

Friedrich Hunold

# High-End Röhrenschtaltungen



## So bauen Sie:

- Professionelle High-End Ein- und Gegentaktverstärker mit NOS-Röhren
- Röhren-Gegentaktverstärker für elektrostatische Lautsprecher
- Verstärker in O-Volt-Technik

**FRANZIS**

Friedrich Hunold

# **High-End Röhrensaltungen**



Friedrich Hunold

# High-End Röhrenschaltungen



## **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

## **© 2007 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing**

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträger oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlages gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

**Satz:** DTP-Satz A. Kugge, München

**art & design:** [www.ideehoch2.de](http://www.ideehoch2.de)

**Druck:** Legoprint S.p.A., Lavis (Italia)

Printed in Italy

**ISBN 3-7723-5207-3**

## Seven years ago ...

Seit meinem ersten vergammelten Röhrenradio, welches ich nach Hause schleppte, ist meine Familie toleranter geworden. Schlimmer kann es nicht mehr werden. Meine Frau nimmt deshalb jede neue Verstärkerplanung sehr gelassen hin, hat sie doch auch die Vorteile erkannt: sobald ein neuer Röhrenverstärker oder eine neue Lautsprecherbox im Wohnzimmer aufgestellt wird, wird es von Grund auf gereinigt. Ja was denn? Wenn ich schon das ganze Wohnzimmer auf den Kopf stelle, um den optimalen Platz für den neuen Gast zu finden, dann kann ich doch mal eben durchputzen. Oder etwa nicht?

Und damit mein Hobby auch weiterhin auf Gegenliebe stößt, übe ich mich deshalb auch als Raumaustatter und dekoriere zusätzlich mit mehr oder minder ausgefallenen Accessoires mit ebenfalls mehr oder minder großem Erfolg. Und so kommt es, dass es bei uns im Wohnzimmer nie langweilig wird. Nur die Sache mit den alten Röhrenfernsehern aus dem TV-Holozän will noch nicht ganz den Geschmack der Familie treffen. Ein an die Wand genageltes Computer-Motherboard hingegen ist soweit in Ordnung. Auch das in Acryl verpackte alte Röhrenradio (irreperabel bis auf die Röhrenheizung) geht noch gerade so eben durch. Aber halten wir uns nicht mit solchen Nebensächlichkeiten auf.

Röhrenverstärker sind bei mir nie endgültig. Ständig wird etwas geändert, herumgebastelt oder modifiziert und diese Änderungen werden dokumentiert und sorgfältig archiviert. Bei der Arbeit an diesem Buch kam mir dieses private Archiv deshalb sehr gelegen. Und wenn mal nicht an einem Verstärker gebastelt wird, wird darüber Musik gehört. Und so ist dieses Buch eine Essenz aus meinen Aufzeichnungen. Die Raumaustattungs-Ideen dagegen verkaufe ich an RTL.

Seit meinen Büchern „Hören mit Röhren“ und den „Röhrenschaltungen“ (beide Bücher aus dem Pflaum-Verlag) hat sich also viel getan. Auch der Nachwuchs ist älter geworden. Man hört nun nicht mehr Puuh-Bär-Cassetten, sondern beteiligt sich aktiv am häuslichen Musikgeschehen mit Achim Reichel, den Toten Hosen, Metallica, diversen Sampler-CDs (aktuelle Hits) oder was man sonst noch so in Papas CD-Schrank findet. Da das Klanggeschopper der Kompaktanlage nun aber wirklich nicht der Bringer ist und die lieben Kleinen durch Papas Hobby anspruchsvoll geworden sind, zielt das Jugendzimmer nun ein 15-W-Gegentakt-Röhrenverstärker, dem im Bassbereich „etwas“ auf die Sprünge geholfen wurde. Dieser versorgt nun ausgewachsene 100-cm-Standboxen. Sind Sie schon einmal morgens „versehentlich“ von Metallica (Wiskey in the Jar) oder AC/DC (Heatseeker) geweckt worden?

Nach allen Regeln der Kunst versuchte nun der Franzis-Verlag mich also für ein drittes Buch zu überreden. Ich gebe zu, ich habe mich sehr lange geziert, weil meine Lebensplanung doch etwas anders aussah. Da Sie jetzt diese Zeilen lesen, wissen Sie wer gewonnen hat. Und da meine Frau dieses Projekt ebenfalls befürwortet hatte, glaube ich eher an einen handfesten und ganz gemeinen Komplott.

# Inhalt

<b>Einführung</b> .....	9
<b>Röhren müssen glühen!</b> .....	10
<b>1 HighEnd und Emotionen</b> .....	12
1.1 Dämpfungsfaktor .....	14
1.2 Gegenkopplung .....	19
1.3 Das Netzteil .....	27
1.4 Wieviel Watt? .....	30
1.4.1 Röhren müssen klingen .....	33
<b>2 Verdrahtungs- und Aufbauhinweise</b> .....	34
2.1 Masseverbindungen .....	36
2.2 Chassis .....	39
<b>3 Altes Konzept, neu aufgelegt</b> .....	40
10-W-Gegentaktverstärker mit 6V6 von RCA .....	40
35-W-Gegentaktverstärker mit EL34 von Dynaco .....	43
70-W-Gegentaktverstärker von Heathkit .....	48
3-W-Eintaktverstärker mit EL8 .....	54
<b>4 Kleine Tricks für einen besseren Klang</b> .....	58
<b>5 Professionelle HighEnd-Verstärker</b> .....	67
4,5-W-Single-Ended mit 2A3 .....	67
15-W-Single-Ended mit EL156 .....	70
15-W-Parallel-Single-Ended mit EL84 .....	73
20-W-Single-Ended mit 845 .....	75
80-W-Gegentaktverstärker mit 6146B .....	79
100-W-Gegentaktendstufe in 0-V-Technik .....	82
Konnichi wa Yamamoto – 4 W mit AD1 .....	89
<b>Bauteilebezug, Teile- oder Komplettbausätze aus diesem Buch</b> .....	92
<b>Röhrensockelbeschaltungen</b> .....	93
<b>Sachverzeichnis</b> .....	94





# Einführung

Wer sich so lange wie ich mit Röhrentechnik im Allgemeinen und Röhrenverstärkern im Besonderen beschäftigt, der kommt irgendwann an einen Punkt, wo man sich fragt: „War das alles?“

Und dann fängt man an, die vorherrschende Lehrmeinung in Frage zu stellen und völlig unbeeinflusst eigene Wege zu gehen. Auch die Gesprächspartner ändern sich bzw. der Kreis der „HiFi-Verrückten“ wird erweitert. Und dann stellt man fest, dass schon andere vor mir diesen Weg gegangen sind.

Die Rede ist von „Zen-HiFi“. Kurz gesagt geht es hier darum, HiFi bzw. HighEnd und alle daran beteiligten Komponenten in die Betrachtungsweise einer möglichst optimalen Abhörkette einfließen zu lassen, wobei eine wichtige Komponente immer wieder nicht beachtet wird: der Abhörraum. Die Stereoanlage mag noch so gut sein, es nützt nichts, wenn der Raum bestimmte Frequenzbereiche übermäßig dämpft oder sie verstärkt. Aber die Raummoden sollen hier nicht das Thema sein, sondern Röhrenverstärker.

Eines kann ich schon jetzt sagen: eine per se gute Abhörkette (oder gar einen Verstärker) gibt es nicht. Man hat höchstens die Grundlage geschaffen.

Und darum geht es in diesem Buch der HighEnd-Röhrenschaltungen. Es werden Schaltungen alter und neuerer Produktion vorgestellt, die teilweise „optimiert“ sind. Das ist kein Geheimnis (Sie werden schon noch erfahren, dass das eigentlich ein ganz altes Verfahren ist) oder gar Voodoo (darunter fällt alles, für das man keine Erklärung findet), sondern eigentlich nur das Vertrauen auf das eigene, subjektive Hörempfinden. Zen eben.

Sind Sie bereit?

# Röhren müssen glühen!

Auf der Suche nach „Zen-HiFi“ habe ich mich lange in der Weltgeschichte herumgetrieben. Virtuell (also via Internet) und real (nicht das Kaufhaus sondern diverse Besuche bei Röhren- und HiFi-Junkies). Die Zusammenkünfte erinnerten dabei – ob real oder virtuell – an geheime Bruderschaften. Lösungswort und Mutprobe (in Gestalt eines eigenen Verstärkers mit seltenen Röhren oder optimierten Verstärkern) inklusive.

Mehr oder weniger zufällig stieß ich bei diesen Treffen auch auf Händler, die wahre Schätze in Form von Elektronenröhren lagerten und diese auch (freiwillig) verkauften. Natürlich zu einem stolzen Preis, wobei sich der Stolz nach der Verfügbarkeit bzw. nach noch verfügbarem Bestand richtet. In einem Fall kam ich zu spät: etwa 50 EL503-Röhren haben knapp 24 Stunden zuvor den Besitzer gewechselt (zu einem äußerst fairen Preis übrigens).

Seltene Röhren üben auf bestimmte Spezies der Röhrenbastler einen gewissen Reiz aus. Nur sehr zögerlich bekam ich Einblick, womit man in diesen Kreisen so bastelt. Wer bei den fernöstlichen Kollegen (besser gesagt Leidensgenossen) mit der Tür ins Haus fällt, darf sich über mangelnde Kooperation nicht beklagen. Hier gibt es einen Ritus, den man unbedingt einhalten sollte, sonst redet man unter Umständen ein Leben lang über das Wetter anstatt über Röhrenverstärker. Kommt man diesen „erlauchten“ Kreisen dann näher, dann kann man (neue) Röhrenverstärker mit alten Wehrmachtsröhren, EL503, RV258, AD1 u. ä. entdecken. Der Anblick ist für den europäischen Röhrensammler nur bedingt empfehlenswert, werden hier doch historische und seltene Röhren sprichwörtlich verheizt.

Auch wer nur einmal kurz in diese Szene schnuppern möchte: Ehrgeiz, Geduld, Spaß an der Freud', ein guter finanzieller Background und der Mut, mit den letzten vier Röhren weltweit einen Verstärker zu bauen, sind unabdingbar.

Wenn Sie aber die Chance haben sich auf die Spuren des Zen zu begeben, sollten Sie nach Japan reisen. Und wenn Sie schon einmal da sind, dann suchen Sie bitte den kleinen Elektronikladen im Randbezirk Tokios auf, der, der Sage nach, noch Original Telefunken EL156 oder EL503 zu akzeptablen Preisen anbietet. Sie müssen aber nicht unbedingt wegen der Röhren nach Japan reisen: verdächtig sind auch die hiesigen Röhrenverstärker-Entwickler, die auf dem Hof einen stark bewachten Seecontainer stehen haben. Wenn Sie aber „nur“ Zen erfahren (das kann man nicht lernen) wollen, ist Japan eine gute Adresse. Zurück zu den Verstärkern.

„Alte“ Verstärker haben es in sich. Die waren damals gut, aber ob das für die Gegenwart gilt? Nun, ich denke, dass die damaligen Entwickler heute genau das machen würden, was ich auch gemacht habe: ich habe die technischen Daten auf heutige Gegebenheiten angepasst und somit diese Verstärker quasi „weiterentwickelt“. Das ist kein Sakrileg („Wie kann der sich nur mit den alten Entwicklern messen?“) sondern meine Verneigung vor den alten Hasen der Röhrengeschichte. Und damit ja keiner auf falsche Gedanken kommt: diese Verstärker sind und bleiben eine Kopie. Ich nehme mir aber die Freiheit zu behaupten, dass die Kopien besser als das Original geworden sind.

Einige (ketzerische) Ansätze, die in diesem Buch zu finden sind, haben allerdings (unverhofft) Zustimmung von Tontechnikern, Praktikern und HiFi-Redakteuren gefunden. Für die Verifikationen, aufmunternden Worte und für das „Nicht-Verrückterklären“ sei ihnen Dank gesagt.

# 1 HighEnd und Emotionen

Man kann nun hingehen und in epischer Breite das Für und Wider von HighEnd beleuchten oder die ganze Sache recht locker sehen: Richtiges Röhren-HighEnd gibt es ebensowenig wie richtiges Halbleiter-HighEnd. Ich für meinen Teil bin zu der Erkenntnis gekommen, dass HighEnd vielmehr ein Lebensgefühl ist. Dieter Burmester (ja, genau der) brachte es in einem Interview auf der Internetseite <http://www.frihu.com> auf den Punkt: HighEnd sind Emotionen. Sowohl akustisch als auch optisch.

HiFi bzw. HighEnd bedeutet ja eigentlich, dass das reproduzierte Musikstück klanglich neutral auf die gewünschte Endleistung verstärkt und dem Lautsprecher zugeführt wird. Demnach besitzen also weder CD-Player, Verstärker noch Lautsprecher einen Eigenklang.

Es dürfte nicht schwierig sein sich vorzustellen, wenn dies tatsächlich so wäre. Ein enormer volkswirtschaftlicher Schaden wäre das Ergebnis, denn von HiFi und HighEnd lebt eine ganze Industrie mehr oder weniger gut. Nehmen wir aber mal an, es wäre so, dass alle Komponenten einer Stereoanlage keinen Eigenklang aufweisen. Dann könnte man sich die gesamten Tests der HiFi-Zeitschriften sparen und mit ihnen auch die Redakteure. Es gäbe keine Anzeigen und von der segenreichen Erfindung eines neuartigen Kabels würde keiner erfahren. Die HiFi- oder HighEnd-Anlage verkommt zum Möbel- bzw. Dekorationsstück und würde höchstens in den Zeitschriften „Der kleine Innenarchitekt“ oder „Wohnraumgestaltung leicht gemacht“ besprochen werden. Sehr zur Freude von vielen Haushaltsvorständen (die jeweilige beste Ehefrau der Welt) und sehr zum Verdruss von vielen HiFi- und HighEnd-Enthusiasten (die sich im Untergrund befinden).

Es wäre also alles ganz langweilig. Wenn Sie also das nächste Mal in einer HiFi-Zeitschrift lesen: „Dieser HighEnd-Verstärker klingt einfach gut“, dann verdammen Sie nicht diesen Widerspruch an sich. Man kann sich höchstens darüber amüsieren, wie die Tester „erfolgreich nachformierte“ Elektrolytkondensatoren (Elkos) durch tagelanges „Einbrennen“ heraushörten und dem Verstärker dann ein „überragendes Klangverhalten“ bescheinigten. (Wenn Sie „Hören mit Röhren“ kennen, dann werden Sie bemerken, dass ich mich mit der Verurteilung so manches HighEnd-Spleens sehr zurückhalte und dieses eher nach der Devise behandle: des Hörers Wille ist sein Himmelreich. Zen eben.)

HighEnd ist deshalb ein Lebensgefühl, weil die jeweiligen Geräte meist auch etwas fürs Auge bieten. Sei es in Tropenholz, in Chrom, in Kupfer oder in Nickel, wobei einige HighEnd-Designer neuerdings das Stahlblech-Chassis für drei Tage der Nordseeluft aussetzen und es anschließend (mitsamt den leichten Rostspuren natürlich) konservieren. Nacktes Metall, noch dazu im Retro-Look, ist „in“.

Auch die Lautsprecher heben sich vom Design her ab. Die üblichen Drei-Wege-Lautsprecherboxen (schwarz, stoffbespannt) hat heute kaum noch einer im Wohnzimmer stehen. Die einzelnen Chassis wollen bewundert werden. Und da Retro gerade in ist, bekommt der Röhrenradio-Sammler jedesmal einen kleinen Herzkrampf und einen heftigen Weinanfall, wenn er sieht, wie auf diversen Tauschbörsen funktionstüchtige Röhrenradios wegen der Lautsprecher regelrecht ausgeweidet werden (die Lautsprecher erzielen übrigens Höchstpreise). Auch beim Lautsprecher hat sich also der Trend durchgesetzt, dass das Auge mithört. Nüchtern betrachtet kann man auch sagen, dass dort, wo Nachfrage ist, sich innerhalb kürzester Zeit Anbieter finden, die diese Nachfrage befriedigen. Das simple Gesetz einer freien Marktwirtschaft also. Das mit den Retro-Lautsprechern hat natürlich seinen Grund (sonst gäbe es diesen Markt nicht), dazu aber später mehr.

Und wo wir gerade beim Lautsprecher sind: gerade diese Komponente produziert sehr viel Eigenklang. Viel mehr, als es dem eingefleischten HighEndler lieb sein kann (und darf). Von den Raummoden (das klangliche Verhalten eines Raumes) ganz zu schweigen. Vereinfacht kann man sagen, dass der Abhörraum nichts anderes ist als das Gehäuse einer großen Lautsprecherbox und man auch mit denselben physikalischen Eigenarten (bzw. Gesetzmäßigkeiten) zu kämpfen hat: Direktschall, Reflexionen, Überlagerungen, Dämpfung und Verstärkung. Jeder, der schon einmal eine Lautsprecherbox selbst „zusammengezimmert“ hat, kennt das.

Und wenn man den Lautsprechern und dem Wohnzimmer Eigenklang zugesteht (zugestehen muss), warum dann nicht dem Verstärker? Röhrenverstärker haben von Natur aus viel Eigenklang zu bieten. Sie haben sogar soviel davon zu bieten, dass man etwas „tricksen“ muss, damit dies nicht ins Kraut schießt, denn Röhrenverstärker machen das, was bei den militanten HighEndern absolut verpönt ist: sie fügen dem Musiksignal noch reichlich Obertöne (Klirr) bei. Und das tun viele Röhrenverstärker derart geschickt und so gut, dass diese immer wieder ein „tolles Klangbild“ bescheinigt bekommen.

Wenn man also von der Halbleiterfraktion zu hören bekommt, dass mit Röhren eigentlich gar kein HiFi oder gar HighEnd möglich sei (wegen der Klangbeeinflussung), dann ist es ratsam, sich auf keine Diskussion einzulassen („des Hörers Wille...“). Sie können eigentlich nur verlieren. Seien Sie sich stattdessen bewusst, dass ein Röhrenverstärker mehr HighEnd (also Emotionen) aufweist, als der transistorisierte Verstärker, wo es mit viel Gegen- und Mitkopplung und noch mehr Technik erst möglich wird, den Verstärker so zum Laufen zu bringen, dass er für die Musikreproduktion überhaupt zu gebrauchen

ist. Aber okay, wenn das die Definition von HighEnd ist, bitte. Dann sind Röhrenverstärker eben LowEnd, nach dem Motto: je weniger Technik desto besser. Auch das ist Zen.

HiFi oder gar HighEnd gibt es also nicht. Zumindest nicht so, wie man es uns immer wieder weiß machen will. Und komme mir jetzt ja niemand mit Live-Konzerten. Auch in einem Live-Konzert wird viel mit Tricks gearbeitet: ob es nun der künstliche Hall in einem stark bedämpften Raum ist, Schallabsorber in der Kirche oder die speziellen baulichen Massnahmen in der Semper-Oper. Gerade Letzteres findet seine entsprechende Ausprägung als Klangschale für den Heimbedarf. Die Idee, die dahinter steht, ist ja in Ordnung, der Unterschied ist aber, dass solche Resonanzkörper für die Semper-Oper exakt berechnet und mit viel Messtechnik noch exakter positioniert bzw. eingebaut wurden. Klangschalen, bei Oktober-Vollmond mit Quellwasser aus den Karpanten benetzt, die – laut Gebrauchsanweisung – in einem Winkel von exakt  $39^\circ$  an der rechten Seite der linken Lautsprecherbox positioniert werden sollen, bewirken alles, bloss nicht das, wofür sie angepriesen wurden. Der beherrzte Griff zum Klangregler wäre zwar nicht highendig, würde aber mehr Wirkung erzielen.

Ich für meinen Teil gehe ganz unverfroren hin und drehe an diversen Schrauben, wenn der Verstärker trotz sorgfältigen Planens und Aufbaus nicht klingen will. HiFi hin, High-End her. Ich will einen Verstärker, bei dem es Spaß macht, Musik zu hören und keinen Messverstärker, der mir die tollsten Daten präsentiert. Um es mit Burmester zu halten: Ich will Emotionen und nichts anderes. Ja was denn?

Deshalb an dieser Stelle ein Hinweis: alle vorgestellten Schaltungen sind getestet worden und funktionieren. Ob man aber mit dem klanglichen Ergebnis zufrieden ist, liegt an einem selber bzw. an den Randbedingungen, wie z. B. den Lautsprechern, den Kabeln, dem Vorverstärker oder den Raummoden. Anders gesagt: ich kann und will nicht die Arbeit, Zeit und Energie für Korrekturen am subjektiven Hörempfinden übernehmen. Deshalb werden Sie auch keine Attribute finden wie: „Super“, „Spitzenklasse“ oder „Klang vom Feinsten“. Ich versuche dies kurz und vor allem einfach zu erklären, wobei ich gar nicht den Anspruch erhebe, dass dies der Weisheit letzter Schluss ist. Dazu ist das Thema zu komplex und zu vielschichtig.

## 1.1 Dämpfungsfaktor

Egal mit welchem Verstärker man seine Lautsprecher quält, jeder Verstärkertypus hat seine Vor- und Nachteile.

Der gravierendste Vorteil eines Halbleiter- gegenüber einem Röhrenverstärker ist der, dass mit Transistoren wesentlich leichter (kompakter und preiswerter) 200 W zu generieren sind, als mit Röhren. Dafür sieht der Röhrenverstärker mit seinen 6 bis 8 Röhren

vom Schläge 6550 oder KT88 einfach besser aus (pro Kanal versteht sich, wobei die Röhrenanzahl sich danach richtet, wie hoch ich diese Röhren belaste bzw. wie warm ich es im Zimmer haben möchte). Ausserdem bin ich der Meinung, dass sich ein guter Röhrenverstärker nicht hinter einem Halbleiterverstärker zu verstecken braucht.

Und hier muss auch ich etwas zurückrudern. Röhrenverstärker sind nicht alles. Einem Röhrenverstärker die (alleinigen) Eigenschaften zuzuschreiben, dass nur er Schwachstellen einer CD-Produktion offenlegen oder das orchestrale Machwerk „naturgetreu“ reproduzieren kann, ist Unfug. Ein gut abgestimmter Halbleiterverstärker kann das ebenso gut.

Der größte Nachteil bei Röhrenverstärkern ist aber immer der geringere Dämpfungsfaktor. Das kann nicht nur handfeste klangliche Auswirkung haben, sondern ist mit Sicherheit so. Sicher, auch Halbleiterverstärker können Probleme mit dem Dämpfungsfaktor haben – aber dann reden wir sicher von einem 500-W-Verstärker, der von einem 12-VA-Netztrafo gespeist wird.

Der Begriff Dämpfungsfaktor im Verstärkerbereich wird häufig verwendet ohne jedoch zu wissen, was damit gemeint ist. Es geht hierbei, kurz gesagt, um das Zusammenspiel von Verstärker und Lautsprecher und bringt zum Ausdruck, wie stark sich die Ausgangsspannung der Verstärkers durch eine angeschlossene Last (eben den Lautsprecher) beeinflussen lässt.

Anders ausgedrückt: **Man kann den Klang oder die Qualität eines Verstärkers nicht allein an dem Gerät festmachen, sondern muss dies im Zusammenhang aller beteiligten Komponenten sehen: Verstärker inkl. Netzteil, Lautsprecher, Frequenzweiche, Raum und natürlich die Lautsprecherkabel.**

Die häufig genannte Formel, wonach ein hoher Dämpfungsfaktor ein Garant für einen guten Klang ist, ist falsch. Denn manchmal ist es aus klanglicher Sicht ratsam, den Dämpfungsfaktor etwas zu verringern, wenn man keine neuen Lautsprecher installieren will.

Zur Berechnung des Dämpfungsfaktors muss der Umweg über die Berechnung des Verstärker-Innenwiderstandes gegangen werden. Messungen werden hierbei direkt an den Ausgangsklemmen vorgenommen. Jedes Kabel danach beeinflusst den Innenwiderstand bzw. schlussendlich den Dämpfungsfaktor und verfälscht das Ergebnis. Während man bei Halbleiterverstärkern mit einer einzigen (relativ einfachen) Formel auskommt, gibt es für den Röhrenverstärkertypus eine andere bzw. erweiterte Formel, die natürlich auch ein erweitertes Messverfahren voraussetzt. Der Grund ist, dass die meisten Röhrenverstärker nicht leerlaufsicher sind und man nicht „mal eben so“ die Spannungsverhältnisse messen kann.

Nun kann es dem passionierten Mathematiker Vergnügen bereiten, einen Röhrenverstärker komplett durchzurechnen und die tollsten rechnerischen Werte zu produzieren, ich



bezweifle aber, dass von diesen Zahlen genau die gleichen Emotionen ausgehen wie von einem liebevoll aufgebauten Röhrenverstärker, der „nach Gehör abgeglichen“ wurde. Ausserdem isoliert man mit einer solchen Berechnung eine Komponente ohne auf die Wechselwirkung der anderen Komponenten Rücksicht zu nehmen.

„Gut, aber irgendwo muss man doch anfangen.“, mögen Sie jetzt vielleicht sagen. Das ist richtig, aber ich halte die praktische Bedeutung hier für gleich Null, da diese Formeln nur unter bestimmten Bedingungen gelten. Ändert sich nur eine der Randbedingungen, ist die Aussagekraft der Formel wertlos (zumindest in diesem Zusammenhang).

Was nützt uns zu wissen, welchen theoretischen Dämpfungsfaktor der Röhrenverstärker aufweist, wenn Zuleitungen, Verkabelung, Frequenzweiche und Lautsprecher eine unbekannte Größe darstellen?

*Beispiel:*

Wenn ein Halbleiter-Endverstärker einen Innenwiderstand von z. B.  $0,01\ \Omega$  aufweist und dieser an einen  $4\text{-}\Omega$ -Lautsprecher angeschlossen ist, dann beträgt der (theoretische) Dämpfungsfaktor 400 ( $4/0,01 = 400$ ). Der Dämpfungsfaktor ist übrigens ein dimensionsloser Wert!

Nun besitzt ein Röhrenverstärker aber einen wesentlich höheren Innenwiderstand von z. B.  $1\ \Omega$ . Wenn nun dieser Verstärker eine Lautsprecherlast von  $4\ \Omega$  treiben soll, ergibt sich ein Dämpfungsfaktor von nur noch 4.

Das Problem ist jedoch, dass der Dämpfungsfaktor keine statische Größe ist (sonst wäre das ja zu einfach), sondern eine dynamische, abhängig von Frequenz und Leistung. Der ermittelte Dämpfungsfaktorwert ist also als theoretischer Wert zu betrachten.

Kommt nun noch der Kabelwiderstand, der vom Verstärker zum Lautsprecher führt, von beispielsweise  $1\ \Omega$  hinzu, dann verschlechtern sich die vorher ermittelten Werte nochmals:

$$\text{Halbleiterverstärker: } \frac{4}{0,01\ \Omega + 1\ \Omega} = 396$$

$$\text{Röhrenverstärker: } \frac{4}{1\ \Omega + 1\ \Omega} = 2$$

Während der Dämpfungsfaktor des Halbleiterverstärkers mit dem Kabelwiderstand noch gut zurecht kommt, ist der sowieso schon schlechte Dämpfungsfaktor für den Röhrenverstärker untragbar geworden. Wie sehr diese Werte reine Theorie sind wird deutlich, wenn man nun noch die Frequenzweiche mit einer Impedanz von  $0,5\ \Omega$  bei einem  $4\text{-}\Omega$ -Lautsprecher in die Betrachtungsweise einbezieht, denn dann wäre hier der Dämpfungsfaktor schon einmal auf 8 ( $4/0,5$ ) begrenzt – egal wieviel Dämpfungsfaktor der Verstärker theoretisch hätte!

Spätestens hier sollte jedem klar sein, dass sich der mühsam ermittelte Dämpfungsfaktor als Papiertiger erweist. Aber okay, es kann ja ganz interessant sein zu wissen, wie hoch der theoretische Dämpfungsfaktor ist.

*Ermittlung des Dämpfungsfaktors:*

Man benötigt ein Oszilloskop, zwei Lastwiderstände (Dummies) z.B.  $8\ \Omega$  und  $16\ \Omega$  (mind. 50 W, besser mehr), einen Sinusgenerator und mindestens einen Taschenrechner. Eine Tabellenkalkulation wäre nicht schlecht, denn dann kann man relativ leicht den Innenwiderstand bei den verschiedenen Frequenzen ermitteln. Zur Messung:

Wir stellen am Sinusgenerator eine Frequenz von 1 kHz ein und speisen dieses Signal in den Verstärker ein. Am Lautsprecher Ausgang des Verstärkers schließen wir den  $8\text{-}\Omega$ -Lastwiderstand und das Oszilloskop an. Mit dem Lautstärkereger wird die Leistung des Verstärkers so eingestellt, dass er gerade nicht mehr clippt (sprich verzerrt) und sich am Oszilloskopbildschirm ein schöner Sinus zeigt.

Nun messen wir die Spannung an dem  $8\text{-}\Omega$ -Lastwiderstand, indem wir das Voltmeter parallel zu diesem Widerstand schalten. Nun den Verstärker ausschalten, drei Sekunden warten und den  $16\text{-}\Omega$ -Lastwiderstand anschließen, Verstärker einschalten, etwas warten, bis die Röhren auf Touren gekommen sind und nochmals messen. Das wars.

Nun berechnen wir anhand der Formel den Innenwiderstand des Verstärkers bei 1 kHz:

$U_1$  = Spannungswert gemessen am  $8\text{-}\Omega$ -Widerstand (z. B. 25 V)

$U_2$  = Spannungswert gemessen am  $16\text{-}\Omega$ -Widerstand (z. B. 26 V)

$$R_i = \frac{(8\ \Omega * 16\ \Omega * (U_2 - U_1))}{(U_1 * 16\ \Omega - U_2 * 8\ \Omega)} = 0,67\ \Omega$$

Nachdem wir nun den Innenwiderstand des Verstärker kennen, lässt sich sehr schnell auf den Dämpfungsfaktor schließen:

$R_L$  = Lastwiderstand bzw. Impedanz des Lautsprecher (z. B.  $8\ \Omega$ )

$$D = \frac{R_L}{R_i} \quad D = \frac{8}{0,67} = 11,94$$

Wie bereits gesagt, gilt dieser Wert nur bei 1 kHz. Um nun eine sinnvolle Aussage zu erhalten, sollten auch andere Frequenzen berücksichtigt werden: beispielsweise bei 15 Hz, 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 440 Hz, 880 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 8 kHz, 10 kHz, 15 kHz, 20 kHz und 25 kHz. Sie werden sehen, dass sich der Dämpfungsfaktor erheblich ändert. Würde man die ermittelten Werte grafisch darstellen, ist man vom Ideal eines linearen Verlaufs weit entfernt.

Anmerkung: Ich habe hier willkürliche Zahlen eingesetzt. Diese müssen nicht zwangsläufig praxisgerecht sein.

Doch es ist nicht nur die Frequenzweiche oder das Lautsprecherkabel allein, die den Klang beeinflussen können (wenn man einmal vom Verstärker selber absieht). Es sind

auch die Lautsprecher, die

- a) ihrerseits auch als Stromgenerator wirken,
- b) aufgrund ihrer Konstruktion nicht für das Zusammenspiel mit einem Röhrenverstärker geeignet sind.

Zu a)

Betrachtet man nämlich die ganze Sache rückwärts, dann arbeitet die Schwingspule des Lautsprechers gegen eine Serieninduktivität auf den Verstärker, mit der der Verstärker fertig werden muss, d. h. er muss auch in der Lage sein, gegen die Induktivität zu arbeiten.

Man könnte also schlussfolgern, dass Lautsprecher, die wenig Hub erzeugen, die besseren Schallwandler sind, denn der vom Verstärker erzeugte Hub (sprich Membranbewegung) muss ja wieder zurück (Ausschwingungsverhalten der Membrane). Und gerade diese Rückwärtsbewegung ist es, die aus dem Lautsprecher ein Stromgenerator werden lässt und somit Energie erzeugt, die nun natürlich auch zum Verstärker fließt.

Der ideale Verstärker besäße einen Innenwiderstand von  $0\Omega$  und damit sehr hohen Dämpfungsfaktor. Die vom Lautsprecher generierte Spannung würde nun durch den niedrigen Innenwiderstand des Verstärkers kurzgeschlossen und die entsprechende Membranbewegung extrem ausgebremsst. Der Lautsprecher wäre in jeder Hinsicht und in jeder „Lebenslage“ kontrollierbar. Diese an sich sehr gute physikalische Eigenschaft besitzt einen gravierenden Nachteil: den idealen Verstärker gibt es nicht.

Womit wir bei Punkt b) wären:

Weich aufgehängte Lautsprechermembrane (die den großen Hub erzeugen) können an einem Röhrenverstärker aus den zuvor genannten Gründen den berechtigten Schwabbelbass erzeugen (hoher Innenwiderstand = geringer Dämpfungsfaktor). Ein gleich großer Lautsprecher, in der gleichen Boxkonstruktion, jedoch mit hart aufgehängten Papiermembrane (die naturgemäß keinen so großen Hub erzeugen) kann einen so trockenen Bass erzeugen, dass es staubt. Aus diesem Grund finden derzeit die alten Retro-Lautsprecher einen reißenden Absatz: die Papierlautsprecher sind extrem hart aufgehängt und können an eine kleine Eintaktendstufe wirklich ein hervorragendes Klangerlebnis zaubern.

Wie gesagt: es kann. Muss nicht. Es ist das Zusammenspiel von Verstärker, Kabel und Lautsprecher. Große klangliche Erfolge (vor allem bei der häuslichen Jugend) feiert derzeit ein preiswerter (Tiefmitteltone-) Lautsprecher mit weich aufgehängter Membrane. Aber dieser besitzt keinen Durchmesser von 38 cm, sondern lediglich 18 cm (davon aber zwei Stück) und sitzt zudem in einer Boxenkonstruktion, die den Lautsprecher mechanisch dämpft und die Membrane nicht unkontrolliert hin- und herflattern lässt. Abgesehen davon ist die Frequenzweiche relativ einfach gehalten. Natürlich gibt es auch musikalische Gemeinheiten, die dieser Lautsprecher dann gar nicht mag.

Wie wirkt sich ein geringer Dämpfungsfaktor nun aus? Wenn ein Lautsprecher durch den Verstärker zu wenig bedämpft wird, entwickelt er ein Eigenleben und produziert

sog. Überschwinger, die als Töne hörbar werden. Die Präzision fehlt und man hört dann z. B. einen Schwabbelbass (die Membrane flattert). Bei zu großer Bedämpfung ist die Dynamik flöten gegangen und es klingt dumpf, lahm, träge und langweilig.

So erklärt es sich vielleicht, warum der eine oder andere Lautsprecher an einem bestimmten Verstärker oder gar Röhrenverstärker nicht klingen will. Der Dämpfungsfaktor einer Röhren-Eintaktendstufe ist nun einmal komplett anders als der einer Gegentaktendstufe und dieser wiederum ist erheblich kleiner als der eines Halbleiterverstärkers. Und Lautsprecher, die sich an einem Halbleiterverstärker excellent anhören, können für Röhrenverstärker absolut untauglich sein. Doch dies ist nicht unbedingt die Schuld des Lautsprechers oder gar des Verstärkers allein, denn die häufig anzutreffende (passive) Frequenzweiche hat hierbei ein gewichtiges Wort mitzureden und beeinflusst den Dämpfungsfaktor, wie bereits aufgeführt, ebenfalls.

Ein direkter Vergleich Röhrenverstärker vs. Halbleiterverstärker ist also alles andere als seriös und ist Nonsense. Hierbei kann der Röhrenverstärker eigentlich nur verlieren. Auch das vielzitierte Argument, dass ein Röhrenverstärker nicht neutral klingt, ist ein Widerspruch in sich. Wenn der Vierpol (elektrisches Schema für einen Verstärker) neutral ist, klingt er nicht. Dafür aber die Lautsprecher, der Raum, das Kabel und die Klangschaale für seidenweiche Mittenauflösung.

## 1.2 Gegenkopplung

Während man bei Halbleiterverstärkern aufgrund der notwendigen Gegenkopplungen von vornherein einen hohen Dämpfungsfaktor (und damit einen niedrigen Innenwiderstand) erzielt, hat sich bei der Vakuumfraktion eine chronische Hassliebe entwickelt, wenn es um die Gegenkopplung geht. Zugegeben, ich war früher auch ein „GkG“ (Gegenkopplungs-Gegner) aber wenn man sich eine Weile unvoreingenommen mit diesem Thema beschäftigt hat (unter Einsatz von Widerständen der E96-Reihe, einigen Kondensatoren, mehreren verschiedenen Lautsprechern und nicht zuletzt Zeit und Geduld), dann erkennt (hört) man die Vorteile:

- Mit einer gekonnt (die Betonung liegt auf gekonnt) eingesetzten Gegenkopplung kann sich das Zusammenspiel von Lautsprecher und Verstärker erheblich verbessern, weil sich mit Einsatz der Gegenkopplung auch der Dämpfungsfaktor erhöht (bzw. sich der Verstärker-Innenwiderstand reduzieren lässt).
- Die aktive Gegenkopplungsverweigerung (gemeint ist die Über-alles-Gegenkopplung) ist leicht nachvollziehbar, wenn man bedenkt, dass viele Bastler die Bauteilwerte alter Verstärker hemmungslos übernehmen bzw. diese auf gängige Normwerte auf- oder abrunden, einen irgendwie passenden Übertrager neuerer Produktion einsetzen und sich dann wundern, warum der Klang so enttäuschend ist. Würde man

hier nur etwas mehr Geduld aufbringen und mit der Gegenkopplung „spielen“, könnte man durchaus noch etwas Brauchbares hinbekommen. Stattdessen wird ein Verstärkerkonzept pauschal abgewertet oder es waren (weil man keine andere Erklärung hat) die falschen Röhren, der falsche Übertrager, falsche Bauteile oder der Vollmond.

- Vollkommen schizophran wird es, wenn man sich als militanter Gegenkopplungsgegner outet aber gleichzeitig einen Phono-Vorverstärker favorisiert, welcher ein aktives Entzerrernetzwerk aufweist. Und das ist ja nichts anders als eine Über-Alles-Gegenkopplung.
- Das Verdammen einer Röhrenschialtung bzw. einer bestimmten Röhre oder andersherum, das Hochpreisen einer Röhrentype, zeugt von Unkenntnis, denn es gibt an sich keine „schlechte“ Röhre bzw. Röhrenschialtung. Und es ist schon paradox: mit der gleichen Vehemenz, mit der ein industriell gefertigter 300B-Eintaktverstärker wegen des schwabbeligen Klanges in Bausch und Bogen abgewertet wird („alle 300B's sind Mist und klingen nicht...“), werden andere Eintakt-Schialtungskonzepte mit Superlativen überhäuft. Dass man hier zwei unterschiedliche Konzepte bewertet, fällt zunächst nicht auf (oder es will einem nicht auffallen). Ähnliches gibt es auch in Bezug von EL34-Röhren zu lesen („alle EL34-Verstärker verschlucken musikalische Details...“ – ob der Urheber solcher Aussagen wirklich einen modernen EL34-Röhrenverstärker gehört hat, steht ernsthaft zu bezweifeln).
- Außerhalb der Röhrenschiene kommt niemand auf die Idee, den Geschmack von Fisch und Rindfleisch direkt zu vergleichen, innerhalb der Schiene tun sich Abgründe auf. Wenn Sie so etwas irgendwo lesen, dann hat sich der Urheber automatisch disqualifiziert. Hören Sie nicht darauf. Sehr gute EL84 oder EL34-Verstärker (egal ob Gegentakt oder Eintakt) haben mit dem Schaltungsdesign aus dem HiFi-Neolithikum nichts mehr gemeinsam.
- Man sollte zudem beachten, dass die Übertrager- und Lautsprecherqualität erheblichen Einfluss auf den Gegenkopplungsziweig bzw. Klang hat. Die Folge durch die zu straffe Gegenkopplung war (ist) meist die schon zuvor beschriebene Klangeigenschaft (dumpf, lahm, träge...). Man sollte auch bedenken, dass die früheren NF-Quellen meist hochohmig waren und die zu übertragenden NF-Signale weit weg vom heutigen Standard sind. Und der Dynamikumfang von digitalen Signalquellen ist den alten Röhrenverstärkern sowieso fremd. Wenn Sie also irgendwo demnächst einen Röhrenverstärkerschialtungsplan aus den 50er bis 70er Jahren sehen, der als „HiFi-Verstärker mit einem Spitzenklang“ beschrieben wird, dann kann da etwas nicht stimmen.

Eine Gegenkopplung kann man, wie auch den Dämpfungsfaktor, berechnen, aber nach mehreren Versuchen bin ich zu der Überzeugung gelangt, dass das Ergebnis nur enttäuschend ist. Von über zwanzig rechnerisch richtigen Gegenkopplungswerten war nicht eine korrekt (gemeint ist der hörbare Effekt)! Man kommt eher zum Ziel, wenn man den

ermittelten Wert als Grundlage nimmt und dann damit experimentiert, denn die Qualität der Gegenkopplung ist nicht die mathematische Berechnung, sondern das, was schlussendlich am meist schon vorhandenen Lautsprecher herauskommt.

Ich habe es schon oft bei privaten Verstärkervorführungen erlebt, dass – besonders bei Eintaktverstärkern – eine signifikante Verbesserung des Klang- und Dynamikverhaltens erzielt werden konnte, wenn eine dezente Gegenkopplung eingesetzt wurde (wenn keine vorhanden war) oder man den Gegenkopplungswiderstand etwas erhöhte. Manch ein Initiator dieser Vorführungen macht daraus eine regelrechte Show und zelebriert die Gegenkopplungsänderungen dem staunenden Publikum an vorher präparierten Verstärkern (damit es schneller geht).

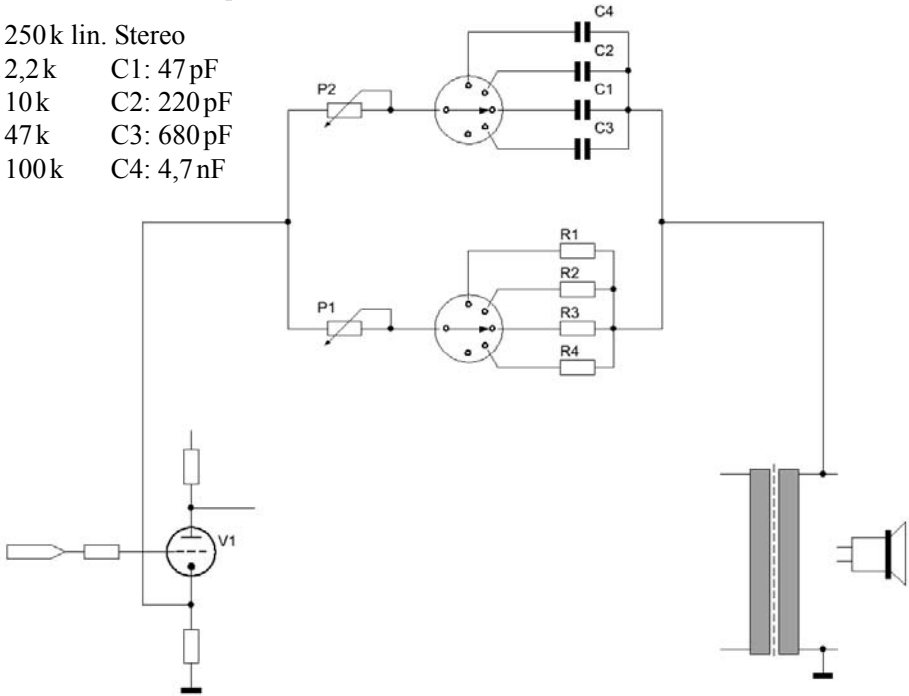
Auch bei den Lautsprechertests konnte das nachvollzogen werden: der eine Lautsprecher wollte erst dann richtig klingen, als der Widerstandswert in der Gegenkopplung etwas verringert wurde, der andere Lautsprecher wollte etwas mehr Ohm haben. In einem Fall mussten sogar einige  $k\Omega$  dazugegeben werden, damit der Verstärker an genau diesem Lautsprecher vernünftig spielen wollte. Und der Einsatz eines kleinen Kondensators in der Gegenkopplung kann dazu führen, dass überschäumende Höhen derart gezügelt werden, dass man hinterher wirklich von seidenen Mitten und kristallklaren Höhen sprechen kann. Ich persönlich setze auch gerne Gegenkopplungen ein, die, laut Berechnung, gar nicht mehr wirken. Es muss doch irgendwie wirken, denn das Weglassen der Gegenkopplung ist sofort und ohne Anstrengung hörbar.

#### *Tipp:*

Ein möglichst genaues  $100\text{-}k\Omega$ -Poti, das auch noch von außen zugänglich ist, erleichtert den Abgleich ganz enorm. Wer mag, kann zwei Potis in Reihe schalten, wobei ein Poti nur für den Grundwiderstandswert zuständig sein sollte. Für die frequenzabhängige Gegenkopplung kann ebenfalls ein universelles „Plugin“ hergestellt werden: über einen Drehschalter schaltet man verschiedene Kondensatoren (z. B.:  $4,7\text{ pF}$ ;  $47\text{ pF}$ ;  $100\text{ pF}$ ;  $1\text{ nF}$  etc.). Dieser wird, in Reihe mit einem genauen  $100\text{-}k\Omega$ -Poti, in die Gegenkopplungsleitung (parallel zur Spannungsgegenkopplung) eingeschliffen. Nun kann man in Ruhe die Gegenkopplungsarten anhören. Wenn man meint, dass man die optimale Einstellung gefunden hat, ersetzt man das „Plugin“ durch die ermittelten bzw. ausgemessenen Werte. Dass die Zuleitungen zu dem „Plugin“ abgeschirmt sein sollten, versteht sich von selbst, genauso wie die klangliche Qualität zunächst etwas leidet. Aber so ein Kästchen erleichtert die ganze Sache ungemein.

Die Bauteileauswahl ist unkritisch und kann natürlich auch individuell dimensioniert bzw. erweitert werden. Beispielwerte können sein:

P1, P2: 250k lin. Stereo  
 R1: 2,2k C1: 47pF  
 R2: 10k C2: 220pF  
 R3: 47k C3: 680pF  
 R4: 100k C4: 4,7nF



Einstellbare Gegenkopplung

Es spricht natürlich auch nichts dagegen, in einem Verstärker die Gegenkopplung generell variabel zu gestalten, d. h. mit einem, von außen (nicht zu leicht) zugänglichen und engtolerierten Stereopoti mit Rastungen. Etwaige Abgleicharbeiten, die sich bei einem neuen Lautsprecher oder bei Änderung des Raumes (durch Umzug, Umbauten oder Dekorationen) stellen, lassen sich so sehr einfach und leicht durchführen.

#### *Noch ein Tipp:*

Wenn es trotz aller Versuche trotzdem nicht klingen will, brauchen Sie nicht zu verzweifeln: probieren Sie einfach mal einen anderen Lautsprecher aus.

Nun, wo Licht ist, ist auch Schatten. Und die Schatten zum Thema Gegenkopplung können verflucht lang sein. Allerdings halte ich es auch für stark übertrieben, eine fehlende Gegenkopplung als HighEnd-Qualitätsmerkmal darzustellen, denn wenn es an einer Gegenkopplung fehlt, ist es mit der Stabilität des Verstärkers auch nicht mehr weit her.

Technisch gesehen ist eine Gegenkopplung eine Rückkopplung auf das Eingangssignal. Eine gegengekoppelte Verstärkerstufe bzw. ein gegengekoppelter Verstärker ist stabil, wenn die Phasenlage des gegengekoppelten Signals in allen Frequenzbereichen exakt  $180^\circ$  be-

trägt. In der Praxis ist dies nicht zu erfüllen, denn eine Verstärkerstufe z. B. in einer Kathodenbasis-Schaltung dreht im mittleren Frequenzbereich die Phase um  $180^\circ$ . Am unteren Ende des Übertragungsbereichs (untere Grenzfrequenz) wird die Phase durch das RC-Glied (Koppelkondensator und Gitterwiderstand der nachfolgenden Stufe) wiederum um  $90^\circ$  gedreht, bei der oberen Grenzfrequenz bewirken die Röhrenkapazitäten und die Streuinduktivität des Übertragers ebenfalls eine Phasendrehung in etwa der gleichen Größenordnung.

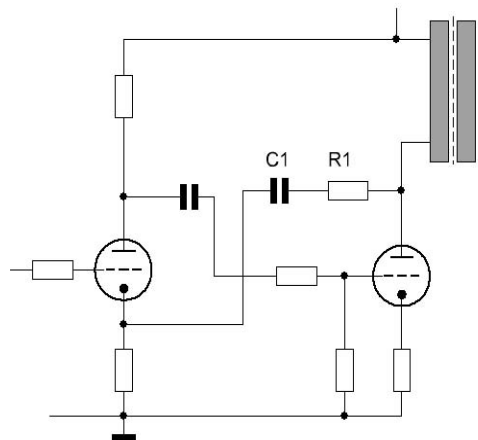
Je stärker man eine Gegenkopplung einschleift, desto stabiler wird der Verstärker. Die Verzerrungen nehmen in dem gleichen Maße ab, wie der Verstärkungsfaktor sinkt. Theoretisch zumindest.

Ein weiterer Grund die Gegenkopplung zu verdammen ist die zeitliche Verzögerung, bei der das gegengekoppelte Signal wieder in die Vorstufe eingespeist wird (was verständlich sein sollte). Das Musiksignal hat ja bereits den Verstärker durchlaufen und die Rückführung durch die Gegenkopplung trifft, zeitlich verzögert, auf ein ganz anderes Signalspektrum, welches hier dann zu unerwünschten Verzerrungen führt. Die gewünschte Wirkung einer Gegenkopplung wird hier negiert, die Verzerrungen steigen und hinterher hört es sich irgendwie verwaschen an, der Verstärker wird instabil und es kann sogar zu wilden Schwingungen kommen. Man kann also nicht beliebig stark gegengekoppeln.

Wenn es eine sog. Über-Alles-Gegenkopplung gibt, gibt es natürlich auch andere Spielarten, z. B. die gegengekoppelten Verstärkerstufen. Diese wirkt aus zeitlicher Sicht wesentlich genauer, aber auch hier nie exakt, da das rückgeführte Ausgangssignal nicht mehr dem ursprünglichen Signal entspricht. Die zeitlichen Abstände sind hierbei jedoch wesentlich geringer (und sind eigentlich nicht mehr hörbar). Gegengekoppelte Verstärkerstufen sind etwas schwerer handzuhaben, der Lohn der Mühe ist aber meist ein wirklich exzellentes Klangverhalten (bedingt auch durch die gewonnene Stabilität).

Solche Gegenkopplungsglieder setze ich zunehmend in Eintaktverstärker als RC-Glied von der Anode der Leistungsröhre auf die Kathode einer Treiberstufe ein (spannungsgesteuerte Stromgegenkopplung). Wie zuvor erwähnt, soll diese Gegenkopplung lediglich der Stabilität dienen und keinesfalls irgendwelche klanglichen Auswirkungen haben. Stellt man bei eigenen Experimenten fest, dass sich die Klangeigenschaft stark verändert, ist sie nicht optimal dimensioniert (wobei nicht gesagt werden soll, dass der Klangeffekt pauschal unerwünscht wäre).

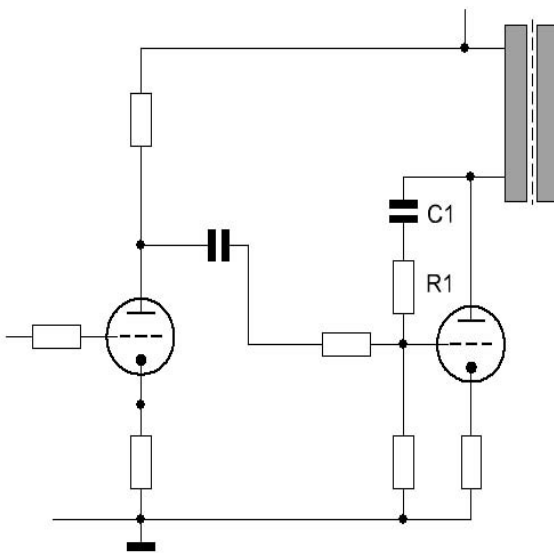
Eine mögliche Dimensionierung für R1 und C1 wäre z. B.  $120\text{ k}\Omega$  bis  $180\text{ k}\Omega$  und  $22\text{ nF}$  bis  $47\text{ nF}$ .





Eine andere Art der Stufengegenkopplung ist im HiFi-Bereich verpönt, weil sie bewusst zur Klangformung eingesetzt wird. Aber warum soll man etwas verdammen, wenn sich damit doch genau die Wirkung einstellt, die man haben möchte: nämlich eine wirklich dezente Klangbeeinflussung (Bass-Anhebung). Voraussetzung für eine dezente Klangbeeinflussung ist natürlich eine dezente Dimensionierung. Man kann natürlich auch anders.

Es ist wie beim Kochen: zwei bis vier Tropfen trockener Sherry können aus einer simplen aber „leicht verkorksten“ Bratensauce einen Gaumenschmaus „zaubern“, wobei hier der Unterschied darin liegt, dass man die klangformende Gegenkopplung erklären kann, die Sache mit dem Sherry allerdings nicht.



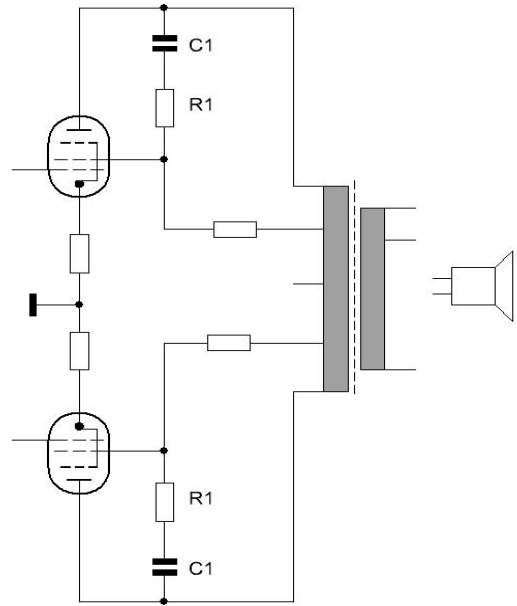
Doch ich will hier nicht aus meiner Küche plaudern. Zurück zur Elektronik. Als Würzmittel wird auch hier ein RC-Glied eingesetzt. Diesmal jedoch nicht über zwei Stufen. Die Wirkung dieser Gegenkopplung ist auf die jeweilige Röhrenstufe beschränkt. Der Ein- und Ausgangswiderstand sinkt. Gleichzeitig können – unter ungünstigen Bedingungen oder bei extrem falscher Dimensionierung – die Verzerrungen ansteigen. Ein weiterer Nachteil ist das Ansteigen des Verstärker-Innenwiderstandes (und damit ja auch eine Senkung des Dämpfungsfaktors).

Wird diese Gegenkopplungsart jedoch im Eingangsbereich (Vorstufe) eines Röhrenverstärker eingesetzt, überwiegen die erzielbaren Vorteile. Und das nicht nur für Eintaktverstärker sondern auch für Gegentaktverstärker. Die naturgemäss eher „faden“ PPP-Röhrenverstärker können mit diesem RC-Glied wunderbar aufgepeppt werden.

Eine mögliche Dimensionierung für R1 und C1 im Vorstufenbereich könnte z. B. sein: 47 k $\Omega$  und 100 pF bis 10 nF.

Die dritte Variante mit einer Stufengegenkopplung das Klangverhalten und die Stabilität eines Verstärkers positiv zu beeinflussen, ist, ähnlich wie beim Lag-Netzwerk, die Kopplung von Anode auf das Gitter 2 von Pentoden. Diese Art der Gegenkopplung kann sehr gut bei Pentoden-Gegentaktstufen eingesetzt werden.

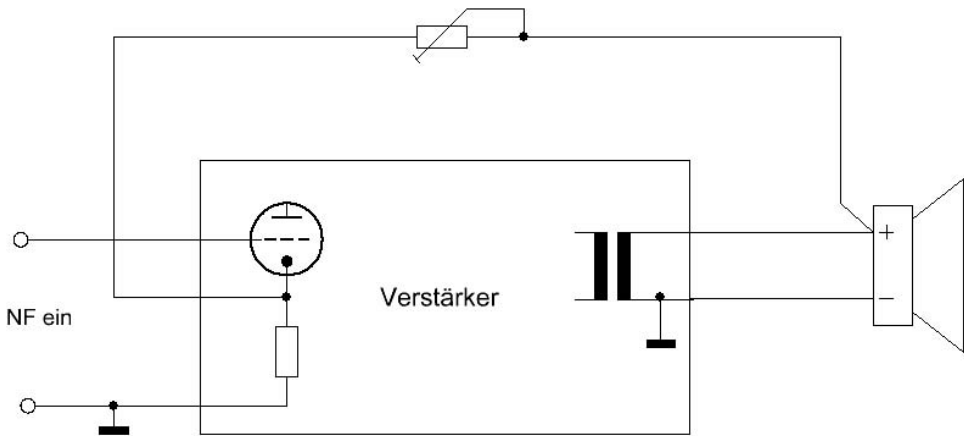
Eine mögliche (dezente) Dimensionierung wäre z.B. für  $R1$   $4,7\text{k}\Omega$  und für  $C1$   $1\text{nF}$ .



Eine weitere Eigenschaft der Gegenkopplung (im Allgemeinen) ist, dass sich die Verstärkung der jeweiligen Stufe ebenso verringert wie die Verzerrungen. Dies ist natürlich entsprechend zu berücksichtigen. Im Zuge einer Verstärkung treten immer Phasenverschiebungen bzw. -drehungen auf. Mit den üblichen Gegenkopplungsfaktoren (Verhältnis der Ausgangsspannung mit und ohne Gegenkopplung) von etwa 50 bis 200 ist der Verstärker noch bei Phasenverschiebungen bis  $270^\circ$  relativ stabil (das ist aber kein Grund, das auch auszunutzen). Darüber hinaus fängt der Verstärker an zu schwingen (Mitkopplung). Ein möglichst breitbandiges Konzept (niedrige untere Grenzfrequenz und eine hoch angesetzte obere Grenzfrequenz) kommt der Stabilität zugute (dazu später mehr, siehe Kapitel 4).

Wenn man sich nun Gedanken um die richtige Über-Alles-Gegenkopplung macht, um den Dämpfungsfaktor zu erhöhen (bzw. den Innenwiderstand zu senken), sich zudem von dem leidigen „Kabelklangthema“ verabschieden möchte, warum dann nicht die Gegenkopplung dort einsetzen bzw. dort einschleifen, wo augenscheinlich ein Teil des Dilemmas herkommt?

Also, anstatt eine Gegenkopplung von der Sekundärseite des Übertragers aus einzuschleifen, bietet es sich an, das Lautsprecherkabel direkt einzubeziehen. Die folgende Grafik zeigt das Gedankenmodell, welches übrigens in Japan erfolgreich eingesetzt wird. Ich habe es auch mal probiert und war positiv überrascht, zumal meine Lautsprecherkabel gut und gerne 4 m zu lang sind (ich weiß, das ist nicht highendig – aber praktisch).



Gegenkopplung am Lautsprecher

Die Sache hat allerdings einen kleinen Haken: das Kabel der Gegenkopplungsleitung spielt ebenso eine Rolle in der „aktiven“ Gegenkopplung, wie die Lautsprecherzuleitungen. Und als ob es damit nicht genug wäre, man muss dieses Kabel auch noch sehr gut abschirmen.

Wie dem auch sei: man kann das ja weiterspinnen und je Frequenzbereich einer Drei- oder Zweigeigefrequenzweiche eine separate frequenzabhängige Gegenkopplung realisieren (die zudem noch regelbar ist), um damit den Verstärker exakt auf den jeweiligen Lautsprecher zu trimmen und ihm in den betreffenden Frequenzbereichen einen niedrigen dynamischen Innenwiderstand anzuzüchten. Ich darf jedoch versichern, dass sich das leichter anhört als es ist. Mit einer aktiven Frequenzweiche käme man schneller zum Ziel (wobei gesagt werden muss, dass man sich mit dieser Idee nahe einer Mischung aus aktiver und passiver elektronischer Frequenzweiche bewegt). Aber das ist ein anderes Feld.

Womit wir wieder bei dem Thema Dämpfungsfaktor wären.

Ein hoher Dämpfungsfaktor wirkt vor allem im tiefen bis hin zum mittleren Übertragungsbereich (also auch dort, wo dieser für das dynamische Klanggeschehen verantwortlich ist), indem er die vom Lautsprecher generierte „Rückspannung“ durch einen möglichst niedrigen Innenwiderstand „verbrennt“. Die klanglichen Vorteile sind nicht von der Hand zu weisen und bestätigen auch das (Vor-)Urteil, dass so mancher zu stark gegengekoppelter Röhrenverstärker nur über einen schwachen und ungenauen Bassbereich verfügt.

**Eine Gegenkopplung kann zwar einiges retten, aber sie ist kein Allheilmittel!  
Sie kann vor allem nichts hinzufügen, wo nichts ist.**

Aufgrund des geringeren Dämpfungsfaktorwertes eines Röhrenverstärkers kann dieser prinzipiell nicht den Bass an den Lautsprecher bringen, den der Halbleiterverstärker

„erzeugen“ kann. Aber mit Hilfe von Gegenkopplung und entsprechender Netzteildimensionierung kann man dem Ideal schon sehr nahe kommen. Ein Dämpfungsfaktorwert von 30 bis 100 bei einem Röhrenverstärker ist schon sehr, sehr gut und auch erreichbar.

Nebenbei bemerkt: ich mag den harten mittleren bis tiefen Frequenzbereich einiger Aktivlautsprecher nicht, da er auf mich sehr unnatürlich wirkt und es ist mir dabei egal, wie gut die Messwerte sind. Anders herum gesagt: mein Ziel ist nicht, die Lautsprechermembran bei einem Bassimpuls 10 cm in den Raum hineinragen zu lassen. Im Gegenteil, meine Lautsprechermembrane haben sich so wenig wie möglich zu bewegen. Und wenn sie es doch tun müssen, dann haben sie gefälligst ihre Ruhestellung so schnell wie möglich wieder einzunehmen – ohne Hin- und Herflatterei. Basta.

### 1.3 Das Netzteil

Nicht nur die eigentliche Verstärkerschaltung bestimmt den Dämpfungsfaktor, sondern alle Schaltungsgruppen, die zu diesem Verstärker gehören, also auch das Netzteil. Das Netzteil ist, zusammen mit einer Gegenkopplung, ein weiteres Schraubchen, an dem man drehen kann, wenn man den Klang eines Röhrenverstärkers positiv beeinflussen will. Dieser Aspekt wird, meiner Meinung nach, viel zu wenig beachtet.

Dabei hat das Netzteil „nur“ die Aufgabe, die Versorgungsspannung genauso stabil zur Verfügung zu stellen wie schnell zu sein und obendrein noch möglichst einen niedrigen Innenwiderstand aufzuweisen und das bei gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit. Kein leichtes Unterfangen, denn ein niedriger Innenwiderstand widerspricht einem hohen Siebfaktor, welcher besonders bei Eintaktendstufen von elementarer Bedeutung ist.

Wenn man, wie ich, ein Faible für die klassische CRC-Siebungskette (Kondensator-Widerstand-Kondensator) hat, dann fällt es leicht, mit einem etwas höheren Widerstandswert für den Serienwiderstand die Siebungseigenschaft zu erhöhen. Wer dagegen auf Drossel oder elektronische Siebung setzt (wobei letztere Siebungsart sowieso nicht in eine Endstufe gehört) hat nicht ganz so gute Karten – es sei denn, man ist bereit die klassische Drossel durch eine elektronische (Gyratorschaltung) zu ersetzen.

Ein Röhrenverstärker ist nur so gut wie das Netzteil. Das scheinen einige HighEnd-Enthusiasten aus der LötKolbenfraktion aber gar zu wörtlich zu nehmen und stopfen in das Netzteil allerlei elektronischen Krimskrams, außen bewehrt durch dicke, überdimensionierte Kondensatoren und noch mehr Dioden, damit ja keine Wechselspannung in die Nähe der Ach-so-geliebten Röhren kommen möge. Dass dieser Verstärker dann auch statische Änderungen im Haus nach sich zieht (bedingt durch den überdimensionierten Netztrafo), wird mit falschem Stolz zur Kenntnis genommen. Das alles nach dem Motto, dass Viel auch Viel helfen möge.

Doch wie in der homöopathischen Medizin auch, macht die Dosis das Gift. Zuviel des „Guten“ ist ebenso schädlich wie der oft herbeizitierte Verkabelungsfehler, wenn der selbstgebaute Verstärker brummt, schwingt oder einfach nicht das macht, wofür er aufgebaut wurde.

Dabei könnte alles so einfach sein, wenn man sich vorher ein paar Gedanken mehr gemacht hätte und sich einmal an alten Verstärkerkonzepten orientiert.

Gegentaktendstufen benötigen kein kompliziertes Netzteil. Gleichrichter und Siebkapazität (in Form eines Elkos) reichen aus. Bei Eintaktendstufen wird es zwar etwas problematischer und aufwändiger, aber auch hier sind keine Materialschlachten nötig, wenn das Gesamtkonzept stimmig ist und der Aufbau sachgemäß durchgeführt wurde. Wer Induktivitäten mag, setzt hier auf ein klassisches Konzept der CLC-Siebung oder alternativ auf CRC-Siebung. Die Röhren benötigen auch keine Gleichspannung für die Heizung. Im Gegenteil – es hat sich gezeigt, dass erheblich weniger Probleme auftreten, wenn die Röhren nach guter alter Väter Sitte beheizt werden: mit Wechselspannung. Der Aufwand für eine Gleichrichtung und effektiver Siebung steht oftmals in keinem Verhältnis zum erzielbaren Vorteil. Die Heizung mit symmetrierter Wechselspannung erweist sich oftmals als vollkommen ausreichend.

Bei einer neuen Eintaktendstufe hatte ich mit Schwingungsproblemen des Verstärkers zu kämpfen. Zunächst hatte ich das Netzteil in Verdacht, da es nicht auf klassische Weise aufgebaut wurde sondern mit einer Spannungsverdopplungsschaltung. Die einzelnen Verstärkerstufen wurden zudem mit sehr großzügig dimensionierten Siebkapazitäten ausgestattet. Selbst nach mehrmaligem Aufbau des Netzteils konnte ich dem Verstärker nicht das hochfrequente Schwingen abgewöhnen.

Es stellte sich nach einer langen Fehlersuche heraus, dass nicht das Netzteil an sich der Schuldige war, sondern das Aufbaukonzept. Erst nachdem die äußere Beschaltungsanordnung geändert (besonders im Vorstufenbereich) und die Siebkapazitäten **reduziert** wurden, hörte das Schwingen auf.

Die zusätzlich eingefügte Stufengegenkopplung verhalf der Eintaktendstufe zu noch mehr Stabilität. Das Ergebnis kann sich durchaus hören lassen: selbst an wirkungsgradstarken Lautsprecher ( $> 95$  dB) ist kein Brumm hörbar und das, obwohl alle Röhren mit Wechselspannung beheizt werden. Na gut, ich will ehrlich sein: nachts um zwei Uhr, wenn man mit dem Ohr ganz dicht an die Membrane geht, dann ist ein leichter Brumm hörbar. Bei handelsüblichen Lautsprechern mit einem Wirkungsgrad um die 88 dB ist nur noch dann ein Brumm zu hören, wenn zusätzlich noch die Zeit angehalten wird.

Aber auch das muss man gelten lassen: ein bekennender Röhrenverstärkerjunker produziert nur Verstärker, die ganz leise aber vernehmbar brummen, wenn kein Musiksingnal eingespeist wird. Seine Erklärung hierfür: „Man muss Röhren hören können.“ Trotz des leichten Brumms kann ich die pawlowschen Reflexeffekte nicht unterdrücken, wenn ich diese Verstärker höre.

Ein Redakteur einer HighEnd-Zeitschrift meinte einmal zu mir, dass er, aufgrund der langjährigen Erfahrung, mittlerweile hören kann, welche Art von Netzteil in einem Röhrenverstärker eingesetzt wird. Und Röhrenverstärker, die sich irgendwie müde anhören und regelmäßig schlecht bewertet werden, würden im Netzteil zuviel des Guten tun, sprich auf Kosten eines möglichst hohen Siebfaktors allerlei „Krimskrams“ einsetzen.

Das hat mich natürlich neugierig gemacht und ich habe mich in einigen „Feldversuchen“ selber davon überzeugen können. Der gleiche Röhrenverstärker mit elektronischem Netzteil klingt vollkommen anders als ein Verstärker (am gleichen Lautsprecher) mit einem einfachen Netzteil mit CRC-Siebung. Und dieser wiederum anders als mit CLC-Siebung. Abgesehen davon, dass bei Verwendung eines elektronischen Netzteils in einer Endstufe aus dem bass-starken „Kawumm-Impuls“ ein mageres „Plop“ werden kann. Und natürlich dürfen Sie auch jede Wette eingehen, dass sich mit der Netzteilkonzeptionierung auch der Gesamt-Innenwiderstand und damit natürlich auch die etwaig eingesetzte Gegenkopplung ändert.

Eine anderer typischer Fehler ist das Überdimensionieren des Netztrafos. Ein Netztrafo, der bei 250 V 500 mA liefern könnte, aber tatsächlich nur mit maximal 50 mA belastet wird, wird garantiert irgendwelchen Unfug anstellen, dem man nicht für Geld und gute Worte beikommen kann. Außerdem: Netztrafos müssen etwas warm werden und sie müssen etwas brummen. Dann arbeiten sie richtig und innerhalb ihrer Spezifikation.

Und wer unbedingt noch eine separate Wicklung für die negative Gittervorspannung benötigt, sollte wirklich nur das an Leistung einsetzen, was die Schaltung auch tatsächlich benötigt. Es spricht allerdings nichts dagegen, die benötigte Gittervorspannung aus der Anodenhochspannung zu generieren.

Ach ja, die Röhrenheizung. Wie schon mehrfach erwähnt, beheize ich meine Röhren in Leistungsverstärkern grundsätzlich mit symmetrierter Wechselspannung. Einfach, aber höchst effektiv. Der finanzielle Aufwand für eine Gleichrichtung inklusive Siebung (geschweige denn elektronische Stabilisierung) ist bei 6-A-Heizstrombedarf nicht zu verachten. Aber auch hier gilt: keine Regel ohne Ausnahme(n)! Wer, wie ich, vermehrt auf P-Röhren (als Vorstufenröhren) setzt, kommt manchmal um eine gleichgerichtete Heizspannung nicht herum. Das hat aber nichts mit etwaiger Brummproblematik zu tun, sondern mit der Tatsache, dass mit einem Halbleiter-Stabi leichter die nötige Stromversorgung zu erreichen ist, als „Berge“ von Widerständen zu verbauen. Die andere Ausnahme von der Regel findet sich in Vorverstärkern, besonders in den Phono-Vorverstärkern. Und wenn man doch mit Gleichspannung (besonders bei Endröhren) heizen will? Dann reicht eine normale Siebkette, bestehend aus Gleichrichter und „viel  $\mu\text{F}$ “, vollkommen aus. Es kann hierbei jedoch auch passieren (besonders bei direkt geheizten Röhren), dass sich ein nicht unerheblicher Brumm einstellt. Bevor man sich hier jedoch an die Siebung festbeißt, sollte man es doch einmal mit reiner Wechselspannung versuchen.

## 1.4 Wieviel Watt?

Als ich „Hören mit Röhren“ geschrieben habe, war alles über 50 W normal. Bei den emotionslosen Halbleiterverstärkern waren 100 W und mehr keine Seltenheit. Schon damals habe ich einerseits gegen diese Wattgeilheit gewettert und andererseits die Beziehung zur Lautsprecher-Impulsbelastbarkeit aufgezeigt.

Nun drehen wir einmal den Spieß um und betrachten das ganze aus Sicht des Innenwiderstandes des Verstärkers.

Der dynamische Innenwiderstand des Verstärkers vergrößert sich, wo der Verstärker an seine Leistungsgrenze stösst. Also in dem Moment, wo das Netzteil keine ausreichende Spannungsversorgung mehr zur Verfügung stellen kann. Und es ist hierbei vollkommen egal, ob es sich hierbei um Röhren- oder Halbleiterverstärker handelt, wobei die Halbleiterfraktion bei dieser Übersteuerung (clippen) um das Wohl der Hoch- und Mitteltöner fürchten muss, da die Transistoren in diesem Fall nur das wiedergeben, was ihnen angeboten wird. Und das ist eben die gleichgerichtete Betriebsspannung. Die Gemeinde der gläubigen „Röhrenhörer“ bekommt zwar im Falle der Übersteuerung auch den Unmut des Verstärkers zu spüren, aber aufgrund des üblicherweise vorhandenen Ausgangsübertragers ist die Gefahr relativ klein, dass die Betriebsgleichspannung zu den Lautsprechern gelangt (eher sind pyrotechnische Effekte zu bestaunen, wenn die Schmelzsicherung nicht schnell genug ist oder der Staniolstreifen nicht schmelzen will).

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass zur sicheren Versorgung des Verstärkers bei extremen Impulsspitzen auch eine entsprechende Netzteildimensionierung gehört. Und man mag es glauben oder nicht, Selbstbau-Röhrenverstärker mit 1000  $\mu\text{F}$  und mehr Siebungskapazität sind viel häufiger anzutreffen als Verstärker mit ausreichend dimensionierten Netztrafos. Egal wieviel der Verstärker tatsächlich zu leisten vermag, es ist gar nicht mal so selten, dass ein Röhrenverstärker schaltungstechnisch zwar 100 W leisten könnte, aber aufgrund der Netzteildimensionierung (besonders der des Netztrafos) gar nicht in der Lage ist, diese Leistung auch tatsächlich zu erbringen. Hauptsache, die vier KT88 oder 6550 glühen und machen was her.

Heute sind Eintaktverstärker mit gerade einmal 20 W der de-facto Standard in der Röhren-HiFi-Szene. Wer mehr als 50 Röhrenwatt zur Verfügung hat, wird schief angeschaut und der Protzerei bezichtigt. Und so spaltet sich das Röhrenlager in eintaktverliebte „B20W“ (bis 20 Watt) und gegentaktororientierte „Ü50W“ (über 50 Watt), wobei bei letzterer Sektion noch die Hardcore-Wattfetischisten der „Ü150W“-Sektion hinzukommt.

Aus Sicht des dynamischen Innenwiderstandes muss ich sagen, dass die Freunde der glimmenden Leistungsboliden aus der „Ü150W“-Sektion absolut Recht haben, denn es macht schon einen Unterschied, ob ich den Rhythmus von Metallicas „Wiskey in the Jar“ oder Yellos „The Race“ mit maximal 15 W möglicher Leistung oder 150 W möglicher Leistung höre. Die Betonung liegt hier auf „mögliche Leistung“, denn es dürfte

klar sein, dass ich kaum in die Lage komme, unter normalen Umständen mehr als 10 W aus dem Verstärker herauszukitzeln, wenn ich nicht erheblichen Ärger mit der Nachbarschaft, der Polizei und dem Ordnungsamt bekommen will.

Dass ich ausgerechnet diese Musiktitel erwähne und als Beispiel heranziehe, hat natürlich seinen Grund, denn diese Musik wird üblicherweise etwas lauter gehört (ich hätte hier genauso gut Frank Fischer oder Martin Taylor nennen können – aber ich wollte mal Musikstücke nennen, die in HighEnd-Kreisen verpönt sind, aber von vielen insgeheim gehört werden). Und die Qualität des Verstärkers wird bei dem stampfenden Rhythmus sehr schnell aufgezeigt. Ein moderner 50-W-Halbleiterverstärker eines großen Herstellers kommt bei abzugebenden 35 W sehr schnell in die Bedrouille, weil der Netztrafo gar nicht (mehr) auf die Maximalleistung ausgerichtet ist.

Ein gleichstarker Röhrenverstärker ist auch nur bis etwa 40 W auszusteuern, weil dann der Innenwiderstand rapide ansteigt und von dem treibenden Rhythmus nicht mehr allzuviel übrig bleibt. Mit einem dicken 150-W-Verstärker hingegen könnte man, bei gleichbleibender Dynamik und gleichbleibender Lautstärke von z. B. 50 W, eine große Party bis zum Gratis-Tinitus beschallen. Das heißt also, auch wenn man theoretisch 150 W zur Verfügung hätte, man nutzt sie kaum. Es ist die Leistungsreserve, die dieser Verstärker bei gleichbleibendem Innenwiderstand zur Verfügung stellen kann. Die vielzitierte bessere Klangeigenschaft eines „dicken“ Röhrenverstärkers ist also nicht ganz so weit hergeholt, wobei wir wieder bei der Impulsbelastbarkeit (aus „Hören mit Röhren“) wären und sich der Kreis schließt. Demnach sind leistungsschwache Eintakter HighEnd-technischer Blödsinn.

Womit ich sagen will, dass das Gesamtkonzept eines Netzteils stimmen muss. Der Netztrafo muss (egal ob für Halbleiter- oder Röhrenverstärker) auf die maximale Verstärkerleistung ausgerichtet sein. Ist er das nicht, nützen auch die teuersten und dicksten Siebkondensatoren nichts. Um zu wissen, wie z. B. bei einem 50-W-Röhrenverstärker das Netzteil auszusehen hat, sollte man sich einmal entsprechende (gute) Gitarrenverstärker vor Augen führen, sprich begutachten: ein dicker Netztrafo, Gleichrichter, moderate Gesamt-Siebkapazitäten von maximal 100  $\mu\text{F}$ , eine kleine Drossel und ein „dicker“ Übertrager. Und das wohl gemerkt für „nur“ 50 W maximale Ausgangsleistung und einer unteren Grenzfrequenz, für die 100 Hz schon sehr niedrig angesetzt sind. Alles andere ist Mist. Da kann man mir mit links- oder rechtsdrehenden, nachgeglühten und geweihten kornorientierten Blechen für einen M74-Übertrager kommen, soviel man will.

Und wenn Sie schon bei dem Gitarrenverstärker sind, lassen Sie den Gitarristen mal etwa zwei Stunden bei voller Lautstärke spielen und fassen dann mal an die Trafos. Die werden nicht nur von den Röhren so aufgeheizt. Aber die Dinger halten. Warum? Weil sie darauf ausgelegt wurden. Das Geschrei, wenn mal ein Netztrafo handwarm wird, kann ich also nicht ganz nachvollziehen.

Dass man das Netzteilkonzept eines Gitarrenverstärkers nicht Eins-zu-Eins für einen HiFi- oder gar HighEnd-Röhrenverstärker übernehmen sollte, ist verständlich, wenn



man berücksichtigt, dass das Netzteilkonzept eines Gitarrenverstärkers zum Gesamtkonzept des jeweiligen Gerätes gehört. Es gibt aber auch Anbieter, die für ihre HiFi-Verstärker solche Netzteilkonzepte (etwas modifiziert natürlich) einsetzen.

Nichtsdestotrotz kann man sich an einem solchen Verstärker wunderbar orientieren, womit wir bei der Dimensionierung einiger Bauteile angekommen sind.

Bei einem alten Röhrenverstärker muss man immer berücksichtigen, dass früher die Techniker und Ingenieure nicht die Bauteile und in deren Qualität zur Verfügung hatten, wie sie heute fast jeder Bastler bekommen kann. Ein simpler 100- $\mu$ F-Kondensator mit einer Spannungsfestigkeit von 450 V war damals genauso häufig wie heute die Existenz eines idealen Verstärkers oder einer Batterie mit einem Innenwiderstand von genau  $0\Omega$ . Selbst 47- $\mu$ F-Kondensatoren waren nur sehr schwer aufzutreiben und dann auch noch sehr teuer. Man beschränkte sich daher auf sehr niedrige Kapazitäten (die heute keiner mehr einsetzen würde) und hohe Induktivitäten. Die klassische CLC-Siebung eben. Anderslautende Aussagen gehören schlichtweg ins Reich der Phantasie. Dasselbe gilt auch für die Aussage, dass früher die Techniker und Ingenieure die Verstärker nach Datenblatt der Röhre bzw. nur nach Berechnungen des Herrn Barkhausen konstruiert haben sollen. Sicher, es gab solche Verstärker – aber spätestens als man herausfand, dass solche Konstrukte doch nicht das Gelbe vom Ei waren, war Barkhausen lediglich Grundlage, der Rest empirisch durchgeführte Praxistests. Und das ist auch kein Wunder, denn Barkhausen beschrieb lediglich die Funktionalität von Röhren und deren Grundschaltungen (auch die Gegenkopplung gehörte dazu), der Zusammenhang aus dem Akustikbereich war nicht „sein Ding“. Barkhausen darf deshalb nur als Grundlage gelten (wenn Sie sich das unbedingt antun wollen). Barkhausen ist genausowenig die allein seligmachende Bibel des Röhrenverstärkerbaus wie die Bibel ein wissenschaftliches Kompendium ist (Für diese Meinung werde ich von den Röhrenfanatikern bestimmt noch gemeuchelt, da nimmt sich die katholische Kirche mit der Bibel-Interpretation bzw. des Alten Testaments noch sehr tolerant und weltoffen aus).

Hätte der gute Mr. Williamson (in der Röhrenverstärkerszene verkörpert er in etwa das, was ein Pelé oder Uwe Seeler im Fussball darstellen) die heute verfügbaren Bauteile in der Qualität zur Verfügung – seine Verstärker (und da bin ich mir absolut sicher) würden etwas anders aussehen. Und auch die Röhrenverstärker aus den 60er und 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts haben alle eines gemeinsam: obwohl man nun hier wesentlich einfacher und effektiver konstruieren konnte, es auch bezahlbare 100- $\mu$ F-Kondensatoren gab, sind diesen Verstärkern digitale Musikquellen, die dazu noch sehr niederohmig angeschlossen werden können, absolut fremd. Von der Qualität heutiger Lautsprecher ganz zu schweigen.

Der Erfolg eines gut klingenden Röhrenverstärkers hängt also davon ab, welche Materialien ich **heute** wie einsetze. Ein Röhrenverstärker von 1965 **kann** sich heute gut anhören – die Wahrscheinlichkeit, dass er es nicht tut, sind ungleich größer. Was hindert uns aber, solch ein Schaltungskonzept in groben Zügen zu übernehmen und ihn auf die heutige Zeit anzupassen? Nichts.

### 1.4.1 Röhren müssen klingen

Ein Röhrenverstärker muss nach Röhre klingen. Sicher, ich kann unter Einsatz von modernsten Bauelementen und unter Zuhilfenahme eines Mikrocontrollers jeden röhrenbestückten Verstärker soweit bringen, dass er sich wie ein Halbleiterverstärker anhört. Das mag sich zwar von den Messwerten her toll lesen, vielleicht auch so klingen, aber wozu dann die Röhren? Jeder 08/15-Verstärker aus dem Elektronik-Discount könnte das Gleiche sogar noch besser und damit man was zum Zeigen hat, kann man oben im Deckel einige Löcher stanzen, Röhren einsetzen und diese dann an eine 6-V-Spannungsquelle anschließen. Dann erzielt man für weniger Geld den gleichen Effekt.

Bei den folgenden Schaltungen geht es also darum, den typischen Röhrenklang (oder den Sound) beizubehalten, wobei die schwierige Gratwanderung darin besteht, kein angestaubtes, muffeliges Konzept weiter zu verfolgen.

Die Schaltungen an sich funktionieren so wie sie sind. Wer allerdings einen Netztrafo als Übertrager einsetzt und HiFi erwartet, der sollte sich über den Misserfolg nicht wundern. Man fährt mit einem Fiat Panda ja auch keine Formel-1 Rennen. Ein Netztrafo ist eben ein Netztrafo. Er heisst so, weil er die Netzspannung bei 50 Hz herauf- oder herabtransformiert. Und aufgrund seiner Konstruktion macht dieser als Übertrager vergewaltigte Netztrafo in anderen Frequenzbereichen Mist. Da nützt es auch nichts, wenn man edle Kondensatoren und teure Röhren einsetzt.

Einige dargestellte Verstärkerkonzepte können, wenn man die Bauelemente hat, innerhalb weniger Stunden aufgebaut werden, die meisten jedoch nicht. Ich kenne die Ungeduld vieler Bastler – deshalb möchte ich eindringlich vor zuviel Euphorie warnen. Das „Ich baue mal eben einen 30-W-Verstärker zusammen“ geht garantiert schief. Die Tücken liegen im Detail: ein falsch gepolter Elko, eine Siebkette an falscher Stelle oder kalte Lötstellen sind gar nicht mal so selten. Aber zur Beruhigung: wenn Sie glauben, ich mache immer alles richtig, dann irren Sie. Und zwar gewaltig. Wenn ich „mal eben einen Verstärker abgleichen muss“, hört meine Frau daraus nur die Kurzfassung aus der „Offenbarung des Johannes“ (auch als die „Apokalypse“ bekannt).

Die wichtigste Zutat für ein Gelingen ist Zeit. Wer die nicht hat, soll erst gar nicht den LötKolben anfassen. Denn wer keine Zeit hat, macht Fehler. Und Fehler bei Röhrenverstärkern können tödlich sein.

# Sachverzeichnis

## A

Abgleicharbeiten 22  
 adjustable damping factor 53  
 Arbeitspunkt 62  
 Arbeitspunkt der Röhre 64  
 Arbeitspunkteanzeige 75  
 Aufbauhinweise 34  
 Ausgangsübertrager 60, 70

## B

Bandbreite 60  
 Barkhausen 32  
 Berechnung des Dämpfungsfaktors 15  
 BIAS 64  
 Brückengleichrichter 72  
 Brumm 28, 29  
 brummärmster Punkt 38  
 Brummfehler 38  
 Brummproblem 39  
 Brummschleifenbildung 37  
 Brummursache 39

## C

Chassis 39  
 CLC-Siebung 28, 32  
 CRC-Siebung 28, 40  
 CRC-Siebungskette 27

## D

Dämpfungsfaktor 14–16, 18, 19, 26, 82  
 damping factor 49  
 Das Netzteil 27  
 dezente Gegenkopplung 21  
 dezentrale Stufenmasse 36  
 die Leistungsgrenzen 87  
 Drossel 75  
 Dynaco 43

Dynacord 43  
 Dynamik 19  
 Dynamikumfang 20  
 dynamischer Innenwiderstand 30

## E

Eigenklang 12  
 Eingangsstufe 85  
 Einschaltmoment 79  
 einstellbarer Dämpfungsfaktor 50  
 Eintakt 73  
 Eintaktendstufen 28  
 Elektrostaten 83  
 Elkos 60  
 Erdungsanschluss 36, 39  
 Erdungsleiter 36  
 Ermittlung des Dämpfungsfaktors 17

## F

Filter 62  
 Flankensteilheit 62  
 Formeln 16  
 Freiverdrahtung 34, 38  
 Frequenzgang 66, 82  
 Frequenzweiche 19, 56  
 Frequenzweichenspulen 56

## G

Gegenkopplung 19–23, 25, 32, 55, 67  
 Gegentakt Push-Pull 79  
 Gegentaktendstufen 28, 82  
 Gegentaktverstärker 86  
 Gegentaktverstärker mit 6146B 79  
 35-W-Gegentaktverstärker 43  
 gehörriichtige Klangkorrektur 64  
 Gittervorspannung 29, 79  
 Gitterwiderstand 59

Glaskolbenromantik 89  
Gyrator 75  
Gyratorschaltung 27

## H

Heathkit 48  
Heizspannungsversorgung 89  
6-A-Heizstrombedarf 29  
Heizungszuleitung 35  
HF-Schirmung 39  
HiFi 12  
HighEnd 12, 14  
hochfrequente Schwingen 28  
Hochspannungen 35  
Hören mit Röhren 12

## I

Impulsbelastbarkeit 30, 31  
Impulsspitzen 30  
Impulsverhalten 59  
Innenverkabelung 35  
Innenwiderstand 16–18, 26, 35

## K

Kabelklangthema 25  
Kabelquerschnitt 35  
kalte Lötstelle 34  
Kanaltrennung 40  
Kapazitäten 58  
Kathodenwiderstand 62  
Klangbeeinflussung 13, 24  
Klangeigenschaft 31  
Klangformung 24  
Klangregler 14  
Klangwunder 62  
Klingeldraht 35  
Klirr 13  
Kohlemasse-Widerstände 49  
Kohlewiderstände 61  
Komplettsätze 67  
Kondensatoren 34, 41  
Koppelglied 60  
Koppelkondensatoren 50, 58  
Kupferdraht 36

## L

Lag-Netzwerk 49, 62, 89  
Lastwiderstand 17, 55  
Laufzeitverzögerungen 59  
Lautsprecher 13, 32  
Lautsprecher-Dummy 55  
Lautsprecherkabel 63  
Lautsprechertests 21  
Lautsprecherzuleitungen 26  
Leerlauf 55  
Loudness 63  
LowEnd 14

## M

Masseleitung 35, 39  
Masseschiene 36  
Masseverdrahtung 36  
Mesh-Plate 89  
Messsignale 55  
Messwerte 33  
Metalloxid 41  
Metalloxydwiderstände 61  
Metallschicht 41  
Metallschichtwiderstände 61  
Metallwiderstände 61

## N

Netzteil 27, 29, 87  
Netzteildimensionierung 30  
Netzteilkonzept 32  
Netzteilmasse 38  
Netztrafo 29, 33  
NTC 50, 79

## O

Obertöne 13  
ohmscher Lastwiderstand 55

## P

Parallel-Single-Ended 73  
Pentodenbetrieb 87  
Phasendrehungen 59  
Phasenlage 22  
Phasenumkehrstufe 85  
Phasenverschiebungen 25

Polklemmen 63  
Potentialunterschiede 35  
Professionelle HighEnd-Verstärker 67

**R**

Raummoden 13  
RC-Glied 23  
RC-Kombination 89  
Reparatur 34  
Resonanzkörper 14  
Retro-Lautsprecher 18  
RFT-Röhren 62  
Röhren 10, 33, 62  
Röhrenfassungen 34  
Röhrengleichrichtung 43  
Röhrenheizung 29  
Röhrenklang 33  
Rückkopplung 22  
Ruhestrom 64

**S**

Schmelzsicherung 30  
Schraubensicherung 37  
Schwabbelbass 19  
Schwingungsprobleme 28  
Serieninduktivität 18  
Serienwiderstand 27  
Siebkondensatoren 75  
Siebungseigenschaft 27  
Siebwiderstand 62  
Single-Ended mit 2A3 67  
Single-Ended mit 845 75  
Single-Ended mit EL156 70  
Spannungsverdoppler 79  
Spannungsverdopplerschaltung 48, 75  
Spannungsverdopplungsschaltung 28  
SRPP 44  
SRPP-Treiberstufe 70  
Stabilität 25  
Stabilität des Verstärkers 22  
Studiotechnik 60  
Stufengegenkopplung 24, 40

symmetrierte Wechselspannung 28  
Symmetrierung 35

**T**

0-V-Technik 82  
Teilesätze 67  
Trafobrumm 37  
Treiberleistung 82  
Triodenbetrieb 85, 87  
Tuningmaßnahme 34

**U**

Über-Alles-Gegenkopplung 20  
Übergangswiderstände 34  
Überschwinger 19  
Übersteuerung 30  
Übertrager 33, 37, 40, 67  
untere Grenzfrequenz 23, 59  
Unterheizen 62

**V**

Verdrahtungen 36  
Verdraftungshinweise 34  
Verkabelungsfehler 28  
Verstärker-Innenwiderstand 15  
Verstärkerkonzepten 28  
Verstärkermasse 38  
Vierpol 19  
Vollverstärker 70

**W**

Wechselspannung 27, 29  
Wechselspannungsfelder 35  
Wechselwirkung 16  
Widerstand 61  
Widerstandstoleranzen 61  
Williamson 32, 63

**Z**

zentraler Massepunkt 36  
Zobelglied 62, 63, 70, 89  
70-W-Gegentaktverstärker 48

# High-End Röhrenschaltungen

Dieses Buch ist den audiophilen Freaks gewidmet. Es beschreibt Röhrenschaltungen aus dem professionellen und semiprofessionellen Bereich. Der Autor geht ausführlich auf die Klangproblematik ein und beschreibt Mittel und Wege, den Röhrenverstärker an die Umgebung wie z. B. Lautsprecher, Lautsprecherkabel und Hörraum optimal anzupassen.

Durch die allgemeinverständliche Schreibweise bleiben die technischen Zusammenhänge auch für Anfänger durchschaubar.

So gehört es zur Philosophie des Autors HiFi und High-End als Gesamteindruck zu vermitteln und die Geräte nicht isoliert zu betrachten. Des Weiteren widmet er sich modernen High-End-Röhrenschaltungen mit alten NOS-Röhren.

Auch die Optimierung historischer Verstärker auf den heutigen technischen Stand wird ausführlich erörtert. Auch Schaltungen aus dem professionellen High-End-Bereich werden diskutiert.

Zum ersten Mal wird in diesem Buch auch ein neu entwickelter Röhrenverstärker in „0-Volt-Technik“ vorgestellt.

## Aus dem Inhalt:

- Eintakt-Röhrenverstärker mit den Röhren EL8, 300B, EL156, 854
- Gegentakt-Röhrenverstärker mit den Röhren 6V6, EL34, 6550, 6146B
- 100-Watt-Gegentaktverstärker mit der Röhre PL519 in „0-Volt-Technik“
- Negative Vorspannungserzeugung ohne separate Trafowicklung
- Nützliche Schaltungstricks

ISBN-13: 978-3-7723-5207-2

ISBN-10: 3-7723-5207-3



9 783772 352072

€ 14,95 [D]

FRANZIS