

Rohde & Schwarz KARU 510 Kapazitätsmesser



Abbildung 1: Rohde&Schwarz KARU 510 - röhrenbestücktes Kapazitätsmessgerät!

1 "intellektuelle" Einleitung: Freiheit genießen!

"Auf was für einem Trip ist denn der Marc neuerdings unterwegs?", werden einige von Euch vielleicht fragen. "Zuerst driftet er in die Mechanik ab, schabt irgendwelche 700kg schweren Werkzeugmaschinen ein und jetzt lötet er in uralten Röhrengeräten herum??", könnte die Frage lauten.

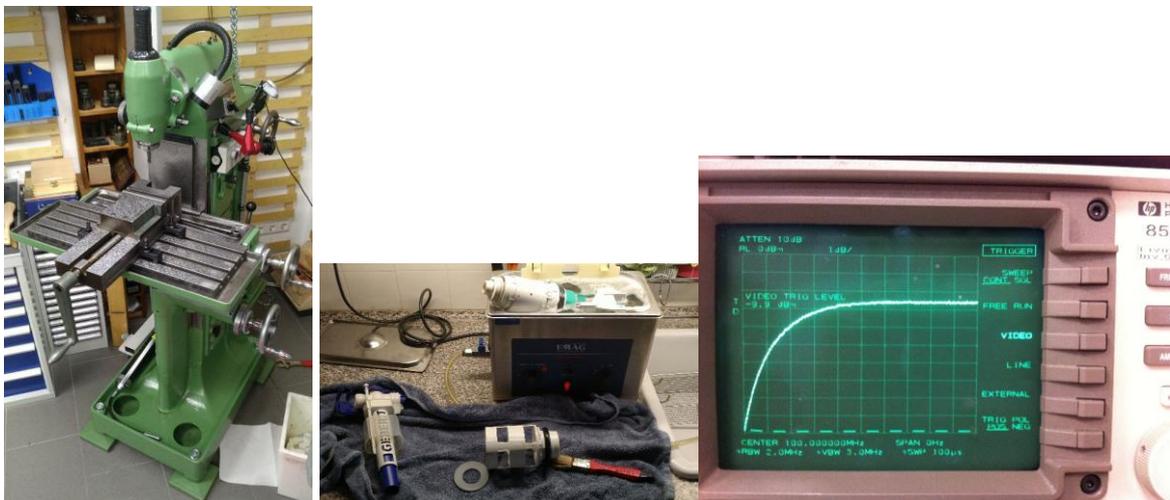


Abbildung 2: Fräsmaschine, Schwimmerventil am Klo, Einschwingzeit einer Eichleitung



Abbildung 3: Innenleben eines Türschlosses



Abbildung 4: Stimmstock eines Akkordeons, Zündkerzenwechsel am Kleinwagen



Summierung	Ordnung n	x
k	3	25,91
0	557,4527	
1	-31208,89	
2	697092,7	
3	-8661518	
4	69184501	
5	-3,87E+08	
6	1,6E+09	
7	-5,12E+09	
8	1,2E+10	
9	-2,69E+10	
10	4,63E+10	
11	-8,73E+10	
12	8,36E+10	
13	-8,99E+10	
14	8,45E+10	
15	-7E+10	
16	5,15E+10	
17	-3,99E+10	
18	2E+10	
19	-1,07E+10	
20	5,21E+09	
21	-2,31E+09	
22	9,41E+08	
23	-3,52E+08	
24	1,21E+08	
25	-3,88E+07	
26	1,15E+07	
27	-3,17E+06	
28	8,18E+05	
29	-1,97E+05	
30	4,58E4	
31	-9,60E3	
32	1,89E3	
33	-355,6657	
34	63,2316	
35	-10,63269	

Besselfunktion (Lösung des Bessel-Integrals)

$$J_n(x) := \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k! \Gamma(n+k+1)}$$

Diese Lösungen J_n der Besselschen Differenzialgleichungen 1. Art der Ordnung n mit der Gammafunktion

$$\Gamma(n) = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (n-1) = (n-1)!$$

Ergebnis Jn(x) 0,122789014

MAKRO PARAMETER
 X Startwert: 0,01
 X Stoppwert: 30
 X Schrittweite: 0,1
 Hinweis: Grafiken sind auf 1000 Werte ausgelegt

Folgende Ergebnisse wurden berechnet:
 Träger, 1. Polstelle ca. bei: 2,404825 => 2,405
 Träger, 2. Polstelle ca. bei: 5,520780 => 5,520
 Träger, 3. Polstelle ca. bei: 8,653725 => 8,654

Mit $n=diff / fs = 2,405$ ergibt sich z.B.:

Abbildung 5: Werkzeugmaschinen, Messgeräte, Musikinstrumente, Türschlösser, Autos- sogar vor der Berechnung von Besselfunktionen oder der Instandsetzung einer Toilette mache ich nicht halt...

Ihr habt ja Recht. Auch mir (und insbesondere meiner Frau ;-)) ist dieser Wandel nicht verborgen geblieben. Spektrumanalyzer, Drehmaschinen, Akkordeons und Röhrenprüfgeräte sind sicherlich keine Themen, die man einer hochspezialisierten Zielgruppe zum Konsum vorwirft.

Aber das muss ich ja auch nicht. Ich verdiene ja kein Geld mit meinen Basteleien und das hat einen großen Vorteil: ich muss mich nicht den harten Spielregeln der Gewinnerzielungsabsicht und insbesondere deren -maximierung(!) unterwerfen, sondern bin völlig frei in der Wahl meiner Themen. Ich beschäftige mich einfach mit dem, worauf ich gerade Lust habe. Ich muss niemanden bitten, den "Like"-Knopf zu "smashen", ein Abo "reinzuknallen" oder die Glocke zu aktivieren, so wie ich es insbesondere auf größeren Youtube-Kanälen inzwischen so oft höre.

Ich weiß nicht, wie es Euch geht, aber auf mich wirklich wirkt diese Art der der Abmoderation bei manchen YT-Kanälen schon manchmal etwas aufdringlich- besonders wenn dabei auch noch plakativ mit Faust auf den Tisch gehauen und es mit einem verbalen "Bäng!" untermauert wird. Irgendwie klingt das fast wie ein Pistolenschuss- für meine Ohren tatsächlich sehr unangenehm und ich zucke dabei innerlich zusammen.

Aber warum machen manche YTber das?

Bei all der Eigenwerbung geht es natürlich hauptsächlich darum, den Youtube-Algorithmus zu befriedigen, damit das Video im Ranking möglichst hoch steigt und der Autor dafür dann entsprechend mehr Geld mit seinem Video verdient. Sicherlich wichtig für hauptberufliche YT-Autoren. Für mich aber nicht, denn ich lebe ja glücklicherweise von einem normalen Bürojob in der Qualitätssicherung eines recht großen deutschen Unternehmens und da brauche ich weder "likes" noch "Abos" und "Glöckchen" schon gar nicht.



Abbildung 6: Wobei- das stimmt eigentlich gar nicht- von "Glöckchen" kann ich eigentlich gar nicht genug kriegen; allerdings dann die "richtigen"- Glöckchen ! Hier die Friedensglocke in Mösern nahe Innsbruck (Österreich), von der man aktuell nur hoffen kann, dass ihr Klang irgendwann einmal selbst bis zu den Hirnen der verbohrtesten Politiker dieser Welt durchdringt.

2 Hobbybasteln macht frei

Und genau das ist das Gute bei einem reinen Hobby: man muss nicht darauf achten, wie viele Menschen seinen "Content" (so sagt man das heute) lesen oder schauen, seine Themen nicht systematisch nach Interessen anderer ausrichten, sondern einfach "frei von der Leber weg" seine Leidenschaft leben kann. Und in meinem Fall einfach aufschreiben- ich mache es ja aus rein intrinsischer Motivation und nicht für Algorithmus und Klick-Zahlen. Gut, nicht?



Abbildung 7: bislang einer meiner erfolgreichsten Reparaturberichte, wenn man rein nach "Klick-Zahlen" (=Anzahl Downloads) geht: die Reparatur eines Sennheiser MD-441 Mikrofons aus dem Jahre 2012

Das soll nicht heißen, dass ich nicht nachempfinden kann, dass ein Content-Producer sich anhand hoher Klickzahlen darüber freut, dass sein Werk in der Gemeinde offensichtlich Anerkennung findet! Das sei ihnen von Herzen gegönnt- doch sollte das allein das Ergebnis eines guten Videoinhaltes sein und nicht die Auswirkungen einer aufdringlicher Abonnement-Campagne!

Daher möchte ich an dieser Stelle ich ein großes DANKE an alle die Content-Provider richten, die ebenso denken wie ich und uns nicht mit überzogenen Klick/Abo/Glocken-Aufrufen nerven oder niveaureichen Clickbait-Titeln wie ("Ihr ahnt nie, was hinter dieser Schranktür ist!") zum Klicken auf ihre Videos nötigen wollen. Bitte versteht mich nicht falsch: ich habe absolutes Verständnis für jeden, der seine Zuschauer nett bittet, einen "Daumen hoch" zu vergeben oder einen fröhlichen Kommentar zu hinterlassen, denn es gibt genug YTber, denen alleine das Feedback seiner Zuhörenden Lohn genug für die ganze Arbeit ist und das wollen wir ihnen auch wirklich gönnen!

Ich finde jedoch, dass es damit einige einfach etwas übertreiben. Denn: zumindest mir ist es schon mehr als einmal so gegangen, dass ich mich so "angenervt" gefühlt habe, dass ich das Kanalabo dann am Ende sogar alleine aus Trotz beendet habe, weil ich es einfach nicht mehr hören konnte. Und das ist auch schade, denn ein verlorener Abonnent ist genau das Gegenteil von dem, was der YTber sicher erreichen sollte. Ich bitte dafür noch im Nachhinein um Entschuldigung- aber ich habe die permanente Aufdringlichkeit einfach nicht mehr ausgehalten!

Somit freue ich mich also, wenn ein Content-Provider seine Beiträge aus Passion und Liebe zur Thematik gestaltet und nicht ausschließlich für den Klingelbeutel. Denn hier lauert durchaus eine Gefahr: ich bin mir sicher, dass -sind solche finanziellen Anreize und Interessen erst einmal vorhanden- uns das auch ein Stück weit beeinflusst und sogar etwas verändert. Wir streben dann am Ende möglicherweise nicht mehr nach Wissen, sondern (auch) nach Geld- weil es eben lockt!

Und das wäre schade, denn sobald man mit einem Hobby mehr Geld verdient als es uns kostet, ist es eigentlich ein Erwerb- und strenggenommen kein Hobby mehr! Das Eintauschen eines Stücks individueller Freiheit in klingende Münze kann bis zu einem gewissen Grad akzeptabel und wenig beeinträchtigend sein- doch der Grad, ab wann eine wirklich spürbare Abhängigkeit beginnt, ist schmal und für einen selbst sicher nur ganz schwer (wenn überhaupt) zu erkennen.



Abbildung 8: apropos "Geld versenken": ein Peterson 420 Stimmgerät mit rotierender Stroboskop-Scheibe- uralte Technik, aufwändig und kostenintensiv aus USA importiert. Es ist nicht so, dass ich nicht schon ein Stimmgerät hätte, das dem Peterson mindestens ebenbürtig wäre....



Abbildung 9: ...nämlich dieses hier (ein TLA CTS-5-C), aber hier geht es nicht um Profit, Effizienz und "Geld sparen", sondern um Hobby, Spaß und um Anreicherung von Wissen!

"Freiheit" hat aber auch einen weiteren Aspekt:

Vielleicht habt ihr schon gemerkt, dass ich in meinen Texten bewusst oft spoilere und manchmal sogar sowas wie "Voice-Over's" eines virtuellen Autors aus der Zukunft in meinen Geschichten mit einbaue. Das ist Gift für Spannungsaufbau, quasi so eine Art "Anti-Clickbait", weiß ich, da ich aber hier kein Drehbuch für einen Kinofilm schreibe, sondern nur einen Reparaturbericht, kann ich mir das locker erlauben. Und auch das ist ein Stück weit gestalterische **F r e i h e i t**- die ich persönlich auch schonungslos für mich beanspruche!



Abbildung 10: Manuskript für einen Artikel, der demnächst in einer Amateurfunkzeitung erscheinen wird- wie ihr mich kennt, natürlich nicht "kurz&knapp", sondern "ausschweifend&blumig", daher in einem Umfang von nicht weniger als 27 Seiten. Das wird eine Zeitung nie und nimmer vollständig drucken können- und das Erzittern des Lektors spüre ich selbst von Kassel bis hierher, wenn er es mit viel Aufwand und Geseufz entsprechend kürzen muss ;-)

Aber genau diese Freiheit erlaubt es mir es erst, mir meine Themen unabhängig von Nutzerstatistiken oder Klickzahlen auszusuchen. Und das wiederum macht es mir möglich, mich selber auch unbefangen in immer neue Themen einzuarbeiten- jetzt eben gerade in die Röhrentechnik. Das ist quasi das "Oldtimer-Hobby" der Elektronikbastler- niemand braucht es wirklich mehr, aber nichts in diesem Elektronenhobby sonst hat so viel Charme wie die alten Glühtransistoren aus den alten Geräten!



Abbildung 11: mit Röhrentechnik hatte ich allerdings auch schon vorher zu tun: hier bei der Restauration eines Leslie 122 Verstärkers für eine Hammondorgel

3 ...und jetzt die "echte" Einleitung ;-)

So, das soll uns als intellektuell inspirierender Teil dieses Berichts jetzt reichen. Nun beschäftigen wir uns mit den Glühfreunden der fliegenden Elektronenemission- und zwar mit Rohde&Schwarz's KARU- einem Mitglied der inzwischen legendären 4köpfigen Familie der Kapazitäts- und Induktivitätsmesser; und zwar bestehend aus



Abbildung 12: vlnr: KARU, LARU, LRT, KRT

- R&S KARU 510 => Kapazitätsmesser, Technologie Röhre
- R&S LARU 610 => Induktivitätsmesser, Technologie Röhre

sowie den Nachfolgern

- R&S KRT => Kapazitätsmesser, Technologie Transistor
- R&S LRT => Induktivitätsmesser, Technologie Transistor.

Der Zufall wollte es eben, dass das erste Familienmitglied meiner geplanten Sammlung ein KARU war- der übrigens ganz exakt "KARU 510" heißt. Warum, weiß ich auch nicht. Es sagt eigentlich auch niemand "KARU 510". Erst durch das Typenschild habe ich das staunend gelernt, dass KARU auch einen Nachnamen hat. Oder eine Postleitzahl*. Je nachdem, wie man es liest ;-)

An dieser Stelle übrigens einen schönen Gruß an Andreas, von dem ich dieses KARU in den Kleinanzeigen gekauft habe. Laut eigener Aussage habe er das Gerät vorher schon mechanisch etwas aufgearbeitet und das glaube ich ihm zweifellos. Bis auf das etwas brüchige Netzkabel ist es in tadellosem Zustand und auch von innen eine echte Augenweide! Was für ein schönes Gerät! Da macht das Schrauben richtig Spaß!



Abbildung 13: ein sehr gepflegtes Inneres, wirklich!

* das "510" ist vermutlich eine Anlehnung an "BN 510"- also "Bestellnummer 510" und stammt aus einer Zeit, in der das R&S-Portfolio noch weitaus überschaubarer war als heute...

4 Eingangstest

Ich habe mir inzwischen angewöhnt, insbesondere bei besonders alten Geräten erst einmal eine kurze Prüfung der elektrischen Sicherheit durchzuführen, bevor ich an ihnen herum-schraube.

Das soll jetzt nicht heißen, dass mir Sicherheit vorher egal war- im Gegenteil. Allerdings habe ich an meinen "Elektronikbaustellen" Sachen wie Isolation, Leckströme und Erdungswiderstand vorher nie explizit gemessen, sondern mich meist mit einer Sichtprüfung zufrieden gegeben. Nun, scharfe Bastleraugen finden da schon eine Menge und selbst die DGUV (Deutsche Gesellschaft der Unfallversicherer) behauptet, dass man damit üblicherweise bereits 80% der Probleme alleine durch "optische Inspektion" finden kann. Doch habe ich inzwischen gelernt, dass man gerade bei so alten Schätzchen durchaus einmal Isolationswiderstand und den Erdungsanschluss auch messtechnisch überprüfen sollte, bevor man sich mit dem LötKolben dranmacht. Denn nicht nur der Zahn der Zeit mag an der Trafoisolation geknabbert haben- auch darf man nicht vergessen, dass die Geräte früher für 220V Netzspannung konstruiert wurden, sie inzwischen aber bei uns schon bei 230V liegt* und alleine dadurch schon höhere Belastungen für das Gerät auftreten.

* genau genommen sogar bei $\frac{400}{\sqrt{3}}V^{**} \approx 231V$

** warum ist denn Formeleditor in Word 365 über die letzten Word-Versionen so absolut schrecklich geworden, dass man mit ihm heute kaum noch einen simplen Bruch eingetippt kriegt?

Daher ist der erste Schritt für mich, nach der Gerätesicherung zu schauen. Oftmals kann man die bei unseren Messgeräten nämlich von der 220V- in eine 230V- oder sogar 235V-Position umstecken, was nicht nur die Verlustleistung des Gerätes minimieren dürfte, sondern ebenfalls auch den Stress für Ladeelkos oder Röhren (Anodenspannung) vor unnötig hohen Spannungen bewahrt.

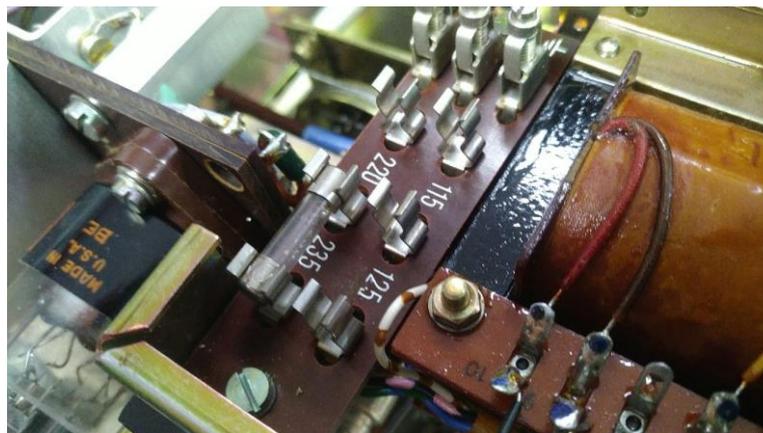


Abbildung 14: die Sicherung steckt bereits in der 235V-Position- sehr gut!

Beim KARU jedenfalls war die Sicherung von meinem Vorbesitzer bereits in die 235V-Position umgesteckt worden (danke, Andreas!) und somit kann ich mit meinem Sicherheits-Eingangstest schon loslegen.

Und der fällt bereits bei der Sichtprüfung durch: die bröckelnde Isolation des Netzanschlusskabels, bei dem sogar einzelne Adern sichtbar werden, wenn man etwas heftiger daran herumzieht, zwingt uns zu einem sofortigen Austausch!



Abbildung 15: Oha, da bleibt nur noch eines: weg damit!

Also starte ich erst damit. In meiner Netzleitungs-Kiste finde ich ein hellgraues, fertig konfektioniertes Kabel, das ich dafür verwende. Beim Ausbau der alten Zugentlastungsbuchse und Abschrauben der Kabelenden fällt mir auf, dass hier verzinnte Adern in einem Klemmblock stecken- nach heutigen Maßstäben eine Todsünde!

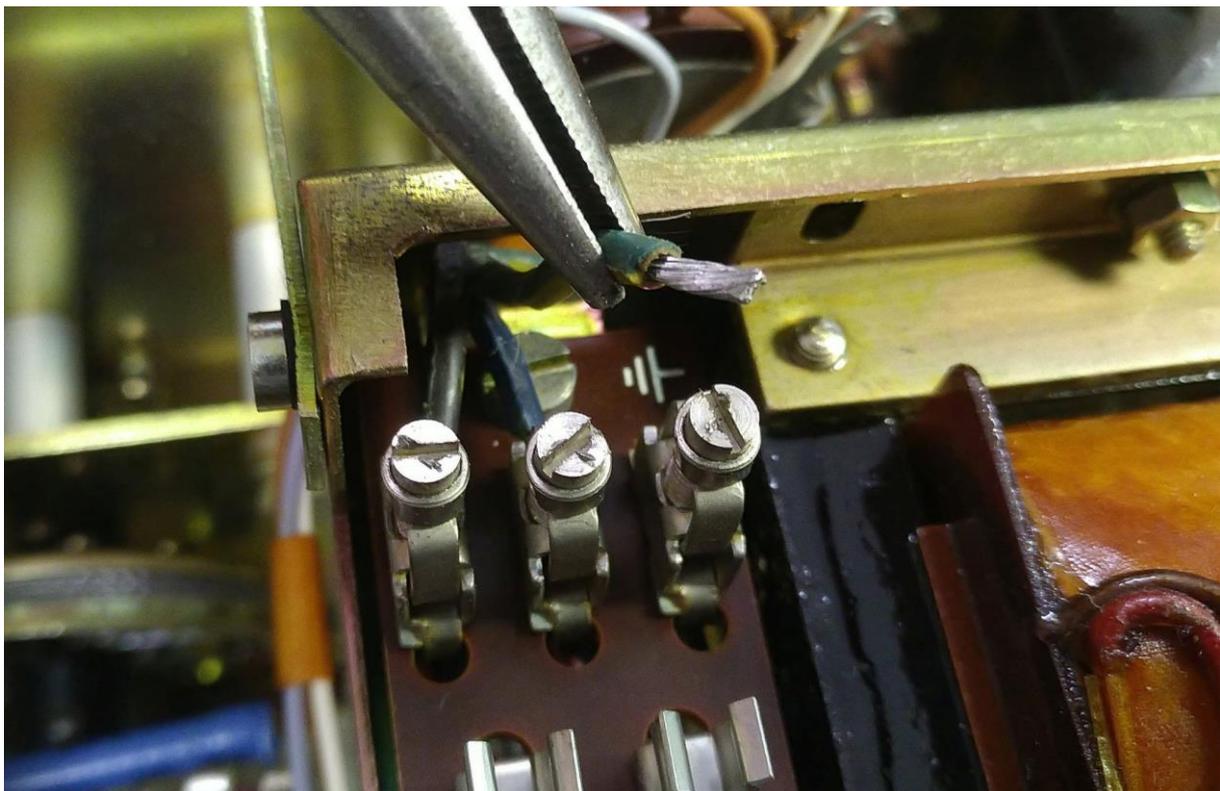


Abbildung 16: verzinnte Adern in verschraubten Verbindungen sind gefährlich, da sie sich über lange Zeit lockern und so Schmorstellen entstehen können

Denn: Zinn fließt unter mechanischem Druck (langsam, aber stetig) weg und würde so die Klemmkraft der Schraubverbindung (und damit den Übergangswiderstand) über lange Zeit verschlechtern. In diesem Falle allerdings ist der verwendete Klemmblock qualitativ so hochwertig, dass hier nicht die nackten Schraubenenden auf die Kabelenden pressen, sondern eine

Art Federblech zwischengelegt ist. Wenn man sowas vorliegen hat, braucht man strenggenommen auch keine Aderendhülse, denn das Federblech übernimmt dann diese Funktion. Verzinnen darf man die Litze dann aber trotzdem nicht.



Abbildung 17: bei der Zugentlastung und dem Knickschutz muss ich -mangels Verfügbarkeit von Originalteilen- leider improvisieren

Ich presse trotzdem Aderendhülsen auf meine neue Anschlussleitung, baue eine PG7 Zugentlastung ein und montiere dann alles. Zugegeben- Oliver von "ollisTubes" würde nun sicher besorgt die Stirn runzeln, denn so richtig schön und original sieht das wirklich nicht aus. Aber mangels Verfügbarkeit originaler Ersatzteile in meiner Bastelkiste bleibt mir kurzfristig leider keine andere Möglichkeit. Wichtig ist mir primär, dass hier nun die elektrische Sicherheit wiederhergestellt ist und das wiegt für mich persönlich immer stärker als ein möglichst originalgetreuer Aufbau*.

* Schon jetzt einmal Verzeihung an alle Radiofreunde, die sicher meine ziemlich "nüchterne" und eher "technisch-zielgerichtete" Denkweise nicht komplett teilen mögen.

Aber dazu gleich mal ein kleiner Exkurs:

5 Gewissenskonflikt und Kaffeebesuch

Die Frage nach "austauschen oder nicht" ist stets die individuelle Entscheidung eines jeden Bastlers- und die tatsächlich nicht immer leicht zu treffen ist!

Bei einem brüchigen Netzkabel mag man noch schnell einsehen, dass man bei dem verwendeten Ersatzteil den Kabelquerschnitt korrekt wählt, eine Zugentlastung anbringt und am Ende auch Aderendhülsen aufpresst, damit es (grob) den heutigen Sicherheitsstandards entspricht. Aber schon beim Berührschutz im Innern des Gerätes (z.B. Anschlussblock, Trafoanschlüsse) müsste man strenggenommen überall zusätzliche Isolierplatten nachrüsten, was im schlimmsten Fall einem Umbau des kompletten Gerätes gleich käme. Und manchmal geht es auch gar nicht: nicht jeder heute gültige Sicherheitsstandard lässt sich in jedes alte Gerät nachrüsten und spätestens dann wird die Abwägung schwer: es wird zur Gewissensfrage, wie weit man gehen will oder überhaupt kann!



Abbildung 18: unsere Katze wärmt schon einmal den Sitz für den Kaffeebesuch vor

Der Vorteil ist, dass wir im Hobbybereich deutlich mehr Freiheit haben als im gewerblichen. Solange unsere alten Radios und Messgeräte nur von uns selbst bedient werden, und wir uns selbst durchaus als "fachkundig" betrachten können, ist eigentlich alles noch ziemlich entspannt. Wir können selber entscheiden, ob das Weglassen eines erst heutzutage vorgeschriebenen Berührschutzes im Innern eines Gerätes wirklich ein echtes Risiko für uns darstellt, oder wir einfach nur darauf achten, dass kein zum Kaffeebesuch angereizter ehemaliger Schulfreund das Radio begeistert mit der Kuchengabel auseinanderschraubt und unter Strom ein Stück gut leitfähiger Baddeckenstedter Sahnetorte da reinsteckt. Jeder mit etwas mehr als nur 3 Gehirnzellen Sachverstand zwischen den Ohren wird das sofort verstehen und keinen Unsinn machen.

Die Schwierige ist nur, auch die mit weniger Gehirnzellen vor sich selbst zu schützen. :-/

Und diesen Konflikt kann ich Euch leider nicht abnehmen. Ich selber höre meistens auf mein eigenes Bauchgefühl, wie viel Modifikation notwendig ist und wo ein Risiko unwahrscheinlich wird. Ein brüchiges Netzkabel, defekter Netzschalter oder fehlende Aderendhülsen bei einem Litzenkabel in der Lüsterklemme wird nach meiner Auffassung kompromisslos in Ordnung gebracht. Auch die elektrischen Messwerte müssen stimmen, denn sonst fliegt am Ende auch der FI-Schalter bei mir in der Hauselektrik.



Abbildung 19: damals gab es noch keine Anforderungen nach Berührungsschutz und Durchführungstüllen. Ein Gewissenskonflikt, wie weit man bei alten Geräten so etwas heute nachrüstet- bzw. überhaupt kann!

Bei in einem Röhrenprüfgerät aus den 1960er Jahren mit auf der Frontplatte eingebauten Buchsen zum Abgriff von Anodenspannung wird es aber schon schwierig. Klar kann man da dran einen gewischt kriegen. Ebenso wie an allen anderen eingebauten Prüf-Röhrenfassungen auf der gesamten Frontplatte. Wer da während der Messung mit spitzen Fingern absichtlich herumgrapscht, zieht sich bis zu 400V Anodenspannung in die Finger!



Abbildung 20: Kalibr L3-3 Röhrenprüfgerät- so ein Teil zu heute gültigen Sicherheitsstandards konform zu machen, wäre alleine wegen der ganzen freiliegenden Röhrenfassungen in der Frontplatte vermutlich ziemlich aussichtslos!

Abhilfe brächte z.B. eine große, über das gesamte Gerät herüberklappbare transparente und isolierende Schutzhaube mit Schaltkontakt, die das Gerät erst dann einschaltet, wenn sichergestellt ist, dass keiner mehr die Finger in der Nähe der Röhrenfassungen haben kann, bevor der Strom an geht.

Ich stelle mir diese Lösung gerade für mein Röhrenprüfgerät Rörotnik (Abbildung 20) vor. Oder den Hickok TV-2. Aufgrund der verteilten Röhrenfassungen auf der Frontplatte ein komplett aussichtsloses Unterfangen, hier so etwas nachrüsten zu wollen. Von daher: selbst wenn die aktuellen Vorschriften alle supergut gemeint und bestimmt auch sinnvoll sind: sie lassen sich bei alten (historischen) Geräten nicht immer nachträglich umsetzen. Und mit diesem Risiko müssen wir (im Privatbereich) leben.

Mein Tipp für diesen Fall: die ggfs. erkannte Gefahr auf einem Aufkleber notieren und gut sichtbar auf das Gerät kleben. Steckt dann der Schulfreund dennoch seine Kuchengabel in's Röhrenprüfgerät und vaporisiert damit sich selbst nebst den auf dem Teller liegenden Croissant, so kann man euch wenigstens keine grobe Fahrlässigkeit mehr nachweisen.

Das Croissant bringt euch das allerdings nicht zurück.

Den Schulfreund leider auch nicht. Aber vielleicht habt ihr ja noch einen anderen ;-)

Ohja, ganz schön böser Humor heute.

Zum Ausgleich ein schönes Sommerbild. Aufgenommen aus dem fahrenden Auto auf der Bundesstraße B6 zwischen Salzgitter-Bad und der Nauenburg. Da, wo die Sonne gerade leuchtet, wohne ich etwa ;-)



Abbildung 21: Sommeridylle

6 DIN VDE 0701/0702-Tester

Als jemand, der langsam auf die 50 zugeht, merke ich zunehmend, dass man zwar recht leicht unheimliche viele Croissants nachkaufen kann, aber nicht unendlich Schulfreunde. Daher sollte man sorgsam mit ihnen umgehen. Und daher habe ich mir ein Testgerät gekauft! Nein, kein Testgerät für Schulfreunde, sondern ein Testgerät für "nicht ortsfeste elektrische Anlagen". Also alles das, wo ein 230V-Stecker dran ist und was man herumschleppen kann.

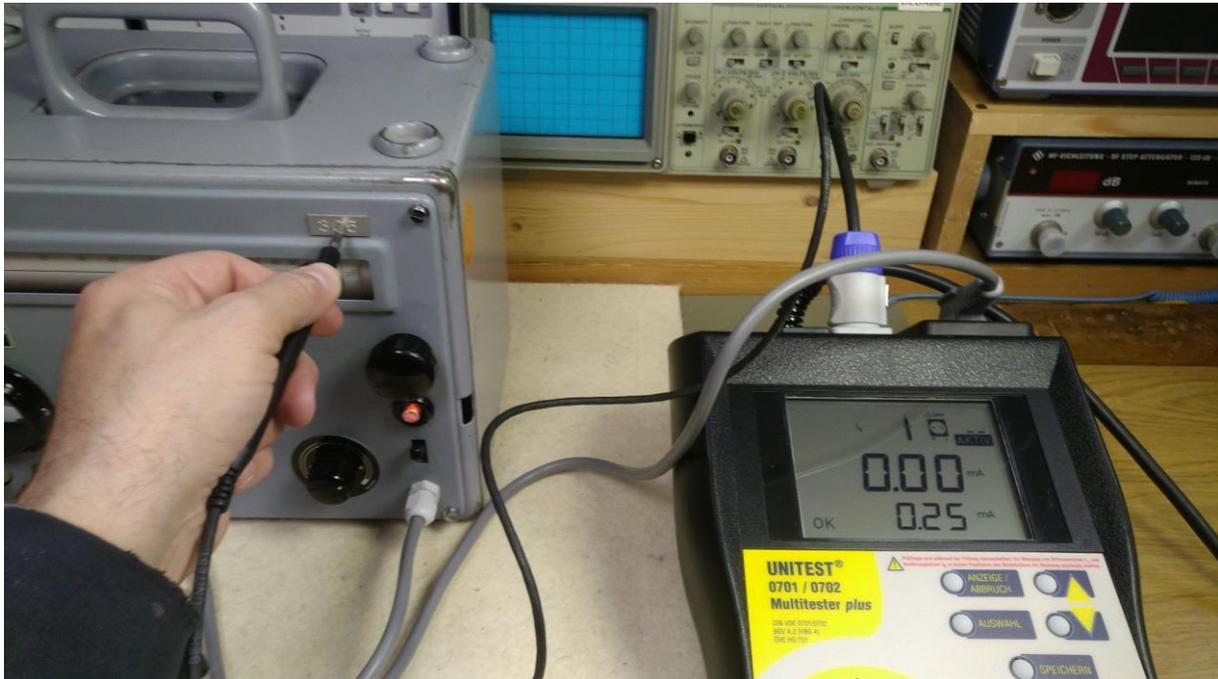


Abbildung 22: Berührungsstrommessung am R&S KARU mit Bera Unitest 0701/0702

Der Gedanke: auch wenn wir mit unseren alten Kisten die heute gültigen Industriestandards möglicherweise nicht immer korrekt einhalten können, so ist es dennoch eine gute Idee, sich an ihnen zu orientieren. Und ein solch offiziell anerkannter Standard ist eine elektrische Prüfung nach DGUV A3, die wiederum auf der DIN VDE 0701/0702 basiert.

Zu diesem Zweck wurden dedizierte "DIN 0701/0702"-Tester entwickelt, die uns dabei helfen sollen, die für die elektrische Sicherheit notwendigen Messungen durchzuführen. Neuere Modelle können teilweise sogar einen kompletten Prüfablauf vollautomatisch durchführen, wobei ich dabei immer etwas skeptisch bin: je mehr ich das "Nachdenken" dem Messgerät selbst überlassen, desto weniger verstehen wir i.d.R. selber, was genau es gerade macht und ob die Messung an diesem Prüfling überhaupt gerade sinnvoll ist oder nicht. Daher habe ich mir auch einen Tester gekauft, bei dem man die einzelnen Prüfschritte noch selber durchführen muss/kann und nicht nur ein vollautomatisches Prüfprogramm durchrattern lässt.

Wen das näher interessiert, der kann gerne auf www.bymm.de schauen; dort habe ich einen eigenen Bericht zu Thema "elektrische Sicherheit" verfasst.

Bei unserem KARU jedoch gibt es -nach dem Netzkabel-Austausch- nun aber nichts mehr zu meckern. Sowohl die Isolation stimmt noch als auch sämtliche Erdungswiderstände und -ströme. Der Schulfreund kann also gefahrlos zu Besuch kommen!

7 Abgleich: Grundlagen

Wenn man ein KARU neu justieren möchte (oder muss), dann wird es schnell eng mit Informationen. Es gibt zwar zum KARU ein Service-Manual, allerdings findet man als einzige Abgleichinformation dort ein Kapitel, wie man die kleine Abgleichhilfe (das Messinstrument) benutzt, während man im Rahmen der Benutzung des Gerätes das Resonanzmaximum findet. Wie man jedoch die Lage des Resonanzmaximum einstellt -sprich: was die Dose nachher als Messwert anzeigt- darüber gibt's da leider nichts. Zumindest nichts, was ich oder auch die Radiosammler kannten, die ich gefragt habe. Und auch meine Unterstützer bei R&S konnten mich zwar mit verschiedenen Versionen der Manuals zuschütten, aber bei ihnen allen fehlt eine Anleitung zum korrekten Abgleich.

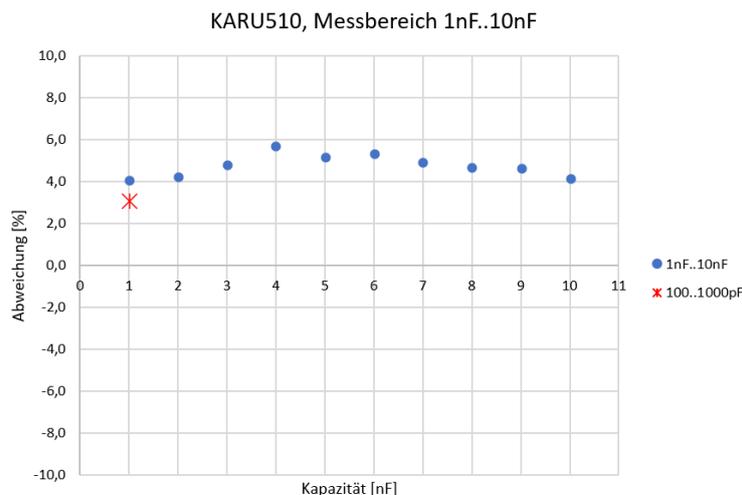


Abbildung 23: aktuell zeigt mein KARU einen Messfehler von bis zu etwa 6%- erlaubt sind nur 1%! Wie ich das gemessen habe und warum ich mir sicher bin, dass meine Messungen stimmen? Gute Frage! Die Antwort kommt gleich!

Was also machen? Mein KARU zeigt bis zu 6% verkehrte Messwerte; Spezifikation ist max. 1% Messfehler, daher haben wir hier echt Handlungsbedarf.

Also mal wieder auf eigene Faust. Zuerst prüfe ich, ob nicht vielleicht nur der Zeiger am Skalenseil verrutscht ist. Also drehe ich auf die Extremwerte (Skalenanfang und Skalende) und sehe mir die Lage des Zeigers, der mechanischen Anschlagbegrenzung und die Lage des Haupt-Drehkondensators C8 an. Es passt allerdings alles perfekt zusammen: sobald der Zeiger ganz links steht, hindert ihn der mechanische Anschlag am Weiterdrehen und auch C8 sieht so aus, als ob er sauber zu 100% eingedreht sei. Entsprechend für Rechtsanschlag: alles super!

Wir müssen also elektrisch was verstellen. Natürlich locken hier die Ferritkerne, die eingewachst aus den Oszillatospulen herausgucken und auch die parallel gelöteten Abgleichtrimmer (4..20pF) bieten sicher eine Verstellmöglichkeit. Allerdings scheue ich mich ein wenig davon, an irgendwas herumzudrehen, wenn man die Schaltung nicht wirklich verstanden hat.

Und da tue ich mich tatsächlich etwas schwer. Vielleicht liegt es an der Grippe, die angeblich gerade 10 Millionen Deutsche haben, nachdem die Corona-Hygienemaßnahmen unser aller Immunsystem geschwächt haben und die auch unsere Familie gerade erfasst hat, vielleicht liegt es aber auch einfach daran, dass der Schaltplan ein wenig "umständlich" gezeichnet ist.

Erst, als ich das KRT-Manual aufschlage, und die dortige Schaltung sehe (die eigentlich im Prinzip genauso funktioniert wie das KARU), beginnen meine Zahnräder im Hirn endlich zu drehen. Manchmal braucht es eben einfach einen kleinen Schubs ;-)

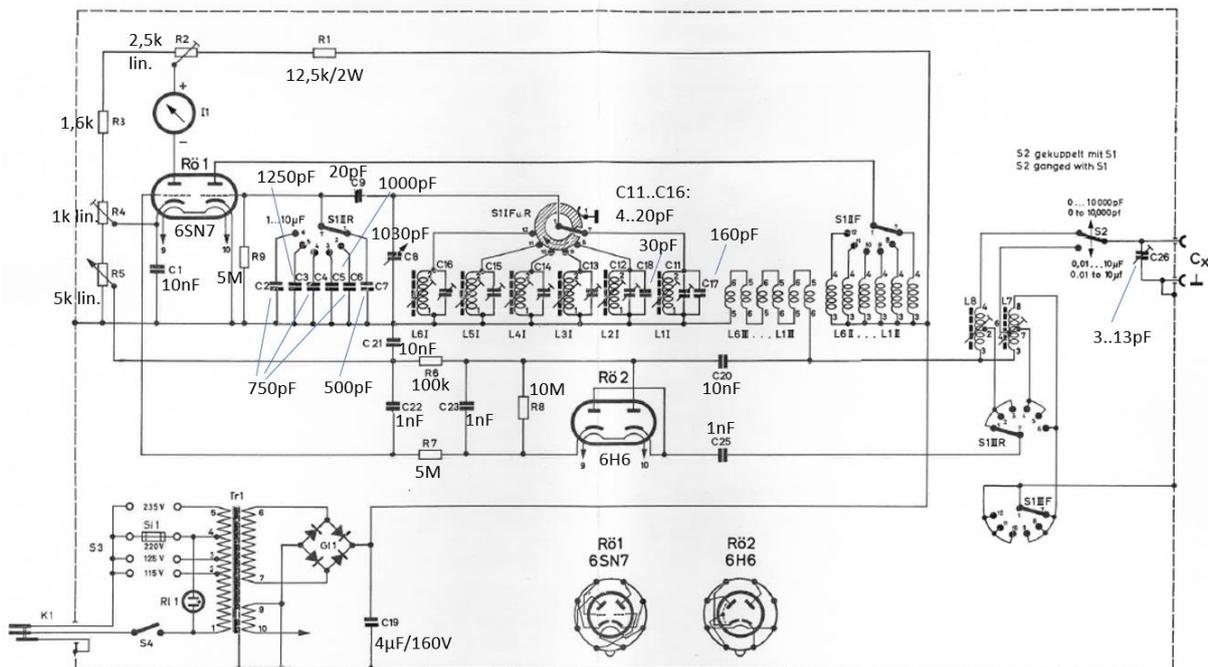


Abbildung 24: von mir beschriftetes KARU-Schaltbild (Quelle: R&S KARU Service Manual)

Beim KARU (wie beim KRT auch) gibt es drei Abgleichelemente:

- a) Oszillatorspule => Abgleich des Skalen-Endwertes
- b) Oszillator-Trimmkondensator => Abgleich des Skalen-Startwertes
- c) Hauptdrehko => Linearisierung der Skala

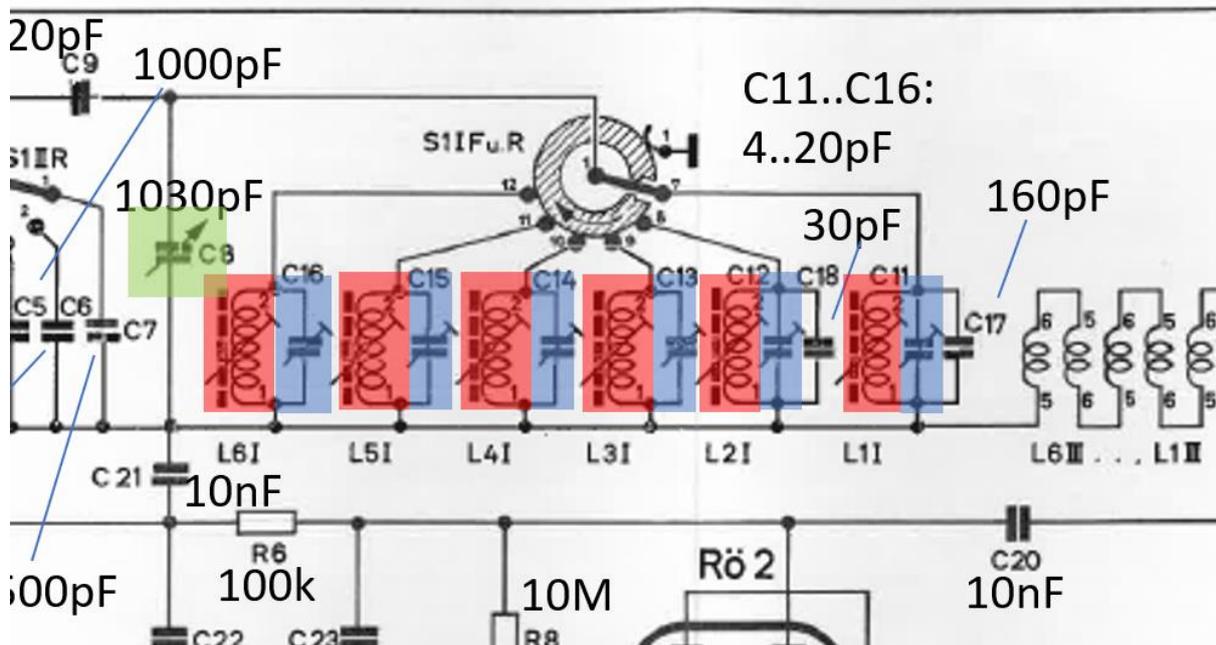


Abbildung 25: Abgleichelemente beim KARU

Im Prinzip steht das in dem KRT-Manual auch genauso drin. Allerdings unter Kapitel 3.1.3.1.1, 3.1.3.1.2 und 3.1.3.1.3. und ganz im Sinne der verwendeten 5 Gliederungsebenen(!) auch leider nicht so klar beschrieben. An melden Stellen bringt es das Manual übrigens sogar auf nicht weniger als 6:

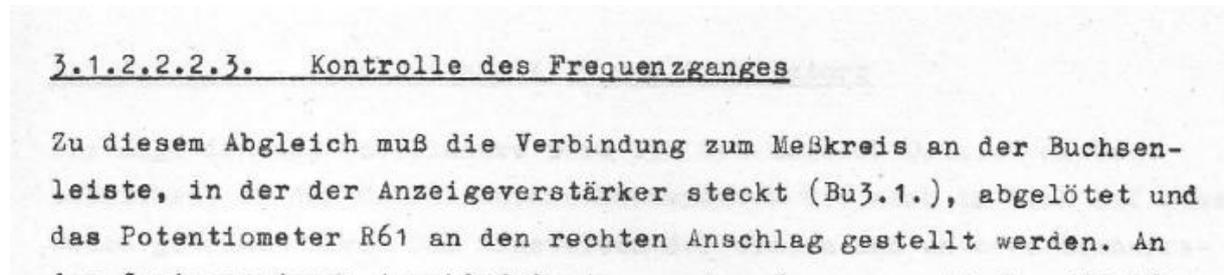


Abbildung 26: sechs Gliederungsebenen- muss das echt sein? (Quelle: R&S KRT Service Manual)

Mag sein, dass sich das in der Wissenschaft so durchgesetzt hat. Aber mal ehrlich- so richtig übersichtlich ist das für mich nicht. Und für ein so kleines Gerät wie das KRT bestimmt etwas übertrieben. Egal, dafür gibt es ja diesen Reparaturbericht. Und in denen verwende nur ganz selten Unterpunkte, weil ich der Meinung bin, dass eine schlichte, lineare Gliederung auch ihren Reiz hat ;-)

Nach einer ersten, flüchtigen Bestandsaufnahme an meiner Kapazitätsdekade (dazu gleich mehr im nächsten Kapitel!) ergibt sich dieses Bild:

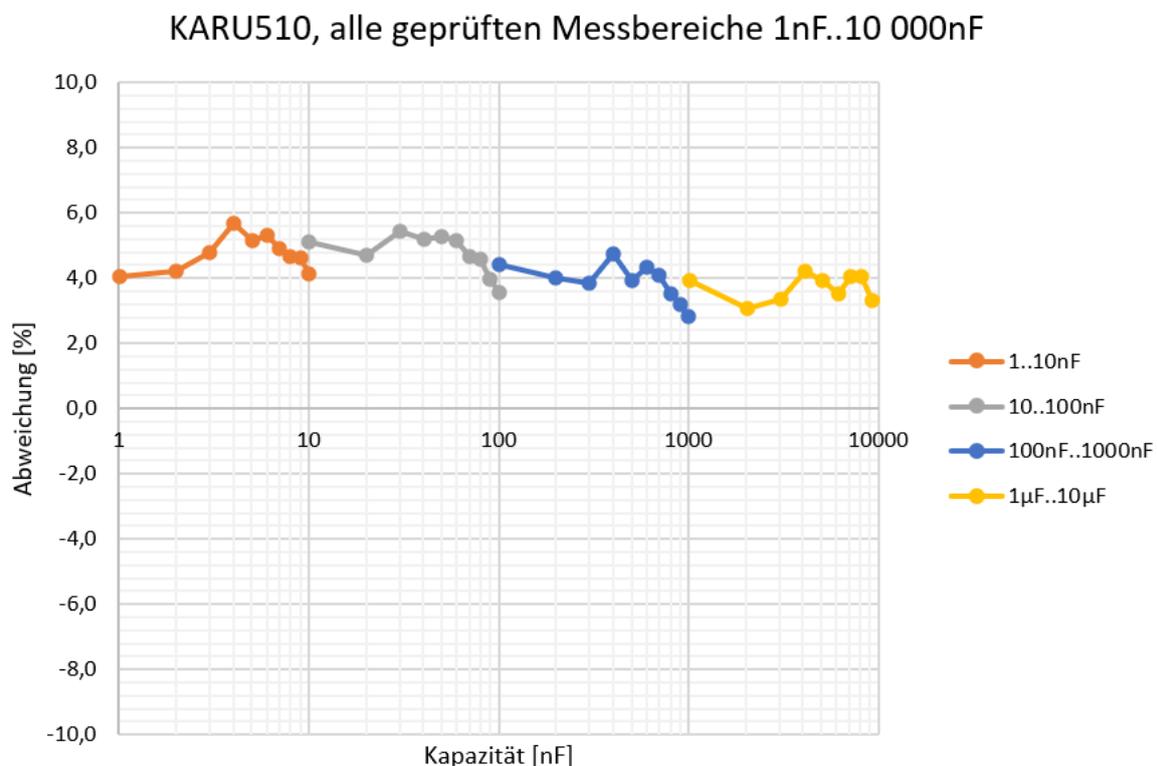


Abbildung 27: Fehlerkurven des KARU im Originalzustand

Es scheinen alle Messbereiche in der Größenordnung von +3%..+6% über Toleranz zu liegen....oder liegt vielleicht meine Kapazitätsdekade "außer Toleranz"??

Wo ich gerade beim Kritisieren bin: welcher Designer hat eigentlich das **Standard-Farbdesign für MS Office** festgelegt? "Hellgrau auf weiß" ist doch jetzt echt nicht euer Ernst! Sehr ihr beispielsweise das hinterlegte, feine Frequenz-Hilfsgitter in Abbildung 27? Nein? Ich auch nicht. Es ist aber da: in der original von meinem MS Excel vorgeschlagenen Farbe: natürlich hellgrau. Auf weißem Hintergrund. Ich habe es absichtlich einmal in den bei mir vorgeschlagenen Vorgabeeinstellungen gelassen, um Euch zu zeigen, wie absolut untauglich dieses Design zumindest für meine Zwecke ist. Was war am alten Schwarz früher denn so schlecht?

Da ich Euch nicht unebschriftete hellgrau-auf-weiß-Diagramme präsentieren möchte, bedeutet das neue Farbdesign daher für mich leider inzwischen erheblichen **Zusatzaufwand(!)** gegenüber früheren Office-Versionen. Ich gebe zu, dass ich wahrscheinlich mit meinen Berichten so eine Art "Poweruser" bin, aber gerade dann ist eine effiziente Bedienung doch wichtig. Das manuelle und händische Umstellen all der von MS Office getätigten Voreinstellungen in Diagrammen und Grafikelementen ist wirklich nervig geworden. Ich hoffe, dass der Hersteller das irgendwann auch erkennt und wieder zu "non-fancy", aber dafür deutlich "nützlicheren" Settings zurückfindet.

Zurück zur Kapazitätsdekade und der beobachteten Abweichung:

Um mir sicher zu sein, welchen Effekt genau ich hier messe (die Abweichung des Prüflings oder die meiner Referenz?), hat man ja dokumentierte und gültige Kalibrierungen, auf die man sich verlassen kann. Und genau so eine brauche ich jetzt, denn sonst kann ich nicht auseinanderhalten, ob das KARU falsch misst oder nur meine Kapazitätsdekade vielleicht verstellt ist.

Vor dem eigentlichen Abgleich des KARU steht also eine kleine, aber sehr wichtige Vorbereitungsarbeit: **eine Kalibrierung!**

Naja, oder eher eine einfache "Verifikation", denn strenggenommen erfülle ich kaum die Voraussetzungen für so einen seriösen Begriff...nennen wir es also doch lieber "Vorbereitung" ? ;-)

8 interne Kalibrierung als Vorbereitung ;-)

Die Vorbereitung beginnt also damit, dass ich erst einmal meine Messmittel überprüfen muss, anhand derer ich das KARU gleich einstellen werde: und zwar allen voran meine Kapazitätsdekade.



Abbildung 28: Verifikation meiner Boite CD3 Kapazitätsdekade mit einem HP4284A

Dass die zuletzt vor 6 Jahren kalibriert wurde und auch mein HP4284A nicht mehr als "taufersch" anzusehen ist, ist jetzt nicht ignorieren. Denn die Crux dabei ist, dass ich konzeptbedingt sämtliche unerkannte Fehler/Ungenauigkeiten, die meine Kapazitätsreferenz möglicherweise besitzt, beim Abgleich des KARU dann in das Gerät mit "hineinkopieren" würde. Will sagen: das KARU wird am Ende nur so genau arbeiten, wie die vorhandene Kapazitätsreferenz ist, nach der ich es justiert habe.

Das ist auch der Grund dafür, warum man so schrecklich viel Aufwand für eine ordentliche Kalibrierung bei Messmitteln spendiert: je präziser die arbeiten, umso präziser laufen am Ende die Geräte, die ich auf deren Basis entwickle/abgleiche.

Für das KARU benötige ich eine Referenz, nach der ich es am Ende einstellen kann. Dabei muss die Referenz aber nicht zwingend nur "gerade" Werte (wie z.B. "10,000nF") liefern. Es reicht, wenn die Werte nur genau genug bekannt und möglichst langzeitstabil sind! Ein über Jahre validierter und genau bekannter, "krummer" Referenzkondensator von beispielsweise "8,8467nF @ 1kHz, $R_p=1,57\text{M}\Omega$, @+23,7°C) wäre mir daher um Welten lieber als ein flüchtig gemessener "10,00 nF"-Kamerad mit unbekanntenen Messbedingungen. Genauso bei Widerständen. Wenn man sich etwas länger damit beschäftigt, lernt man schnell, dass die absolute Abweichung vom Referenzwert (z.B. 0,01% oder "nur" 0,02%) oft gar nicht so wichtig ist. Entscheidend ist viel mehr, dass der wahre Wert präzise, genau und langzeitstabil(!) bekannt ist*- und mag er auch noch so "krumm" sein!

* und der Einfluss der Umweltbedingungen ebenfalls; z.B. Temperatur oder Luftfeuchte!

Nun habe ich meine Kapazitätsdekade damals mal sogar mit einem kleinen Kalibrierschein erstanden. Der weist in der 10 μ F-Position einen Wert von 10,199 μ F aus, den mein HP4284A damals zu 10,1992 μ F nahezu perfekt bestätigt hatte:

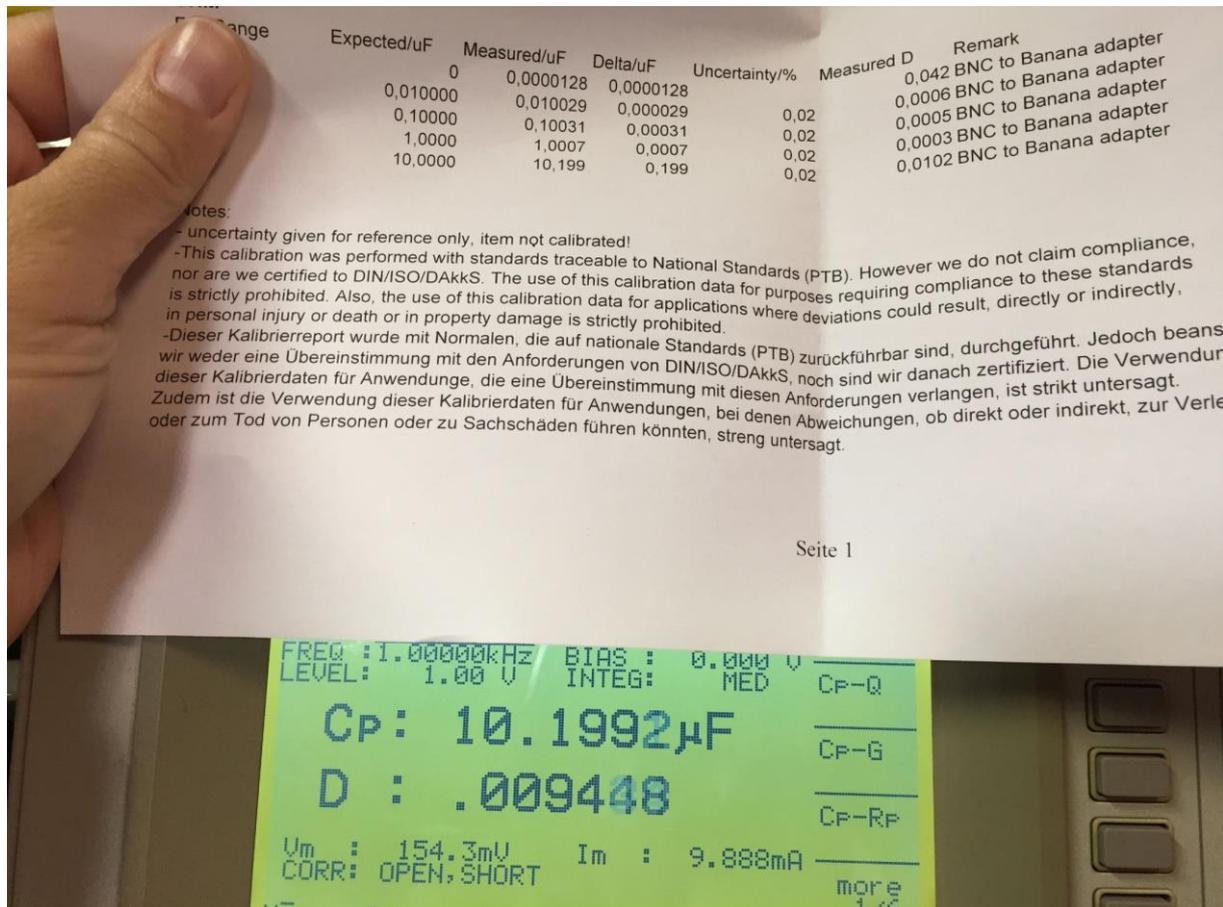


Abbildung 29: im Jahr 2017 absolut super Übereinstimmung zwischen Kalibrierschein und HP4284A

Leider war das 2017 und nun haben wir 2023. Und auch wenn in der CD3 wirklich sehr hochwertige Bauteile verbaut wurden...



Abbildung 30: im Innern der CD3 finden wir sehr hochwertige Bauteile

... so kann es dennoch sein, dass sich innerhalb der letzten 6 Jahre ein wenig was verändert hat.

Eine Neukalibrierung der CD3 könnte ich nur mit einer zweiten, entsprechend verlässlichen Kapazitätsreferenz machen. Die habe ich aber nicht. Ich bin ja schon froh über diese eine, die ich habe. Oder ich schicke meine CD3 zur offiziellen Kalibrierung zu einem Kalibrierinstitut. Das wäre für dieses einzige Hobbygerät aber sicher etwas über's Ziel hinausgeschossen!

Aber ich kann was Anderes machen: ich messe die CD3 erneut an meinem HP4284A. Wenn sich die CD3 im Laufe der Zeit verändert hat, dann ist es sehr unwahrscheinlich, dass das HP4284A es exakt um denselben Betrag ebenso verändert hat (zudem dann auch noch in dieselbe Richtung!) und sich die Fehler gegenseitig ausgleichen würden.

Ich mache also das, was zwar keiner daKKS-Zertifizierung standhalten würde, mir aber dennoch Vertrauen in meine Messungen gibt: ich messe alle meine Geräte gegeneinander und beurteile die Abweichungen zueinander!

Stimmen alle Geräte, die ja aus unterschiedlichsten Quellen stammen (u.a: Internet, Reichelt, Aussonderung bei (damals noch) Firma Blaupunkt) dennoch miteinander gut überein, ist die Chance sehr hoch, dass die Werte, die sie anzeigen, einigermaßen stimmen. Ist eine reine Frage der Statistik und Gauß-Kurve.

Also los, messen wir mal. Im kleinsten Messbereich von 0..10nF sehen wir das hier:

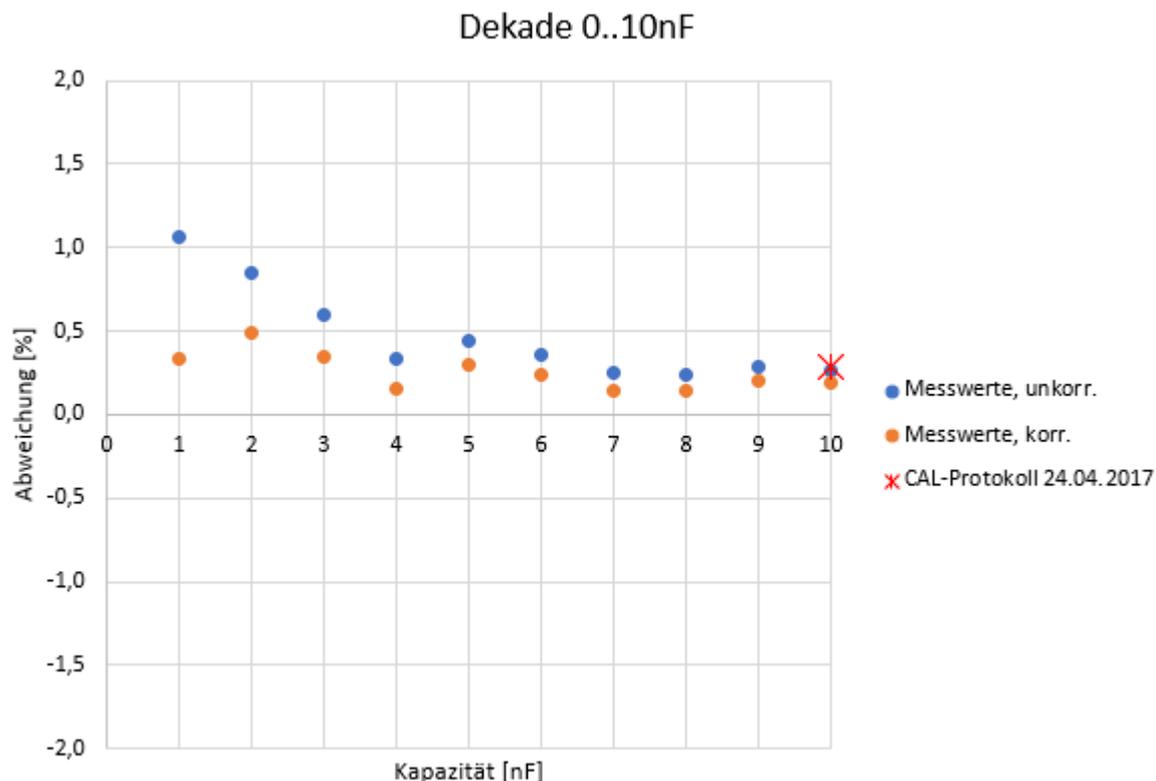


Abbildung 31: Überprüfung der CD3 Kapazitätsdekade

Die blauen Kuller zeigen den eigentlichen Messwert, den das HP4284A in diesem Messaufbau (siehe Abbildung 28) anzeigt. Die orangefarbenen habe ich rechnerisch um die "residual Kapazität", also der Restkapazität in Stellung "0nF" korrigiert. Laut Aufdruck hat die CD3 etwa 15pF residual C, gemessen habe ich etwa 13,6pF, siehe Bild:

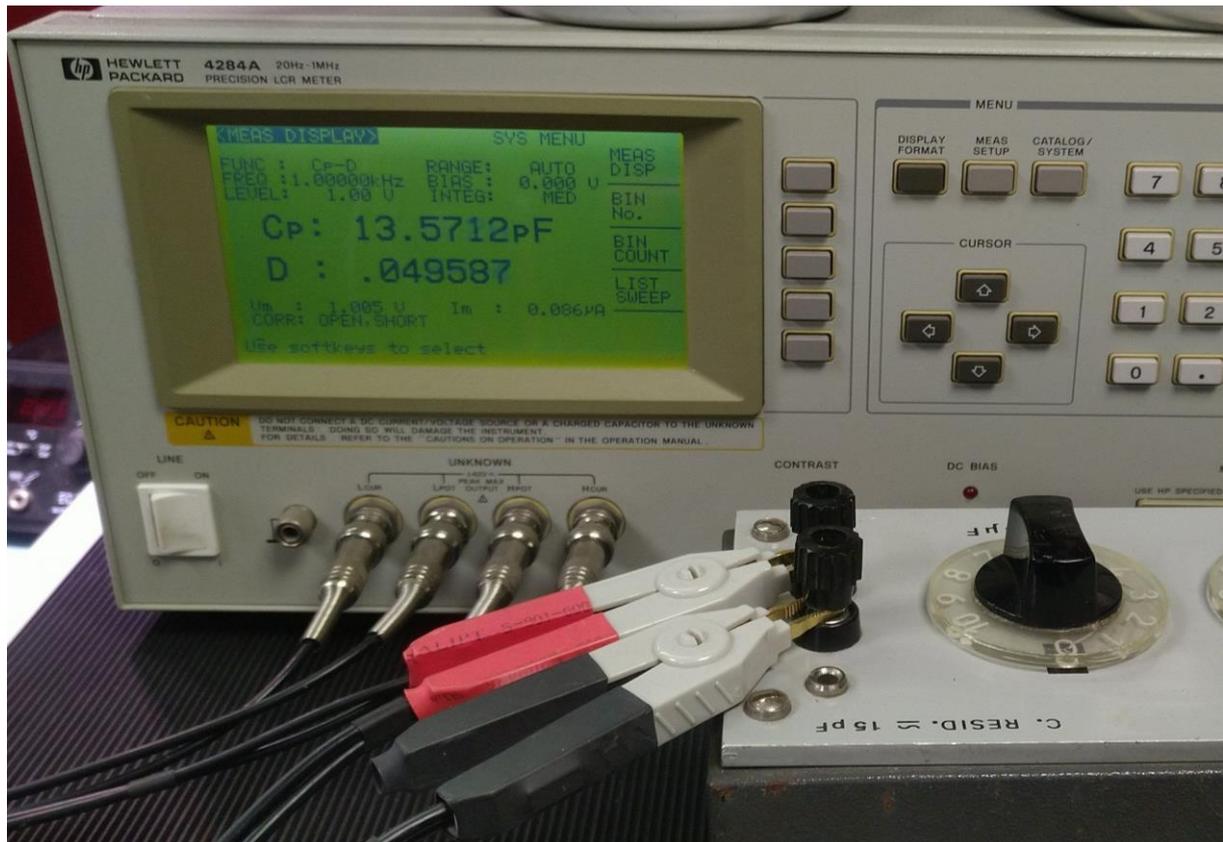


Abbildung 32: Nachmessen der residual C

Das passt schon einmal gut zu der Herstellerangabe. Steckt man nun noch eine Masseverbindung zwischen Messgerät und CD3 (blaues Kabel in Abbildung 28), dann sinkt das residual-C von 13,6pF auf etwa 7,3pF. Und genau diesen Wert habe ich bei den orangenen Punkten im obigen Diagramm abgezogen.

Interessant ist, dass der Wert aus dem Kalibrierprotokoll von 2017 (=rotes Kreuz in Abbildung 31) noch immer exakt mit meiner Messung zu übereinstimmen scheint. Ein gutes Zeichen dafür, dass die Kalibrierung selber heute noch immer einigermaßen aussagekräftig sein könnte!

Die anderen Messbereiche der CD3 -gemessen am HP4284A- möchte ich Euch auch nicht vorenthalten:

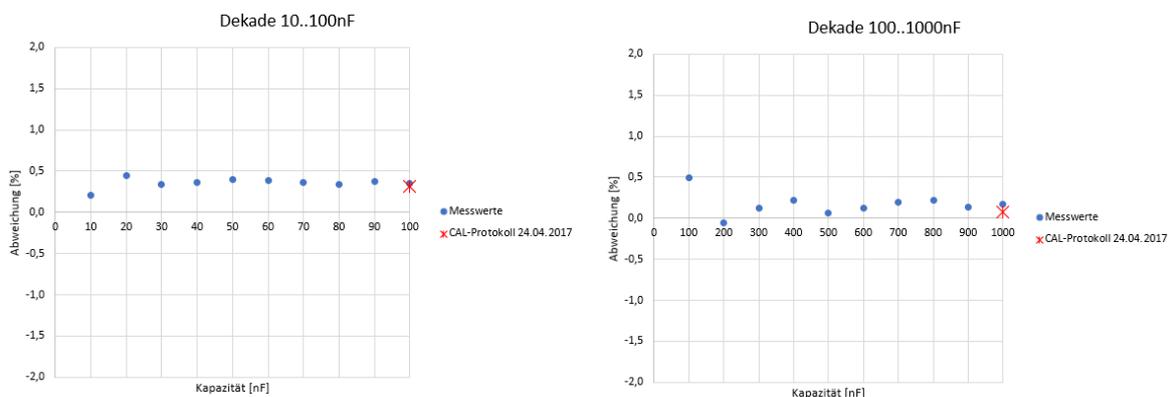


Abbildung 33: Überprüfung der Messbereiche 10..100nF und 100..1000nF

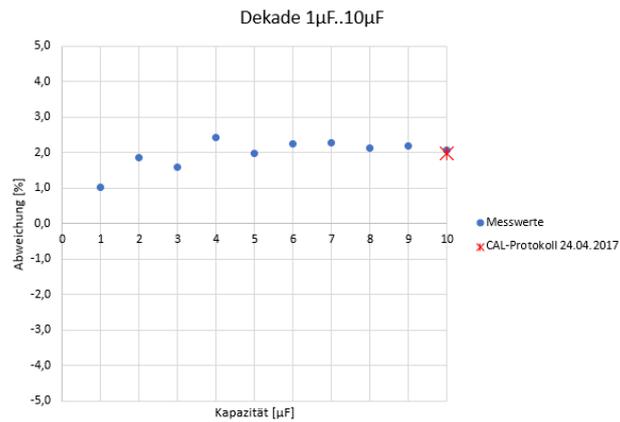


Abbildung 34: Überprüfung des Bereiches 1..10 μF

Den damals gemessenen Wert von 10,1992 μF (siehe Abbildung 29) ermitteln wir heute -6 Jahre später- zu 10,2068 μF . Die Übereinstimmung ist nicht mehr ganz so schön wie damals, konkret etwa +0,07% Veränderung gegenüber vor 6 Jahren, aber das finde ich nicht dramatisch. Außerdem können solch geringe Veränderungen nicht nur mit Alterung, sondern auch schnell mit Temperatur- und Feuchtigkeitseinfluss erklärt werden!

Nun, da wir die beiden Messmittel* gegeneinander gemessen und in gute Übereinstimmung gebracht haben, dürfen wir sie als hinreichend zuverlässiges Abgleichmittel benutzen. Das herauszufinden, war Ziel der ganzen Übung.

* In der Realität habe ich noch mein japanisches LCR-Meter DE-5000 mit hinzugezogen, das mit Abstand von allen meinen LCR-Messern die jüngste Herstellerjustierung haben sollte. Und auch das deckt sich sehr gut mit den HP4284A-Werten!



Abbildung 35: weitere Testmöglichkeit: das DE-5000, hier bei einer Messung von ca. 1nF

9 Der Abgleichprozess

Irgendwann bin ich so weit, dass ich genug Vertrauen in meine Messmittel geschöpft und das KARU-Systemkonzept glaube grob verstanden zu haben. Also gehen wir es an! Zuerst musste ich überlegen, ob wir bei unserem Abgleich über die Oszillatorspulen reden oder die L_m Messkreisspulen. Weil der Fehler aber in allen Bereichen auftritt und auch mit beiden Messkreisspulen (es gibt zwei davon; nach meiner Rückrechnung eine mit ca. 1mH und eine mit ca. 24mH), tippe ich eher auf die Oszillatorkreise, die sich verstimmt haben.

War ein Stück weit geraten, aber ich werde recht behalten.

Warum, kann ich nicht sagen. Vielleicht Röhrenalterung, vielleicht Schwingkreiskondensatoralterung- dem bin ich nicht nachgegangen. Mir reicht es, wenn ich die ordnungsgemäße Funktion durch Abgleich wiederherstellen kann. Und nach 60 Jahren darf es auch schon mal vorkommen, dass man eine Werksjustierung etwas nachstellen darf, ohne gleich misstrauisch zu werden und irgendwo einen fiesen Fehler zu vermuten.



Abbildung 36: Messaufbau für die Justierung

Für die nun folgenden Schritte lehne ich mich an das R&S KRT-Manual an und übertrage die dabei gewonnenen Gedanken auf das KARU. Und diese Schritte sehen wie folgt aus:

ABGLEICHSCHRITTE

1. Ich nehme meine Kapazitätsdekade, schließe sie mit kurzen Silikonleitungen an das KARU an, stelle dort "0nF" ein und messe die verbleibende Restkapazität- durch Messaufbau und Dekade bestimmt.

Das sind bei mir etwa 66pF (siehe Abbildung 36). Das geht gefühlsmäßig* in Ordnung.

* Die 1nF der Kapazitätsdekade werden inkl. Kabel mit 1066pF (HP4284A) sowie 1064pF (DE-5000) gemessen; siehe Abbildung 37 und Abbildung 35. Zieht man die 66pF von diesen Messwerten ab, kommen fast bis auf das Picofarad genau exakte 1,000nF bei der CD3 heraus!

2. Sobald ich das geprüft habe, wähle ich im KARU den Messbereich "100nF..1000nF" (also 0,1..1µF).

Hinweis: Die im ersten Schritt gemessenen 66pF sind ja sicherlich auch noch mit einem großen Fehler von ca. +5% behaftet. Doch das ist hier nicht schlimm, denn selbst 66pF+5% sind von 100nF immernoch genug weit entfernt, um sie beim nun folgenden Abgleich gänzlich vernachlässigen zu können. Der systematische Fehler, den ich damit eingehe, liegt bei maximal 0,05%, also vergessen wir es. Zurzeit haben wir mit Anzeigefehlern zu kämpfen, die Faktor 100 größer sind!

3. Ich stelle auf der Kapazitätsdekade genau 1000nF ein. (In der Kalibrierung der CD3 vorab ermittelte Abweichungen beachten; also vorher nachmessen und ggfs. kompensieren!)

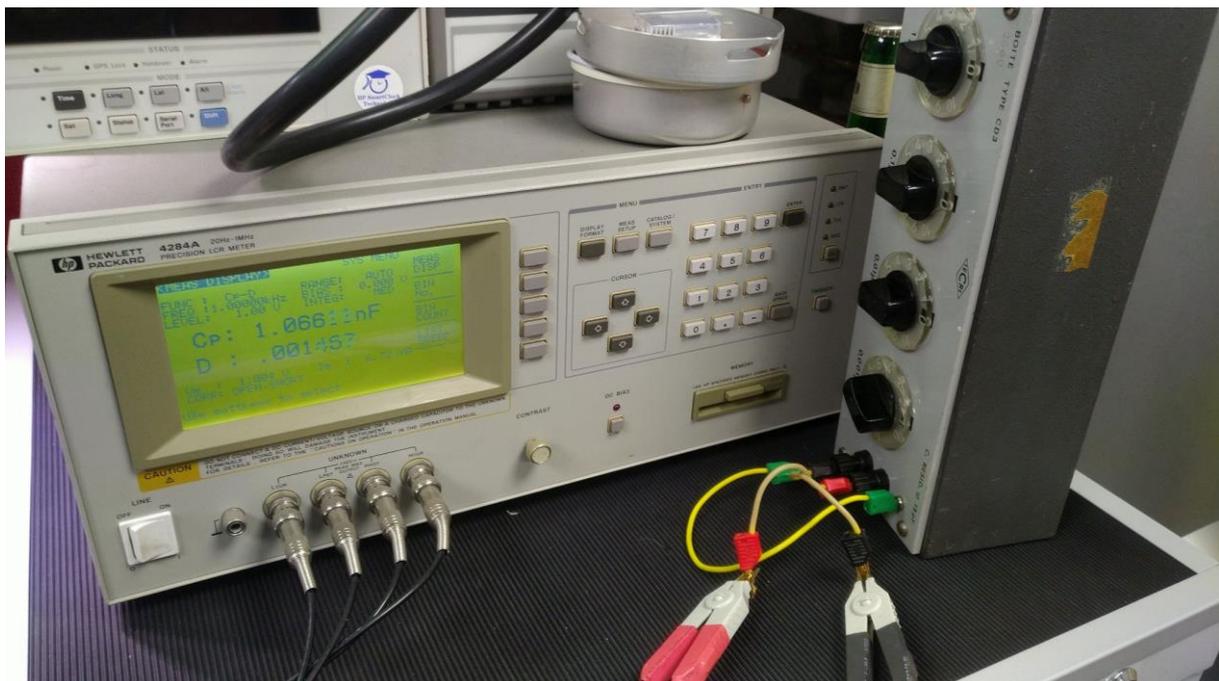


Abbildung 37: vor der Justierung des KARU lohnt eine finale Überprüfung, um den Zielwert "1000nF" inkl. Anschlussleitungen möglichst gut zu treffen (hier gezeigt am Beispiel 1nF).

4. Den warmgelaufenen (!) KARU drehe ich nach Skala exakt auf 1000nF (also 1,0µF), rechts Skalenende.

5. 1000nF-Abgleich: Nun drehe ich mit einem isolierten Abgleichwerkzeug den Ferritkern der Oszillatordspule L_2 so lange, bis ich am Drehspulinstrument des KARU ein Maximum erkennen kann. Damit stimmt jetzt die Trimmung des KARU schonmal für das obere Messbereichsende.

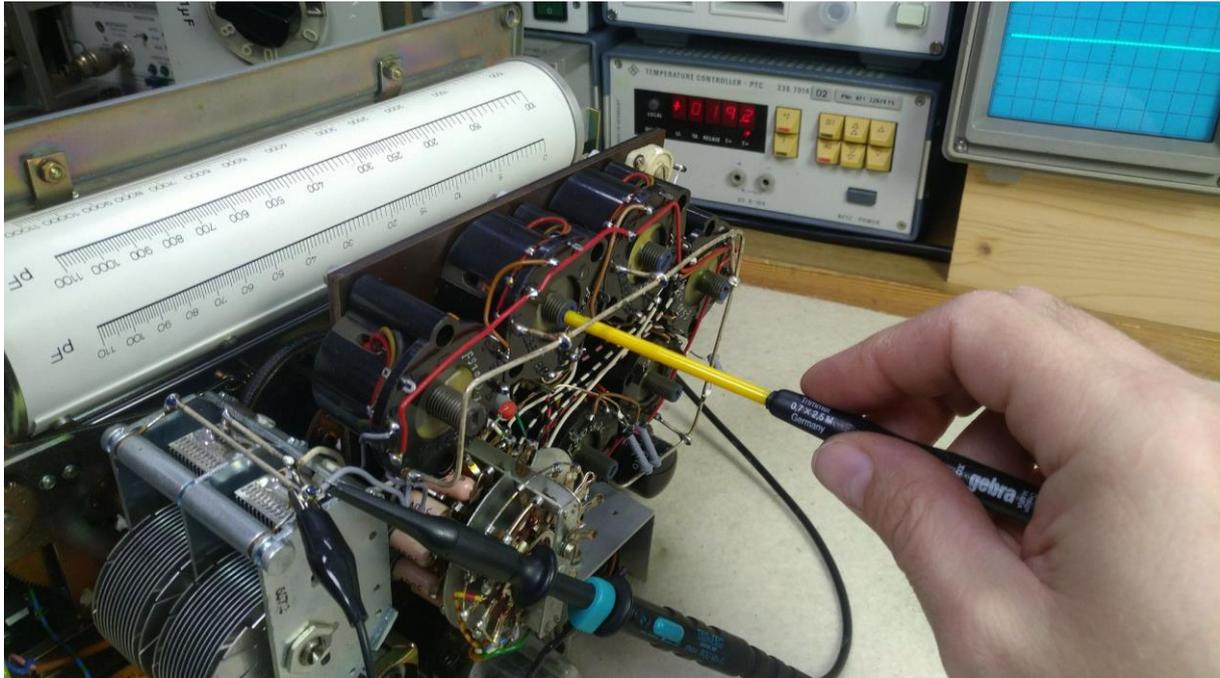


Abbildung 38: Abgleich des oberen Skalen-Endwertes (hier: L_2)

6. Nun den KARU im selben Messbereich auf exakt 100nF stellen (linken Skalenanfang).

7. Kapazitätsdekade auf 100nF einstellen.

8. 100nF-Abgleich: Nun mit dem **Trimmer C_{12}** des KARU wieder das Resonanzmaximum auf dem kleinen Anzeigeinstrument einstellen.

Der Abgleich aus Schritt 5 und Schritt 8 beeinflussen sich gegenseitig etwas. Daher nun wieder iterativ die beiden Abgleiche ein paar mal wiederholen, bis alles stimmt.

Motto:

- für das obere Skalenende (hier: 1000nF) die Spule abgleichen
- für das untere Skalenende (hier: 100nF) den Trimmer abgleichen

Warum ist das eigentlich so?

Nun, der kleine Abgleichtrimmer (hat maximal 20pF) ist dem Haupt-Drehko C_8 parallelgeschaltet. Dieser hat in voll eingedrehtem Zustand laut Manual gute 1000pF. Das heißt, dass die 20pF des Trimmers hier kaum ins Gewicht fallen (rechnerisch nur 2% Anteil). Bedeutet: bei tiefen Frequenzen, wo die volle Kapazität von C_8 gebraucht wird, kann man den Trimmer vernachlässigen, denn dort dominiert der Drehkondensator. Das ist hier bei dem **1000nF-Abgleich** der Fall. Und deshalb drehen wir dort auch nur an der Spule herum, denn die beeinflusst hier den Löwenanteil des Abgleichs.



Abbildung 39: diese kleine Anzeige hilft uns beim Abgleich auf Maximum

Anders sieht es aus, wenn der Drehko fast komplett ausgedreht ist (also hohe Osc-Frequenz, Nadel am Linksanschlag bei 100nF auf der Skala). Jetzt ist der Effekt von C_{12} viel stärker im Vergleich zu C_8 , daher wird er nun erst richtig wirksam. Der Grund dafür, dass wir im **100nF-Abgleich** jetzt den Trimmer C_{12} verstellen.

Das alles habe ich sinngemäß dem KRT-Manual entnommen und mit meinen eigenen Worten etwas "vereinfacht". Hoffe ich zumindest.

10 Justierung der anderen Bereiche

Für den Abgleich der anderen Bereiche kann man entsprechend identisch vorgehen.

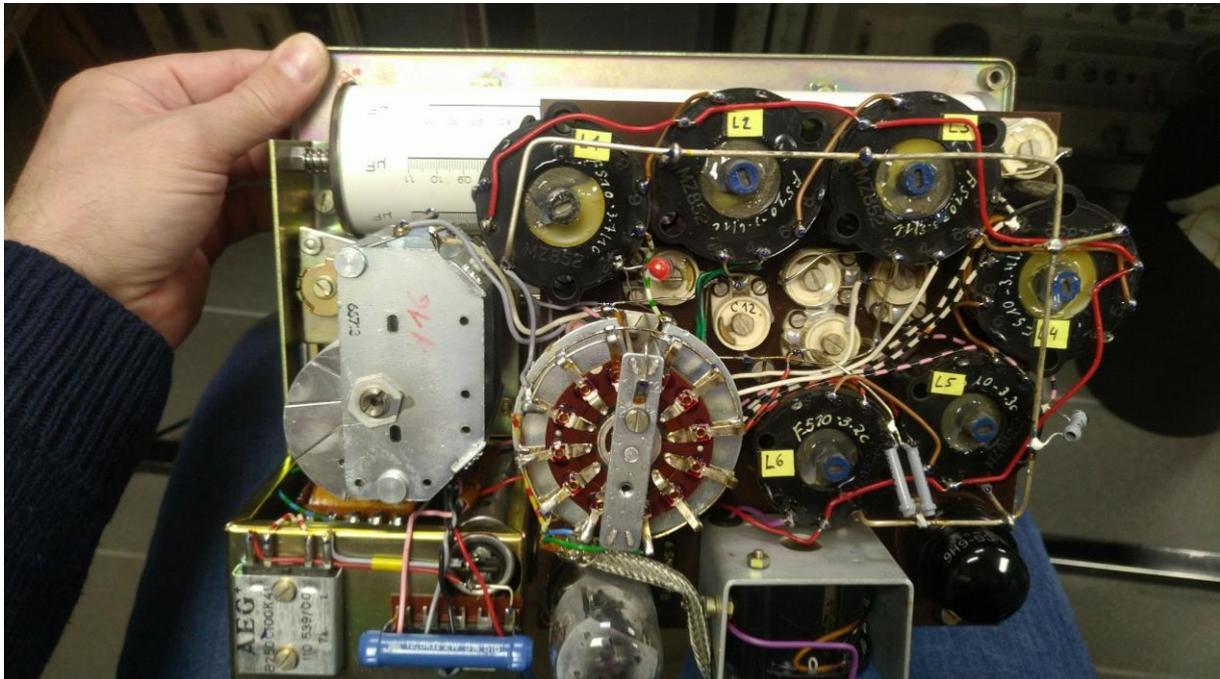


Abbildung 40: Abgleichelemente L1..L6 und C11..C16

Ein wenig "kribbelig" wird es im kleinsten Bereich- nämlich 0..100pF. Hierfür habe ich leider keine Kapazitätsdekade mehr, so dass ich mir hier anders behelfe: ich mache eine Endpunkt-Justierung!



Abbildung 41: 100pF-Kondensator als Kalibrierhilfe

Ich greife in meine Bastelkiste und fisch einen kleinen 100pF-Kondensator heraus, dem ich - reim vom äußeren Anschauen- eine gewisse Qualität zutraue. Den messe ich an meinem HP4284A. Es zeigt etwa 93,6pF an.

Nachdem ich den 0pF-Punkt sauber nach Anleitung am KARU eingestellt habe, klemme ich den 93,6pF Kondensator dort direkt an...



Abbildung 42: Festkondensator angeschlossen

...und drehe die Skala auf knappe 94pF.

Dann stelle ich die Spule L_1 entsprechend am KARU ein, so dass hier Resonanzmaximum herrscht.

Ich muss zugeben, dass das nun etwas hemdsärmelig klingt, aber in Ermangelung einer so fein auflösenden Kapazitätsdekade sicher besser als gar kein Abgleich. Wer mag, kann sich ja auch für den feinen Bereich einen Kondensator-Satz aus der Standard E12-Reihe zusammenstellen, am HP4284A ausmessen und dann am KARU vergleichen. Quasi als "Kapazitätsreferenz für Arme". Ich bin aber zuversichtlich, dass hier meine 1Punkt-Justierung bei 93,6pF trotzdem reicht.

Nun könnte die Frage kommen:

"Warum ist das so? Reicht hier wirklich nur ein einziger Kondensator für den kompletten 0..100pF-Bereich? Müsste man da nicht mindestens jeden Zehner-Wert auch kontrollieren?"

Meine Antwort:

Ja, könnte man. Für das Einstellen genügt mir hier ein Kondensator, der den Endwert der Skala einigermaßen gut trifft. Denn die "0pF" kann ich mit den offenen Klemmen überprüfen und die Werte dazwischen werden ja durch das Verbiegen der einzelnen Blechsegmente am Haupt-Drehkondensator eingestellt. Und der ist für alle Bereiche gleich: stimmt diese Linearisierung in einem Bereich, stimmt sie für alle. Man sieht das auch ganz schön in Abbildung 27: in jedem Messbereich erkennt man einen charakteristischen, wiederkehrenden Kurvenverlauf. DAS ist die Linearisierung der Skala mittels der leicht nachgebogenen Drehkondensator-Segmente!

Und da die Linearisierung der Skala für alle anderen Messbereiche nachweislich recht gut stimmt, wird sie das -konstruktionsbedingt- auch im 0..100pF-Bereich genauso tun. Es geht rein physikalisch gar nicht anders.

Strenggenommen könnte man -sobald einmal die Skalentreue in einem beliebigen Messbereich einmal bewiesen ist- in allen restlichen Messbereichen einfach nur noch die oben beschriebene "Endpunkt-Justierung" machen. Würde ebenfalls reichen!

11 Ergebnis der Justierung

Nun seid ihr sicher gespannt, wie gut die Neujustierung geklappt hat. Schaut her:

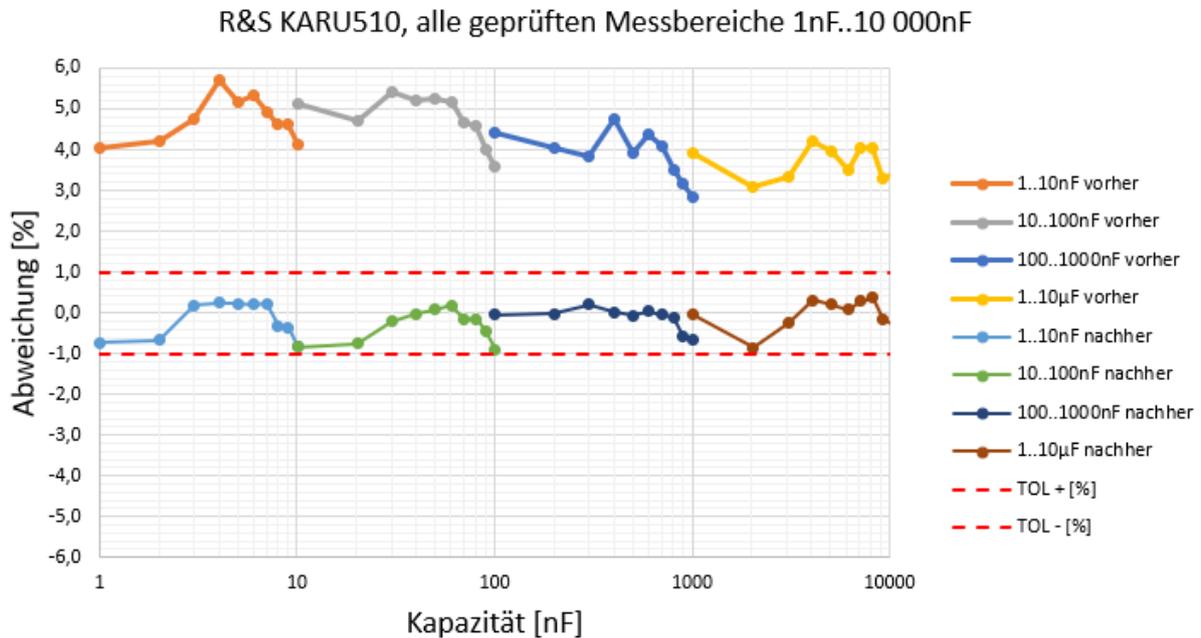


Abbildung 43: das kann sich sehen lassen- das Ergebnis der Justierung!

Damit bin ich absolut zufrieden! Alle 4 geprüften Bereiche liegen nun innerhalb der Herstellervorgaben von $\pm 1\%$; die zwei untersten (0..100pF sowie 100pF..1000pF) konnte ich mangels Auflösung meiner Kapazitätsdekade leider nur mit einzelnen Kondensatoren per Anfangs- und Endwert-Justierung einstellen, daher hier nicht im Diagramm aufgeführt.

Man kann aber auch erkennen, dass sich durch Nachbiegen der Rotorplatten in C_8 vermutlich die Skala noch etwas besser linearisieren ließe. Auch wenn das sicher reizvoll gewesen wäre, habe ich hier aber tatsächlich die Finger davon gelassen, denn hier hatte ich doch irgendwie Skrupel, eher was zu verschlechtern als zu verbessern.

Außerdem ist es teilweise sowieso schwierig, so etwas wie "ich biege mal um $+0,4\%$ nach" überhaupt hinzukriegen. Teilweise ist die benötigte Ablesegenauigkeit überhaupt nicht gegeben, denn ob der Skalenstrich nun gerade direkt drauf oder kurz daneben steht, entscheidet manchmal schon um gut und gerne $0,5\%$!



Abbildung 44: alle Spulenkernne neu abgeglichen und verklebt; die Trimmer justiert- einer ernsthaften Benutzung steht nichts mehr im Weg!

Fazit: vermutlich eine Arbeit für lange Winterabende, an denen einen wirklich nichts Besseres einfällt, als Bier zu trinken und stundenlang Messkurven aufzunehmen. ;-)

In meinem Fall, wo das KARU -zwar knapp- aber nachweisbar die Herstellertoleranzen einzuhalten scheint (und ich notfalls noch über präzisere Messmittel verfüge, wenn ich es mal "ganz genau" brauche), schließe ich die Justierung damit als "erfolgreich" ab.

12 Messung der OSC-Frequenz

Rein interessehalber hatte ich beim Aufnehmen der Kapazitätskurven aber auch zusätzlich noch die Arbeitsfrequenz des KARU mit erfasst, denn das ist sicher auf für andere Bastler interessant, die ein völlig vergurktes Bastel-KARU auf dem Tisch stehen haben sollte und da erstmal wieder etwas "Substanz" reinkriegen müssen. (An dieser Stelle schöne Grüße an Oliver ;-)

Wo also greife ich das Signal ab? An den Ausgangsbuchsen? Falsch! Denn hier wird man normalerweise wenig messen, wenn die Eingangskapazität des Frequenzmessers* nicht zufällig gerade ein "irgendwie" schwingfähiges Gebilde erzeugt, dass die Messfrequenz irgendwie noch in den Messkreis passieren lässt.

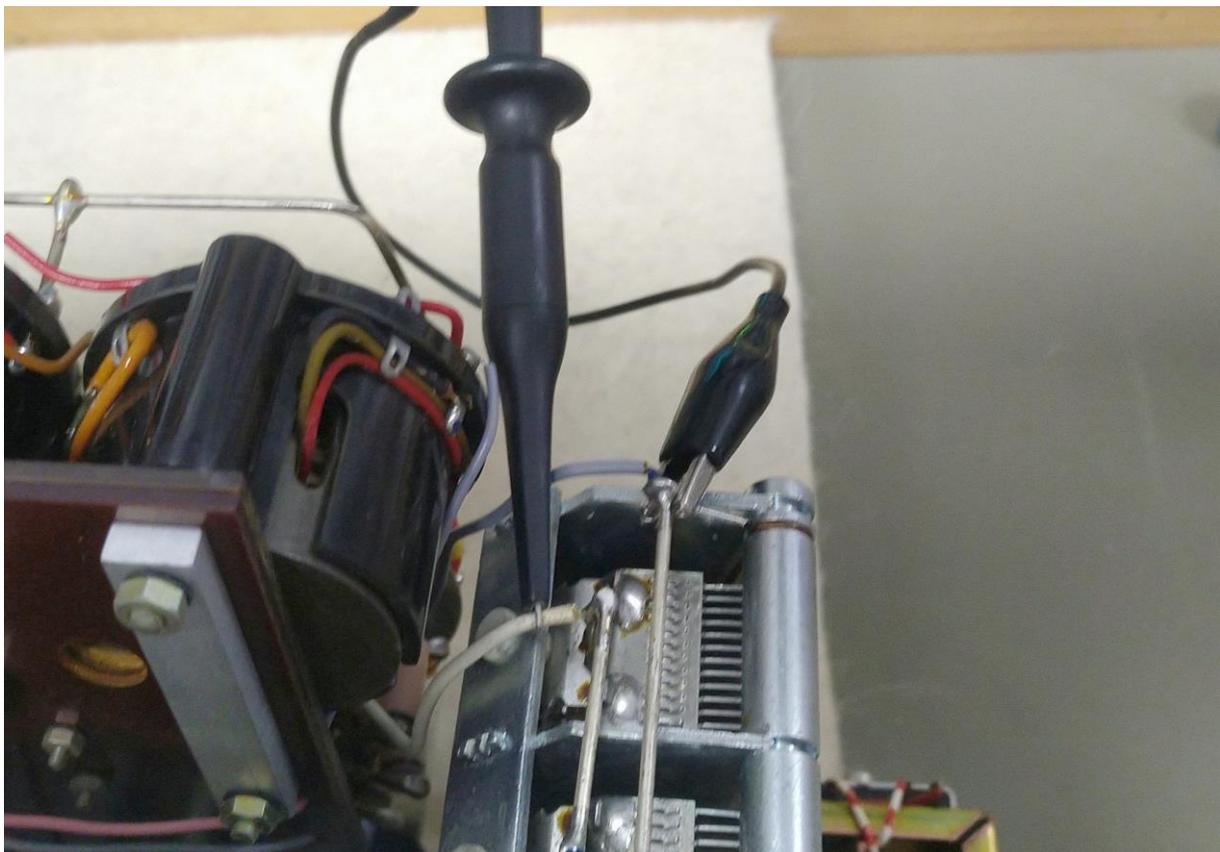


Abbildung 45: Abgreifen des OSC-Signals durch die Isolierung hindurch

Besser: direkt am Oszillator abgreifen!

Hier reicht wieder der Oszi-Tastkopf, der auf die bloße Isolierung(!) des heißen Drehkondensator-Kabels geklemmt ist (ohne galvanischen Kontakt). Damit beeinflusst er den Oszillator sicher nicht wesentlich und für eine Anzeige im Zähler reicht es immernoch.

*Bei der Gelegenheit zeigt mir mein RacalDana 2101 Frequenzzähler einen spontanen ER50-Fehlercode. Klasse, ein neues Projekt. Aber nicht jetzt. Weiter zum nächsten Frequenzzähler. Was haben wir denn da noch im Regal? Einen Racal Dana 1992...und einen HP5350B... Hmmm...ach, sind wir mal so richtig verrückt und nehmen einen HP! :-)

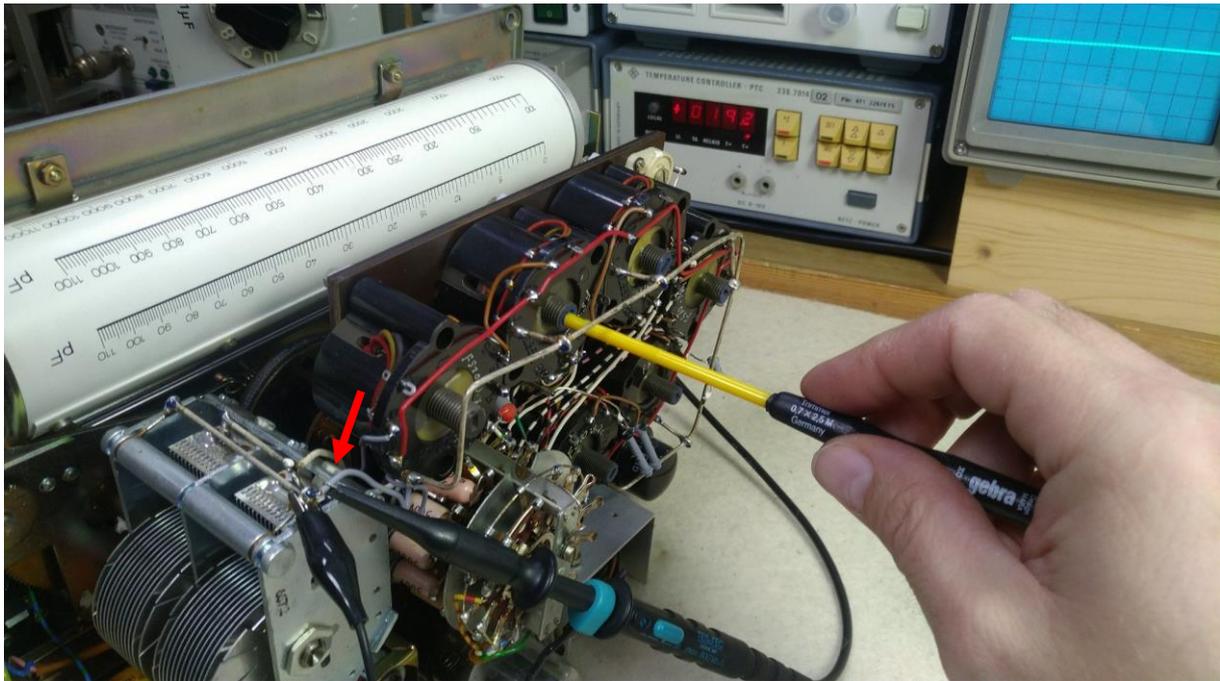


Abbildung 46: hier noch einmal in der Übersicht, wo ich das Signal abgreife (Pfeil)

Alternativ kann man das Signal natürlich auch mit einem 10:1-Kopf an den Schwingkreisspulen direkt abgreifen; dafür muss man aber für jeden Bereich erst einmal die passende Spule finden und bei Bereichswechsel entsprechend umklemmen.

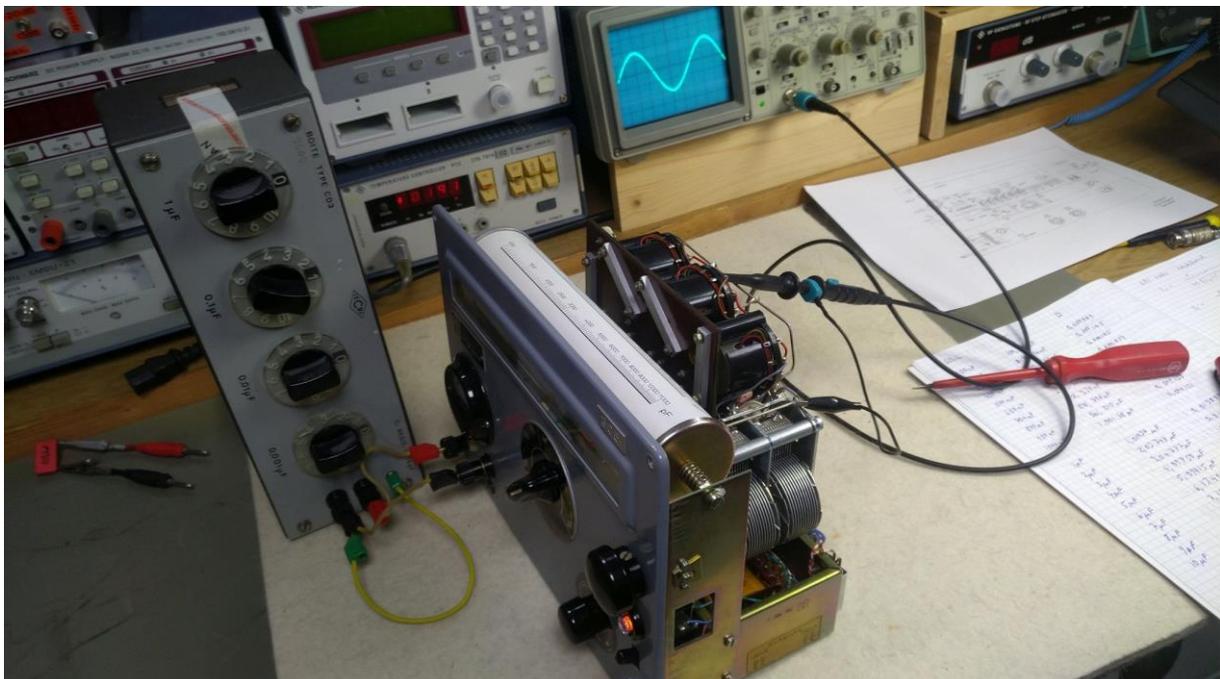


Abbildung 47: alternativ: Abgriff direkt an den OSC-Schwingkreisspulen

Die jeweilige Schwingfrequenz habe ich gleich bei der Kapazitätsjustierung immer mit abgelesen.

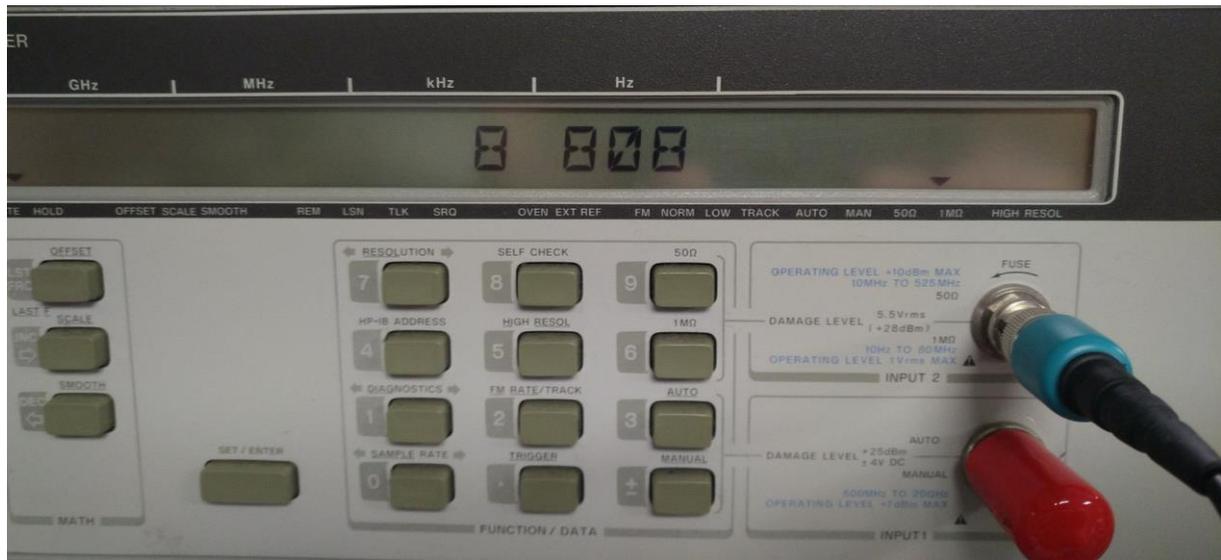


Abbildung 48: was für eine schöne Zahl, die ich da gerade getroffen habe :-)

Im nächsten Bild sehen wir nun die Grafik der Messfrequenzen der jeweiligen Bereiche. Es fällt auf, dass der unterste Bereich (0..100pF) scheinbar etwas gekrümmt ist, wo hingegen die anderen im doppelt-logarithmischen Diagramm eher linear aussehen (und die Krümmung bereits auf der Skala mit abgebildet ist).

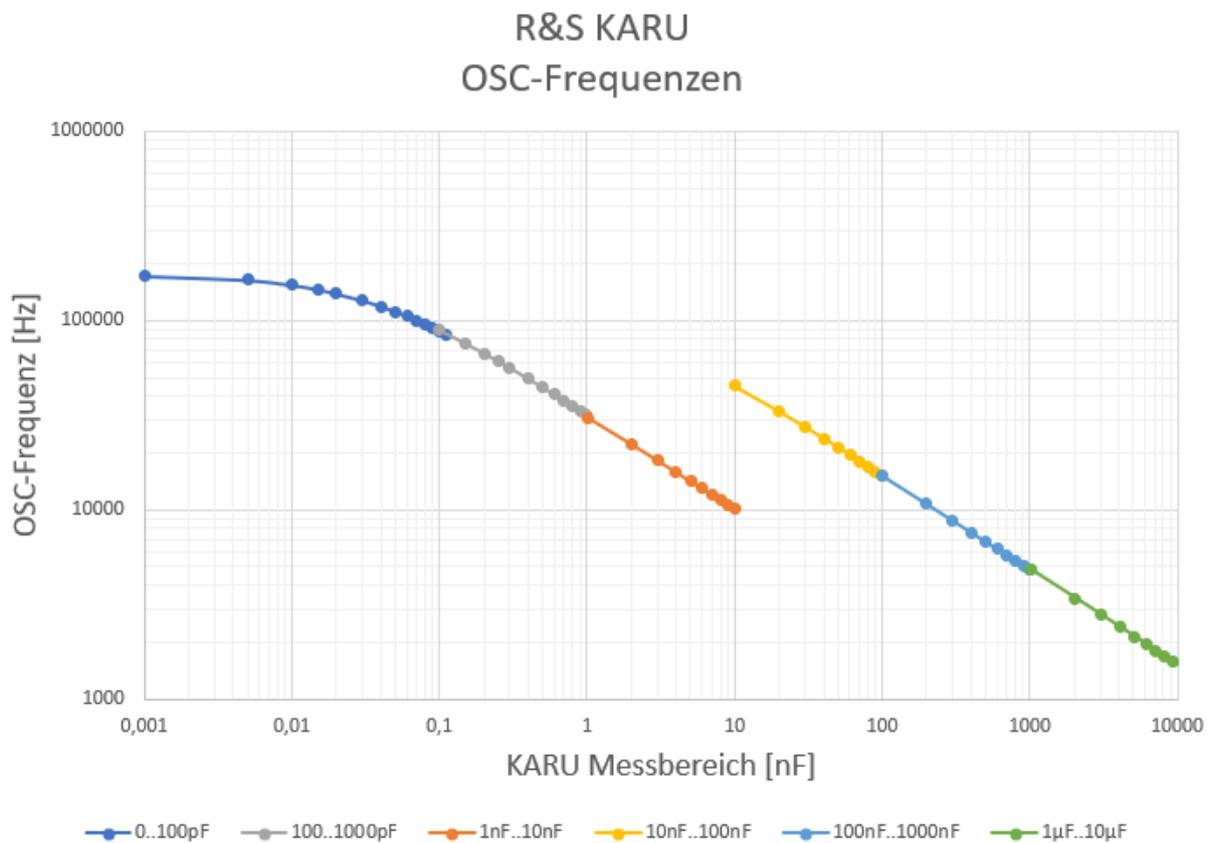


Abbildung 49: Messfrequenzen des KARU in seinen 6 Messbereichen

Warum das so ist, fällt mir schwer zu begründen. Möglicherweise hat es was mit parasitären Rest-Kapazitäten zu tun (die Olli ja gerade bei seinem KARU 510 ebenfalls sucht) oder vielleicht sogar mit der kapazitiven Belastung durch meine Oszi-Messspitze. Immerhin befinden wir uns da in einem Bereich zwischen etwa 1..vielleicht 40pF, wo die Krümmung so richtig deutlich sichtbar wird und so einen Wert halte ich für einen auf eine Kabelisolierung geklemmten Oszi-Tastkopf durchaus möglich. Will sagen: vielleicht beeinflusst der Mess-Schnorchel die Frequenz.

Dem entgegen steht allerdings, dass wir bei 0pF hier etwa $f=177\text{kHz}$ messen- was wiederum sehr gut zu den Herstellerangaben des KARU passt:

entsprechend obiger Meßbereiche	175 ... 85 kHz		50 ... 15 kHz
	85 ... 30 kHz		15 ... 5 kHz
	30 ... 10 kHz		5 ... 1,5 kHz
	---		---

Abbildung 50: Quelle: R&S "C-Messgerät Beschreibung", Ausgabe 510 A/665 d/e, Seite 3 (Auszug)

Mit 175kHz Angabe passen die gemessenen 177,6kHz für den Skalenanfang recht gut und für das Skalenende die gemessenen 86,2kHz ebenfalls schön zu den 85kHz im Manual.

Das macht mich zuversichtlich, dass der "krumme" Verlauf vielleicht auch völlig normal für das Gerät sein könnte. Leider finden sich im Manual keine genaueren Angaben, so dass man das KARU auch auf korrekte Messfrequenzen hin abgleichen könnte: dann wäre es nämlich auch möglich, die Messkreisspulen L_m korrekt nachzugleichen!

Die Angaben aus Abbildung 50 halte ich eher für eine Angabe der "Größenordnung", damit der Benutzer abschätzen kann, in welchem groben Frequenzbereich die Bauteile dann gemessen werden. Dafür hat man sie offensichtlich großzügig auf 5er-Schritte gerundet, denn ich glaube nicht, dass sie sie rechnerisch genau so zufällig immer auf gerade 5kHz-Schritte ergäben. Daher vertraue ich hier keinesfalls darauf, dass sie hier so präzise angegeben sind, dass man auf dieser Basis einen Abgleich von L_m machen sollte oder könnte.

Am Ende jedoch kann ich nicht mit Gewissheit sagen, was den Frequenzverlauf hier so krumm macht, bin aber ziemlich sicher, dass das andere KARU's ebenfalls so zeigen würden.

Und falls nicht: marc.michalzik@byimm.de ;-)

Der Vollständigkeit halber hier noch die der Grafik zugrunde liegenden Messwerte:

KARU Bereich	Anzeige	OSC-Frequen	Lm berechnet	KARU Bereich	Anzeige	OSC-Frequen	Lm berechnet	
	Skala	[kHz]	[H]		Skala	[kHz]	[H]	
0..100pF	0	177,6		100..1000pF	100	89,9	0,03134158	
	5	166,6	0,18252412			150	76,6	0,02878004
	10	156,8	0,10302631			200	68	0,02739003
	15	148,6	0,07647357			250	61,8	0,02652915
	20	140,9	0,06379524			300	57,14	0,0258606
	25	135,1	0,05551234			400	50,05	0,02527971
	30	129,8	0,05011522			500	45,08	0,02492886
	35	125,3	0,04609673			600	41,4	0,02463136
	40	120,9	0,04332391			700	38,45	0,02447651
	45	117,05	0,04108515			800	36	0,02443123
	50	113,4	0,03939528			900	33,97	0,02438971
	55	110,3	0,03785529			1000	32,22	0,02439996
	60	107,2	0,03673664			1100	30,65	0,02451244
	65	104,5	0,03568571					
	70	102,1	0,03471289					
	75	99,7	0,03397729					
	80	97,36	0,03340328					
	85	95,24	0,03285357					
	90	93,25	0,03236682					
	95	91,4	0,03191716					
	100	89,6	0,03155181					
	105	87,8	0,03129406					
	110	86,2	0,03099082					
	Mittelwert Lm:		0,05021333 [H]		Mittelwert Lm:		0,02591932 [H]	
	Wert von Lm hier ungenau, da C26 vernachlässigt!							

Abbildung 51: Messwerte 1/3

KARU Bereich	Anzeige	OSC-Frequen	Lm berechnet	KARU Bereich	Anzeige	OSC-Frequen	Lm berechnet	
	Skala	[kHz]	[H]		Skala	[kHz]	[H]	
1nF..10nF	1000	32,41	0,02411472	10nF..100nF	0,01	46,4	0,00117653	
	1500	26,46	0,02411956			0,015	38,5	0,00113927
	2000	23	0,02394168			0,02	33,81	0,00110795
	2500	20,64	0,02378378			0,025	30,48	0,00109061
	3000	18,86	0,02373754			0,03	28	0,00107697
	4000	16,35	0,02368889			0,04	24,4	0,00106365
	5000	14,65	0,02360451			0,05	21,9	0,00105629
	6000	13,375	0,02359943			0,06	20	0,00105543
	7000	12,375	0,02362935			0,07	18,55	0,00105161
	8000	11,552	0,02372662			0,08	17,35	0,00105184
	9000	10,9	0,02368889			0,09	16,34	0,00105413
10000	10,315	0,02380684		0,1	15,49	0,00105569		
11000	9,8	0,02397703		0,11	14,71	0,0010642		
	Mittelwert Lm:		0,02380145 [H]		Mittelwert Lm:		0,00108032 [H]	

Abbildung 52: Messwerte 2/3

KARU Bereich	Anzeige	OSC-Frequen	Lm berechnet	KARU Bereich	Anzeige	OSC-Frequen	Lm berechnet	
	Skala	[kHz]	[H]		Skala	[kHz]	[H]	
100nF..1000r	0,1	15,56	0,00104622	1µF..10µF	1	4,99	0,00101728	
	0,15	12,66	0,00105361			1,5	4,04	0,00103463
	0,2	10,98	0,00105052			2	3,5	0,00103389
	0,25	9,85	0,00104431			2,5	3,13	0,00103422
	0,3	8,99	0,00104472			3	2,86	0,00103225
	0,4	7,78	0,00104622			4	2,475	0,00103378
	0,5	6,96	0,00104581			5	2,216	0,00103165
	0,6	6,36	0,0010437			6	2,016	0,00103874
	0,7	5,88	0,00104662			7	1,869	0,00103591
	0,8	5,49	0,00105052			8	1,749	0,00103507
	0,9	5,17	0,00105297			9	1,644	0,00104134
1	4,9	0,00105499		10	1,559	0,00104219		
1,1	4,65	0,00106498		11	1,485	0,00104423		
	Mittelwert Lm:		0,00104963 [H]		Mittelwert Lm:		0,00103501 [H]	

Abbildung 53: Messwerte 3/3

13 Ausklang

Und um mit den Worten zu schließen, die ich vor ein paar Tagen von keinem Geringeren als Prof. Ulrich L. Rohde selbst aus dem Telefon hörte, als er sich Gedanken um die weitere Verwendung eines defekten EK070-Empfängers auf seinem Dachboden machte:

"Ich kann das nicht wegwerfen- da steht mein Name drauf!"

Zugegeben- auf dem KARU steht nach dem durchgeführten E-Check auch mein Name drauf.



Ich weiß nicht warum, aber bei ihm wirkt es irgendwie....naja...."cooler"!



;~)

Viele Grüße an alle Freunde der glühenden Elektronenemission und bis zum nächsten mal!

Marc Michalzik
MAR2023

14 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.
V1_13, MAR2023, Marc Michalzik.