

Manfred Zollner

# Physik der Elektrogitarre

Gitarrenverstärker



Prof. Dr.-Ing. Manfred Zollner  
Hochschule Regensburg, Labor Elektroakustik  
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik  
Seybothstraße 2, D-93053 Regensburg

### **Zur Beachtung:**

Die folgenden PDF-Dateien sind eine Vorveröffentlichung über noch nicht abgeschlossene Forschungsarbeiten zur Elektrogitarre. Die Texte sind zur Zeit noch unvollständig, sie können jederzeit ohne besondere Hinweise geändert werden. Fragen nach dem Erscheinungszeitpunkt weiterer Kapitel können leider nicht beantwortet werden, da eine verbindliche Zeitplanung bei Forschungsarbeiten dieser Art nicht möglich ist.

Diese o.g. PDF-Dateien sind urheberrechtlich geschützt, ihre Verwendung ist nur zu privaten Zwecken erlaubt – jegliche kommerzielle Nutzung ist verboten. Auszugsweises Zitieren ist unter Quellenangabe erlaubt (**Urheberrecht beachten**):

*Manfred Zollner: Physik der Elektrogitarre, Regensburg 2009 (Vorveröffentlichung).*

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen (Warenzeichen, Handelsnamen) in diesem Buch berechtigt auch beim Fehlen individueller Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Warenbezeichnungen als frei zu betrachten wären.

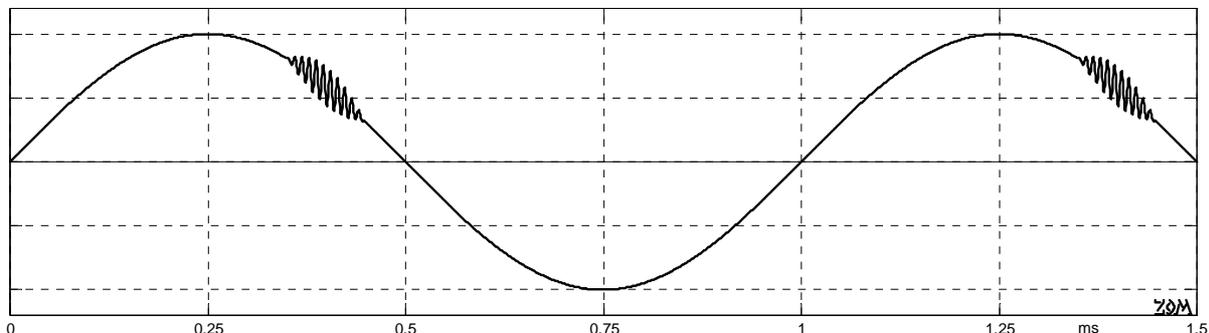
Auszugsweise Vorveröffentlichung.

Layout, Satz und Copyright ©: Prof. Dr.-Ing. Manfred Zollner, Hochschule Regensburg, Labor Elektroakustik.

## Marshall JTM-45

James Marshall eröffnete 1960 in London seinen Drum Shop (bzw. Store), und begann bald, neben Schlagzeugen auch Verstärker zu verkaufen. Zunächst teure Fender, ab 1962 dann die ersten Marshall-Amps, die sein Techniker Ken Bran nach Fender-Vorbild zusammenbaute. James Marshall Hendrix, ein junger Gitarrist, kaufte dort ein, und beide hatten den Grundstein zu ihrer Karriere gelegt: Der eine nannte sich fortan Jim Marshall, der andere Jimi Hendrix.

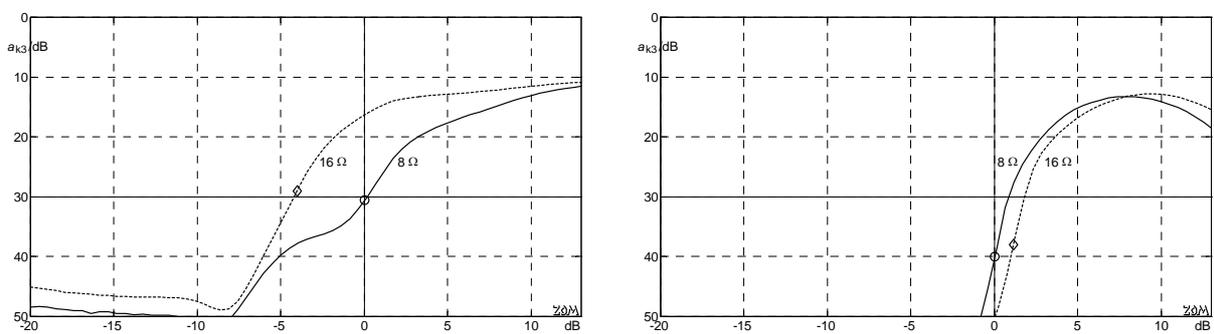
Marshall's (bzw. Bran's) erster Verstärker war der JTM-45, in dessen Endstufe (von wenigen Ausnahmen abgesehen) zwei KT-66 im Gegentakt-AB-Betrieb arbeiten. Für diese Betriebsart nennt das GEC-Datenblatt eine Ausgangsleistung von 30 W. Die 45 nach dem JTM- ist also keine Angabe zur Sinus-Leistung – sie verspricht nur einen scheinbaren 50%-Vorsprung gegenüber dem AC-30. Die JTM-45-Endstufe ist für einen Röhrenverstärker relativ stark gegengekoppelt, was mehrere Konsequenzen hat: Die nichtlinearen Verzerrungen werden verringert, Lautsprecherresonanzen wirken sich schwächer aus, und insbesondere bei zuge-drehtem Presence-Poti kann der Verstärker hochfrequent schwingen. Eine Rückkopplung wirkt als **Gegenkopplung**, wenn sich das rückgeführte Signal gegenphasig zum Steuersignal addiert. Im hohen Frequenzbereich treten jedoch (z.B. im Ausgangsübertrager) Phasendrehungen auf, sodass aus der Gegenkopplung eine **Mitkopplung** werden kann – der Verstärker schwingt. Diese Schwingungen entstehen u.U. nur in einem bestimmten Aussteuerungsbereich, weil nur hier die spezifische Verstärkung und Phasendrehung (beide sind aussteuerungsabhängig) dafür sorgt, dass die Schleifenverstärkung größer als 1 werden kann. Auch wenn derartige HF-Schwingungen a priori in einem unhörbaren Frequenzbereich liegen – sie müssen vermieden werden. Zum einen, weil hiermit ein unerlaubter Hochfrequenzsender betrieben würde, zum andern, weil sie die Endstufe zusätzlich und unnötig belasten.



**Abb. 10.5.50:** 1-kHz-Ton mit überlagerter HF-Schwingung.

In **Abb. 10.5.50** ist der prinzipielle Verlauf eines "hochfrequenzverseuchten" NF-Signals dargestellt. Die HF (gerne um 150 kHz) ist nicht immer als saubere Schwingung zu erkennen, oft entsteht nur eine Verbreiterung oder Verschmierung der NF-Kurve. Als "Brute-Force-Bugfix" findet man kleine Kondensatoren, die "an geeigneter Stelle" eingelötet worden waren, um dem Übel abzuhelpfen. Viel besser wäre allerdings eine lehrbuchmäßige RC-Kompensation, die bei hohen Frequenzen die Schleifenverstärkung reduziert, ohne wesentliche Phasendrehungen hinzuzufügen (sog. Tiefpass mit Gegenhalt). Sicher kein triviales Thema, weil ja mit jedem Röhrenwechsel die Schwingbedingung neu ausgehandelt wird. Und lautsprecherabhängig ist sie ja auch noch. Wer dieses Thema nicht ganz so "sophisticated" angehen möchte, findet beim Presence-Poti aber einen sehr kooperativen Partner: Nach rechts (CW) drehen, und die störende HF ist weg. Es überrascht vielleicht, dass bei größerer Höhenverstärkung die HF-Schwingung abstirbt, aber hierbei wird die Schleifenverstärkung reduziert, und diese bestimmt die Tendenz zu Eigenschwingungen.

Die JTM-45-Endstufe arbeitet im AB-Betrieb, und somit ergibt sich (neben der Röhrenwahl) ein weiterer Freiheitsgrad: Der Ruhestrom, bzw. die Gitter-Vorspannung. Es würde zu weit führen, alle wesentlichen Übertragungskurven für alle passenden Röhren bei mehreren Bias-Einstellungen abzubilden, deshalb nur einige wenige Beispiele: In Abb. 10.5.51 sind Klirrdämpfungsmessungen ( $a_{k3}$ ) dargestellt, einmal ohne Endstufengegenkopplung, einmal mit der Originalgegenkopplung. Ken Bran macht bei seinen Kommentaren zur Marshall-Schaltung kein Hehl daraus, dass der 5F6A-Bassman das große Vorbild war, und so verwundert es nicht, dass bei beiden Verstärkern ein 27-k $\Omega$ -Widerstand auf ein 5-k $\Omega$ -Presence-Poti zurückkoppelt. Beim Bassman wird allerdings von der 2- $\Omega$ -Wicklung abgegriffen, beim JTM-45 von der 16- $\Omega$ -Wicklung, und deshalb ist die Marshall-Gegenkopplung ca. dreimal so effizient (Widerstände werden mit dem *Quadrat* des Windungsverhältnisses transformiert). Ob das ein Versehen war, oder Unwissenheit, oder Absicht – wer will das nach fast 50 Jahren noch so genau sagen können? Bei den Nachfolgemodellen wird die Endstufengegenkopplung jedenfalls wieder reduziert, warum auch immer.



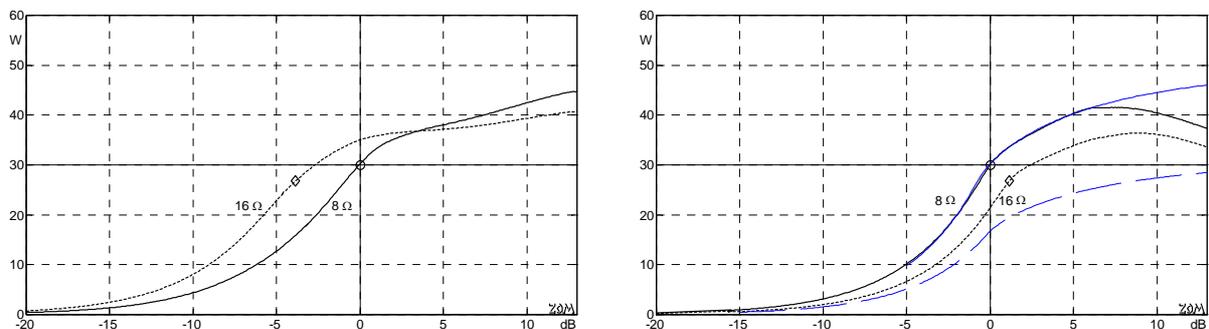
**Abb. 10.5.51:** JTM-45, Endstufen-Klirrdämpfung ohne (links) bzw. mit Endstufen-Gegenkopplung (rechts). Zu den Messungen wurde der 8- $\Omega$ -Ausgang mit einem reellen Widerstand (8  $\Omega$  bzw. 16  $\Omega$ ) belastet,  $f = 500$  Hz.

In Abb. 10.5.51 ist die Abszisse so normiert, dass bei 0 dB und Nennbelastung das Signal gerade begrenzt wird. Klirrdämpfungen über 40 dB (entsprechend  $k < 1\%$ ) sind für den Höreindruck sicher irrelevant, bei einem Gitarrenverstärker darf man die Hörbarkeitsgrenze vermutlich sogar bis auf 30 dB (ca. 3 % Klirrfaktor) verschieben. Einen verbindlichen Grenzwert gibt es allerdings nicht, weil zu viele Parameter über die Hörbarkeit von nichtlinearen Verzerrungen entscheiden. Aufgrund ihrer starken Gegenkopplung verzerrt die JTM-45-Endstufe auf den ersten Blick ähnlich wie eine Transistorendstufe: Praktisch verzerrungsfrei bei nichtbegrenztem Signal, lehrbuchmäßiger Klirrfaktoranstieg bei Überschreiten der Aussteuerungsgrenze. Diesen Satz müsste man eigentlich in Granit meißeln: "Marshall's Röhrenendstufe verzerrt wie eine Transistorendstufe." Wo doch alle Verstärker-Gurus die speziell gezüchtete Marshall-Verzerrung in den höchsten Tönen loben! Aber wo ist Besonderes, wenn man einen amerikanischen Verstärker nachbaut, dessen Schaltung aus Röhrenhandbüchern stammt? Die JTM-45-Endstufe enthält einen lehrbuchmäßigen Differenzverstärker als Phaseninverter, zwei lehrbuchmäßig angesteuerte Strahltrioden im AB-Betrieb, und einen Ausgangsübertrager, der für eine Klientel angeboten wurde, die man in Deutschland als Radiobastler\* bezeichnete. Dass diesem "Radiospares-Deluxe-Transformer" von seiner Fangemeinde geheime Kräfte zugewiesen werden, darf nicht verwundern, ist er doch in guter Gesellschaft mit Ken Brans speziellem Lötzinn, dessen Atome sich von selbst immer nach Hanwell ausrichten. Aber aufgepasst, Buddies, nach dem Herumtragen des Verstärkers erst 4 Minuten warten, denn wie lernt man im Chemie-Unterricht: Zinn und Blei haben 4 Valenzelektronen, das sind die sog. inerten (trägen) Schwermetalle, da dauert das Ausrichten der Atome etwas.

\* Aus jenen Tagen stammt z.B. Richters Lehrbuch "Radiobasteln für Jungen", Starthilfe vieler Tubefreaks.

Mächtig erschrocken? Gemach, es gibt schon Unterschiede zum Transistoramp, aus der Ähnlichkeit zweier Verzerrungskurven darf nicht auf generelle Äquivalenz geschlossen werden. In **Abb. 10.5.52** ist die **Ausgangsleistung** für zwei verschiedene Belastungen dargestellt, und da beginnen Unterschiede sichtbar zu werden: Eine Transistorendstufe ist eine ziemlich perfekte Spannungsquelle, unabhängig von der Lastimpedanz (die natürlich nicht unzulässig klein werden darf). Wegen  $P = U^2 / R$  halbiert sich deshalb die Ausgangsleistung, wenn der Lastwiderstand von  $8 \Omega$  auf  $16 \Omega$  verdoppelt wird. Bei der Röhrendstufe ist das anders: *Ohne Gegenkopplung* ist die Spannungsverstärkung im linearen Bereich näherungsweise proportional zur Last, an  $16 \Omega$  also ungefähr doppelt so groß wie an  $8 \Omega$ , sodass an  $16 \Omega$  gegenüber  $8 \Omega$  die doppelte Leistung abgegeben wird. *Mit perfekter Spannungs-Gegenkopplung* wäre die Ausgangsspannung lastunabhängig, und somit wird im linearen Bereich an  $16 \Omega$  gegenüber  $8 \Omega$  die halbe Leistung abgegeben (wie im rechten Bild blau eingezeichnet). Eine perfekte Spannungsquelle ist die *JTM-45-Endstufe* allerdings nicht, und deshalb ist die  $16\text{-}\Omega$ -Leistung etwas mehr als die Hälfte der  $8\text{-}\Omega$ -Leistung. Abb. 10.5.54 kann entnommen werden, dass bei der Lautsprecherresonanz und bei hohen Frequenzen die Lastimpedanz größer als die Nennimpedanz wird, deshalb betont ein nicht gegengekoppelter Röhrenverstärker diese Frequenzbereiche. Bei der ziemlich stark gegengekoppelten JTM-45-Endstufe fällt diese Betonung wesentlich dezenter aus, ist aber gleichwohl noch bemerkbar.

**Bei Übersteuerung** ändern sich die Zustände grundlegend: Durch die starke Belastung bricht die Betriebsspannung des Verstärkers etwas zusammen, die Leistung steigt auch bei der Transistorendstufe nicht auf den theoretischen Maximalwert, der dem Doppelten der maximalen Sinusleistung entsprechen würde. Hinzu kommen Effekte, die ihre Ursache in der Polarisierung der Koppelkondensatoren haben (Gitterstromfluss). Sie führen zu einer deutlichen Änderung des Tastverhältnisses, als deren Folge bei starker Übersteuerung die Ausgangsleistung sogar wieder abnimmt – insbesondere bei der gegengekoppelten Röhren-Endstufe. Dass hierbei der quadratische Klirrfaktor ( $k_2$ ) gegenüber dem kubischen ( $k_3$ ) zu dominieren beginnt, ist ebenfalls typisch für diese Art Endstufenschaltung – aber keinesfalls Marshall-exklusiv. In der gesamten JTM-45-Endstufe ist keine Zutat erkennbar, die auf spezielles Distortion-Design schließen lassen würde, und auch die Messdaten offenbaren nirgends Unübliches. Dass gerade der JTM-45 Kultstatus errungen hat, dürfte – neben der Tatsache, dass er gut klingt – vor allem Eric Clapton zu verdanken sein, der auf dem Cover von John Mayalls Bluesbreakers-LP mit eben diesem Verstärker abgebildet ist. In Doyles Marshall-Buch ist zu lesen, dass die Unterschiede zum 5F6A-Bassman im Wesentlichen auf den andersartigen Lautsprechern, der andersartigen Eingangsröhre (12AX7 ./ 12AY7), und der höheren Endstufen-Gegenkopplung des JTM-45 beruhen. Der RS-Ausgangsübertrager ist nicht Ursache eines speziellen Sounds, wie Doyle Marshall's Design-Director zitiert. Und dass ein Stahl-Chassis den Verstärker im Gegensatz zu einem Alu-Chassis anders klingen lässt, glaubt ja hoffentlich niemand mehr.



**Abb. 10.5.52:** JTM-45, Ausgangsleistung am  $8\text{-}\Omega$ -Ausgang,  $f = 500 \text{ Hz}$ , ohne (links) bzw. mit Gegenkopplung. Der Beginn der Signalbegrenzung ist markiert. Die blauen Kurven wurden an einer Transistorendstufe gemessen.

Wäre die im JTM-45 anzutreffende relativ starke Endstufen-Gegenkopplung der Stein der Weisen, man hätte sie ja wohl bei Nachfolgemodellen beibehalten. Aber eben das passiert nicht, der Abgriffpunkt für die Gegenkopplung wandert von der 16- $\Omega$ - zur 8- $\Omega$ -Wicklung, und später sogar noch zur 4- $\Omega$ -Wicklung, gleichzeitig vergrößert Marshall den Rückführungs-Widerstand von 27 k $\Omega$  auf 47 k $\Omega$ , und sogar noch weiter bis auf 100 k $\Omega$ . Beide Maßnahmen reduzieren die Gegenkopplung (auch wenn die EL-34 wegen ihrer größeren Steilheit etwas mehr verstärkt). Wie auch immer, der JTM-45 war ein guter Verstärker, der aber keine unentdeckten Geheimnisse birgt. Dass nicht alle Nachbauten exakt so klingen wie das Original, das der G&B-Kolumnist vor 28 Jahren einmal gehört hat, kann mehrere Ursachen haben: Zum einen gibt es Marshall-Reissues mit abweichenden Schaltplänen, dann ist bei Röhren und Lautsprechern natürlich mit Toleranzen zu rechnen, und schließlich: Es wäre zumindest vorstellbar, dass sich Erinnerungen im Lauf von 28 Jahren verklären. Oder auch nicht, was soll's.

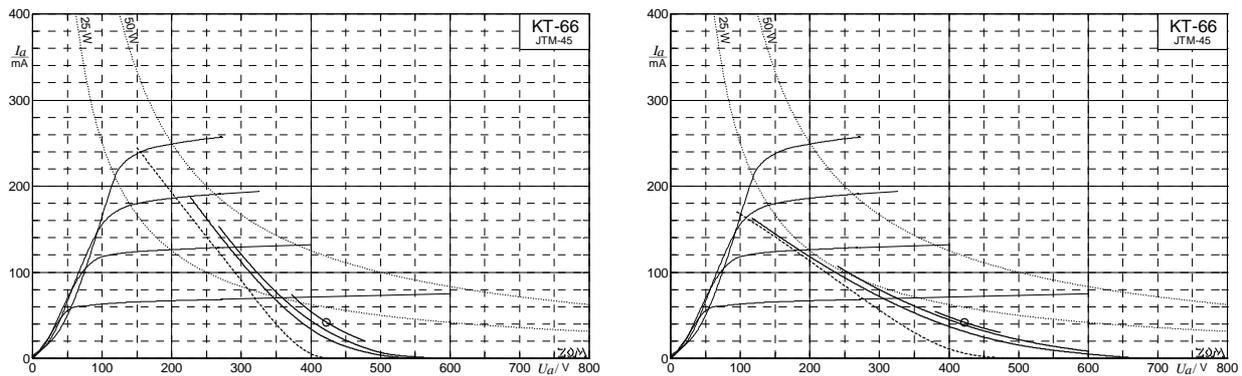


Abb. 10.5.53: JTM-45, Ausgangskennlinien, 8- $\Omega$ -Ausgang; Last = 8  $\Omega$  (links), bzw. 16  $\Omega$  (rechts). TAD-KT-66.

In Abb. 10.5.53 ist der prinzipielle Verlauf der Ausgangskennlinien dargestellt, wobei aber zu berücksichtigen ist, dass die Betriebsspannung eine sehr starke Welligkeit aufweist – diese Kurven wandern mit 100 Hz hin und her (Kap. 10.7). Die in den Bildern erkennbare Horizontalverschiebung\* hat ihre Ursache nicht in dieser Welligkeit, sondern in der Polarisation der Koppelkondensatoren – sie verschieben den Arbeitspunkt, selbst wenn er so "heiß" liegt wie in diesem Beispiel. Mit 16  $\Omega$  Last macht sich die untypisch hohe Anoden-Restspannung der TAD-KT-66 bemerkbar, deshalb ist hier die Ausgangsleistung kleiner als mit MOV-Daten zu erwarten wäre. In Abb. 10.5.54 ist der Endstufen-Frequenzgang unter Lautsprecherbelastung dargestellt. Bei zugedrehtem Presence-Poti ergibt sich (wg. Gegenkopplung) ein nahezu frequenzunabhängiger Verlauf, trotz der frequenzabhängigen Belastung. Übersteuert man die Endstufe (Kurven um 30 dBV), verliert das Presence-Poti seine Wirkung, während die Lautsprecherimpedanz an Bedeutung gewinnt und den Frequenzgang etwas stärker formt.

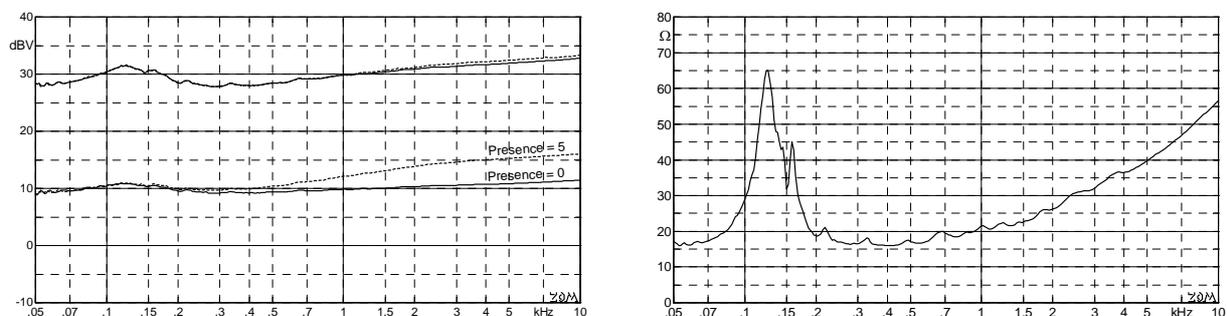
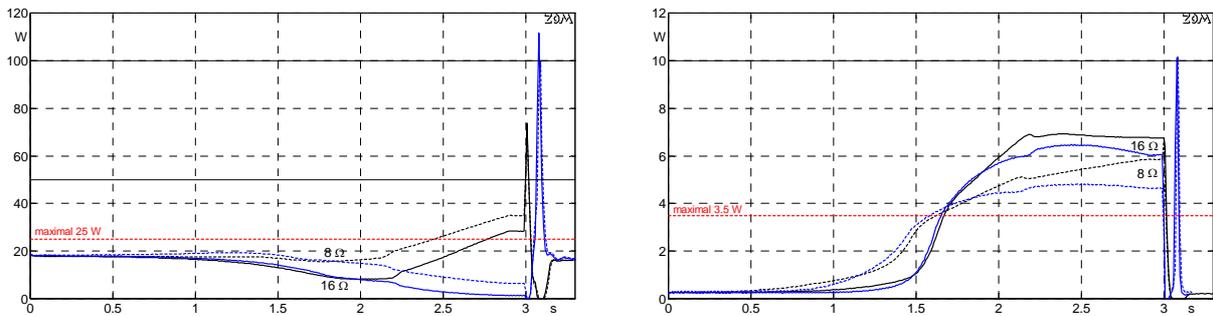


Abb. 10.5.54: Übertragungsfrequenzgang einer JTM-45-Endstufe, 16- $\Omega$ -Ausgang mit 1960-AX belastet (links). Rechts: Betrag der Lautsprecher-Impedanz (1960-AX im reflektierenden Raum).

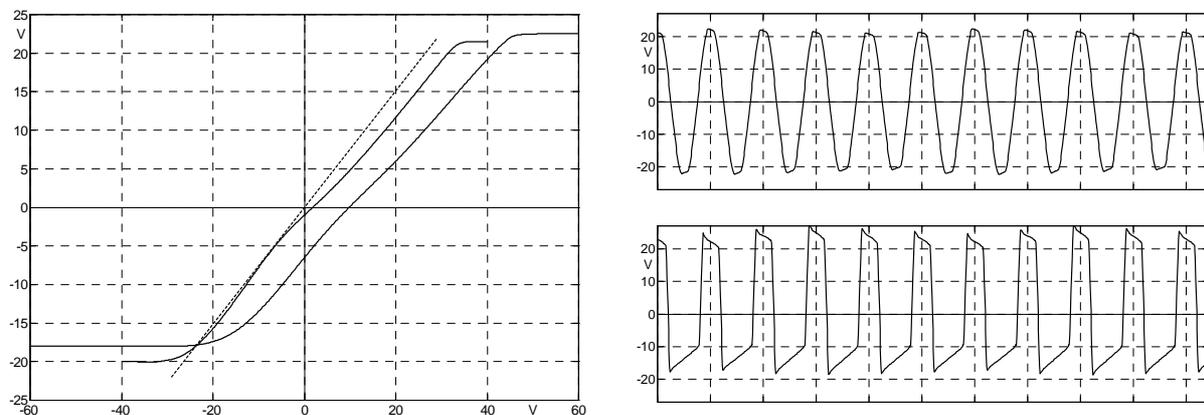
\* Bei den beiden Endröhrenströmen ist die Verschiebung bzw. Polarisation unterschiedlich, Kap. 10.4.

Die Endröhrenbelastung zeigt **Abb. 10.5.55** für reelle Belastung am 8- $\Omega$ -Ausgang. Mit zunehmender Aussteuerung sinkt die Anodenbelastung zunächst für beide Endröhren, steigt bei einer Röhre für starke Übersteuerung aber wieder an. Nach dem Abschalten des Signals entsteht eine hohe Belastungsspitze, deren Ursache der Ladungsausgleich in den Koppelkondensatoren ist. Da diese Überlastung nur kurzzeitig auftritt, stellt sie keine besondere Gefahr für die Röhren dar. Anders beim Schirmgitter: Sobald die Endstufe übersteuert wird, übersteigt die Schirmgitter-Verlustleistung den erlaubten Grenzwert – bei dauernder Übersteuerung wird die Röhre dauerhaft überlastet, und die Röhren-Lebensdauer verkürzt.



**Abb. 10.5.55:** JTM-45: Anodenverlustleistung (links), Schirmgitterverlustleistung (rechts). Von 0...3 s steigt der Pegel des ansteuernden Sinustones linear um 30 dB an, bei  $t = 1.5$  s wird an 8  $\Omega$  Nennleistung (30W) erreicht. Bei  $t = 3$  s wird das Steuersignal abgeschaltet, danach folgen Ausgleichsvorgänge in den Endstufen-Kapazitäten. Die Verlustleistungen der einen Endröhre (TAD-KT-66) sind schwarz gezeichnet, die der anderen blau.

Die Übertragungskennlinie vom Differenzverstärker-Eingang zum Leistungsausgang ist in **Abb. 10.5.56** dargestellt. Sobald die Endstufe übersteuert wird, verliert die Kurve ihre Punktsymmetrie, und das Tastverhältnis ändert sich. Ursachen hierfür sind Potentialverschiebungen im Differenzverstärker (Phaseninverter) und Gitterstromfluss in den Endröhren. Bis knapp unter die Aussteuerungsgrenze ist das Ausgangssignal proportional zum Eingangssignal, wie im linken Bild gestrichelt dargestellt. Bei Übersteuerung wird die Ausgangsspannung begrenzt, aber zunehmend unsymmetrisch, wodurch sich die Kennlinie verschiebt (der Mittelwert muss null bleiben). Da das begrenzte Signal nicht mehr mono-, sondern polyfrequent ist, beginnen sich Phasendrehungen des als Hochpass wirkenden Ausgangsübertragers auszuwirken, die Übertragungskennlinie ist nicht mehr gedächtnisfrei, sondern zerfällt in einen auf- und einen absteigenden Ast. Im linken Bild der Abb. 10.5.56 sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht diese Hystereseschleifen gezeichnet, sondern Mittelwerte. Würde man anstelle eines realen Lastwiderstandes einen Lautsprecher anschließen, ergäben sich wegen dessen komplexer Impedanz noch kompliziertere Verläufe.



**Abb. 10.5.56:** Idealisierte Übertragungskennlinie (links), Ausgangs-Zeitfunktionen an reeller Nenn-Last (rechts).

Was ist nun das Besondere der JTM-45-Endstufe, was macht den legendären Sound? Der, wie in G&B 07/06 ausnahmsweise nicht onomatopoetisch, sondern tribopoetisch<sup>⊕</sup> beschrieben, ein "fetter und cremiger Crunch-Ton" ist, und "niemals ein Marshall-typischer Zerr-Sound". Nanü, kein Marshall-Sound aus dem Marshall? Wo man doch beim JTM-45 "sämtliche Zutaten sieht, die auch für den später zur Legende gewordenen Plexi-Sound\* verantwortlich waren". Vermutlich sieht man sie nur, aber hört sie nicht. Eineinhalb Jahre vorher war der JTM-45 "noch aggressiver und heißer" (G&B 02/05), ein halbes Jahr vorher "klar und fett, mit weichem Mittenspektrum" (G&B 02/06).

Klar kann Fett auch heiß sein, warum nicht. Wie dieser heiß-fette Sound entstand, ist Gegenstand unzähliger Spekulationen. Das beginnt bei **Claptons Les Paul**, die in der einschlägigen Literatur wahlweise als '58er, '59er oder '60er-Les-Paul bezeichnet wird. Könnte das nicht egal sein? Nein – das macht einen Riesen-Unterschied, haben sich doch in diesen Jahren die Bündel geändert (breiter), und der Halswinkel (größer), und der Halsquerschnitt (schmäler), und all das war natürlich "tone-affecting". Und so müsste E.C. auf die Frage, welches Modell er denn damals [im Juni 1965, G&B 9/08] gekauft hat, spontan antworten: Natürlich die '58er, wegen des dicken Halses, der – wie wir doch alle wissen – Klangfülle und Sustain verbessert [G&B Gibson-Special]. Sagt er so aber nicht, er meint nur: "Keine Ahnung". Keine Ahnung? Mensch Eric, das müsstest Du (unter Musikern ist man per Du) doch wissen: Allein der vergrößerte Halswinkel der '60er Paula (so heißt dieser Gitarrentyp in Fachkreisen) hätte doch das Sustain kaputt gemacht, und der dünne Hals einer '60er "hat keinerlei akzeptables Schwingungsverhalten [G&B 3/97]". Und der Eric weiß das nicht mehr – seltsam. Eric sei Dank sind aber aus jener "Clapton-is-God-Zeit" Aufnahmen erhalten, Beano etc., da wird man doch leicht heraushören können, was Sache war. Neuester Erkenntnisstand: "Man glaubt heute jedoch, dass es sich um ein 60er Modell handelte, denn sowohl Clapton als auch Peter Green beschrieben in verschiedenen Interviews den 'slinky' Hals dieser Gitarre [G&B 9/08]." Ja, so schwer haben's die Gitarren-Experten: Einerseits müssen sie andauernd erklären, dass kleinste Details einer Paula (Lack, Bündel, Hals, Potis oder Tone-Caps) einen immensen Einfluss auf den Klang haben, andererseits findet sich weltweit kein einziger, der beim Anhören der Bluesbreaker-LP eindeutig aufgrund dieser Klangspezifika den Gitarrentyp erkennen kann, sodass als letzte Notlösung nur bleibt, aus Erinnerungen an das Halsprofil auf den Typ zu schließen. In dieser Scheinwelt ist man offensichtlich nicht nur per Du, sondern auch perdu.

Nun gut, über die Gitarre weiß man nichts Genaues, aber der Verstärker, der ist bekannt: Ein **JTM-45, 2x12-Combo Typ II**, vermutlich Alnico-Lautsprecher. Vermutlich? Jetzt geht das schon wieder los, was heißt da vermutlich? Alnicos bringen "besonders süße und obertonreiche Höhen", das ist spätestens seit G&B 8/05 bekannt, und deshalb müsste man der Beano-LP doch anhören können, ob da Alnicos oder Keramikwerkeln. Aber wieder verschließt sich die LP jeglicher Analyse, und obwohl Keramik-Speaker "ganz anders" klingen als Alnicos, hört keiner der Platte an, was da für Lautsprecher aufgenommen wurden – magic, isn't it? Dummerweise begann Marshall gerade in jenen Tagen mit der Umstellung auf die Keramik-Celestions, sodass da sowohl, als auch in Frage kommt. Dann fragen wir doch mal den Herrn Clapton, der müsste doch ... nicht? Auch daran keine Erinnerungen?? Also mein lieber Eric, das mit dem Alk und den Drogen, das musste ja Ausmaße angenommen haben ... hat es?, ... ach so, dann sollte man da nicht weiter insistieren. Also ein Blick in die Fachliteratur: "Because Clapton ran the amplifier at full volume, the Alnicos may have been damaged. He may have replaced them with the higher wattage, ceramic magnet Celestion Greenbacks." Soweit Premier Guitar (Februar 2008). Clapton ersetzte seine Alnicos durch Ceramics? Seine

<sup>⊕</sup> Tribologie = Lehre von Reibung und Schmierstoffen

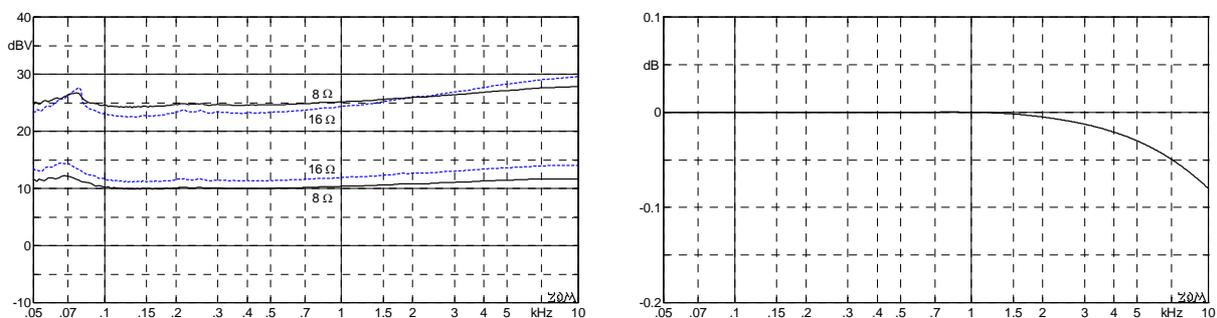
\* Der Plexi klingt aber hoffentlich schon nach Marshall, oder etwa auch nicht??

Alnicos, die lt. Premier Guitar "sweet warm tones and a smooth midrange" produzieren? Und die lt. Gitarre & Bass "besonders süße und obertonreiche Höhen" erzeugen, und "harmonisch und bissig klingen". Ganz anders also als die darauffolgenden Keramik-Celestions, die zwar "plenty of midrange crunch" produzieren, aber "...sounded very different from the Alnico type speakers used in other Marshalls [David Szabados]." Natürlich weiß niemand, ob Eric wirklich hat: "He may have", und er selbst erinnert sich ja leider nicht mehr daran. Sollte nicht so schlimm sein, denn da gibt's doch die LP, auf der müsste man das doch hören, wg. "sounded very different." Schwierig, echt, denn einerseits klingen die Ceramics schon ganz anders, aber andererseits anscheinend auch wieder nicht, sonst tät man's ja heraushören. Fazit: Über die berühmten Lautsprecher weiß man auch nichts Genaues.

Doch eines weiß man: Der **Ausgangstrafo** war entweder von Radio-Spares, oder von Drake. Das weiß man sicher: Entweder / oder. Dass die beiden Trafos nicht äquivalent waren, das weiß man auch sicher: Die Drakes waren rauer und zerrfreudiger, mittiger, dunkler als die RS. Leider hört man nicht sicher heraus, welcher Trafo für Herrn Clapton Dienst hatte, deshalb bietet der Retrofitter sicherheitshalber Nachbauten für beide an. So um die 250.-- USD (für einen, nicht für alle beide), zzgl. Zoll und Transport, und schon ist man wieder einen Schritt näher mein Gott bei Dir. Dass diese Trafos so teuer sind, muss man verstehen: Handgefertigt! Erfreulicherweise werden die Kernbleche nicht auch noch mit der Laubsäge ausgeschnitten, sonst wär's doch langsam überteuert. Aber rund 300 USD, das geht schon in Ordnung, ist ja eine detailgenaue Kopie vom Clapton-Gear. Höchstwahrscheinlich – denn genau weiß man immer noch nicht, ob Drake oder RS, und Herr Pipper, der G&B-Experte, bietet noch eine Variante an: Herr Clapton könnte auch an seines Trafos 16-Ω-Ausgang ein 8-Ω-Lautsprecherpaar betrieben haben, was ja nun schon einen Faktor zwei, um nicht zu sagen ca. 100% Mismatching ausmacht. Oder 50 Prozent? Diese Dinge lassen sich theoretisch leider nicht so genau in den Griff kriegen, fassen wir einfach mal zusammen: Claptons JTM-45-Sound ist legendär, da sind sich alle einig. Wer diesen Sound kopieren möchte, beschaffe sich eine '58er oder '59er oder '60er-Les-Paul (die sich im Klang angeblich hörbar unterscheiden), bestücke seinen JTM-45 mit einem Drake- oder RS-Tranny (die sich im Klang angeblich hörbar unterscheiden), und installiere zwei Alnico- oder Keramik-Celestions (die sich im Klang angeblich hörbar unterscheiden), und hat dann den amtlichen Beano-Ton. Uff!

Hierher passt ein kurzer Exkurs in die Welt der **Werbepsychologie**: Was macht man als be-gnadeter Trafospulen-Bewickler, um seinen Umsatz anzukurbeln? Man schreibt "Wir sind die besten?" Nein – das sagen ja alle. Besser, man motiviert einen unabhängigen Fachjournalist zu einem redaktionellen Beitrag über sagen wir "Marshall-Restaurierung". Dann braucht man nur noch einen bekannten Musiker, der mit dem Sound seines Marshalls nicht zufrieden ist, und los geht's. Bestandsaufnahme: Langweiliger Sound, odd Harmonics (!), der schlimmste Marshall, seit man hören kann. Nach dieser Diagnose die Therapie: Komponenten auswechseln! Man nehme: Echte Kohlewiderstände, gelbe oder orange Kondensatoren (je nachdem, welcher Kondensator-Disti mehr Zuschuss zahlt), und natürlich: Einen neuen Netztrafo (von dem kommt schließlich die ganze Leistung), einen neuen Ausgangstrafo (da muss schließlich alles durch), und weil wir schon dabei sind, gleich noch eine neue "Choke", und schon geht die kalifornische Sonne auf: Der beste Marshall, den man je gehört hat. Zu guter Letzt lässt man den bekannten Musiker noch von der unglaublichen Soundverbesserung schwärmen, und dass er nur jedem empfehlen kann, auch diese Wahnsinnstrafos einbauen zu lassen. Und dann muss man nur noch hoffen, dass niemand die [www.tone-lizard.com/lesson](http://www.tone-lizard.com/lesson) liest, in denen genüsslich erläutert wird, wie bei Reparaturen immer wieder der kaputte Marshall-Trafo gegen einen billigen Noname-Trafo ausgetauscht wurde, und keiner hat sich je beklagt (*not a single complaint*). Herrlich.

Wenn man einen 8- $\Omega$ -Lautsprecher nicht an den vorgesehenen 8- $\Omega$ -Ausgang einer Röhrendstufe anschließt, sondern an den 16- $\Omega$ -Ausgang, kann sich einiges ändern. Bei einer nicht-gegekoppelten Endstufe verdoppelt sich hierbei der Innenwiderstand (= geringere Lautsprecherbedämpfung), und gleichzeitig erhöht sich die Endstufenverstärkung um 41%. Im linearen Modell! Bei nichtlinearem Betrieb ist's komplizierter. Mit Gegenkopplung (und die JTM-45-Endstufe ist stark gegengekoppelt) fällt der Gewinn an Verstärkung schon wesentlich moderater aus, und auch beim Innenwiderstand greift die Regelschleife ein. **Abb. 10.5.57** zeigt im linken Bild den Betrieb mit 8- $\Omega$ -Belastung am 8- $\Omega$ -Ausgang (—) bzw. am 16- $\Omega$ -Ausgang (---). Solange die Endstufe nicht übersteuert wird, erhöht sich lediglich die Verstärkung um ca. 1 dB, bei Übersteuerung (die oberen beiden Kurven) wird am 16- $\Omega$ -Ausgang an eine 8- $\Omega$ -Last weniger Leistung abgegeben (Fehlanpassung). Da der Lautsprecher aber bei Resonanz und bei höheren Frequenzen etwas hochohmiger wird, profitieren diese Bereiche (am 16- $\Omega$ -Ausgang), die Gitarre klingt brillanter und bekommt gleichzeitig etwas mehr Bassfundament. Im direkten Vergleich werden diese Unterschiede hörbar sein, ein Absoluturteil im Sinne von gut/schlecht lässt sich daraus aber nicht ableiten.



**Abb. 10.5.57:** Links: Betragsfrequenzgang bei Lautsprecherbelastung (8  $\Omega$ ), am 8- $\Omega$ - bzw. 16- $\Omega$ -Ausgang. Rechts: Änderung der Übertragungsfunktion bei Parallelschaltung von je 500 pF zur Primärwicklung.

Der wichtigste Parameter beim Vergleich zweier Ausgangsübertrager ist das Übersetzungsverhältnis. Wenn zwei hochwertige Übertrager zu hörbaren Klangunterschieden führen, ist mit großer Wahrscheinlichkeit das **Übersetzungsverhältnis** unterschiedlich. Da sich Windungszahlen aber sehr leicht und sehr genau festlegen lassen, sind exorbitante Preise allein wegen eines speziellen Übersetzungsverhältnisses nicht gerechtfertigt. Das Übersetzungsverhältnis ändert sich um 41%, wenn vom 8- $\Omega$ - auf den 16- $\Omega$ -Ausgang umgeschaltet wird, aber dennoch vermag keiner der selbsternannten Experten sicher zu sagen, ob Claptons Amp wirklich mit 8  $\Omega$  Last am 16- $\Omega$ -Ausgang betrieben wurde – sie können's nicht raushören, und deshalb muss man selbst derartig große Unterschiede als klanglich irrelevant bezeichnen.

Der zweite Parameter, an den man beim Ausgangsübertrager denkt, ist die **Wicklungskapazität**. Die lässt sich nun nicht so leicht wie das eben erwähnte Übersetzungsverhältnis mit jedem Wunschwert realisieren, und auch nicht mit einfachen Formeln berechnen. In einem einfachen Versuch wurde deshalb parallel zu jeder der beiden Primärwicklungen des Ausgangsübertragers ein 500-pF-Kondensator geschaltet. Dem rechten Bild von Abb. 10.5.57 kann entnommen werden, dass sich die davon hervorgerufenen Effekte in Bereichen bewegen, die ebenfalls keine Bedeutung haben. Am anderen Ende des Übertragungsbereichs (d.h. in den Bässen) entstehen (wegen **Flusssättigung**) kernblechtypische nichtlineare Verzerrungen (Kap. 10.6), worüber in der Musikerwelt aber so gut wie nie berichtet wird. Somit bleibt das einfache Fazit: Ausgangsübertrager sind beim Röhrenverstärker klangformend, sie sind aber keine geheimnisvollen Gebilde, für die Liebhaberpreise bezahlt werden müssten. Natürlich werden sie trotzdem bezahlt – wie bei Alufelgen, deren Mehrwert ja auch eher gefühlt als physikalisch begründet ist.

Fender, VOX, Marshall, die heilige Trinität, nötigt sicher nicht jedem Gitarrist Ehrfurcht ab, aber der immer wiederkehrende Refrain der Vintage-Kolumnen hat bei vielen die Meinung geprägt, der Urvox (oder Ur-Bassman, oder Ur-JTM) sei klanglich unerreicht und rechtfertigte locker die 10000 oder 20000 \$, die für alte Originale heute gefordert werden. Und natürlich ist es verlockend, den Primus dieser Troika zu küren: *"Im Vergleich mit seinem Vorbild, dem 1959er Fender Bassman, spielt der JTM sein Alter Ego locker an die Wand (G&B, 7/06)." Ab aufs Treppchen, lang lebe die Legende.*

Wie muss man sich den Beginn der 60er-Jahre vorstellen, als diese Verstärker-Legende zum Leben erwachte? Vielleicht so: Da sitzt der 39-jährige Jim hinter seinen Trommeln, haut verzinkte Triolen zwischen die aufbrüllenden Gitarren-Arpeggios, und denkt sich *'das klingt aber noch nicht nach Hardrock, dem bau ich jetzt einen neuen Amp mit richtigem Brat-Sound'*. Und dann sagt er zum Ken *'mach mal'*, und heraus kommt der JTM-45 mit seinem unerreichten Distortion-Sound? Könnte es so gewesen sein, Jim als Hard-Rocker? Das passt so gar nicht zu dem im Marshallbuch abgebildeten Foto, das einen Herrn mit Anzug und Fliege zeigt, der seine Stöckchen vermutlich eher dezent über die Felle tanzen lässt. Laut Wikipedia beginnt die **Hardrock**-Era 1969, aber nicht 1962. Dass Ritchie Blackmore, Jimi Hendrix, Pete Townshend und viele andere mit Marshall-Amps berühmt wurden, ist bekannt, dass sie Wünsche nach noch mehr Verstärkerleistung äußerten, ist gut vorstellbar, aber war das wirklich vor 1962? Townshend spielte (lt. Wikipedia) noch 1959 in einer Dixieland-Band, danach in einer Skiffle-Band, und erst 1964 geht's mit den Who los. Deep Purple gründen sich 1968, Hendrix startet mit seiner Experience 1966, Clapton spielt 1963 bei den Yardbirds und ist noch meilenweit vom Beano-Ton entfernt. Und dass Brian Poole mit seinen Tremeloes kein früher Hardrock war, ist auch hinlänglich dokumentiert.

Keine Frage: Jim Marshall hat seinen Orden als Verstärker-Pionier redlich verdient. Summa cum laude, ohne Diskussion. Das heißt aber noch nicht, dass der JTM-45 als Distortion-Amp entwickelt und optimiert wurde, auch wenn das die Fangemeinde so kolportiert. Leute, lest genau, was Ken Bran im Marshallbuch sagt: *"It was a bass amp, we originally wanted ... but the guitar sound was too good to pass up."* Die Unterschiede, die bei den ersten Marshall-Verstärkern zwischen der Bass-, der Gitarren- und der PA-Variante bestanden, betreffen nur zwei kleine Überbrückungskondensatoren zur Höhenanhebung. Wäre diese Schaltung zur Erzeugung spezieller Verzerrungen entwickelt worden, sie hätte auch den über die PA verstärkten Gesang verzerrt – bis auf die unterschiedliche Höhenwiedergabe waren dieses Verstärker ja alle identisch. Dass der JTM-45 bei Übersteuerung gut klingt, finden und fanden viele Gitarristen, aber schon bei der Beschreibung des verzerrten Sounds beginnen die Unterschiede: Laut Wikipedia entstand mit dem Bluesbreaker-Combo (Typ 1962) ein Verstärker, *"welcher erstmals dem typischen Marshall-Klang zum Durchbruch verhalf."* Laut Udo Pipper (G&B 07/06) kommt aus eben diesem Combo jedoch *"niemals ein Marshall-typischer Zerr-Sound"*. Der Herr Pipper ist quasi der Nostradamus der Röhrenverstärker, allerdings nicht zukunfts-, sondern vergangenheitsorientiert (Vintage!), aber in punkto Interpretationsbedarf kongenial. Kostprobe: *"Und das Endergebnis (JTM-45) unterschied sich letztlich sehr stark von einem Fender Bassman"* (Pipper, G&B 7/06). **Aber:** *"Die ersten sogenannten JTM-Modelle waren somit recht authentische Kopien (des Fender Bassman)"* (Pipper, G&B 2/05). Wie bei Nostihalt: Auf die Jahreszahlen kommt es an. Als Münchner stört man sich daran natürlich nicht, ist man doch mit Karl Valentin vertraut: *"Fachmännisch wurde genau berechnet, dass der Starnberger See tief, seicht, lang, kurz, schmal und breit zu gleicher Zeit ist."*