

### 10.5.11 Match Point

Verstärkerröhren durchlaufen einen mehrstufigen Fertigungsprozess, der keine großen Fehler duldet. Läuft ein Vorgang nicht nach Plan, weichen die Röhrenparameter von den Datenblattwerten ab. Deshalb überprüft der Hersteller (und vereinzelt auch der Handel) alle produzierten Röhren, und sondert mangelhafte Exemplare aus. Die übriggebliebenen "Guten" werden mit dem Prädikat "selected" geadelt und an den Endkunden verkauft. Vereinzelt soll es aber vorgekommen sein, dass auch mangelhafte Ware den Weg zum Musiker fand, und deshalb veranstalten auch die Abnehmer der "heißen Ware" gelegentlich ein Match, in dem die "gematchten Tubes" gegeneinander antreten müssen: den Vergleichstest. Das ist dann immer ein gar lustig Treiben, über das ausführlich in Fachzeitschriften kolumniert wird. Wisse: Wenn krude Reden sie begleiten, dann fließt die Arbeit munter fort. So (oder so ähnlich) war's bei der Glocke, und so ist's auch bei der Röhre.

#### 10.5.11.1 Selecting and Matching

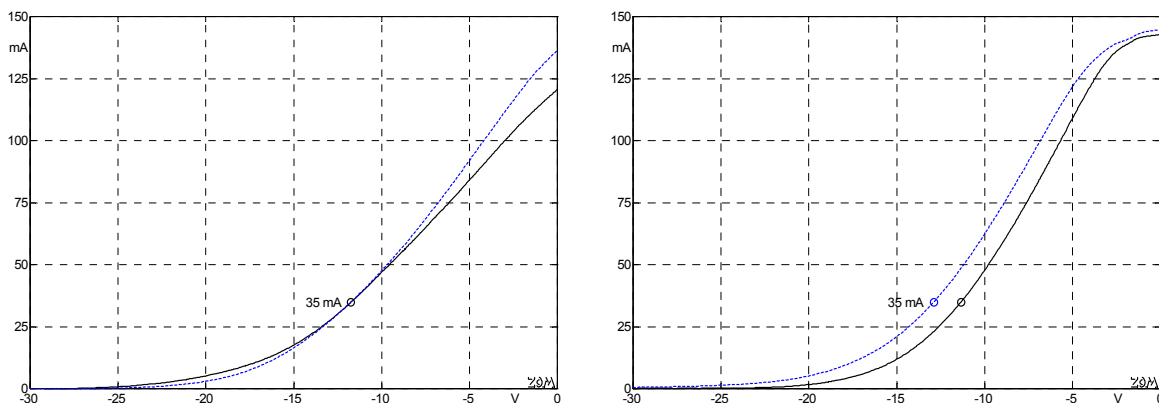
"Thou com'st in such a questionable tongue", möchte man den Matchern entgegenschleudern, die aus ihren Anglizismen oft nicht mehr herausfinden. *"Berücksichtigt man bei Matching nur die Platecurrent, dann kann man nur für einen Punkt der Kennlinie matchen. Selbst wenn Röhren nach dem Anodenstrom gematched sind, kann die Transconductance sehr verschieden sein. Deshalb ist es besonders wichtig, dass Endstufenröhren auf Plate Current und Transconductance getestet und gematched werden"*. Doch genau so muss das heißen, so will's der Markt bzw. der Musiker. 'Platecurrent' (oder auch 'Plate Current') klingt nach Fachkompetenz, 'Anodenstrom' nach Physikunterricht. 'Transconductance' ist megageil, 'Kurzschluss-Steilheit' sucks, weil: wer will schon Kurzschluss im Amp? Also wird die Transconductance gematcht, und ein paar Zeilen weiter sicherheitshalber auch noch gematched. Warum?

Röhrenherstellung ist Chemie und Mechanik, bei beiden gibt's Toleranzen. Die Kathoden-Beschichtung, die Elektrodenmetalle, die aufgewickelten Gitterdrähte, der Getter, die Isolatoren, das Vakuum – überall variieren die Parameter, und deshalb zeigen alle Röhren unterschiedliches Betriebsverhalten. Die ganz schlechten wirft man weg, aber auch die Parameter der brauchbaren Röhren streuen. Deshalb werden sie individuell vermessen ('selected'), und für Gegentakt-Endstufen gepaart\* ('gematcht'). Üblich ist, Endröhren im typischen Arbeitspunkt ('at idle') zu betreiben, und den bei (herstellerspezifischen) Betriebsspannungen fließenden Anodenstrom zu spezifizieren (z.B. PC = 41 mA). Die Betriebsspannungen werden hierzu in der Regel nicht angegeben, sind aber zur Not entbehrlich, sofern verstärkertypisch (und konsistent). Nun reicht es aber nicht, dass zwei Röhrenkennlinien an einem einzigen Punkt übereinstimmen, die Röhre wird ja angesteuert, und dabei ändern sich Spannungen und Ströme. Deshalb ist es sinnvoll, neben dem statischen Verhalten auch das dynamische zu überprüfen. Enter: Transconductance. Bzw. Steilheit, denn damit hat schon Barkhausen seine Röhrenformel [Lit.] aufgestellt: Durchgriff · Innenwiderstand · Steilheit = 1. Die **Steilheit** gibt an, wie stark sich der Anodenstrom ändert, wenn (nur) die Gitterspannung geändert wird. Da der  $I_a(U_g)$ -Zusammenhang nichtlinear ist, lässt sich diese Größe nur für kleine Aussteuerung (als Differentialquotient) definieren:  $S = dI_a / dU_g$  für  $U_a = \text{const}$ . Die Angabe  $S = 5 \text{ mA/V}$  besagt somit, dass sich der Anodenstrom um 5 mA ändert, wenn die Gitterspannung um 1 V geändert wird. Weil sich hierbei die Anodenspannung nicht ändern darf, der Lastwiderstand also null sein muss, spricht man alternativ auch von der **Kurzschluss-Steilheit**.

---

\* Nichts gegen Angli- oder sonstige -zismen, aber da sich bei 'gematcht' selbst die Protagonisten über die Schreibung streiten, darf auch mal ein deutsches Wort zum Zuge kommen.

Zwei Geraden sind identisch, wenn sie in einem Punkt *und* in ihrer Steigung übereinstimmen. Wären die Röhrenkennlinien Gerade, es wäre ausreichend, einen Punkt (PC = Plate Current) und eine Steigung (TC = Transconductance) zu vermessen. Röhrenkennlinien sind aber keine Gerade, und deshalb können sich zwei Röhren, die nur bezüglich *eines* PC- und TC-Wertes 'gematcht' wurden, in ihrem Betriebsverhalten trotz 'Matching' unterscheiden. **Abb. 10.5.38** zeigt hierzu Messergebnisse. Die 35-mA-Arbeitspunkte der im linken Bild dargestellten Kurven stimmen überein, für gegen null gehende Gitterspannung unterscheiden sich die Anodenströme dieser Röhren aber deutlich. Die beiden im rechten Bild dokumentierten Röhren haben im spezifizierten 35-mA-Arbeitspunkt zwar in etwa dieselbe Steilheit, ihre Vorspannungen unterscheiden sich aber. Die Steilheit der links dokumentierten EL-84 wird mit 9 mA/V spezifiziert, die der rechten mit 10 mA/V – ein Unterschied, aber kein großer. Dass sich die Kurven so stark unterscheiden, erwartet man bei derart ähnlichen 'Matching-Specs' eigentlich nicht.



**Abb. 10.5.38:** Transferkennlinien 'gematchter' EL-84.  $U_B = 350 \text{ V}$ ,  $U_{g2} = 300 \text{ V}$ ,  $R_a = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{g2} = 0$ .

Oder vielleicht doch? Vielleicht sagt deshalb der H&K-Vertrieb: *"Wir hatten (zur Bestückung der H&K-Verstärker) selektierte, also gematchte Röhren eingekauft, aber wir hatten auch da einen hohen Ausschuss an Röhren, die unseren Ansprüchen nicht genügten (G&B 4/09)."* Merke: Wenn man Röhren nur für einen Punkt der Kennlinie 'matcht', sind sie auch nur an einem Punkt 'gematcht'. Im praktischen Betrieb wird jede Röhre aber angesteuert, und da zählt neben Arbeitspunkt und Steilheit u.a. auch das Verhalten im Grenzbereich: Wie gut isoliert die Röhre im Sperrbereich, wie viel Strom zieht sie voll durchgesteuert, wie viel Restspannung bleibt dabei an der Röhre hängen – das müsste doch ebenfalls getestet werden? Wird in der Regel aber nicht, weil häufig schon die Erkenntnis, dass derartige Messungen nötig sind, fehlt. Oft fehlt auch noch das entsprechende Equipment, wird irgendein Tube-Tester verwendet, der 'Bias' und 'Transconductance' anzeigt – fertig der Salat. Dafür wird der Anodenstrom, pardon, der Plate-Current, aufs Zehntel Milliampere genau angegeben, und bei 'gematchten' Röhren entsprechen sich deshalb auch die PC-Werte aufs Zehntel. Könnte sonst ja sein, dass ein Musiker reklamiert, wenn ihm 36,6/36,7 mA als perfectly matched angeboten wird. Unterstellt man, dass der Anodenstrom um  $\pm 5 \text{ mA}$  streuen darf, entstehen bei 0,1 mA Klassenbreite (bin width) 100 verschiedene Klassen. Und weil die Steilheit ja auch mindestens dreistellig 'gematcht' wird, vielleicht 100 Steilheitklassen. Und so sitzt dann der Matcher vor  $100 \times 100 = 10000$  Schachteln, und tütet ein: Alle Paare aufs Prozent genau 'gematcht'. In einigen Fällen kommen auf diese Weise Röhrenpaare mit beachtlich gutem Gleichlauf in den Handel, wie das linke Bild von **Abb. 10.5.39** eindrucksvoll zeigt. Aber eben auch schlecht 'gematchte', wie im rechten Bild zu sehen ist. Wenn man denn unbedingt der Meinung ist, Endröhren müssten 'gematcht' sein: Hier werden Sie bedient – so oder so. Die beiden EL-34 sind mit 43 Euro (pro Paar) übrigens nicht etwa Lowcost, sondern "excellent quality".

Und natürlich entsprechen sich bei den im rechten Bild nachgemessenen EL-34 die auf die Schachteln aufgedruckten Steilheitsdaten aufs Promille: 11.28 mA/V, für beide Röhren. Das mag in irgendeinem Punkt der Kurven sogar zutreffen, es ist allerdings anzunehmen, dass diese Röhren nie unter Volllast getestet wurden. Und deshalb dieses 'Matching' wenig nutzt.

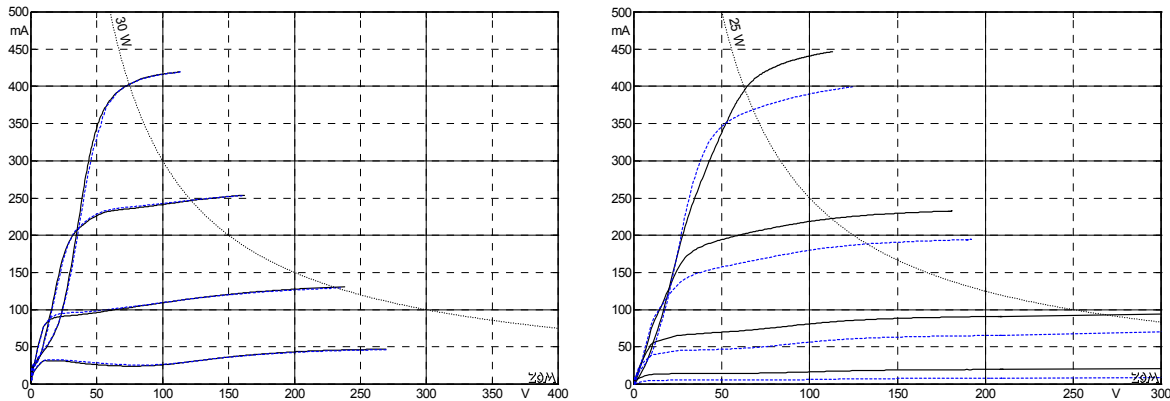


Abb. 10.5.39: Ausgangskennlinien 'gemachter' Röhren. Links: 2x EH-6550, rechts: 2x EL-34B-STR.

Wenn man z.B. für zwei EL-84 statt 13 Euro derer 35 bezahlt, weil sie 'selected' und 'matched' sind, dann erwartet man nicht nur, dass die Kennlinien gut übereinstimmen, sondern auch, dass sie den in den Messprotokollen veröffentlichten entsprechen. In Abb. 10.5.40 sind im Vergleich zu einer Sollkurve (Philips) die Messkurven zweier neuentwickelter EL-84-STR dargestellt, die laut Werbung einen neuen Standard schaffen und minimale Serienstreuungen garantieren sollen. Das mit dem Standard kann man ja noch so oder so interpretieren, aber dass die Streuungen nicht minimal sind, sieht selbst der schwerhörigste Headbanger. Noch effizienter kann ein Händler sein "premium dynamic Matching" kaum ad absurdum führen!

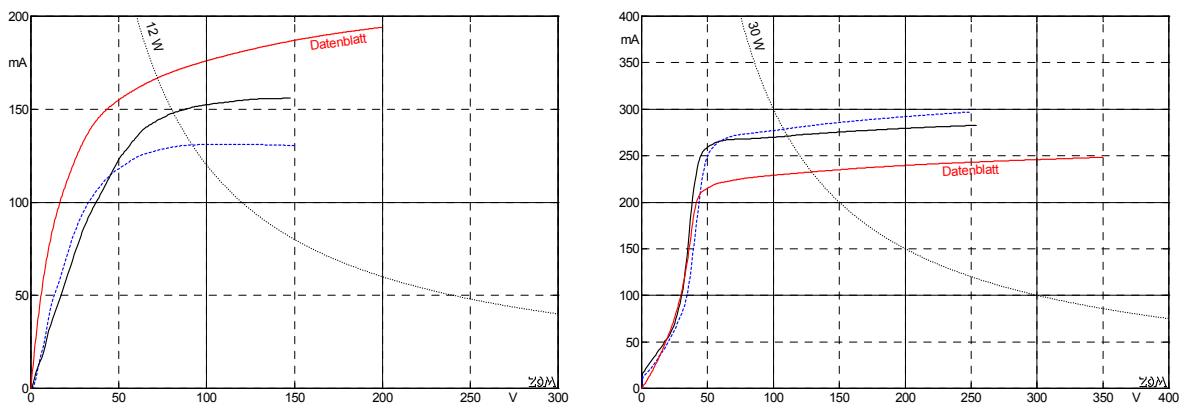


Abb. 10.5.40: Ausgangskennlinien ( $U_{g1} = 0$ ) zweier EL-84, 'selected' und 'matched'. Rechts: 2x JJ-6L6-GC.

Dass Datenblattangaben auch übertroffen werden können, zeigt das rechte Bild: Die beiden gemessenen JJ-6L6-GC leisten mehr, als sie müssen. Das ist einerseits sehr erfreulich – ihr Schirmgitter wird dabei aber auch stärker belastet. Und wenn die Röhren dann nach kurzer Zeit ausfallen, ist die Freude dahin. Die Freude des Musikers, denn den Handel wird's schon freuen, wenn wieder ein Duett/Quartett/Sextett/Oktett/Duodezett nachgekauft wird. Kleiner Tipp: Anstelle der 12 'gemachten' Röhren einmal fürs selbe Geld probierhalber ca. 35 sog. "Industrieröhren" kaufen, und ausprobieren, ob's die nicht auch tun.

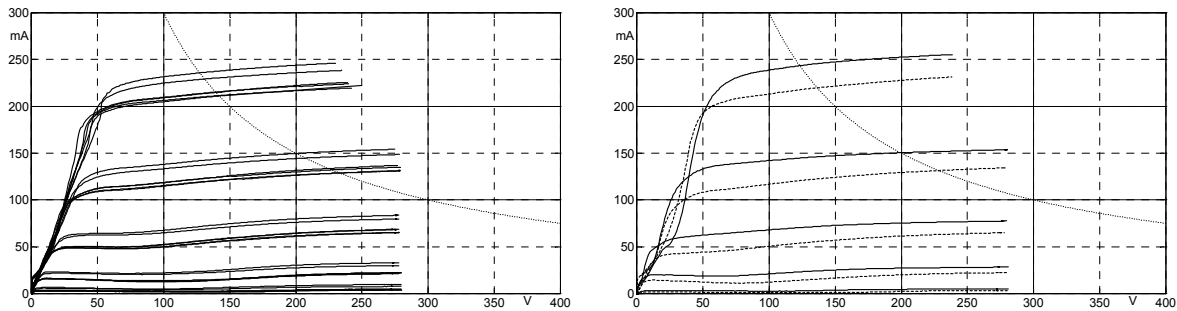
### 10.5.11.2 Röhren-Vergleichstests

Da der Röhren-Markt total unübersichtlich ist, wird jeder Kauf zum Glücksspiel. Schön, dass es da "Röhren-Gurus" gibt, die Empfehlungen aussprechen, gar **Vergleichstests** organisieren: Welche Röhre ist die beste? Bei derartigen Tests wird oft mit viel Enthusiasmus die beteiligte Gitarre vorgestellt (*1958 faded vomit green*), der beteiligte Verstärker (*1962 brown Deluxe with Markus Dampfmeister Mod Nr. 17*), die Speaker (*zwei Pinkywinky-Tubbys, über 150 Stunden mit Blackmore-Licks eingespielt*), damit jeder merkt, hier sind Experten am Werk. Gerne verweist man auch auf die Juroren (*sogar Blind Fat Broonzy hat zugehört*), und den Ort des Geschehens (*wir trafen uns alle in Hamburg*), vermutlich des speziellen Luftdrucks wegen. Und dann wird ehrfürchtig ausgepackt: 2 Stück 6L6-GA, 2 Stück 6L6-WGB-STR, 2 Stück GE-6L6-WGC-NOS (*von Crack Schratzenstaller seinem Kumpel ausgeliehen*), und all die anderen elitären Schätze. Einstecken, aufwärmen, anhören. *"Die meisten waren dann der Meinung, die WGB ist einen Touch lauter, bringt aber nicht ganz so viel Druck wie die WGC; einigen gefiel allerdings die GA besser. Alle waren sich aber einig, dass die NOS ganz klar irgendwie am tightesten klangen."* Ach ja, Röhrentests – man könnte süchtig danach werden. Echt informativ, irgendwie.

Um nicht missverstanden zu werden: Dies ist ein (immer noch) freies Land, hier darf jeder Landes-Finanzminister Märchen über seine Landesbank erzählen, warum sollen da nicht auch alternde Gitarreros Röhren-Tests publizieren? Ob es reicht, pro Röhrentyp nur zwei Stück zu verwenden? Nun ja, man könnte es verstehen, bei 200 \$ pro Paar. Dass Hörtests unerlässlich sind, ist ein unumstößliches Axiom – genauso wie die Tatsache, dass hierbei nie Messdaten publiziert werden: Der Tester hat zwar in aller Regel eine *"Faded Vomit Green"* beschafft, die unter Freunden locker ins Sechsstellige geht (Euro, nicht Yen), er hat aber keine adäquaten Messgeräte. Und hätte er sie, er würde sich nie die Mühe machen, den Unterschied zwischen Intermodulationsverzerrungen und Differenztonverzerrungen zu verstehen – lieber schreibt er ein impulsives *"was soll der ganze theoretische Quatsch"* in den Test, und hat nicht einmal völlig unrecht. Verstärkerröhren werden fürs Gehör gemacht, nicht fürs Messgerät. Aber mit Messungen lassen sich halt die Unterschiede sehr elegant objektivieren. Ergänzend zu den Hörtests, selbstverständlich. Nicht selbstverständlich? Nun ja, ein freies Land, siehe oben.

Derartige Hörtests erwecken den Eindruck, jeder Röhrentyp hätte seine eigenen, klangformenden Eigenschaften. Denn tatsächlich kann sich der Verstärkerklang hörbar ändern, wenn man die Endröhren tauscht, also hat jede Röhre einen speziellen Frequenzgang: Sie betont oder dämpft die Höhen, oder sie verstärkt die Bässe besonders stark. Analogie: Wenn man beim Bunsenbrenner die Luftzufuhr verstärkt, wird die Flamme heißer – also ist Luft brennbar. Nicht wirklich, und auch die Röhrenparameter sind im Audibereich allesamt frequenzunabhängig. Thermischen Infrarot-Effekten sollte man wirklich nicht oberste Priorität einräumen, und MHz-Effekten auch nicht. Denn wie jeder ET-Student in seiner Schaltungstechnik-Vorlesung lernt: Auch beim Ändern eines frequenzunabhängigen Verstärkungsfaktors kann sich die Übertragungsfunktion eines gegengekoppeltes Systems frequenzabhängig ändern. Ebenso solches kann geschehen, wenn sich der Innenwiderstand um einen frequenzunabhängigen Faktor ändert. Der Frequenzgang hängt schon von der Röhre ab, aber interaktiv, verstärker- und lautsprecherspezifisch. Röhren-Vergleichstests sind immer mit dem Manko behaftet, dass man nie weiß, inwieweit sich die Ergebnisse auf andere Verstärker übertragen lassen. Ferner ist zu befürchten, dass Grundregeln psychometrischer Versuchsmethodik aufs Größte missachtet werden: Die Probanden sind schlicht befangen, weil keine Blindversuche stattfinden. Oder es werden zusätzlich zum Röhrentausch die Testsignale variiert: Irgendwer spielt irgendwas auf der Gitarre, Reproduzierbarkeit = Fehlanzeige.

Jeder, der sich beim Röhrenkauf auf Pauschalurteile wie *"bei Zerrsounds war die Sovtek 5881 WXT der absolute Testsieger"* o.ä. verlässt, muss wissen, dass Röhrenparameter fertigungsbedingten Streuungen unterliegen. **Abb. 10.5.41** zeigt im linken Bild die Ausgangskennlinien von 6 Ultron-6L6-GC-Röhren. Nur sechs Röhren, das ist zu wenig, um die maximal zu erwartenden Streuungen aufzuzeigen. Es reicht aber schon, um zu erkennen, dass sich diese 6 willkürlich ausgesuchten Ultron-Röhren untereinander in etwa so stark unterscheiden wie im rechten Bild die TAD 6L6-WGC von der Tungsol 5881.



**Abb. 10.5.41:** Ausgangskennlinien: 6x Ultron 6L6-GC (links), Tungsol 5881 und TAD 6L6-WGC (rechts).

Und sage keiner, mit 'gematchten' Röhren sei das Problem vom Tisch. Der o.a. Vergleichstest erläutert: *"Außerdem müssen die Röhrenpaare optimal gematcht sein. Das heißt, der Ruhestromwert muss bei beiden Röhren möglichst exakt gleich sein. Die von Tube-Amp-Doctor gelieferten Pärchen waren perfekt abgestimmt. Wir maßen eine maximale Abweichung von nur 2 mA. Dismatching von mehr als 5 mA sorgt für Übernahmeverzerrungen, schlappen und disharmonischen Sound."* Dass Ruhestromgleichheit noch keine Kennliniengleichheit garantiert, hatten schon Abb. 10.5.38/39 dokumentiert. Und der Begriff "Steilheit" kommt im Testbericht erst gar nicht vor, wie auch auf Leistungsmessungen, Frequenzgänge oder Kennlinien gänzlich verzichtet wird. Die Erkenntnisse sind stattdessen Pauschalurteile wie *"Die KT-66 sind im Prinzip HiFi-Röhren und kamen in den 200 Watt Topteilen von Marshall zum Einsatz."* Das erstaunt. Nicht sosehr, weil doch 'im Prinzip' alle Röhren HiFi-Röhren sein sollten, sondern weil vier KT-66 schwerlich 200 W produzieren können. Michael Doyle schreibt in seinem Marshall-Buch, dass in den 200-W-Endstufen KT-88 zum Einsatz kamen, das macht mehr Sinn. Ein Zitat noch für alle Psychologie-Studenten, die fürs Examen noch schnell ein Beispiel brauchen: *"Auch Stevie Ray Vaughan hatte ein Quartett KT 66 in seinem berühmten Dumble Steel-String-Singer Amp. Wer Stevie's Album 'The sky is crying' kennt, weiß im Prinzip schon, wie diese Röhren klingen."* Im Prinzip nach HiFi, ist doch klar, oder? Wenn man das erst mal weiß, sind Röhrentests – zumindest im Prinzip – sehr entbehrlich.

Diese Erkenntnis schimmert andeutungsweise auch in einem aktuellen Test (G&B 3/2009) durch: *"Ein weiteres Problem bei meinen Tests war, dass sich die Ergebnisse je nach Verstärker nicht selten genau ins Gegenteil bewegen konnten"*, sowie *"Bisweilen bleibt von den deutlichen Unterschieden, die man direkt vor dem Amp erlebt, nur wenig übrig"*. Zumindest eine Frage bleibt übrig: Kann eine chinesische KT-66 *"durch und durch authentisch"* nach alten MOV-Originalen klingen, wenn sich gleichzeitig ihre Daten (bei  $U_a = 50$  V) um den Faktor drei (!) vom MOV-Datenblatt unterscheiden? Nein, das ist nicht der Beweis, dass Datenblätter nichts mit dem Klang zu tun haben – jeder Klang basiert auf Spannungen und Strömen, deren Zusammenhang in Kennlinien dargestellt werden kann. Wär's nicht so, müsste man ja nicht die Plate Currents matchen, oder?

\* U. Pipper, Musiker Szene, 7/99.