Einstellung - was ist das ?

Die Röhre ist ein Bauteil, das einem gewissen Verschleiß unterworfen ist. Sie arbeitet nicht ewig mit voller Leistung und Zuverlässigkeit sondern bau im Lauf der Zeit ab – sie altert.. Sie kann konstruktionsbedingt komplett ausfallen, zum Beispiel durch einen Heizfadenbruch oder durch einen internen Schluss oder durch Verlust des Vakuums. Ein Austausch der Röhre wird dann notwendig.

Die Vakuumröhre hat jedoch sehr viele Vorteile: als Hauptvorteil gilt natürlich der Klang selbst. Dieser wird als für das menschliche Ohr sehr angenehm empfunden und kann mit Transistortechnik nur schwierig oder gar nicht nachempfunden werden. Und durch den einfachen Austausch von Röhren lässt sich der Grundklang des Verstärkers umfangreich beeinflussen. Auch dies ist mit Transistortechnik kaum möglich und setzt meist umfangreiche Umbaumaßnahmen voraus.

Während Vorstufenröhren meist einfach und unproblematisch ohne weitere Einstellungen ausgetauscht werden können, ist nach dem Tausch der End- bzw. Leistungsröhren oft umfangreiches Einstellen notwendig - aber auch hier gibt es Ausnahmen. Verfügt der Verstärker über eine sogenannte Auto-Bias-Schaltung, über Kathodenbias oder über eine fest vorgegebene Bias-Spannung, so ist das Einstellen des Bias nicht notwendig bzw. erst gar nicht möglich.

Erst ein richtig eingestellter Röhrenverstärker bringt den Sound, den man von einem solchen Gerät erwartet und stellt zudem sicher, dass die Röhren lange ihren Dienst verrichten und das Gerät keinen Schaden nimmt.

Mit dem Bias wird der Strom, der durch eine Röhre fließt, gesteuert und der Arbeitspunkt der Röhre definiert um ein sofortiges Ansprechen der Röhre beim Anlegen eines Signals sowie dessen saubere Übertragung zu gewährleisten. Man kann dies zur Illustration auch mit der Leerlaufdrehzahl eines Motors vergleichen.

Die Art des Arbeitspunktes und der Einstellung hängt vom Verstärkertyp ab.

Im NF-Verstärkerbereich für musikalische Instrumente, Studio, HiFi und HighEnd Verstärker findet man in der Regel nur zwei grundlegende Verstärkertypen: Class A und Class AB - auch bezeichnet als Gegentakt-Schaltung oder Push-Pullschaltung. Diese Schaltungsarten sind in der Praxis mehr oder weniger stark erweitert und modifiziert, basieren aber alle auf den jeweiligen Grundschaltungen.

Grundlegend lässt sich zusammenfassen, dass mittels der Bias-Einstellung der Stromfluss durch die Röhre voreingestellt wird, wodurch der Arbeitspunkt der Röhre definiert wird. Dies gewährleistet einen zuverlässigen Betrieb der Röhren und eine saubere Wiedergabe des Tonsignals. Ohne Einstellung der Röhren kann es dagegen zu einem erhöhten Brummen, anderen Störgeräuschen sowie auch zu einem verzerrtem Ausgangssignal kommen.

Vorbereitung

Um den Verstärker richtig einstellen zu können müssen mehrere Parameter bekannt sein:

- ✓ Art des Verstärkers (Class A oder Class AB)
- ✓ Höhe der Anodenspannung
- ✓ Typ der verwendeten Röhren

Über den Röhrentyp wird die sogenannte Anodenverlustleistung festgelegt. Sie ist zur Berechnung des Ruhestroms notwendig. Die Bias-Einstellung muss in der Regel auch nur bei Endröhren, also in der Endstufe selbst erfolgen; Vorstufenröhren werden normalerweise alle über Kathodenwiderstände automatisch auf einen definierten Arbeitspunkt eingestellt. Jegliche Einstellarbeiten sollten immer mit angeschlossener Last durchgeführt werden. Diese Last kann entweder ein Lautsprecher oder eine Dummy-Last (Leistungswiderstand) sein. Fehlt diese Last besteht die Gefahr, dass der Ausgangsübertrager zerstört wird.

Sicherheitshinweis

Röhrenverstärker arbeiten mit sehr hohen Spannungen. Da die Ruhestrom-Einstellung „unter Spannung“ durchgeführt werden muss, besteht bei unsachgemäßer Handhabung LEBENSGEFAHR. Wer keine Erfahrung im Umgang mit so hohen Spannungen hat sollte sich deshalb besser an einen Fachmann wenden.

Ferner wird die Verwendung eines Trenntransformators empfohlen, welcher zwar keinen 100% Schutz darstellt, aber zumindest eine Trennung zum Erdpotential ermöglicht sowie die Absicherung durch einen FI (Fehlerstromschutzschalter).

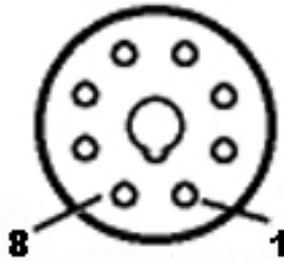
Anodenspannung

Um die Anodenspannung des Verstärkers festzustellen, sollte diese direkt am Röhrensockel der Endröhren gemessen werden. Bei den gängigen Oktalsockeln wird diese zwischen Pin 3 und Pin 8 mittels eines Voltmeters gemessen. Dadurch wird sicher gestellt, dass die wirklich anstehende Spannung erfasst wird und keine Verfälschung durch vorgeschaltete Bauteile erfolgt.

Am einfachsten lässt sich diese Spannung messen, indem man die Endröhren entfernt und „von ob“ im Sockel misst (Messbereich auf Gleichspannung stellen). Die gemessene Spannung liegt dann im Normalbetrieb – also unter Last - etwas tiefer als im Leerlauf; bei 450 Volt ohne Last kann man in der Regel von 420-430 Volt unter Last ausgehen.

Die ganzen Werte sind nicht zu eng zu sehen, da die Speisespannung selbst, also die Spannung aus der Steckdose, von Region zu Region und von Tag- und Nachtzeit unterschiedlich stark schwanken kann.

Hier noch der Blick von oben auf den Röhrensockel:



Röhrentyp

Die Feststellung des verwendeten Röhrentyps gestaltet sich meist sehr einfach, da dieser entweder dokumentiert oder auf den Endröhren selbst aufgedruckt ist.

Verstärkertyp

Die Feststellung des Verstärkertyps kann hingegen schon etwas komplizierter werden. Üblicherweise sollte er in den Unterlagen angegeben sein, die dem Verstärker beiliegen oder über den Hersteller selbst in Erfahrung gebracht werden. Allerdings gibt es Hersteller, die es mit dieser Angabe nicht ganz genau nehmen. Dies ist aber die Ausnahme.

Allgemein kann man sagen, dass bei Verstärkern mit hoher Leistung eine Gegentakt-schaltung / Class AB vorliegt, bei Verstärkern mit geringer Leistung meist eine reine Class A Schaltung Verwendung findet. Falls die Leistung des Verstärkers bekannt ist kann man hieraus auch ein paar Rückschlüsse ziehen:

Ein 50 Watt Verstärker mit zwei 6L6 oder EL34 ist ebenso wie ein 100 Wattverstärker mit vier 6L6 oder EL34 Gegentakt. 100 Watt mit zwei KT88 ist ebenfalls sehr extrem und auf alle Fälle Gegentakt. Ein kleiner Fender-Verstärker mit einer 6V6 und 3 Watt Leistung arbeite in Class A Betrieb. Den Class A Betrieb findet man sehr oft im Audio/Highendbereich, weniger im Gitarren- oder Bassverstärkerbereich. Hier wird heutzutage primär auf Class AB also Gegentakt gesetzt.

Ermittlung des Soll-Wertes

An dieser Stelle setzen wir voraus, dass der einzustellende Verstärker ein Class AB / Gegentaktverstärker ist. Nachdem die Anodenspannung und der verwendete Röhrentyp bekannt ist, lässt sich aus Tabelle 1 der Minimal- und Maximalwert des Ruhestroms ablesen, auf den der Verstärker eingestellt werden sollte.

Selbstverständlich kann man die benötigten Werte auch selbst berechnen. Die Formeln hierzu sind weiter unten im Zusatzkasten aufgeführt.

Messung des Ruhestromes

Um den Verstärker einstellen zu können muss natürlich der Ruhestrom gemessen werden, der durch die Röhren fließt. Da Strom nicht so einfach zu messen ist wie Spannung muss man sich hierbei verschiedener Tricks bedienen um den Wert in

Erfahrung bringen zu können. Diese sind im folgenden Text aufgeführt.

Widerstandsmessverfahren

Die Messung des Ruhestroms erfolgt in der Praxis meist unter Zuhilfenahme eines Messwiderstandes. Dieser Widerstand ist direkt in die Kathodenleitung eingelötet und hat einen Wert von 1 Ohm / 2 Watt mit sehr geringer Toleranz.

Über diesem Widerstand kann ein Spannungsfall gemessen werden, welche bei einem 1 Ohm Widerstand aufgrund des „Ohmschen Gesetzes“ gleich dem Strom durch die Röhre ist.

Etwas Theorie...

Das ohmsche Gesetz besagt

$$R = U / I \quad (R = \text{Widerstand, } U = \text{Spannung, } I = \text{Strom})$$

woraus folgt, dass I – also der Strom – der Regel:

$$I = U / R$$

entspricht. Da der Messwiderstand einen Wert von 1 Ohm hat, ist der Spannungsfall, der über dem Messwiderstand gemessen wird dem Strom gleichzusetzen.

In der Praxis sieht das dann so aus, dass das Messgerät auf einen Spannungsmessbereich einzustellen (Beispiel: 200 mV) und parallel zum Messwiderstand anzusetzen ist. Wird nun ein Wert von 40 mV gemessen, so entspricht dieser auch genau dem Strom – also 40 mA.

Bewegt sich der gemessene Wert außerhalb des zulässigen Bereiches, muss die Vorspannung nachgeführt werden bis der Ruhestrom korrekt ist – normalerweise mittels dafür vorgesehene Potentiometer.

Besitzt man einen Verstärker, der nicht über solch eine Einstellmöglichkeit verfügt, kann man diese nachträglich einbauen (lassen).

Hilfsmittel

Besitzt man einen Verstärker, bei dem vom Hersteller keine Messmöglichkeit vorgesehen ist (Messwiderstand in der Kathodenleitung) kann man diese selbst nachrüsten. Dies kann aber besonders schwierig bei Verstärkern werden, die auf Platinen aufgebaut sind.



Eine Alternative stellt die Verwendung eines Messadapters da, der keinen Umbau des Verstärkers erfordert, aber dennoch die gleichen Messwerte liefert. Eine einfache, aber effektive Ausführung eines solchen Adapters ist auf dem Bild links unten zu sehen.

Mit solch einem Messadapter wird ebenfalls eine Spannung gemessen (Spannungsfall über dem Messwiderstand), die dem Kathodenstrom entspricht. Daneben gibt es auch Messadapter, die eine direkte Strommessung

zulassen. Diese können aber unter bestimmten Umständen zu Problemen, meist Instabilitäten im Verstärker führen, weshalb von diesen Adaptern abzuraten ist.

Alternative Ruhestrommessung über die Shunt-Methode

Nicht immer ist es möglich den Anoden- bzw. Kathodenstrom über einen Messwiderstand oder mit Hilfe von Messadaptern zu ermitteln. Ferner haben viele Verstärker auch keine eingebauten Messpunkte und man möchte diese auch nicht nachträglich einbauen, da der Verstärker auf Platinen aufgebaut ist oder sonstige Gründe dagegen sprechen.

In solch einem Fall kann man eine alternative Methode zur Strommessung durchführen, die sogenannte "Shunt Methode".

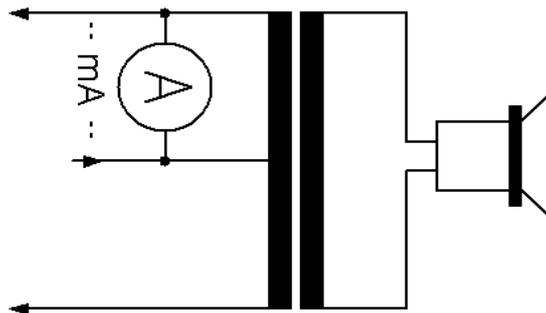
Das hierbei verwendete Amperemeter sollte von sehr guter Qualität sein und der Innenwiderstand des Messwerkes nahezu Null Ohm betragen, somit quasi einen Kurzschluss darstellen, da man sich die Tatsache zunutze machen möchte, dass der Strom immer den Weg des geringsten Widerstandes nimmt. Hierbei muss der Stromfluss der durch den Übertrager fließt durch das Messgerät umgeleitet werden.

Wichtig:

Diese Methode sollte nur von Personen durchgeführt werden, die eine entsprechende Sicherheit im Umgang mit diesen Strömen und Spannungen sowie der Messtechnik haben, da man hier ganz schnell einen echten Kurzschluss bauen und den Verstärker schädigen kann. Weiterhin muss wirklich sicher gestellt sein, dass das verwendete Messgerät von sehr guter Qualität ist, damit das Messergebnis nicht getreu dem Motto "wer misst, misst Mist" verfälscht wird – mathematisch könnte man sagen

$$R_{\text{Messgerät}} \ll R_{\text{Ausgangsübertrager}}$$

Zurück Messaufbau:



Das Messgerät wird auf den Amperebereich (200 mA) gestellt und parallel zu einer Hälfte des Ausgangsübertragers geschaltet - das ist in der Regel jeweils der Anschluss ganz außen zu dem Anschluss in der Mitte.

Bei manchen Transformatoren ist noch ein zusätzlicher Anschluss vorhanden, der zwischen dem äußeren und dem mittleren Anschluss liegt und auf die Schirmgitter der Röhre zurück geht. Dieser Anschluss ist selbstverständlich zu ignorieren!

Wenn das Messgerät wie beschrieben angeschlossen und der Verstärker angeschaltet ist und nicht auf Standby läuft, wird der Ruhestrom gemessen, der durch den Übertrager fließt und die Summe aller Ströme pro Röhrenseite darstellt.

Allerdings interessiert jetzt nicht primär die Summe, sondern der Ruhestrom, der durch eine Röhre fließt, da sich darauf die Berechnungen stützen. Hat man in seiner Class AB Endstufe nur ein Röhrenpaar so entspricht der gemessene Strom dem Strom durch eine Röhre; hat man allerdings eine Endstufe mit mehr als zwei Endröhren so ist der gemessene Wert durch die Anzahl der Röhren pro Seite zu teilen. Bei einer Bestückung mit vier Röhren wären pro Seite also zwei Röhren zuständig und der Messwert ist durch zwei zu teilen. Bei 6 Röhren muss durch 3 geteilt werden und bei 8 durch 4.

Die Nachteile

Auf den ersten Blick ist diese Art der Ruhestrommessung einfach und ohne zusätzlich Hilfsmittel durchzuführen. Allerdings hat sie auch gewisse Nachteile weshalb diese Art der Ruhestrommessung nicht sonderlich zu empfehlen ist.

Als erstes muss man nochmals betonen, dass das verwendete Messgerät von sehr guter Qualität sein muss. Ein einfaches Messgerät aus der Fundgrube um die Ecke ist hierbei die falsche Grundlage. Bei vielen Verstärkern lässt sich die Messspitze nur sehr schwer oder gar nicht am Transformator befestigen, weshalb man diese mit der Hand frei halten muss. Dies erhöht selbstredend die Gefahr eines Ausrutschers, was im besten Fall zu einer defekten Sicherung führt. Zur Not könnte man an den Ausgangsübertragern ein paar Lötösen anlöten um die Messspitzen zu befestigen.

Zu guter Letzt sollte man sich noch vor Augen halten, dass man hierbei immer den Gesamtstrom misst und nicht jede Röhre im einzelnen, weshalb Röhren, die ihre Werte verändert haben – oder auch defekt sind - nicht weiter auffallen.

Misst man z.B. 80 mA über dem Übertrager bei zwei Röhren pro Seite, so kann durch eine Röhre dennoch 50 mA und durch die andere 30 mA fließen – auffällig ist das bei dieser Messung erst einmal nicht ...

Dennoch gibt es Leute, die diese Messmethode bevorzugen und diese auch erfolgreich einsetzen – im Zweifelsfall ist das dem eigenen Geschmack überlassen ...

Eine weitere Alternative zur Shuntmethode

Doch es gibt noch eine weitere Art der Messung, welche ähnlich aufgebaut ist wie die ie Shunt-Methode, primär aber dadurch sicherer ist, dass statt Strom einen Spannung gemessen wird. Hierbei wird zuerst bei ausgeschaltetem Verstärker UND entladenen Elkos der reine Ohmsche Widerstand einer Wicklungshälfte des Ausgangsübertragers gemessen, also von Mittelanzapfung zum Wicklungsanfang.

Danach wird der Verstärker in Betrieb genommen und der Spannungsfall über der einen Hälfte des übertragers gemessen. Der Messaufbau entspricht dem von der Shunt-Methode weiter oben, nur statt des Amperemeters wird an genau dieser Stelle ein Voltmeter verwendet.

Da es durch den ohmschen Widerstand, den ein Übertrager immer hat, zu einem Spannungsfall kommt, wird über diese Werte dann der Strom errechnet.

Summe Ruhestrom [I] = Spannungsfall über Übertrager [U] / Widerstand Übertragers [R]

Aber auch hier gilt, dass der gemessene bzw. errechnete Strom dem Gesamtstrom durch alle Röhren pro Übertragerseite entspricht und dieser erst nochmals durch die Anzahl der vorhanden Röhren pro Seite geteilt werden muss, um den Strom pro Röhre zu ermitteln. Alternativ lässt sich auch der Soll-Ruhestrom mit der Anzahl der vorhandenen Röhren multiplizieren und das Produkt als Basis für die Einstellung verwenden.

Einstellwerte für Class AB / Gegentakt

Nachdem man sich für eines der Messverfahren entschieden und alles soweit vorbereitet hat, steht der eigentlichen Einstellarbeit nichts mehr im Weg. Doch der wichtigste Parameter fehlt noch und zwar der Wert, auf den der Ruhestrom eingestellt werden soll. Dieser lässt sich entweder einfach errechnen oder aber der weiter unten aufgeführten Wertetabelle entnehmen.

Wird die Röhre auf die Werte eingestellt, die in dieser Tabelle aufgeführt sind, so kann man davon ausgehen, dass die Röhre in einem stabilen Bereich arbeitet. Sie wird auch nicht unnötig stark belastet, was sich auf die Lebensdauer positiv bemerkbar macht. Um aber das Feintuning durchzuführen, sollte man die Röhre auf verschiedene Werte innerhalb des zuverlässigen Bereiches einstellen und hören was besser gefällt. Die Unterschiede können von kalter zu heißer Einstellung je nach Verstärker doch sehr unterschiedlich sein.

Wie man anhand der Formel sehen kann, ist der Maximalwert auf 70 % der absoluten zulässigen Leistung definiert. Das bedeutet, dass immer noch ca. 30% Reserve nach oben besteht. Die Praxis hat gezeigt, dass sich der Klang nur noch sehr gering ändert, wenn man über diese 70% Grenze geht, sich andererseits die Lebensdauer der Röhren doch erheblich stärker verkürzt. Dies sollte aber nicht davon abhalten auch mal eine 80% oder 90 % Einstellung zu testen, um dann selbst zu entscheiden.

In der Tabelle ist jeweils ein Wertepaar angegeben, das den minimal und maximal zulässigen Ruhestrom pro Röhre bei einer bestimmten Anodenspannung definiert.

Beispiel: der verwendete Verstärker arbeitet mit einer Anodenspannung von 500 V und verwendet EL34 Röhren. Dies würde laut Tabelle einen Einstellbereich von 25 – 35 mA bedeuten.

Röhrenformeln für Push-Pull / Gegentaktverstärker

Die Berechnung der Wertebereiche für die Ruhestromeinstellung hat nichts mit Hexerei zu tun, sondern erfolgt auf einfachste Art:

AV = Anodenverlustleistung in Watt

AS = Anodenspannung in Volt

Minimalwert [mA] = $(AV * 500) / AS$

Maximalwert [mA] = $(AV * 700) / AS$

BIAS-Einstellwerte für Push-Pull / Class AB Verstärker

Anodenspannung [V]	[mA]	250	300	350	400	450	500	550	600	MPI[W]
Typ										
6550 SED	Min.	70	58	50	44	39	35	32	29	35
	Max.	98	82	70	61	54	49	45	41	
6550 EH	Min.	84	70	60	53	47	42	38	35	42
	Max.	118	98	84	74	65	59	53	49	
EL34	Min.	50	42	36	31	28	25	23	21	25
	Max.	70	58	50	44	39	35	32	29	
KT77 JJ	Min.	50	42	36	31	28	25	23	21	25
	Max.	70	58	50	44	39	35	32	29	
6L6 25 W	Min.	50	42	36	31	28	25	23	21	25
	Max.	70	58	50	44	39	35	32	29	
6L6 GC 30 W	Min.	60	50	43	38	33	30	27	25	30
	Max.	84	70	60	53	47	42	38	35	
6V6 JJ	Min.	28	23	20	18	16	14	13	12	14
	Max.	39	33	28	25	22	20	18	16	
6V6	Min.	20	17	14	13	11	10	9	8	10
	Max.	28	23	20	18	16	14	13	12	
KT66	Min.	50	42	36	31	28	25	23	21	25
	Max.	70	58	50	44	39	35	32	29	
KT88 JJ	Min.	84	70	60	53	47	42	38	35	42
	Max.	118	98	84	74	65	59	53	49	
KT88	Min.	80	67	57	50	44	40	36	33	40
	Max.	112	93	80	70	62	56	51	47	
EL84	Min.	24	20	17	15	13	12	11	10	12
	Max.	34	28	24	21	19	17	15	14	

Heiß und Kalt

Im Zusammenhang mit der Ruhestromeinstellung wird oft von „heißer“ und „kalter“ Einstellung gesprochen.

Wird ein Verstärker „heiß“ eingestellt, dann bedeutet das, dass sich der Ruhestrom am oberen Maximalwert des zulässigen Wertebereichs bewegt – bei „kalter“ Einstellung umgekehrt.

Unter Umständen sind die klanglichen Ergebnisse, die mit einer „heißen“ Einstellung erreicht werden, sehr gut: der Verstärker klingt voller und dynamischer. Allerdings wirkt sich dies direkt auf die Lebensdauer der Röhren aus – sie wird sich verkürzen! Wenn man sich also entschlossen hat, den Verstärker im oberen Strombereich zu betreiben, muss man auch bereit sein, die Röhren öfters zu wechseln.

Durch eine „kalte“ Einstellung wird das genaue Gegenteil erreicht, allerdings kann es dann sein, dass der Verstärker etwas dünn und lustlos klingt. Aber im Endeffekt entscheidet – wie so oft – der eigene Geschmack (und der Geldbeutel)

Class A Verstärker

Verstärker, die auf Basis von Class A aufgebaut sind, sind oft im Audio- und Highend Bereich anzutreffen. Der Anteil an reinen Class-A Verstärkern bei Gitarren- und Bassverstärkern ist dagegen eher gering, da im Vergleich zu Class AB nur eine sehr geringe Ausgangsleistung erzielt wird bzw der Aufwand für hohe Ausgangsleistungen weit aus aufwendiger ist als mittels Gegentaktschaltungen.

Anders als bei Class AB wird beim Class A Verstärker ein Arbeitspunkt errechnet, auf den dann die Röhre eingestellt wird. Dies hängt mit der eigentlichen Funktionsweise dieser Schaltung zusammen.

Ermittelt wird dieser Arbeitspunkt mit der Formel:

$$\text{Anodenverlustleistung [W]} / \text{Anodenspannung [V]} = \text{Strom [A]}$$

Beispiel: wird ein Class-A Verstärker mit einer EL34 betrieben, an der eine Anodenspannung von 250 V anliegt, so ist die maximale Anodenverlustleistung bei einer EL34 auf 25 Watt festgelegt.

Hieraus ergibt sich:

$$25 \text{ W} / 250 \text{ V} = 0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$$

Somit ist der Ruhestrom dieser Röhre auf 100 mA einzustellen. Das Messen des Ruhestroms selbst verhält sich analog zu dem bereits vorgestellten Messverfahren.

Stabile Einstellungen

Besonders neue Röhren benötigen eine gewisse Zeit – meist mehrere Betriebsstunden – bis diese stabil arbeiten und der Arbeitspunkt nicht mehr verläuft. Werden bei einem Verstärker neue Endstufenröhren eingesetzt, sollte man sich daher mit der Einstellung ein paar Stunden Zeit lassen, damit man den optimalen und stabilen Arbeitspunkt findet. Hierzu bietet es sich an, nach dem Röhrentausch die neuen Röhren grob auf den ermittelten Wert einzustellen und die Endstufe ca. einen halbe Stunde – besser auch eine Stunde – unter Last zu betreiben.

Danach erfolgt der zweite Mess-/Einstellgang mit anschließendem erneuten Lastbetrieb für ca. eine halbe bis eine Stunde. Daran sollte sich dann der abschließende Mess-/Einstellgang anschließen, der dann zu einem stabilen Arbeitspunkt führen sollte. Zur Sicherheit führt man nach einigen Betriebsstunden eine weitere Kontrolle durch.

Ist selbst nach mehreren Mess-/Einstellgängen kein stabiler Arbeitspunkt erreicht, kann es durchaus möglich sein, dass eine Röhre defekt ist. Dies ist zwar selten, kann aber in der Praxis schon mal vorkommen.

Eine regelmäßige Überprüfung des Arbeitspunktes ist auch dann empfehlenswert, wenn die Röhren nicht getauscht wurden. Richtwert ist bei normalem Betrieb jedes halbe bis ganze Jahr. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf den Klang, sondern auch auf die Lebensdauer der Röhre aus.

Röhrenauswahl

Da die auf dem heutigen Markt verfügbaren (Gitarren/Bass)-Röhrenendstufen meist nur über eine Bias-/Ruhestromeinstellmöglichkeit für alle Endröhren verfügen, ist beim Röhrenwechsel darauf zu achten, dass wieder ausgemessene Röhren verwendet

werden. Diese Röhren sind von ihren elektrischen Eigenschaften her ähnlich und werden meist als „matched“ oder „selected“ Sets angeboten.

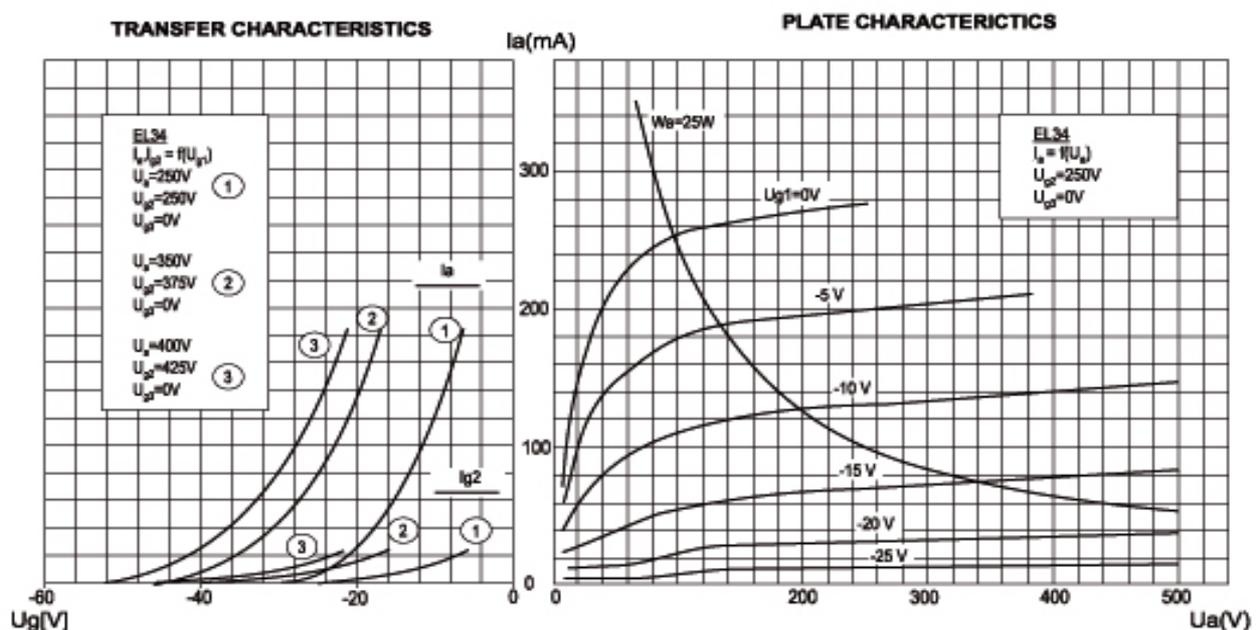
Als Besitzer eines Verstärkers, der die Ruhestromeinstellung pro Röhre zulässt, ist man auf diesen Zwang nicht angewiesen und kann unselektierte Röhren verwenden. Dennoch ist es auch hier ratsam zumindest Röhren zu verwenden, die nahe bei einander liegen.

Wichtig: Bei einem Röhrendefekt sollte unbedingt der komplette Röhrensatz pro Kanal ausgetauscht werden - die Wahrscheinlichkeit für weitergehende Defekte am Verstärker ist sonst stark erhöht!

Ein Wort zur Praxis

Wie das in der Elektrotechnik und Elektronik so üblich ist, liegen Theorie und Praxis leider oft weit auseinander. Dies hängt primär damit zusammen, dass die einzelnen Bauteile unterschiedlich große Toleranzen aufweisen und nie "ideal" arbeiten – ideale Bauteile gibt es nur auf dem Papier.

Verstärkerröhren stellen hierbei keine Ausnahme da – ganz im Gegenteil. Eine Verstärkerröhre arbeitet NIE linear sondern weist IMMER eine mehr oder weniger starke Krümmung der Arbeitslinie auf, wie man den Datenblättern entnehmen kann, hier am Beispiel einer EL34:



Der für die Praxis interessante Arbeitsbereich liegt dort, wo die Kennlinie die geringste Krümmung aufweist und "nahezu" linear arbeitet, aber dennoch nicht die zulässige Leistung der Röhre überschreitet. Im Diagramm rechts wäre dies der linke Bereich vor der 25 Watt Linie zum Beispiel auf der -15 V Linie ab ca. 120 V Anodenspannung. Im direkten Vergleich hierzu weist die -5 V Linie eine weitaus stärkere Krümmung im zulässigen Bereich auf und wird erst jenseits der 25 W Grenze linear, aber da ist es zu spät und die Röhre ist reichlich überlastet, was sich durch rot glühende Anodenbleche zeigen sollte.

Doch damit nicht genug, denn jede Röhren, auch wenn diese vom gleichen Typ und Hersteller ist, verhält sich nochmals etwas anders, als alle anderen Röhren. Sprich die Arbeitslinien verschieben sich immer etwas zueinander und haben auch nie den

gleichen Verlauf – ähnlich wie bei einem Fingerabdruck: es gibt nie einen genau gleichen zweiten Abdruck.

Auch andere Bauteile nehmen im Signalweg der Röhre zusätzlich Einfluss auf die Arbeitsweise, wie zum Beispiel der Ausgangsübertrager, der ohmsche und induktive Widerstände aufweist. Auch bei den Ausgangsübertragern wird es nie zwei absolut identische Exemplare geben. Hier weisen selbst die beiden Primärwicklungen bei einem Gegentaktübertrager normalerweise unterschiedliche Widerstandswerte und Impedanzen auf.

Auch die Schirmgitterwiderstände können durch unterschiedliche Toleranzen einen Einfluss nehmen und können zu Unterschieden beim Ruhestrom führen, der die Summe aus Anodenstrom und Schirmgitterstrom darstellt. Wenn bei einer Röhre der Strom durch das Schirmgitter 5 mA und bei einer anderen 7 mA bei gleichem Anodenstrom beträgt, so ergibt das messtechnisch schon mal eine Abweichung von 2 mA und hier schließt sich auch der Kreis: man wird in der Praxis NIE alle Endröhren auf den gleichen Ruhestrom einstellen können, auch nicht bei noch so gut gematchten Röhren und bei einem Bias-Potentiometer pro Röhre. Was also tun ?

Wenn für jede Röhre ein Bias-Potentiometer vorhanden ist, lassen sich die Röhren nahezu auf den gleichen Wert einstellen, wobei auch hier nie eine Punktlandung möglich ist und sich die Werte mit fortschreitender Erwärmung, Belastung und Alterung der Röhre auch wieder etwas ändern.

Etwas problematischer wird die Sache bei Verstärkern, die nur ein gemeinsames Bias-Potentiometer haben. In diesem Fall bietet es sich an, die Röhren auf einen Mittelwert einzustellen, wobei hierbei mit einer größeren Abweichung zu rechnen ist, was aber – besonders bei Gitarrenverstärkern – nicht weiter tragisch ist.

In der Praxis können die Endröhren dann schon mal 5 mA auseinander liegen, aber der Verstärker funktioniert dennoch problemlos. Nehmen wir an der „beste“ Arbeitsbereich liegt bei 35 – 40 mA, dann sollte man die Röhren so einstellen, dass sich diese alle innerhalb dieses Arbeitsbereiches befinden. Wichtiger ist hierbei darauf zu achten, dass die maximale Anodenverlustleistung nicht überschritten wird, da diese um ein Vielfaches gefährlicher ist als ein paar mA Unterschied im Ruhestrom.

Ein weiteres Problem, das in der Praxis häufig vorkommt ist, dass sich die Röhren nicht in den zulässigen Arbeitsbereich einstellen lassen, weil der Regelweg des Potentiometers nicht ausreichend groß ist und die Röhren zu viel Strom ziehen. In diesem Fall gilt es zu prüfen wie stark der zulässige Strom überschritten wird und dann abzuwägen, ob dies noch vertretbar ist oder nicht. Wie bereits erwähnt, decken die in der Wertetabelle weiter vorne aufgeführten Werte einen Bereich von 50 – 70 % der zulässigen Leistung ab, was bedeutet, dass bis zur absoluten Belastungsgrenze immer noch 30 % Reserve vorhanden sind. Liegt die Röhre bei einer Belastung von 80 % oder 90 %, befindet sich diese immer noch innerhalb des zulässigen Leistungsbereiches, wird aber eben schneller abbauen.

Wird hingegen die 100% Grenze überschritten, sollte man die Röhren entweder durch Exemplare austauschen, die weniger Strom ziehen oder den Bias-Poti bzw. den Zweig der Bias-Spannung ändern, sodass hier ein größerer Einstellbereich zur Verfügung steht. Dies bedeutet in der Praxis oft nur den Austausch des Potis und eines weiteren Widerstandes, ist vom Aufwand gering und die Sache auf alle Fälle wert.