

10.10.7 Modeling Amps

Modeling (auch: modelling) Amplifiers sind Gitarrenverstärker, deren große Übertragungsparameter-Variabilität es ermöglicht, den Klang vieler bekannter Verstärker näherungsweise nachzuahmen. Die lineare und nichtlineare Signalverarbeitung erfolgt zumeist in einem digitalen Signalprozessor (DSP), aus dessen Programmspeicher der Musiker verschiedenartige Verstärkermodelle abrufen kann. Die Hersteller Roland und Line6 waren die ersten am Markt, inzwischen haben viele andere nachgezogen. Man nehme: Einen guten AD/DA-Wandler, eine billige Schaltendstufe, sowie ein DSP-Board, und schon hat man 12 (oder 24) der berühmtesten Gitarrenverstärker in einer Kiste. Ist's wirklich so einfach? Nein! Es reicht nicht, die Frequenzgänge der berühmten Ahnen nachzubilden, auch deren nichtlineare Verzerrungen, auch deren Arbeitspunktverschiebungen müssen nachgebildet werden. Und da beginnen die Schwierigkeiten: Während man die linearen Eigenschaften kaskadierter Einzelstufen zusammenfassen kann, müssen nichtlineare Stufen einzeln modelliert werden. Dass die Schnittstelle zwischen Röhren-Endstufe und Lautsprecher hierbei besondere Achtsamkeit verlangt, wurde schon mehrfach erwähnt. Und es hilft auch nicht, im Programm jedes Detail nachzubilden, weil dann die Rechenzeit, d.h. die Reaktionszeit des Verstärkers, zu lang wird. Die stete Verbesserung der Algorithmen hat inzwischen zu brauchbaren Konzepten geführt, die zwar im direkten Vergleich zum Original noch immer leichte Defizite aufweisen mögen, wegen ihrer unschlagbaren Variabilität aber von Musikern bevorzugt werden, die eine große Bandbreite an Stilrichtungen und Sounds reproduzieren müssen.

Die folgenden Untersuchungen wurden an einem **VOX AD60VT** durchgeführt, einem Verstärker, der nicht nur digitale Signalverarbeitung praktiziert, sondern in einer interessanten Endstufenschaltung auch analog filtert. Das Blockschaltbild ist in **Abb. 10.v01** dargestellt.

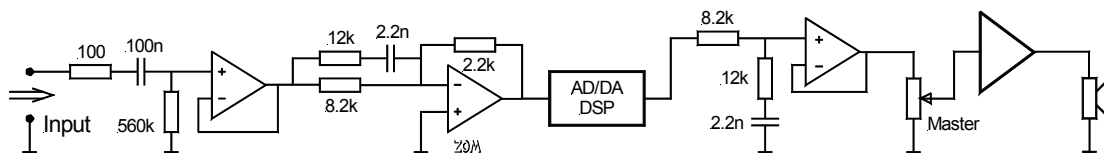


Abb. 10.v01: Signalverarbeitung im VOX AD60VT (vereinfacht).

Das Gitarrensinal gelangt über Impedanzwandler und Höhenanhebung (Pre-Emphasis) zum digitalen Signalprozessor, und von dort über die komplementäre Höhenabsenkung (De-Emphasis) zur Leistungsendstufe. Was sofort auffällt: Der Eingangswiderstand beträgt nicht VOX-übliche 1000 k Ω , sondern nur 560 k Ω , und die bei Röhren üblichen Gitter-Nichtlinearitäten werden nicht nachgebildet. Nicht der Hauptgrund, wegen dessen Röhrenverstärker heißgeliebt werden, aber eben auch nicht "perfect modeling". Dafür punktet dieser VOX (und der stärkere AD120VT) durch eine sehr spezielle **Endstufe**. Die Ausgangswiderstände üblicher Röhrenendstufen sind hochohmig, selbst mit Ausgangsübertrager (Kap. 10.5). Dadurch beeinflusst die Lautsprecherimpedanz den Übertragungsfrequenzgang, und somit den Klang. Der VOX trägt diesem Umstand durch eine echte Röhrenendstufe (mit Übertrager) Rechnung. Aber keine Hochleistungsendstufe, sondern eine bescheidene 1-W-Endstufe, die mit den beiden Trioden einer **ECC83** auskommen muss. Deren Ausgangsspannung wird nun aber nicht einfach verstärkt, und über eine niederohmige Transistorendstufe auf den Lautsprecher gegeben, sondern geht vielmehr auf eine Endstufe mit hohem Innenwiderstand. Und damit die ECC83 davon auch etwas erfährt, wird die Lautsprecherspannung auf den Röhrenausgang zurückgekoppelt. Dadurch "sieht" der Ausgangsübertrager eine Lautsprecher-typische Lastimpedanz, und die linearen und nichtlinearen Eigenschaften einer Gegentaktendstufe kommen in gewohnter Weise zum tragen.

Abb. 10.v02 zeigt Details der VOX-Endstufe. Ein sehr vertrauter Phaseninverter, sogar das 82k/100k-Paar ist vorhanden, zwei Röhren in Gegentakt, ein Übertrager, und dann wird's interessant. Über einen Leistungswahlschalter geht es auf den Leistungsverstärker, der (wie ein OTA*) am besten durch seine Steilheit S beschrieben wird, zum Lautsprecher, und wieder über einen zweiten Leistungsschalter zurück zum Übertrager. Der Leistungs-OTA arbeitet weitgehend linear, übersteuert wird in den beiden Trioden. Zwischen die mit NFB bezeichneten Anschlüsse kann ein Gegenkopplungsnetzwerk (**Abb. 10.v03**) geschaltet werden, das bei der typischen VOX-Schaltung aber deaktiviert ist. Durch die gegenläufige Wirkung der beiden Leistungsschalter hängt die Schleifenverstärkung (und damit die Übertragerbelastung) nicht (bzw. nicht wesentlich) von der Stellung der Schalter ab – die an den Lautsprecher abgegebene Leistung hingegen schon. Mit der im AD60VT gewählten Dimensionierung "sieht" die Sekundärseite des Übertragers ungefähr die 50-fache Lautsprecherimpedanz, inklusive deren Frequenzabhängigkeit. Und das ist schon röhrenverstärkertypisch.

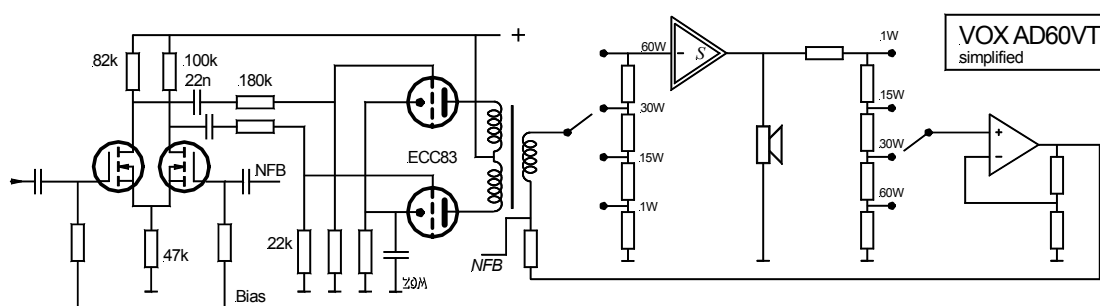


Abb. 10.v02: Endstufenschaltung des VOX AD60VT Valvetronix (vereinfacht).

Röhrenverstärkertypisch heißt aber nicht generell gitarrenverstärkertypisch. Denn bei diesem VOX arbeiten zwei **Trioden** in der Endstufe, bei den berühmten Ahnen waren es hingegen zwei bzw. vier **Pentoden**. Aber immerhin: lautsprecherbelastete Röhrenendstufe. Das Grundprinzip der Lasttransformation zeigt das mittlere Bild von **Abb. 10.v03**: Die Eingangsimpedanz Z_1 ergibt sich (idealisiert) zu $Z_1 = R \cdot (kSZ_L + 1)$, und ist somit näherungsweise proportional zur Lautsprecherimpedanz Z_L . Zumindest solange kSZ_L groß gegen 1 ist, was ganz gut hinkommt: Für 8 Ω Lautsprecherwiderstand ergibt sich Z_1 zu 380 Ω , da stört R mit ca. 30 Ω nicht. Etwas stärker wirkt sich der Sekundärwiderstand des Übertragers aus (180 Ω), doch insbesondere der ziemlich hohe Kupferwiderstand der Primärwicklungen verschlechtert die Modelltreue deutlich – eine Auswirkung des relativ kleinen Übertragers (EI-42). Und wenn man schon genau hinschaut: Das Gegenkopplungsnetzwerk sucht auch einen Kompromiss zwischen Authentizität und Aufwand, und bietet z.B. die kontinuierliche Einstellmöglichkeit eines Presence-Potentiometers nicht an. Was beim AC30 und AC15 sicher kein Thema ist, beim Bassman und bei Marshallverstärkern schon. Lob verdient hingegen der Gitterkreis der Trioden, dessen Widerstände sogar umschaltbar sind, wie auch der umschaltbare Kathodenwiderstand (in Abb. 10.v.03 nicht eingezeichnet).

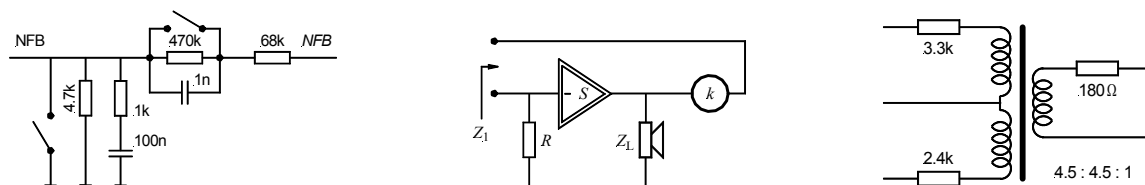


Abb. 10.v03: Gegenkopplungs-Netzwerk (links), die sog. Vari-Amp-Schaltung (Mitte), der Übertrager (rechts).

* Operational Transconductance Amplifier = Steilheits-Verstärker

Die Umschaltbarkeit des gemeinsamen Kathodenwiderstandes ermöglicht, diese Endstufe wahlweise in A- oder AB-Modus zu betreiben. Soll die AC30-Endstufe nachgebildet werden, arbeiten die Trioden mit je ca. 2.2 mA Anodenstrom, das ist in etwa die Kennlinienmitte, und somit A-Betrieb. Die gesamte Primärimpedanz beträgt für 8Ω Last ca. $R_{aa} = 50 \text{ k}\Omega$, für eine Triode somit ca. $25 \text{ k}\Omega$ (vergl. Kap. 10.5.5). Auch wenn im AC30 **Pentoden** arbeiten, und gerade bei diesem Verstärker die **Anodenwiderstände** gleich groß sind ($100 \text{ k}\Omega / 100 \text{ k}\Omega$, und nicht $100 \text{ k}\Omega / 82 \text{ k}\Omega$), auch wenn das nichtlineare **Cut-Filter** auch nicht ansatzweise richtig nachgebildet wurde, der **Übertrager** arg hochohmig ist ... man kann damit leben. Die Schaltung der Transistor-Endstufe ist in **Abb. 10.v04** dargestellt. Der Eingangstransistor arbeitet in Basis-Schaltung, daran schließt eine Komplementär-Darlington-Schaltung an. Man könnte deren Emitter-Ausgang als niederohmig interpretieren, das ist er aber nicht. Der Treiber-Transistor arbeitet näherungsweise als Stromquelle, der Endtransistor als Stromverstärker (der Strom durch R und durch den Lautsprecher sind praktisch gleich). Diese Schaltung hat folglich einen hochohmigen Ausgang, wie auch ein Röhrenverstärker; lediglich bei ganz hohen Frequenzen nimmt der Innenwiderstand durch die über das RC-Glied bewirkte Spannungsgegenkopplung ab – was durchaus zweckdienlich ist.

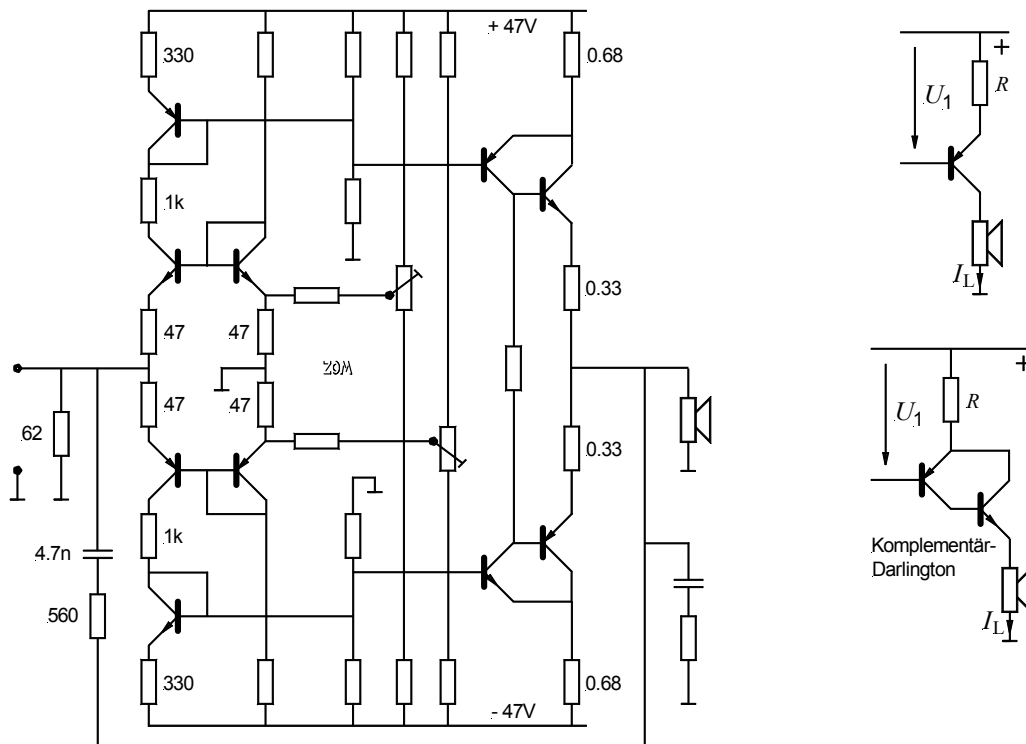


Abb. 10.v04: AD60VT-Endstufe (links), Wirkung der Komplementär-Darlington-Schaltung (rechts).

Die AD60VT-Endstufe hat also beachtliche Röhrenqualitäten mitbekommen, wie steht's mit dem digitalen Modeling? Leider ähnlich schlecht wie bei anderen DSP-Amps: ein bisschen Filtern, ein bisschen Verzerrern, fertig. Dass die Eingangsstufe keinen Röhreneingang nachbildet, könnte man noch verstehen: Der Aufwand sollte wohl nicht zu groß werden, die verwendete Platine scheint ein ziemlich universelles DSP-Board zu sein. Dass der Eingangswiderstand nicht $1 \text{ M}\Omega$ beträgt, wurde schon erwähnt. Dass die Eingangskapazität mit 75 pF arg klein geraten ist, könnte man verschmerzen, dass der Lo-Eingang aber auch $560 \text{ k}\Omega$ hat, sollte nicht sein: Bei fast allen Verstärkern ist er deutlich niederohmiger als der Hi-Eingang, zumeist $136 \text{ k}\Omega$. Doch, das hat wesentliche Auswirkungen auf die Tonabnehmerbedämpfung.

Noch problematischer: Wählt man ein **Bodentreter**-Modell, hat man auch 560 k Ω Eingangswiderstand. Bei allen 16 Verstärkern, bei allen 10 "Effekt-Pedalen": immer 560 k Ω . Dabei haben gerade die vorschaltbaren Verzerrer (Treble-Booster) oft sehr niedrige Eingangswiderstände (u.U. nur 10 k Ω), aber das scheinen die VOX-Leute nicht mitbekommen zu haben, oder wer auch immer das *verkorgst* hat. Röhrentypisches Clipping findet man bei dem im Eingang verwendeten uPC4072 auch nicht, alle Nichtlinearitäten finden im DSP statt. Wohlan, analysieren wir einmal dessen Verzerrungen, sehen wir, wie er die verschiedenen Verstärker modelliert. Z.B. den AC30TB, im Vergleich zum AC30. **Abb. 10.v05** zeigt hierzu die Aussteuerungsabhängigkeit der Klirrdämpfungen. Große Überraschung: Dass sich diese beiden Verstärker um den berüchtigten Kathodenfolger-Verzerrer unterscheiden, hat VOX anscheinend auch nicht mitbekommen. Oder wird beim AC30TB der Normal-Kanal emuliert? Nein, diese Lachnummer wollte man dann doch nicht, das Manual spricht von der "Brilliance-Unit", und meint wohl, mit zusätzlicher Höhenanhebung sei es getan. In **Abb. 10.v05** ist als dritte Kurve auch noch eine Messung vom AC15 zu sehen – und auch der unterscheidet sich praktisch nicht von den Kollegen. Nun sind das keine atypischen Verzerrungen, auch damit kann man leben, aber es ist halt kein Verzerrungs-Modell der berühmten Vorfahren.

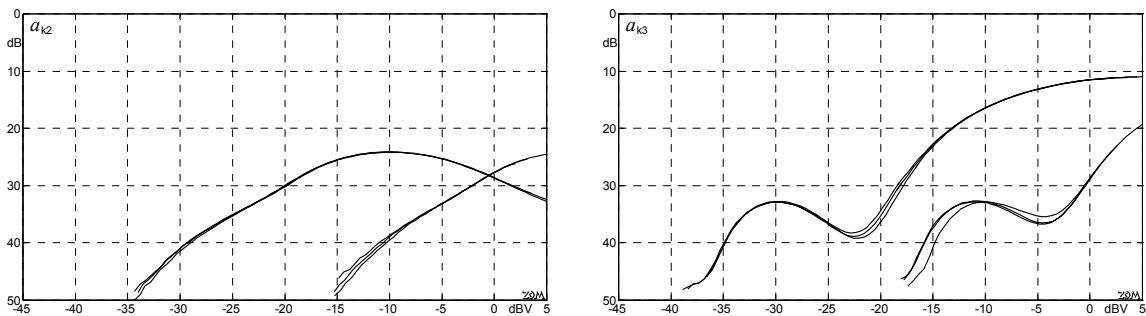


Abb. 10.v05: Klirrdämpfungen des AD60VT-DSPs für AC15, AC30, AC30TB. 2 verschiedene Verstärkungen.

Die Unterschiede zwischen diesen Verstärker-Modellen beschränken sich offenbar auf Frequenzgangmodifikationen, wie **Abb. 10.v06** dokumentiert. Kleine Welligkeiten, mehr Verstärkung und mehr Höhen beim AC30TB, das war's. Einem Kriterium scheint etwas mehr Bedeutung zugewiesen worden zu sein: Der Reihenfolge von Filterung und Begrenzung. Da gibt es Modelle, bei denen mit dem Treble-Poti der Höhenanteil eines verzerrten 500-Hz-Tones stark verändert werden kann (Filter nach Clipping), und andere, bei denen praktisch keine Wirkung erzielbar ist. Auch erkennt man modellspezifische Eigenarten in den Zeitfunktionen der verzerrten Sinusschwingung, und große modellspezifische Unterschiede im Verhalten aller Klang-Potis, aber auch Ungereimtheiten. So sagt das VOX-Manual, "*Presence*" sei *die Funktion der Endstufe*. In der gesamten VOX-Endstufe findet sich aber nirgends ein Presence-Poti – dessen Funktion wird davor im DSP berechnet.

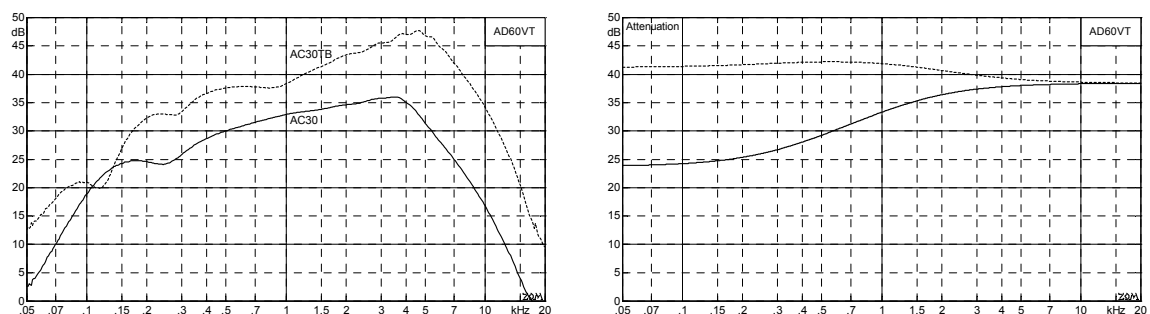


Abb. 10.v06: Übertragungsfrequenzgang vom Eingang \rightarrow 8 Ω Last; (B = min, M = 12:00, T = 13:30, Pr = 12:00). Im rechten Bild ist die Dämpfung der Endstufen-Gegenkopplung dargestellt (**Abb. 10.v03**, nur AB-Modelle).

Die Endstufen-Gegenkopplung des AD60VT ist eben nicht variabel, wie bei Verstärkern mit Presence-Funktion, sondern weist nur drei Varianten auf (Abb. 10.v03): Aus, leichte Höhen-Absenkung, starke Höhen-Anhebung. Die in Abb. 10.v06 dargestellten Messkurven* wurden mit reeller 8- Ω -Last ermittelt, mit Lautsprecher ergibt sich zusätzlich eine (wünschenswerte) Höhenanhebung. Und wenn wir schon genau hinsehen: die beiden Varianten im Gitterkreis sind ein gut gemeinter Anfang, die Umladung der Koppelkondensatoren (Kap. 10.4.4) erfolgt im wirklichen Leben (d.h. bei EL84, 6V6, 6L6, EL34) aber mit mehr als zwei Varianten.

Was bleibt nun vom Versprechen, dass *alle unsere Modelle eine Sound-Authentizität vorweisen, die andere Digital Modeling-Verfahren mit ihren "jetzt-ha'm-wa's-bald"-Lösungen bisher erfolgreich und konsequent verfehlten* [VOX-Manual]? Ein durchaus brauchbarer, vielseitiger Amp mit einem zweckmäßigen Bedienkonzept (vom VC-4 schweigen wir). Der AD60VT ist sicher kein Verstärker, dessen 16 verschiedene Amp-Models ihre Vorbilder perfekt imitieren. Das kann nicht funktionieren, schon weil sein **Lautsprecher** nicht sowohl die Bündelung eines 8x12"-Marshallturms, als auch die eines 4x10"-Bassman, eines 2x12"-Twins und eines 1x12"-Deluxe nachbilden kann. Weil (aus Gründen der Ökonomie?) auf spezielle Schaltungen (Cut, Presence) verzichtet wurde. Weil die nichtlinearen Verzerrungen im DSP nur relativ simpel nachgebildet werden. Weil der Lautsprecher eben ein typischer Celestion ist, und kein Jensen oder Eminence oder JBL. Trotzdem: Brauchbar. Und dass der Vertrieb die Anfragen nach Schaltungsunterlagen konsequent abwürgt: Geschenkt – das AD120VT-Manual ist im Netz, und die Endstufenplatine ist ja einlagig, also leicht analysierbar ☺.

Modell	vermutlich	Röhren	AD60VT-Endstufe	Reihenfolge	Endstufen-Geko
Boutique CL	Dumble	4x6L6GC	A	CF	nein
Black 2x12	Twin-Reverb	4x6L6GC	AB	FC	
Tweed 1x12	Deluxe	2x6V6GT	A	FC	nein
Tweed 4x10	Bassman	2x5881	AB	FC	
AC15	AC15	2xEL84	A	FC	nein
AC15TB	AC15TB	2xEL84	A	FC	nein
AC30	AC30-6	4xEL84	A	FC	nein
AC30TB	AC30TB	4xEL84	A	FC	nein
UK Blues	JTM-45	2xKT66	A	FC	
UK '70s	Marshall Plexi	4xEL34	AB	FC	
UK '80s	Marshall 80er	4xEL34	AB	CF	
UK '90s	Marshall 90er	4xEL34	AB	CF	
UK modern	Marshall	4xEL34	AB	CF	
Recto	Mesa Tri-Rectifier	6x6L6GC	AB	CF	
US HiGain	Soldano	4x6L6GC	AB	CF	
Boutique OD	Dumble Overdrive	4xEL34	A	FC	nein

Tabelle der Verstärker-Modelle (nach bestem Wissen). FC = Filter/Clipping, CF = Clipping/Filter.

* Dämpfung im Gegenkopplungsweig ergibt Verstärkung im Vorwärtsweig.

Nach "Valvetronix" nun zu "Valvestate", nach VOX zu **Marshall**. Denn auch da gibt es, (neben berühmten Vollröhrenverstärkern), Achtung: *Transistor*verstärker! Iiiiih!! Doch keine Sorge, liebe Gitarristen, natürlich mit Alibi-Röhre. *"Die neue Advanced Valvestate Technologie (AVT) ist das Ergebnis jahrelanger Weiterentwicklung und Innovation seit der Geburt der originalen Valvestate Verstärker. Die daraus entstandene neue Hybridtechnik stellt mit ihrem Sound auf einen Schlag sämtliche 'virtuellen' und 'modeling' Ampkonzepte in den Schatten, und ist somit heute die bestmögliche Alternative zu Vollröhrenverstärkern"* [Marshall]. Weil: *"Alle AVT Preamps arbeiten mit einer ECC83 (12AX7) Vorstufenröhre. Diese sorgt für authentisch glitzernde Cleansounds und obertonreichen, durchsetzungsstarken Overdrive"*. Jawoll, das musste doch mal gesagt werden. Dass die eigentlichen Nichtlinearitäten zwei antiparallele LEDs sind, nein, das sagt man lieber nicht. Und dass die Endstufe, früher unangefochtenes Terrain der EL34, jetzt von einem Leistungs-IC dominiert wird, der *"for use as audio class AB amplifier in HiFi field applications (Home Stereo, Top Class TV)"* entwickelt wurde, das, ja das sagt nur das IC-Datenblatt. Marshall sagt (bzw. schreibt) eigentlich nur, dass die AVT-Endstufe einzigartig ist. Was wir gern glauben wollen. Marshall hätte im Prospekt auch noch schreiben können, dass die typischen Klirrfaktoren dieses Endstufen-ICs bei rekordverdächtigen THD = 0.005% liegen [IC-Datenblatt], doch hielt man das anscheinend für selbstverständlich – das bleibt unerwähnt. Dass hingegen der Boucherot-Widerstand der AVT-Endstufe gerne abraucht, das ist bekannt, das erfährt man übers www. Es scheint wohl gar nicht so einfach zu sein, dieser Marshall-Endstufe über die Serie hinweg die HF-Oszillationen auszutreiben ... klingt vertraut, wird da so mancher Service-Techniker denken.

Glaubt man Marshall, so reicht eine einzige ECC83 für authentische Röhrensounds. Eine *ECC83 Vorstufenröhre*, was aber nicht heißt, dass diese Röhre in der Vorstufe arbeitet. Denn im Verstärkereingang steckt ein NMJ072, gefolgt von einem M5201. Der M5201 ist ein sog. "Switching-OP", ein umschaltbarer Operationsverstärker, der wahlweise den Clean- oder den Overdrive-Kanal durchschaltet. Mit recht mäßigen 2V/μs, aber da weiß die Fangemeinde Rat: Gegen den NJM2121 auswechseln, der hat 4V/μs. Auch nicht viel, aber egal, die Prioritäten scheinen wo anders zu liegen. Z.B. bei den im Gegenkopplungszweig liegenden antiparallelen Leuchtdioden: **3mm, rot**. Würde gelb anders klingen? Bestimmt! Von grün oder blau erst gar nicht zu reden. Marshall: Nur echt mit den roten Verzerrer-LEDs. Danach darf die ECC83 ran, mit ehrfurchtgebietenden 109V Versorgungsspannung befeuert, und mit serieller 13.5-V-Heizung. 13.5 Volt? Ja – bei Marshall mussten Röhren schon immer leiden. Das ist nun aber nicht der berüchtigte Kathodenfolger-Verzerrer, der seit JTM45-Zeiten bei Marshalls, also bei echten Marshalls, nicht wegzudenken ist. Nein, beide Trioden arbeiten in Kathoden-Basis-Schaltung, ohne Kathoden-Elko, also ganz brav. *"Authentisch"*, wie der Prospekt anmerkt. Dann kommt wieder ein OP, also viele Transistoren, warum auch nicht, nochmals zwei antiparallele Lummies (3mm, rot), nochmals zwei OPs (der Reverb will ja auch standesgemäß eingeschleift* werden), und dann geht's ab zum Power-Modul, also zum Leistungs-IC. War sicher nicht einfach, all das HF-stabil auf die Platinen zu bekommen: Wenn's einen C93 gibt, wird's vermutlich mit nur 92 Kondensatoren nicht zu schaffen gewesen sein. Und inmitten: Die Röhre, deren Foto im Prospekt ganz oben steht. Röhrenamp, advanced technology! Wenn man diese ECC83 nun auch noch durch zwei FETs ersetzen ~~yyÄüðpAHKfóó~~ nein, da wird's selbst Word zuviel. Marshall, nur mit Transistoren ... brrrr.

Over the years many manufacturers have tried to emulate that sought after all-valve sound using solid state technology. All such attempts failed miserably up to now. Enter Marshall's Valvestate technology [Marshall].

* "eingeschliffen", um auch einmal die Sprache der Bachelor-Arbeit zu pflegen.