

Jazz-Boy

von Albert Scholz & Martin Lemke

I. WIE KLINGT DIE GITARRE IM JAZZ

Mit Jazzklang meine ich hier den Klang einer E-Gitarre, wie er im Jazz vorkommt. Idealtypisch für diesen Klang sind die Platten von George Benson, Joe Pass oder Kenny Burrell. Ich bitte den Kenner um Entschuldigung, jetzt gerade sein Idol vergessen zu haben. Der jazzigste Jazzsound findet sich wohl in Kenny Burrells *Midnight Blue*, wer anderer Meinung ist, darf sie für sich behalten.

Denn ich will damit nicht sagen, dieser Klang sei der beste Sound für Jazz, es ist nur derjenige, den man so oder ähnlich am häufigsten im Jazz findet. Es gibt immer Gegenbeispiele und im Jazz sowieso, denn diese Musik lebt vom kalkulierten Regelbruch, oder sie sollte es zumindest. Aber Regelbrüche sind ohne Regeln nicht möglich und in der Regel fallen einem die oben genannten Beispiele für Jazzklang ein. Dieser Klang ist extrem clean, hat viel Sustain, mehr Dynamik als jeder andere E-Gitarrenklang und ist sehr fein zeichnend.

Wie clean ist clean?

Jedes Instrument hat eine Art Fingerabdruck. Eine Kombination von Grund und Obertönen, die seinen Klang ausmachen. Die Frequenz eines Obertons ist ein ganzzahliges Vielfaches des Grundtons. Seine Lautstärke hängt vom Instrument ab und ist diesem typisch. Marine Mersenne, ein Zeitgenosse von Rene Descartes, hat das entdeckt. Ganz nebenbei hat er als erstes die Schallgeschwindigkeit gemessen. Aber zur Sache: Dieses Obertonspektrum ist ein Grund, warum der Jazzklang anders ist, als z.B. derjenige von Angus Young, Jimmy Page, James Hetfield usw.

Ein klassisches Orchester besteht aus vielen Instrumenten, die in vielen Frequenzbereichen mit verschiedenen Obertönen spielen. Ein guter Komponist kann diese Instrumente oder in der Fachsprache »Stimmen« so kombinieren, dass man vor allem als Laie nicht mehr hört, dass da vier Geigen, drei Trompeten, ein paar Flügelhörner und Fagotte spielen, sondern man hört etwas völlig neues eigenartig klingendes. Ein guter Komponist weiß, wie er die Obertöne verschiedener Instrumente kombinieren muss, um einen bestimmten Klang zu erreichen. Ein sehr schönes Beispiel sind die Walküren in Wagners Ringzyklus oder Edward Griegs Morgenerwachen aus der *Per Gynt Suite*. Beide Male spielt ein nur bestimmter Teil des Orchesters und beide Male hat das einen ganz bestimmten Effekt. Diese Kombination von Stimmen ist nur möglich, wenn keine Stimme alle anderen niederdrückt. Dazu darf kein Instrument aus dem Satz an Stimmen so viele verschiedene Obertöne produzieren, dass man es nicht mehr richtig mit anderen Instrumenten kombinieren kann.

Ein Beispiel eines Instrumentes, das sich wegen seines Obertonspektrums nicht mehr in einen Stimmensatz einbauen lässt, sind Platten von Rock- oder Heavy-Metalbands im Zusammenspiel mit Sinfonierorchestern. Es fällt auf, dass die verzerrte E-Gitarre hier immer als Kontrast gegen das Orchester (meistens Streichersätze) gestellt wird, statt sie in Stimmensätze zu integrieren. Die verzerrte E-Gitarre kann mit ihrer Fülle an Obertönen und damit Klangfarben das Orchester alleine in Schach halten. Die Verzerrung eines Klangs ist nichts anderes als, das extreme Ausweiten des Obertonspektrums.

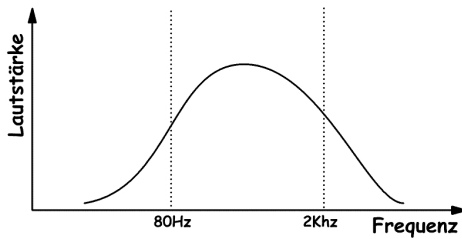
Ein anderes Beispiel ist der bereits erwähnte Angus Young von AC/DC. Er sagte einmal in einem Interview, er strebe mit dem Sound seiner Gitarre wie ein ganzer Satz aus Bläsern zu klingen. Deswegen verzerrt er seinen Klang zu einem sehr gewaltigen Obertonspektrum und ersetzt so einen ganzen Satz an Stimmen, ist aber nicht mehr in einen solchen einzubinden, zu reich ist das Spektrum an Obertönen.

Im Jazz gibt es jedoch seit der Bebop-Ära keinen echten Unterschied zwischen Soloinstrumenten, die gegen die Band kontrastieren, und Begleitinstrumenten, die sich als Stimme in ein Gefüge einpassen. Die Jazzgitarre muss solieren, also gegen Band kontrastieren und sie muss auch von der Klangfarbe mit anderen Instrumenten kombinierbar sein können. Wäre sie sehr stark verzerrt, dann wäre letzteres nicht möglich. Eine Jazzgitarre muss nicht nur gegen das Saxofon spielen können, sondern auch mit ihm mehrstimmig zu einem neuen Klang kombinierbar sein. Deswegen ist bei der Obertonerzeugung und demnach auch Verzerrung einer Jazzgitarre mehr Zurückhaltung angebracht, als Angus Young sie für seine Musik nötig hat.

Das heißt nicht, dass überhaupt keine Obertöne im Verstärker erzeugt werden dürfen. Was sich clean anhört ist nämlich längst nicht messtechnisch clean. Der Klirrfaktor eines Verstärkers für einen Jazzgitarrensound dürfte dennoch sehr viel größer als derjenige für einen Hifiverstärker sein. Gerade der k_2 (Oberton mit doppelter Frequenz des Grundtons) und der k_4 (vierfache Frequenz) sind stark ausgeprägt, während k_3 und k_5 nahezu ganz fehlen. Der k_2 und k_4 ist bei allen Saiteninstrumenten auch ohne Verstärker sehr hoch. Bei der Geige ist er gar deutlich größer als der Grundton selbst. Bei der Jazzgitarre gilt das selbe und kann durch einen Röhrenverstärker noch stark erhöht werden, ohne zusätzlichen Aufwand in der Schalung treiben zu müssen, weil die Kennlinien der Röhren diese ohnehin erzeugen.

Eine Nase für den Klang

Der Frequenzgang einer Gitarre reicht theoretisch von etwa 80Hz als tiefst möglichen Grundton, bis zum höchsten Oberton



bei etwa 8kHz. Eine stark verzerrte Gitarre kann wegen des erweiterten Obertonspektrums noch deutlich höher spielen. Nun gibt es aber für den Groove im Jazz eine wichtige Instrumentengruppe. Das sind die Hi-hat und das Ridebecken sowie weiteres Blech am Schlagzeug. Diese Instrumente geben im wesentlichen Frequenzen zwischen 2kHz und 6kHz wieder. Auch der Schnarrteppich, der kleinen Trommel tönt in diesem Bereich, ebenso wie sich das Wischen der Besen hier abspielt. Diese Schlaginstrumente müssen hier unbedingt hörbar sein, denn der typische Shuffle-Groove des Jazz wird mit ihnen durch Ghostnotes erzeugt. Deswegen beschneidet man die Höhen der Jazzgitarre meist recht stark und lässt dem Schlagzeug so Freiraum.

Der Bass einer Jazzband beginnt bei etwa 20Hz, wenn es ein Kontrabass, und bei etwa 40Hz, wenn es eine Bassgitarre ist. Seine wichtigsten Grundtöne reichen aber bis etwa 300Hz hinauf. Würde die Jazzgitarre zu basslastig klingen, dann würde sie dem Bass keinen Platz im Gruppenklang lassen und alle interessanten Improvisationen überdecken. Deswegen wird man die tiefen Frequenzen im Gitarrenverstärker herausdrehen. Nun kommt es der Gitarre entgegen, dass sie so viel k_2 wiedergibt. Denn statt ihrer tiefsten Frequenz von 80Hz wird sie immer mehr 160Hz wiedergeben, wenn die Wiedergabe bei 80Hz schon stark abgesenkt ist. Ihre tiefen Töne bleiben so als Oberton erhalten und hörbar.

Die Jazzgitarre ist also zwischen dem Bass von unten und den Blechinstrumenten des Schlagzeugs von oben eingezwängt. Darüber hinaus teilt sie sich ihren schmalen Frequenzbereich noch mit eventuell anderen vorhandenen Soloinstrumenten, wie Klarinetten, Saxophone, Trompeten, Klavieren usw. Letzteres zwingt sie, wie wir sahen, zu Zurückhaltung bei den Obertönen und damit Verzerrung, ersteres zur Zurückhaltung beim Frequenzgang.

Der Frequenzgang eines Verstärkers für Jazzgitarre hebt mittlere Frequenzen (kurz: Mitten) stark hervor. Würde man so eine Einstellung für den Gesang vorsehen, klänge es sehr nasal, als hätte der Sprecher Schnupfen. Im Heavy Metal würde man dagegen eher Bässe und Höhen anheben und die Mitten etwas absenken, gerade um den Obertonreichtum dieses Sounds zu betonen.

Dynamik

Der Jazzklang tritt an Frequenzgang und Obertonreichtum hinter dem Klang im Rock zurück. Was jedoch die Dynamik angeht, ist er viel reicher. Damit sei nicht gesagt, dass der

Jazzklang irgendwie besser oder schlechter als der Gitarrenklang im Rock oder Metal ist. Andere Anforderungen dieser Musikart haben einfach auch einen anderen Klang zur Folge.

Die Dynamik ist der relative Abstand zwischen dem lautesten und leisesten Ton. Sie ist der Faktor um den der lauteste Ton eines Instrumentes lauter als der leiseste ist. In der Rockmusik ist dieser Abstand nicht groß. Eine stark verzerrte Gitarre kann auch nicht mehr viel lauter werden. Der Grund ist, dass sie den Verstärker bereits übersteuert, führt man dem Verstärker mehr Pegel zu, dann wird er wohl noch mehr verzerren, aber eben nicht lauter werden, denn er arbeitet wegen der Verzerrung bereits an seiner Grenze. Der Rockmusiker kann den Eingangspegel in den Verstärker also nur noch reduzieren, dann geht ihm aber die Verzerrung und damit sein Sound verloren. Dieser Effekt, durch kräftigeren Anschlag der Saiten nicht mehr lauter sondern nur verzerrter zu spielen, ist gewollt und wird oft als »fettes Brett« oder »stehender Ton« beschrieben.

Der Jazzklang hingegen muss von der leisesten Note in irgendeinem Akkord der Begleitung einer Ballade bis hin zum zackigsten lauten Solo gleichmäßig gut und doch verschieden laut klingen. Man würde sich andernfalls ein Ausdrucksmittel der Improvisation nehmen. Die vier Ausdrucksmittel der Musik sind eben Melodik, Harmonik, Rhythmus und Lautstärke bzw. Dynamik. Im Rock wird letztere hauptsächlich dem Schlagzeug und dessen Akzenten überlassen. Der Jazz stellt den individuellen Musiker stärker heraus und überläßt ihn frei zu tun was ihm beliebt in allen vier Ausdrucksmöglichkeiten. Das soll nicht heißen, der Jazzgitarrist sei besser oder schlechter als seine Kollegen, er hat nur andere Aufgaben und braucht dafür eine andere Ausrüstung. Welche das ist, haben wir eben untersucht.

II. VOM SOUND ZUR SCHALTUNG

Ein guter Verstärkerbauer zeichnet sich nicht dadurch aus, einen Nachbau eines achso berühmten Gerätes mit teuersten und besten Zutaten auf die Beine zu stellen. Noch weniger zeichnet er sich dadurch aus, dass seine Konstruktionen die Qualität industrieller Fertigung vom Piping bis hin zur geätzten Bedienplatte nachahmt. Das sind bestenfalls nette Gimmicks, das Geheimnis liegt jedoch ganz woanders.

Ein guter Verstärkerbauer hört zu. Er hört dem Sound zu, den er durch sein Gebäude ermöglichen soll. Wenn es den schon gibt, kann er eine Platte dazu nehmen, wenn nicht, muss er ihn in seiner Vorstellung hören. Erst wenn der diesen Klang kennt, macht er sich darüber Gedanken, welche Röhren, Lautsprecher, Schaltung usw. er dafür braucht. Seine Kunst besteht darin, das einfachst mögliche Gerät zu entwickeln, das diesen Klang verwirklicht. Wir haben im ersten Kapitel Begriffe für diese Vorstellung vom Klang gesucht und gefunden. Das nennt man Theorie und es ist hilfreich, uns mit ihr belangweilt zu haben, statt uns nicht sattsehend im Internet Bilder von Fender Amps anzusehen, die man nachbauen könnte, und die zu besitzen, uns den Neid der Mitmusiker sichern würde. Wir wissen jetzt nämlich sehr genau, wie ein echter Jazzverstärker zu klingen hat und werden daraus ableiten, wie er gebaut werden muss.

- ★ Er muss hörbar clean klingen.
- ★ Er soll dabei aber viel geradzahlig harmonische Obertöne niedriger Ordnung erzeugen (k_2, k_4) und
- ★ zwar unabhängig von der Lautstärke.
- ★ Er muss einen großen Dynamikumfang besitzen.
- ★ Er soll eine Klangregelung haben, die einen mittigen Frequenzgang ermöglicht.

Damit ist der Verstärker aber noch nicht ganz festgelegt. Es ist noch offen wie viel Leistung er haben soll. Tests haben gezeigt, dass eine Leistung zwischen 10Watt und 20Watt gänzlich ausreichend ist. Theoretisch müssten schon drei Watt genug sein, es fehlt aber die geforderte Dynamik, weil die Pegelspitzen lauter Passagen dann nicht mehr sauber wiedergegeben werden können. Es klänge dann leicht angezerrt und leblos.

- ★ Er soll eine Leistung größer als 10Watt haben.
- ★ Er soll einen sehr guten Fremdspannungsabstand haben

Der Fremdspannungsabstand gibt an, welcher Unterschied zwischen Rauschen und Brummen (Fremdspannung) und dem Nutzsignal liegt. Je größer desto besser! Je mehr es rauscht oder brummt, desto schlechter lässt es sich sehr leise spielen, weil Rauschen und Brummen im Verhältnis zur geringen Lautstärke stark auffallen. Die Dynamik ist wie gesagt der Unterschied zwischen lauten und leisen Passagen. Die maximal mögliche Leisigkeit wird durch die Lautstärke von Rauschen und Brummen bestimmt und die höchste Lautheit durch das Schmerzempfinden der Zuhörer, falls die Leistung dazu ausreicht, was sie bei uns tut. Ein guter Fremdspannungsabstand ist also für eine gute Dynamik sehr wichtig.

- ★ Vielseitigkeit!

Bei allen diesen Vorgaben soll der Verstärker dennoch so vielseitig sein, dass er für viele Gitarristen mit verschiedenen Effektgeräten, Lautsprechern, Gitarren, Spielweisen und vor allem Mitmusikern geeignet ist. Er muss nicht für Deathmetal taugen, aber er sollte das ganze Klangspektrum des Jazz abdecken und viele Möglichkeiten für Eigenes lassen. Er soll also ein Spezialist sein, der über den Tellerrand guckt.

Endstufe

Ich beginne bei jedem Verstärker mit der Planung der Endstufe. Es ist am einfachsten so, denn die Verstärkung der Vorstufe, deren Innenwiderstand usw. hängt wesentlich von den Anforderungen der Endstufe ab. Es ist unangenehm, die Vorstufe ausgefeilt zu haben und festzustellen, dass die Verstärkung nicht für den Endröhrentyp, der das beste Ergebnis liefert, ausreicht. Legt man hingegen erst die Endstufe fest, dann kennt man deren nötige Treiberspannung. Die Eingangssignalspannung einer Gitarre ist ohnehin bekannt. Daraus kann man die nötige Verstärkung der Vorstufe als Quotient aus beiden berechnen. Daraus wiederum lässt sich genau bestimmen, wie viele Stufen die Vorstufe haben muss und welche Verstärkung diese aufzubringen haben und alles wird garantiert zusammenpassen.

Als Leistungsröhren sind Trioden und Pentoden möglich. Der wichtigste Unterschied zwischen beiden ist der Innenwiderstand. Bei Trioden hat er einen endlichen Wert, bei Pentoden ist er viel größer, nämlich unendlich groß. Das hat gravierende Auswirkungen auf den Dämpfungsfaktor. Der gibt an, wie gut ein Verstärker den Lautsprecher kontrollieren kann. Ein Lautsprecher ist nämlich eine Feder. Einmal durch einen nach so kurzen Impuls in Bewegung versetzt schwingt, er noch einige Zeit nach. Wenn er es zu sehr tut, zerrt es hörbar und es klingt gar nicht jazzig. Damit er das nicht tut, muss er, nachdem er ausgelenkt wurde, kontrolliert angehalten werden können. Das geht nur, indem man die dafür nötigen Kräfte aufbringt.

Die Kraft auf die Membran eines Lautsprechers hängt aber nur vom Strom ab, der ihn durchfließt und ist umso größer, je größer dieser Strom ist. Ein Verstärker, der den Lautsprecher gut kontrollieren kann, muss wenn nötig Strom liefern können. Nun gilt für den Innenwiderstand das Ohmsche Gesetz

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

ΔI ist dabei der Strom, den der Verstärker liefern kann. Je besser der Verstärker den Lautsprecher kontrollieren kann, desto größer wird dieser Wert. Aus der Formel ergibt sich dann aber auch, dass R_i in diesem Fall kleine Werte annimmt. Je größer das Verhältnis der Lautsprecherimpedanz Z_L zu R_i ist, desto besser wird der Lautsprecher kontrolliert oder bedämpft. Das Verhältnis aus beiden ist darum Dämpfungsfaktor.

$$d = \frac{Z_L}{R_i}$$

Nun darf man beim Röhrenverstärker nicht einfach mit der Lautsprecherimpedanz Z_L rechnen, denn die Röhre arbeitet nicht direkt am Lautsprecher, sondern indirekt über den Übertrager. Man muss mit dem Arbeitswiderstand R_{aL} rechnen, der durch den Übertrager gebildet wird. Dessen Wert ist um das Quadrat des Übersetzungsverhältnisses größer als die Lautsprecherimpedanz.

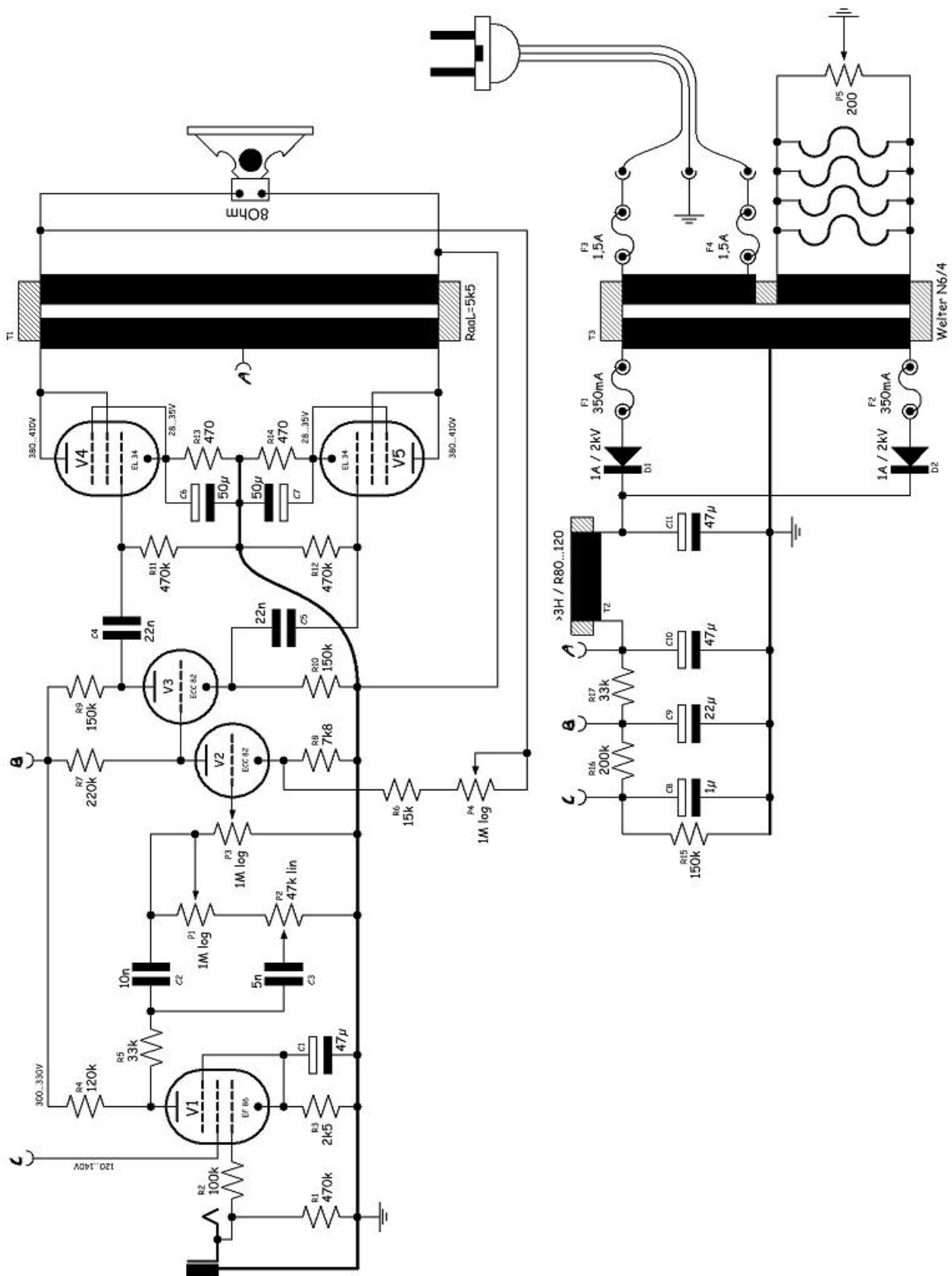
$$d = \frac{R_{aL}}{R_i} = \frac{N^2 \times Z_L}{R_i}$$

Man sieht sehr schön, dass man den Dämpfungsfaktor nicht allein durch die Verringerung des R_i erhöhen kann, sondern auch durch Erhöhung des Übersetzungsverhältnisses des Übertragers. Wir werden also einen Übertrager mit möglichst großem Übersetzungsverhältnis wählen. Das jedoch bringt nur bei Trioden etwas. Denn für Pentoden gilt:

$$R_i = \infty$$

$$d_{Pent} = \frac{R_{aL}}{\infty} = \frac{N^2 \times Z_L}{\infty} = 0$$

Der R_i ist nämlich für Pentoden unendlich und wenn man einen unendlichen Wert wie R_{aL} in unendlich Teile zerlegt, sind



die Teile ziemlich klein, nämlich unendlich klein, also Null. Pentoden haben also überhaupt keinen Dämpfungsfaktor. Der scharfsinnige Leser kann jetzt schon folgern, dass wir mit Trioden bauen werden. Denn ich habe mir sehr viel Aufwand gemacht den Dämpfungsfaktor zu erklären. Der muss also irgendwie wichtig sein und wird bei unserem Projekt gebraucht. Da der bei Pentoden null ist, werden die wohl nicht gebraucht.

Wir brauchen Dämpfungsfaktor. Das liegt daran, dass der Lautsprecher durch sein Eigenleben sehr viele Verzerrungen erzeugt. Ein großer Teil der Verzerrungen eines Gitarrenverstärkers stammen nämlich nicht aus dem Verstärker selbst, sondern von seiner mangelnden Fähigkeit Lautsprecher zu kontrollieren, die ein mannigfaltig bewegtes Eigenleben führen. Ursprünglich war es nur eine Idee, dass dies einen Vorteil bringen könnte. Es zeigte sich dann in Vorversuchen mit einer einfacheren Schaltung, dass dieser Vorteil kaum überschätzt werden kann.

Die Nachteile von Trioden, die einst auch zur Erfindung der Pentode führten, sollen nicht verschwiegen werden. Es wird wesentlich mehr Steuerspannung aus der Vorstufe gebraucht, die diese erst einmal sauber liefern können muss. Die Leistungsausbeute ist deutlich schlechter als bei Pentoden. Das macht insbesondere den Netztrafo schwer, weil kräftigere Röhren gebraucht werden um die selbe Leistung zu erzielen.

Die Endstufe ist in der Schaltung mit der EL34 in Triodenschaltung bestückt. Der Grund ist die gute Leistungsausbeute bei dieser Röhre auch im Triodenbetrieb, sie leistet hier gute 15Watt. Zweitens hat sie in Triodenschaltung mit 900Ω einen wesentlich geringeren Innenwiderstand als z.B. die 6L6, KT66, oder andere Röhren dieser Familie in Triodenschaltung. Dadurch erreichen wir einen guten Dämpfungsfaktor. Die Schaltung sieht einen R_{aaL} von 5500Ω und damit einen R_{aL} von 2750Ω vor. Daraus ergibt sich ein Dämpfungsfaktor von ca. 3. Es sind Übertrager mit kleinerem und größerem R_{aaL} möglich. Kleine Werte bringen weniger Dämpfung aber mehr Leistung. Auch kann die Endstufe auch mit anderen Röhren bestückt werden, nur für R_{13} und R_{14} müssen dann andere Werte eingesetzt werden, die Vorstufe und die Stromversorgung müssen nicht geändert werden.

Rhre	$R_{13}; R_{14}$	R_{aaL}	P_{aus}	d
EL34&KT77	470 Ω	5...6k Ω	18...12W	2, 7...3, 3
6L6GC	1000 Ω	5...6k Ω	12...10W	1, 3...1, 5
5881	1300 Ω	4...6k Ω	14...10W	1...1, 5
KT66	600 Ω	3, 5...5k Ω	18...12W	1...1, 5
KT88&6550	520 Ω	4...6k Ω	26...16W	3...4, 3

Es gibt Gegen- und Eintaktendstufen. Eine Leistung von mehr als die geforderten 10Watt aus einer Eintaktendstufe zu ziehen, ist schwer möglich. Denn im Eintakt ist nur Klasse A möglich, was den Wirkungsgrad auf theoretische mögliche 50% und praktische verwirklichtbare 25% rediziert. Um 10Watt zu erreichen bräuchte man also schon mindestens eine 40Watt Triode.

Deswegen kommt nur Gegentakt AB in Frage. Das Bias soll mittels einen Kathodenwiderstands erzeugt werden. Der Grund

ist die weichere Übersteuerungscharakteristik. Pegelspitzen werden sanfter begrenzt, was sie als Verzerrung nicht hörbar macht, der Klang klingt insgesamt weicher und runder.

Da wir keinen extremen AB Betrieb fahren wollen, sondern bis auf Pegelspitzen im A-Betrieb bleiben, sind gematchte Endröhren nicht nötig. Jede Röhre hat darum ihren eigenen Kathodenwiderstand.

Gegenkopplung

Richtig durchgeführte Gegenkopplung ist eine interessante und falsch durchgeführte eine problematische Maßnahme. Das Prinzip ist einfach. Man zwackt am Ausgang etwas Signalspannung ab und führt sie zurück in den Verstärker, so dass sie gegenüber dem Signal dort um 180° phasenverschoben ist. Alle Stufen die zwischen dem Abzwackpunkt und der erneuten Einspeisen liegen verändern ihre Eigenschaften. Wenn man es richtig macht, werden sie weiter aussteuerbar und übersteuerungsfester, die Verzerrungen und demnach auch die Obertöne werden weniger und ihr Innenwiderstand sinkt, was den Dämpfungsfaktor, wie wir wissen, nach oben treibt.

Das Problem besteht darin, dass es in der Praxis sehr schwer ist, das Signal wirklich um 180° phasenverschoben zurück zu speisen. Denn jedes RC-Glied im Verstärker, wie sie durch Koppelkondensatoren zusammen mit Gitterableitwiderständen gebildet werden, verschiebt selbst die Phase und zwar abhängig von der Frequenz. Das führt zu einem umsauberen Arbeiten der Gegenkopplung und äußert sich im besten Fall durch einen leblosen und wenig feinzeichnenden Klang und im schlimmsten Fall durch Schwingen des ganzen Verstärkers. Ein RC-Glied ist dabei noch nicht problematisch. Doch da jedes Glied die Phase verschiebt und sich diese Verschiebungen addieren, kommt es bei zwei oder mehr aufeinander folgenden Gliedern schnell zu den genannten Problemen.

Wir werden dennoch eine Gegenkopplung einbauen und zwar eine verstellbare. Wir erhalten dadurch einen verstellbaren Dämpfungsfaktor, der uns die perfekte Anpassung des Verstärkers an den Lautsprecher erlaubt und verstellbare Verzerrungen. Der Verstärker wird vielseitiger, weil er besser an Geschmack, Lust, Laune und weiteres Equipment angepasst werden kann.

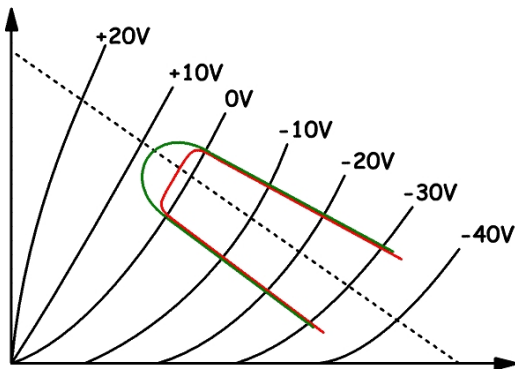
Die Gegenkopplung besteht aus R_6 und P_4 und kann mit P_4 von einem durch R_6 bestimmten Maximalwert bis nahezu ganz herausgedreht werden. Gegengekoppelt werden V_2 , V_3 , V_4 und V_5 . Es liegen zwei R-C Glieder in der Schleife, C_4 und R_{11} zum einen und C_5 und R_{12} zum anderen. Doch werden diese nicht nacheinander vom Signal durchlaufen, sondern auf einmal. Dadurch addieren sich die Phasenverschiebungen nicht.

Phasenumkehrstufe.

Die Phasenumkehr sollte niederohmiger als bei üblichen Gitarrenverstärkern sein. Das sogenannte Long Tailed Pair mit der ECC83 ist der Klassiker in Gitarrenverstärkern, aber für

uns viel zu hochhohmig. Wenn die Endstufe durch Pegelspitzen übersteuert wird, und das ist ohne vorgeschalteten Limiter unvermeidlich, dann soll sie diese möglichst weich begrenzen und nicht nach Verzerrung klingen.

Die Gittervorspannung wird nämlich bei Übersteuerung so groß, dass sie positive Werte annimmt. In diesem Fall passiert mit dem Gitter, was auch mit der positiven Anode passiert. Es zieht Strom. Dieser Gitterstrom muss von der Vorstufe aufgebracht werden können. Er wirkt als zusätzliche Last auf die Phasenumkehrstufe. Kann diese diesen Strom nicht aufbringen, dann bricht ihre Verstärkung zusammen, und das Signal wird begrenzt. Je mehr Strom die Phasenumkehrstufe aber liefern kann, je niederohmiger sie also ist, desto weniger und desto weicher wird das Signal begrenzt. Die strompotente Phasenumkehr kann die Röhre sogar ein Stück in positive Gittervorspannungsgefilde austauern. Wir haben also einen weichen eingebauten Limiter, der ohne Verzögerung und Pumpen arbeitet. Die Abbildung zeigt schematisch, was in ein und derselben Endröhre mit einer Pegelspitze bei einem niederohmigen Treiber (grün) im Vergleich zu einem hochohmigen (rot) passiert.



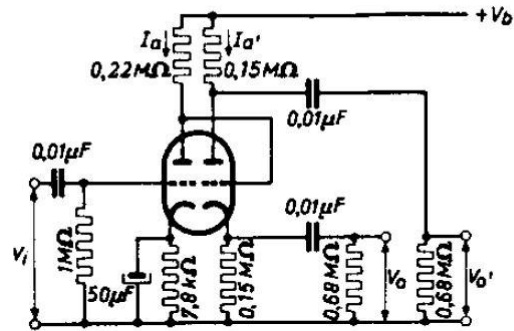
Nun ist mir schon vor längerer Zeit ein Schaltungsvorschlag aus dem Hause Philips aufgefallen, der zur ECC82 publiziert wurde. In dem Datenblattauszug ist er abgebildet und findet sich auch nahezu 1:1 in unserer Verstärkerschaltung wieder.

Die Schaltung passt wie Malz ins Bier. Die ECC82 ist mit $R_i = 7k\Omega$ fünf mal niederohmiger und damit strompotenter und um den selben Faktor weiter aussteuerbar als eine ECC83. Zudem braucht diese Schaltung keinen Koppelkondensator, wodurch wir ein RC-Glied sparen und Gegenkopplung und Phasendrehungen sich nicht mehr ins Gehege kommen.

Klangregelung

Die typische Klangregelung von Fender oder Marshall kommt nicht in Frage. Der Grund ist, dass diese Regelungen ein Mittenloch haben. Sie senken die mittleren Frequenzen ab und zwar auch dann noch, wenn der sogenannte Mittenregler, der eigentlich nur ein Empfindlichkeitsregler ist, voll aufgedreht ist. Wir wissen aber bereits, dass wir einen Mittenberg und kein Mittenloch brauchen.

PHILIPS ECC82



V_b	=	250	350 V
I_a	=	0,70	1,00 mA
$I_{a'}$	=	0,68	0,93 mA
V_o	=	15	24 V _{eff}
V_o/V_i	=	11	11
d_{tot}^2	=	1	1 %

Aus: Philips Datenblatt 939 4714

11.11.1954

Eine Klangregelung, die sehr schöne Mittenberge erzeugen kann, ist die Baxandall-Regelung. Diese Klangregelung erlaubt es Bässe und Höhen abzusinken, während die Mitten auf einem festen Niveau liegen. Sie hat jedoch einen entscheidenden Nachteil. Sie vernichtet sehr viel Signalpegel, schwächt das Signal also insgesamt stark ab. Das Niveau der Mitten ist fest, aber niedrig. Das Problem bei dieser Pegelvernichtung ist, dass wir eine zusätzliche Verstärkungsstufe bräuchten, um sie wieder aufzuholen. Damit hätten wir nicht nur einen wesentlich aufwendigeren, sondern auch stärker brummenden und rauschenden Verstärker. Mal abgesehen davon, dass es für eine detaillierte Abbildung gut ist, das Signal durch möglichst wenig Bauteile zu schleusen.

Die Ursache ist, dass die Baxandall-Regelung auch ein Anheben der Bässe und Höhen gegenüber dem konstanten Niveau der Mitten erlaubt. Eine Anhebung von bestimmten Frequenzen ist aber nur möglich, wenn der Pegel insgesamt abgesenkt ist. Denn die Klangregelung kann den Signalpegel nicht aus der Luft zaubern. Sie verringert den Pegel stattdessen auf allen Frequenzen um einen bestimmten Wert. Die Regler für Bässe und Höhen können den Pegel noch mehr verringern (Absenken) oder sie gar rückgängig machen (Anheben).

Die Anhebung der Bässe und Höhen brauchen wir für den Jazz aber nicht. Es genügt sie mehr oder weniger absenken zu können. Statt die Mitten auf einen festen niedrigen Pegel abzusinken, wie es die Baxandallregelung tut, sollten mir eine Klangregelung ausknobeln, die die Mitten unbehelligt läßt, und es uns gestattet die Bässe und Höhen herauszudrehen, so dass ein mehr oder weniger steiler Mittenberg übrig bleibt. Bei Rechtsanschlag der beiden Klangregler sollte sich ein linearer Frequenzgang ergeben.

Der Bassregler aus C_2 und P_1 und der Höhenregler aus C_3 und P_3 verhalten sich genau so. Dahinter ist der Volumenregler P_3 . Wie die Klangregler genau funktionieren, erfahren wir im folgenden Kapitel.

Eingangsstufe

Die Endröhren benötigen $U_{End} = 70V$ Spitzensignalspannung um ganz ausgesteuert zu werden. Eine Gitarre liefert eine mittlere Signalspannung von etwa $20mV$ im Falle einer Tele oder Strat oder mit P-90 Tonabnehmern, mit Hunbuckern etwa $50mV$ und mit modernen Tonabnehmern noch wesentlich mehr. Die Spitzensignalspannungen dagegen können bei Peaks bis hin zu zweistellige Faktoren größer sein. Dividieren wir die $70V$ für die Endröhren durch eine extrem pessimistisch geschätzte Eingangssignalspannung von $U_{Ein} = 50mV$, dann erhalten wir die insgesamt nötige Verstärkung.

$$v = \frac{U_{End}}{U_{Ein}} = \frac{70V}{0,05V} = 1400$$

Wir brauchen also eine Gesamtverstärkung von 1400 fach. Die Phasenumkehr leistet 11 fach. Es bleibt also noch ein Elftel also 125 fach, die von der Eingangsrohre erbracht werden müssen. Das schafft man mit nur einer Triodenstufe nicht. Aber Pentoden können das. Denn der Verstärkungsfaktor einer Pentode hängt nur vom Arbeitswiderstand ab und wäre gar unendlich, wenn dieser es auch wäre. Die Wahl fiel sofort auf auf die EF86.

Diese Röhre hat interessante Eigenschaften. Es ist eine für die Verstärkung kleinster Tonsignale entwickelte Pentode. Ihre Vorgängerin ist die elektrisch identische EF12, wie diese wurde sie von berühmten Mikrofonbauern und Entwicklern bester Studientechnik, wie Neumann, Telefunken usw. eingesetzt. Sie rauscht beinahe gar nicht, brummt nicht und gibt ein wunderbares dezentes Obertonspektrum ab, das demjenigen einer Triode perfekt gleicht. Die Verstärkung in unserer Beschaltung ist 170 fach und somit voll ausreichend.

Nun können wir die Verstärkung durch den Arbeitswiderstand verändern. Der wird nämlich nicht allein aus R_4 , sondern aus der Parallelschaltung von R_4 und der Klangregelung gebildet. Die Klangregelung ist aber so geschaltet, dass sie ein Widerstand ist, der sich für die tiefen und hohen Frequenzen verringern läßt. Wir können den Arbeitswiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz ändern. Demnach verringert sich auch die Verstärkung dieser Frequenzbereiche. Dafür werden mehr geradzahlig harmonische Obertöne bei den reduzierten Frequenzen erzeugt, so dass diese zwar einen geringeren Pegel, aber volleren Klang bekommen.

Netzteil

Da die mittlere Stromaufnahme des Verstärkers nur sehr wenig schwankt bringt ein Röhrengleichrichter nichts. Die Siebdrossel könnte durch einen 100Ω Widerstand ersetzt werden. Die Endröhren müssen dann aber gematcht sein, damit es nicht

brummt. Mit Drossel erübrigt sich das ganz. P_5 dient der Symmetrierung der Heizspannung. Ich habe durch neuerliche Basteleien den Verdacht, die Maßnahme bringt nicht viel, schaden tut sie aber auf keinen Fall.

An dieser Stelle wird es Zeit den Staffelfstab an Albert weiterzugeben. Wir haben bis hier einen Sound in eine Schaltung übersetzt. Albert hatten diesen Sound verwirklicht. Ich danke ihm dafür und seine kritischen Fragen. Die haben es erzwungen, bei jedem Bauteil zu überlegen, wozu es gut ist. Ohne ihn wäre das ganze Projekt nicht einmal halb so gut durchdacht gewesen. Viel Spaß beim Weiterlesen!

III. VON DER SCHALTUNG ZUM VERSTÄRKER

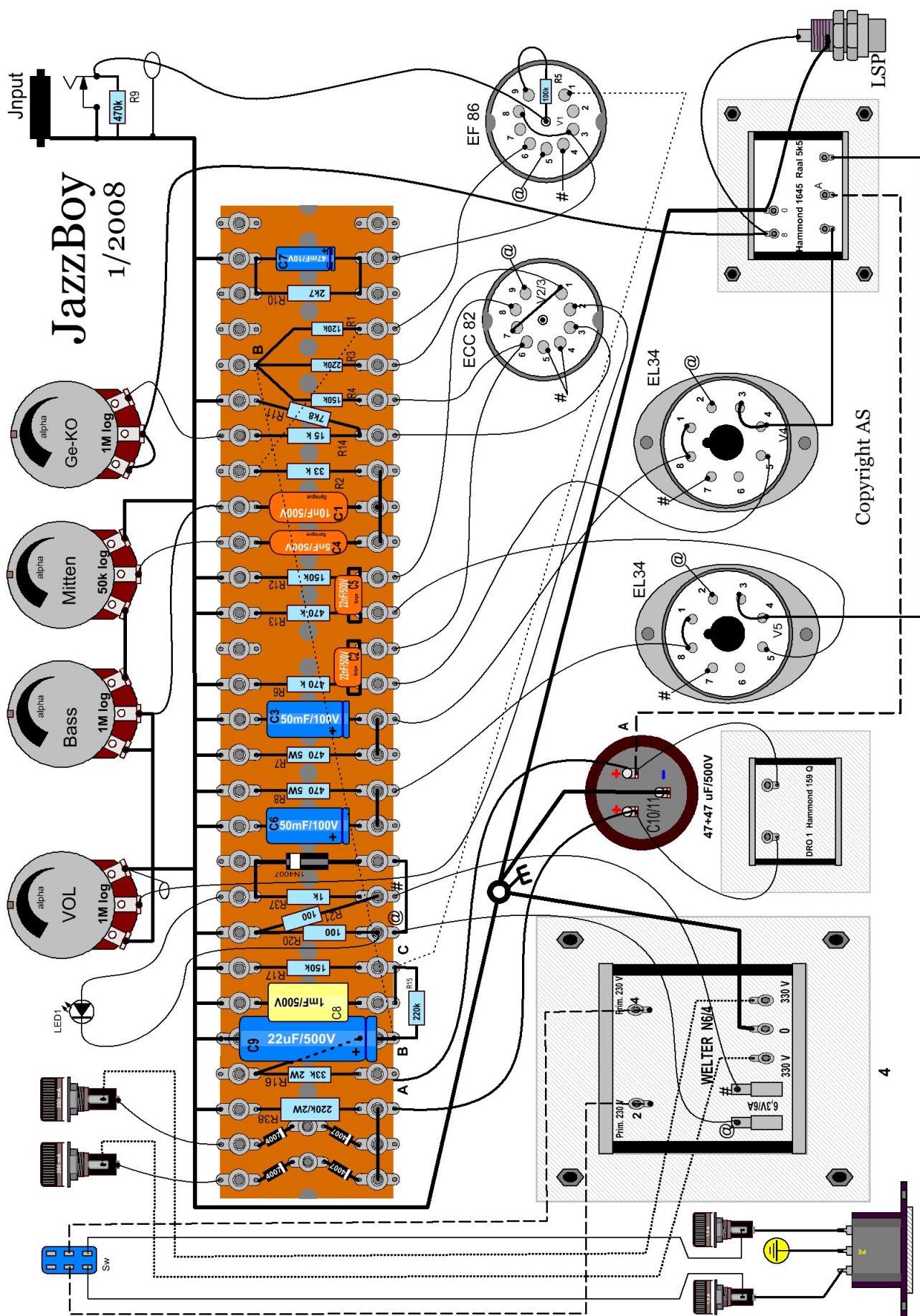
Als Gitarrist in einer Jazz-Bigband hatte ich mit meinem Einzylinder, single-ended Röhrenverstärker immer das Problem, mich bei lauterem Passagen oder gar Fortissimo klanglich entsprechend durchzusetzen. Daraus erwuchs mit der Zeit die immer dringendere Notwendigkeit, einen lauterem und durchsetzungsfähigeren Verstärker zu verwenden. Ich berichtete damals Martin Lemke, der mir schon bei anderen Problemen sehr erfolgreich unter die Arme gegriffen hatte, von diesen Überlegungen. Nett wie er ist, schlug er mir spontan vor, gemeinsam dieses Projekt anzugehen und zusammen einen diesen Umständen entsprechenden Jazz-amp zu entwickeln. Während er die theoretische Seite, wie die Konzipierung und Berechnung der Schaltung übernehmen wollte, so sollte mir die Definition des Klangkonzepts, zudem der praktische Teil, wie Dimensionierung der Gehäuse und die bauliche Umsetzung, zufallen.

Meine Idee war, ein aus Nadelholz gefertigtes Tweed-Deluxe-Combogehäuse mit einem 12" Speaker zu verwenden, das in diversen Ausführungen in Internet-shops angeboten wird, da ich keine große Lust hatte, gleichwertiges mühsam mit viel Aufwand selbst herzustellen. Der Amp sollte deshalb in einem dazu passenden Metallchassis, wie ein klassischer 5e3 in einem Fender-Deluxe, mit hängenden Röhren aufgebaut werden. Dahinter steht auch die Idee eines Modulsystems, wobei durch das Auswechseln des Ampchassis, später bei Bedarf auch ein Combo mit einem anderen Klang-Charakter schnell und unaufwendig realisiert werden kann.

Aus meinen Erfahrungen mit meinen bereits existierenden Jazzamps wollte ich auf jeden Fall eine regelbare Gegenkopplung und eine Regulage mit einem deutlichen Mittenberg, sowie die Beschaltung der Endstufe im Triodenmodus vorsehen. Der Grundcharakter des Klanges sollte am Stil von Kenny Burell orientiert sein und der Amp einkanalig ausgelegt werden.

Bauanweisung: Das Layout in der Abbildung kann, so wie es ist, nachgebaut werden. Es gibt keine Probleme und ist erprobt. Es weicht in zwei Punkten von Martins Schaltung ab. Ich habe noch eine Betriebsanzeige mit einer Diode hinzugefügt und die Heizung mit zwei 100Ω Widerständen symmetriert.

Als Chassis wurde ein Aluminiumgehäuse von Hammond (Alu 1444 Serie, Modell 14xx-20) verwendet. Zuerst wurde



die Positionierung der Komponenten festgelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Stromversorgung mit dem Netztrafo möglichst weit vom Ausgangsrafo entfernt am anderen Ende des Chassis positioniert wird. Die Trafos müssen zudem so rechtwinklig verdreht sein, dass das Streufeld des Netztrafos und der Netzdrossel nicht in den Ausgangsrafo einstrahlt.

Die Röhre der Eingangsstufe (V1) sollte möglichst entfernt von Netztrafo und Spannungsversorgung platziert werden, während die Endstufen-Röhren weit weniger empfindlich gegen einstrahlende Streufelder sind, und näher am Netztrafo positioniert werden können.

Aus der Anordnung der Bauteile (Trafos, Becherelkos, Röhrensockel, Lötsteine, Schalter, Potentiometer, Sicherungshalter, Kabeldurchführungen, Buchsen etc.) ergibt sich dann der entsprechende Bohrplan zur Montage der Komponenten. Alle Löcher müssen mit den entsprechenden Durchmessern (z.B. Oktalfassung 24mm, Potentiometer 8mm etc.) vor dem Einbau der Bauteile passend gebohrt werden. Auch die Zuleitungen der Transformatoren in das Chassis müssen entsprechend gebohrt werden und zum Schutz der Leitungen mit Gummidurchführungen gefasst werden. Da die Röhren unter dem eingebauten Chassis hängend, dieses im Betrieb wie einen Kochtopf auf einer Herdplatte beheizen, sollte man auch einige Bohrungen bzw. Öffnungen zur Innenbelüftung vorsehen. Vor allem im Bereich der Endröhren und der Elkos und Lastwiderstände R7 und R8 auf der Platine sollte für eine gute Luftzirkulation gesorgt sein. Möchte man das Chassis schwarz lackieren (z.B. 2x Autofolien-Spray!), so kann dies jetzt erfolgen.

Ist das alles erledigt, beginnt man mit der Montage der Röhrenfassungen, der Sicherungshalter, Klinkenbuchsen, Lampenfassung und Schalter. Danach werden die Transformatoren befestigt, die Becher-elkos und die Potentiometer montiert und die bereits fertig bestückte Platine mit Abstandsbolzen eingebaut. Als Platine kann ein Turretboard Verwendung finden oder wie in unserem Fall, die Schaltung mit Hilfe einer Lötsteine aufgebaut werden.

Sind alle Teile eingebaut und gesichert, so kann jetzt die Verkabelung unter Zuhilfenahme des Layouts vorgenommen werden. Hier muss man behutsam und überlegt vorgehen, damit es nicht zu Brummen, Radiophonie oder Pfeifen, d.h. Schwingen des Verstärkers kommt. Deshalb müssen alle Wechselspannung führenden Leitungen dicht entlang des Chassis verlegt werden und darauf geachtet werden, dass bei Überkreuzungen von Audioführenden Leitungen dies in rechtem Winkel geschieht, am besten jedoch überhaupt vermieden wird. Das Streufeld von Wechselspannung führenden Leitungen kann durch paarweises Verdrillen (Heizspannung!) verringert werden. Parallel-führende Signalleitungen sollten vermieden werden bzw. einen möglichst großen Abstand haben.

Audiosignale mit niedrigem Pegel, etwa von der Eingangsbuchse zur ersten Röhre V1 oder lange Wege zu den Klangreglern müssen in abgeschirmten Kabeln geführt werden. Dabei darf nur jeweils ein Ende der Abschirmung auf Masse gelegt werden, um Brummschleifen zu vermeiden. Der Querschnitt und die Qualität der Leitung sollte nicht zu niedrig gewählt werden. Auch ein Farbcode macht Sinn, denn so kann man

die Leitungen besser einordnen und verfolgen. Silikonisierte Litze von ca 0,75mm² von TT wurde in unserem Fall mit Erfolg verwendet.

Bei der Verkabelung empfiehlt es sich folgende Reihenfolge einzuhalten:

- 1) Netzanschluß, Netzschalter, Netztrafo Primärseite, Sicherungen. Alle blank liegenden Anschlüsse werden dabei mit Schrumpfschlauch gegen Berührung isoliert!
- 2) Verlegen der Heizung: Drähte verdrillen! In der Reihenfolge Trafo nach V5 nach V1 werden alle Heizungen parallel geschaltet. Die Drähte sollen später mit Kabelbindern gesichert, am Blech aufliegend, geführt werden. Außerdem sollen sie einen gewissen Abstand zu den anderen Anschlüssen der Röhre einhalten und auch nicht parallel zu Signalleitungen geführt werden, um Brummeinstrahlungen zu verhindern.
- 3) Verkabelung der Potentiometer
- 4) Verkabelung der Röhren und der Spannungsversorgung
- 5) Verkabelung der Masse: Insgesamt gibt es einen Masse und einen Erdungspunkt. Der Erdungspunkt verbindet die Masse also das Gehäuse mit dem Schutzleiter. Der Massepunkt, der mechanisch vom Erdungspunkt getrennt sein muss, verbindet die Masseleitungen des Gerätes mit dem Gehäuse. Das ist der Stern-Massepunkt, der in einiger Entfernung des Erdungspunktes alle Massen in einem Punkt zusammenführt. Dadurch soll die Bildung von Masse-Brummschleifen verhindert werden. Sowohl die Eingangsbuchse als auch die Buchse des Lautsprecherausgangs sowie die Potis müssen deshalb in isolierter Ausführung verbaut werden und separat mit diesem Punkt verbunden werden.

Inbetriebnahme

Wenn alles verdrahtet ist, sollte man die aufgebaute Schaltung anhand des Layoutplanes Bauteil für Bauteil nochmals gründlich überprüfen und auch mit Hilfe des Schaltplans nochmals nachvollziehen. Am besten eine Nacht gut schlafen und am nächsten Morgen das Ganze nochmals überprüfen.

Ist man sich dann sicher, dass alles richtig verkabelt ist, so kann der Verstärker in Betrieb gehen. Zunächst teste man ohne die Röhren mit einem angeschlossenen Lautsprecher und allen Potis in Linksanschlag. Ich fahre dabei die Spannung mit einem Dimmer langsam auf 230 Volt hoch. Dabei darf nichts Auffälliges passieren. Man kann dann die wichtigsten Spannungen ausmessen, sollte aber nicht länger als höchstens 2 Minuten eingeschaltet lassen, weil die Spannungen ohne Last höher sind und Bauteile Schaden nehmen könnten. Man muss dabei sehr vorsichtig vorgehen, da die Hochspannung lebensgefährlich ist. Nach den Tests immer die Elkos über einen Lastwiderstand entladen!!! Bei diesem Schritt sollte unbedingt untersucht werden, ob die Eingangsbuchse gleichspannungsfrei ist, das selbe gilt für alle Ausgänge. Ansonsten kann der erste Test mit Gitarre und Lautsprecher tödlich verlaufen!

Nun können die Röhren eingesetzt werden und der Test wiederholt werden. Bei allen Röhren kontrolliert man, ob die Heizdrähte glühen und kontrolliert die Spannungen. Sollte man feststellen, dass die grauen Bleche in den Röhren rot glühen oder sonstige merkwürdige Phänomene auftreten, unbedingt sofort ausschalten und alles nochmals überprüfen! Ist bis hierher jedoch alles O.K. verlaufen und läuft der Verstärker mit stabilen Spannungen, so kann man es wagen dem neuen Baby einige Töne zu entlocken. Dazu schließt man eine Gitarre an und schaltet ein. Langsam das Lautstärkepoti nach rechts drehen und die Ohren spitzen: Sind die ersten Töne zu vernehmen oder brummt und fiept es??? Mit dem angegebenen Layout läuft der Amp vollkommen geräuschlos, sollte dies nicht so sein kann man mit einem Isolierstab die Verdrahtung vorsichtigst noch mal unter Strom kontrollieren. Meist zeigt sich schnell, wo der Fehler steckt.

Uuuund? Wie klingt's?

Es ist immer ein Erlebnis, wenn die ersten Töne aus dem neugeborenen Amp an die Ohren des erwartungsvollen Erbauers dringen. Das erste zarte Anschlagen eines Akkordes ließ jedoch in unserem Fall schnell erahnen, daß die auf Grund des theoretischen Ansatzes geweckten Erwartungen, voll erfüllt wurden. Cleansound vom Feinsten mit durchgezeichneten, warmen Mitten. Im weiteren Test bestätigte sich ein voller, dynamischer Klang mit ausreichendem Headroom und einer gut regulierbaren Tonregulage. Auch die Kontrolle der Gegenkoppelung erwies sich als gelungen und gestattete eine gute Abstimmung und Kontrolle des Lautsprechers.

Einkaufsliste:

Gehäuse: Hammond 1444-20
 Netztrafo: WELTER N6/4
 Übertrager: HAMMOND 1645
 Drossel: HAMMOND 159 $L = 7HR = 100\Omega$
 C1 = 47μ 10V
 C2 = $10n$ 500V
 C3 = $5n$ 500V
 C4,5 = $22n$ 100V
 C6,7 = 100μ 100V
 C8 = 1μ 500V
 C9 = 22μ 500V
 C10/11 = Becher-Elko 2 x 47μ 500V
 P1,3,4 = 1M log
 P2 = 50k lin
 R1 = 470k 1W
 R2 = 100k 1W
 R3 = 2k7 1W
 R4 = 120k 1W
 R5/17 = 33k 2W
 R6 = 15k 1W
 R8 = 7k8 1W
 R11/12 = 470k 1W
 R13/14 = 470 5W
 R20/21 = 100 1W
 R37 = 1k 2W
 V1 = EF 86
 V2/3 = ECC 82
 V4,5 = EL34
 D = 1N4007 und LED

F1,2	= 1,5A
F3,4	= 350mA
Lötleiste	2 x 30 Kontakte
Fassung	2 x Oktal, 2 x Noval
Input	= 6,3 mm Klinkenbuchse isoliert mit Schalter
Output	= 6,3 mm Klinkenbuchse isoliert
+	jede menge Kleinkram

Rechtliches

- 1) Alle Rechte liegen bei Albert Scholz und Martin Lemke.
- 2) Die Verwendung im Ganzen oder in Teilen ist nur zitatweise unter der Angabe der Urheber und Quelle für nicht kommerzielle Zwecke gestattet, falls keine ausdrückliche Genehmigung eines jeden, der beiden Rechteinhaber erteilt wird.
- 3) Es wird keine Haftung für Schäden jeglicher Art, die beim Nachbauen entstehen, übernommen.
- 4) Dieses Dokument ist ein Diskussionsbeitrag, weswegen keine Gewähr für die Richtigkeit von Angaben besteht.

Albert Scholz, Seeblick 12, 82266 Inning/Buch

Martin Lemke, Lindenstr. 16, 18209 Bad Doberan