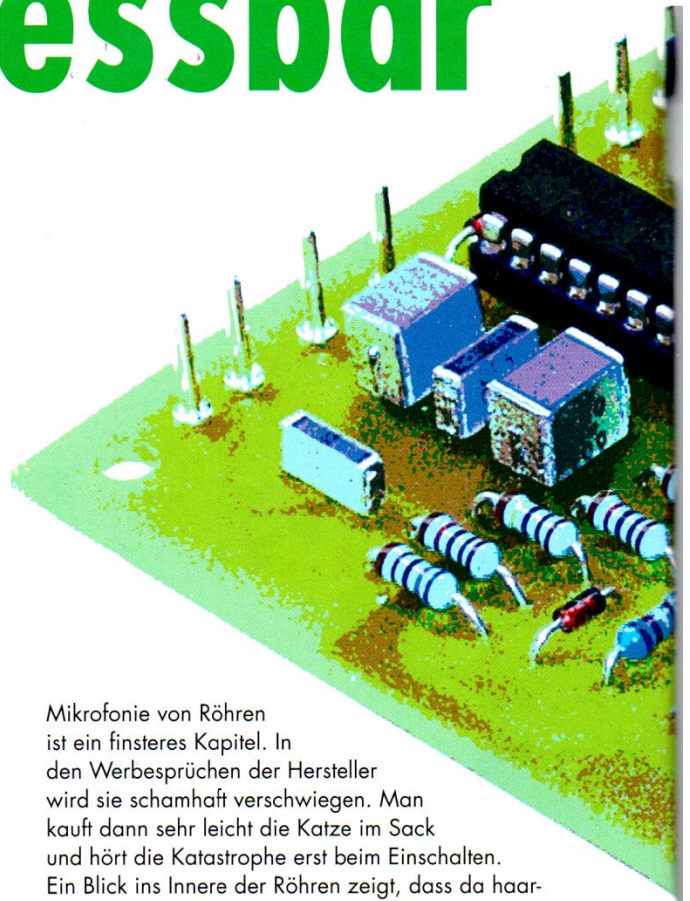


Mikrofonie wird messbar

Unter Mikrofonie versteht man den Einfluss mechanischer Schwingungen auf ein elektronisches Bauteil. Eigentlich sollte es das nicht geben. Doch reale Röhren haben ein paar Eigenschaften mehr, als in den Datenblättern angegeben sind. Insbesondere reagieren sie empfindlich auf Erschütterungen. Dabei gelangen Störgeräusche in den Signalweg, die die Klangqualität drastisch verschlechtern können. Bisher gibt es für diesen Effekt kein brauchbares Messverfahren, das wiederholbare Ergebnisse liefert. Dieser Beitrag bringt einen Vorschlag dafür. Wie sich zeigt, unterliegt die Mikrofonie von Röhren sehr starken Exemplarstreuungen. Einen großen Anteil kann man als minderwertig aussortieren.

Dipl.-Phys. Helmuth Lemme

So kann das gehen, man hat sich in vielen Arbeitsstunden einen großartigen Röhrenverstärker gebaut und erwartet einen edlen Musikgenuss. Nach dem ersten Test muss man feststellen: Es klingt einfach schrecklich! Die Fehlersuche geht los, man findet zunächst nichts, dann klopft man mit dem Bleistift alle Bauteile ab, um eine eventuelle kalte Lötstelle aufzuspüren. Dabei schlägt man an eine Vorstufenröhre, und aus dem Lautsprecher ertönt ein schrilles Klingen, das sich beim Aufdrehen des Lautstärkereglers zu einem widerlichen Rückkopplungspfeifen entwickelt. Kein Wunder, wenn dabei die Klangqualität den Bach heruntergeht.



Mikrofonie von Röhren ist ein finstres Kapitel. In den Werbesprüchen der Hersteller wird sie schamhaft verschwiegen. Man kauft dann sehr leicht die Katze im Sack und hört die Katastrophe erst beim Einschalten. Ein Blick ins Innere der Röhren zeigt, dass da haarfeine Drähte gespannt und miteinander verschweißt sind. Gitterdrähte haben die Stärke eines Menschenhaares in der Größenordnung von ungefähr 40 μm . Die Abstände zwischen Kathode und Steuergitter liegen bei 150 bis 200 μm . Die filigrane Struktur ist elastisch und gerät bei einem Stoß ins Schwingen. Wenn die Abstände zwischen den Elektroden schwanken, wirkt das genauso, als ob der Gitterspannung ein zusätzliches Signal überlagert würde. Das wird dann wie das Nutzsignal verstärkt und erscheint schließlich im Lautsprecher. Wie sich bei näherer Untersuchung zeigt, kann die Mikrofonie beim gleichen Röhrentyp sehr unterschiedlich ausfallen. Sogar beim selben Hersteller variieren die einzelnen Exemplare erheblich. Das wird aber höchst selten getestet. Wenn Röhren geprüft und selektiert werden, dann untersucht man vor allen Dingen ihre Kennlinien. Diese weisen bekanntlich auch starke Streuungen auf; hier sind Quantisierung und Dokumentation aber einfach. Mikrofonie ist dagegen ein Gummibegriff, kräftig existent, aber schwer fassbar. Bisher gibt es dafür kein genormtes Messverfahren, obwohl man es eigentlich bräuchte.

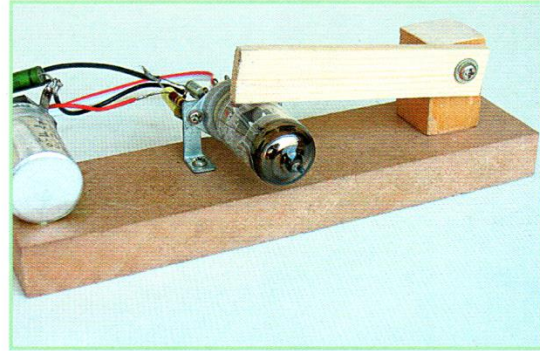


Bild 1. Das „Schafott“. Beim Mikrofonietest bekommt die Röhre einen genau wiederholbaren Schlag, damit wird ein objektiver Vergleich zwischen vielen Exemplaren möglich.

Die hier vorgeschlagene Methode ist sicher nicht wissenschaftlich exakt, in der Praxis aber bestens zu gebrauchen. Die Messergebnisse sind relativ gut reproduzierbar, was entscheidend ist. Der Selbstbau ist für einen geübten Hobbyelektroniker kein Problem. Wichtig ist, dass die Röhre immer einen genau definierten mechanischen Schlag bekommt. Das heißt, man kann nicht freihändig mit dem Bleistift an den Kolben klopfen, sondern man braucht eine einfache Vorrichtung, die unabhängig von menschlichen Unzulänglichkeiten ihre Schläge mit präzise wiederholbarer Stärke ausführt. Wie kann so etwas aussehen? Sehr einfach. Es reicht eine kleine Holzleiste, die an einem Ende drehbar gelagert ist. Man hebt sie hoch bis in den oberen Totpunkt und lässt sie auf die Röhre herunterfallen. Von dem leichten Schlag bricht kein Glas. Für den Versuchsaufbau wurde eine Leiste mit den Abmessungen 100 mm x 20 mm x 5 mm genommen, die 4 g wiegt. Die Bohrung befindet sich in 10 mm Abstand vom einen Ende (Bild 1).

Der durch die Leiste erzeugte mechanische Schock ruft einen sehr kurzen elektrischen Impuls hervor. Um diesen messen zu können, braucht man ein Voltmeter mit Speicherfähigkeit.

Bild 2 zeigt die verwendete Messschaltung. Der Impuls gelangt auf einen Zweiweg-Spitzenwertgleichrichter, der für die positive Halbwelle aus IC2a, D3 und T1 gebildet wird, für die negative Halbwelle sind es IC2b, D4 und T2. Das Maximum der positiven Halbwelle wird im Kondensator C3 gespeichert, das Maximum der negativen in C4. Damit sich die Kondensatoren nicht gleich wieder entladen, sind die zwei Operationsverstärker IC2c und IC2d mit sehr hochohmigem Eingang als Puffer nachgeschaltet. Diesen folgt der Differenzverstärker IC1b, an dessen Ausgang das Messsignal als die Summe der beiden Spitzenwerte von positiver und negativer Halbwelle zur Verfügung steht. Hier schließt man ein normales Digitalvoltmeter an. Da die von verschiedenen Röhren abgegebenen Impulse sehr unterschiedlich hoch sein können, ist noch der Vorverstärker IC1a vorgeschaltet, der das Signal bei Bedarf um den Faktor 10 anhebt. Der Eingang von IC1a ist mit den Dioden D1 und D2 gegen Überspannungen geschützt. Nach jedem Messvorgang sind die Kondensatoren C3 und C4 auf den Messwert aufgeladen. Vor der nächsten Messung müssen sie entladen werden. Dazu dient die RESET-Taste. Diese muss man auch nach dem ersten Einschalten drücken, damit definierte Anfangsverhältnisse herrschen. Die vorgestellte Prüfschaltung ist für den Röhrentyp ECC83/12AX7 und Verwandte dimensioniert. Bei anderen Röhrentypen müssen die Widerstandswerte an Anode und Kathode entsprechend abgeändert werden. Um Störungen durch Brummeinstreuungen zu verhindern, wird die Röhre mit stabilisierter Gleichspannung geheizt, und das Gitter wird ohne Ableitwiderstand direkt an Masse gelegt. Da die Röhren ECC81, ECC82 und ECC83 auch mit 12,6 V geheizt werden können, wird der Heizstrom aus der positiven Betriebsspannung der Auswerteschaltung genommen. Die Hochspannung für die zu prüfende

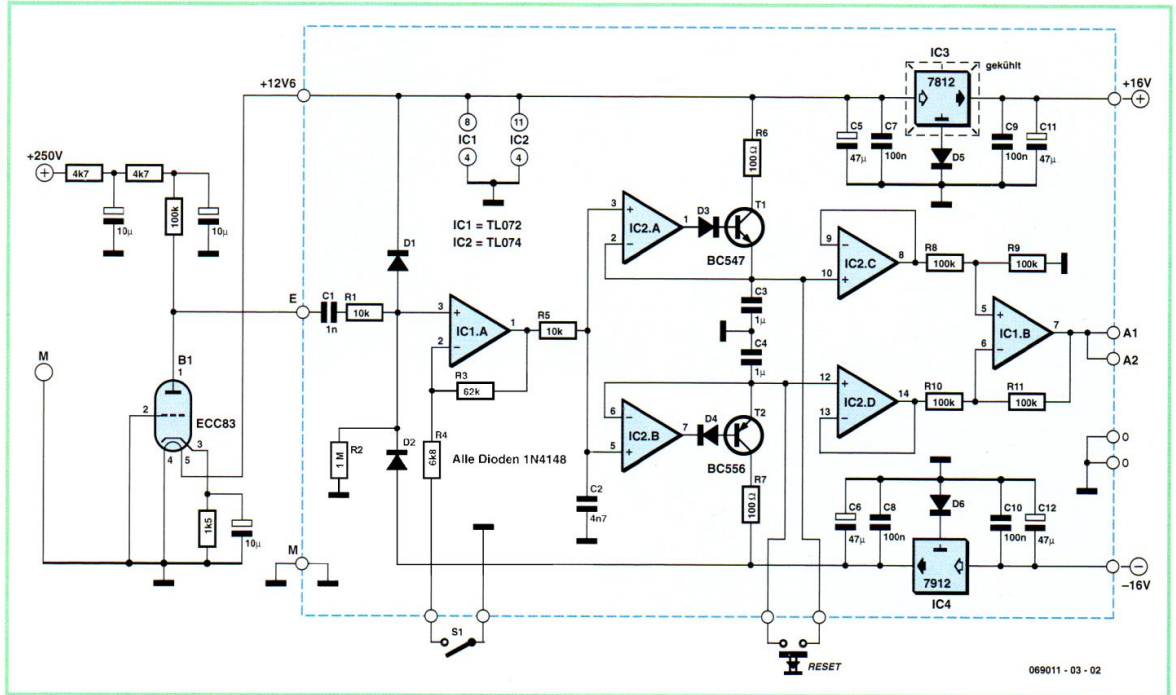


Bild 2. Messschaltung für Röhren-Mikrofonie. Der durch den mechanischen Schlag erzeugte elektrische Impuls wird gleichgerichtet und gespeichert. Der gestrichelt umrandete Schaltungsteil befindet sich auf der Platine.

Röhre muss gut gesiebt sein, damit es keine Messfehler gibt. Ein abschirmendes Metallgehäuse für die gesamte Schaltung (Bild 3) ist sehr empfehlenswert. Der Kondensator C1 zwischen Anode der zu prüfenden Röhre und dem Messeingang muss mindestens 400 V aushalten. An den Audioausgang wird ein Verstärker mit Lautsprecher angeschlossen. So hört man das Geräusch auch gleich, was wesentlich mehr aussagt als die reine Spannungsmessung. Gute Röhren erzeugen nur ein Geräusch, das wie „Plopp“ klingt, bei mäßigen Exemplaren hört es sich wie „Klick“ an, die schlimmsten klingen wie eine schrille Glocke und lassen sich leicht in die Rückkopplung bringen. Solche Ausreißer kann man gleich in die Mülltonne werfen. Exemplare, die außergewöhnlich stark rauschen, was man mit der Apparatur ebenfalls überschlägig abschätzen kann, gleich dazu. Das Thema Rauschen wird im nachfolgenden Artikel extra behandelt.

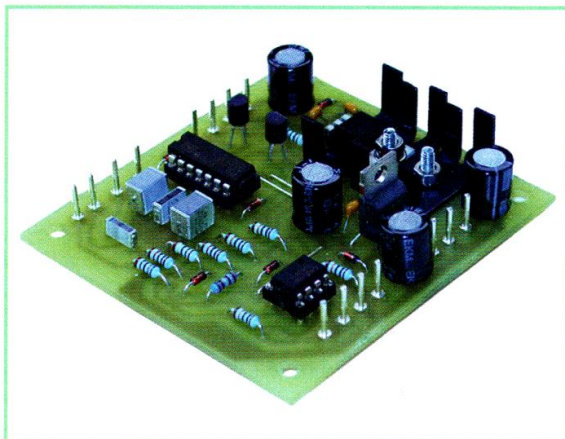


Bild 3. Die fertig aufgebaute Messplatine.

Uneinheitliche Messergebnisse

In dieser Testreihe wurden 32 Röhren der Reihe nach durchgetestet, von den meisten Typen je zwei Stück. Was dabei herauskam war verblüffend, denn die Unterschiede sind gewaltig. Zwischen der besten und der schlechtesten klappt ein Verhältnis von mehr als 1:10! Es zeigt sich: Vollständig stille Exemplare gibt es leider nicht. Aber bei guten ist die Mikrofonie so schwach, dass sie nicht mehr ernsthaft stört. Jede Röhre bekam zehn Schläge, die Werte wurden gemittelt. Von den beiden Triodensystemen wurde jeweils nur eines vermessen. Wer beide messen will, kann sich noch einen Umschalter einbauen, der zwischen den beiden Anoden (Pin 1 und 6) wechselt; Kathode und Gitter brauchen nicht umgeschaltet zu werden.

Fast alle getesteten Röhren waren fabrikenneu. Zum Vergleich wurden auch einige aus uralten Geräten mit dazugenommen, vor Jahrzehnten hergestellt, allerdings wenig benutzt und noch funktionsfähig (zwei General Electric, zwei Telefunken). Dabei war kein eindeutiger Unterschied zwischen alten und neuen Röhren erkennbar. Die Alterung macht sich offensichtlich nur bei der Emissionleistung der Kathode und beim Vakuum bemerkbar, aber nicht bei der mechanischen Konstruktion. In der Tabelle sind die Messergebnisse aufgelistet. Wenn man hier einmal willkürlich 100 mV als Obergrenze für eine gute Röhre ansetzt, dann liegt etwa jede zweite darüber. Sie sollte für empfindliche Eingangsstufen nicht verwendet werden. In der Treiberstufe unmittelbar vor den Endröhren sind die Ansprüche nicht so streng, weil hier der Signalpegel sehr viel höher ist, hier sind viele der als „mäßig“ beurteilten noch brauchbar. Hier kann

200 mV als ein erster subjektiv festgelegter Grenzwert gelten. Exemplare, die deutlich darüber liegen oder starkes Klingeln zeigen, was sich im Messwert nicht unbedeutend äußert, sollte man der Mülltonne überantworten.

Nicht untersucht wurde hier, wie weit die Höhe des Impulses von der Position abhängt, an der die Röhre geschlagen wird. Die verbreitetste Anordnung der beiden Systeme in Relation zu den Pins ist symmetrisch zur gedachten Linie zwischen Pin 5 und der Pinlücke gegenüber. Es gibt aber auch verdrehte. Es ist denkbar, dass der Impuls je nach Schlagrichtung verschieden ausfallen kann, was noch zu untersuchen wäre. Überhaupt scheint es keine Norm dafür zu geben, wie eine ECC83/12AX7 „offiziell“ aussehen soll. Die Anoden sind verschieden lang und breit, die gesamte Machart ist überall anders. Jeder Hersteller macht was er will. Kein Wunder, dass die Ergebnisse so breit streuen. Noch nicht eindeutig erkennbar ist bislang, welcher Hersteller gute Ware liefert und welcher schlechte. Dazu müsste man von jedem eine sehr viel größere Anzahl vermessen und dann eine Statistik mit Gaußschen Verteilungskurven aufstellen, wobei die Statistik über das Einzelexemplar leider auch nichts aussagt.

Fazit:

Der Kauf von Röhren ist reine Glücksache.
Ein Mikrofonietest vor dem Einbau kann späteren Ärger vermeiden.

Messergebnisse Röhren-Mikrofonie

Aufgedruckter Name	Bezeichnung	lfd. Nr.	Messwert (mVss)	Beurteilung
Electro Harmonics	schwarz 12 AX7	1	130	mäßig
	gold 12 AX7	2	54	ok
	gold 12 AX7	1	256	klingt
	gold 12 AX7	2	107	mäßig
Fender	7025	1	142	mäßig
GE	JAN5751	1	90	rauscht stark
GE	JAN5751	2	67	klingt
GE (alt)	12AX7A/7025	1	92	ok
	12AX7A/7025	2	135	mäßig
JJ	ECC83S	1	77	ok
	ECC83S	2	67	klingt, rauscht
	ECC803S	1	>700	Schrott!
	ECC803S	2	66	ok
	ECC803S	3	76	ok
Mesa	STR-5PAX7A	1	313	schlecht
	STR12AX7A	1	239	schlecht
„Siemens“ (Ei)	ECC83	1	306	rauscht stark
Sovtek	12AX7WC	1	76	rauscht
	12AX7WC	2	86	ok
Standard Brand	ECC83 988	1	>700	total defekt
	ECC83 1285	2	374	klingt
	ECC83 0582	3	230	schlecht
Svetlana	12AX7	1	132	rauscht
	12AX7 2	2	243	rauscht
Telefunken (alt)	ECC83	1	214	klingt
	ECC83	2	211	klingt, rauscht
Tung-Sol blau	12AX7	1	72	klingt, rauscht
	12AX7	2	73	klingt
	gold 12AX7	1	83	ok
	12AX7	2	73	ok
	(keine)	12AX7A	1	183
	12AX7A	2	118	mäßig

Stückliste Auswerteschaltung Widerstände Metallschicht 1 %, 0,7 W

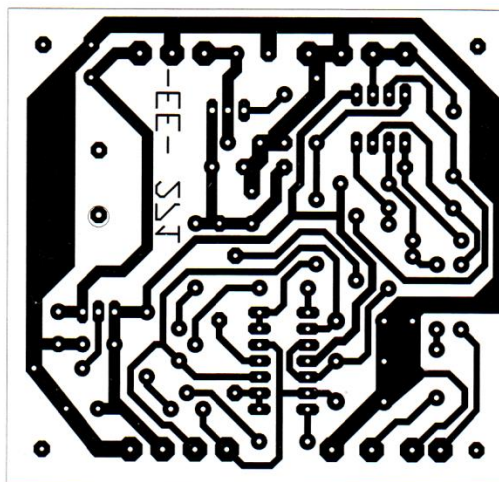
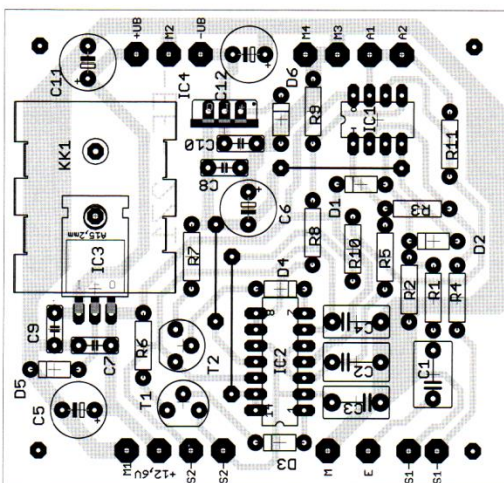
(90 %)

R1 = 10 k
R2 = 1 M
R3 = 62 k
R4 = 6,8 k
R5 = 10 k
R6, R7 = 100 Ω
R8...R11 = 100 k

C1 = 1 nF/400 V, RM 7,5
C2 = 4,7 nF, RM 7,5
C3, C4 = 1 µF, RM 7,5
C5, C6 = 47 µF/40 V
C7...C10 = 0,1 µF, Keramik
C11, C12 = 47 µF/40 V

IC1 = TL 072
IC2 = TL 074
IC3 = 7812, TO 220
IC4 = 7912
T1 = BC 546
T2 = BC 556
D1...D6 = 1 N 4148

Kühlkörper für IC3 = FK 214
1 Sockel DIL 8, vergoldete Kontakte
1 Sockel DIL 14, vergoldete Kontakte
1 Taster
1 Schalter 1 x UM
Platine Epoxyharz glasfaserverstärkt mit 70 µm Kupferauflage,
Platinenmaße 75 mm x 80 mm



Layout und Bestückungsplan für den Mikrofonietester aus Bild 2.