

Rohde & Schwarz URU Röhrenvoltmeter



Abbildung 1: doppeltes Lottchen: zwei Rohde&Schwarz URU Röhrenvoltmeter

1 Einleitung

Wir wollen uns heute mal ein Rohde&Schwarz Röhrenvoltmeter des Typs URU anschauen, reparieren und auch ein paar Wartungsarbeiten machen. Vorausgegangen war, dass mir jemand mal ein URU geschenkt hat- aber leider mit fehlendem Wechselspannungskopf und auch defektem Anzeigeelement. Nun, da es ein sehr schlechter Stil wäre, sich auch noch über geschenkte Messgeräte zu beklagen, habe ich mich trotzdem sehr darüber gefreut und es mit einem weiteren URU aus den eBay Kleinanzeigen komplettiert. Ich darf gerne sagen, dass mich das Kleinanzeigen-URU etwa 75€ inkl. Versand gekostet hat. Ich denke, das ist zwar kein Schnäppchen, aber momentan ein durchaus normaler Preis für ein URU (wir haben aktuell November 2022, als ich dieses Projekt starte).

2 Geschenker Gaul oder gekauftes Schnäppchen

Die Verpackung des zweiten URUs war exzellent, als es hier eintraf- sogar einen schützenden Holzrahmen hatte der Verkäufer für den Versand des guten Stücks in den Karton eingebaut! Trotzdem konnte auch er den Zahn der Zeit nicht wieder zurückdrehen. Wie manche bei R&S gerne "Rost und Schrott" sagen (was für ein humorvolles Wortspiel), hat der "Rost"-Aspekt bei diesem URU aber leider schon dominierende Eigenschaften gegenüber "Schrott". Das Gehäuse sieht längst nicht so gut aus wie bei meinem geschenkten. Und auch der allgemeine Eindruck ist zwar ok, aber auch nichts, was einen begeistert vom Hocker reißt. Dafür hat es aber mindestens drei Vorteile:

1. das Anzeigeeinstrument ist heile!
2. das Gerät funktioniert sogar "grob"
3. bei diesem waren sowohl der AC-Kopf als auch ein Hochspannungskopf mit dabei! Und um diese ging es mir dabei ebenfalls!



Abbildung 2: exzellente Verpackung (sogar mit selbst gebasteltem Holzrahmen als Schutz!)- nur leider hält das den Rost im Gehäuse auch nicht auf :-)

Also liegt doch nichts näher, als zu entscheiden, ob ich entweder das geschenkte oder das gekaufte URU (oder womöglich beide?) wieder herrichte. Bevor ich das entscheiden kann, muss ich aber eins wirklich wissen: was ist denn mit dem Anzeigeeinstrument des geschenkten? Ist es wirklich defekt, wie auf dem Gehäuse vermerkt wurde? Bestimmt, denn das war eigentlich der Hauptgrund, warum es mir geschenkt wurde, denn Spannbandinstrumente, wie sie im URU eingesetzt werden, repariert man nicht "mal eben" so leicht.

Kurze Übersicht:

Name:	"URU geschenkt"	"URU gekauft"
Baujahr:	neuer (1970er Jahre)	älter; ca. 1964
Technologie Stabi:	Zenderdiode	Glimmstabi
Zustand:	fast wie neu	Flugrost, Abplatzungen im Lack
Messinstrument:	defekt	heile; aber Bakelit-Gehäuse verbogen
Sonstiges:	AC-Kopf fehlt	inkl. AC-Kopf und HV-Kopf

Es führt also kein Weg um das Zerlegen der Anzeigen herum, denn damit steht und fällt alles. Es ist quasi das kritische Bauteil an einem URU. Der erste kurze Test am Kalibrator zeigt, dass das gekaufte URU-Instrument mit weniger als 2% Anzeigefehler sämtliche Skalenwerte sauber anzeigt, das geschenkte allerdings komplett hochohmig ist und auch zu keinerlei Zeigerausschlag zu bewegen ist. Das ist kein gutes Zeichen!



Abbildung 3: leicht verzogenes Gehäuse des Messinstruments beim "gekauften URU"

Ich mache es kurz: das geschenkte kann ich leider nicht reparieren, denn hier scheint wirklich die antreibende Wicklung des Zeigers unterbrochen zu sein. Bei meinem UIG Mikrovoltmeter habe ich ein defektes, hochohmiges Anzeigeinstrument noch durch Finden der Unterbrechung und anschließendem Neu-Anlöten des mikrofeinen Drahtes unter dem Mikroskop wieder ins Leben zurück holen können. Nach ein paar Löt-Versuchen hält es am Ende sogar fast wieder die Herstellerspezifikation ein! Das war aber ein Drehspulinstrument. Bei einem Spannbandinstrument, bei dem ein ca. 0,5mm breites, gespanntes Metallbändchen von der Magnetspule auf Torsion verdreht wird und damit den Zeigerausschlag verursacht, sind leider auch meine Möglichkeiten (und mein Geschick) irgendwann am Ende. Das Messwerk werde ich zwar nicht wegwerfen, möglicherweise braucht man mal eine Reserveskala oder einen der Shuntwiderstände, aber reparieren kann zumindest ich es leider nicht mehr.



Abbildung 4: Innenansicht der beiden URUs: wegen des durchgebrannten Messinstruments beim Geschenkten werde ich leider nicht beide reparieren können

Also mache ich was anderes: ich tausche das Innenleben! Hintergrund ist, dass bei dem gekauften (aber heilen) zwar die innere Messwerkmechanik einwandfrei ist, jedoch das umgebende Bakellitgehäuse verbogen und ebenfalls die Frontscheibe mit Kleber bekleckert ist. Das geschenkte hingegen ist hier perfekt sauber und hübsch- aber eben im Innern defekt. Also mache ich einen Tausch: die heile Mechanik kommt in das hübsche Gehäuse und das -eh defekte- Messwerk auch in das nicht so gut erhaltene, weil verbogene, Messwerk-Gehäuse.

Genau so mache ich es und am Ende habe ich ein hübsches URU-Messinstrument, das nicht nur korrekt anzeigt, sondern auch super aussieht und zum Rest des geschenkten URUs passt. Quasi eine Messwerkmechanik-Transplantation :-)

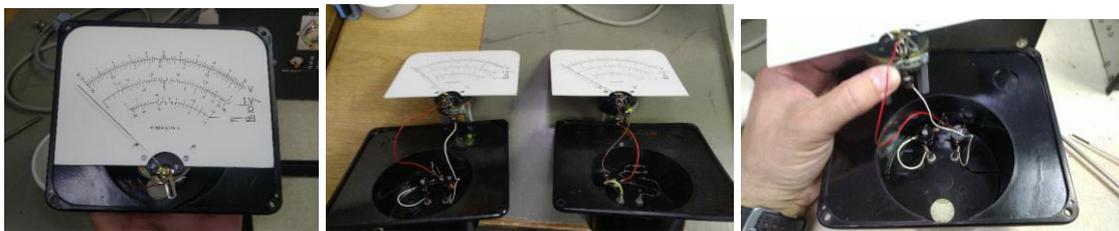


Abbildung 5: Fotostrecke: Messwerkwechsel

Da mit dem wirklich defekten Messwerk nun feststeht, dass ich nur eines der beiden URUs werde wirklich retten können, entscheide ich mich dafür, das optisch hübschere (also das geschenkte) aufzuarbeiten und das gekaufte tatsächlich als Ersatzteilträger zu degradieren. Die Entscheidung war einfach: es sieht sowohl von außen als auch innen richtig gut aus, ist deutlich neuer als das Gekaufte von 1964 und die Messköpfe des Gekauften passen hier trotzdem 1:1 dran. Also: wir transplantieren das Messwerk, aber machen vorher eine Prüfung. Denn: vielleicht hatte es ja einen Grund, dass in dem Geschenkten das Messwerk defekt war- wurde es möglicherweise mit so viel Spannung angesteuert, dass es deswegen durchgebrannt ist? Oder war es wirklich nur Verschleiß bzw. Über-Alterung? Hmmm...



Abbildung 6: nach dem Umbau ist es optisch wie elektrisch einwandfrei!

Um das zu testen, schließe ich erstmal mein Philips PM 2528 Zeigermultimeter anstelle des originalen URU-Instruments an die URU-Elektronik an. Denn sollten hier gleich aus Versehen gleich Dutzende Volts anstehen, wäre damit auch das zweite URU-Instrument gleich sofort wieder defekt, jede Wette. Also lieber vorsichtig sein, den 100mA-Bereich am Philips gewählt und eingeschaltet das geschenkte URU!

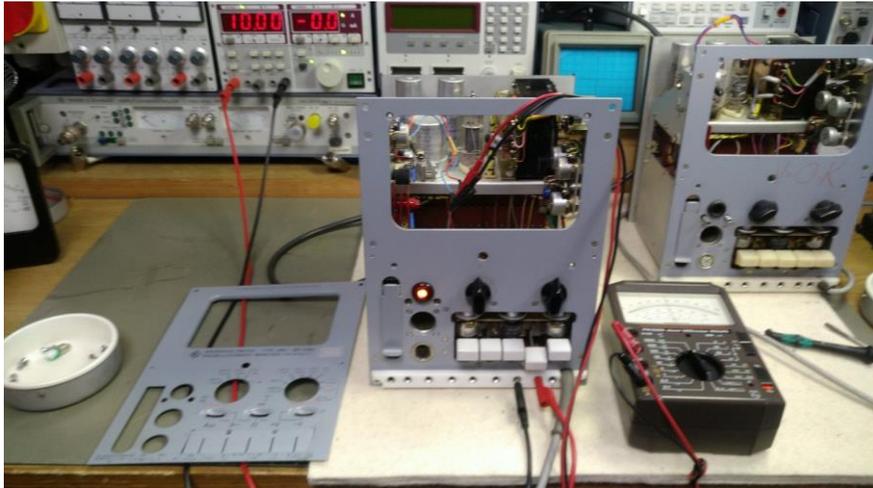


Abbildung 7: Vorsicht ist die Mutter der Porzellankiste!

Aber ich finde tatsächlich kein Problem. Selbst bei exzessiver Überspannung in den Eingang fließt durch die Messwerksleitung nie mehr als knapp 1mA Strom. Das ist für ein 40 μ A-Messwerk zwar schon 25x der Strom für Vollausschlag, aber ich hoffe trotzdem, dass dieses Milliampere nicht zum Aufbrennen der Messwerkwicklung führen kann. Denn wer den Draht gesehen hat, mit dem die Ablenkspule gewickelt ist, der weiß, warum wir ihm so gut wie gar nichts an Stromfluss zutrauen: er dürfte -rein vom Angucken her- dünner sein als ein menschliches Haar! Ich bin nach wie vor beeindruckt, wie man solch filigrane Sachen bereits in den 1960er Jahren herstellen konnte!



Abbildung 8: mehr als knappe 800 μ A konnte ich am Messwerk nicht messen- selbst bei exzessiver Fehlbedienung des URU (Überspannung)

Trotzdem möchte ich die Situation gerne etwas besser verstehen, ob es dennoch -durch irgendwelche defekten Bauteile vielleicht- im URU passieren kann, dass ein Messwerk potentiell durch Überstrom beschädigt werden kann. Denn viel andere Sachen, wie das Messwerk hochohmig geworden sein könnte, fallen mir -außer mechanischer Beschädigung, aber da würde man bestimmt Risse oder Dellen im Gehäuse sehen- nicht ein. Wie man im Manual lesen kann, hängt das Instrument in einer Brückenschaltung zwischen den beiden Trioden-Systemen der Röhre RÖ1.

Im normalen Betriebszustand fließt durch beide Systeme je ein Ruhestrom von knapp 0,6mA (140V Spannungsabfall an den Kathodenwiderständen R17 sowie R18). Das Messinstrument "sieht" allerdings nur den Potentialunterschied zwischen diesen beiden Spannungsabfällen an R17 und R18. Die Frage ist nun, wie groß bzw. klein diese Spannungsabfälle werden können.

Bei abgeglicherer Brücke wäre das exakt null, aber bei nicht abgeglicherer entsteht natürlich eine Brückenspannung und demzufolge auch ein Querstromfluss durch die Brücke (und das Messwerk). Der schlimmste Fall wäre der, dass eine Seite dieser Brücke komplett durchgesteuert ist und die andere komplett geschlossen. Wie sieht es denn da aus?

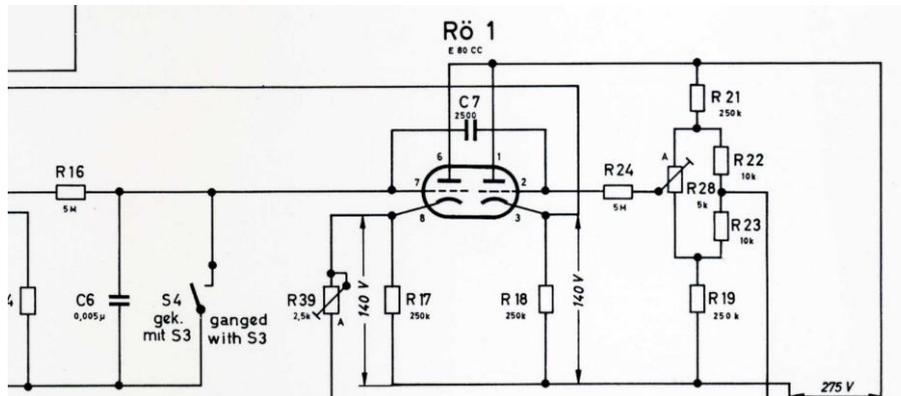


Abbildung 9: Schaltplan-Auszug (Quelle:Handbuch zum Rohde&Schwarz URU)

Nehmen wir mal das linke System mit R17.

Bei voll durchgesteuerter Röhre und einer gemessenen Anodenspannung von 320V* könnte der überhaupt theoretisch maximal erreichbare Stromfluss durch R17 (250kOhm) 1,3mA sein. Dann wäre das Potential an R17 320Volt. Doch rechnen wir mal mit etwa 300Volt, denn aus dem Datenblatt der E80CC wissen wir, dass selbst im voll leitenden Zustand noch etwa 20Volt in der Röhre "hängen" bleiben.

Nehmen wir dann mal an, dass das rechte System mit R18 zugleich maximal sperrt. Das Potential an R18 würde dann theoretisch 0 Volt betragen. Also wieder maximal vereinfacht gedacht. Die Brückenspannung beträgt dann theoretisch die volle Anodenspannung minus 20 Volt. Allerdings: Wenn das Potential an R18 dann 0 Volt ist, muss der Messwerkstrom dann zwangsweise durch R18 fließen; mit 250kOhm haben wir damit denselben Effekt: der überhaupt theoretisch mögliche Maximalstrom würde dann selbst für diesen worst-case auch in diesem Zweig auf 1,2mA begrenzt. Es wäre also so, als würde das Messinstrument über einen 250kOhm Vorwiderstand direkt an +300V hängen.

Nein, eigentlich sind dem Messinstrument ja auch noch -je nach Betriebsart- noch Vorwiderstände vorgeschaltet. In der Gleichspannungsmessung wäre der schlimmste Fall (0,3V Messbereich) und ein komplett nach rechts gedrehter R39 noch einmal 1,2kOhm in Reihe (R45).

Bei Wechselspannungsmessung ist es R44 und R38, die mindestens wirken (zusammen 17,68kOhm). Also noch ungefährlicher.

In der Ohm-Betriebsart ist es erneut R45, der mit 1,2kOhm mindestens in Reihe zum Messwerk liegt.

* noch schöpfe ich hier keinen Verdacht. Kommt aber noch!

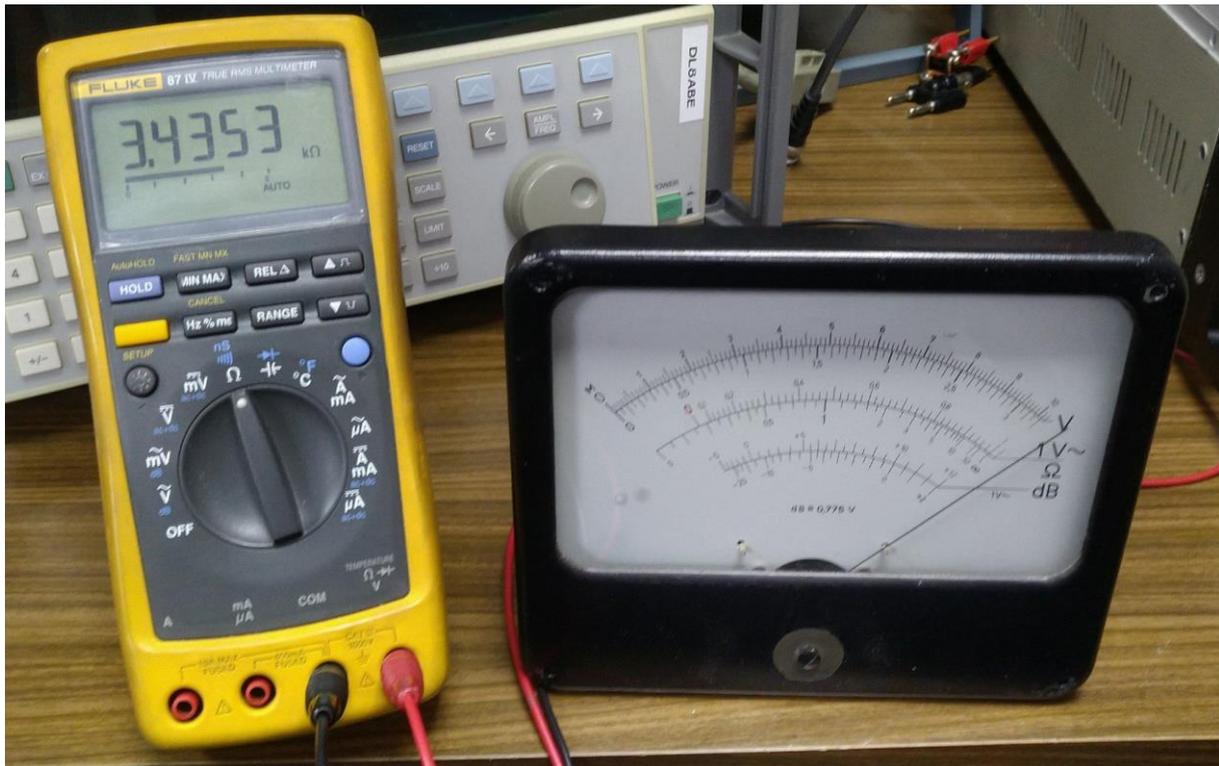


Abbildung 10: das Messwerk hat bei mir einen Innenwiderstand von ca. 3435 Ohm

In der realen Welt ist es mir ebenfalls nicht gelungen, mehr als diese berechneten knapp 1mA Brückenstrom fließen zu lassen. Denn natürlich sind reale Röhren nie komplett sperrend oder 100% leitend. Und auch die Ansteuerung ist vermutlich nie so extrem, dass man überhaupt in diese Grenzbereiche kommt. Letztendlich wirkt auch der interne Innenwiderstand des Messwerks (gemessen: ca. 3,4kOhm) als weitere Strombegrenzung und der abgleichbare Bypass mit R2 und R1 "mopst" auch noch ein paar μA weg. Solange man das URU also nicht an so hohe Spannungen anklemmt, dass es zu einem internen Überschlag in der Röhre R01 kommt, ist in der Praxis bei spätestens 1mA Strom durch's Messwerk Schluss- denn mehr konnte ich hier beim besten Willen und durch noch so intensive Fehlbedienung nicht nachweisen. Und 1mA hält das Messwerk hoffentlich aus....

Überdies gibt es aber noch eine weitere, wichtige Schutz-Maßnahme bei Impulsen: C7!

Dieser unscheinbare Kamerad verkoppelt die beiden Gitter der Brückenschaltung wechselspannungsseitig. Bedeutet: kommt eine ganz fiese Impulsspitze in den Messeingang von System 1, die zu einem sehr hohen Impulsstrom durch das Messwerk führen würde, so koppelt C7 diese Energie ebenfalls auf das Gitter des zweiten Systems. Somit "hopst" die gesamte(!) Brücke (und nicht nur ein Teil der Brücke) quasi unter "erzwungener Balance" nur einmal kurz hoch und da das dann -dank C7- beide Röhren gleichzeitig machen, bleibt die Brücke im abgeglichenen Zustand; sprich: ändert sich die Brückenspannung dabei nicht! Oder nur kaum, denn in der Praxis wird es bestimmt trotzdem einen ganz kleinen Impulsstrom geben- aber eben um Zehnerpotenzen kleiner als ohne einen eingelöteten C7.

Damit macht es tatsächlich Sinn, das Bauteil C7 genau zu prüfen, ob es auch noch heile ist. Denn seine Schutzfunktion möchte ich nicht missen, wenn ich das originale Messinstrument wieder in Betrieb ist. Wie gesagt: brennt mir auch das durch, dann war's das für mein URU! Daher sind wir wirklich gut beraten, möglichst alles zu ergründen und auszuschließen, was das Messwerk irgendwie schädigen könnte.

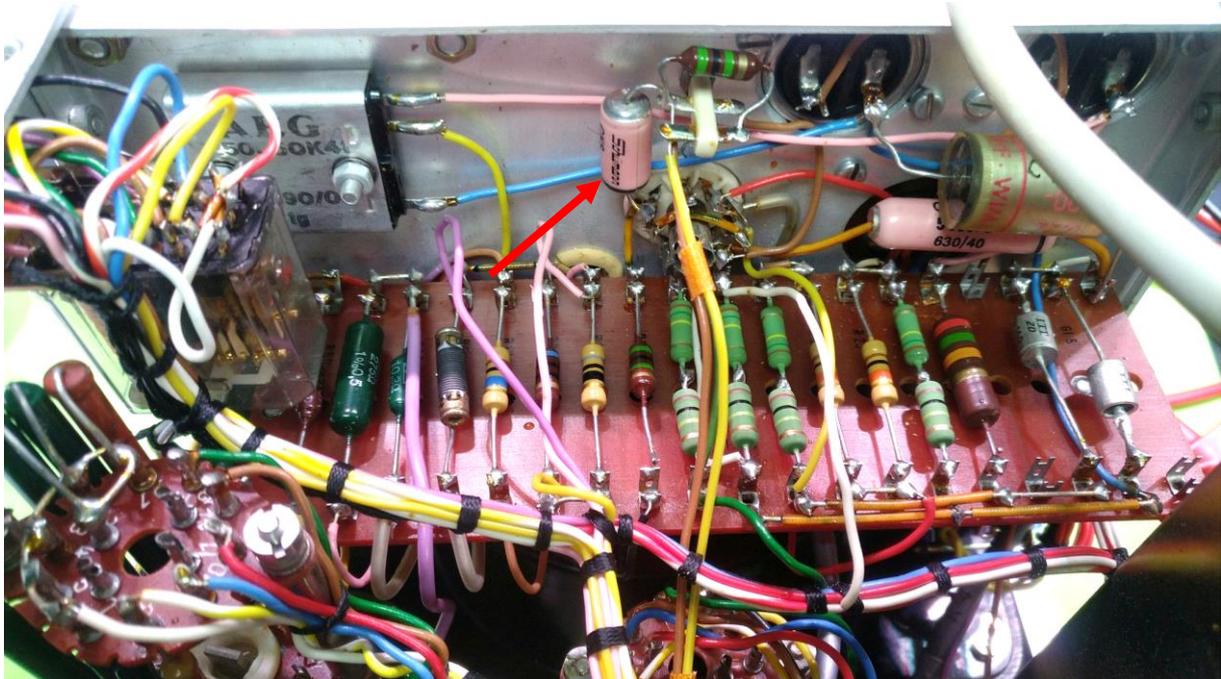


Abbildung 11: C7 (Pfeil)

C7 ist gut erreichbar mit einem Beinchen an einen Lötstützpunkt gelötet, an dem von der anderen Seite ein 5M Ω -Widerstand* angeheftet ist. Ich löte ein Beinchen ab und teste sowohl auf Leckstrom als auch Kapazität und Güte. Die Güte ist so hoch, dass sie an meinem LCR-Messer zwischen 1998 und "OL" schwankt und auch die 2,5nF sind einwandfrei zu bestätigen. C7 kann bleiben und wird seinen Dienst tun, da bin ich mir sicher.



Abbildung 12: C7 gibt sich ohne Tadel!

* den werde ich später auch noch gegen 5,1M Ω modernerer Bauart wechseln; genauso wie es bei einigen der Widerständen auf der Leiterplatte im Bild auch schon zu sehen ist

3 Anodenspannung

Doch dann stolpere ich über noch etwas, was möglicherweise auch ein defektes Anzeigeelement erklären könnte! Ich weiß nun, dass es mindestens zwei Versionen des URU gibt, denn mein gekauftes URU verfügt über zwei Glimmstabis für die Erzeugung der Anodenspannung und mein geschenktes über zwei in Reihe geschaltete Z-Dioden (je 160V).

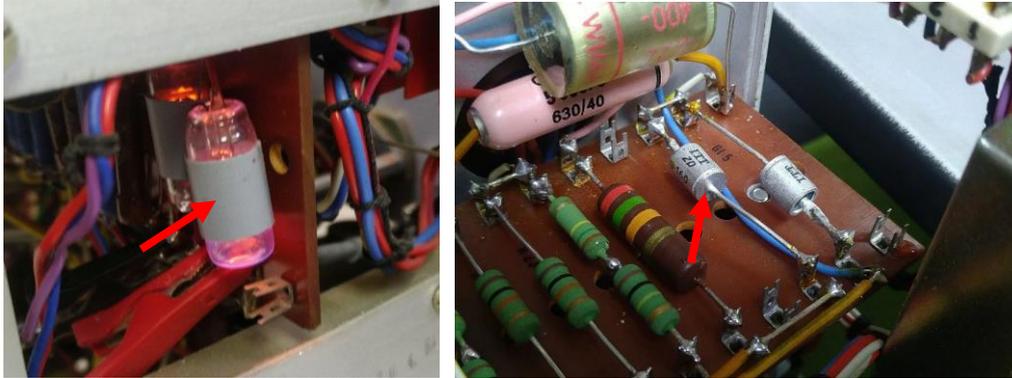


Abbildung 13: Glimmstabis (links) und Z-Dioden (rechts)

Schauen Sie sich in die im Netz kursierenden Schaltpläne, so sind die sich alle einig: die Anodenspannung für unsere E80CC soll 275VDC mit maximal 0,7Vrms Wechsellspannungsanteil betragen. Messen tue ich bei mir doch aber +320V! Das ist wiederum erklärbar, denn wenn ich GL4 und GL5 anschauen, dann sind das laut Beschriftung 160V Zenerdioden (vgl. Abbildung 13 rechts), die dort halt nur ihren normalen Dienst tun und für die 320V verantwortlich sind.

E80CC

CHARACTERISTICS

Column I Nominal value or setting of the tube
 II Range values for equipment design: Initial spread
 III Range values for equipment design: End of life

		I	II	III	
Heater voltage	V_f	12,6			V
Heater current	I_f	300	285 - 315		mA
Anode voltage	V_a	250			V
Cathode resistor	R_k	920			Ω
Anode current	I_a	6.0	5.4 - 6.6	min. 4.3	mA
Transconductance	S	2.7	2.2 - 3.2	min. 1.8	mA/V
Amplification factor	μ	27			
Internal resistance	R_i	10	min. 7		k Ω
Negative grid current	$-I_g$		max. 0.5	max. 1.0	μ A

Abbildung 14: Auszug aus einem E80CC-Datenblatt (Quelle: Philips Data Handbook, 1968)

Das Problem ist nur: alle mir bekannten Datenblätter zur E80CC (Telefunken, Siemens, Philips) geben als nominale Anodenspannung +250V an; und als "absolut Maximum Rating" +300V. (Als U_{a0} , was ich für die "Sterbespannung" halte, geben sie +600V an, aber so weit wollen wir es nicht kommen lassen). Nun, damit habe ich nun ein echtes Problem: eine für +250V ausgelegte, allerhöchstens für +300V Anodenspannung spezifizierte Röhre wird hier in der Realität mit +320V betrieben! Und das ist anhand der Typen der eingelöteten Z-Dioden

sogar erklärbar und scheint möglicherweise Absicht zu sein. Was mache ich denn nun?!?!? Hat es hier jemand bei einer möglichen Reparatur "zu gut" gemeint oder die "richtigen" Dioden gerade nicht verfügbar gehabt? Warum überhaupt will man die Anodenspannung erhöhen und weshalb dann gleich um so viel, dass man über den maximal erlaubten Datenblattwerten dimensioniert?

LIMITING VALUES (Absolute max. rating system)

Anode voltage	V_{aO}	max.	600 V
	V_a	max.	300 V
Anode dissipation	W_a	max.	2 W
Cathode current	I_k	max.	12 mA
Cathode current peak value	I_{kp}	max.	150 mA

Abbildung 15: Auszug aus demselben Datenblatt: absolute Maximum ratings!

Eine mögliche Erklärung kommt weiter unten, lest weiter! :-)

Mir ist klar, dass die E80CC bei Überschreitung der maximalen Anodenspannung um weniger als 10% nicht gleich implodieren und ein schwarzes Lochs ins Zeit-Raum-Kontinuum reißen wird, aber andererseits schreiben drei unterschiedliche Röhrenhersteller die Werte doch auch nicht zum Spaß ins Datenblatt und ich darf daran erinnern, dass wir ausgerechnet in diesem URU immerhin ein durchgebranntes Messwerk hatten! Selbst wenn die Beschädigung im Messwerk nicht zwangsläufig was mit dieser Anodenspannungsabweichung zu tun gehabt haben muss- ein weiteres Überreißen der bereits schon als "absolute Maximum" präsentierten Angabe kann trotzdem nicht gesund sein! Doch warum ist das hier so? Wurden die Z-Dioden vielleicht mal ausgetauscht und versehentlich falsche Werte eingelötet? Oder war es eine bewusst durchgeführte Änderung zu einem speziellen Zweck? In der Stückliste sieht man für GL4 und GL5 nur die R&S-Nummer "1080 -1,43". Das einzige, was man daraus ableiten kann, ist, dass es zwei identische Bauteile sind. Bei 275V angepeilter Anodenspannung wären das also Z-Dioden mit 137,5V. Gibt es sowas überhaupt?

Ich schließe das gekaufte URU (also das mit den Glimmstabis) an und messe dort die Anodenspannung. Und was soll ich sagen? +249V Anodenspannung, und stehen an wie eine Eins! Das ist zwar nicht genau das, was im Schaltplan steht (275V), aber immerhin exakt das, was die E80CC laut Datenblatt sehen will!



Abbildung 16: die Glimmstabis im "Gekauften" sorgen für exakte 249V Anodenspannung- so wie es soll!

Nun wird mir das alles langsam zu doof. Ich bestelle zwei Z-Dioden des Typs 1N5383: das sind 5W-Typen mit 130V Zenerspannung. Zwei Tage später liegen sie in meinem Postkasten. Ich löte sie gleich ein und messe die Anodenspannung: 300V! Nanu?!? Hä? Zwei mal 130 ist doch 260 und nicht 300?!

Kurze Messung über den Dioden: jeweils exakte 150Volt. Das ist zu genau, um ein Zufall zu sein. Datenblattrecherche ergibt: es sind genau die Typen geliefert worden, wie in der Beschreibung steht: 1N5383.

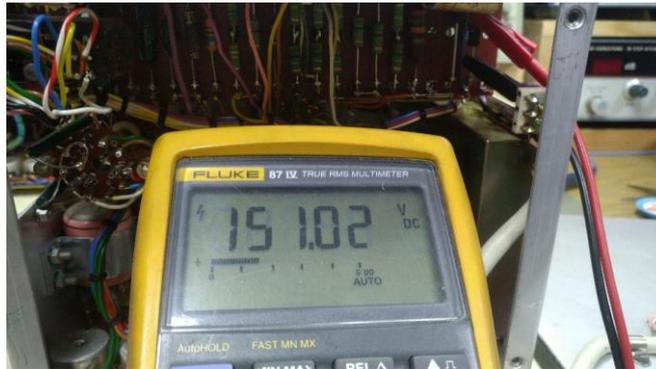


Abbildung 17: zwei mal 150 ist 300! ;-)

Nur leider haben die aber nicht 130V, wie im Auktionstext beschrieben, sondern 150V. Also Fehler auf beiden Seiten: der Verkäufer hat einen Tippfehler im Text und ich habe mich blind darauf verlassen und nicht im Datenblatt nachgesehen, daher ist mir der Fehler in der Beschreibung auch nicht aufgefallen. Egal, neue Bestellung raus, nochmal die 130V-Typen bestellt. Die heißen dann 1N5381. Weil ich fair sein will, biete ich eine Beteiligung an den Unkosten an, denn ich selber hab's ja auch nicht gesehen, aber mein gut gemeintes Angebot bleibt unbeantwortet. Egal, ich hab's wenigstens versucht.



Abbildung 18: kleine Verwechslung bei der Bauteilebestellung

4 Bereichswiderstände

In der Zwischenzeit messe ich mal die Bereichs-Widerstände für den Gleichspannungsbereich. Weil es hier nur einen gemeinsamen Abgleichpunkt für ALLE Messbereiche gibt (R39), sollten diese Widerstände untereinander noch möglichst präzise sein, denn hier kann man leider nichts Bereichs-spezifisch nachstellen. Ein Job für mein HP3458A, denn einer der Widerstände liegt laut Teileliste bei knapp 100MOhm- zu hoch für mein HP34401, um das noch messen zu können!

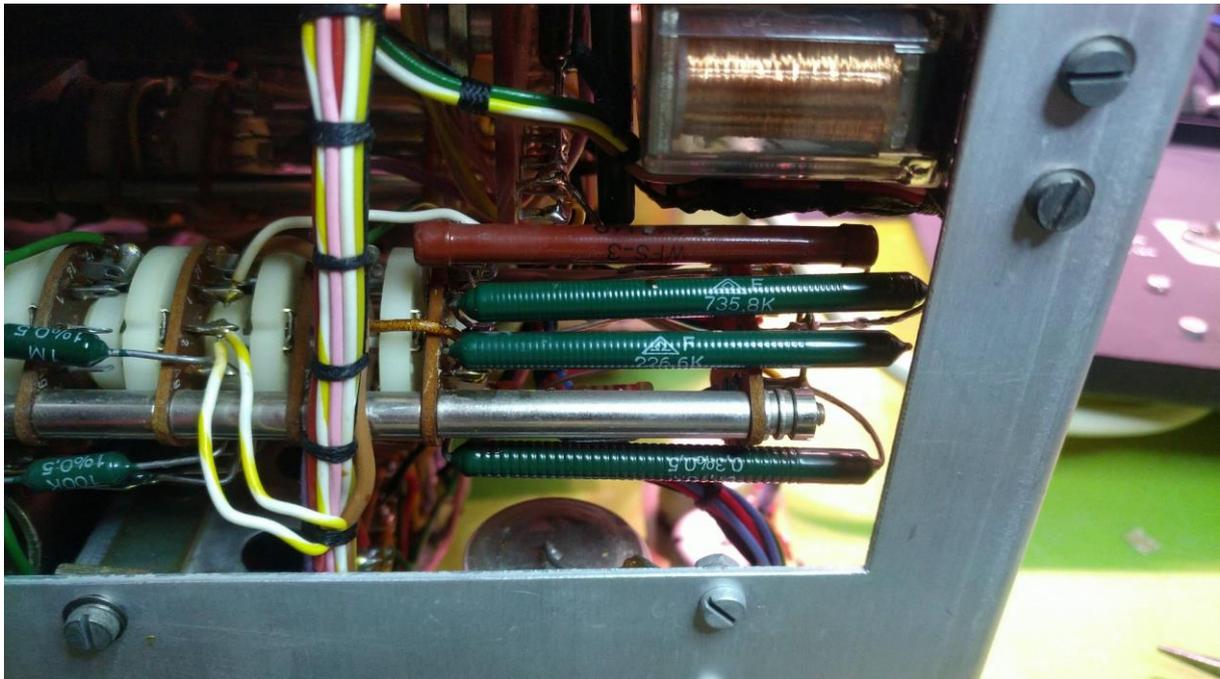


Abbildung 19: das sind die Widerstände für den DCV-Bereich

Es zeigt sich, dass die Kameraden leider ganz schön zum "Laufen" neigen. Die aufgedruckten Toleranzen von 0,3% werden teilweise nur knapp, teilweise erst nach dem Einlaufen, teilweise aber auch nur kurz nach dem direkten Anklemmen gehalten. Ein Widerstand ist sogar sofort nach dem Anklemmen außerhalb der Toleranzvorgaben. Das Problem: er hat einen sehr krummen Wert (2,347 MOhm) und wahrscheinlich eine Spannungsfestigkeit, die meine normalen 2W Metalloxid-Widerstände überfordern wird*.

	Spezifikation					Messung				
	Soll Ohm	Tol + [%]	Tol - [%]	Limit - Ohm	Limit + Ohm	Messung Ohm	Leitungswiderstand Ohm	IST Ohm	Dev %	Status
R45	1200	0,3	-0,3	1203,6	1196,4	1202		0,5	1202,5	-0,20833333 ok
R44	17180	0,3	-0,3	17231,54	17128,46	17181		0,5	17181,5	-0,00873108 ok
R43	67750	0,3	-0,3	67953,25	67546,75	67801		0,5	67801,5	-0,07601476 ok
R42	226600	0,3	-0,3	227279,8	225920,2	226840		0,5	226840,5	-0,10613416 ok
R41	735800	0,3	-0,3	738007,4	733592,6	738900		0,5	738900,5	-0,42137809 naja
R40	2347000	0,3	-0,3	2354041	2339959	2388000		0,5	2388000,5	-1,74693225 nok

Abbildung 20: die ausgemessenen Widerstände aus dem Geschenkten

* wie ich später, nachdem ich die Schaltung etwas besser verstanden habe, herausfinde, ist das Blödsinn! Die maximal mögliche Spannung, die diese Widerstände aushalten müssen, ist die maximale Brückenspannung und die kann bei 1kV Eingangsspannung selbst in der Theorie des "worst case" nie höher werden als etwa 100Volt!

Daher versuche ich nicht, mir einen aus mehreren meiner Metalloxidwiderstände zusammenzusetzen, sondern stattdessen den Widerstand aus dem Ersatzteillager (das gekaufte URU) zu entnehmen und bei mir einzubauen. Allerdings nur, wenn der wirklich erwiesenermaßen auch besser ist- denn auch hier sind die Widerstände bestimmt 60 Jahre oder älter. Also auslöten und ab ans HP3458B. Ergebnis: wenn man lang genug wartet, läuft auch der aus der Toleranz. Aber -0,42% ist immernoch besser als -1,75%, also übertreibe ich es nicht mit der virtuellen Präzision (immerhin ist das ein Röhren-Voltmeter und kein Thermisches Transfornormal!), sondern löte anstatt des grünen "Raupenwiderstands" den brauen "Dackelwurstwiderstand" aus dem gekauften in mein geschenktes URU ein.

Die thermische Beanspruchung durch das Löten macht sie bestimmt nicht besser, aber das kann ich ihnen leider nicht ersparen. Am Ende soll das URU keinen Rekord an Präzision und Anzeigetreue liefern. Mir ist viel wichtiger, dass es zu messende Spannungen möglichst hochohmig und belastungsarm anzeigt, denn genau dafür hätte ich es gern: zum Messen in Röhrenschaltungen, wo man leicht man im 1V-Bereich mit der Messspitze auf die +300V Anodenspannung "abrutscht"- und da darf es nicht gleich knallen im Messgerät. Für diese Robustheit opfere ich gerne das eine oder andere Prozent an Anzeigegenauigkeit.

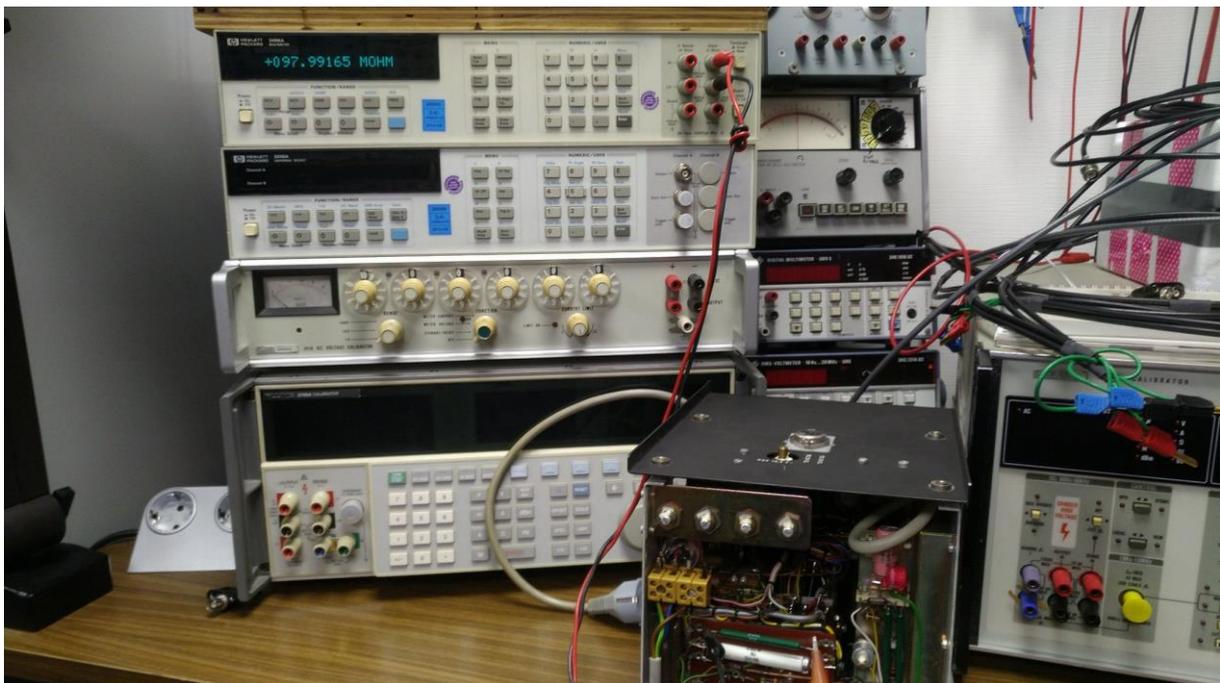


Abbildung 21: das genaue Messen von 100MOhm großen Widerständen ist nicht ganz trivial!



Abbildung 22: Vergleichsmessung an meinem 100MOhm Widerstandsnormale

Hinweis zu Abbildung 22: für eine "korrekte" Messung würde man abgeschirmte Kabel mit besonders guten Steckern benutzen und auch seine Abschirmhaube auf das Widerstandsnormale aufsetzen; habe ich hier im Bild nicht gemacht. Mir ging es hier lediglich um einen kleinen Vergleich, wie stark die Dackelwurstwiderstände laufen und wie stark mein Widerstandsnormale (bzw. das HP3458 selbst ;-).

5 RÖHRENTTEST amerikanisch

Nach dem Check der Bereichswiderstände für Gleichspannung schaue ich mir die Röhre selbst an: und zwar die E80CC! Nach Internet-Recherche sei der amerikanische Typ 6085 wohl vergleichbar. Also getestet mit meinem Hickok TV-2 Röhrenprüfgerät, weil ich dafür die Einstelldaten bereits in einer Tabelle hatte. Mit dem L3-3 hätte ich mir erst eine Prüfkarte machen müssen und auch hier brauche ich es nicht bis auf die letzte Nachkommastelle*. Mir reicht folgende Info:

Röhre Nr.1 (aus dem gekauften URU): System1 91% und System2 90%

Röhre Nr.2 (aus dem geschenkten URU): System1 99% und System2 100%



Abbildung 23: einer meiner ersten dokumentierten Reparaturberichte: Hickok TV2 mit meiner Projekt-nummer Nr. 009 (Oktober 2009)

Ich habe also Röhre Nr.2 (wieder) in genau das Gerät eingebaut, aus dem sie ursprünglich stammte (das geschenkte). Die andere Röhre ist mit immerhin noch 90% Steilheit selbst damit noch immer eine hervorragende Reserveröhre. Erstaunlich: die Röhre Nr.2 hat den Betrieb an der hohen Anodenspannung (+320V) scheinbar sehr gut verkraftet!



Abbildung 24: diese Verstärkungswerte lieferte mir der Hickok TV2

* schon wieder ein Irrtum ;-)

6 Weiter im Test

Während wir noch auf die Z-Dioden warten, prüfe ich die Heizspannung. Die wird durch eine 13,2Volt-Regelung gespeist und soll am Ende die Heizung von R01 über einen Vorwiderstand mit 12,6V versorgen.

Diese 13,2V dient aber nicht nur der Erzeugung der Heizspannungen, sondern teilweise auch der Messspannungen im Widerstandsbereich, daher sollte man sich mit ihrem Abgleich etwas Mühe geben. Das Abgleichelement ist R62 und befindet sich auf der Rückseite des Gerätes. Damit man jedoch die 13,2Volt auch einstellen kann, muss man sie zugleich irgendwo abgreifen und messen. Das geht, indem man die Rückwand des URU herunterklappt (4 isolierte Schrauben) und an Platine und Transistor-Emitter anklemmt. Man misst dann -13.2Volt! Die stehen auch über mehrere Stunden Betrieb erstaunlich stabil an.



Abbildung 25: Messung an Pin4+5: ein gaaanz klein wenig können wir noch aufdrehen

Wichtig ist, dass man sich auch zusätzlich an Pin4 und Pin5 der Röhre (=Heizung) orientiert: denn hier sollte die 12,6V Heizspannung möglichst genau getroffen werden. Die 13,2V und die 12,6V trennt lediglich ein 20Ohm-Widerstand, daher habe ich tatsächlich auf eine korrekte Heizspannung abgeglichen und dann überprüft, dass die +13,2V danach trotzdem einigermaßen stimmen.

7 Endlich +260Volt!

Den Abgleich der Heizspannung habe ich allerdings noch einmal gründlich überprüft, nachdem die korrekten Zenerdioden mit 130V eingetroffen sind: 1N5381B! Und diesmal klappt es auch: nach dem Einlöten messe ich über den Dioden etwa +265V und damit sind wir endlich

- a) aus dem Überlastbereich der E80CC raus
- b) ganz nahe an der Vorgabe aus dem Schaltbild (+275V).



Abbildung 26: gute 265V Anodenspannung- jetzt bin ich zufrieden!

So lassen wir es, denn jetzt bin ich endlich beruhigt!

Sprecher aus der Zukunft:

Dass das Thema "Anodenspannung" nochmal auf meinen Tisch kommt, nämlich durch Kompressionseffekten, und auch dass wir aufklären werden, warum jemand vermutlich die Anodenspannung so hochgerissen hat, werden wir später erfahren. Weil ich in diesem Moment jedoch dachte, dass hier alles erledigt sei, habe ich erstmal einen Rundumschlag zum Thema "Kondensatoren" gemacht, siehe nächstes Kapitel.

8 Kondensator-Check

Wie jeder Radiobastler weiß, sind die Kondensatoren in alten Geräten oft eine Schwachstelle. Je nach Bauart können sie Feuchtigkeit ziehen oder auch austrocknen. Beides führt dazu, dass sie ihre Sollleistungen nicht mehr besitzen und je nachdem, wo der Kondensator dann schaltungstechnisch eingebaut ist, ist das für die Funktion der gesamten Schaltung dann mehr oder weniger schlimm.

Schauen wir uns mal an, was für Kapazitäten hier eingebaut sind:

Bauteil	Wert	Zweck/ Einfluss
C15	1000 μ F	Siebelko für 13,2V
C11,C12	2 μ F	Siebelko für die 440V
C7	2,5nF	zwischen den beiden Gittern der Röhre RÖ1
C6	5nF	Tiefpassfilter für AC auf der DC
C16	100nF	Regelverhalten Netzteil 13,2V
C5	100nF	Eingangstiefpass für DCV am Eingangsbuchse 3
C3	3nF	Frequenzgangskompensation Eingang 9
C17	1nF	dito, Eingang 8
C2var	4..29nF	dito, Eingang 7
C1	18nF	Koppel-C für Tastkopf

Ich prüfe alle diese Bauteile sowohl mit meinem LCR-Meter als auch mit meinem Leckstromtester (Abbildung 28), der immerhin bis zu max. 330V Prüfspannung liefert. Und was soll ich sagen: in diesem uralten URU sind Bauteile, die noch mit dem Datecode 4/62 bedruckt sind (Elkos von Bosch, der heute längst keine Elkos mehr baut, sondern an selbsteinparkenden Autos herumentwickelt)- aber nach selbst mehr als 60 Jahren noch immer perfekt funktionieren!

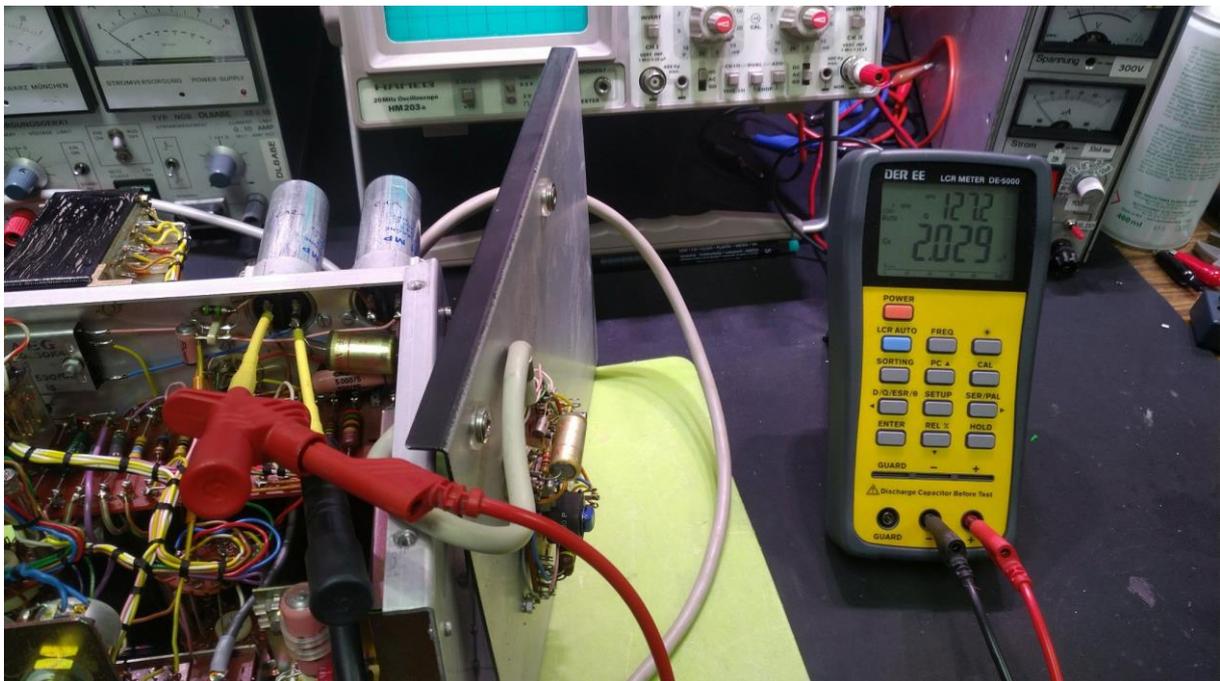


Abbildung 27: die alten Bosch-Elkos sind selbst nach 60 Jahren noch spitze- und können bleiben!!

Ehrlich gesagt bin ich mir nicht sicher, ob selbst unsere HiFi-Puristen, die ja dafür bekannt sind, auf teilweise extravagant wirkende Bauteilqualität Wert zu legen, am Ende solch gute Bauteile in ihren Anlagen haben. ;-)



Abbildung 28: mit diesem selbstgebastelten Leckstromtester kann ich Kondensatoren auf Isolation testen

Will sagen: ich würde nicht dafür die Hand dafür ins Feuer legen, dass selbst die teuersten, heutzutage gefertigten Elkos, genauso lange halten werden wie die Technologie von 1960. Ich bin echt mehr als beeindruckt: kein einziger Kondensator muss getauscht werden; R&S hat bereits damals eine Bauteilqualität verbaut, die absolute Spitzenklasse ist!

9 Abgleich(versuch)

Nun, da es in diesem Röhrenvoltmeter sonst scheinbar nix mehr zu reparieren oder zu ersetzen gibt*, beginnen wir mit dem Abgleich. Das Netzteil mit seinen 13,2V bzw. 12,6V haben wir ja schon justiert (R62) und die Anodenspannung korrigiert. In diesem Zustand lasse ich es nun einige Stunden eingeschaltet warm laufen, denn das mag auch die Röhre wieder aktivieren und möglicherweise entstandene Oxidschichten auf den Elektroden abbauen. Außerdem sollten alle Arbeitspunkte gut eingeschwungen sein, bevor ich nun irgendwelche Justierungen mache. Kleiner Hinweis: es lohnt sich, einen kleinen Tropfen Sicherungslack auf R62 zu machen, denn der verstellt sich gerne von allein, wenn man mit dem URU herumhantiert- insbesondere wenn die Rückenplatte nicht festgeschraubt ist, sondern noch an der "Nabelschnur" hängt und auf dem Tisch herumschleift.

* mal sehen und nicht zu früh freuen!

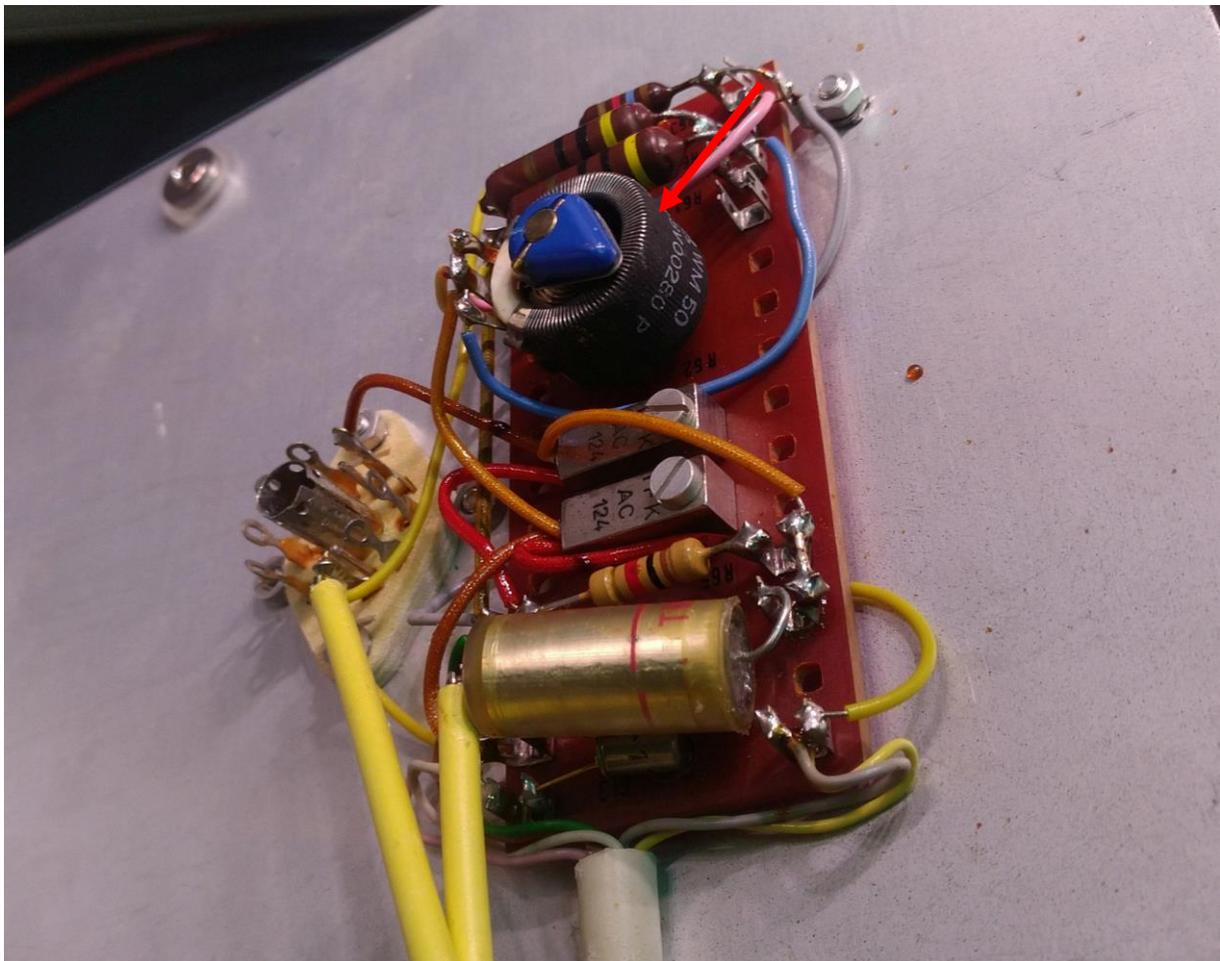


Abbildung 29: die Netzteilplatine mit R62 (Pfeil) ist auf der Rückenplatte des URU untergebracht

Da es für das URU leider ums Verrecken keine Abgleichanleitung zu geben scheint, muss ich mir jetzt selber was ausdenken. Ich fange an mit dem Nullabgleich im +V Modus. Das nennt das Manual "Hauptabgleich", denn damit gleicht man die Brückenschaltung auf Null ab. Das macht man immer mal wieder, so dass das dafür benötigte Bedienelement (R59) als Rändelrad nach außen geführt ist. Sollte der Abstimmbereich von R59 nicht ausreichen, kann man den mit R28 entsprechend nachstellen.



Abbildung 30: das hier ist R59 (Pfeil)

10 neue Erkenntnisse!

Als hätten wir es geahnt, läuft natürlich nicht alles glatt! Und zwar finde ich beim Überprüfen mit dem Kalibrator heraus, dass der letzte Messbereich -nämlich der mit 1000V- defekt zu sein scheint. Während alle anderen Bereiche recht gut innerhalb etwa 1,5% max. Fehler liegen (lediglich der 3V-Bereich ragt mit knapp 3% Anzeigefehler noch heraus, aber darum kümmern wir uns später), reichen selbst 1100V nicht aus, um den Zeiger auf die "1000" zu schieben! Er bleibt störrisch bei maximal 915V stehen! Verflixt!

Fluke5700A	Anzeige			
+V				
Soll	IST		VAR mit Fluke 5700A => Abweichung	
0,3V	0,3		0	
1V	0,995		-0,50%	
3V	3,05	✓	+2,9%	
10V	10	✓	+0,3%	
30V	29,97		-0,33%	
100V	99,5		-0,40%	
300V	296		-1,40%	
1000V	895 (!)		>-10%	selbst bei 1100V nur die Anzeige "915V"

Abbildung 31: erster Versuch der DCV-Kalibrierung

Also mache ich einen kurzen Linearitätscheck. MB=1000V und schrittweises Einspeisen von Spannungen von 100...1000V. Und siehe da: während Spannungen bis etwa 700V sehr sauber angezeigt werden, beginnt etwa dort dann der Problembereich, wo der Anzeigefehler mit höheren Spannungen immer größer wird. Wir laufen also in so eine Art "Kompression"- das Verhältnis von eingespeister und angezeigter Spannung wird nichtlinear!

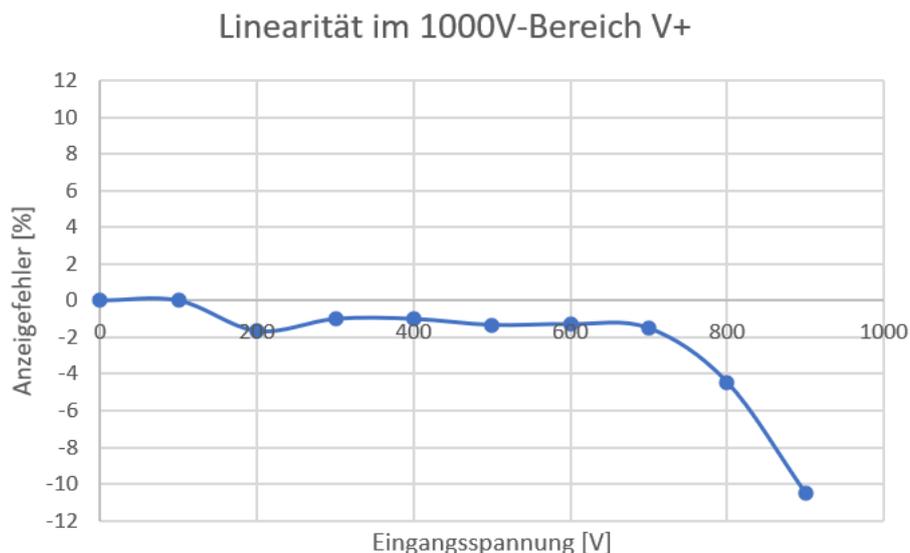


Abbildung 32: Kompressionseffekt im 1kV-Bereich

Zuerst versicherte ich mich natürlich, ob das in den kleineren Messbereichen auch so ist, denn eine klemmende Zeigermechanik könnte ähnliche Effekte hervorbringen. Doch hier ist alles prima. Diesen Kompressionseffekt habe ich wirklich nur im 1000V-Bereich und bei entsprechend hohen Spannungen.

Es hilft nichts- die Kalibrierung/Justierung ist gescheitert! Ich muss zurück an den Arbeitsplatz und nachsehen, was hier los ist! Eine Befürchtung habe ich allerdings schon...

Vorgucker:

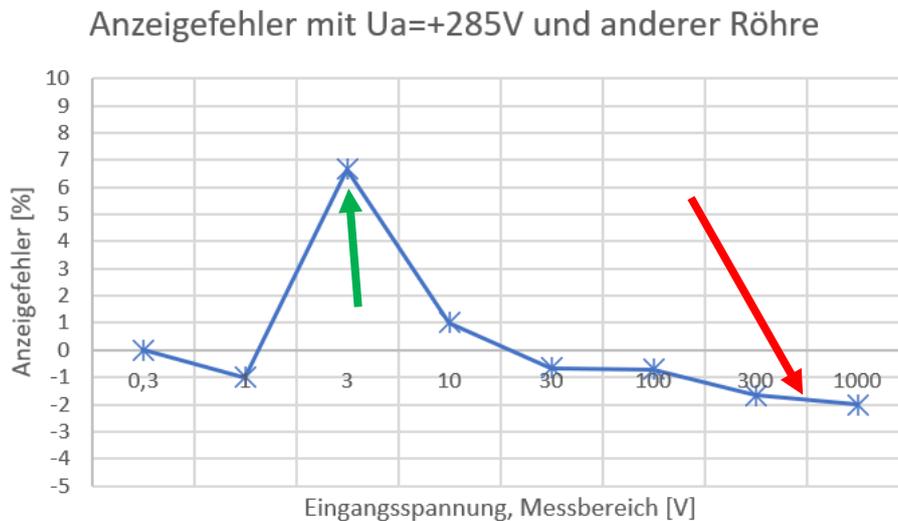


Abbildung 33: mit der anderen E80CC Röhre im URU ist der Kompressionseffekt geringer (Pfeil rot)! Ein Problem im 3V-Bereich haben wir aber trotzdem (Pfeil grün)

11 Anodenspannung

...und die wird sich auch bewahrheiten: die nun auf 265V gesenkte Anodenspannung reicht nicht mehr aus, um den Messwerksstrom in diesem Messbereich noch zu treiben! Verflixt!

Für eine Erklärung hole ich mal etwas aus.

Das Messwerk hängt ja zwischen den beiden Triodensystemen der Röhre RÖ1 in einer Brückenschaltung. Während die eine Seite der Brücke immer auf einem festen Wert steht (einstellbar mit der Nullpunkteinstellung R59 bzw. R28), bekommt die andere Seite die zu messende Spannung an ihr Gitter angelegt. Die steuert in Folge durch und verstimmt damit die Balance der Brücke. Der Grad dieser Verstimmung ist dabei (normalerweise immer) proportional zur angelegten Messspannung und diese Verstimmung zeigt das Messwerk an. Vorgeschaltete Widerstände in Reihe zum Messwerk (R40..R45) definieren dann die verschiedenen Messbereiche. Wir haben außer dem 100MOhm/10MOhm Spannungsteiler direkt an der Eingangsbuchse (R32, R30,31) sonst keinerlei Eingangs-Widerstandsnetzwerk. Daher ändert sich auch der Eingangswiderstand des URU nicht: er ist in jedem Messbereich 100MOhm (Ausnahme: 0,3V und 1V, da ist er "nur" 10MOhm) und das zeichnet so ein Röhrenvoltmeter ja auch aus.

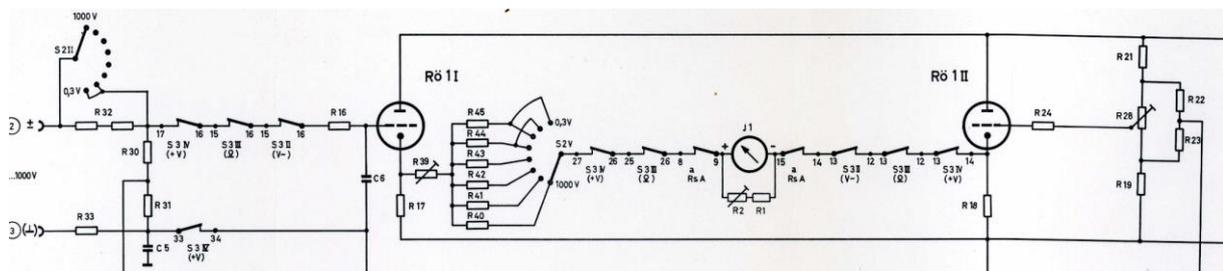


Abbildung 34: Schaltplanauszug R&S URU im V+ Modus (Quelle: R&S URU Service Manual)

Meine Vermutung: Wenn also nun die verschiedenen Messbereiche (3V..1000V) nicht VOR der Röhre sondern DAHINTER realisiert werden, bedeutet das, dass die Röhre in diesem gesamten Bereich absolut linear arbeiten muss. Und daran hapert es hier: die Anodenspannung von "nur" 265V reicht nicht mehr aus, um die Röhre zum Ende hin noch sauber auszusteuern. Sie kommt in die interne Sättigung/Begrenzung und liefert nicht mehr genug Potentialunterschied in die Brücke zum Treiben des Messwerks. Lasst uns mal nachrechnen.

Wir teilen die Messbrücke gedanklich mal in einer "linke" und eine "rechte" Hälfte. Die rechte ist quasi die stationäre Seite. Einmal auf Null justiert, ändert sich die Spannung dort so gut wie nicht. Wie ich nachmessen konnte, bleibt das Potential über R18 quasi durchgängig bei etwa +138V. Das nennen wir jetzt mal die LOW-Seite der Brücke.

Auf der linken Seite jedoch finden wir die +138V nur, wenn keine Spannung an die Messbuchsen angelegt ist. Sobald wir eine zu messende Spannung einspeisen, ändert sich das Potential über R17 infolge des Durchsteuerns der linken Seite von Rö1. Diese Spannungen nennen wir HIGH-Seite der Brücke.

Eine zwischen LOW und HIGH anliegende Spannung sorgt am Ende dafür, dass zwischen diesen beiden Punkten ein kleiner Strom fließt- der dann durch das Messwerk angezeigt wird. Solange dieser Strom klein gegenüber dem Querstrom der Brücke ist, kann er vernachlässigt werden und führt nicht zum Stören des Brücken-Funktionsprinzips. In wieweit das der Fall

ist, legten die R&S-Entwickler damals fest, als sie R17 und R18 dimensionierten (250kOhm). Der Wert ist ein Kompromiss aus Röhren-Ruhestrom (max. Verlustleistung!), Treiberstrom für das Messwerk (Verstimmung der Brücke) und auch einer notwendigen Strombegrenzung für das Messwerk infolge Fehlbedienung. 250kOhm hielten die Kollegen damals für einen sinnvollen Wert und bestimmt ist das auch so.

Wenn am Ende die Messwerksanzeigen also nur von der Brückenspannung zwischen LOW und HIGH abhängt und wir den Rest der Schaltung vernachlässigen können, dann wird es nun sehr einfach, Ströme und Spannungen zu berechnen!

Lasst uns mal ausrechnen: das Messwerk hat bei mir einen Innenwiderstand von 3435 Ohm. Der Vollausschlag liegt durch den Bypass via R1/R2 bei etwas mehr als 40µA. Für unseren Check rechnen wir mal mit 42µA für einen Vollausschlag auf 100% (=entspricht Anzeige 1000V im höchsten Messbereich).

Messbereich	R39 [Ohm]	R45..R40 [Ohm]	Messwerk [Ohm]	Rges [Ohm]	Strom [A]	Ubruecke [V]	R39= max R39= mitte R39= min	berechnet		gemessen HIGH [V]	Delta [%]
								Brückenpotential LOW [V]	HIGH [V]		
0,3V und 3V	2500	1200	3435	7135	4,00E-05	0,285	R39= max	138,3	138,535	138,78	0,17656137
	1250	1200	3435	5885	4,00E-05	0,235	R39= mitte				
	0	1200	3435	4635	4,00E-05	0,185	R39= min				
1V und 10V	2500	17180	3435	23115	4,20E-05	0,971	R39= max	138,3	139,218	139,45	0,16640768
	1250	17180	3435	21865	4,20E-05	0,918	R39= mitte				
	0	17180	3435	20615	4,20E-05	0,866	R39= min				
30V	2500	67750	3435	73685	4,20E-05	3,095	R39= max	138,3	141,342	141,36	0,01254402
	1250	67750	3435	72435	4,20E-05	3,042	R39= mitte				
	0	67750	3435	71185	4,20E-05	2,990	R39= min				
100V	2500	226600	3435	232535	4,20E-05	9,766	R39= max	138,3	148,014	148,05	0,0243423
	1250	226600	3435	231285	4,20E-05	9,714	R39= mitte				
	0	226600	3435	230035	4,20E-05	9,661	R39= min				
300V	2500	735800	3435	741735	4,20E-05	31,153	R39= max	138,3	169,400	167,14	-1,3343359
	1250	735800	3435	740485	4,20E-05	31,100	R39= mitte				
	0	735800	3435	739235	4,20E-05	31,048	R39= min				
1000V	2500	2347000	3435	2352935	4,20E-05	98,823	R39= max	138,3	237,071	224,82	-5,1675582
	1250	2347000	3435	2351685	4,20E-05	98,771	R39= mitte				
	0	2347000	3435	2350435	4,20E-05	98,718	R39= min				

Abbildung 35: natürlich habe ich die Dimensionierung der Brücke auch nachgerechnet...

In Reihe zum Messwerk liegt lediglich ein Vorwiderstand R40..R45 (je nach Messbereich) und der Abgleichwiderstand R39 (2,5kOhm). Nehmen wir mal an, dass wir R39 in Mittelstellung haben, also auf 1250 Ohm (er bewirkt am Ende lediglich eine Spannungsänderung von +/-100mV, das macht den Kohl jetzt nicht mehr fett, also vereinfachen wir das jetzt hier ebenfalls).

Bedeutet: die Brückenspannung speist eine Reihenschaltung von R39, Bereichsvorwiderstand und Messwerk. Fangen wir mal klein an. Im 0,3V-Mesbereich wird R45 verwendet. Der hat laut Stückliste 1200 Ohm.

$$R_{ges} = 1250 \text{ Ohm} + 1200 \text{ Ohm} + 3435 \text{ Ohm} = 5885 \text{ Ohm}$$

Um durch eine 5885 Ohm Widerstandskette einen Strom von 42µA zu treiben, braucht man laut ohmschem Gesetz exakt 0,235 Volt.

Bedeutet:

$$LOW = \text{const.} = 138V$$

$$HIGH = LOW + 0,235V = 138,235V.$$

Gemessen habe ich für diesen Fall in der Realität:

LOW = 138,4V

HIGH = 138,77V

d.h. die Brücken-Querspannung betrug 370mV. Das ist ein wenig mehr als die berechneten 235mV, aber die Größenordnung stimmt!

Auf diese Weise überprüfe ich sämtliche Messbereiche und finde eine sehr gute Übereinstimmung zwischen meiner rechnerischen Vorhersage und der Realität von 99,8%!

Und dann komme ich zum 1000V-Bereich: hier berechne ich eine notwendige Brückenspannung von etwa 237 Volt und messe jedoch nur knappe 225 Volt (siehe Abbildung 35)! Das heißt: da "fehlen" gute 12Volt (entspricht mehr als 5%) zum Erreichen einer Vollausschlag-Anzeige im Messwerk und dementsprechend zeigt es auch tatsächlich deutlich weniger an! In der Realität führt der zusätzlich im Laufe der Jahre im Wert leicht erhöhte R45 zu einem gesamten Anzeigefehler von mehr als 10%.

Nun müssen wir ins Datenblatt schauen. Wie viel Spannung bleibt denn im Triodensystem letztendlich "hängen" bzw. wie niederohmig kann denn eine E80CC überhaupt werden, um gegenüber dem R17 Kathodenwiderstand von 250kOhm noch genug Elektronen gegenüberstehen zu lassen, dass dort eine HIGH-Potentialspannung von knapp +240V erhalten werden kann? Und das bei einer Anodenspannung von nur +265V?

Meßwerte · Measuring values		
per System		
U_{ba}	250	V
R_k	920	Ω
I_a	$6 \pm 0,6$	mA
S	$2,7 \pm 0,5$	mA/V
μ	27	
R_i	10 (> 7)	k Ω
$-I_g$ ($R_g = 100 \text{ k}\Omega$)	$\leq 0,5$	μA
I_a bei $U_b = 250 \text{ V}$	≤ 15	μA
$R_a = 1 \text{ M}\Omega$		
$U_g = -17 \text{ V}$		
$ I_{a1} - I_{a11} $ bei $R_k = 0 \Omega$	≤ 3	mA
$U_{g1} = -5,5 \text{ V}$		
$U_{g11} = -5,5 \text{ V}$		
$-U_{ge}$ ($I_g \leq +0,3 \mu\text{A}$)	1,3	V

Abbildung 36: Auszug aus dem Telefunken-Datenblatt einer E80CC

Bei der Lektüre des Datenblatts muss ich mir leider eingestehen, dass ich längst nicht alles, was dort angegeben ist, auch wirklich verstehe. Ich finde die Angabe eines Innenwiderstands mit 10kOhm (siehe Abbildung 36), was bei 265V Anodenspannung und 250kOhm Kathodenwiderstand selbst bei Vollaussteuerung bereits für einen Spannungsabfall von mehr als 10 Volt über der Röhre sorgen würde. Dann erkenne ich, dass es bei $U_g = -17\text{V}$ eine Abschnürspannung definiert gibt und die abgedruckten Kennlinienfelder zur E80CC nahezu alle im Wertebereich zwischen $U_g = -10\text{V}$ und $U_g = 0\text{V}$ skaliert sind.

Mit diesem Hintergrundwissen wird mir der standardmäßig eingeschleifte Spannungsteiler am Eingang des URU mit R32 (90M Ω), R31 (1M Ω) und R30 (9M Ω) langsam klar.

Wenn man den nämlich nachrechnet, ist das eigentlich nichts anderes als ein 10/1 Vorteiler mit 100 M Ω Eingangswiderstand, der -bis auf die Bereich 0,3V und 1V- beim URU immer aktiviert ist. Bedeutet: bei 0..1000Volt zu messender Spannung bleibt hinter dem 10/1-Teiler am Ende eine Spannung von 0..100Volt zur Ansteuerung des Röhrengitters übrig. Auch wenn die Kennlinie in diesem kompletten Bereich längst nicht mehr linear zu sein scheint, passt immerhin die Größenordnung schon einmal sehr gut zu den Kennlinienfeldern im Datenblatt und somit auch ein erlaubter Aussteuerungsbereich zu sein.

12 Was nu?

Tja, mir kommt immer mehr der Verdacht, dass wir es hier einfach auch ein Stück weit mit den Grenzen des verwendeten Designs zu tun haben könnten. Also überlege ich, ob es eine gute Idee sei, die gerade reduzierte Anodenspannung nicht doch ein Stück weit wieder zu erhöhen und zu beobachten, ob sich das auf den Effekt auswirkt.

Also hatte die Falschlieferung ja doch einen Sinn: eine der 130V-Zener rausgelötet und stattdessen eine von den "falsch" gelieferten 150V eingesetzt. Dadurch erhöht sich die gesamte Anodenspannung also um 20 Volt. In Summe messe ich daher nun +285V Anodenspannung an der Röhre und damit steigt der bei 1kV Spannung angezeigte Skalawert von vorher 895V tatsächlich auf immerhin 940V!



Abbildung 37: mit leicht erhöhter Anodenspannung erreiche ich immerhin eine Anzeige von "940V"!

Wechsele ich jetzt noch die Röhre und stecke die vermeintlich "schwächer" gemessene in mein URU, so wird bei anliegenden 1000V tatsächlich sogar 980V angezeigt- was dann letztendlich sogar innerhalb der +/-2,5% Herstellertoleranz läge!

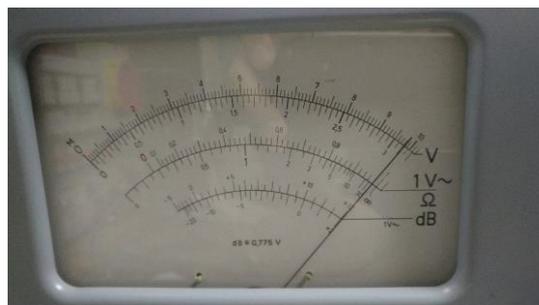


Abbildung 38: ...jetzt noch die andere Röhre, und ich erreiche immerhin "980V" als Anzeige!

Ohje, das sind aber ein Haufen deutlich wirksamer Einflüsse und ich fühle mich langsam sogar etwas unwohl. Wir haben Effekte von der Nullpunktdrift, den alten Messbereichs-Widerständen, der Nicht-Linearität des Messwerks und nun auch noch Kompressionseffekte der Röhre, die sowohl von Anodenspannung als auch sogar noch vom individuellen Zustand der Elektronenröhre selbst abhängt! Wie soll ich diese vielen Variablen denn noch alle verlässlich und voneinander isoliert herausarbeiten und die Wirksamkeit von Maßnahmen betrachten können? Will ich das Gerät "nur" in Betrieb nehmen und dafür tauglich machen oder starten wir jetzt hier nicht eigentlich insgeheim schon eine detaillierte Überarbeitung des URU-Konzepts und seines Designs?

13 RÖHRENTTEST russisch

Um thematisch bei meinem Kompressionsproblem im URU etwas weiterzukommen, beschließe ich, erst einmal den Einfluss der Röhre etwas näher zu untersuchen. Die reine Steilheitsmessung in [%] mit meinem Hickok TV-2 ging aufgrund der vorhandenen Einstelldaten zwar flott, reicht dafür aber allein als Informationsquelle nicht aus.



Abbildung 39: das ist ein von mir restaurierter Kalibr L3-3, von dem Gitarristen meiner ehemaligen Rockband liebevoll "Rörotnik" getauft :-)

Ich brauche dafür also Rörotnik, meinen genauso treuen, aber diesmal russischen L3-3 Röhrentester, den ich damals mal in intensiver Umbauaktion restauriert und für mich passend erweitert habe.

Beide Geräte (TV-2 und L3-3) haben ihre Vor- und Nachteile, weshalb ich auch beide verwende. Mit eigenem Prüfgenerator und kalibrierter Anzeige für Anodenstrom und Steilheit komme ich mit dem L3-3 aber vermutlich deutlich näher an die Datenblattwerte dran als mit dem TV-2. Dafür liebe ich die 6 Anzeigeeinstrumente des TV-2, mit dem man alle wichtigen Röhrenparameter immer sofort im Blick hat und nicht erst mittels Umschalter durch zahlreiche Positionen hindurchrühren muss- wie bei Rörotnik. Zudem hat er einen weiteren Nachteil: in der Regel muss ich mir für die für meine Art von Reparaturen benötigten Röhrentypen immer erst eine Prüfkarte erstellen, drucken und lochen. Beim TV-2 jedoch gibt es eine lange Röhrenliste mit den entsprechenden Einstelldaten, bei denen meistens ein passender Typ mit dabei ist, den ich sofort benutzen kann. Das geht natürlich deutlich schneller als erst das Basteln einer neuen Prüfkarte. Der Hintergrund ist aber verständlich: als rein russische Entwicklung hat der natürlich nur Prüfkarten für russische Röhrentypen dabei; keine europäischen und schon gar keine amerikanischen Typen. Das finde ich trotzdem sehr schade, denn den "Elektronen im Glas" ist es reichlich egal, unter welcher politischer Gesinnung die Anode steht, von der sie sich angezogen fühlen. Ich wette, die Elektronen fliegen genauso gerne zu einer russischen wie einer amerikanischen Anode ;-).

Konzentrieren wir uns nun aber lieber auf das Datenblatt der E80CC, denn zum Erstellen der Prüfkarte brauchen wir Informationen, wie genau die Röhren geprüft wird und welche Daten sie dann erreichen soll.

Und da sind sich in ihren Parametern alle drei großen Hersteller sogar bis auf die Nachkommastelle einig:

Röhre E80CC

SIEMENS, PHILIPS, TELEFUNKEN

mit $U_a=250V$, $R_k=920\Omega$

Werte einer neuen Röhre:

Anodenstrom: 5,4..6,6mA

Steilheit: 2,2..3,2mA/V

Lebensdauerende ist erreicht, wenn:

Anodenstrom: $< 4,3mA$

S: $< 1,8mA/V$

-I_g: $> 1\mu A$

Sehr nachahmenswert finde ich auch die Angabe über die Werte zum Erkennen des Lebensdauer-Endes. Hier hat man endlich mal einen Richtwert, wann man die Röhre austauschen muss.

Ein Problem allerdings: die ganzen Werte scheinen mit einem eingeschleiften Kathodenwiderstand von 920 Ω gemessen werden zu sein* - und den bietet Rörotnik leider nicht. Er bietet uns maximal 500 Ω an, die wir als Kathodenwiderstand auswählen können. Nun gut, probieren wir es erstmal damit. Im schlimmsten Fall habe ich aber noch eine Geheimoption, aber dazu gleich mehr.



Abbildung 40: bei Rörotnik habe ich Auftrennmöglichkeiten für jedes Signal eingebaut. Damit kann ich jederzeit externe Widerstände (z.B. Kathodenwiderstände) oder auch Amperemeter (z.B. zum Anodenstrom messen) einschleifen!

* stimmt nicht!!! Weiterlesen!

14 Ausdruck

Und jetzt kommt wieder was, wo ich den Designern von Computer-SW echt an den Hals springen könnte.

Für meinen L3 habe ich mir vor gut zehn Jahren eine Powerpoint-Datei mit verschiedenen Prüfkarten zum Ausdrucken gemacht. Da waren vorwiegend Röhren für Hammondorgeln drin, aber ich kann hier mit copy&paste auch weitere Blätter ergänzen und weitere Prüfkarten designen, auf Papier ausdrucken, mit der Lochzange lochen und dann im Röhrotechnik auf sein Parametrierfeld legen und die ganzen Stöpsel entsprechend stecken. So jedenfalls der Plan, als ich mir diese Powerpoint-Datei damals gemacht habe.

Das Problem: nachdem ich die neue E80CC-Prüfkarte nun erstellt habe, drucke ich sie aus- aber sie passt nicht! Nein, nicht elektrisch- das Problem ist rein mechanisch: der Ausdruck ist zu groß!

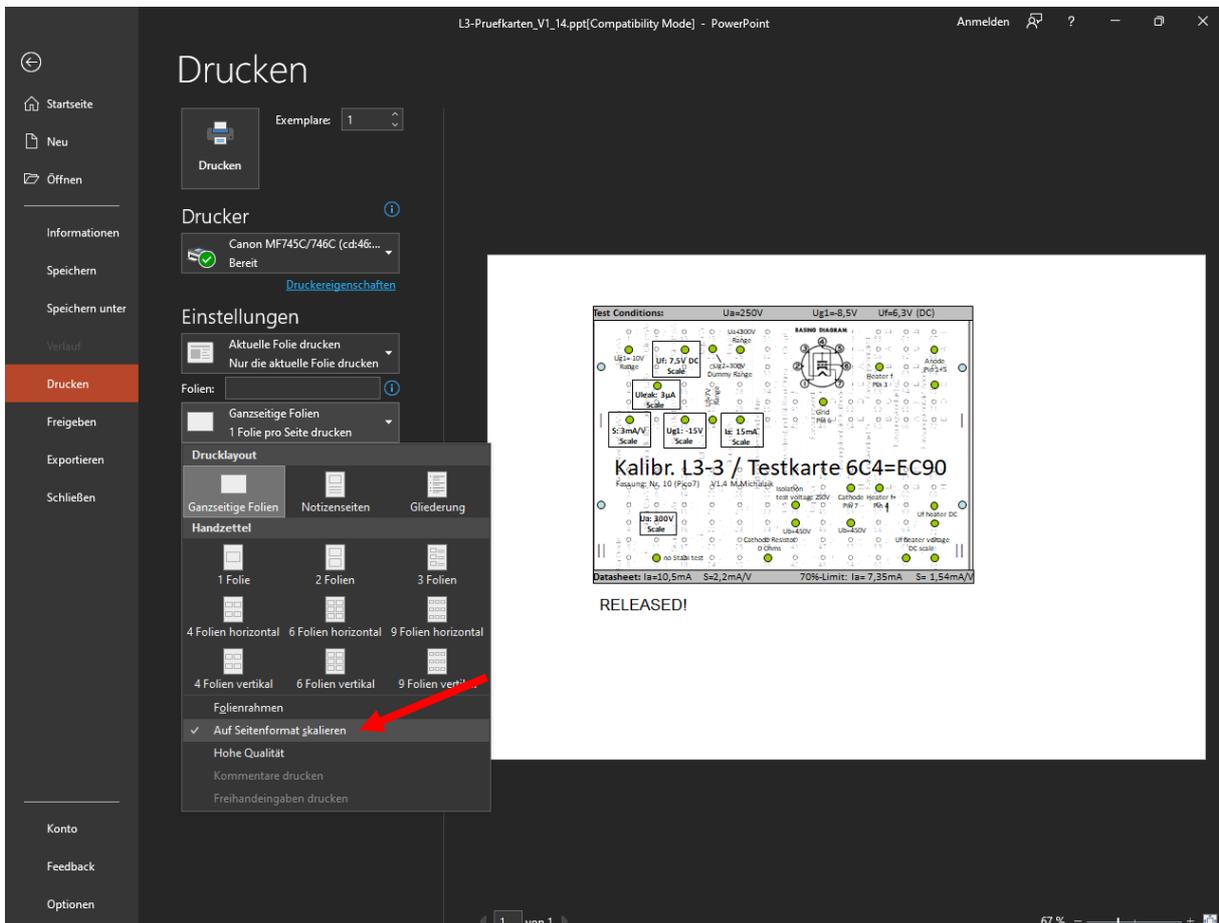


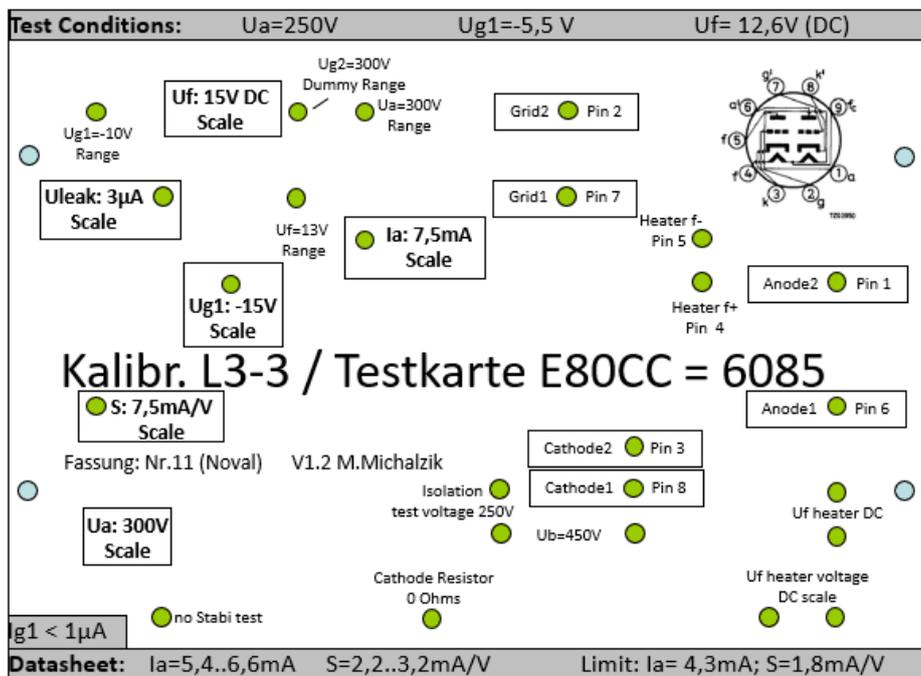
Abbildung 41: @Designer von MS Powerpoint: Warum bitte macht ihr sowas (Pfeil)?!? Warum immer mehr von diesen bescheuerten, versteckten Funktionen, die mir nicht helfen, sondern nur sinnlos meine Nerven kosten?!??

Nun habe ich nach zehn Jahren natürlich nicht mehr denselben Drucker wie früher, und es ist auch nicht mehr derselbe Computer, aber eine Angabe in "dpi", also "dots per inch" hat sich doch auch in zehn Jahren nicht verändert und auch wenn ich persönlich das europäische SI-System den ganzen "thou's", "inches" und "feet" der Amis vorziehe, so sollte man aber auch mit "dpi's" heute noch immer in der Lage sein, die endgültige geometrische Größe eines 1x1inch großen Rechtecks (=600x600 Druckpunkte) einigermaßen verzerrungsfrei auf Papier zu bringen.

Klappt aber nicht. Ich male ein 10x10cm Rechteck in Powerpoint und drucke es aus. Heraus kommen 10,5 x 10,5cm. Dann ändere ich die Formatvorlage, den Druckertreiber, die Papiergröße. Ich erhalte Ergebnisse von 8,5cm bis 10,5cm. Nur 10,0cm ist nicht dabei. Ich werde bald wahnsinnig!!

Freund Basti kommt vorbei und deaktiviert schließlich laut seufzend den Haken "Auf Seitenformat skalieren" in den Powerpoint-Einstellungen (siehe Abbildung 41), der von den SW-Designern natürlich entsprechend in einem Untermenü versteckt wurde. Natürlich alles nur zu meinem eigenen Schutz vor Überforderung durch meinen eigenen Intellekt! Denn wer braucht schon maßstabsgerechte Ausdrucke- es ist doch viel wichtiger, dass man stattdessen doppelseitig druckt und alles runde Ecken hat.

Leute, ich verzweifele echt. Am meisten ärgert es mich, dass man nicht aufhört zu behaupten, dass alles mit der Zeit doch "einfacher" würde. Ich will die Aussagen eines amerikanischen Großkonzerns bestimmt nicht öffentlich anzweifeln, doch ich frage mich nur: "einfacher" für wen?



RELEASED!, 15NOV2022

Abbildung 42: so sieht meine E80CC-Prüfkarte am Ende aus (keine Gewähr für Richtigkeit!)

15 Messen mit Röhrotrik

Gut, nachdem diese Hürde nun auch genommen ist, verspüre ich irgendwie eine echte Genugtuung beim Benutzen des uralten, aber durchaus durchschaubaren Stückchens historischer Technik beherbergenden Röhrenprüfgerätes mit der eingebauten Sergeev-Schaltung. Denn der verhält sich auch in 20 Jahren noch so, wie man ihn ursprünglich gebaut hat- jede Wette. Kein Frust und keine Überraschungen* durch zwischenzeitlich implementierte Updates. Ganz puristisch und ursprünglich. Eine echte Wohltat.

*** Wuaaaaahhhhhh!** Weiterlesen!

Und vor allem zahlt sich nun auch mein Umbau aus: ich habe an diesem Gerät eine komplette Breakout-Box eingebaut, an der ich sämtliche Leitungen (Heizung, Kathode, Gitter, Anode, Schirmgitter) unterbrechen und dort was einschleifen kann (siehe Abbildung 40). So auch beim Kathodenwiderstand: den eingebauten 500Ohm ergänze ich um einen 390Ohm, der per Krokodilklemmen noch zusätzlich in die Kathodenleitung eingeschleift wird und so in Summe 890Ohm Kathodenwiderstand ergibt. Das ist nah genug für mich an den 920Ohm aus dem Datenblatt!

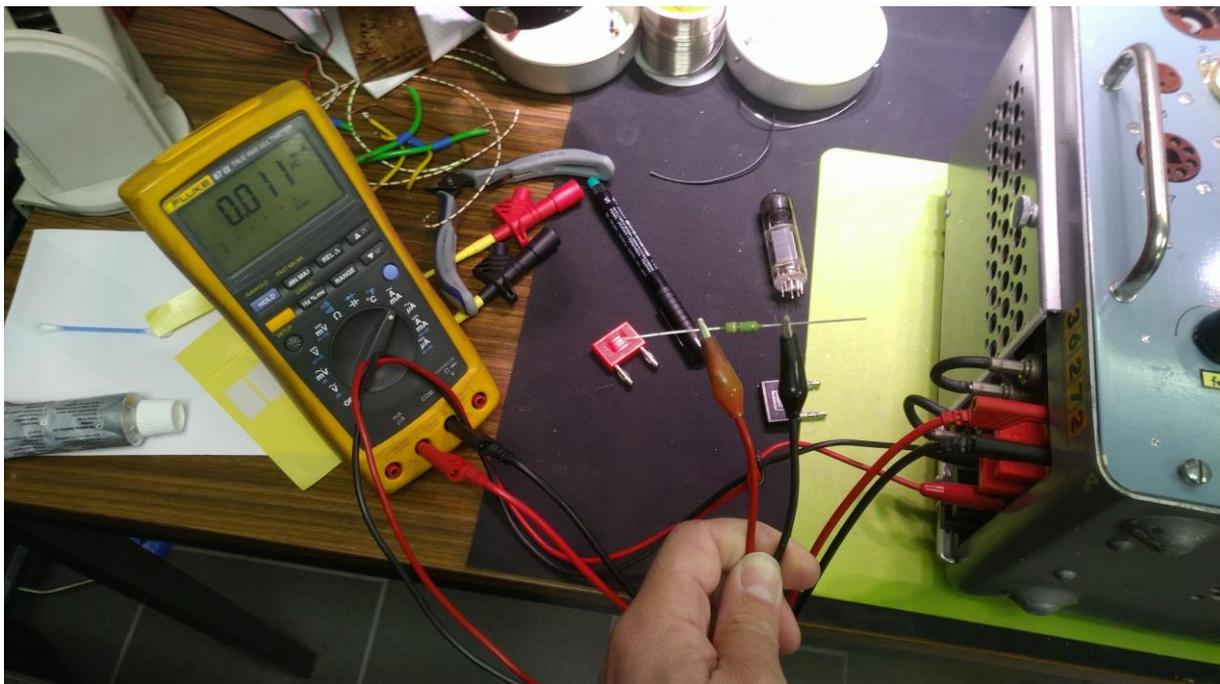


Abbildung 43: dank der Breakout-Box kann ich den benötigten Kathodenwiderstand manuell einfügen

Allerdings bin ich ein wenig unsicher bezüglich der Messmethode. Misst man hier wirklich mit 0V Gitterspannung; also maximaler Durchsteuerung der Röhre? Das kann ich irgendwie kaum glauben! Im Philips-Datenblatt schaue ich nach und finde dort ebenfalls erst den Kathodenwiderstand von $R_k=920\text{Ohm}$ angegeben; dann allerdings beim Anodenstrom eine Bemerkung, die wiederum auf eine andere Bemerkung einer anderen Seite verweist, wo man $R_k=0\text{Ohm}$ und $V_g=-5,5\text{V}$ lesen kann. Nanu? Was gilt denn nun? 920Ohm oder 00hm?

Interessant ist jedoch, dass man bei $U_g = -5,5V$ im abgedruckten Diagramm einen Anodenstrom von $6mA$ abliest- was auch dem angegebenen Sollwert entspricht.

Ich mache also folgenden Test:

$U_a = +250V$

$R_k = 920\Omega$ (also in Wahrheit 890Ω , aber das vernachlässigen wir)

$U_g = -5,5V$

Und dann messen wir.

Die geschenkte E80CC, mit der ich die höhere Kompression, aber beim TV-2 Test die besseren Werte hatte, sieht in Röhrentechnik tatsächlich etwas anders aus:

Anodenstrom:

System I/II: $2,2mA / 2,3mA$

Steilheit:

System I/II: $1,8mA/V / 1,9mA/V$

Und die gekaufte:

Anodenstrom:

System I/II: $2,8mA / 2,7mA$

Steilheit:

System I/II: $1,8mA/V / 1,8mA/V$

Huch! Die im Hickok TV-2 in der Verstärkung als "schlechtere" Röhre getestete liefert trotzdem mehr Anodenstrom und könnte damit in Wahrheit in der URU-Anwendung sogar die "bessere" sein! Denn: auch im R&S URU sahen wir damit ja auch die Kompressionseffekte nicht ganz so schlimm ausgeprägt wie mit der anderen Röhre, was das untermauern würde!

Wie waren denn aber nochmal die Grenzdaten aus dem Datenblatt?

Anodenstrom $4,3mA$ und Steilheit $1,8mA/V$!

Hmmm.....irgendwie werde ich das Gefühl nicht los, dass wir die Röhren ohne einen Kathodenwiderstand messen müssen, obwohl das im Datenblatt so leider nicht explizit drinsteht. Zumindest nicht für mich erkennbar.

Also Kathodenwiderstand raus, Kurzschlussbrücke wieder rein und die Messung wiederholt.

Die geschenkte (SIEMENS):

Anodenstrom:

System I/II: $4,64mA / 4,84mA$

Steilheit:

System I/II: $2,6mA/V / 2,6mA/V$

Und die gekaufte (TELEFUNKEN):

Anodenstrom:

System I/II: 5,66 / 5,34mA

Steilheit:

System I/II: 2,4mA/V / 2,4mA/V

Aha! Und ich behaupte, dass das nun endlich die "richtige" Art war, sie zu messen, also mit $R_k=0\Omega$. Und mir geht so langsam was auf...

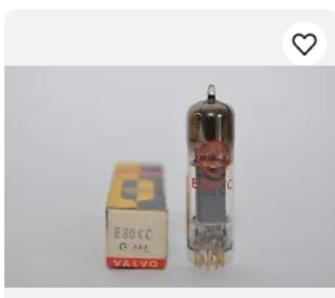


Abbildung 44: Testen des Prüfkarten-Prototyps für die E80CC

16 Mir geht ein Licht auf

Jetzt, wo ich die Röhren auf Rörotrnik gemessen und festgestellt habe, dass die vermeintlich "schlechtere" Röhre zwar die kleinere Steilheit hatte (das hatte ich mit dem TV-2 gemessen), aber den höheren Anodenstrom, beginne ich zu lernen, dass genau dieser (der Anodenstrom, bzw. vielleicht damit auch der Innenwiderstand!) wohl eine wichtige Eigenschaft der Röhre für das R&S URU sein muss. Denn anders ist nicht zu erklären, dass die geschenkte Röhre - trotz etwas höherer Steilheit- deutlich größere Kompressionseffekte im 1000V-Bereich zeigt als die gekaufte.

Und jetzt dämmert es mir auch langsam mit den 160V Z-Dioden. Eine neue, also NOS (NewOldStock) Röhre des Typs E80CC wird im Internet zurzeit mit Preisen von teilweise 250€ und mehr(!) gehandelt. Das ist deutlich mehr als der Wert des Messgerätes an sich. Wenn man also das URU jahrelang im Einsatz hatte und man langsam feststellt, dass im 1000V-Bereich zunehmend Kompressionseffekte einsetzen durch eine alternde Röhre, so steht man vor der Entscheidung, was man nun macht, denn eigentlich wäre nun eine neue Röhre fällig!



Valvo E80CC Preamp Tube, Pinched Waist, D-Foil Getter, WK6, NIB, NOS
 Neu (Sonstige) | Gewerblich
EUR 439,00
 Sofort-Kaufen
 +EUR 4,90 Versand
 32 Beobachter

Abbildung 45: Sicher ein Extrembeispiel, aber real: die E80CC sind kein günstiges Vergnügen! (Quelle: eBay-Angebot, Dezember 2022)

Wenn eine neue Röhre gleich mehrere hundert Euro kosten soll, man mit dem immer stärker werdenden Kompressionseffekt aber nicht leben kann oder will- dann ist die Versuchung schon hoch, aus der alten Röhre noch etwas Lebensdauer "herauszupressen". Und wie geht das? Ihr ahnt es: den Anodenstrom irgendwie weiter erhöhen! Und da nach dem ohmschen Gesetz für mehr Strom am gealterten Innenwiderstand auch einfach eine höhere Anodenspannung wieder für mehr Elektronenfluss sorgen könnte, ist das schon eine verlockende Idee. Die Röhre hat ja die beste Lebenszeit sowieso schon hinter sich, da ist es nun auch gar nicht mehr so schlimm, wenn wir die Anodenspannung auf Werte über Spezifikation hochreiben (+320V)- solange sie eben nicht durchschlägt. Wir löten statt der 130V-Typen jetzt Z-Dioden mit 160V ein, erhöhen damit die Anodenspannung von den ca. +260V auf +320V, zwingen die Röhre somit zu mehr Anodenstrom und pressen ihr damit quasi noch das letzte Quentchen an Lebensdauer heraus, was irgendwie geht. Wie bei einem fast leeren Joghurt, dessen Becher man am Ende mit der Zunge ausleckt, weil der Löffel nichts mehr zu fassen kriegt.

Unser Hund hat das damals übrigens immer in Perfektion gemacht. Man glaubt nicht, wie viele Zentimeter Zunge aus so einem Tier herauskommen können, wenn es schmeckt.

Nun- was bedeutet das aber jetzt für uns?

Ab sofort jeden Joghurt mit der Zunge schlecken- auch ganz neu geöffnete? Oder nur noch Joghurts kaufen, die schon jemand anders vorher ausgelöffelt hat, so dass sich das Schlecken besser lohnt?



Abbildung 46: hatte beim Auslecken von Joghurts eine ECHT lange Zunge: unser leicht pummeliger, aber sehr lieber Hund "Bessy" (Bild ist ca. von 1999)

Schwierige Frage. Aber wenn ich auf mein Herz höre, ist die Antwort doch schon klar: löte ich die alten 160V-Dioden wieder ein, um mit einer (unzulässig!) erhöhten Ausgangsspannung noch die letzten Joghurtreste herauszuschlecken, kann man das eigentlich nur machen, wenn man das absolut sauber dokumentiert und einen Hinweis und eine Erklärung direkt im Gerät anbringt, so dass jeder andere Elektronikbastler in vielleicht weiteren 60 Jahren ;-) die Hintergründe und den Umfang der Änderungen verstehen und notfalls auch wieder rückgängig machen kann. Denn genauso wie ich jetzt lange gerätselt habe, was hier wohl passiert sei, und mich über die verlorene Zeit ärgere, so würde es meinem Nachfolger in der Zukunft wohl auch gehen.

Ein weiterer Grund ist für mich jedoch viel entscheidender: ich persönlich mag es nicht, Bauteile über ihrer Spezifikation zu betreiben, weil man dann nie weiß, was für Konsequenzen das haben kann. Schließlich bin ich weder Röhrenentwickler noch Gott. Ich kann nur eines sagen: solange ich innerhalb der gültigen Parameter für diese Röhre bleibe, habe ich selber ein erheblich besseres Gewissen und ich schlafe auch ruhiger.

Daher werde ich die Anodenspannung auf den aktuellen +285V bestehen lassen, die momentan "bessere" Röhre (also die mit größerem Anodenstrom) einsetzen und sowohl im Innern einen Aufkleber über die 285V-Modifikation sowie außen einen Aufkleber über den erhöhten Messfehler bei Spannungen >800V aufbringen.

Meiner Meinung nach die einzige ehrliche Lösung, die nicht gleich hunderte Euro kostet und trotzdem nachhaltig ist.

17 Stress mit Rörotnik!

Und dann geschah es: mein liebevoll von unserem ehemaligen Gitarristen getaufter "Rörotnik" L3 Röhrenprüfer gibt auf! Ich hatte die E80CC Röhre vor dem finalen Einbau in das URU noch einmal in das Prüfgerät eingesteckt und wollte sie mit 6mA Anodenstrom ein wenig laufen lassen, um ihre Stabilität und ggfs. Isolation im heißen Zustand zu prüfen. Mitten-drin jedoch versagte die negative Gitterspannung an Rörotnik und als ich eine Stunde später wieder ins Messplatzzimmer kam, glühte mich eine E80CC mit 27mA Anodenstrom verärgert an! Was war passiert? Kurzschluss in der Röhre? Sicherung durch?

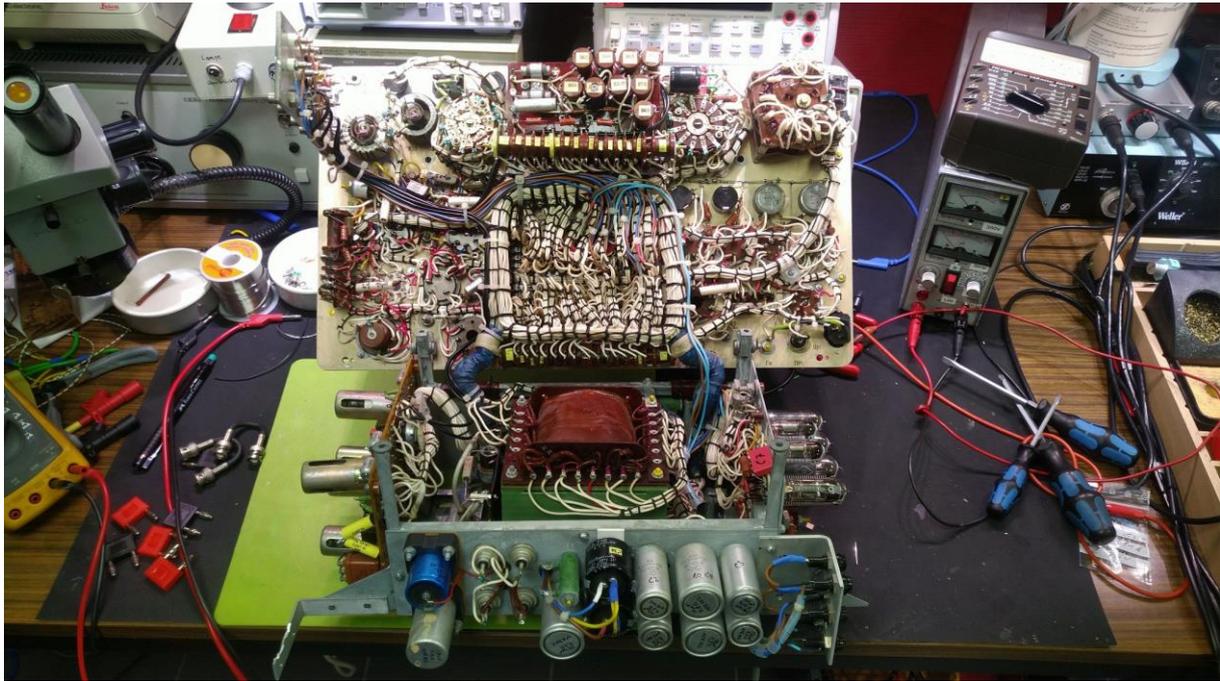


Abbildung 47: Rörotnik stellt die Aktivität ein. Selbiges wünschen wir uns auch alle für den nun seit fast einem Jahr dauernden Krieg zwischen Russland und der Ukraine...:-(

Nein, es sieht ganz so aus, als ob die negative Vorspannung meines L3 zwischendrin kaputt ging, denn ich erreiche keinerlei Ausschlag am Messinstrument mehr beim Aufdrehen der Gitterspannung. Und was tut eine Röhre, deren Gitterpotential nicht mehr negativ gegenüber der Kathode ist? Klar- Vollgas! Die Elektronen düsen mir allem, was sie haben, begeistert und ungebremst in die Anode! Mist. So war das nicht geplant!

Anstatt mein URU weiter zu verstehen, macht mir Rörotnik also eine weitere Baustelle auf. Als ob ich schon sonst nicht genug zu tun hätte. Und so wirklich will ich mich darum gar nicht kümmern, denn:

18 Nicht erklärbare Schwankungen

....auch das URU gibt mir gerade weitere Hausaufgaben auf! Beim erneuten Prüfen der Endbereichsausschläge fällt mir der 3V-Bereich mit über 6% Abweichung sehr unangenehm auf. Zudem zeigt sich, dass es dort eine Art Offset zu geben scheint, die aber nur im 3V-Bereich so richtig übel zuschlägt. Will sagen: man gleicht das URU mit R59 auf der Frontplatte im kleinsten Bereich (0,3V) wie im Handbuch beschrieben sauber auf Null ab und schaltet dann die Messbereiche hoch. Trifft man dann unterwegs den 3V-Bereich, schlägt das Gerät auf einmal aus- trotz gesteckter Kurzschlussbrücke im Eingang. Das jedoch nur im 3V-Bereich und sowohl darunter und auch darüber so gut wie nicht. Sehr seltsam! Wo kommt das denn schon wieder her?

Nach längerem Herumforschen reime ich mir das alles so zusammen: der im 3V-Bereich benutzte 100M Ω -Eingangswiderstand reicht nicht mehr aus, um das Gitter stark genug auf "Null" zu ziehen, so dass ein sich dort so etwas wie eine kleine Ionisationsspannung ausbilden kann, die die Röhre leicht aussteuert! Wir vermuten also, dass ein (unerwünschter) Gitterstrom aus(!) der Röhre für diesen Effekt verantwortlich ist.

Zur Erklärung:

Eine der wichtigsten Eigenschaften eines Röhren-Voltmeters ist die, dass sein Messeingang normalerweise irre hochohmig ist. Das URU beispielsweise bietet 100M Ω Eingangswiderstand in den Messbereichen von 1000Volt bis hinunter zu 3V. Dafür verantwortlich ist ein vorgeschalteter 10/1-Teiler, der für entsprechend geringen Eingangsstrom und Hochohmigkeit am Messeingang sorgt.

Den kann man allerdings für die beiden empfindlichsten Bereiche -nämlich 1V und 0,3V- nicht mehr aufrecht erhalten, weil sonst die messbare Brückenspannung einfach zu klein würde. Also brückt man dort diesen schönen 10/1-Teiler, der für die 100M Ω Eingangswiderstand sorgt. Damit erhält man dann zwar um Faktor 10 größere Spannungen- erkaufte sich damit allerdings auch einen um Faktor 10 kleineren Eingangswiderstand (10M Ω). Und ich glaube, dass hier der Hund im Pfeffer begraben liegt: wie ich durch sporadisches Ablöten der Kondensatoren C5, C6 und C7 weiß, sind es nicht die Kondensatoren, die hier evtl. durch Leckströme die Anzeige beeinflussen. Auch der Eingang ist während des Tests kurzgeschlossen, somit kann der Offset im 3V-Bereich auch dadurch nicht erklärt werden. Die einzige Möglichkeit, die das dann noch erklären kann, ist: ein Gitterstrom, AUS dem Gitter der Röhre, der in den Spannungsteiler fließt und dort einen Spannungsabfall (=Offset) auslöst. Der Widerstand, an dem diese Spannung abfällt, ist vermutlich der Eingangswiderstand - also die 100M Ω bzw. die 10M Ω . Und nach $U=R \cdot I$ würden selbst bei einem so geringen Gitterstrom wie z.B. 1 μ A (=die im Datenblatt der E80CC benannte Verschleißgrenze!) an einem 10M Ω -Widerstand bereits 10Volt abfallen- der dann den Arbeitspunkt der Röhre verschiebt und damit die Brücke aus dem Nullpunkt-Gleichgewicht bringt => Offset!!

Dass dieser sprunghafte Offset im 3V-Bereich verschwindet, wenn man den 90M Ω -Vorwiderstand R 32 versuchsweise mit einem Krokodilkabel brückt, ist ein weiteres Indiz dafür, dass vermutlich die Hochohmigkeit des Messeingangs zusammen mit einem unerwünschten Röhren-Gitterstrom diesen Offset auslösen wird!

Das erklärt auch, dass der Effekt sich in der Größe des Offsets ändert, wenn ich eine andere E80CC in das Gerät stecke: eine andere Röhre hat einen anderen Punkt auf ihrer individuellen Lebensdauerkurve und damit vermutlich auch einen anderen Gitterstrom!

19 Gitterstrom

Ja aber wieviel Gitterstrom kommt denn nun raus aus den beiden E80CC, die ich hier zur Verfügung habe? Können wir das nicht messen? Doch! Das heißt- nein, eigentlich nicht. Denn unser Röntnik ist ja noch kaputt. Wenn der heile wäre, könnten wir das messen. Aber so leider nicht.

Bedeutet: wir müssen jetzt doch erst Röntnik reparieren. Eigentlich wollte ich das erst später machen, wenn das URU abgeschlossen ist, aber es geht halt nicht anders, wenn ich hier weiterkommen will.

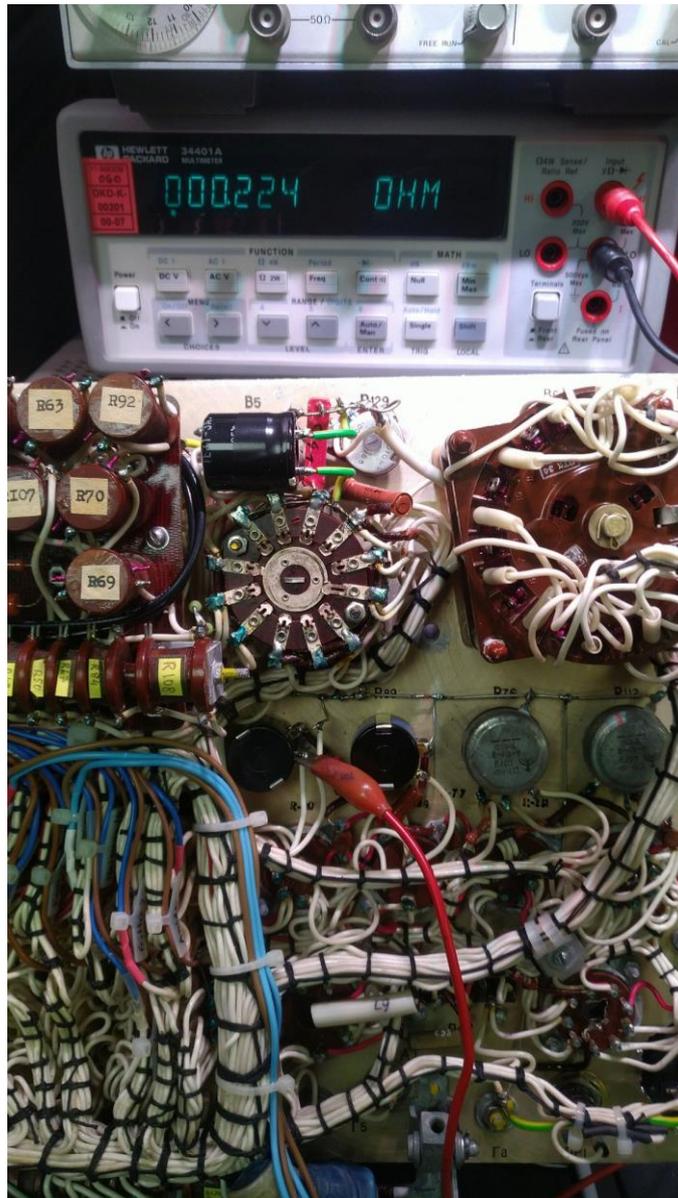


Abbildung 48: Kurzschluss auf der Gitter-Vorspannung. Hätte ich jetzt bereits gewusst, dass das nur ein falsch eingestellter Schalter auf der Frontplatte war, hätte ich mir viel Arbeit und Zeit ersparen können...

20 Röhrotechnik lebt!

Denn: ich bin ja ehrlich gesagt kein großer Fan von "Zwischenprojekten", da das einen immer von der eigentlichen Reparatur ablenkt. Aber ich kann es leider nicht ändern, denn ich werde zu dem Röhren-Offset nur dann eine einigermaßen fundierte Erklärung finden, wenn ich den Gitterstrom gemessen habe.

Also zugemacht den Ordner mit dem URU-Schaltplan und geöffnet das alte Projekt Nr.145 mit dem Namen "L3-3" aus dem Jahre 2012. Wow, gute zehn Jahre ist das wirklich schon her!

Die Fehlersuche ist leider ziemlich umständlich, denn eine der größten Hürden bei diesem Gerät ist die wirklich verwirrende Verkabelung und Anordnung der Bauteile. Das ging bei RPGs dieser Zeit und Bauart damals vermutlich nicht anders, aber die Suche nach dem ziemlich schnell realisierten Kurzschluss in der Gitterspannung wird dadurch nicht einfacher. Zuerst hatte ich die Spannungserzeugung in Verdacht, aber die liefert -wenn man die Ausgangsleitung ablötet- brav ihre negativen -15Volt bzw. -65V DC. Das Problem ist, dass es direkt nach dieser Schaltung einen dicken Kurzschluss zu geben scheint, der diese Gitterspannung knallhart auf Masse nagelt.

Ich messe mich weiter zum Steckfeld von Röhrotechnik. Dort konfiguriert man ja, welche Spannungen auf welchen Pins der Röhrenfassung kontaktiert werden sollen. Aber auch das Steckfeld ist nicht der Auslöser des Kurzschlusses.



Abbildung 49: mit einem kapazitiven Leitungsfinder musste ich teilweise die Signale in den dicken Kabelbäumen verfolgen!

Also weiter zum dicken mehrlagigen Umschalter. Ein Albtraum, denn hier bündeln sich Kabel und Bauteile in 5 Ebenen und 12 Positionen um den Schalter herum, wie soll ich hier da noch den Überblick behalten?! Das wird echt schwer. Zuerst schaue ich, dass meine beiden -zusätzlich von mir angebrachten- Siebkondensatoren nicht einen Kurzschluss bekommen haben. Haben sie aber nicht. Auch der damals von mir veränderte Koppelkondensator für die

Einspeisung des 1,4kHz Prüftongenerators auf die Gittergleichspannung ist nicht der Bösewicht.

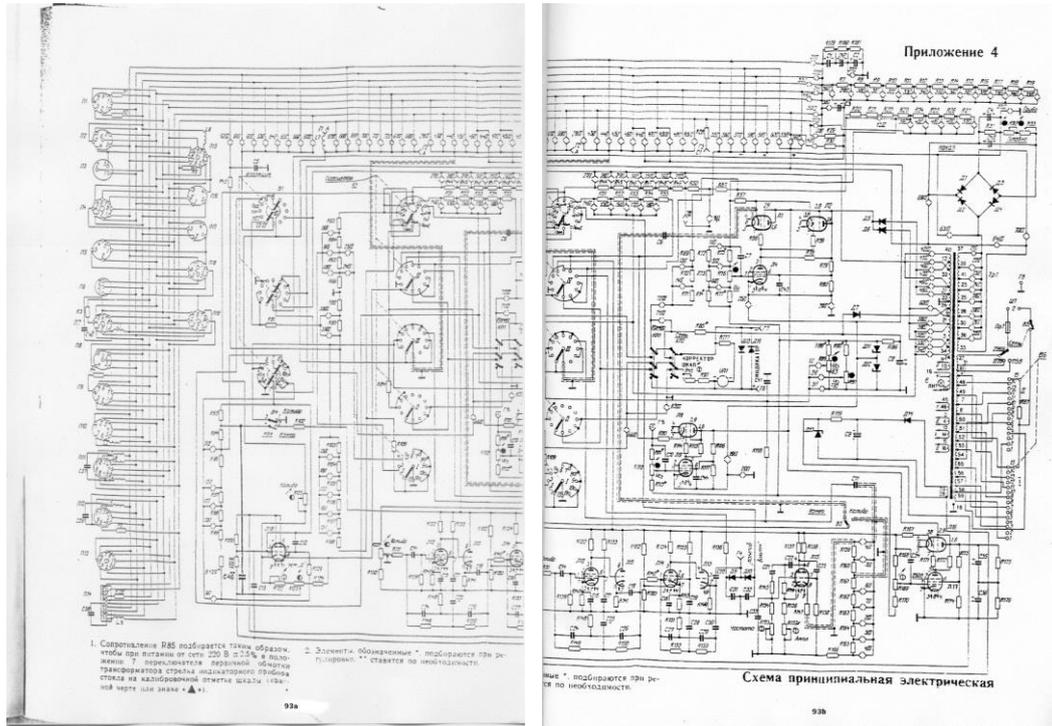


Abbildung 50: aus diesen zwei Einzelbildern habe ich in wochenlanger Kleinarbeit das folgende Schaltbild in einem Grafikprogramm Bauteil für Bauteil nachgezeichnet

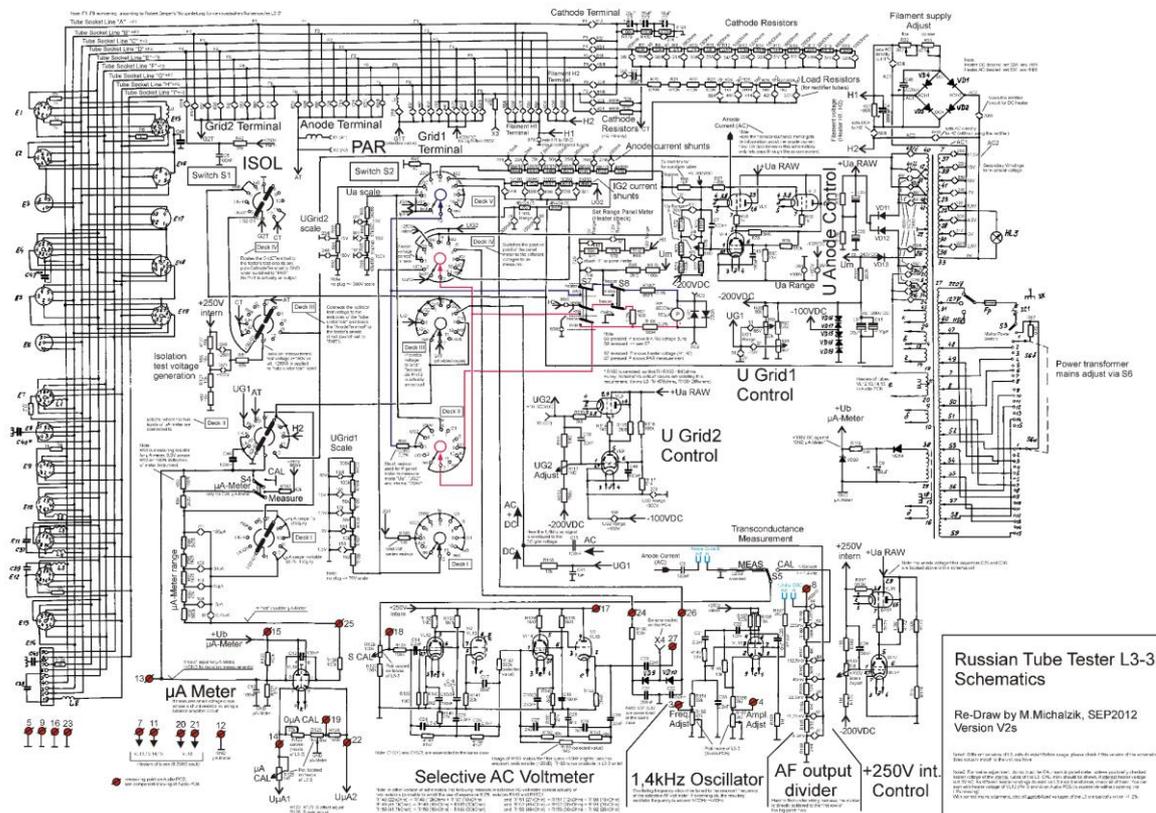


Abbildung 51: das Ergebnis!

Und dann tue ich das, was ihr auch gerade tut: ich lese einen Reparaturbericht- und zwar meinen eigenen! Man glaubt gar nicht, welche Kleinigkeiten man dabei -etwa 10 Jahr später- selber entdeckt, aber dabei fällt es mir wieder wie Schuppen von den Augen: der Schaltplan, an dem ich hier fast verzweifele, passte doch nicht zu meinem Gerät! Es gibt verschiedene Versionen davon und die, die ich damals so aufwändig digitalisiert und komplett in einem Grafikprogramm über Wochen akribisch nachgemalt gemacht habe, so dass ich sie endlich verstehen konnte, passte gar nicht richtig zu meinem L3! Das hatte ich nach dieser langen Zeit tatsächlich vergessen und nur durch das Lesen meines eigenen Berichts ist mir das wieder eingefallen. Toll, wieder ein Schritt weiter.

Der "richtige" Schaltplan schließlich ist eine Kopie, die mir ein Freund mal gab, ich aber leider nicht weitergeben darf, weil er sie selbst mal gegen Geld gekauft hatte. Ich weiß zwar nicht, ob der Verkäufer jetzt, nach über 10 Jahren, sein Business überhaupt noch betreibt und ihn das deshalb übernoch irgendwie "jucken" würde, aber bei sowas bin ich immer vorsichtig. Ich zeichne mir also die Striche in diesem Schaltplan nach und suche nach den entsprechenden Leitungen in Rörötrnik.



Abbildung 52: um 15:50Uhr war es dann so weit: Niederlage Nr.1

21 Die Jagd nach dem Phantom!

Tja, manchmal im Leben muss man auch nach hohem Zeiteinsatz zugeben, dass die ganze Aktion an sich Blödsinn war. Uns genauso auch hier. Ich war schon so weit, dass ich endlich die Leitungen vom Gitterspannungspoti bis zu dem großen Wahlschalter auf Ebene 3 verfolgt hatte, da bemerkte ich meine eigene Dummlichkeit: der Kurzschluss war gewollt!

Wie bitte? Warum das denn? Ganz einfach: weil der Wahlschalter für das eingebaute μA -Meter in der Stellung "CAL" stand und nicht auf "MESSEN"- wo er eigentlich hingehörte. In dieser Stellung legt der Umschalter die Gitterleitung nämlich ganz bewusst auf Masse- und genau diesem Phantom bin ich über mehrer Tage hinterhergejagt. "Was für eine Eselei!", hätte es der Erfinder der allgemeinen Relativitätstheorie wohl ausgedrückt. Und Recht hätte er gehabt: durch einen einfachen Bedienungsfehler baute ich hier ein komplett heiles Messgerät auseinander, ließ mich von falschen Schaltplänen auf ebenso falsche Fährten locken, verfolgte Leitungen im Kabelschungel, lötete Kabel und Widerstände ab, baute dafür Umschalter und Potis aus, um schließlich dabei zu landen, dass mir ein einfaches "Klick" auf der Frontplatte nun fast zwei Wochen abendliche, komplett unsinnige Fehlersuche erspart hätte. Sogar meinen berührungslos arbeitenden ELV-Leitungssucher aus der Elektroinstallation hatte ich einsetzen müssen, um einzelne Leitungen in den Kabelbäumen zu verfolgen. Alles umsonst!



Abbildung 53: dieser Schalter des μA -Meters legt das Gitter während der "Eichung" bewusst auf Masse- es war also gar kein Fehler, sondern eine Fehlbedienung!

Mann, da muss man Humor haben.



Abbildung 54: Niederlage Nr.2 ("Brett vor dem Kopf")

22 Messung

Reumütig baue ich Rörotrnik also wieder zusammen und er nimmt mit meiner selbst gebastelten E80CC-Prüfkarte sofort wieder den Betrieb auf, als ob nie was gewesen sei. Ich kann an den beiden E80CC ziemlich genau dieselben Werte reproduzieren, die ich mir vor etwa 2 Wochen bereits gemessen und notiert hatte. Aber der Sinn war ja diesmal, auch den Gitterstrom zu messen, und dafür hat Rörotrnik ein empfindliches μA -Meter mit $0,75\mu\text{A}$ Endausschlag mit an Bord. Das korrekt zu bedienen, muss man tatsächlich auch erstmal ein bisschen das Manual dazu lesen. Ich kann die ALGRA-Funkarchiv-Variante empfehlen, denn hier verstehe ich die deutsche Übersetzung noch am besten. Zwar sind auch dort teilweise noch sehr altertümliche Begriffe der deutschen Sprache verwendet (z.B. "alsdann" oder "dasselbst"), die teilweise ich sogar noch nie gehört hatte, aber in Summe ist diese Ausgabe meiner Meinung nach noch am verständlichsten.



Abbildung 55: Gitterstrommessung (Skala: $0,75\mu\text{A}$)

Nachdem ich mir ziemlich sicher bin, dass Rörotrnik (nach wie vor) innerhalb normaler Arbeitsparameter wieder seinen Dienst tut, lasse ich die beiden E80CC auch mal für eine längere Zeit im Prüfgerät stecken. Diesmal aber mit korrekt gesetztem CAL-Schalter ;-). Es zeigt sich, dass insbesondere die Telefunken mit den vergoldeten Kontakten dadurch an "Jugendlichkeit" gewinnt: vorher mit $5,7\text{mA}/5,3\text{mA}$ gemessen kommt sie nach der längeren Laufzeit nun auf immerhin $6,2\text{mA}/5,9\text{mA}$ Anodenstrom und der Unterschied zwischen beiden Systemen verbessert sich von vorher etwa 7% auf nun etwa 5%. Erlaubt wären laut Datenblatt übrigens 3mA Unterschied, daher absolut kein Grund zur Beanstandung! (Allerdings bei gleichzeitiger Messung beider Systeme; ich habe meine ja nur nacheinander gemessen. Keine Ahnung, ob das eine wesentliche Rolle spielen würde).

Trotzdem ist die Siemens mit ihren verzinneten Kontakten hier gleichmäßiger: ihr Unterschied im Anodenstrom zwischen ihren beiden Systemen beträgt lediglich 2,3% ($4,4\text{mA}/4,5\text{mA}$). Allerdings auf einem Niveau, das strenggenommen bereits kurz vor der Verschleißgrenze ($4,3\text{mA}$) liegt- und genau das war ja auch das Gerät mit der hochgedrehten Anodenspannung.

Momentan also die Wahl zwischen Pest und Cholera: die Röhren mit der besseren Gleichmäßigkeit zwischen ihren Systemen nehmen oder die mit mehr Anodenstrom- dafür aber ungleichmäßiger?? In der Steilheit liegen sie -nach der Aufwärmzeit- alle identisch bei $2,5\text{mA}/\text{V}$.

Lass uns endlich einmal den Gitterstrom untersuchen. Und den messe ich bei beiden Röhren ebenfalls quasi identisch: für System I zeigt mir Rörotrnik etwa 20nA Gitterstrom an; für System II etwa gute 150nA..200nA. Diese Asymmetrie zwischen den Systemen sehe ich allerdings bei beiden Röhren. Ob das bauart- oder nutzungsbedingt erklärbar ist, weiß ich nicht.

Immerhin sind das beides gebrauchte Röhren mit unbekannter Vorgeschichte, da kann eine Menge passiert sein. Leider bin ich mir auch hier nicht sicher, ob das Messverfahren hier das korrekte ist. Laut Datenblatt wäre es möglich, dass hier auch ein 920Ohm-Kathodenwiderstand gebraucht wird- ich habe aber keine Ahnung, bei welcher Gittervorspannung gemessen wird. Vielleicht sogar bei "Vollgas"; d.h. $U_g=0V$? Je mehr ich forsche, desto klarer wird mir, dass mir wirklich noch eine Menge Grundlagen zur Röhrentechnik fehlen.

23 Fazit der Röhrenmessungen

Eigentlich ist es bald egal, was ich nehme. Keine der beiden Röhren ist mehr taufersch- allerdings ist auch keine so richtig "kaputt". Ich werde mich jedoch für die mit dem noch etwas höheren Anodenstrom entscheiden- also die Telefunken mit ihren vergoldeten Kontakten. Die steckte ursprünglich im gekauften URU und wurde dort ja auch mit ordentlicher Anodenspannung betrieben und nicht groß überlastet wie die Siemens.

Etwas unglücklich bin ich jedoch in dem Aspekt "Gitterstrom". Es ist mir nicht gelungen, große Unterschiede zwischen den beiden Röhren auszumessen und daher habe ich auch keine wirklich standfeste Erklärung für den beobachteten Offset im 3V-Bereich (zu sehen in Abbildung 33).

Unbefriedigend, aber da der Bericht bereits jetzt schon wieder deutlich länglicher wird als ursprünglich geplant, lasse ich es damit einfach gut sein und akzeptiere, dass irgendein Röhrenparameter (welcher? Keine Ahnung, denn ich habe keinen Beweis!) Auswirkungen auf die Anzeigeperformance im URU hat und da ich am Verbrauchszustand einer alten Elektronenröhre eh nichts ändern kann, nehme ich das jetzt so hin. Denn: wenn ich im 3V-Bereich arbeiten muss, merke ich ja sofort einen ansteigenden Offset und muss eben mit dem -zu genau diesem Zweck vorgesehenen- Rändelrad an der Frontplatte (R59) erst einen kurzen Nachgleich auf Null machen, bevor ich messen kann. Ist so schlimm ja auch nicht.

24 DC-Abgleich

Nun aber! Es wird Zeit, dass wir das URU endlich real in Betrieb nehmen und uns nicht in der Röhrenesotherik verzetteln. Also wird die Telefunken-E80CC eingesetzt und das Gerät warmlaufen gelassen. Vorher wechsele ich noch die 5MOhm-Vorwiderstände gegen neue aus, denn inzwischen sind die 5,1MOhm-Widerstände aus China angekommen und die alten müssen Platz machen, weil auch sie beim Nachmessen ziemliche Drift zeigten.

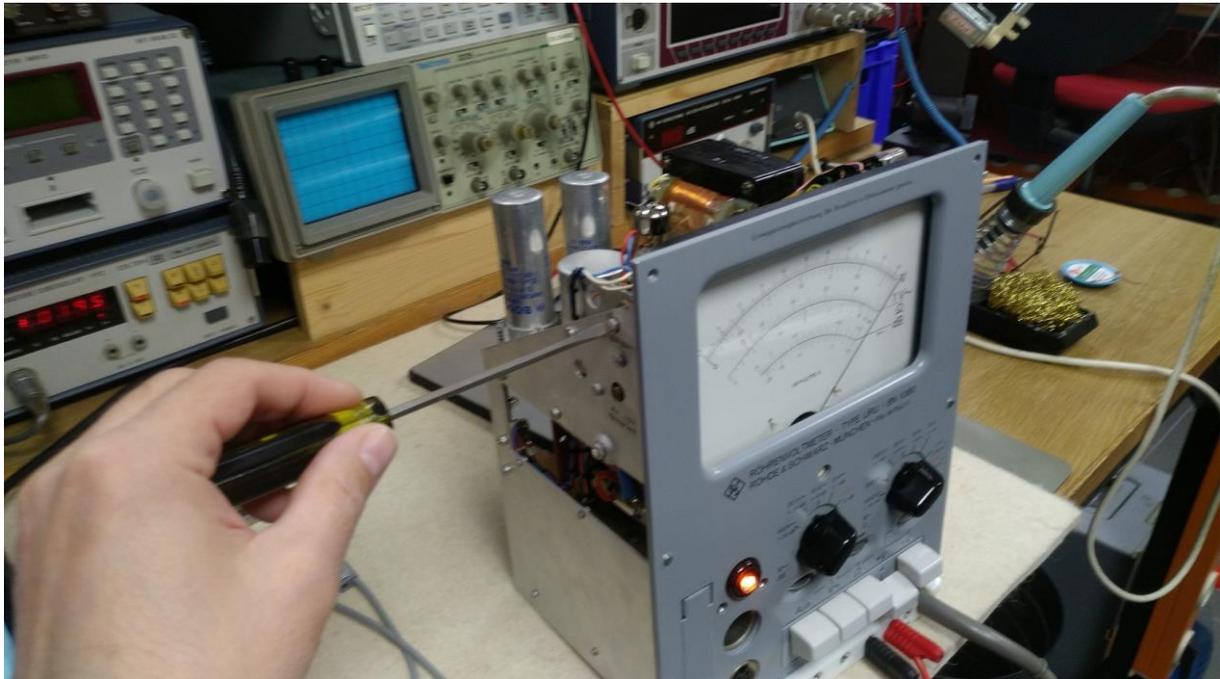


Abbildung 56: DC-Abgleich des R&S URU

Ich benutze meinen Fluke 341A Kalibrator und mache einige Messreihen im +V Betriebsmodus. Die vom Hersteller erlaubten Fehlergrenzen sind dort $\pm 2,5\%$ bezogen auf Endausschlag. Und was soll ich sagen: so, wie ich das URU vor der Röhrenorgie mit R39 justiert hatte, passt es (gerade so) in die Herstellerspezifikation- sogar im kritischen 1000V-Bereich! Und auch das Offset-Verhalten ist deutlich besser geworden. Ob das nun das mehrstündige Einbrennen der E80CC oder die chinesischen 5,1MOhm-Widerstände bewirkt haben, kann ich nicht sagen. Fakt ist jedoch: das Offset-Problem ist deutlich geringer und ich glaube, viel besser kriege ich das URU nicht.

Nunja. Doch.

Ich will versuchen, den Anzeigefehler, der aktuell hauptsächlich auf der -TOL Seite liegt, nach oben zu verschieben, so dass idealerweise der Anzeigefehler um 0 herum schwankt- es also möglichst gleich viele Ausreißer nach +TOL und -TOL gibt. Also schnappe ich mir den höchsten Ausreißer, den 1V-Bereich und bringe den auf exakt 1V Anzeige. Dann müsste der 3V in +TOL gehen und der 0,3V in -TOL. Dachte ich. War aber nicht.

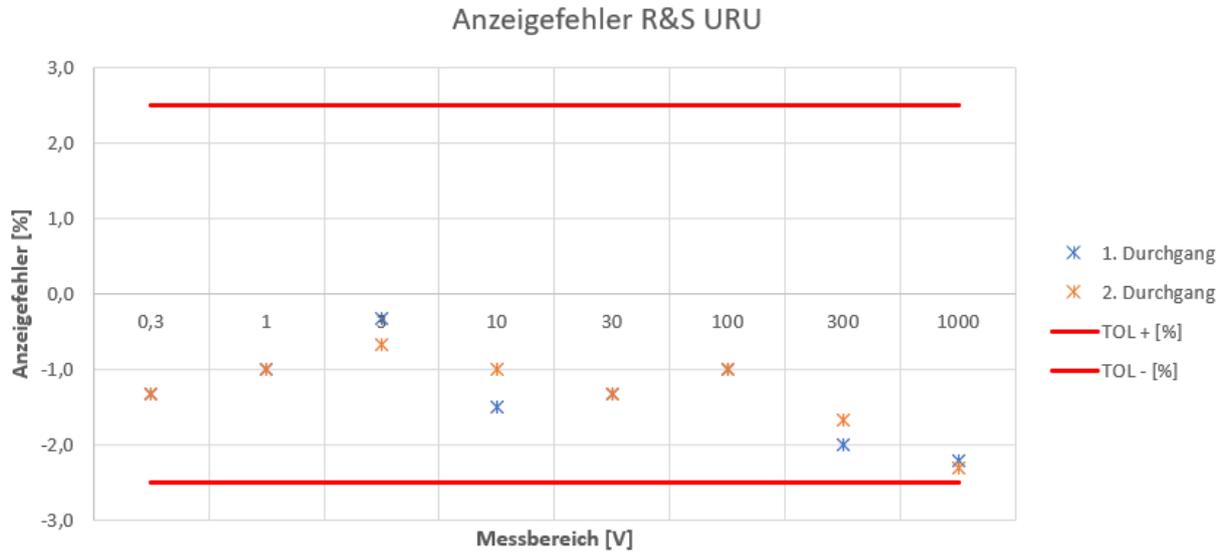


Abbildung 57: iterativer Abgleich im DC-Bereich

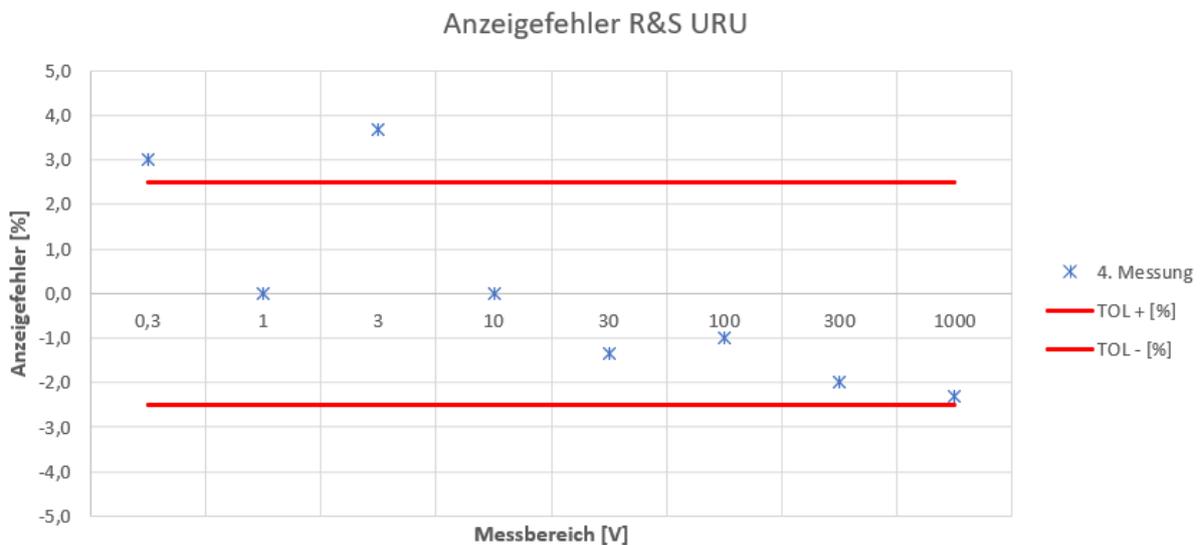


Abbildung 58: ein wenig über's Ziel hinaus...

Es scheint so, dass R39 für die kleinsten Messbereiche am stärksten wirkt und ich übers Ziel hinaus geschossen habe. Macht nix, also nochmal neu abgleichen, diesmal auf die 3V.

Und das klappt- diese Verteilung gefällt mir deutlich besser. Weiteres Tuning geht jetzt nur noch, wenn ich die Bereichswiderstände in der Brücke alle auswechsele- dazu habe ich aber keine Lust mehr. Andere Projekte warten ebenfalls, und ich will mich hier nicht verkünsteln.

So lassen wir es. Nochmal sicherheitshalber final die Heizspannung der Röhre an Pin4/5prüfen: 12,63V- das geht in Ordnung. Thema erledigt.

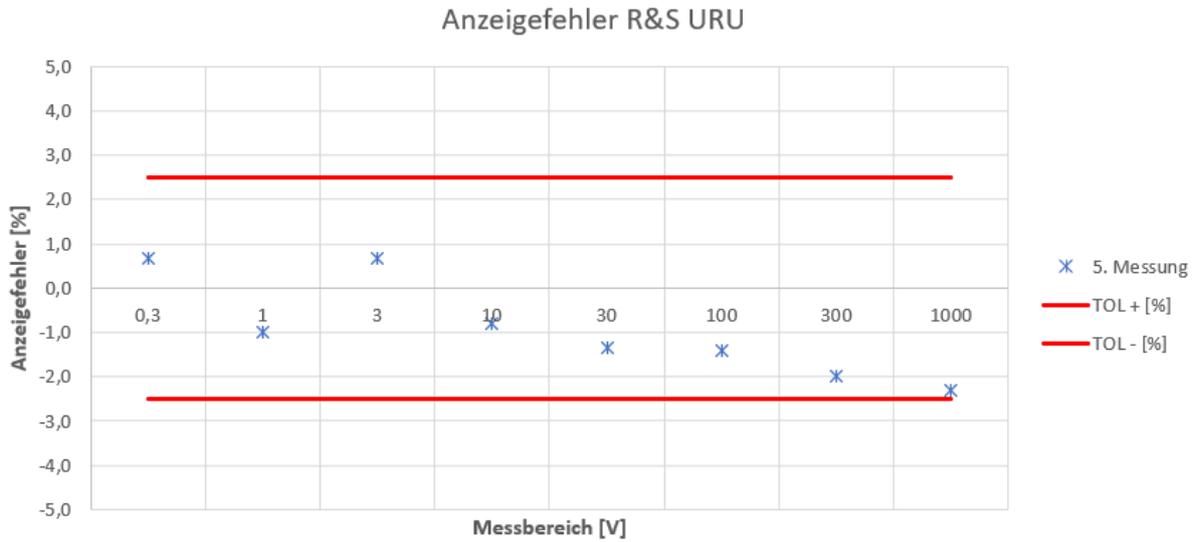


Abbildung 59: so lasse ich es!

25 Wechselspannung

Weiter geht's mit dem Wechselspannungsbereich. Der mitgelieferte URU-Tastkopf wird eingesteckt und eine 1V/1kHz Wechselspannung dort eingespeist. Der Zeiger geht brav auf die rote Null- bleibt aber leider dort! Das eingespeiste 1V-Signal bewegt ihn vielleicht gerade mal um eine Zeigerbreite. Hurra, ein weiterer Fehler!



Abbildung 60: der URU-Tastkopf ist ein Teil mit "Knoff-Hoff"!

Zuerst prüfen wir mal die Röhrenspannung für den URU-Tastkopf. Die soll genau 5V sein. Einstellen mit R4 (direkt unter R39), muss man es an der 5pol. DIN-Buchse messen, denn anders kommt man kaum ran. Die Zählweise muss man auch erstmal rauskriegen: wenn das Gerät nach vorn übergekippt vor einem liegt und die Lötstellen der Buchse rechter Hand zu sehen sind. Pin5 der Buchse kann man gut erkennen, denn dort ist der Massedraht angelötet. Und dann zählt man einfach rückwärts die Pins ab. Zwischen Pin2 und Pin3 sollen dann die 5V sein. Sind es bei mir auch:



Abbildung 61: Prüfen der 5V Heizspannung für den URU-Tastkopf

Okay, das klappt schonmal. Jetzt wollen wir mal sehen, wo das Signal stecken bleibt. Und jetzt machen wir einen kleinen Zeitsprung, denn alle meine Irrwege möchte ich Euch nicht noch einmal beschreiben. Es ist so: der URU-Wechselspannungsmesskopf hat eine tricky Sonderfunktion. Und zwar ist eine (bei mir weiße) Kappe Teil des gesamten Knoff-Hoffs. Sie hat nämlich einen eingebauten Scheibenkondensator von ca. 50pF, den man nur sieht, wenn man das Teil aus der Kappe gedrückt hat. Dieser Scheibenkondensator schützt die Duode

(=Röhren-Diode) vor Gleichspannungen und macht ihn auch HF-tauglich. Allerdings begrenzt der den Frequenzgang nach unten auch bis ca. 10kHz. Will man mit dem URU als auch NF messen können, braucht man einen dickeren Koppelkondensator. Wo aber hin mit dem Ding?



Abbildung 62: die weiße Isolierkappe kann man abschrauben; dann sieht man den Eingangspin der im Kopf versteckten Miniaturröhre!

Das haben die R&S-Entwickler damals echt klug gemacht: rings um die Spitze gibt es einen kleinen Metallring, der DIREKT mit der Anode des Tastkopfes verbunden ist. Und genau darauf kontaktiert der im Innern des URU Grundgerätes verbaute Kontaktierungsmechanismus! Er "bypass-t" also den 50pF Scheibenkondensator, und koppelt das zu messende Signal direkt auf die Anode der Tastkopfröhre. Dafür braucht er natürlich einen eigenen Koppelkondensator, und genau das ist der im Grundgerät eingebaute C1 mit einer Kapazität von 18nF. Geschickt gemacht!



Abbildung 63: doppelte Kontaktierung: entweder über den Mittelpin (via 50pF) oder über den Außenring (=direkte Verbindung)

Und wo liegt nun mein Fehler?

Nachdem ich das verstanden hatte (danke @Martin, ohne Deine Hilfe hätte ich wohl noch lange gesucht!), war es einfach: die Lötstelle zu dem kleinen Metallring hatte sich gelöst und damit war der Signalweg unterbrochen!

Nach einem kurzen Auseinander- und Wiederausammenbau lötete ich die beiden Laschen wieder an den Scheibenkondensator und fertig war der Lack! Das URU misst damit ab sofort auch wieder im Wechselspannungsbereich- und wie!



Abbildung 64: dieser Scheibenkondensator hat etwa 50pF



Abbildung 65: links der Mittelpin mit 50pF-Scheibenkondensator, dann der Ring (mitte), rechts die weiße Isolierkappe, wo das alles hinein gehört

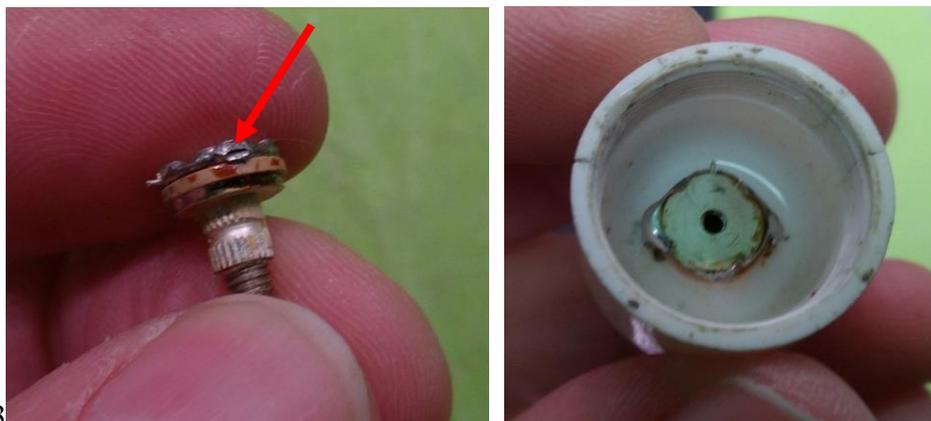


Abbildung 66: links: man sieht noch, wo die Lasche vorher angelötet war (Pfeil); rechts: wieder zusammengebaut und verlötet

26 AC-ABGLEICH

Weil mein kleiner Fluke341A nur DC-Spannungen kann, ist das nun ein Job für den Fluke5700A. Okay, eigentlich ein wenig übertrieben, aber der braucht auch hin und wieder mal Strom und der Fluke5200A AC-Kalibrator steht gerade hinter dem Labortisch und ich weiß nicht, wo ich ihn auf den überfüllten Labortisch noch hinstellen soll (da steht gerade der Fluke5101, der auf eine Reparatur des Oszillators wartet).

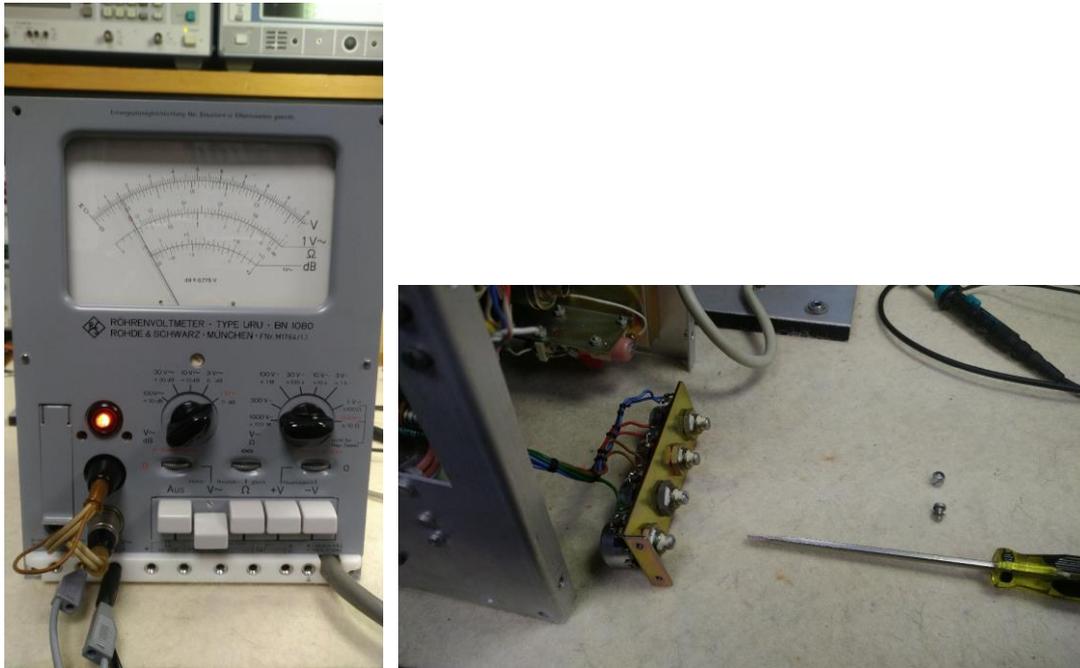


Abbildung 67: für den AC-Betrieb wird der Tastkopf ins Grundgerät eingeschoben. Dort kontaktiert er aber nicht über den Mittelpin, sondern den Metallring, damit er den im URU verbauten 18nF Koppelkondensator verwenden kann. Das erweitert seinen Frequenzbereich deutlich nach unten!

Also nun gut, 1V eingetippt und angesaftet das Edelteil: Bäng- fast genau 1Volt auf der Anzeige des URU! Das bisschen Anzeigefehler ist mit R67 schnell korrigiert. Zum Justieren all der anderen Bereiche (3V,10V,30V,100V) müsste man die Potis R73..R70 von unten erreichen. Das ist blöd, also schraube ich das gesamte Potiblech ab und lege es hin, während ich die Bereiche alle einen kleinen Tuck nachstelle. Finale Kontrolle, fertig.



Abbildung 68: Fluke 5700A

27 Das Gekaufte wird zum Verbeulten

Und dann geschah es. Just als ich einen Schritt zu meinem Magazinschrank rüber machen will, um einen Abgleichstift zu grapschen, verliere ich beim Drübersteigen über das Kabel zwischen Kalibrator und URU einen Latschen, bleibe hängen- und das URU fliegt.



Abbildung 69: Ach du mein Schreck!

Ich kann es nicht fassen. Zuerst fällt mein Blick auf den speisenden Fluke5700A, denn das dürfte so ziemlich das Teuerste sein, was ich hier im Labor habe. Gottseidank haben die Buchsen gehalten und nur die Bananenstecker meines Laborkabels haben sich leicht verbogen. Das hätte schlimmer kommen können: eine Ersatzbaugruppe aus Berylliumkupfer für einen Fluke5700A hätte mich um sämtliche Weihnachtsgeschenke gebracht!

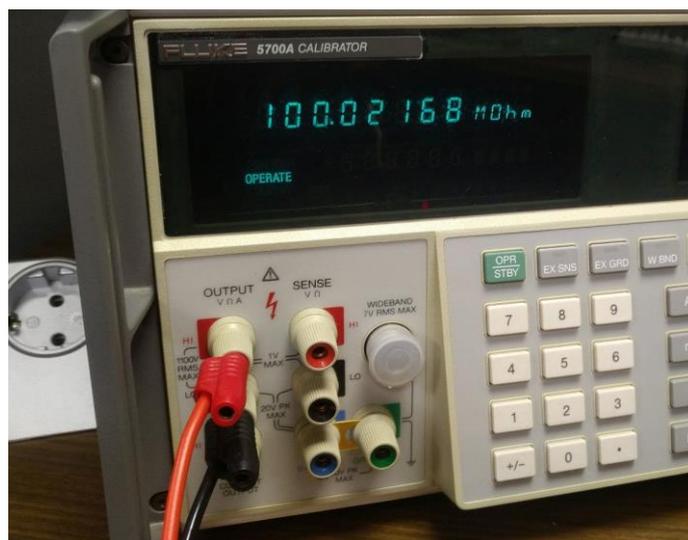


Abbildung 70: was für ein Dusel! Die Bananenstecker sind leicht verbogen, aber -gottseidank- kein Schaden am Kalibrator!

Dann der traurige Blick nach unten.

Das soeben fertig reparierte URU liegt mit der Front nach unten auf dem Fliesenboden (Abbildung 69) und irgendwie spüre ich bei diesem Anblick die Gewissheit, dass ich gleich ein gesplittertes Display und zerbrochene Schalter sehen werde. Ich traue mich daher kaum, es vom Boden aufzuheben. Immerhin sitze ich bereits seit Wochen an dem Teil, habe es gerade fast fertig- und nun das!

Egal, einmal kurz durchatmen, vorher Strom rausziehen, dann aufheben...und....

...das Displayglas ist schon einmal heil geblieben. Immerhin. Es hat aber eine ganz schöne Nusseckenbeule oben rechts abbekommen. Aber sonst? Hmmm....einschalten, ausprobieren.

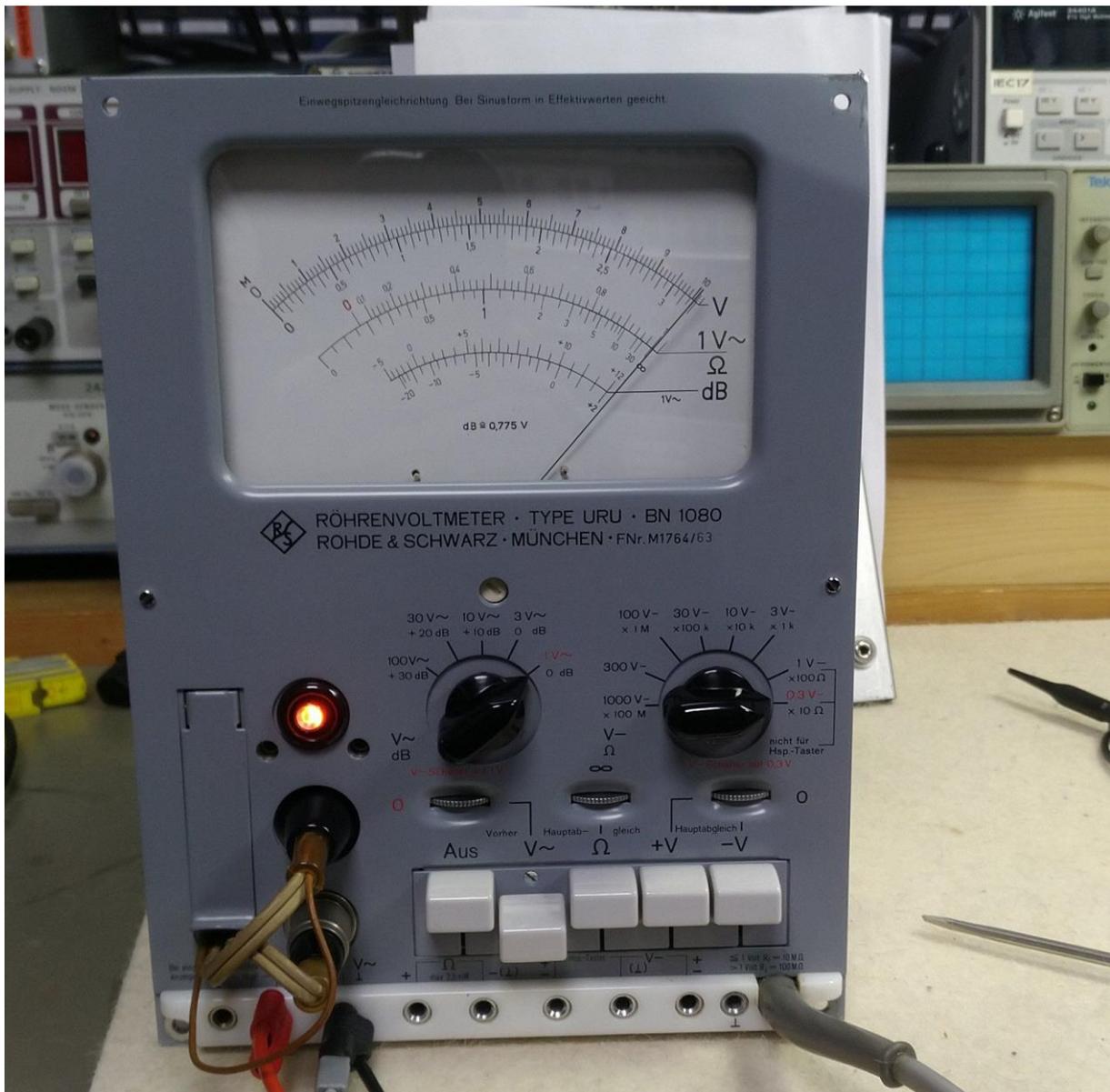


Abbildung 71: oben rechts ein wenig verbeult, aber es hätte schlimmer kommen können!!

Unglaublich: es funktioniert noch immer alles!!! Selbst nach diesem Sturz! Leute, das ist immerhin zerbrechliche Röhrentechnik und ein Anzeigeelement mit Torsionsbändchenaufhängung- aber es geht!!!

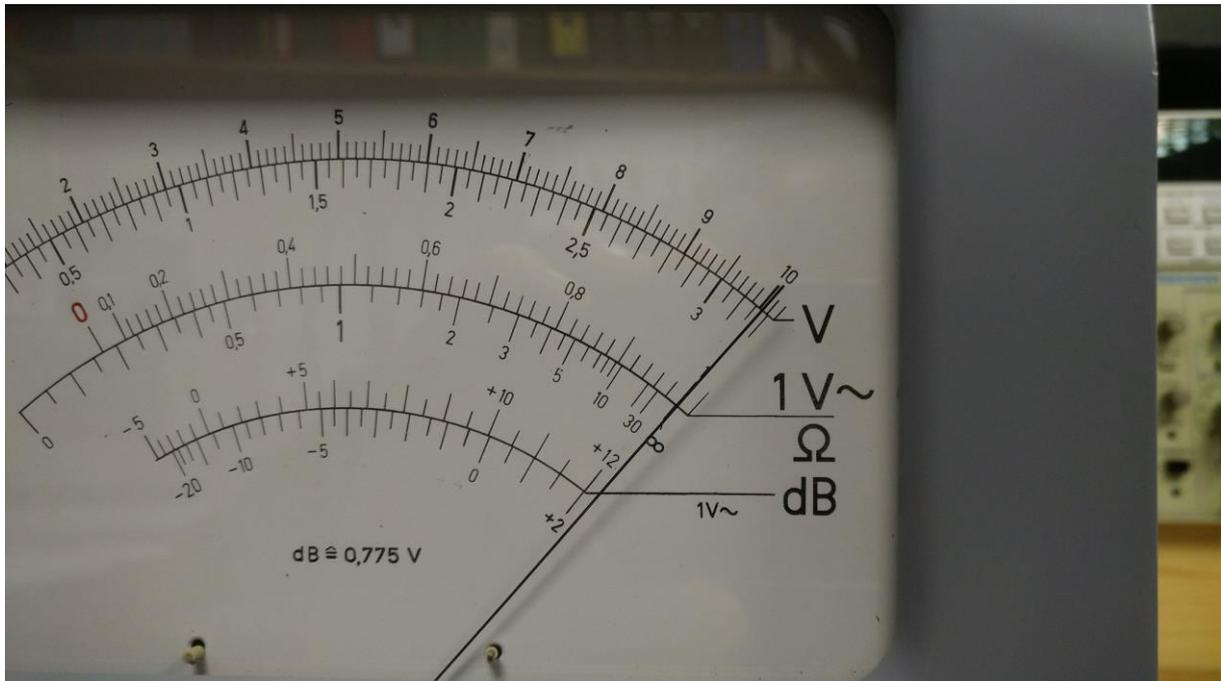


Abbildung 72: das Messwerk ist absolut unversehrt geblieben!

Fassungslos checke ich alle Messbereiche erneut. Lediglich bei 1V AC drehe ich R67 noch einen Millimeter nach- aber sonst funktioniert das Gerät als hätte es meinen Fliesenboden nie berührt! Was für eine Qualität, ich bin extrem beeindruckt. Schmeißt heute mal Euren Laptop vom Tisch- ich bin sicher, dass der danach hin ist. Aber nicht so die uralte Technik von 1960- selbst mit abmontiertem Schutzgehäuse!

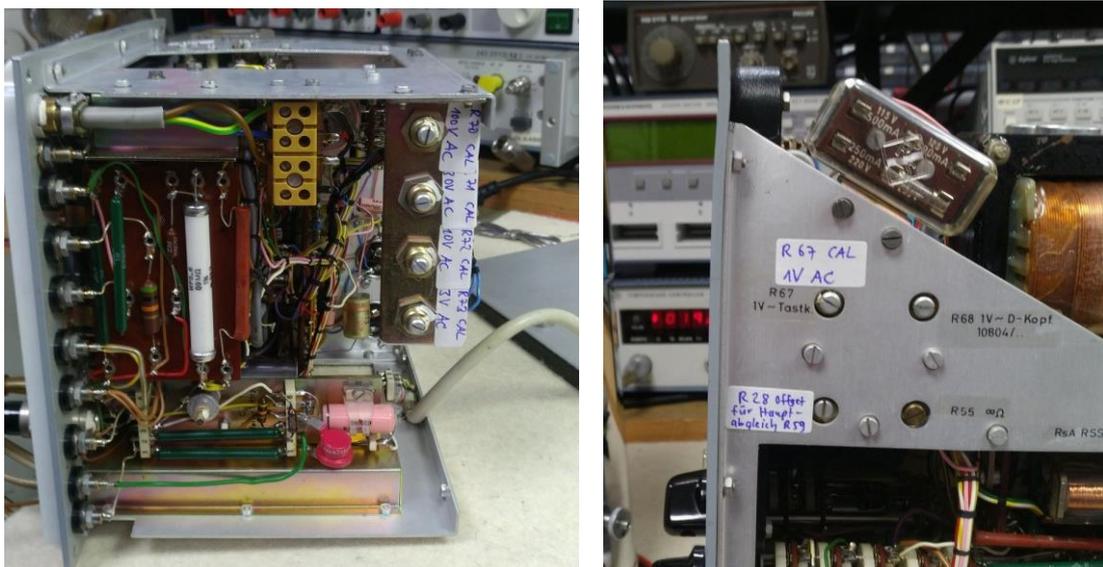


Abbildung 73: die Abgleichelemente für die AC-Bereiche

28 Widerstandsbereich

Bevor ich mich um's Ausbeulen kümmere, prüfe ich noch schnell die Widerstandsbereiche. Erwartungsgemäß funktionieren auch die- wenngleich ich zugeben muss, dass das URU im allerhöchsten Messbereich meinen 100MOhm-Normwiderstand als knapp 110MOhm anzeigt (ebenso den 100MOhm aus meinem Fluke5700A), somit dort also etwa 10% Messfehler hat.

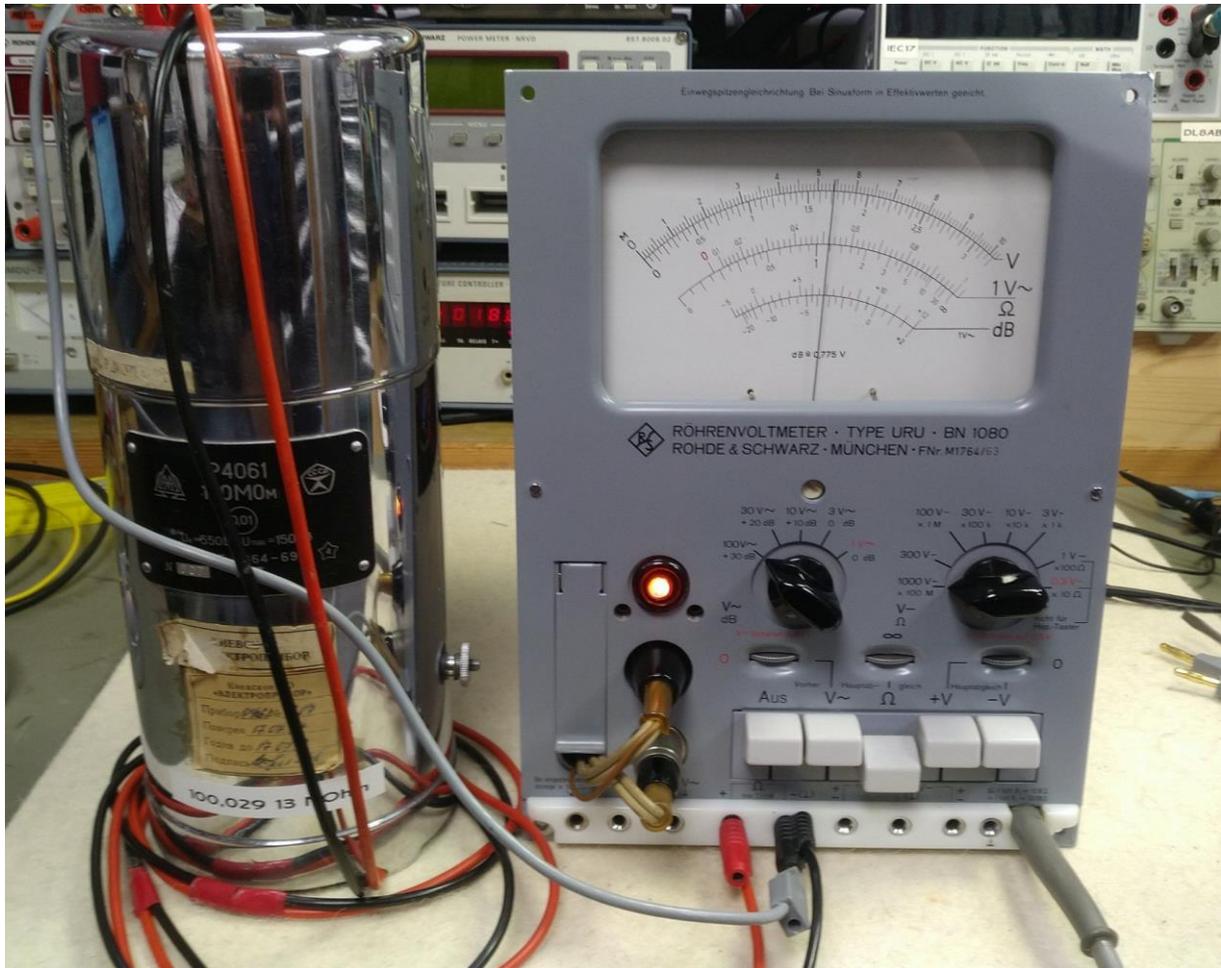


Abbildung 74: bei 100MOhm ist das URU nicht gerade ein Präzisionswunder....

Aber auch das ist durch die Spezifikation abgedeckt: die im mittleren Anzeigebereich erlaubten +/- 10% Messfehler werden im 100MOhm-Bereich sogar auf +/- 12% aufgeweitet; in den Endbereichen sind hier sogar +/- 22% (!) erlaubt. Also mal nicht jammern- eine Verbesserung wäre sicherlich möglich, wenn wir die internen Messwiderstände trimmen würden, aber das hatten wir aus Aufwandsgründen ja absichtlich nicht gemacht.

29 Kosmetik

Nun, wir stehen also kurz vor der Vollendung und bevor wir das Gerät abschließen, beulen wir es aber wieder einigermaßen aus. Der Wartjenstedter Tischsturz bleibt daher bitte unser Geheimnis, ok? ;-)

Dazu demontiere ich erst wieder die Frontplatte und biege sie vorsichtig per Hand und leichten Hammerschlägen auf der Richtplatte zurück. Danach benutze ich eine Rohrzange, um auch das Chassis wieder zu richten. Beides gelingt mir nicht perfekt. Das liegt daran, dass ich erstmal kein Karosseriebauer bin und zweitens ich auch keine Lust habe, das komplette Chassis auseinanderzunehmen, um auch sämtliche Winkelbleche im Innern einzeln wieder geradebiegen zu können. Ich mache eine 5-Minuten-Reparatur; und so sieht es auch aus.

Kurz überlege ich, ob ich die Frontplatte des gekauften aufarbeiten und verwenden soll. Doch die ist älter, sieht farblich nicht so schön aus und hat auch Stempelaufdrucke drauf, die man sicher auch nicht so ohne weiteres abkriegt. Also bleibt die leicht zerbeulte Frontplatte.

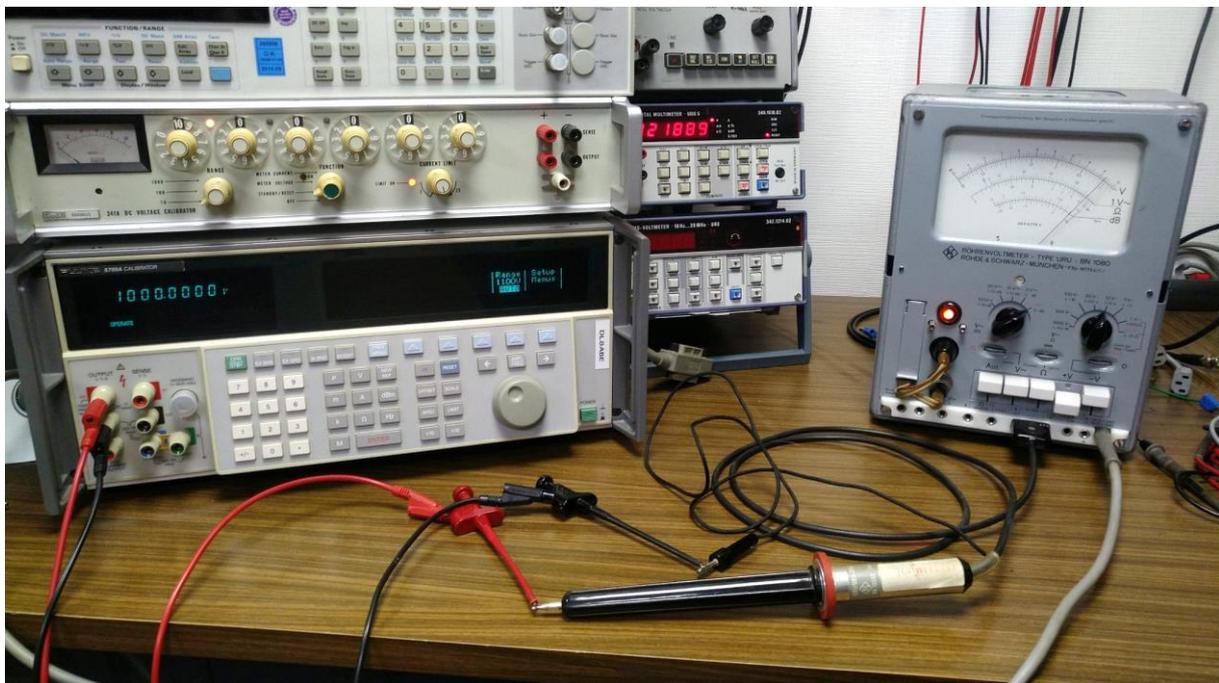


Abbildung 75: Überprüfung des begehrten Hochspannungs-Tastkopfes

Trotzdem: zusammen mit der Erkenntnis, dass ein 60 Jahre altes Gerät auch nicht "perfekt" im Erscheinungsbild sein muss, kann man dennoch zufrieden sein!

30 Ausgangstest

Am Ende gehört es sich, nach dem Zusammenschrauben noch eine ordentliche Funktionsprüfung zu machen, bevor das Gerät in den Betrieb geht. Zuvor lasse ich es eine gute Stunde im eigenen Gehäuse auf Betriebstemperatur kommen, danach wird es am Fluke5700A noch einmal final kalibriert. Weil sowieso einige danach fragen werden- hier die Messwerte!

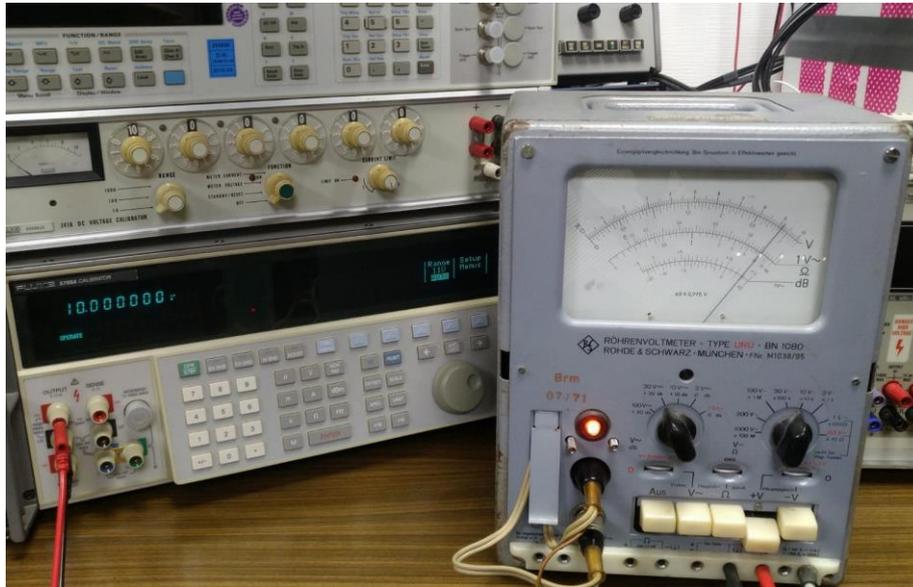


Abbildung 76: finale Kalibrierung (Messaufbau)

V+			V-		
Soll [V]	IST [V]	dev [%]	Soll [V]	IST [V]	dev [%]
0,3	0,304	1,3	-0,3	-0,304	1,3
1	0,994	-0,6	-1	-0,99	-1,0
3	3,04	1,3	-3	-3,05	1,7
10	9,95	-0,5	-10	-9,95	-0,5
30	29,6	-1,3	-30	-29,6	-1,3
100	99	-1,0	-100	-99	-1,0
300	295	-1,7	-300	-294	-2,0
1000	980	-2,0	-1000	-971	-2,9

V AC, 1kHz			Ohm		
Soll [V]	IST [V]	dev [%]	Soll [Ohm]	IST [Ohm]	dev [%]
1	1,005	0,5	10	10,2	2,0
3	2,99	-0,3	100	99	-1,0
10	10	0,0	1000	990	-1,0
30	30	0,0	10000	10000	0,0
100	100	0,0	100000	100000	0,0
			1000000	995000	-0,5
			10000000	9700000	-3,0 im 1MOhm-Bereich gemessen
			100000000	102000000	2,0 mit vorherigem Null/unendlich-Abgleich, sonst 106MOhm

Messung Hochspannungstaster 30kV

U_{in} = 1kV
 Messbereich "10V" = 1kV Endausschlag
 Anzeige URU: 930V

Fazit:
 alle Messbereiche gut
 lediglich mit dem HV-Taster eine gewisse Einbuße an Messgenauigkeit (Anzeige "1kV" erst bei U_{in}=1078V), d.h. 7,8% Messfehler

Abbildung 77: finale Kalibrierung (Messwerte)

31 Fazit

Junge, junge, junge! Was hab' ich doch alles bei diesem kleinen "Kurzprojekt" gelernt! Eigentlich hatte ich ja nur mal wieder Lust, meinen Digitalfrust abzubauen, den ich zunehmend kriege, wenn ich sehe, wohin die Entwicklung moderner Produkte gerade so hinläuft. Keine Kaffeemaschine mehr ohne WLAN, kein Küchengerät ohne Bluetooth. Egal ob es Sinn macht oder nicht- es MUSS sofort digitaler Mist eingebaut werden, damit der Käufer glücklich ist. Und ich Frust kriege.

Da kam mir das R&S URU gerade recht. Vermeintlich "simple" Röhrentechnik versprach einen überschaubaren Aufwand und das Fehlen sämtlicher Logikschaltungen eine geradezu Sanatorium-artige Tiefenentspannung für mich. Und das URU hielt, was es versprach: mit nA-Gitterströmen, 100M Ω Eingangswiderständen und nur schwer ergründbaren Offsets hielt es mich ganz schön zum Narren. Am Ende noch der Schreck mit dem Sturz zum Tisch- was für eine Aufregung!

Ihr werdet nun fragen, was ich mit den Resten des Gekauften gemacht habe. Tja- mir fiel nichts Besseres ein, als soweit alle Teile, die ich entnommen hatte, wieder an Ort und Stelle zurückzulöten, das defekte Messinstrument einzubauen, einen Defekt-Zettel zu schreiben und alles wieder zusammensetzen. Kurzzeitige Gedanken, das Teil als Ersatzteileträger zum Kauf anzubieten, wurden schnell wieder verworfen, denn viel mehr als 20 oder 30€ kann ich für ein URU mit defektem Instrument wahrscheinlich nicht verlangen- und dafür mache ich mir weder den Aufwand des Verpacken/Verschickens noch bringt es mir was: sobald ich aus dem defekten URU auch nur ein einziges Teil als Ersatzteil brauche, macht es sich wahrscheinlich schon bezahlt, einen Teileträger im Regal stehen zu haben. Von daher werde ich es behalten und vor meiner Frau verstecken, die nicht unbedingt wissen muss, dass ich alte und defekte Geräte als Ersatzteilspeicher aufhebe und damit kostbaren Lagerplatz im Keller belege, den sonst die zwölfte LED-Weihnachtskette oder der neunte Wanderrucksack hätten einnehmen können ;-)

(Einen ähnlichen Vorwurf macht sie mir übrigens mit Schleifmaschinen....ähem...)

Naja, ich will mich nicht beschweren. Ich gebe gerne zu, dass das meiste im Keller wirklich von mir und meinen komischen Hobbies stammt. Aber das macht mich eben aus und daher ist es auch gut so.

32 Die "W-Frage"

Eine der fiesesten Fragen, da man einem Hobbybastler stellen kann, ist die "W-Frage". Also: "...und wozu brauchst du das Gerät jetzt?"

Aaaarrgrgghh!

Mich hat einmal vor langer Zeit ein Arbeitskollege gefragt, wozu ich meine Formatkreissäge im Keller bräuchte. Wer so etwas fragt, dem kann man das nicht erklären, daher habe ich lieber mit der Gegenfrage geantwortet, wie man denn überhaupt ohne eine leben könne? Wir wurden nie Freude. Mussten wir auch nicht. Der Kollege war ausgemachter Autonarr aus dem baden-württembergischen Raum und konnte nicht verstehen, dass manche Menschen ein Auto auch einfach nur brauchen, um Mobilitäts- und Transportprobleme zu lösen und nicht, um als Lebenszweck bei seinen Nachbarn mit glitzernd geputzten Alufelgen anzugeben. Es hatte auch keinen Zweck. Er verstand mich nicht, ich ihn nicht. Wir haben uns bislang auch nie wieder gesehen ;-)



Abbildung 78: geputzte Felgen brauche ich nicht. Die würden eh verbeult werden, wenn wir damit durch italienische Olivenhaine fahren, wo sonst nur noch die "Locals" mit ihren Piaggios durchkommen. Wir brauchen ein robustes Auto, kein glitzerndes.

Wenn ihr jetzt aber trotzdem fragt, was das URU so Besonders macht (hmmm...ist ja eigentlich auch eine "w-Frage", oder? ;-), dann fallen mir ein paar Sachen ein:

- 1. Es geht bei Überspannung nicht so schnell kaputt.** Rutscht man beim Reparieren von Röhrenradios mit der Messspitze mal ab und haut Anodenspannung in den Eingang, ist das Messgerät nicht gleich hin. Ein URU ist sehr robust.
- 2. Es ist sehr hochohmig.** Mit bis zu 100M Ω Eingangswiderstand kann ich damit auch die Ladung von Elkos messen, die ich zum Testen von internem Leckstrom aufgeladen und über Nacht habe stehen lassen. Mit einem 10M Ω -DVM klappt das längst nicht so gut.
- 3. Es kann sehr hohe Widerstände messen.** Wenn auch vielleicht nicht extrem genau, aber dafür kann es bei nur 5V Prüfspannung Widerstände bis 1G Ω und mehr auflösen. Mit extern eingespeisten Spannungen beziffert das Manual das sogar bis auf 3G Ω mit max. 3% Fehler. Das ist beeindruckend!
- 4. Es gibt dafür HV-Probes.** Will sagen: der nächste Weidezaungenerator kann kommen! Mit dem zum URU passenden Hochspannungstastkopf kann ich nun Spannungen bis 30kV ziemlich genau messen. Das brauche ich z.B. für meine frisierten Elektro-Fliegenklatschen aus Malaysia. ;-)

Kann aber auch sein, dass man hin und wieder nochmal die Hochspannung einer Anzeigeröhre (Bildschirme) in Messgeräten damit prüfen muss. Auch wenn die Fernseher heute alle ein TFT als Panel haben, habe ich genug Messgeräte, die noch "kV's" eingebaut haben (R&S CMT, analoge Oszilloskope, R&S ESVS,...).

- 5. Es gibt dafür interessantes HF-Probes** mit bis zu 1,5kV @100MHz Bereichen! Nun gut, 1,5kV an 50 Ω wären nach $P=U^2/R$ mal locker 45kW HF, also definitiv 'ne Nummer zu groß für mich und meinen Bastelkeller, aber es mag ja Leute geben, die das brauchen. ;-)

Mit etwas Nachdenken gibt es bestimmt weitere Vorteile, die einem ein Röhrenvoltmeter wie das URU noch bietet. Ich will es aber einmal bei diesen fünf belassen. Abgesehen davon, dass man auch bei der Reparatur eine Menge Spaß haben kann, ist es sicher ein tolles Gerät.

33 Ausklang 2022, Einklang 2023

Inzwischen ist es frisch 2023 geworden, Silvester liegt gerade hinter uns. Einige Minderbemittelte unserer Gesellschaft sprengten aus diesem Anlass sich selber oder helfende Feuerwehrleute in die Luft, Corona ist nun keine Pandemie mehr und NDR1 hat einen neuen Moderator gekriegt (Herzlich willkommen, übrigens :-). Die Bundeswehr bastelt sich ihre Fahrzeuge und Flugzeuge genauso aus alten Ersatzteilträgern zusammen wie ich meine Messgeräte und ihre Chefin liefert unbedarfte Neujahrsgrüße per Instagram mit Feuerwerksgetöse im Hintergrund, das sich für die Kriegsflüchtlinge wie ein böses déjà vu anhören muss.

Wir sehen also: Daumen hoch, es läuft ;-)

Das R&S URU darf nun auch brav seinen Dienst bei mir am Inbetriebnahmeplatz aufnehmen und bei der Reparatur weiterer Geräte helfen. Wie einige von Euch sicher schon bemerkt haben, ist mir in der Zwischenzeit ein R&S KARU Kapazitätsmesser zugeflogen, den ich ebenfalls schon fertig restauriert habe. Aber dazu mehr in einem anderen Bericht :-)

Zuletzt noch eine Rätselfrage:

aus welcher deutschen Stadt stammt dieses Bild und worum handelt es sich dabei? Kleiner Tipp: es hat was mit einem alten, aber inzwischen über die Landesgrenzen hinaus bekannten Kult-Film zu tun und da es auch u.a. um einen Schuh geht, könnten Eure Frauen möglicherweise etwas darüber wissen ;-)!



Abbildung 79: In welcher Stadt steht dieses wunderschöne Schloss?

Wer mir die richtige Antwort schreibt, wird im nächsten Reparaturbericht gern namentlich erwähnt. Zur Kontaktadresse siehe unten im Disclaimer oder Impressum auf bymm.de.

P.S.: Achja- wer ein Fan dieses Filmes ist, für den lohnt sich ein Besuch in diesem Schloss tatsächlich!

M.Michalzik, JAN2023

34 Disclaimer

Hinweise

1. Wer auf dieser Grundlage bastelt, bastelt auf eigene Gefahr!
2. Das hier ist ein privat und hobbymäßig zusammengestellter Reparaturbericht. Ich übernehme keine Garantie für die Korrektheit der hier beschriebenen Inhalte.
3. Ich übernehme keine Folgekosten, die durch evtl. Anwendung der hier beschriebenen Informationen entstehen könnten.
4. Das Basteln in elektrischen Geräten kann für nicht Sachkundige ein hohes Risiko von Verletzungen aller Art bedeuten. Sollten Sie nicht sachkundig sein, lassen Sie bitte lieber die Finger davon.
5. Die kommerzielle Nutzung des hier beschriebenen Wissens ist nicht vorgesehen.
6. Alle Meinungsäußerungen (insbesondere über Firmen oder Hersteller) sind stets rein subjektiver Natur und spiegeln nur meine eigenen Erfahrungen oder persönlichen Vorlieben wider. Sie sind weder als Werbung noch Verunglimpfung dieser Firmen oder Hersteller zu verstehen, sondern als persönliche Meinungsäußerung aufzufassen.
7. Vor dem Veröffentlichen meiner Berichte bemühe ich mich stets im Vorfeld um eine Zustimmung der in meinen Berichten vorkommenden Personen/ Firmen. Wenn Sie der Meinung sind, dass das in Ihrem Fall einmal (unabsichtlich!) vergessen wurde und über bestimmte Darstellungen oder Beschreibungen verärgert sind, so setzen Sie sich zur Problemlösung bitte zuerst direkt mit mir in Kontakt (und nicht gleich mit Ihrem Anwalt ;-).

Die Berichte wurden von mir nach bestem Wissen und Gewissen erstellt.

Disclaimer

Alle Artikel unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Keine unerlaubte Vervielfältigung, Aufführung, Weitergabe, Druck. Eine kommerzielle Nutzung des hier beschriebenen Wissens ist nicht vorgesehen. Weiterhin übernehme ich weder Gewähr für die Richtigkeit der Inhalte noch übernehme ich Haftung für Risiken und Folgen, die aus der Verwendung/Anwendung der hier aufgeführten Inhalte entstehen könnten. Nicht-Sachkundigen rate ich generell von Eingriffen in elektrische Geräten und Anlagen dringend ab! Insbesondere verweise ich auf die strikte Einhaltung der aktuell gültigen Sicherheitsvorschriften von VDE und Berufsgenossenschaft über die elektrische Sicherheit!

Rechtliche Absicherung

Grundsätzlich berufe ich mich bei meinen Dokumenten auf mein Menschenrecht der freien Meinungsäußerung nach Artikel 5, Absatz 1 des Grundgesetzes. Dennoch mache ich es mir zu eigen, von den in den Berichten namentlich vorkommenden Personen vor der Veröffentlichung eine Zustimmung einzuholen. Wenn Sie jedoch der Meinung sind, dass Sie persönlich betroffen sind und das in Ihrem Fall versäumt wurde, und Sie sind darüber verärgert, so bitte ich um eine umgehende Kontaktaufnahme (ohne Kostennote!) mit mir. Das gilt auch für den Fall, wenn meine hier bereitgestellten Inhalte fremde Rechte Dritter oder gesetzliche Bestimmungen verletzen sollten. Ich garantiere, dass die zu Recht beanstandeten Passagen unverzüglich entfernt werden, ohne dass von Ihrer Seite die Einschaltung eines Rechtsbeistandes erforderlich ist. Dennoch von Ihnen ohne vorherige Kontaktaufnahme ausgelöste Kosten werde ich vollumfänglich zurückweisen und gegebenenfalls Gegenklage wegen Verletzung vorgenannter Bestimmungen einreichen.

Haftungshinweise

Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle übernehme ich keine Haftung für die Inhalte externer Links. Für den Inhalt der verlinkten Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

Kontakt:

Marc.Michalzik@bymm.de

Dieser Artikel unterliegt dem Urheberrecht. © ®. Alle Rechte vorbehalten. Keine Vervielfältigung, Nachdruck. V2_15, JAN2023, Marc Michalzik.