

Verzerrungsmessungen mit dem Roetest

Teil 1: Schaltungen

Andreas Gebert – Berlin, Mai 2026

Das Röhrenmessgerät Roetest von Helmut Weigl erzeugt und misst vor allem Gleichspannungen. In der Mehrzahl ihrer Einsatzgebiete verstärken Elektronenröhren aber Wechselspannungen, wie z.B. Audiosignale. Da ich mich seit einigen Jahren mit Audiomesstechnik beschäftige und als Autodidakt meine Verstärker, Lautsprecher, Raumakustik etc. messe, lag es nahe, das Roetest-Gerät hierfür zu erweitern.

Es sollte also erprobt werden, ob es möglich ist mit einfachen Mitteln eine Wechselspannung auf die G1-Gitterspannung aufzulegen und an der Anode das Testsignal wieder abzugreifen. Bereits etabliert war bei mir die Erzeugung und Messung von Testsignalen mittels USB-Audio-Interface sowie die Datenanalyse mittels Windows-Laptop und der freien, kostenlosen Software REW.

Vorwegschicken möchte ich aber, dass ich kein versierter Elektroniker bin und schon gar kein Elektronik-Entwickler. Es kann deshalb gut möglich sein, dass es für alles im Folgenden Beschriebene bessere oder einfachere Lösungen gibt. Für Hinweise zur Verbesserung bin ich dankbar! Und natürlich muss ich darauf hinweisen, dass mit z.T. lebensgefährlichen Spannungen gearbeitet wird und ich keine Verantwortung für die Sicherheit der dargestellten Schaltungen übernehme.

Erster Ansatz: Ein- und Ausgangsübertrager

Für die Auskopplung eines Testsignals an der Anode stand mir die Soundtest-Box zur Verfügung, wie sie von Helmut Weigl vorgeschlagen wurde (siehe „output_transformer_for_soundtest.pdf“ auf der Roetest-Website). In der Box wird die Anodenspannung durch die Primärwicklung eines Netztrafos geleitet; die Sekundärwicklung speist bei mir das Signal in den Mikrofon-Eingang des Audio-Interface.

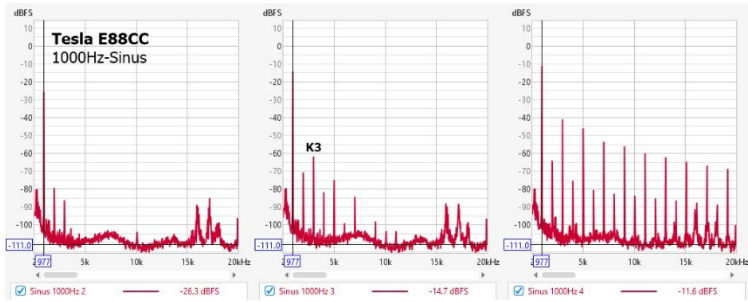


Für die Einkopplung stand mir ein vor fast 20 Jahren erworbener „Stereo-Line-Transformer“ (Stageline FGA-102) zur Verfügung. Er stellt im Prinzip einen 1:1-Übertrager dar und wird zur Unterdrückung von Brummschleifen im Tonstudiobereich verwendet. Aus den üblichen



Teilen habe ich für mein Roetest-Gerät eine Novalsockel-Fassungsbox gebaut, in der die G1-Spannung über Cinch-Verbindungen durch die Sekundärseite des Stereo-Line-Transformers geschleift wird. Die Primärseite habe ich per Cinch-Kabel mit dem Ausgang meines Steinberg UR22mkII-Audiointerface verbunden. Das Roetest-Gerät wurde im manuellen Modus betrieben, für Messungen der „Soundtest“-Button gedrückt.

Das 1000Hz-Sinussignal aus der Generator-Funktion der REW-Software kam tatsächlich am Mikrofoneingang an. Die RTA-Funktion (real time analyzer) und die REW-Scope-Funktion zeigten aber bald, dass das Testsignal erheblich verzerrt war, viel stärker als man es allein von der gemessenen Röhre erwarten würde. Bei den harmonischen Verzerrungen dominierten K3 und K5, schon bei kleinen Signal-Spannungen von 100–200mV



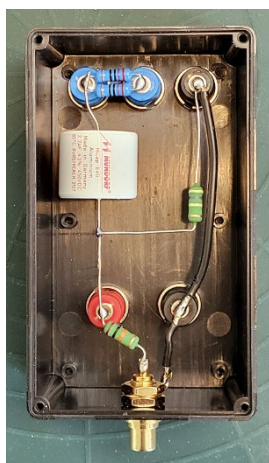
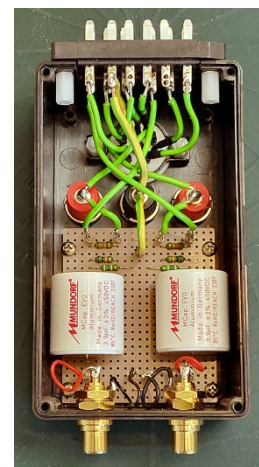
zeigten sich Sättigungseffekte (im Bild rechts) und im REW-Scope war der Sinus, vor allem bei niedrigen Frequenzen, kaum wieder zu erkennen. Zudem zeigte der Frequenzgang einen erheblichen Abfall (>20dB) zu den niedrigen (20Hz) und ebenso zu den hohen Frequenzen (20kHz) hin.

Mittels Übertrager ist es also prinzipiell möglich, Wechselspannungs-Testsignale durch das Roetest-Gerät zu leiten, für Messzwecke war die Qualität aber unzureichend. Möglicherweise ist mit speziellen Audio-Übertragern, wie man sie in Röhrenverstärkern verwendet, ein besseres Ergebnis zu erzielen, aber dann wird es schnell recht teuer; – und sicher kann man nicht sein, dass man nur die Röhre misst und nicht auch die Verzerrungen der Übertrager.

Zweiter Ansatz: Koppelkondensatoren

Bessere Ergebnisse habe ich mir durch die Verwendung von spannungsfesten Folienkondensatoren versprochen, wie man sie in Röhrenverstärkern verwendet (z.B. Mundorf MCaps oder TAD Mustard Caps). Die Fassungsbox habe ich dazu so umgebaut, dass das Testsignal durch den Kondensator (1,0 bis 3,9µF/450V) auf die G1-Leitung gelegt wird. In Richtung G1-Karte und auch zwischen Kondensator und G1-Pin der Röhrenfassung habe ich probeweise verschiedene Widerstände gesetzt.

Für die Auskopplung wurde zwischen Anode und Anodenkarte an Stelle des Trafos ein Arbeitswiderstand einsetzt. Zwischen Anode und Arbeitswiderstand ist ein Koppelkondensator von ähnlichem Typ wie bei der Einkopplung ange-

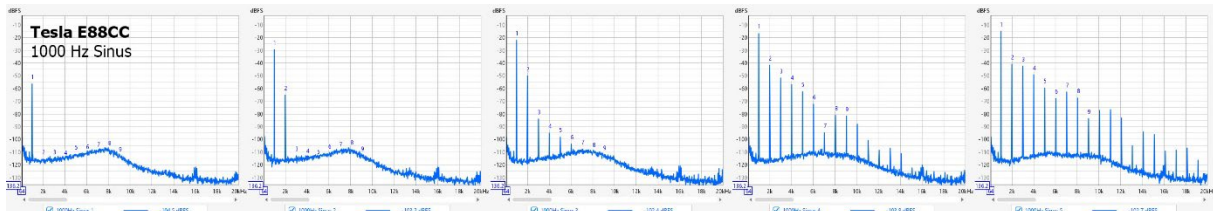


geschlossen. Über einen Widerstand gegen Masse und einen zur Strombegrenzung geht die ausgekoppelte Wechselspannung über die Cinch-Buchse zum Mikrofoneingang des Audio-Interface. Der Arbeitswiderstand sollte so klein wie möglich sein, so dass an ihm eine Wechselspannung abgegriffen wird, die gerade ausreicht, um das Audio-Interface zu speisen.

In ersten Tests ergaben Arbeitswiderstände von 100–150 Ohm für eine ECC88-Triode ein Wechselspannungs-Signal hinter dem Koppelkondensator von etwa 1 Volt. Die (Gleich-) Spannung an der Anode der Röhre verringerte sich durch den Arbeitswiderstand von 100V auf etwa 98V, was wiederum durch die Schieberegler im Manuellen-Modus-Menü

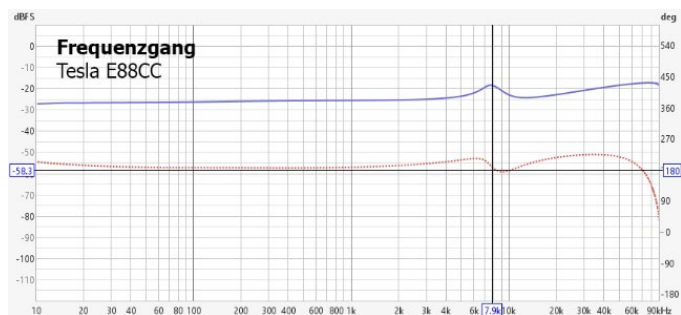
leicht kompensiert werden kann. Der Anodenstrom änderte sich durch diesen Eingriff praktisch nicht.

Für ECC88-Röhren und einige weitere Trioden mit Novalsockel und gleicher Pinbelegung konnte ich mit dieser Ein- und Auskopplung recht gute Messergebnisse erzielen. Mit steigendem Eingangsspegel zeigte sich zunächst nur das 1000-Hz-Testsignal, dann die erste

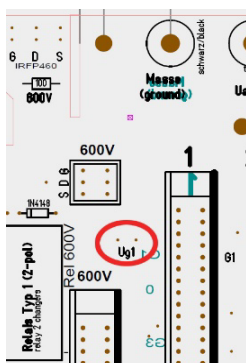


Harmonische (K2) bei 2kHz und dann auch die weiteren Harmonischen. Bei Übersteuerung wurde ein „Kamm“ von Harmonischen sichtbar, und im REW-Scope war der Sinus dann, wie zu erwarten, deutlich verformt. Das Rauschen der Röhre war im Hintergrund mit einem Maximum bei 8kHz und einem Abfall zu den höchsten Frequenzen hin gut erkennbar.

Der Frequenzgang war fast flach, fiel zu den tiefen Frequenzen (20Hz) um nur 1,1 dB ab und stieg zu 20kHz etwas an. Auffällig war eine Überhöhung bei 8kHz, die sich in der Position durch die Betriebsparameter der Röhre etwas verschieben ließ. Der Phasengang lag, wie zu erwarten, bei etwa 180° mit einigen Wellen im Bereich von 8kHz.



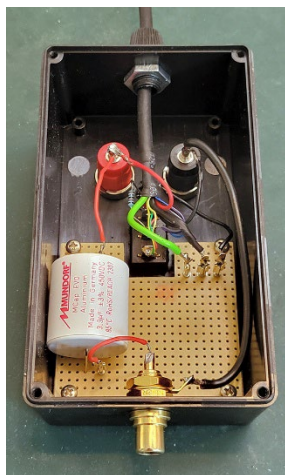
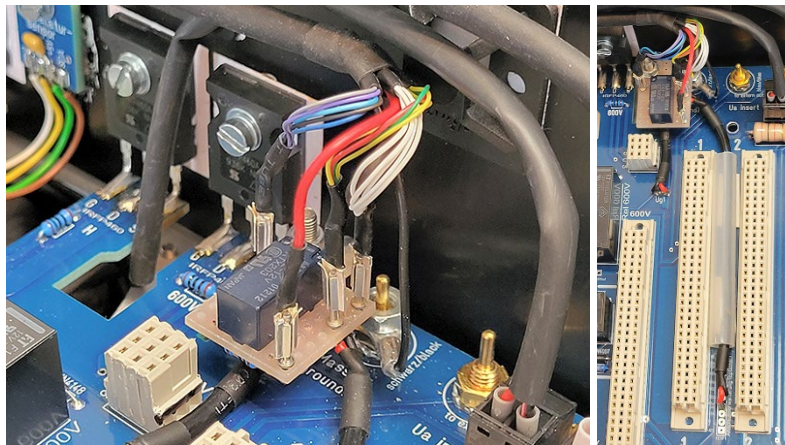
Dieser Aufbau, vor allem die Einkopplung, ist auf wenige Röhrentypen beschränkt und hätte für andere Röhren eine jeweils passende Fassungsbox erfordert. Als universelle Lösung habe ich deshalb erwogen, das Testsignal in der G1-Karte einzukoppeln und hatte schon den Widerstand R1 im Auge. Auf meine Anfrage hin gab mir Helmut Weigl den Tipp, dass es auf



der Roetest-Hauptplatine eine bessere Möglichkeit zur Einkopplung gibt: zwischen den Sockeln von 600V-Karte und Relaiskarte 1 liegen zwei Lötunkte im Verlauf der Ug1-Leiterbahn. Hier kann die verbindende Brücke aufgetrennt und ein Relais zur Einkopplung des Testsignals einschleift werden. Mit diesem Eingriff könnten an jeder Röhre Verzerrungen gemessen werden, egal an welchem Pin die G1-Spannung anliegt. Und solange das Relais nicht angesteuert wird, kann mit dem Roetest unverändert gemessen werden, nur die Ug1-Leitung ist um einige Zentimeter länger.

Dritter Ansatz: Einschleifen über Hauptplatine

Dazu habe ich eine kleine Hilfsplatine entworfen, auf der ein 12V-Relais vom Typ 2 sitzt sowie ein 100k-Widerstand in Richtung G1-Karte. In Richtung Relaiskarten ist die Signalleitung eingekoppelt (rot), die von einer externen Box kommt. Ebenfalls von dort kommt die Ansteuerung des Relais; die Spannungsversorgung kommt von der Hauptplatine von Lötunkten zwischen den Sockeln der Relaiskarten 1 und 2 (0Rel, +Relsw). Die Signal-Masse ist an der Verschraubung der schwarzen Aufbaubuchse angeschlossen, an der außen auch die Masse der Auskopplung eingesteckt wird.

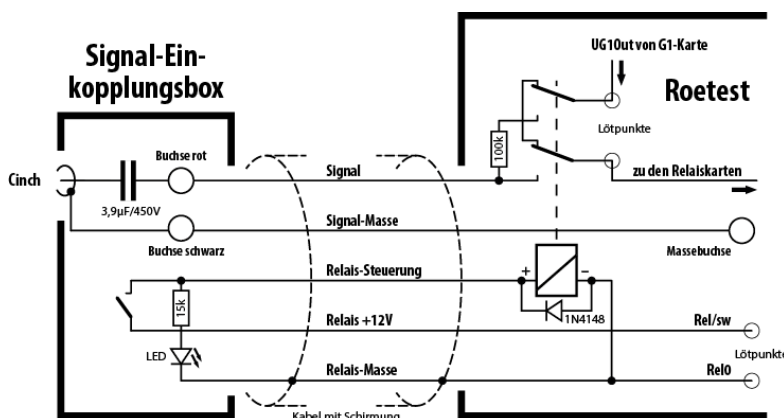


Die externe Einkopplungsbox enthält den Folienkondensator, einen Schalter für das Relais und eine LED mit Vorwiderstand; außerdem 4mm-Sicherheitsbuchsen zur Messung der tatsächlich an G1 anliegenden Wechselspannung mittels Multi- meter.



Das Problem der Kabeldurchführung habe ich mit einer USB-C-Buchse gelöst, die in den äußersten Zwischenraum des Roetest-Kühlkörpers passt. Das Ausbohren und Feilen eines rechteckigen

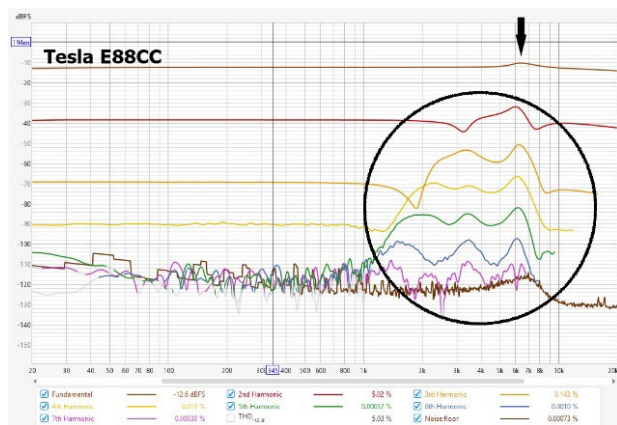
Auslasses in die 10mm-Bodenplatte des Kühlkörpers ist allerdings mühsam. Dafür bietet diese Kabel-Steckverbindung eine sehr gute Abschirmung, ausreichend große Querschnitte, vor allem für die Signal-Masse, und genügend weitere Adern für die Relaissteuerung.



Es scheint mir wichtig, die Masse von der schwarzen Aufbaubuchse des Roetest-Geräts separat zur Cinchbuchse der Einkopplungsbox zu leiten und nicht als Relaismasse oder für die Schirmung zu verwenden. Hierfür sollte die Relais-Masse (Rel0) verwendet werden. Der Schirm sollte beidseits auf Relaismasse gelegt werden, weil USB-C die Schirmungen nicht verbindet.

Vierter Ansatz: Auskoppeln mit Wahl des Arbeitswiderstands

Mit dieser Einkopplung konnte ich nun beliebige Röhren messen, stellte aber fest, dass es nötig ist, die Arbeitswiderstände anzupassen. Je nach Anodenspannung und R_i der jeweiligen Röhre waren Widerstände zwischen 100 Ohm und mehreren Kiloohm ideal, um jeweils ein Signal zu erzeugen, das gerade unter dem Maximalpegel des Audio-Interface liegt. Nur dann nutzt man die volle Dynamik des Interface bis hin zu einem Rausch-Hintergrund bei -120dB oder besser. Ich modifizierte die Auskopplungsbox deshalb so, dass mit einem Drehschalter (Reichert DS 2) zwischen 6 Widerständen gewechselt werden kann. Vor allem höhere Widerstände sollten nach meinen Berechnungen und Messungen eine Belastbarkeit von mehreren Watt haben.



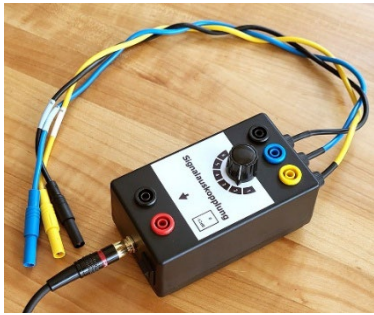
Bei sämtlichen mit diesem Aufbau gemessenen Röhren zeigte sich nun aber nicht nur die Überhöhung im Frequenzgang (Pfeil), sondern auch ein merkwürdiger Verlauf der Verzerrungen im Frequenzbereich zwischen 1 und 10 kHz (von mir „K-Wellen“ genannt, im Kreis). Höhere Arbeitswiderstände verringerten diese Wellen, sind aber nach meiner Einschätzung nicht sinnvoll, weil man sich dann mit den Betriebsparametern

der Röhre immer weiter von den normalen Roetest-Bedingungen entfernt. Es schien für mich naheliegend, dass die „K-Wellen“ keine Eigenschaft der getesteten Röhren sind, sondern aus der Messanordnung stammen. Als Ursache für die „K-Wellen“ kommt vielleicht eine frequenzabhängige Impedanz der Spannungsquelle auf der Anodenkarte in Frage.

Das Problem der „K-Wellen“ ließ sich durch Einfügen eines passenden Elektrolytkondensators zwischen A_{OUT} der Anodenkarte und Masse beheben. Auch der Frequenzgang hatte mit Elko keinen Buckel mehr. Erste Tests ließen vermuten, dass ein einziger $10\mu\text{F}/400\text{V}$ -Elko ausreicht, doch stellte sich bei genauerer Prüfung heraus, dass zu große Kapazitäten wieder neue Wellen erzeugen und den Frequenzgang verformen.

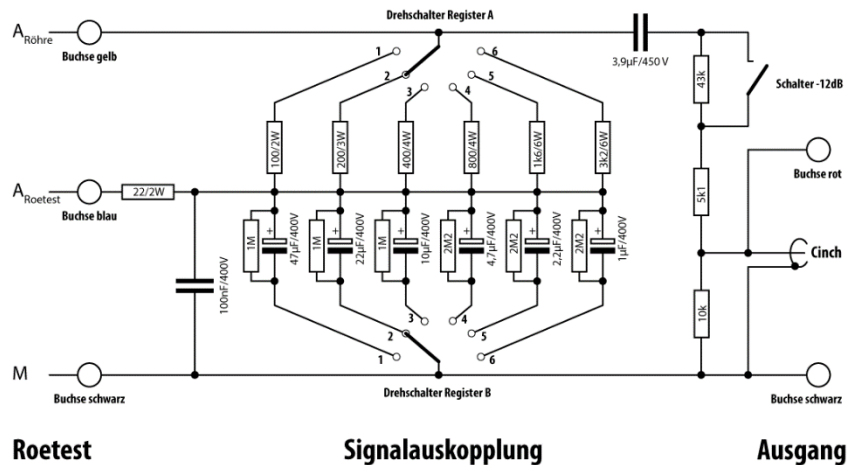
Die Auskopplungsbox habe ich so modifiziert, dass der 2x6-Pos-Drehschalter nun mit dem einen Register den Widerstand wählt und mit dem anderen den dazu gehörigen Elko. Die Elkos sind zusammen mit dem Koppelkondensator auf einer kleinen Platine untergebracht, die Widerstände direkt am Drehschalter angelötet. Zusätzlich sind die Elkos durch Megaohm-Entladewiderstände gebrückt.



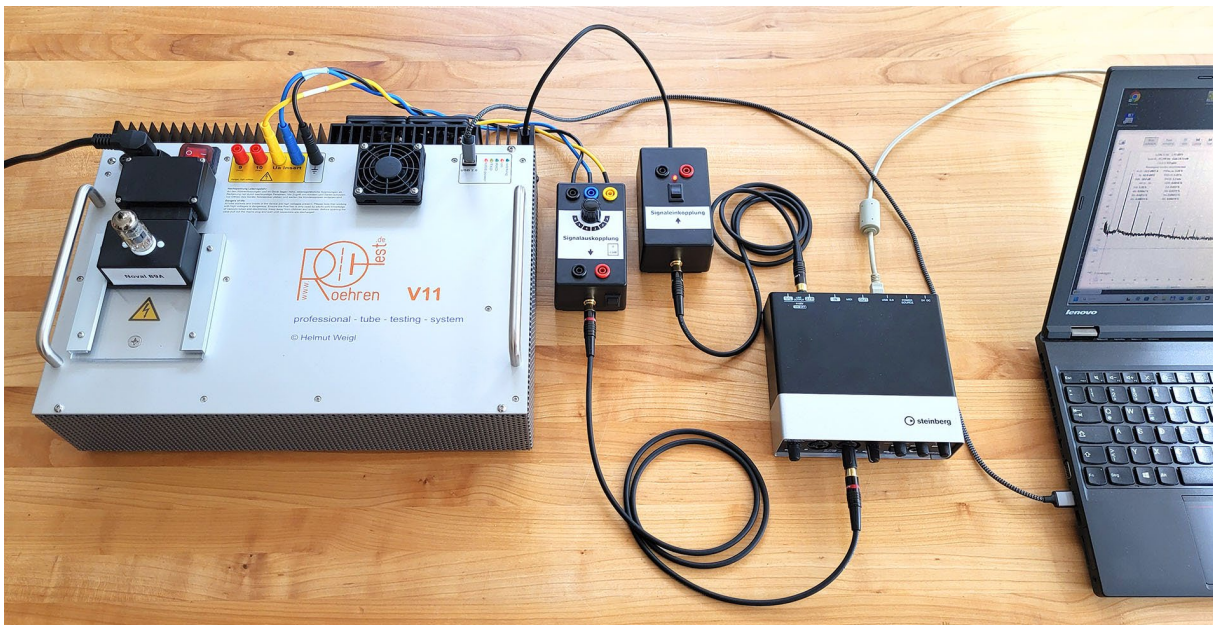


Diejenigen Buchsen, Kabel und Stecker, die die Röhre mit der Auskopplungsbox verbinden, habe ich durch gelbe ersetzt, damit es nicht zu Verwechslungen kommt. Die Anodenspannung habe ich blau und die Masse schwarz belassen. An den entsprechenden Sicherheitsbuchsen der Auskopplungsbox kann mittels Multimeter die tatsächliche Spannung an der Anode gemessen werden (gelb zu schwarz) sowie der Spannungsabfall am Arbeitswiderstand (blau zu gelb). Am rot-

schwarzen Buchsenpaar wird die ausgekoppelte Wechselspannung gemessen, wie sie über Cinch-Kabel an das Audio-Interface geht. Außerdem hat es sich als nützlich erwiesen, einen durch Schalter überbrückbaren Zusatzwiderstand in den Spannungsteiler einzufügen (ganz rechts oben im Schaltplan). Mit ihm kann ein zu starkes Signal, z.B. beim Übersteuern einer Endstufen-Pentode, um 12dB reduziert werden.



Der fertige Messaufbau sieht so aus:



Mit diesem Instrumentarium konnte ich erfolgreich viele unterschiedliche Röhren messen, von der 12V-Triode bis zu Endstufen-Pentoden, wie einer EL34 oder einer EL500. Im zweiten Teil dieses Berichts sind die vielfältigen Möglichkeiten von Messungen an Röhren mit Wechselspannungssignalen dargestellt und beispielhaft einige Messergebnisse dokumentiert.