



Jürgen Althoff

TUBES



JÜRGEN ALTHOFF

TUBES

Klassifizierung von Röhrenverstärker-Topologien

*Jürgen Althoff  
Fritz-Erler-Str. 5  
48429 Rheine*

*Der Autor behält sich alle Rechte vor. Das Werk darf - auch teilweise - nur mit seiner Genehmigung wiedergegeben werden.*

*Gestaltung und Abbildungen wurden vom Autor erstellt.*

2024-08-09

# INHALT

<b>Vorwort</b> .....	2
<b>Der erste Röhrenverstärker</b> .....	4
<b>Die Schaltungsvarianten</b> .....	8
<b>Gegentaktschaltungen</b> .....	10
<b>Standard-Gegentakt</b> .....	12
<b>Serieller Gegentakt</b> .....	16
<b>Spezielle Schaltungen</b> .....	18
<b>Brückenschaltung</b> .....	20
<b>Röhren-Mystik</b> .....	22
<b>Der Markt für Röhrenverstärker</b> .....	24
<b>Klassenunterschiede</b> .....	26
<b>Das Davor</b> .....	30
<b>Von der Natur lernen</b> .....	32
<b>Lasst Blumen sprechen</b> .....	34
<b>Eine einfache Schlussfolgerung</b> .....	36
<b>Nachwort</b> .....	37

*In diesem Kompendium geht es um Röhrenklang. Die von mir entwickelte Brückenschaltung wurde in der kommerziellen Unterhaltungselektronik nie realisiert. Das war vielleicht der komplizierten Berechnungsart geschuldet.*

*Vielleicht hat auch nur niemand an diese Schaltungsvariante gedacht. Ich habe dafür 2004 das Gebrauchsmuster 201 08 782.0 angemeldet.*

*Dazu kam es nur zufällig. Ich hatte eine der letzten Vorlesungen über Röhrentechnik (Prof. Döring) an der RWTH Aachen gehört und später, Ende der 90er, wegen eines Sehnenrisses eine ungewollte Auszeit.*

*Damals habe ich ein Buch von Prof. Barkhausen gelesen, der in den 1920ern diese Art der Verstärkerschaltung voraussagte, ohne sie zu konkretisieren.*

*Ich hatte mich zuletzt während meiner Diplom-Arbeit 1976 mit Systemsimulation beschäftigt und versuchte es davon inspiriert noch einmal.*

*Ich programmierte eine iterative Methode zur Analyse des Großsignal-Verhaltens einer Brückenendstufe. Das Ergebnis war eine Überraschung für mich. Noch größer wurde sie, als ich einen Testaufbau machte und zum ersten Mal im Betrieb hörte.*



Die Worte vor den nun folgenden Worten nennt  
man auch

### **Vorwort,**

obwohl es meist mehrere sind.

Der Zweck dieser Schrift ist aber nicht, eine  
Anleitung zum Bau eines Röhrenverstärkers zu  
geben, wie ich ihn als virtuellen Bausatz auf  
[www.Jogis-Roehrenbude.de](http://www.Jogis-Roehrenbude.de) veröffentlicht habe.

Hier geht es mir um etwas ganz anderes. Ich möchte  
das häufig mystifizierte Thema Röhrenklang  
objektiv anhand technischer Fakten erklären.

Sine ira et studio<sup>1</sup>, wie einst Tacitus voranstellte, als  
er über unsere germanischen Vorfahren schrieb.

Ich lasse meine Leser hier einfach nur ein Stück weit  
in die Systematik der Röhrenverstärker blicken und  
versetze sie damit in die Lage, für sich selbst zu  
entscheiden, welches Konzept ihren Vorstellungen  
von gutem Klang am ehesten entspricht.

---

<sup>1</sup> Wörtlich: Ohne Zorn und Eifer, also objektiv.

Dazu habe ich anhand eines einfachen mechanischen Modells (einer Wippe) eine leicht verständliche und doch richtige Darstellung gewählt.

Was in der Röhrenverstärkerwelt auffällt, ist eine begrenzte Anzahl von Grundsaltungen, die man gut mit der Zusammenstellung von Gerichten in einem China-Restaurant vergleichen kann, in dessen Küche aus immer gleichen Zutaten eine bemerkenswerte Vielfalt an Kreationen entsteht.

## Der erste Röhrenverstärker

Er basierte bereits auf der noch heute aktuellen Methode, den Stromfluss durch ein Vakuum zu beeinflussen. Die Grundlagen hierfür erkannte im Jahr 1873 als Erster der Physiker Guthrie, als er die Glühemission entdeckte.

Zehn Jahre später wurde die erste Anwendung, eine Gleichrichterröhre, von Thomas Alva Edison 1883 patentiert. 1912 realisierte Lee de Forest den ersten Röhrenverstärker, nachdem er 1906 ein Steuergitter in einer gasgefüllten Röhre zum Patent angemeldet hatte. Ab 1913 wurden dann Vakuum-Trioden von Western Electric als Telefonie-Verstärker eingesetzt.

Das war in den Kindertagen der Röhrenverstärker vor über einhundert Jahren.<sup>2</sup>

Eine glühende Elektrode kann Strom weiterleiten wie ein Stück Draht. Nur kann sie das nicht bei Zimmertemperatur. Sie muss bis zur Rotglut erhitzt werden, um Elektronen an ihre Umgebung abgeben zu können. Das gelingt am besten im Vakuum, weil darin keine Gasmoleküle den Elektronen den Weg

---

<sup>2</sup> Quelle: Wikipedia

versperren.

Wäre eine Röhre mit Luft gefüllt, würden Funken sprühen, weil Luft unter hohen Feldstärken ionisiert und leitfähig wird, wie wir das bei jedem Gewitter beobachten können.

Die Vorgänge in Elektronenröhren laufen also im Vakuum ab. Die äußere Elektrode<sup>3</sup> nimmt die emittierten Elektronen auf, und verhindert so, dass sie als Elektronenstrahlung austreten können.

Auf diesen Phänomenen beruhen auch die im High-End Audio Bereich angesiedelten Röhrenverstärker bis heute.

Alle Bauformen und Schaltungsarten sind Variationen der auch als „Audion“<sup>4</sup> bekannten Grundschaltung einer Verstärkerröhre.

Der Begriff leitet sich vom lateinischen ‘audio = ich höre’ ab.

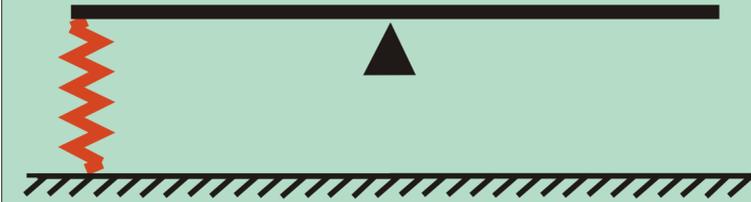
---

<sup>3</sup> Anode

<sup>4</sup> Der Name Audion entstand, weil eine Verstärkerröhre in der Eingangsstufe der ersten Rundfunkempfänger durch Gleichrichtung für Demodulation sorgte und gleichzeitig das demodulierte Signal verstärkte. Der Modulationsinhalt wurde nach weiterer Verstärkung mittels Lautsprecher hörbar.



Single Ended



## Die Schaltungsvarianten

Die Audion-Schaltung der ersten Rundfunkempfänger wurde zur Demodulation ohne Gittervorspannung (BIAS) betrieben. Mit einer negativen Vorspannung eignet sie sich gut für die Verstärkung von Tonsignalen.

Dabei liegt der Arbeitspunkt, also die Stromstärke durch die Röhre im Ruhezustand, von dem aus die Röhre für mehr oder weniger Stromfluss angesteuert wird, so, dass sich eine gute Leistungsausbeute bei geringen Verzerrungen ergibt.

Dafür wurde später der Begriff Class A bzw. A-Betrieb gewählt. Man erhält damit das qualitativ beste Ausgangssignal, das eine einzelne Röhre zur Verfügung stellen kann.

Auf diesem Schaltungskonzept basierende Audio-Verstärker werden daher auch „Single Ended“ genannt. Das Prinzip ist vergleichbar mit einer Wippe, die an einem Ende von einer Feder gestützt wird.

Diese unsymmetrische Anordnung setzt sich als elektrisches Pendant im Ausgangsübertrager fort,

der zur Linearisierung einen Luftspalt im Eisenkreis erhält, um seinen nicht-linearen Einfluss durch Vormagnetisierung abzuschwächen.

Da bei Transformatoren die Spannung auf einer Seite proportional zur Änderung des Stroms auf der anderen Seite ist, sollten Schaltvorgänge vermieden werden.

In Klartext heißt das, dass das Abstecken der Lautsprecher im Betrieb eine Wirkung hervorrufen kann, wie sie bei einer Zündspule im in einem Otto-Motor gezielt genutzt wird, um den Zündfunken zu erzeugen. Eine solche Spannungsspitze wirkt dann auf die Anodenkreise der Endröhren.

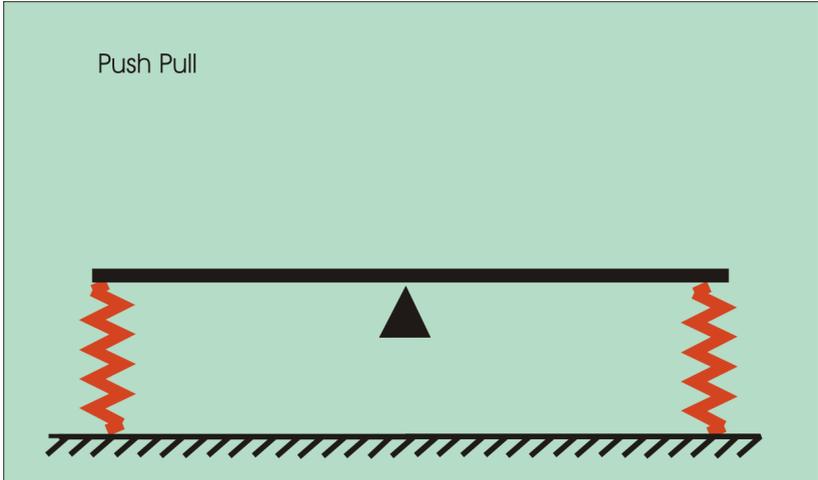
Dass das unbedingt vermieden werden muss, kann gar nicht oft genug erwähnt werden.

## **Gegentaktschaltungen**

Gegentaktschaltungen werden benutzt, um die durch die gekrümmten Röhrenkennlinien hervorgerufenen Unsymmetrien zu kompensieren. Die Linearität von Verstärkerschaltungen wird dadurch verbessert. Gleichzeitig wird durch die zusätzliche Röhre die Ausgangsleistung signifikant erhöht.

Durch diese Symmetrie verändert sich auch das Spektrum der Oberwellen. Es treten nun nicht nur ungerade Harmonische auf.

Push Pull



## Standard-Gegentakt

Zwei Verstärkerröhren werden im Verbund betrieben und dabei gegenphasig (mit invertiertem Signal) angesteuert, um die größere Verstärkung der positiven Signalanteile (links vom Arbeitspunkt in Richtung kleinerer Anodenspannungen) und die geringere Verstärkung der negativen Signalanteile gegeneinander auszugleichen. Solche Schaltungen werden entsprechend Gegentaktschaltungen genannt und üblicherweise mit ihren englischen Bezeichnungen weiter differenziert.

Die gerade beschriebene Schaltung wird

### **„Push-Pull“**

genannt, wie es auch auf vielen Türen zu lesen ist.

So soll verdeutlicht werden, dass sich entgegengesetzte Kräfte, die gegeneinander gerichtet sind, in ihrer Wirkung verstärken. Am Türbeispiel wird das schnell klar. Wenn eine Tür schwergängig ist und auf einer Seite jemand zieht, während auf der anderen Seite jemand anderer drückt, lässt sich die Tür leichter öffnen.

Solche Schaltungen liefern bei relativ geringem

Bauteileaufwand hohe Ausgangsleistungen. Über die die Wahl der Arbeitspunkte, im HiFi-Latein oft auch als BIASing<sup>5</sup> genannt, wird bei Inkaufnahme eines ungünstigeren Ausgangsspektrums höhere Ausgangsleistung ermöglicht.

In den Eisdielen und Kneipen der 50er Jahre standen oft Geräte, die gegen Münzeinwurf Schallplatten abspielten und als Juke-Boxen bezeichnet wurden. Genau daran erinnert das Klangbild, das diese Schaltungen erzeugen. Sie wurden auch für Bühnenverstärker und in Kinos häufig genutzt.

Die Zusammenführung der Signale im Ausgangsübertrager ist bei diesen Schaltungen auch ohne Vormagnetisierung ein kritischer Punkt, denn sie erfolgt über den Magnetkreis. Dadurch kommt neben der Röhrencharakteristik eine weitere nichtlineare<sup>6</sup> Komponente hinzu, die das Klangbild beeinflusst.

Um auch die Einflüsse durch den Magnetkreis gering zu halten, kommt in einer anderen Schaltungsvariante eine unmittelbare Überlagerung der Anodenströme der Gegentaktröhren zur Anwendung.

---

<sup>5</sup> Bias ist das englische Wort für „Verzerrung“, in der Elektrotechnik wird damit die Überlagerung eines Signals mit einer konstanten Größe beschrieben, in der Röhrentechnik ist damit die Gittervorspannung einer Verstärkerröhre gemeint.

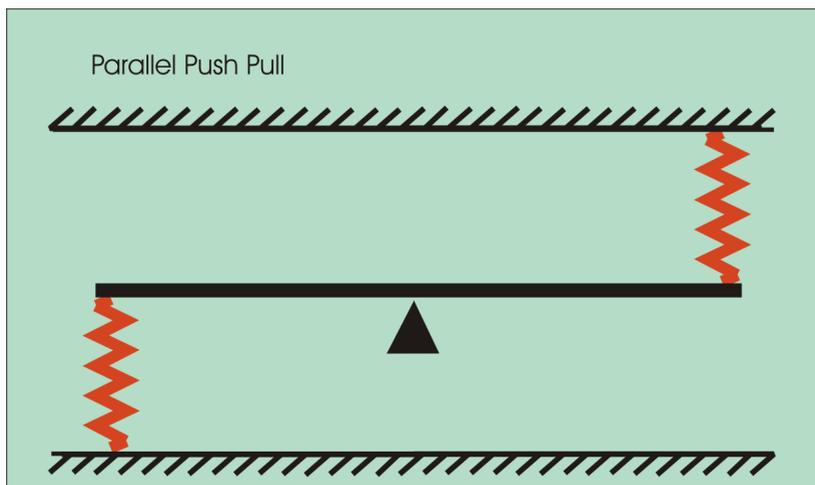
<sup>6</sup> Nichtlinearitäten verursachen in der Elektronik immer Signalverzerrungen, die sich als Oberwellen darstellen lassen.

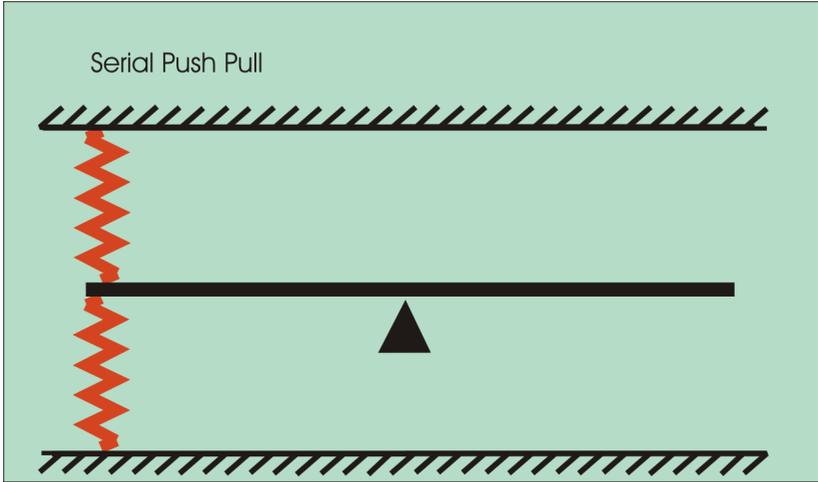
Diese fließen dann in entgegengesetzten Richtungen durch den Ausgangsübertrager und kompensieren sich ohne Beteiligung des Eisenkreises. Solche Schaltungen werden wegen dieser Art der Signalüberlagerung

### „Parallel Push Pull“

genannt.

Sie erfordern einen erhöhten Geräteaufwand, weil zwei galvanisch getrennte Anodenspannungen benötigt werden. Daher wurden solche Schaltungen überwiegend in Tonstudio-Umgebungen eingesetzt und fanden keine Verbreitung in der Unterhaltungselektronik.





## Serieller Gegendtakt

Was durch Parallelschaltung zu einer Vergrößerung der Ausgangsströme führt, kann durch Serienschaltung in eine Vergrößerung der Ausgangsspannungen überführt werden.

So gibt es zur Push-Pull Schaltung das SRPP<sup>7</sup> Pendant einer Reihenschaltung gegenphasig angesteuerter Röhren.

Diese Schaltungen umgehen gleichzeitig viele Probleme am Ausgangsübertrager, weil die Signalauskopplung an potentialgleichen Punkten erfolgen kann. So wird Vormagnetisierung vermieden und die voluminöseren Übertrager mit Luftspalt können durch kompaktere Bauformen ersetzt werden.

---

<sup>7</sup> Serial Resistor Push Pull, übersetzt etwa: Reihen-Gegendtaktschaltung mit Widerstand



## Spezielle Schaltungen

Neben den bisher vorgestellten Varianten sind noch spezielle Schaltungen mit besonderen Eigenschaften entwickelt worden, wie z.B. die Kathodenfolger-Schaltung für besonders niederohmige Signalauskopplung oder die Kaskodenschaltung für besonders hohe Spannungsverstärkungen.

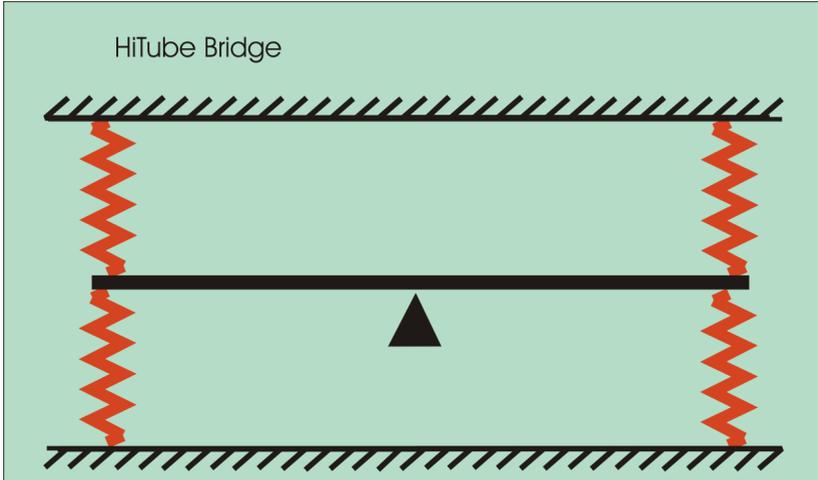
In der Audio-Technik sind besonders Kathodenfolger- und SRPP-Varianten erwähnenswert, da sie zur Realisierung von OTL<sup>8</sup>-Verstärkern verwendet werden können.

Bei solchen Verstärkern entfallen alle im Zusammenhang mit Magnetismus auftretenden Verzerrungen.

---

<sup>8</sup> OTL = OutputTransformerLess, also Verstärker ohne Ausgangsübertrager

HiTube Bridge



## Brückenschaltung

Solche Schaltungsvarianten sind für Audio-Zwecke kommerziell nicht bekannt. Hinter dem Konzept steht die Idee, durch Gegentaktschaltungen gut kompensierte Signale durch nochmalige gegenphasige Überlagerung weiter zu linearisieren.

Bei der von mir entwickelten Schaltung<sup>9</sup> geschieht das mit zwei im Gegentakt angesteuerten SRPP Schaltungen. Die erreichte Signalqualität entspricht eher der eines Chimären aus Class A und klassischem Gegentakt Verstärker.<sup>10</sup>

Ein Mehraufwand beim Netzteil ist nicht erforderlich, es verdoppelt sich allerdings die Anzahl der benötigten Röhren.

---

<sup>9</sup> Diese Schaltung war durch das deutsche Gebrauchsmuster Nr. 201 08 782.0 "Schaltungsanordnung zur Linearisierung einer Niederfrequenzverstärkerstufe" geschützt.

<sup>10</sup> Dieser Zusammenhang konnte durch Simulation des Großsignalverhaltens und messtechnisch nachgewiesen werden. Bei einer klassischen Berechnung des Kleinsignalverhaltens zeigt sich die theoretische Äquivalenz von Class A und Brückenaufbau.



## Röhren-Mystik

Mitunter stößt man auf ungewöhnliche Produkte zur Optimierung einer röhrenbestückten HiFi Anlage. Da findet man Netzfilter für eine störungsfrei gefilterte Sinus-Netzspannung, wie sie so sauber nicht aus der Steckdose kommt. Diese Feststellung trifft durch die zunehmende Oberwellenbelastung in unseren Elektro-Installationen durch digitale Geräte sogar in steigendem Maße zu.

Besonders geschirmte Kabel, vergoldete Kontakte und sehr niederohmige Lautsprecherkabel gehören ebenso in diese Welt wie Spikes zum Aufstellen von Lautsprecherboxen, die auf kleine Metallplättchen gestellt werden, damit es keine Löcher im Fußboden gibt.

Diese Aufzählung ließe sich beinahe endlos fortsetzen. Oft werden Kontakte (Steck- oder Schraubverbindungen) in besonders „wertiger“ Ausführung oder in einem speziellen Design angeboten.

Was ist die Wahrheit, was sagen die Auguren, was soll man davon glauben, wenn man es technisch

nicht einschätzen kann?

Wenn ich schnörkellos einem Laien erklären sollte, was einen Röhrenverstärker ausmacht, dann klänge das bei mir so:

„Die gekrümmte Kennlinie von Röhren ist eine physikalische Eigenschaft, durch die eine Nichtlinearität entsteht. Es treten bei einer Nutzung als Audio-Verstärker Oberwellen auf, die aus einem Ton einen Klang machen. Musiker können anhand solcher Obertöne unterscheiden, von welchem Instrument ein Ton gespielt wurde. HiFi Fans bemerken daher auch sofort, wann ein Klang von einem Röhrenverstärker stammt.

Unterschiedliche Konzepte erzeugen verschiedene Obertöne, technisch Klirrspektren genannt. Class A Verstärker erzeugen ein charakteristisches Spektrum ungradzahliger Harmonischer, wie die Oberwellen auch genannt werden. Das klingt weicher als Gegentaktgeräte, die oft als wuchtiger und gröber im Klang beschrieben werden.

Mehr gibt es von einem Ingenieur einem technischen Laien nicht zu sagen. Vielen genügt es bereits, zu erfahren, dass eine besondere physikalische Eigenschaft der Röhren den unverwechselbaren Klang erzeugt. Und dass eben nur Röhren das nativ können.

## **Der Markt für Röhrenverstärker**

Zugang zu systematisch erfassten Marktdaten in diesem Bereich habe ich nicht, kann also an dieser Stelle nur aus eigener Erfahrung pauschal strukturieren.

Es gibt definitiv die Gruppe der Selbstbauer im Hobbybereich, die gefühlt unablässig kleiner wird.

Eine weitere Gruppe, die ich zahlenmäßig noch kleiner schätze, ist die der Luxuskonsumenten.

Der wohlhabendere Teil der Röhrenfans wird solide neue Geräte billigen Importen den Vorzug geben.

Der weitaus größte Teil der Röhrenliebhaber wird sich nach soliden Gebrauchtgeräten umsehen, wenn ein Ersatz erforderlich wird oder ein Upgrade gewünscht ist.

Diesen letztgenannten Teil der Fangemeinde sehe ich als Zielgruppe für mein Atelier als Auktionshaus. Und zwar auf der Käufer- und der Erwerberseite.



## **Klassenunterschiede**

Bei Röhrengeräten werden die Betriebsarten nach Klassen unterschieden.

Class A bedeutet die Aussteuerung einer Röhre von einem „in der Mitte des Kennlinienfeldes“ liegenden Arbeitspunkt aus. Diese Betriebsart bringt die geringsten Verzerrungen, wenn mit nur einer Röhre gearbeitet wird, was mit dem Zusatz „Single Ended“ bezeichnet wird. Man kann das mit „Einröhrenbetrieb“ übersetzen. Diese Betriebsart ist auch mit mehreren parallel geschalteten Röhren erreichbar. Das wäre dann so etwas, wie ein Otto-Motor, dessen Zylinder alle im gleichen Augenblick zünden. Besonders rund lief er nicht gerade.

Bei nur einer Röhre kann man keinen Kennlinien-Ausgleich wie bei Gegentaktschaltungen einsetzen, bei denen der Aussteuerbereich der Röhren variieren kann. Für je eine Hälfte des Signals (positiver oder negativer Anteil) kann er vollständig oder nur teilweise genutzt werden. Die Arbeitspunkte werden dazu von der Mitte in den unteren Teil des Kennlinienfeldes gelegt. Diese Arbeitspunkt-Verschiebung wird als B-Betrieb bezeichnet, der Zwischenbereich als AB-Betrieb. Dadurch kann sich der Ausgangsstrom einer

solchen Schaltung gegenüber dem einer einzelnen Röhre nahezu verdoppeln, was einer Vervierfachung der Ausgangsleistung entspricht. Mit solchen Schaltungen lassen sich hervorragende Signalsymmetrien erzielen, die Verzerrungen treten um die Nulldurchgänge des Signals herum auf.

In der Theorie bedeutet das ein gerades Oberwellenspektrum und praktisch den schon erwähnten Juke-Box Klang.

Zur Signalverbesserung kann man Parallel Push Pull einsetzen. Der höheren Signalqualität steht dann eine gegenüber der Push Pull Variante halbierte Ausgangsleistung gegenüber, weil die Schaltungen die Leistungsbeiträge der Röhren, im Class A Betrieb arbeiten, addieren.

Und nun zu meinem Grund, dies Skript erstellt zu haben, zur Brückenschaltung.

Hier arbeiten die Röhren im Class A Betrieb. Durch zwei Röhren in Reihengegentakt (SRPP) verdoppelt sich die Ausgangsleistung gegenüber einer einzigen Röhre jedoch nicht, aber es bildet sich eine linearere resultierende Kennlinie.

Wenn ich zwei solcher Stufen im Gegentaktbetrieb einsetze, vervierfacht sich die resultierende Ausgangsleistung.

Das bedeutet im Ergebnis eine identische Leistungsausbeute wie bei einem Push-Pull

Verstärker mit nur zwei Röhren. Der Nachteil ist also die erforderliche doppelte Anzahl an Röhren, der Vorteil, dass diese im Class A Betrieb laufen.

Im praktischen Ergebnis handelt es sich um einen Class A Gegentakt Verstärker mit einem Klangbild zwischen einer Single Ended und einer Gegentaktstufe..



## Das Davor

Schallplatten sind aktuell gerade wieder in. Die lassen sich über einen klassischen Vorverstärker mit entsprechenden Eingängen (MM/MC) ebenso gut an einen Röhrenverstärker anschließen wie alle anderen Audio-Quellen.

Der Endverstärker mit angeschlossenen Lautsprechern erzeugt das unvergleichliche Klangbild der Röhrenära. Mehr braucht es nicht.

Ein kraftvoller, klangmächtiger Röhrenverstärker kann den Sound von gestern eben auch auf modernen Lautsprechern wiedergeben. Ein nostalgischer Brückenschlag in die Moderne, die kaum beschreibbare Klangfülle von gestern inmitten moderner Umgebung. Wie der sprichwörtliche Fels in der Brandung.



## **Von der Natur lernen**

Gibt es in der Natur überhaupt einen reinen Klang ohne Oberwellen?. Nein, den gibt es nicht. Und die simple Folge ist, dass sich die Klangquelle darüber offenbart und einschätzbar wird. Sei sie eine Tierstimme oder seien es andere Laute aus der Umwelt, die mit ihrem Klangmuster Informationen über ihren Ursprung verbreiten.

Hält die Natur möglicherweise auch Hinweise für die Gestaltung von Röhrengeräten bereit, mit denen sie so plakativ ihre charakteristischen Klänge gemeinsam hat?

Ja, ich denke schon. Nämlich als Konzepte, die sich auf technische Lösungen übertragen lassen.



## **Lasst Blumen sprechen**

Warme Luft kann unter einer Glocke gehalten, Strahlungswärme von Reflektoren umgelenkt werden.

Pflanzen nutzen Licht und Wärme der Sonne. Dazu haben sie zwei grundlegende Strategien entwickelt.

Eine nach unten geöffnete Hülle von außen beschienen, sammelt warme Luft in ihrem Lumen. Dies gelingt umso besser, je mehr Wärme auf der Außenhaut absorbiert wird. Ist diese matt und dunkel, womöglich noch samtig angeraut, ist das besonders günstig.

Die erste Abbildung links zeigt ein solches Beispiel aus der Natur anhand einer Teichblume. Diese samtige Blüte nutzt zur Wirkungssteigerung zusätzlich eine raue, d.h. vergrößerte Oberfläche.

Soll aber viel Wärme auf eine größere Fläche gelenkt werden, ist diese Strategie nicht hilfreich.

Bei der Sonnenblume darunter bildet eine helle Blüte eine große Fläche, die auftreffende Wärmestrahlung mit den umfangenden

Blütenblättern in ihr Zentrum, den Korb mit den Samen, lenkt. Dieses Zentrum ist im Gegensatz zu den Blütenblättern nicht hell und glänzend, sondern dunkel und matt, um die auftreffende Wärmestrahlung zur Erwärmung zu absorbieren.

Durch ihren pflanzentypischen Phototropismus wendet sich dazu stets dem Licht zu.

## **Eine einfache Schlussfolgerung**

Elektronenröhren dürfen, wie Blumen, nicht in ein wärmegeprägtes Gehäuse gesperrt werden.

Bei einer Röhre führte dies zu einer Überschreitung der zulässigen Verlustleistung durch Wärmestau, bei einer Blume zum vorzeitigen Verwelken.

Daher erscheint hier nur das Sonnenblumenprinzip geeignet, mit Metallspiegeln einen Teil der abgegebenen Wärme auf eine Röhre zurück zu reflektieren. Und zwar gerade so viel, wie zulässig ist, damit die maximale Gesamtverlustleistung nicht überschritten wird.

Jetzt sind die Glockenblumen bestimmt ganz traurig, dass ihr Konzept nicht zum Zug kommt. Sieht man es ihnen womöglich sogar an? Sie lassen zumindest die Köpfe hängen.

Das müssen sie aber gar nicht. Denn wenn es um die Erwärmung von Luft geht, haben sie die Nase wieder vorn. Wie bei der Dämmung einer oberen Geschossdecke bei der energetischen Ertüchtigung eines Hauses.

Die Worte nach den vorstehenden Worten nennt  
man auch

**Nachwort,**

obwohl es, wie auch hier, meist mehrere sind.

Der Röhrentechnik haftet etwas Unvergängliches an. Sie erscheint mit ihren glühenden Kathoden wie eine Wegmarke auf dem Zeitstrahl von den ersten Feuerstätten der Menschheit in die Zukunft des industriellen Einsatzes von Prozesswärme.

Und sie ist seit ihren Ursprüngen im 19. Jahrhundert ein lebendes Fossil aus der Urgeschichte der Elektrotechnik. Für mich repräsentiert sie daher auch ein Stück technischer Kulturgeschichte.

Und meine Entwicklung des Brückenverstärkers betrachte ich persönlich als einen Beitrag zur Pflege dieses kulturellen Erbes mit dem Setzen des bisher fehlenden Abschlusssteins einer Entwicklungslinie.

So entstehen Gewölbe, deren Tendenz zum Einsturz sie erhält.





*Dieses Kompendium handelt von den Grundtypen  
der Röhrenverstärker.*

*Viele, die es lesen, werden sich fragen, warum sie mit  
einem Röhrenverstärker hören sollen.*

*Die Antwort lautet: It's magic for ears and eyes!*