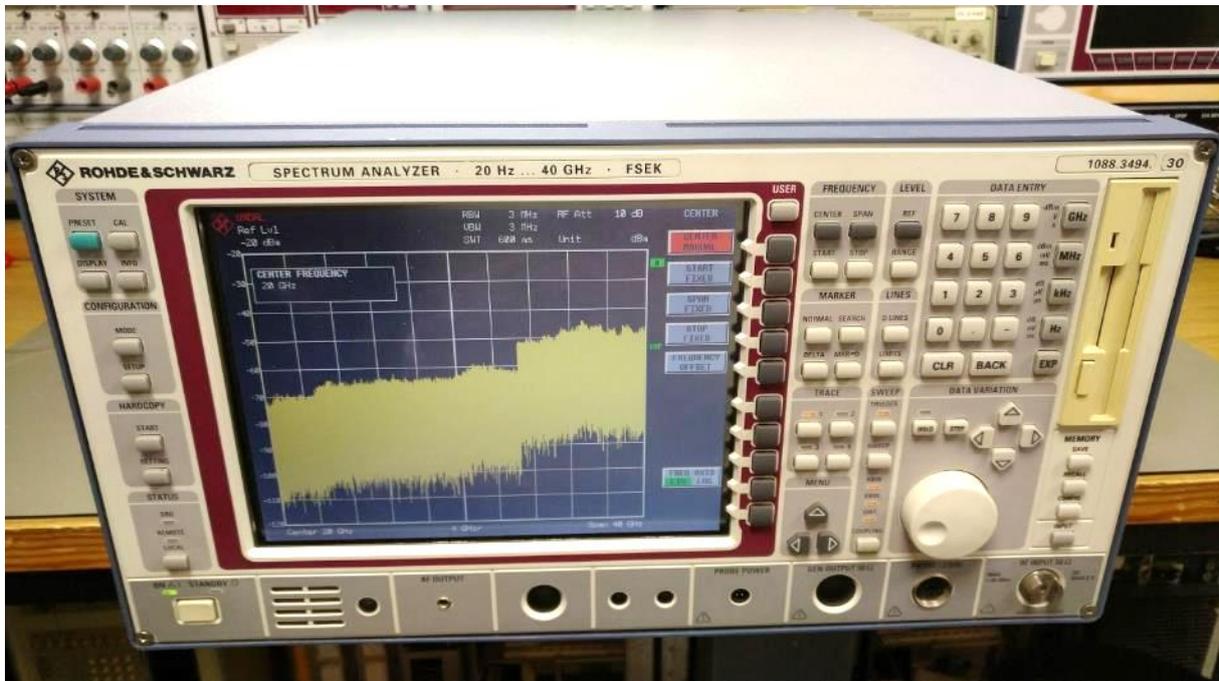


# Rohde & Schwarz FSEK 30



## 1 Einleitung

Irgendwann musste es ja mal so weit kommen. Nun ist es wirklich passiert. Echt!



Es begann an einem Samstag morgen im Juli 2019. Wegen Umräumarbeiten in unserer Garage war ich gerade dabei, eine Palette Fliesen umzustapeln. Eine ziemlich schweißtreibende Arbeit für einen Bürohengst wie mich. Gerade auch, weil wir mal wieder eine Hitzewelle in Deutschland haben, die uns Temperaturen von  $+35^{\circ}\text{C}$  und mehr bringt. Auf einmal kommt ein Postauto vorgefahren. Der Fahrer sieht meinen Palettenwagen, mit dem ich die Fliesen gerade durch die Garage schiebe und ruft schon von weitem: „Bring den Wagen gleich mal mit, das Paket ist groß!“.

Ein Paket? Dazu noch ein großes? Für mich? Von wem denn?

Ich rolle im verschwitzten Muskelshirt neugierig zum Postauto. Vorsichtig hievt der Fahrer einen großen Karton auf meinen Wagen und lässt mich auf seinem verpekten Pad die Paketannahme abzeichnen. Ich äuge ungläubig auf den Absender des riesigen Pappkartons. Der Name kommt mir bekannt vor- war das nicht jemand, der mich neulich noch per email angeschrieben hatte zwecks Fragen zur Reparatur eines Rohde & Schwarz Spektrumanalyzers? Ich erinnere mich, dass ich ihm ein paar Tests vorgeschlagen hatte, die aber letzten Endes nicht wirklich erfolgreich waren, weil der Fehler sich wohl doch auf der HW-Seite befand und das ist dann so per Ferndiagnose per Email manchmal etwas schwierig. Deshalb kamen wir leider nicht wirklich weiter.

Warum aber nun schickt mir derjenige nun ein Paket?

Kaum ist das Postauto wieder vom Hof, reiße ich den Karton auf. Als ich den Deckel öffne, sehe ich das da:



Ich werd' verrückt!! In dem Karton liegt ein Rohde&Schwarz FSEK30- also das damalige Spektrumanalyzer Top-Modell aus dem Hause R&S mit einem Frequenzbereich von 20Hz bis 40GHz!!

Wie bitte soll ich das denn deuten??

## 2 Geschenk?

Mein erster Gedanke war der, dass der Versender bestimmt bezwecken wollte, dass ich ihm den defekten FSEK reparieren solle. Nun muss ich sagen, dass ich schon seit vielen Jahren Reparaturaufträge nicht mehr annehme, denn der Ruf von Hilfsbereitschaft ist mir mal so stark vorausgeeilt, dass irgendwelche (teilweise sogar wildfremden) Leute mir ihren Schrott vor die Tür gestellt haben mit einem Zettel dran „bitte reparieren, brauche ich nächste Woche“ (natürlich kostenlos ☺). Da ich zwar Menschenfreund bin, aber auch ein im Beruf stehender Familienvater mit Verpflichtungen und engem Zeitplan, bin ich schon froh, wenn ich meinen eigenen Kram irgendwie am Laufen halte. Alle zusätzlichen Projekte, die über den Aufwand einer Email-Beratung, dem Zur Verfügung-Stellen eines Manuals oder auch mal einem interessanten Telefonat hinausgehen, muss ich daher leider kategorisch ablehnen- auch wenn die Menschen noch so nett sind. Ich saufe sonst einfach ab!

Aber hier ist es vielleicht anders. Nichts deutet auf eine Auftragsreparatur oder eine sonstige Erwartungshaltung hin. Aus der beigelegten QSL-Karte des Versenders finde ich ein paar Kontaktinformationen- also rufe ich direkt an. Das kann doch nur ein Missverständnis sein!

## 3 Geschenk!!!!

Nein, ist es nicht. Ich bin komplett baff, denn das Gerät ist wirklich als Geschenk an mich gedacht! Nicht einmal das Porto oder irgendetwas anderes durfte ich übernehmen- dem Versender genüge es, wenn er mir damit eine Freude machen konnte und bedankt sich damit zudem für die vielen gemütlichen Leseabende voller Reparaturberichte auf der Terrasse.

Mal unter uns:

Ich bin mir nicht sicher, ob ihr wisst, wie selten (und teuer) so ein FSEK ist! Wenn man so etwas geschenkt bekommt (auch defekt), sollte man schon so vernünftig sein und die Hintergründe ein wenig zu erhellen versuchen, ob hier auch alles mit rechten Dingen zugeht. Denn normalerweise schenkt einem in der Fußgängerzone auch niemand „einfach so“ eine Rolex nur weil man mal irgendwann für einen Kumpel die Armbanduhrbatterie gewechselt und darüber einen Blog gepostet hat. In diesem Fall darf ich jedoch behaupten, dass allein die Stellung des Spenders sowie sein politischer Hintergrund wohl kaum ein „krummes Ding“ zulassen würden; auch erlaubt er mir, dass ich diesen Reparaturbericht schreiben und sogar Namen und Seriennummern nennen dürfte. Das tue ich natürlich trotzdem nicht, aber gegen einen Bericht ist sicherlich nichts einzuwenden. Also nichts Unseriöses zu wittern, umso unglaublicher ist die ganze Geschichte.

Wie bei mir üblich, überlege ich mir einen Name für den FSEK. Nachdem meine Gartenhäcksler schon Gertrud und Renate heißen, fällt meine Wahl auf „Liselotte“.

## 4 Einschalten!

Wenn ich einen Analyzer der FSE-Serie auf den Labortisch kriege, prüfe ich immer zuerst, ob er seinen eigenen CAL-Generator empfangen kann. Wenn das in allen RBW-Einstellungen von 10MHz bis 100Hz funktioniert und auch bei allen Abschwächer-Einstellungen (0 bis 70dB), dann läuft meistens auch der Selbsttest durch.



Abbildung 1: Liselotte bootet

Der interne CAL-Generator erzeugt ein Signal von genau 120MHz und -40dBm und wird über ein höchstwertiges Umschaltrelais elektrisch so geleitet, dass es aus Sicht des Analyzers exakt so wäre, als würde man ein Signal per Kabel von außen an das Gerät anlegen.

Doch zuerst checke ich kurz das Baugruppenverzeichnis von Liselotte. Hier sieht aber alles gut und komplett aus.

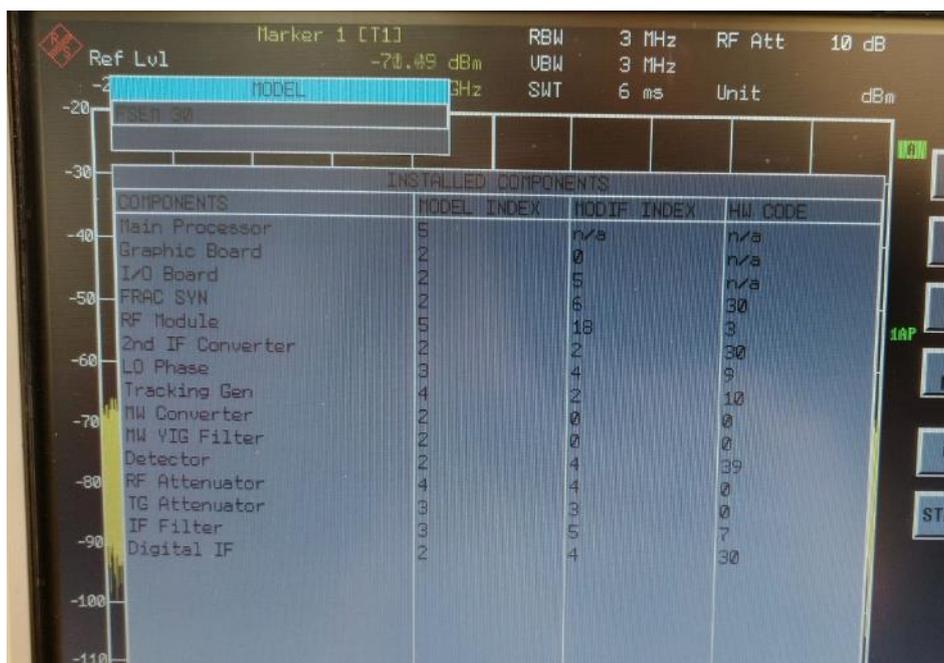
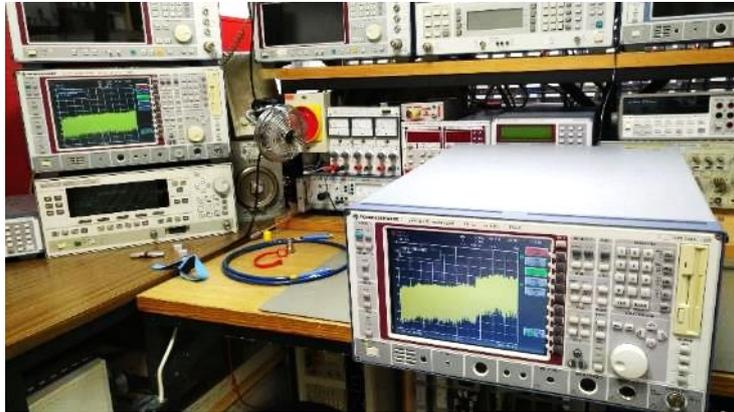


Abbildung 2: Baugruppenverzeichnis

Dann will ich aber trotzdem erstmal wissen, ob das Kostbarste an diesem Analyzer -das HF-Frontend!- überhaupt noch funktioniert. Also werde ich mal ein 20GHz-Signal anlegen und bin gespannt, was Liselotte daraus macht. Und schon erlebe ich die erste Pleite: ich kann nichts anschließen!



**Abbildung 3: in guter Gesellschaft: der R&S FSEK30 zusammen mit meinem FSEM30 im Hintergrund**

Natürlich ist mir bekannt, dass die höheren GHz-Schiffe von R&S alle mit den Planar-Steckersystemen von Rosenberger ausgerüstet sind. Jedenfalls ist der -eigentlich ziemlich vernünftige- Hintergedanke dabei, dass man damit das Leben des GHz-Connectors im Analyzer verlängern kann. Wie wir alle wissen, haben z.B. 3,5mm oder 2,92mm Systeme alle eine begrenzte Anzahl von erlaubten Steckzyklen. Überschreitet man die, knackt die Buchse nicht gleich auseinander, jedoch ist dann nicht mehr garantiert, dass der Steckverbinder noch alle seine spezifizierten Werte noch sauber einhält. Das mag für Amateurfunkanwendungen noch nicht so kritisch sein, aber irgendwann sind sie einfach so „ausgelatscht“, dass der Stecker oder die Buchse ausgeleiert ist und selbst für einfachste GHz-Anwendungen nicht mehr taugt. Die Steckzyklenanzahl ist übrigens gar nicht so furchtbar hoch- ich meine, ich habe mal eine Zahl von 400 oder so gehört\*.



**Abbildung 4: Planar-Adaptersystem von R&S an einem FSEK30**

- Hinweis: Rosenberger gibt in seinem Datenblatt eine Steckzyklenanzahl von 500 für 2,92mm sowie 3000 für den Planarverbinder an!

Hat man bei seinem Analyzer also nun im Laufe seines jungen Lebens diese 400 Steckzyklen irgendwann einmal durch, müsste man strenggenommen das Gerät zum Hersteller einschicken und die Portbuchse wechseln lassen! Dann hätte man weitere 400 Steckzyklen, bis man das Gerät erneut einschicken müsste. Und so weiter. In der Satellitentechnik und Raumfahrt wird das glaube ich sogar so gemacht...!!!

Dank der Planartechnik von R&S ist das jedoch nicht notwendig: anstatt die Gerätebuchse zu wechseln, kauft man einfach einen neuen Planar-Adapter (der dann wieder 3000 Steckzyklen hält) und schraubt ihn selber drauf! Schon hat man damit das Leben der Portbuchse verlängert- und das sogar ohne Werkstattaufenthalt! Geniale Idee eigentlich!

Durch die ebenfalls begrenzte Kontaktierungszahl der Planarstecker zur Portbuchse (3000) geht das natürlich auch nicht unendlich, aber mit den Datenblattwerten kommen wir auf  $3000 \cdot 500 = 1\,500\,000$  Kontaktierungen, bevor das Einschicken notwendig wird!

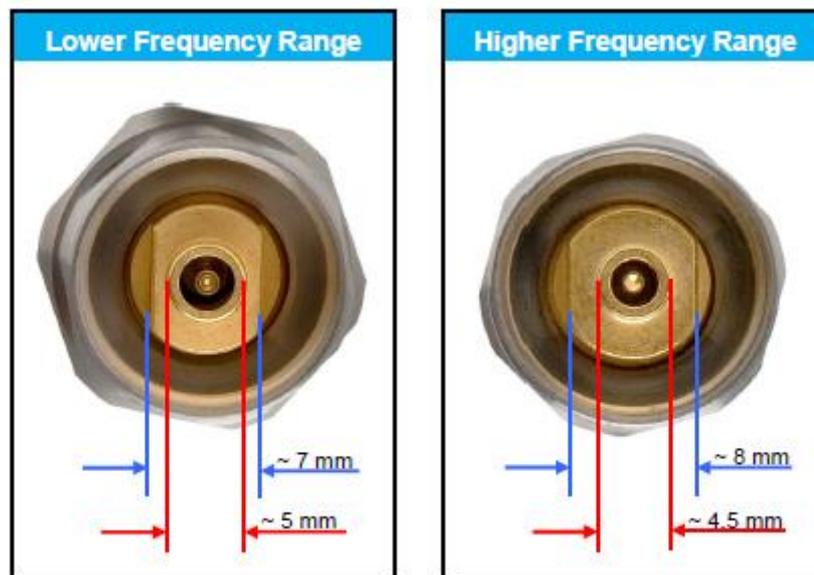


Fig. 3-1: Test Port Adapters – Differences in the mechanical interfaces depending upon the frequency range.

Abbildung 5: Auszug aus R&S Application Note "Test Port Adapters", 1MA100, Seite 5

Nun ist es so, dass ich wegen meines R&S FSEM Analyzers bereits über mehrere dieser -im allgemeinen doch recht schwer erhältlichen- Planaradapter verfüge. Doch Liselotte macht mir jetzt einen Strich durch die Rechnung: der FSEM-Adapter passt um Verrecken nicht auf den FSEK! Warum nicht?!

Eine kurze Recherche bringt es ans Tageslicht: in der Application Note „Test Port Adapters“ 1MA100 kann man nachlesen, dass es zwei verschiedene Typen dieser Planaradapter gibt: nämlich den „Low Frequency Range“ bis 26,5GHz und den „High Frequency Range“ bis 50GHz. Man muss schon ein bisschen verrückt sein, die Variante für 26,5GHz mit „Low Frequency Range“ zu bezeichnen, aber so schreibt R&S es wirklich in ihr Pamphlet!!!!

Natürlich besitze ich für meinen FSEM nur die Low-Frequency (LF) Variante. Was ich für den FSEK brauche, ist aber die HF-Variante! Die zu bekommen wird eine echte Herausforderung werden!!!

## 5 Jetzt helfe ich mir selbst!

So hieß mal eine sehr gute Reihe von Büchern, die einem Tipps zur Autoreparatur gab. Schade, dass es die nicht mehr gibt. Aber bei den heutigen Autos kann man aber meistens sowieso noch kaum was reparieren. Zumindest nicht selbst. Sehr ähnlich übrigens zu den modernen Messgeräten, die man ohne SW-Tools und Insider-Herstellerwissen heute auch kaum noch selber reparieren kann. Schade.

Ich versuche es mit einem Trick: ich führe das Signal mit einem hochwertigen 3,5mm Koaxkabel direkt zur Buchse und hoffe, dass ein wenig von der HF vom Mittelpin des PC2,92mm-Steckers auf die Portbuchse des FSEK30 überspringt. Das wäre der gesuchte Beweis, dass das Frontend noch heile sein könnte.



Abbildung 6: nicht kontaktiert, aber drangehalten: PC2,92mm an Planar-Buchse

Und siehe da: genau dort, wo man es erwartet, erscheint der heiß begehrte Peak bei 20GHz:



Abbildung 7: das HF-Frontend scheint schonmal grob heile so zun!

Natürlich fehlt mir mit meiner Behelfs-Einspeisemethode eine korrekte Aussage zum Pegel, aber laut Bauchgefühl sind -40dBm eine vernünftige Größenordnung für eine Luft-Einspeisung!

Die Freude über den Peak ist jedoch trotzdem groß und der Vergleich mit meinem FSEM bei 20GHz ergibt um nur drei oder vier dB andere Werte bei gleicher Luft-Einspeise-Methode:

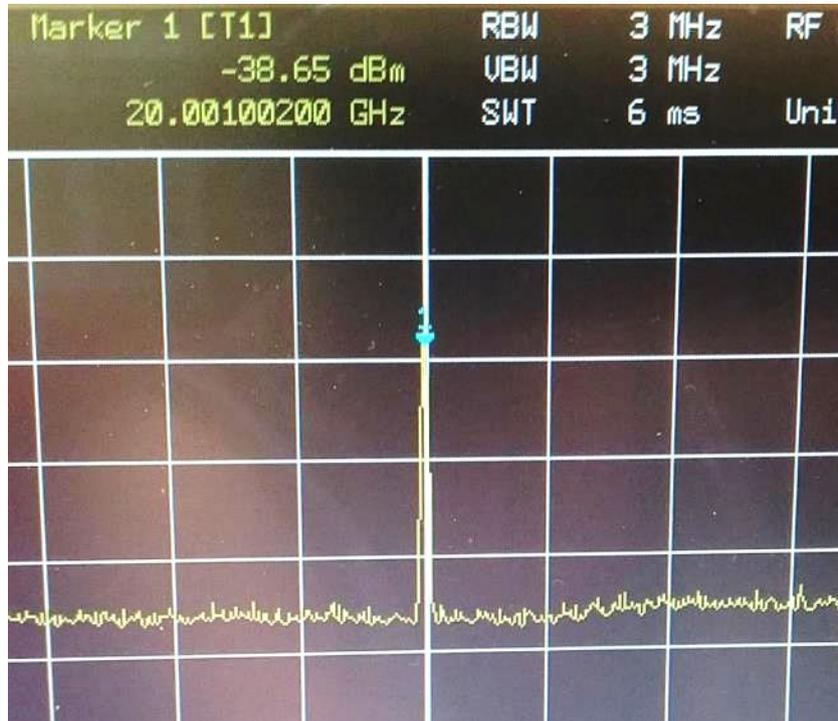


Abbildung 8: derselbe Test beim FSEM- nur wenige dB anders

## 6 Test mit CAL-Generator

Nun, nachdem meine erste GHz-Neugier gestillt ist, aktiviere ich aber endlich den internen 120MHz CAL-Generator. Die Eichleitung stelle ich manuell auf 0dB. Ich sehe danach das da:



Abbildung 9: das macht Mut! Interner 120MHz CAL-Generator

Der Generator misst sich selber zurück mit knapp -38dBm. Nicht perfekt; eigentlich sollte der Generator -40dBm anzeigen, aber die Kalibrierung in diesem FSEK ist ja auch nicht in Ordnung, wie der Vorbesitzer schon selber herausgekriegt hatte. Bis dahin also erstmal alles ok.

Nun checken wir mal die Eichleitung, denn als mechanisches Bauteil wird die in einem Analyzer manchmal ganz schön gestresst. Ich schalte also von 0dB auf 10dB. Was erwarten wir? Die gleiche Anzeige des 120MHz-Peaks, aber ein um etwa 10dB höherer Rauschteppich (DANL genannt). Aber es passiert das:

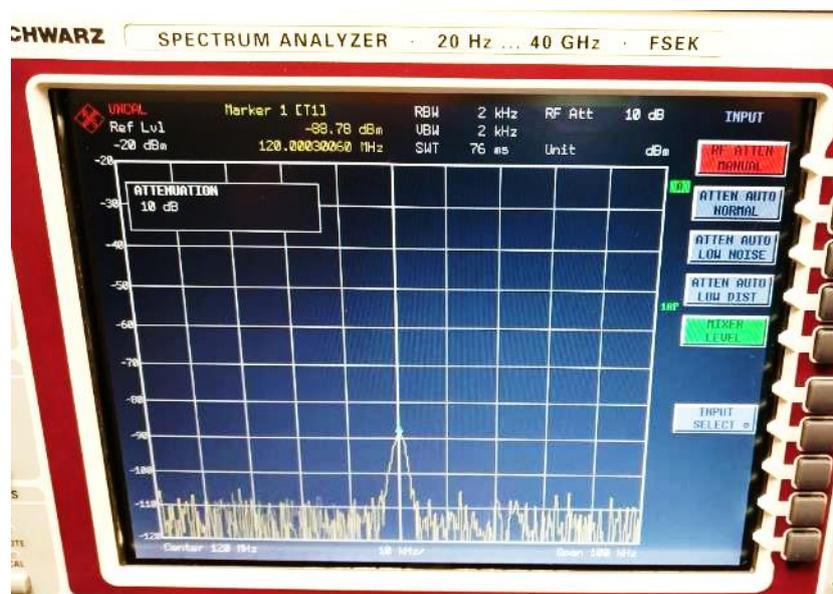


Abbildung 10: der erste Fehler offenbart sich: die Eichleitung!

Sofort nach dem Hochschalten der Dämpfung springt der -40dBm-Peak auf knappe -90dBm und bleibt dort! Das sind 50dB zu wenig! Damit weiß ich bereits jetzt:

**Die Eichleitung ist defekt!**

Ich wiederhole den Test und probiere auch jede weitere Stellung der Eichleitung durch (sie geht in 10dB-Schritten von 0 bis 70dB). In allen ungeraden Stellungen kriege ich diesen Pegelabfall! Mein Verdacht geht nun in die Richtung, dass das 10dB-Glied der Eichleitung defekt ist. Und ich werde Recht behalten!

Machen wir einmal eine Übersicht und stellen die Screenshots aller 8 möglichen Einstellungen (0,10,20,30,40,50,60,70dB) des Eingangsabschwächers bei aktiviertem 120MHz CAL-Signal dar.

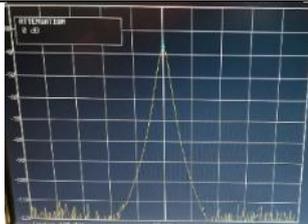
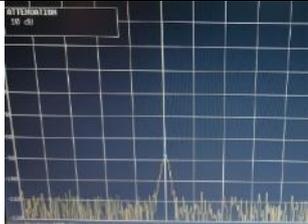
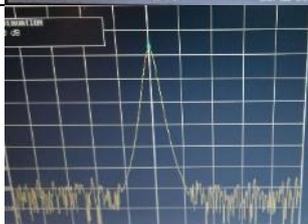
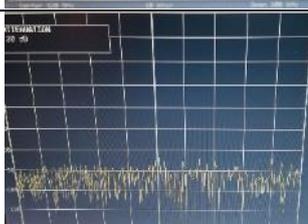
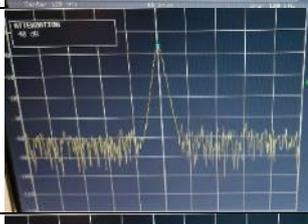
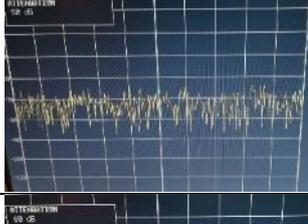
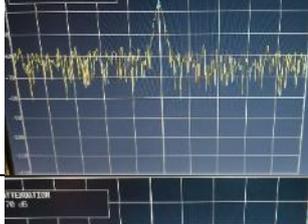
ATT	Screenshot	Kommentar
0dB		Alles ok.
10dB		DANL kommt 10dB hoch (ok), aber Fehler tritt auf.
20dB		Wieder alles ok.
30dB		Fehler tritt wieder auf.
40dB		Alles ok.
50dB		Fehler tritt auf.
60dB		Alles ok.
70dB		Bei dem -prinzipbedingt bei ATT=70dB- geringen S/N kann man es zwar nicht mehr so gut ablesen, aber auch hier müsste man den 120MHz-Peak eigentlich noch sehen können. Daher: Fehler tritt auf!

Tabelle 1: Test des Attenuators

Damit dürfte es ziemlich klar sein: der 10dB-Schritt der Eichleitung ist defekt. Au backe! Nun ist es ja nicht so, dass ich noch nie eine Eichleitung repariert hätte. Für den von R&S bis 1 (2GHz) verwendeten Typ habe ich ja sogar auch schon mal einen Reparaturbericht geschrieben, wo ich Metallzungen nachgebogen und damit Wackelkontakt-Anfälligkeiten erfolgreich beheben konnte. Obwohl ich immer betonen muss, dass meine Reparaturen nur Hobbycharakter haben und nicht für eine professionelle Anwendung geeignet sind, weiß ich inzwischen, dass sogar einige Kalibrierfirmen meine Eichleitungs-Reparaturidee anwenden. Nun gut, so gedacht war das in dieser Form nicht, aber ich kann ja niemanden dafür bei der Polizei anzeigen, dass meine Reparaturberichte gelesen werden und offensichtlich sogar professionellen Anwendern hin und wieder Anregungen geben. ;-)

Nun liegt aber eine 40GHz-Eichleitung vor mir und ich bin mir nicht sicher, ob mir das Wissen meiner „Gleichspannungs-Eichleitung“ hier noch helfen können. Im schlimmsten Fall werde ich eine Ersatz-Eichleitung kaufen müssen, das würde teuer. Aber egal- bei einem geschenkten Analyzer habe ich ja sonst keine Unkosten gehabt, daher sollte hier noch etwas Budget für Ersatzteile verfügbar sein.

Wie ich R&S kenne, würde ich mich nicht wundern, wenn sie hier sogar eine Eichleitung eines Fremdherstellers eingebaut hätten. Sogar Bauteile von HP habe ich mal in R&S-Geräten gesehen. Aber psssssschhhht! Nicht weitersagen ☺



**Abbildung 11: Geländefahrt in Sibirien: Insel „Olchon“ im Baikalsee (Urlaubsfoto )**

## 7 Eichleitungs-Reparatur

Es geht los, Liselotte verliert ihre Kleider und wird nackig gemacht! Die Eichleitung sollte in unmittelbarer Nähe der Portbuchse sitzen. Bereits nach dem Abnehmen der Haube kann ich sie deutlich sehen:

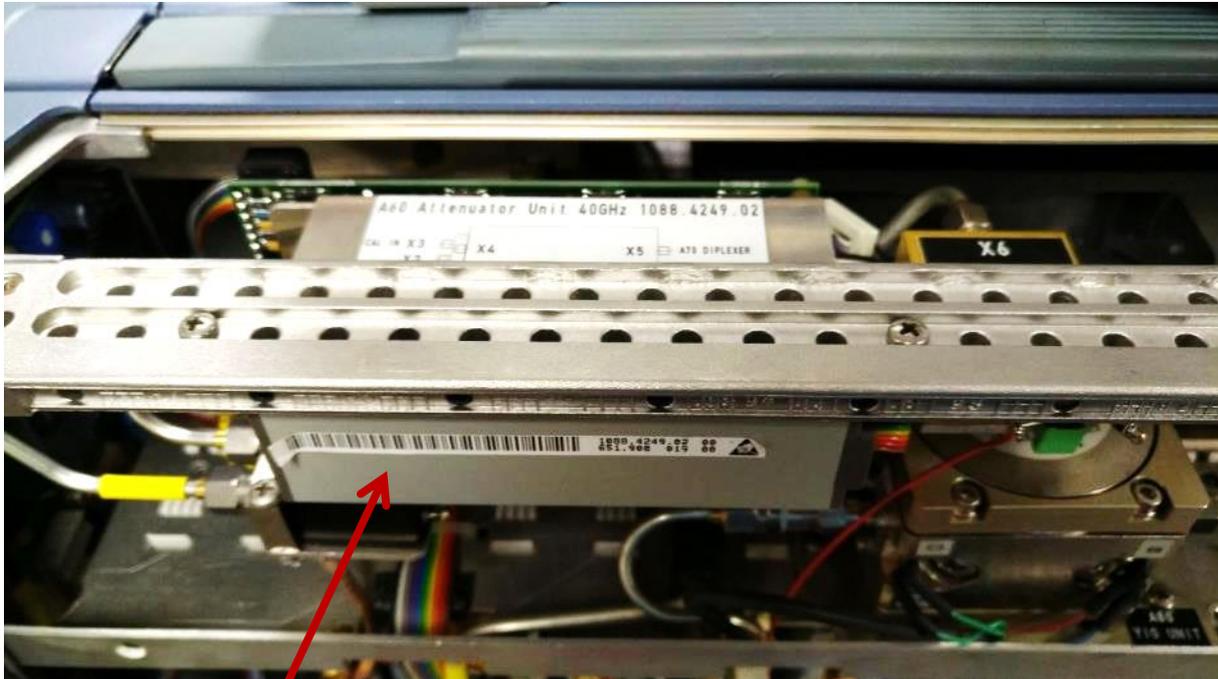


Abbildung 12: die 40GHz Eichleitung!

Wie ich schnell erkennen kann, führt die Portbuchse zu einem Umschaltrelais (hier wird der CAL-Generator eingespeist!) und dann direkt zur Eichleitung. Dahinter haben wir einen Diplexer (=elektronischer HF-Umschalter), der das Messsignal auf die verschiedenen Messpfade schaltet. Denn der FSE misst das Signal nicht in einem Rutsch von 20Hz bis 40 (45) GHz, sondern setzt es aus mehreren Messabschnitten zusammen. Das machen andere Spekis aber auch nicht anders. Keine Eingangsstufe der Welt arbeitet gleich performant in einem Rutsch von 20Hz bis 40GHz. Zumindest keine aktuell heute bekannte!

Hinter dem Diplexer meine ich dann ein YIG-Filter zu erkennen; also eine Art „Pre-Selector“, der Spiegelfrequenzen und sonstige Mischprodukte unterdrückt. Der YIG muss exakt zur Empfangsfrequenz nachgeführt werden. Das macht der FSEK und FSEM über eine individuelle Kalibrierkurve, die nur mit dem FSE Service-Kit des Herstellers generiert werden kann.

Hier ist ja aber gar nicht unsere Baustelle und somit konzentriere ich mich auf den Ausbau der Eichleitung. Die ist natürlich mit 2,92mm Präzisions-Leitungen verbunden, die man auf gar keinen Fall übermäßig biegen (und schon gar nicht knicken!) sollte.

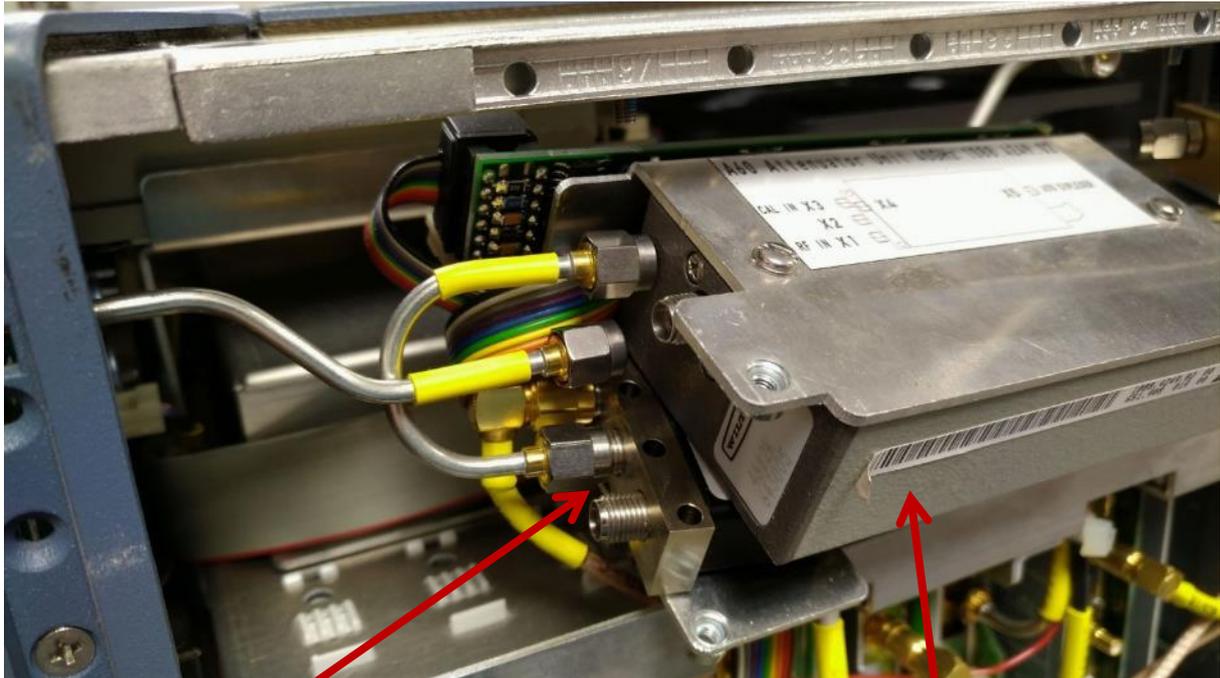


Abbildung 13: wie kabela vorsichtig ab!

Umschaltrelais

Eichleitung

Den Ausbau habe ich jetzt nicht Schritt für Schritt dokumentiert, aber es gelingt einem sicherlich in etwa 10 Minuten. Unter der Eichleitung ist das Präzisions-HF-Relais angebracht, das wahlweise den CAL-Generator oder die vordere Portbuchse auf den Eingang des Gerätes schaltet.

Bevor ich die Eichleitung komplett ausbaue, werde ich sie aber kurz wobbeln. Dafür benutze ich unheimlich gern den kleinen Rigol DSA815TG, den ich mir vor ein paar Jahren mal gekauft hatte. Er ist zwar nicht das präziseste Messgerät unter der Sonne, aber unglaublich praktisch, robust und anspruchslos. Geht es mal eben darum, um Fehler zu suchen, reicht das Gerät völlig aus. Für Messberichte an die Zeitung nehme ich dann natürlich die „Großen“(FSEB, FSEM). Aber hier ist der Rigol voll in seinem Element und ich benutze ihn sehr gerne!

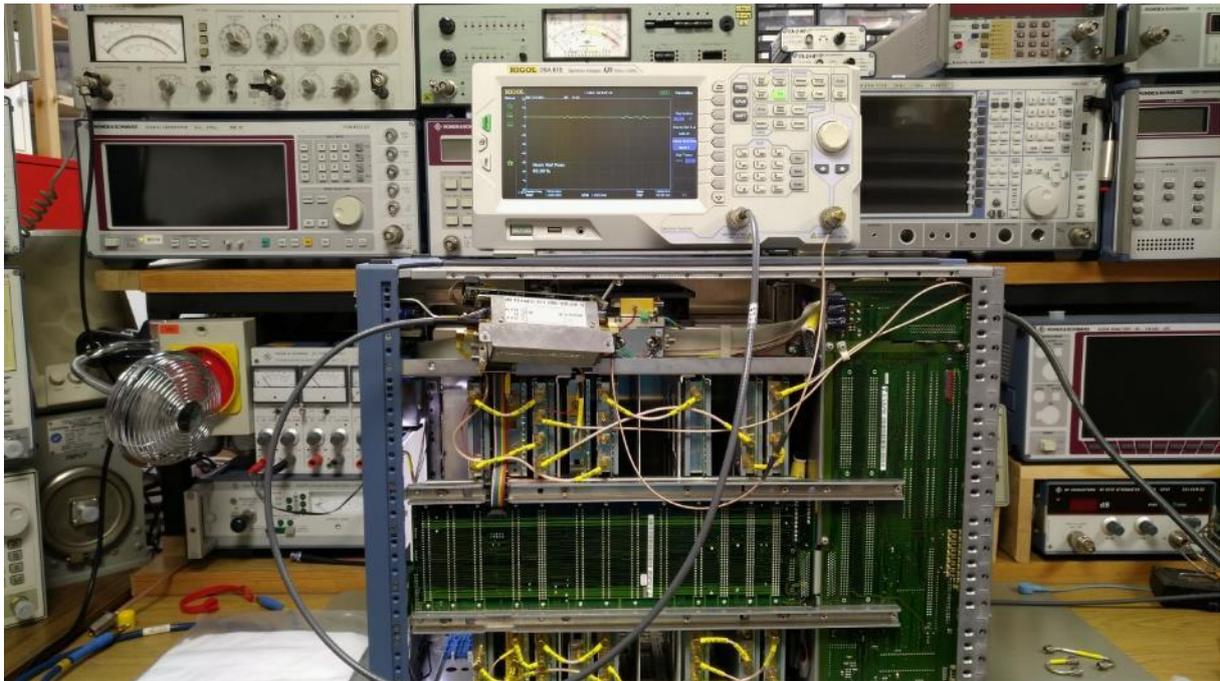


Abbildung 14: 40GHz Eichleitung wobbeln- mit dem Rigol DSA815TG!

Ich wobble nur bis 1,5GHz, denn einen solch herben Fehler werde ich wohl auch mit sogar nur 1MHz messen können. Ich verwende einfache BNC-Kabel und mache auch keine große Welligkeitskorrektur. Mit geht es im Moment nur um „heile“ oder „kaputt“.

Damit ich die Eichleitung ansteuern kann, schalte ich den FSEK natürlich ein. Aber sonst ist die Eichleitung komplett abgetrennt und mit ihrem Ein- und Ausgang nur an den Rigol angeklemt.

In der 0dB-Stellung sehen wir dies:

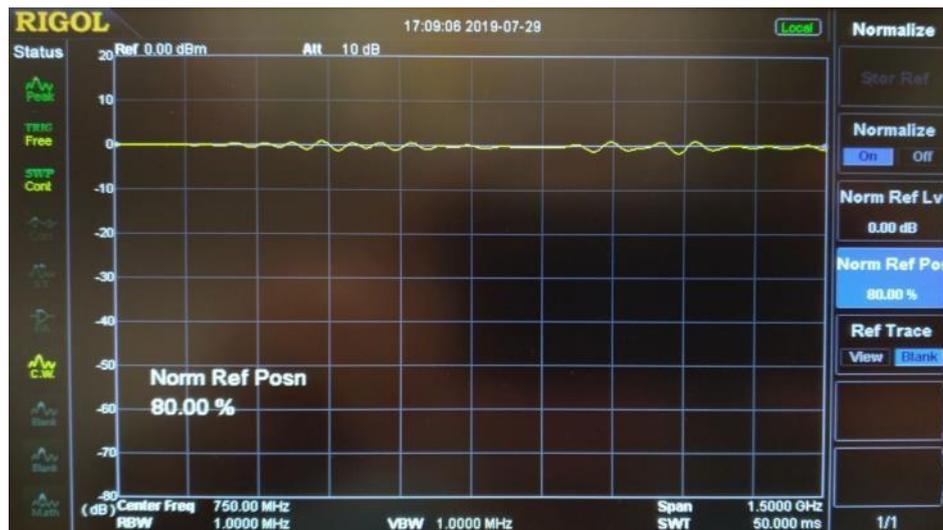


Abbildung 15: Eichleitung S21 in "0dB" gewobbelt

Etwas wellig, aber das könnte am Messaufbau (und dem Rigol) liegen. Aber sonst alles top.

Also schalten wir an Liselottes Bedienfeld mal die vermutlich defekte 10dB-Einstellung ein:

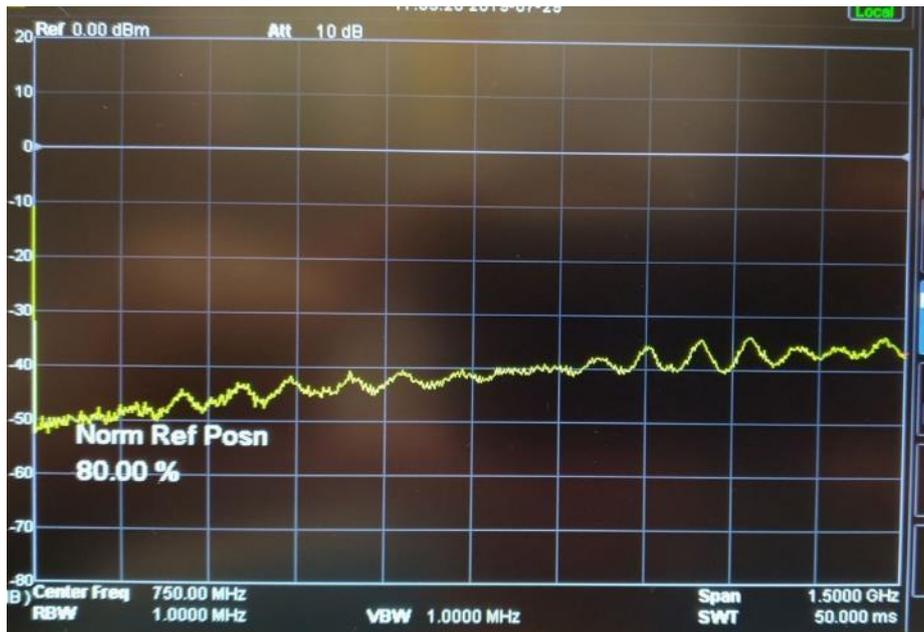


Abbildung 16: Eichleitung S21 in Stellung "10dB"

Rrrrrums!

Wie erwartet- die Eichleitung ist in dieser Stufe definitiv defekt. Und der Verlauf des Grafen zeigt mir, dass wir hier eine Unterbrechung haben könnten. Das leichte Ansteigen über die Frequenz ist ein ziemlich untrügliches Zeichen für eine Kapazität (=Unterbrechung) im Signalfluss.

Checken wir die 20dB-Stellung:

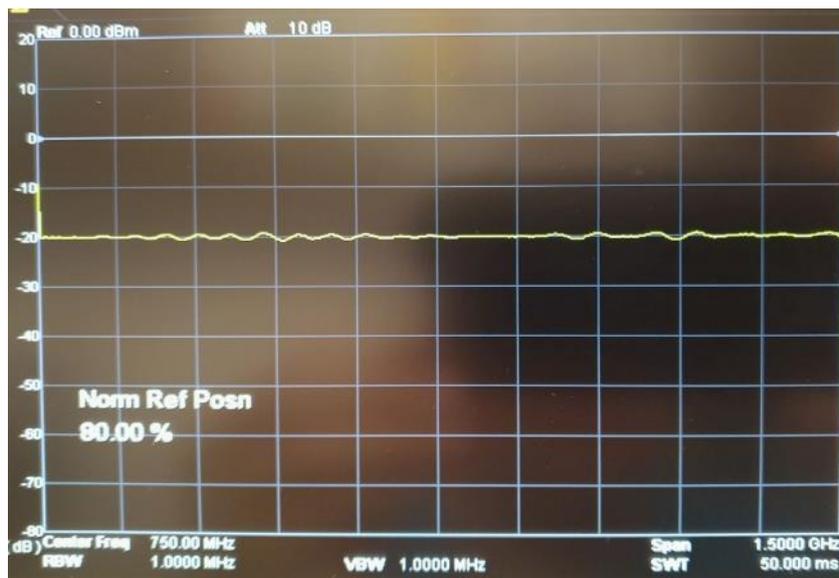


Abbildung 17: Eichleitung S21 in Stellung "20dB"

Das sieht wieder so aus, wie es müsste. Ich denke, wir haben nun genug Beweise gesammelt. Die Eichleitung müssen wir ausbauen und uns ansehen!

Ein paar Schrauben später halte ich die Eichleitung in der Hand. Und ich hatte recht: R&S hat auf ein Zukauf-Bauteil gesetzt:



Abbildung 18: eine Wiltron 4612K Eichleitung

Unter dem Firmennamen Anritsu findet man zu der 4612K sogar noch ein Datenblatt:

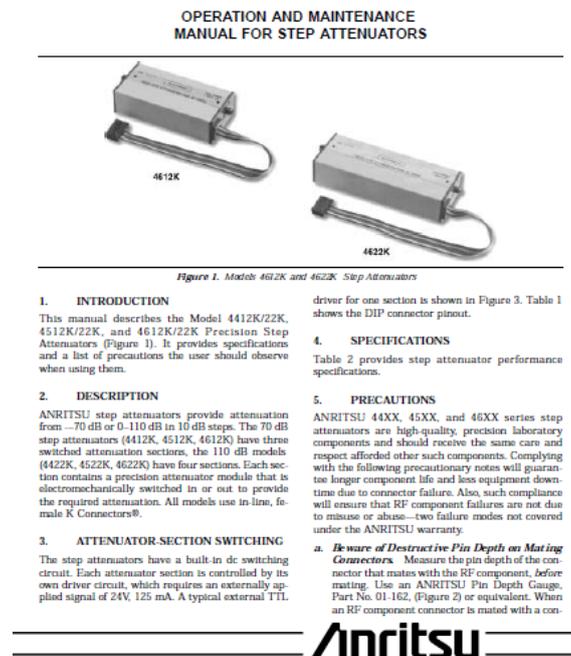
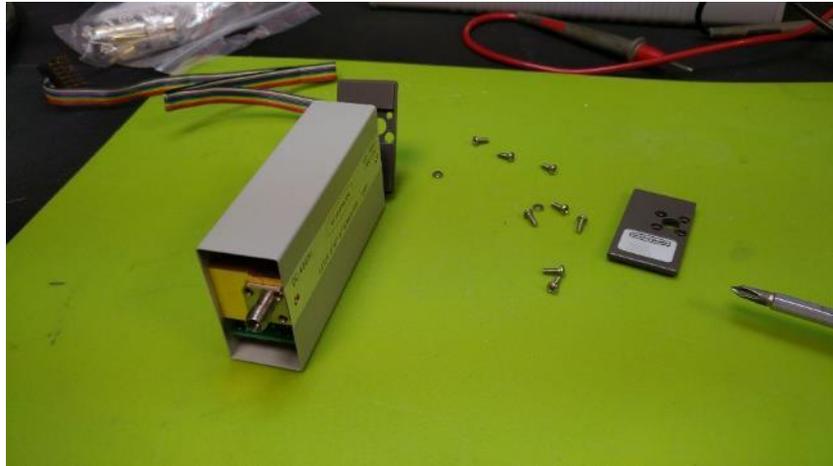


Abbildung 19: Datenblatt für Wiltron 4612K (Quelle: Anritsu.com)

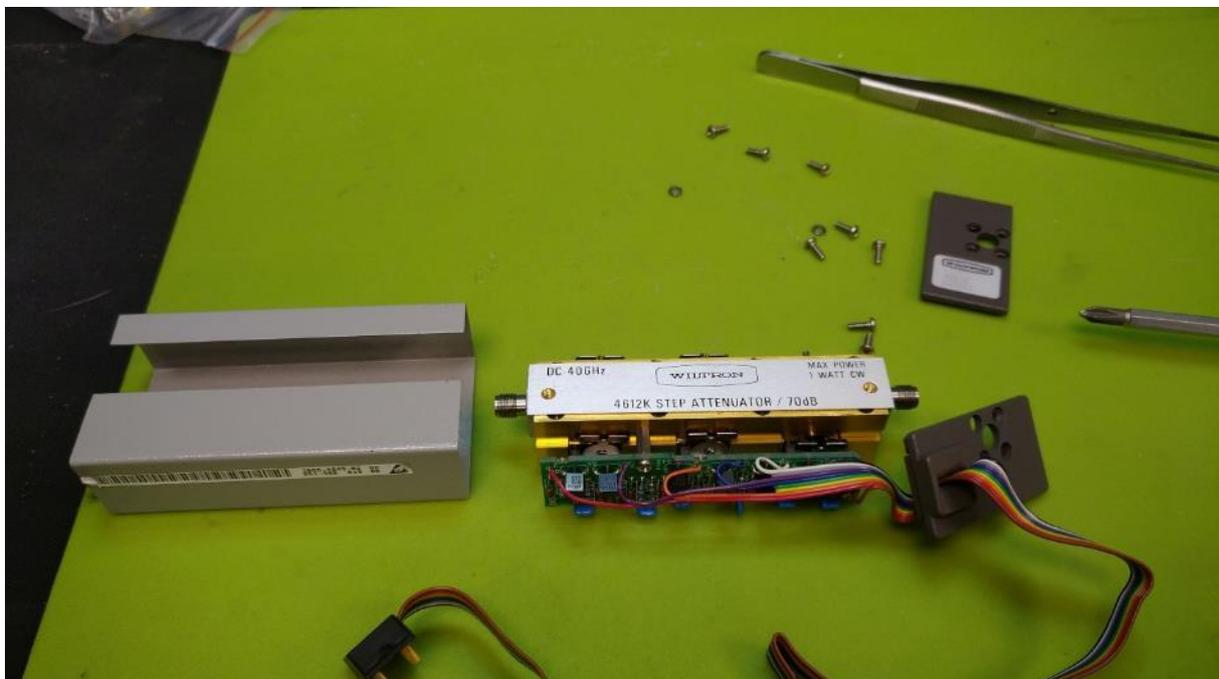
Die Daten darin sind sehr interessant. Wir werden später, wenn wir die Qualität meiner Reparatur beurteilen wollen, noch darauf zurückkommen.

Nun aber zerlegen wir die Eichleitung. Ein wenig nervös bin ich schon, denn ich habe noch nie ein Stück so hoch-herzigen GHz-Krams reparieren müssen. Aber gekniffen wird jetzt nicht, wir werden es probieren.



**Abbildung 20: Deckel abschrauben**

Zuerst schraubt man die seitlichen Deckel ab. Wenn man es geschickt macht (also nicht so wie ich), löst man nicht gleich alle vier, sondern nur 2 gegenüberliegende Schrauben, so dass die 2,92mm-Buchse nicht gleich mit abfällt. Egal, ab muss sie nachher sowieso.



**Abbildung 21: Innenteil herausziehen**

Nach dem Lösen kann man den Haupt-Block seitlich herausziehen. Wir erkennen unten die Steuerelektronik zum Bestromen der Magnetspulen, darüber den (noch) verschraubten Stößelblock und den HF-Block.

Wir reißen die Ansteuerungsplatine runter.



Abbildung 22: Leiterplatte weg

Nun können wir von unten die Magnetspulenkontakte erkennen, die im Innern des HF-Blocks (über kleine Plastikstößel) den Signalfluss umschalten werden. Zumindest ist das bei anderen Eichleitungen so (hier auch ;-).

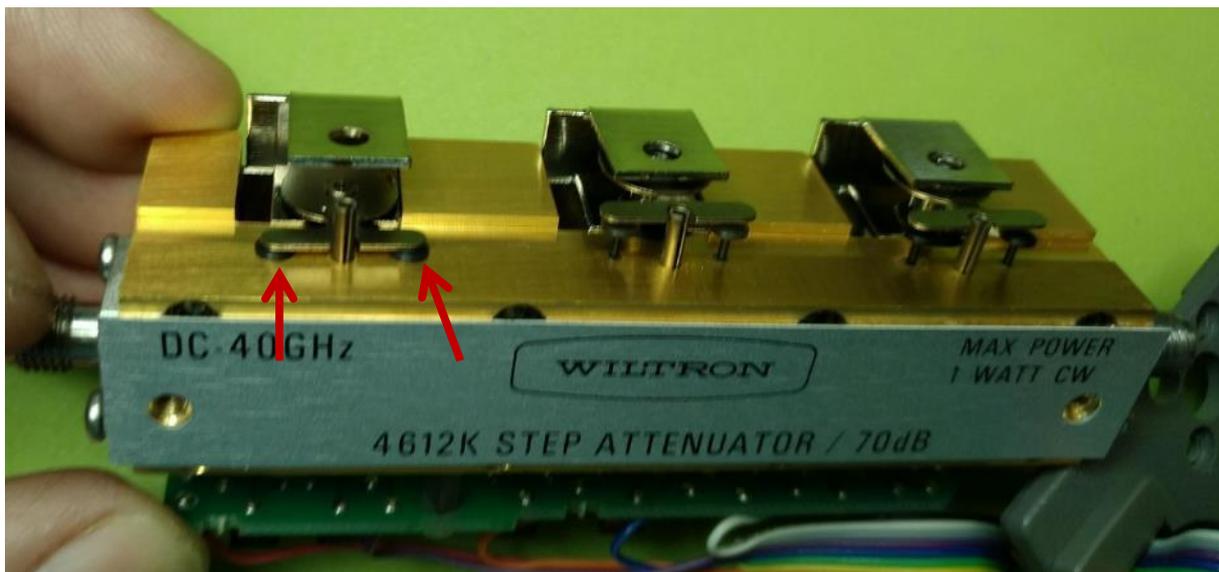


Abbildung 23: drei Stufen (10, 20, 40dB)

Die 4612K besteht aus einer Kettenschaltung von drei Dämpfungsstufen (10, 20 und 40dB). Damit kann man dann durch Kombinatorik alle Dämpfungen von 10 bis 70dB erzeugen. Im obigen Bild habe ich mal eine Stufe reingedrückt. Man sieht, dass eine Metallbrücke zwei kleine Plastikpilze in das Gehäuse drückt (Pfeil).

Wir schrauben weiter und trennen den Block mit den Magnetspulen von dem HF-Teil. Dafür müssen wir das Typenschild mit einem Teppichmesser abhebeln. Das haben die Ingenieure von Wiltron/Anritsu mit Absicht drübergeklebt, damit nicht jeder Hobbybastler dran rumfummelt ☺



Abbildung 24: mach auf das Ding!

Dass man sich gerade im Herzen zweistelliger GHz-Technik befindet, merkt man schon an den Schrauben. Edelstahl, Inbus, wahrscheinlich sogar definiertes Drehmoment. Alles hochwertiges Zeug, kein Consumerkram. Nur was Reelles. Das gefällt mir.

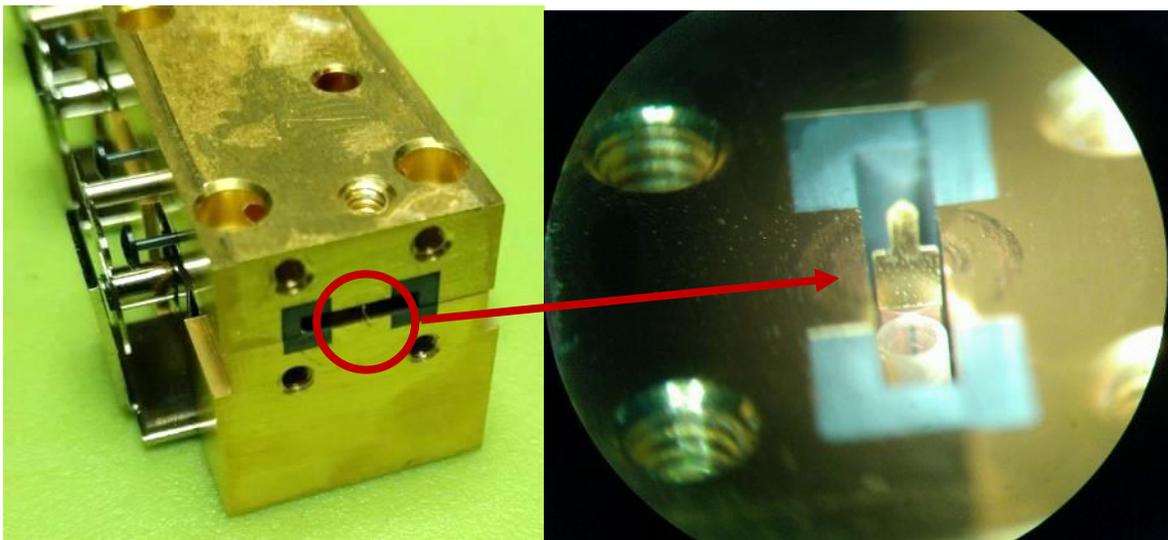


Abbildung 25: Kontaktierungspin zur 2,92mm-Buchse

Bevor wir das Allerheiligste öffnen, gucken wir auf die Seite. Ein winziger Pin, bei dem nur unter dem Mikroskop zu sehen ist, dass er gerade keinen Kurzschluss zur Masse hat, ragt nur einen einzigen Millimeter heraus. Dort wird die 2,92mm Buchse aufgesetzt. Mal sehen, ob wir das beim späteren Zusammenbau wieder einigermaßen gut hinkriegen.

Aber nun trennen wir die beiden Hälften voneinander!!!

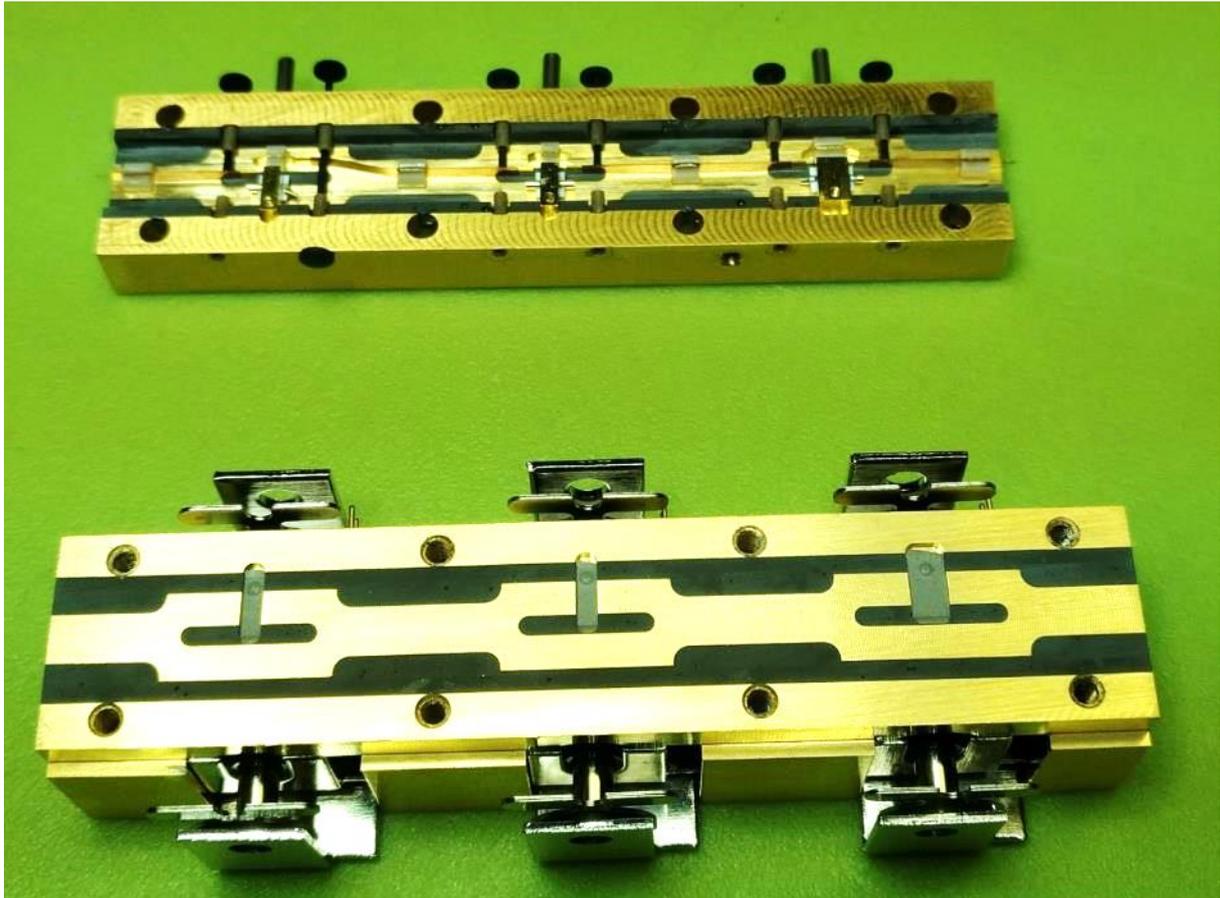


Abbildung 26: Ober- und Unterteil getrennt

Das dickere Unterteil ist für mich nun weniger interessant, denn hier sitzen nur die Relaispulen und die Masseflächen drauf. Diesen Teil legen wir weg. Wir gucken uns nun lieber das Oberteil an, denn hier ist die HF drauf.

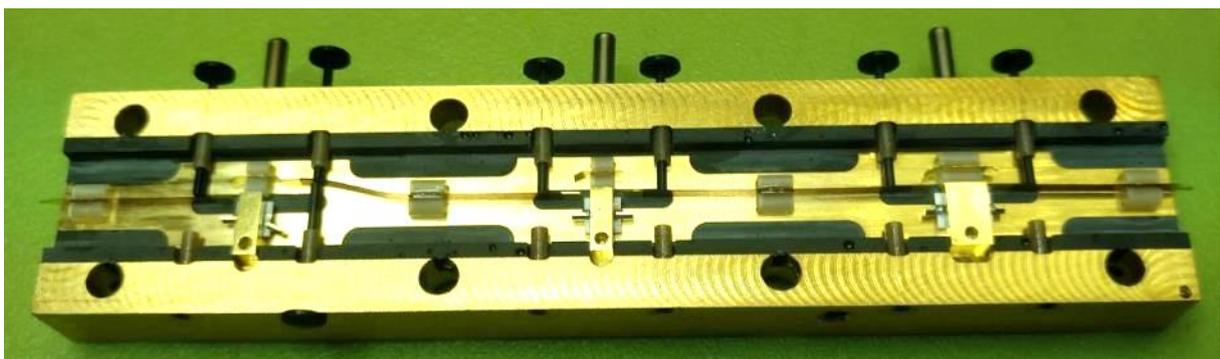


Abbildung 27: der HF-Block. Sieht jemand schon den Fehler??

Jetzt dauert es nur noch wenige Sekunden, bis ich den Fehler gefunden habe. Schaut euch mal Abbildung 27 an. Seht ihr es auch?

Gefunden?

Guckst du hier:



Abbildung 28: etwas vergrößert

Für die, dies es trotz einer Schüssel voll Möhrchen immer noch nicht sehen- hier eine Mikroskopaufnahme (die mache ich übrigens immer mit dem Handy vor dem Okular; wird nicht perfekt, reicht aber für meine Berichte).

Hier also nochmal in Groß:

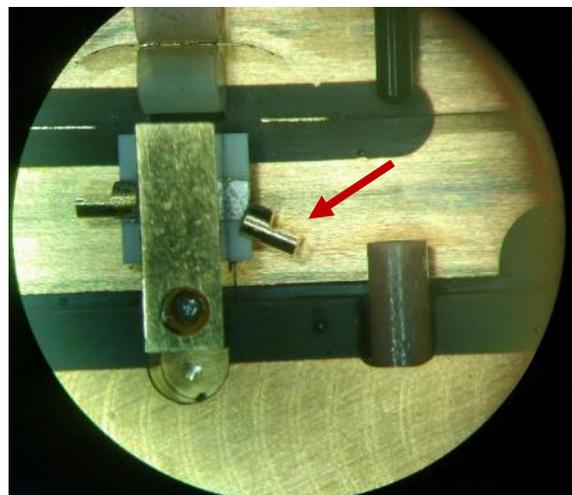
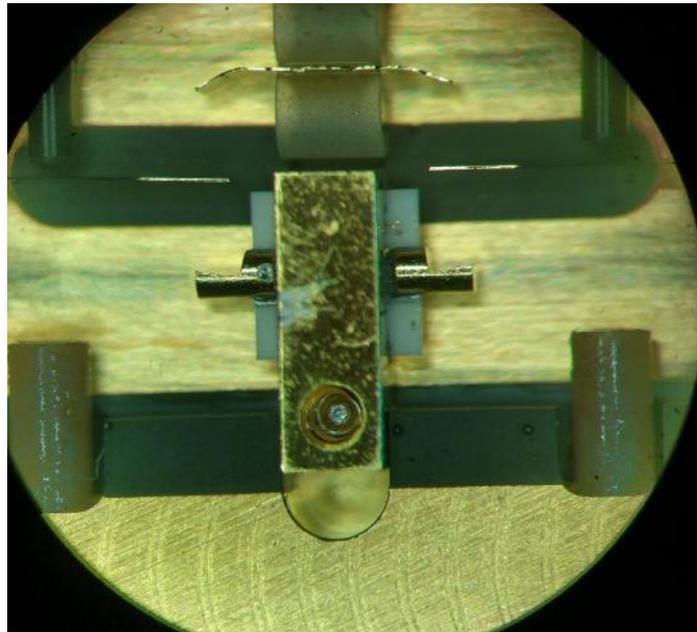


Abbildung 29: stark vergrößert

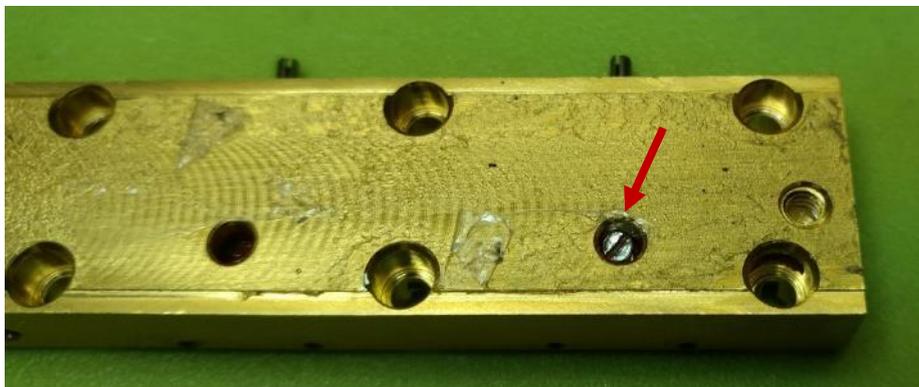
Tja, da haben wir definitiv einen Fehler. Was wir sehen, ist ein Keramikplättchen, das in einem Metallblock eingelötet ist. Auf diesem Plättchen ist ein Widerstandssubstrat aufgebracht, das vermutlich Pi-Konfiguration hat und so 10dB erzeugen soll. In Durchgangsrichtung hat dieses 10dB-Modülchen zu beiden Seiten kleine Ärmchen, auf die das HF-Signal mittels der Plastikstößel durch Kontaktzungen aufgedrückt wird. Leider sieht man, dass das rechte Ärmchen schräg steht (und vielleicht sogar noch nichtmal richtig verlötet ist!). So wie es gerade steht, wird die Kontaktzunge des HF-Pfads es selbst im geschalteten Zustand nicht erreichen können. **Da haben wir also unsere Unterbrechung!** Und auch den beobachteten Kondensator-in-Reihe-Effekt (siehe Abbildung 16).

Zum Vergleich: so sieht ein korrektes Dämpfungsplättchen aus. Hier mal am Beispiel des 20dB-Glieds:



**Abbildung 30: hier ein heiles Plättchen zum Vergleich**

Also muss ich versuchen, das rechte Ärmchen neu anzulöten. Mal sehen, ob mir das gelingt. Zuerst muss das 10dB-Plättchen raus. Glücklicherweise kann man es ausbauen, denn es ist von der Rückseite her geschraubt.



**Abbildung 31: geschraubte Plättchen!**

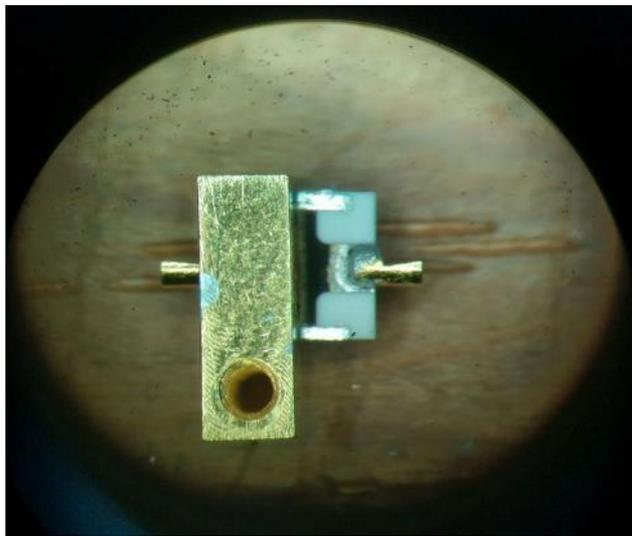
Also Schraube lösen und das 10dB-Modülchen vorsichtig herausnehmen.

Ich benutze meine Heißluftstation, um das Bauteil neu zu löten.



**Abbildung 32: Heißluftstation**

Das gelingt beim ersten Versuch aber nur mäßig:



**Abbildung 33: nicht verzweifeln!**

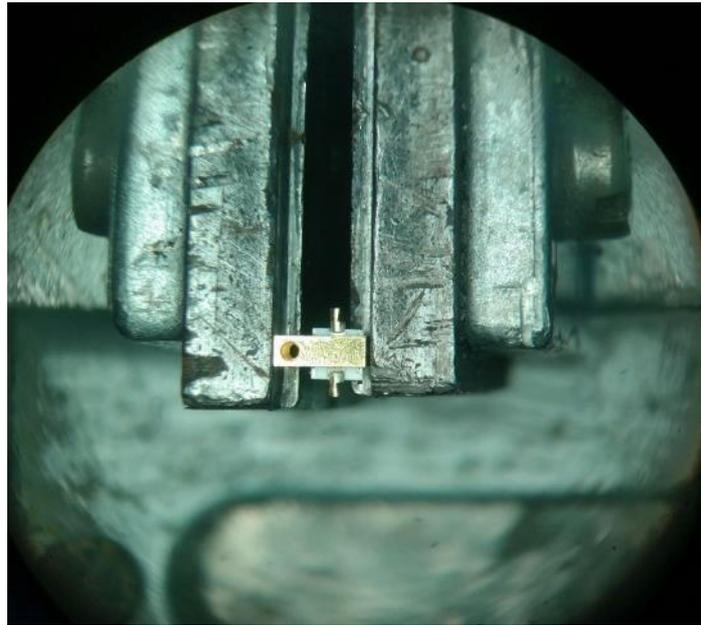
Ich schaffe es zwar, das rechte Ärmchen wieder auf die Lötstelle zu schieben und es vernünftig zu verlöten, aber die Wärmeverteilung ist so gut, dass sich gleich das gesamte Keramikplättchen im Metallklotz verschiebt!

Also nochmal. Damit der zweite Versuch besser klappt, spanne ich das gesamte Teil vorsichtig in meinen Schraubstock ein und löte mit Pinzette unter dem Mikroskop.



**Abbildung 34: so fixiert, wird das Löten etwas einfacher**

Nach drei, vier weiteren Versuchen und sehr viel Geduld scheint es geklappt zu haben:



Ich baue das Modulchen wieder ein.



**Abbildung 35: hoffentlich repariert! Hier der Signalfluss für Stellung „10dB deaktiviert“ (=Bypass)**

Ob es wieder funktioniert, kann ich jetzt noch nicht wirklich sagen. Eine ohmsche Messung zeigt für ein Pi-Glied plausible Werte.

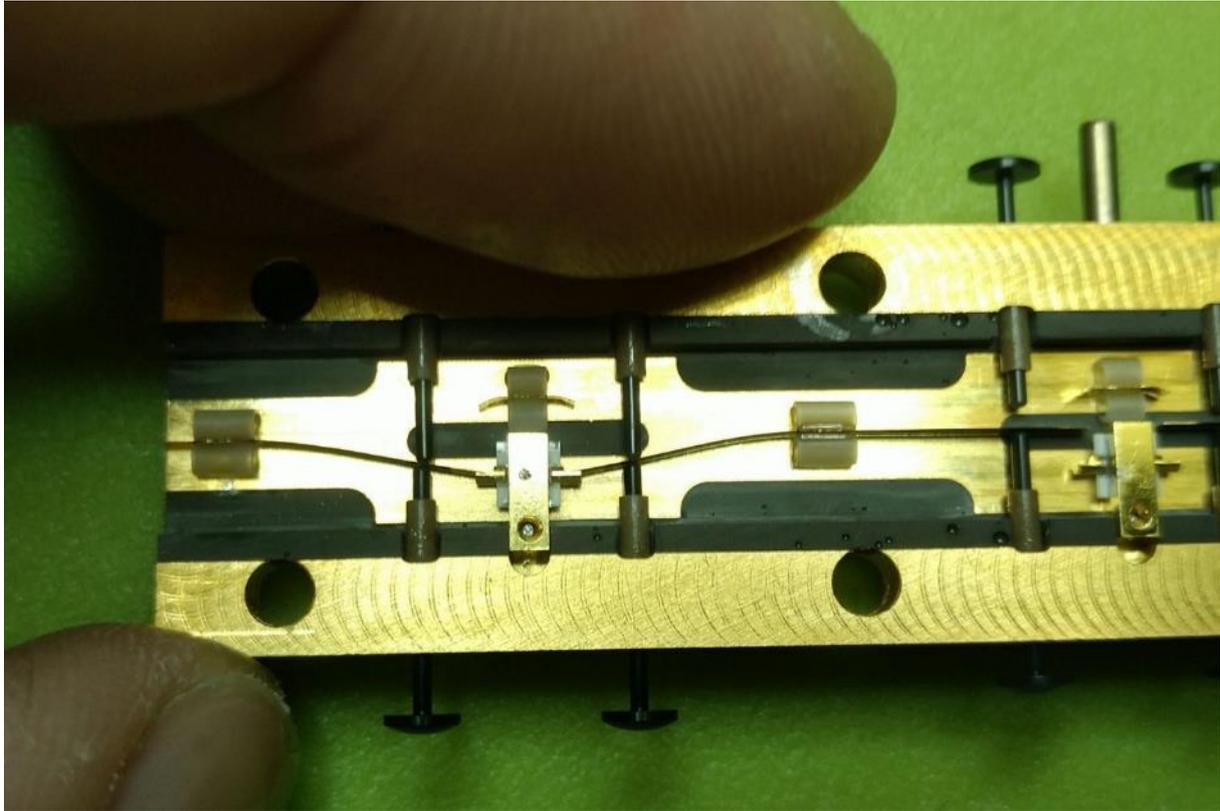


Abbildung 36: hier in Stellung "10dB aktiviert"

Probeweise setze ich mal die Plastikstößel ein und simuliere die beiden Möglichkeiten des Signalflusses („Bypass“ oder „10dB aktiviert“). Sehr schön sieht man, wie der Signalfluss durch die Kontaktzungen entweder durch das Modülchen oder drum herum geleitet wird. Und auch, dass das rechte Ärmchen nun Kontakt zur Metallzunge kriegt- was vorher definitiv nicht so war.

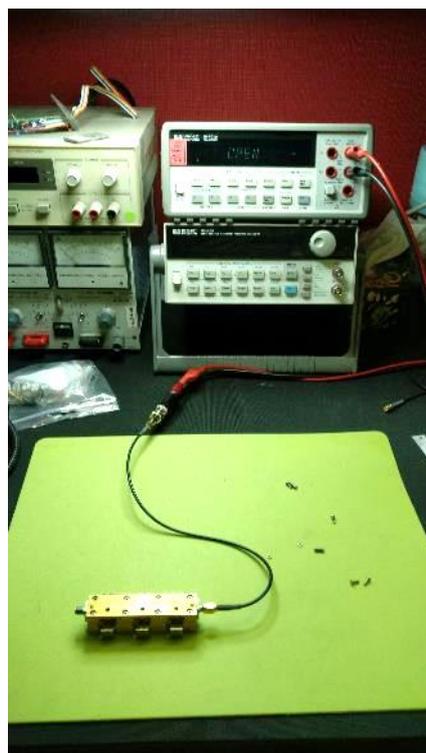


Abbildung 37: Prüfung auf Kurzschluss mit Multimeter

## 8 Verifikation

Bevor ich die Eichleitung wieder einbaue, muss ich unbedingt wissen, ob die Reparatur einigermaßen erfolgreich war. Dazu wobble ich wieder alle Stufen einzeln duch: 0dB, 10dB, 20dB und 40dB.



Abbildung 38: fertig für Wobbelmessung

### 0dB

In der „Bypass“-Stellung sieht der Frequenzgang schonmal gut aus.

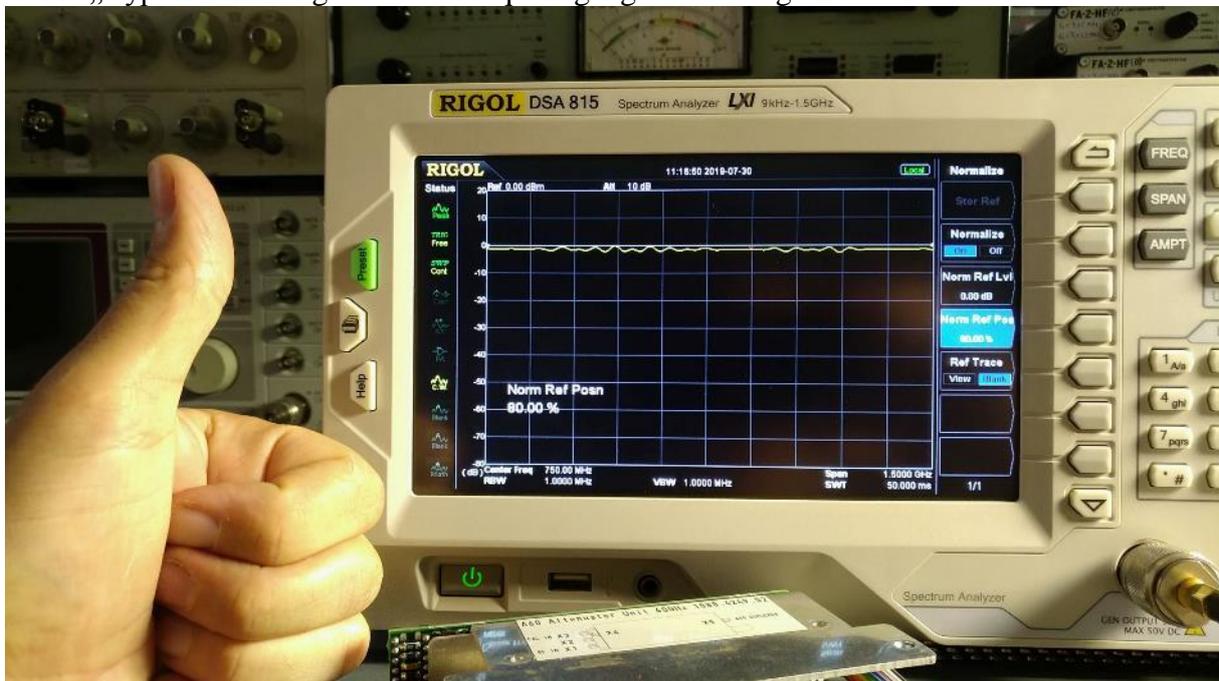


Abbildung 39: S21 bis 1,5GHz in 0dB

## 10dB

Nun drücken wir das Glied für 10dB hinein. Auf der Gegenseite kommt dann der entsprechende Stößelsatz heraus. Wir erinnern uns: das 10dB-Teil war das defekte, das wir zu reparieren versucht haben!



Abbildung 40: 10dB gedrückt

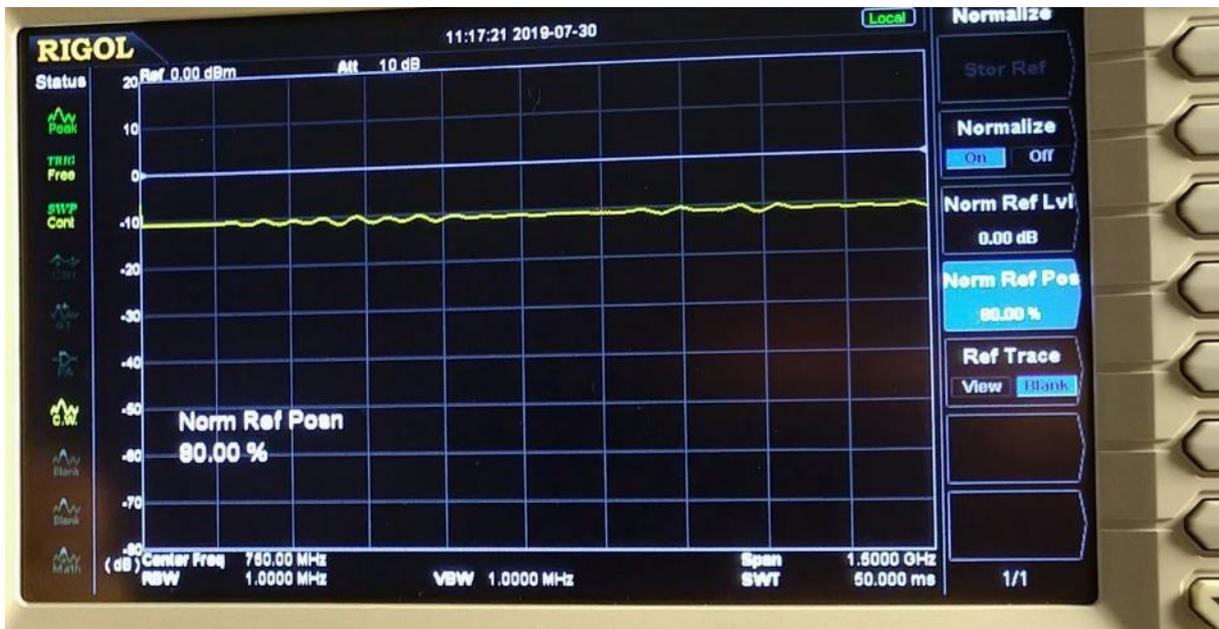


Abbildung 41: S21 bis 1,5GHz für die 10dB-Stufe

Na das sieht doch schonmal nicht schlecht aus! Wo vorher nur Schrott war (vergleiche Abbildung 16), sehen wir nun eine glatte Linie bei -10dB! Prima!

Natürlich wissen wir noch nicht, ob die Eichleitung nun ihre ursprünglichen Datenblattwerte bis 40GHz noch halten wird und damit der FSEK wirklich komplett „repariert“ ist. Aber diese Messung gibt uns immerhin erstmal Hoffnung!



## 40dB

Ich aktiviere die 40dB-Stufe. Auch hier: alles glatt.



Abbildung 44: Eichleitung in Stellung "40dB"

Das bisschen Rauschen und die kleine Welligkeit könnte auch am Rigol-Analyzer liegen. Ich hatte aber keine Lust, hier noch Zeit zu investieren und irgendwas an RBW oder Average zu machen, nur um die Anzeige noch etwas aufzuhübschen. Es hätte mich nicht weiter gebracht.

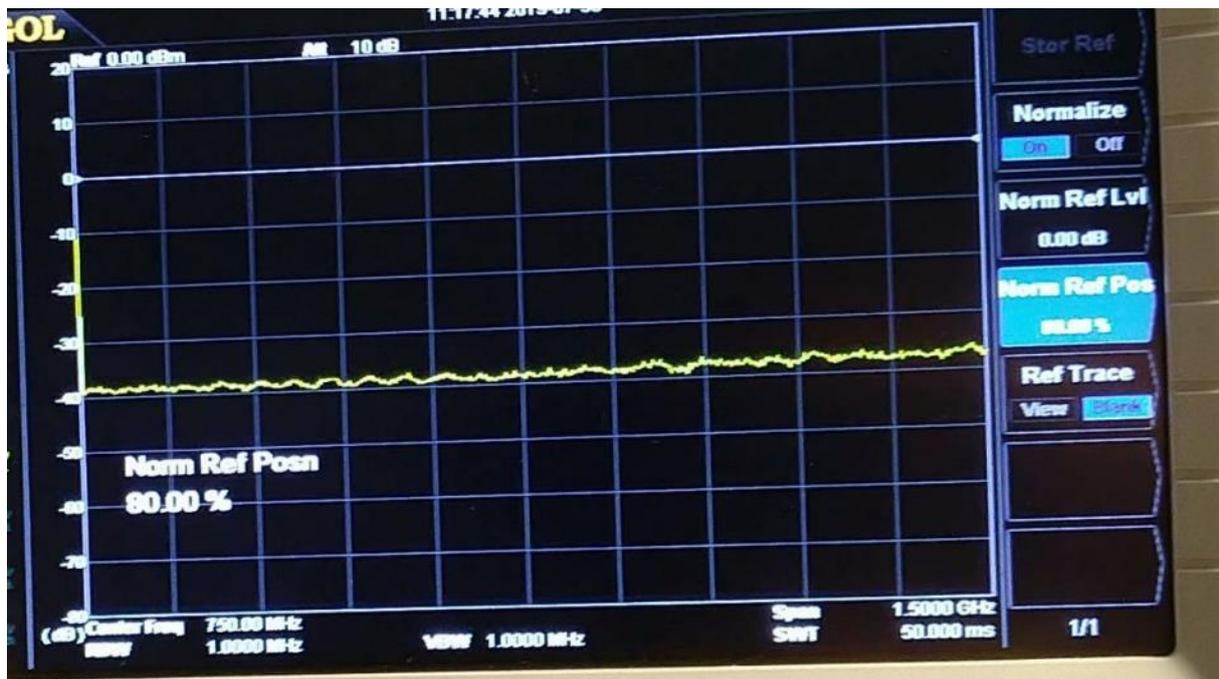
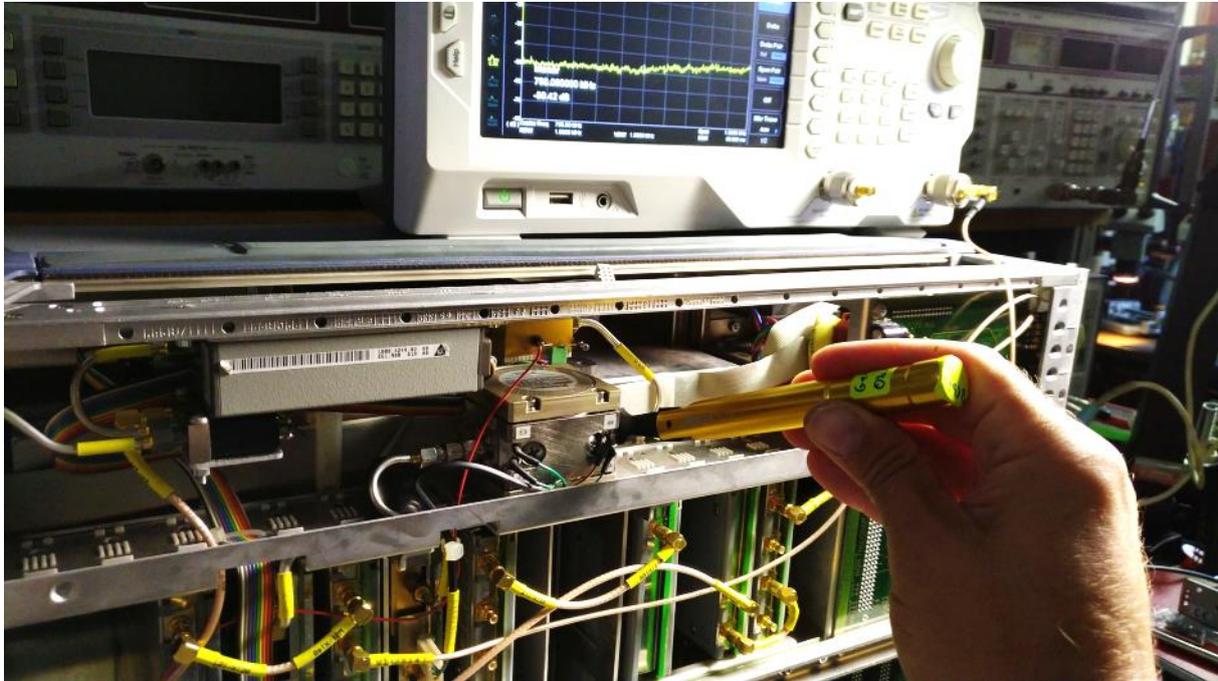


Abbildung 45: S21 bis 1,5GHz in Stellung "40dB"

## 9 Wiedereinbau

Auch wenn ich mit dem Rigol nur bis 1,5GHz gucken kann und nicht bis 40GHz, so juckt es mich doch in den Fingern, zu schauen, ob Liselotte noch weitere Fehler für mich bereits hält. Also baue ich den Abschwächer wieder ein.



**Abbildung 46: Anziehen der HF-Verbindungen mit Drehmomentschlüssel**

Bei den HF-Leitungen arbeite ich mit größter Sorgfalt, denn bei 40GHz ist der Gleichspannungs-Spaß spätestens vorbei. Das Anziehen der Verbindungen mit Drehmomentschlüssel ist dabei Pflicht. Für das Drehmoment schwanken die Angaben in der Literatur alle etwas zwischen 0,6 und 1,0Ncm. Das Anritsu-Datenblatt schreibt für eine 4612K Eichleitung beispielsweise „5 lbf-pounds“. Ich vermute, dass das bei uns knapp 0,6 Ncm entspricht. Mein auf 0,8Ncm eingestellter (und von Martin dankenswerterweise überprüfter!) China-Drehmomentschlüssel reicht dafür aber wohl dennoch aus, denn mit welchem Drehmoment R&S ihr Gerät zusammengeschaubt hat, weiß ich nämlich ebenfalls nicht.

Wichtig: im Manual der Wiltron Eichleitung findet man noch ein Kapitel über die korrekte Länge von Mittelpin zu Massefläche. Ich muss gestehen, dass ich dafür tatsächlich mal für viel Geld einen Satz Messuhren von Maury Microwave aus den USA gebraucht gekauft habe, um SMA/PC3,5/2,92mm Verbinder damit mechanisch messen zu können. Die im FSEK verbauten Steckverbinder stimmen natürlich alle bis auf wenige  $\mu\text{m}$  genau. Bei gekauften Adaptern sieht das teilweise anders aus. Daher ist das insbesondere beim Prüfen der Eichleitung (Wobbelmessung!) zu beachten!! Und das hier ist meiner Meinung nach fast noch wichtiger, als ob man hier 0,6Ncm oder 0,9Ncm trifft, denn ein zu langer Mittelpin kann hier auf der Gegenseite wirklich mechanischen Schaden anrichten!



Abbildung 47: Pin Depth Measurement Gauge Set

## 10 Probelauf

Nun wollen wir aber sehen, ob Liselotte den reparieren Attenuator auch mag. Ich schalte den FSEK ein und aktiviere den internen CAL-Generator.

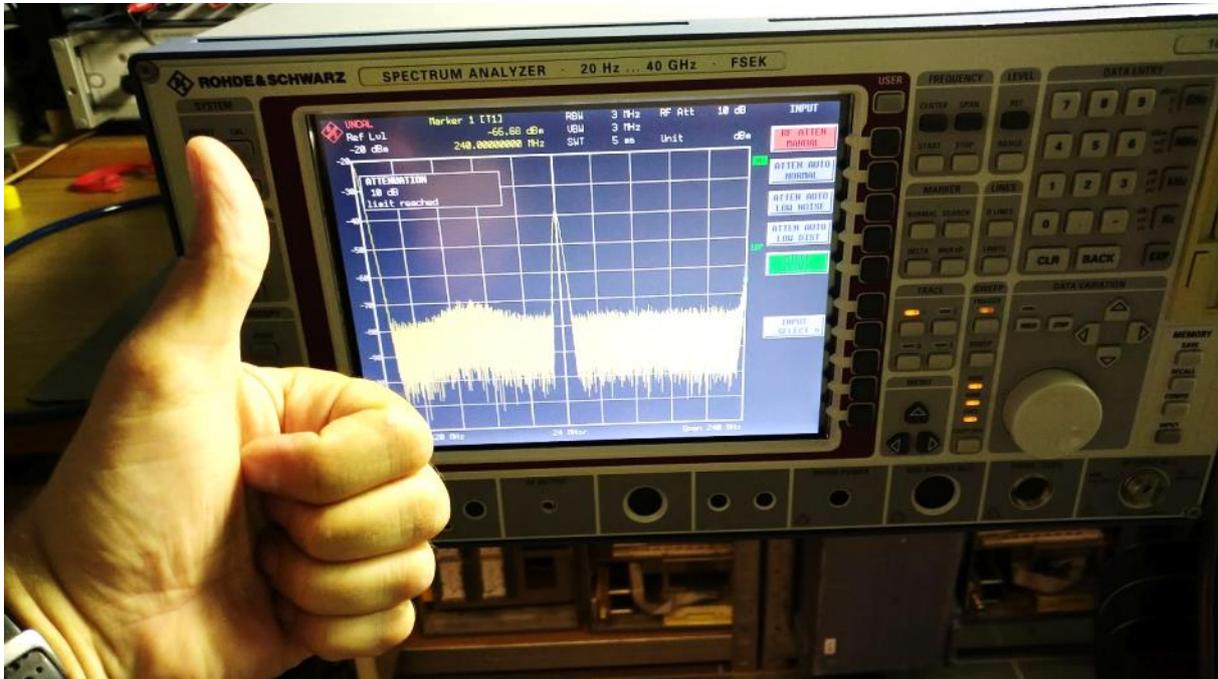


Abbildung 48: nicht schlecht- das geht schonmal!

Nun funktioniert alles wie geplant: der Peak wird nun in allen Stellungen der Eichleitung korrekt dargestellt. Keine Pegelbrüche mehr!

Prima!

Dann wollen wir doch mal sehen, ob Liselotte noch weitere Bauchschmerzen hat. Das kriegt man normalerweise recht schnell mit einem Druck auf den Knopf „CAL TOTAL“ heraus. Läuft der durch, ist die Chance groß, dass es das vielleicht schon war!



Abbildung 49: CAL TOTAL

Der CAL TOTAL dauert ziemlich lange. Aber das ist normal. Die FSE-Analyzer ziehen dabei alle ihre Filter auf Bandmitte, stellen die Steilheit korrekt ein, kalibrieren Pegel und Verstärkung der ZF usw..

Am Ende folgt....

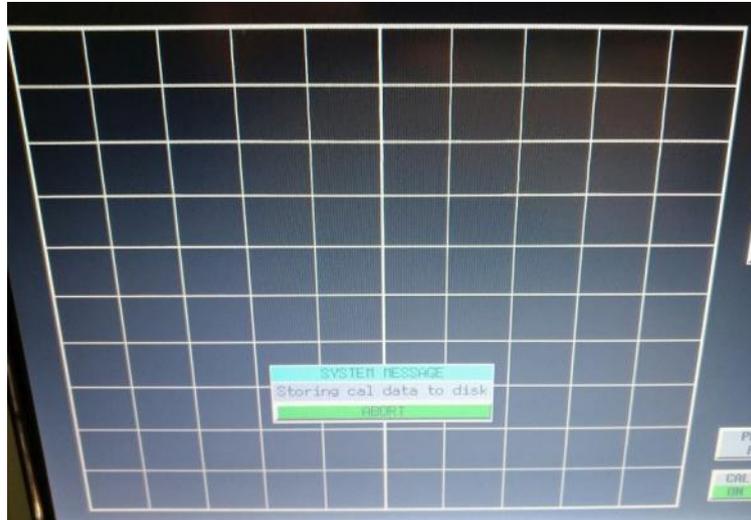


Abbildung 50: CAL TOTAL läuft erfolgreich durch!

...die Meldung, dass die Kalibrierwerte alle ermittelt und auf die interne Festplatte geschrieben wurden. Damit habe ich es Geschafft! Oder?

## 11 Geschafft! Oder?

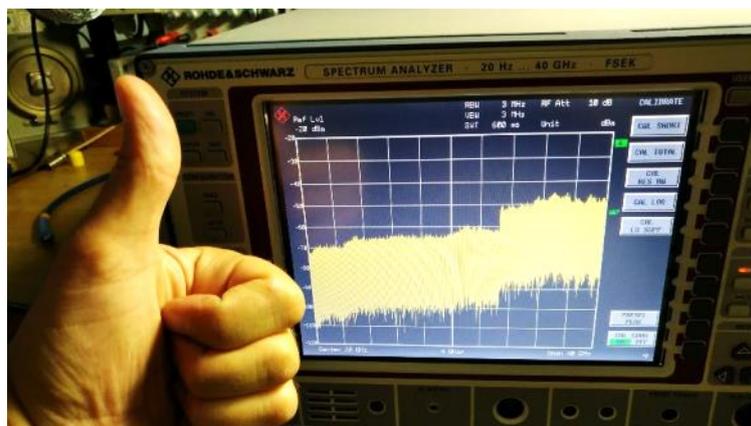


Abbildung 51: Siegerfoto! Siegerfoto?

Auch wenn das Siegerfoto es schon suggeriert, so bin ich mir nicht ganz sicher. Ich habe die CAL TOTAL nun dreimal hintereinander gemacht und nur in 2 von 3 Fällen ist sie ordnungsgemäß durchgelaufen. Einmal ist sie abgebrochen; leider war ich nicht dabei, als das passierte und kann somit nicht genau sagen, warum. Einen Eintrag im Fehlerlog gibt es leider nicht. Somit bleibt mir nichts anderes übrig, als das weiter zu beobachten, ob sich noch irgendwann Auffälligkeiten zeigen. Das Projekt ist also noch nicht ganz durchgestanden. **Aber erstmal geht es in den URLAUB!**

## 12 Urlaub

Ein Teil dieses Berichts entstand tatsächlich auf meinem alten IBM T60 Laptop in der transsibirischen Eisenbahn. Auf dem Weg von Omsk über Irkutsk in die Mongolei hat man viel Zeit zum Nachdenken und Schreiben. Sehr viel Zeit ☺.



Abbildung 52: so sieht eine Lok der transsibirischen Eisenbahn aus

Auf dem Gang mit dem Laptop auf den Kniend sitzend und die sibirische Abendsonne über der Taiga untergehen zu sehen, ist ein echtes Erlebnis. Klar, nicht jeder schreibt in so einer Situation Reparaturberichte. Aber irgendwann ist jedes Kartenspiel gespielt, jedes Rätselheft gelöst und jedes Gespräch über die Erlebnisse des letzten Tages geführt. Dann geht der gute alte T60 an und Marc tippt Reparaturberichte. Meine Familie knurrt leicht, aber akzeptiert das.

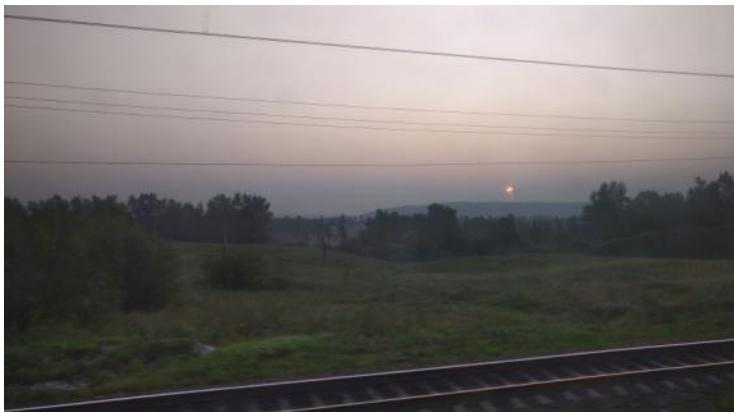


Abbildung 53: draußen geht die sibirische Sonne und er Taiga unter- drinnen tippe ich Reparaturberichte ;-)

Gerade ist es beispielsweise 22:10Uhr und unser Zug passiert im Schritt-Tempo die russisch-mongolische Grenze. Es ist schon dunkel, aber zwei mongolische Militärs stehen im Scheinwerferlicht einer vermutlich uralten Halogenlampe und salutieren unserem Zug während der Überfahrt. Ich kriege Gänsehaut! Wir haben gerade 2h Grenzkontrolle der russischen Grenzbeamten hinter uns und freuen uns gerade darüber, dass die Toilette nun wieder für 15Minuten geöffnet wird (in der Transsib fallen alle Toilettenabfälle noch immer auf die Gleise; das macht sich an einem Grenzübergang nicht gut). Dann wird sie wieder geschlossen, denn dann erwarten uns zwei weitere Stunden Grenzkontrolle. Diesmal durch die Mongolen. Also wieder genug Zeit zum Schreiben und Nachdenken.



**Abbildung 54: letztes Bild am russischen Grenzbahnhof. Danach mussten wir die Gardinen zuziehen und konnten nicht mehr fotografieren...**

Diese Mußestunden bewirkten, dass in mir langsam Zweifel gewachsen sind, dass ich die Eichleitung so eigentlich nicht lassen kann. Sie ist -außer dem Relais- das erste Bauteil im Signalpfad und somit sehr stark S11-bestimmend für den gesamten Analyzer. Sollte ich bei der Eichleitungs-Reparatur also Mist gebaut haben, wirkt sich das auf den kompletten Analyzer aus!

Die Lösung? Die Baugruppe an einem NWA prüfen! Oder eben prüfen lassen, denn ich selber bin hier bei 40GHz deutlich über meinen Limits. Nur noch sehr wenige Menschen im Hobbybereich können einem hier nun noch helfen.

Einer dieser ganz, ganz wenigen ist Martin. Martin verfügt tatsächlich privat über ein HP8510C Netzwerkanalyzer-System mit S-Parameter Testset bis 40GHz! Mein eigener R&S ZVC ist ja nun so schlecht auch nicht, endet aber bei 8GHz. Für den Hausgebrauch absolut ausreichend (für mich sowieso). Aber Liselotte ist nunmal eine ganz besondere Lady. Sie begnügt sich nicht mit dem Gewöhnlichen- sie will Martin!

Also werde ich die Eichleitung wieder ausbauen, sauber verpacken und an Martin zum Durchmessen schicken.

Was er messen soll, das bestimmt in erster Linie das Datenblatt zur 4612K. Wichtig sind für mich S21 und S11. Für beides gibt es Datenblattangaben, die wir prüfen sollten.



**Abbildung 55: Sibirien: Blick aus dem letzten Waggon auf die Gleise**

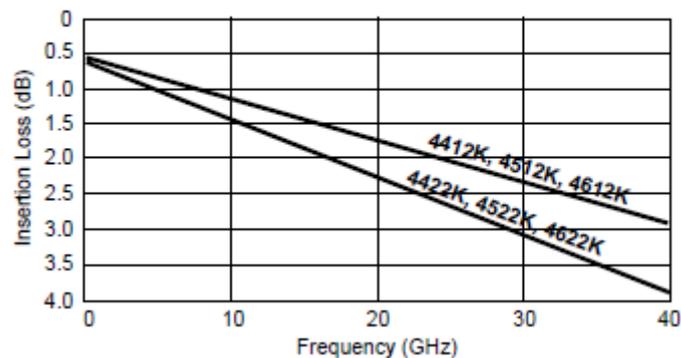
## 13 Messprogramm für Martin

### S21

Die erste Angabe bezieht sich auf die zulässige Abweichung von der Dämpfung. Je nachdem, was man eingestellt hat (0, 10, 20, 30,...70dB) sind verschieden große Frequenzgangsabweichungen zulässig. Je mehr Dämpfung, desto größere Abweichungen sind erlaubt. Das geht am Ende bei 40GHz und 70dB sogar schon bis zu fast +/-3dB Welligkeit.

Für den Sonderfall „0dB“ gibt es bereits eine Grafik in der Spezifikation. Sie sieht so aus:

**Insertion Loss (maximum):**

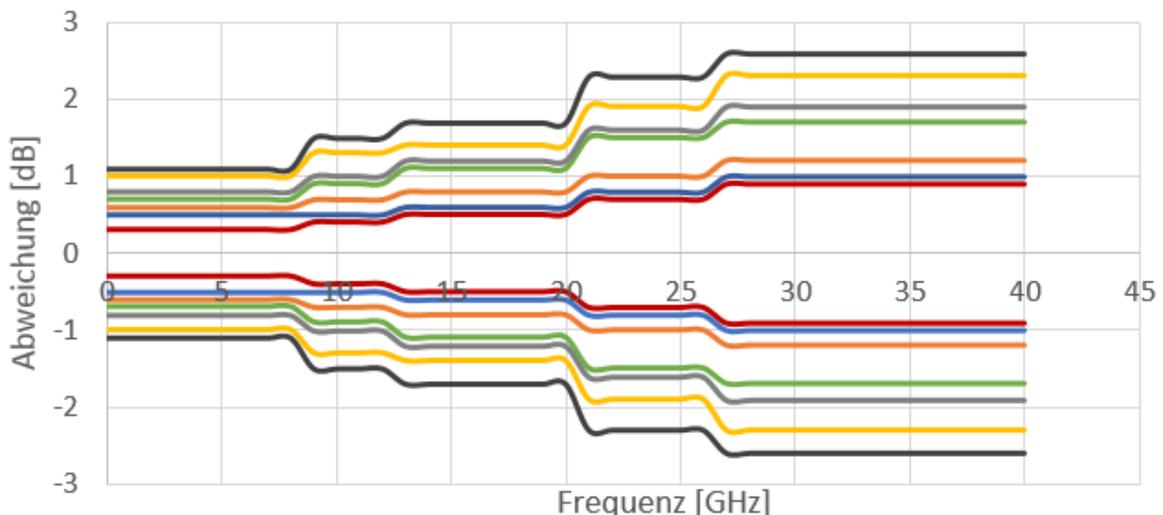


**Abbildung 56: S21 in der Stellung "0dB". Quelle: Datenblatt Anritsu 4612K, Seite 4**

Die Eichleitung darf bei 40GHz also durchaus schon fast 3dB Dämpfung erzeugen!

Für alle restlichen Dämpfungen musste ich mir aus den weiteren Datenblattsangaben selber ein Diagramm erstellen. Es zeigt die sich zunehmend auffächernden, erlaubten Limits.

**Erlaubte Abweichung S21 Wiltron 4612K  
10dB, 20dB, 30dB, 40dB, 50dB, 60dB, 70dB**



**Abbildung 57: Spezifikation für die Wiltron 4612K**

## S11

Nicht minder wichtig ist die von der Eichleitung beeinflusste Anpassung- auch S11 genannt. Und hier kommen wir sehr schnell in der Realität an. Bei 40GHz scheint ein S11 von nur 9dB (was einem SWR von etwa 2,1:1 entspricht!) tatsächlich noch so gut zu sein, dass es sogar für ein Messgerät ausreicht!

Hier lerne auch ich dazu. Bei meinen Abschlüssen für den NWA bis 8GHz bin ich von jedem Wert kleiner als 40dB höchst beleidigt und lege ihn angewidert weg. Hier, im 5fach höheren Frequenzbereich, scheinen also mager klingende 9dB sogar schon „richtig gut“ zu sein. Ich muss also umdenken! Wir kommen mit Liselotte frequenzmäßig also deutlich in Richtung des aktuell Machbaren bei der Messtechnik- ähnlich wie bei einem Phasenrauschmessplatz, der kurz vor -170dBm um die letzten Zehntel dB's kämpft.

Abbildung 58: Datenblattwerte für Anpassung (S11)

min. S11 Wiltron 4612K

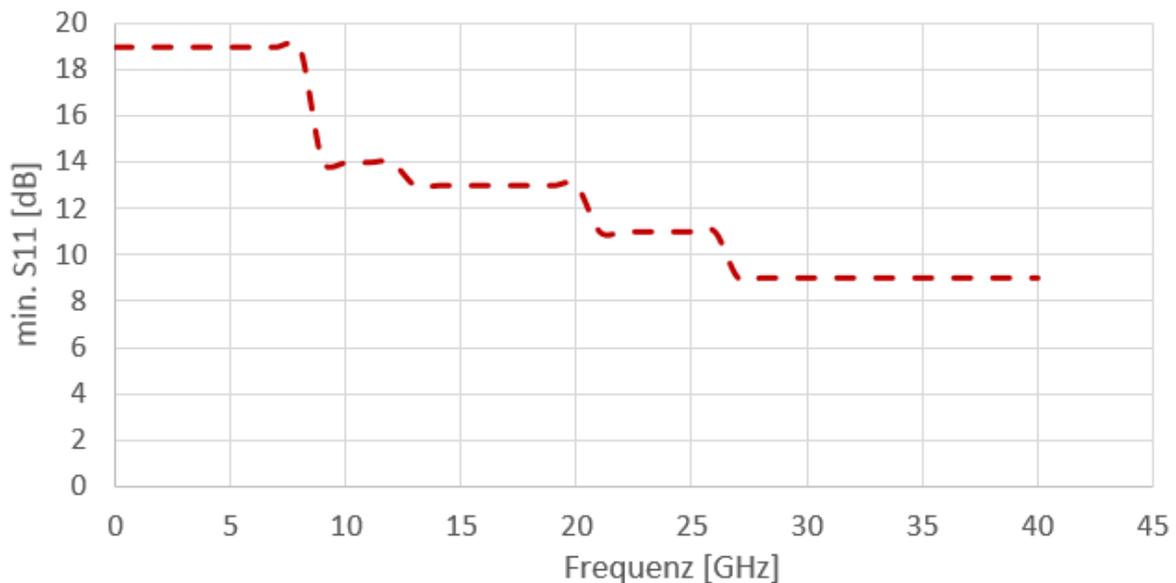


Abbildung 59: Datenblattwerte für S11

Martins Aufgabe wird also sein, Frequenzgang S21 und Anpassung S11 mit seinem NWA-System zu checken. Ich will mich hier wirklich nicht um ein oder zwei dB streiten, denn ich schieße mit Liselotte keine Satelliten ins All. Aber ich möchte dennoch sichergehen, dass meine Messtechnik -wenigstens größenordnungsmäßig- innerhalb (oder nahe bei) den Spezifikationsgrenzen arbeitet. Zeigen die von Martin ermittelten Kurven deutlich den Charakter der Spezifikation -selbst wenn sie nicht 100%ig treffen sollten- wäre ich schon zufrieden.

Also viel Glück, Martin!

## 14 Und wenn nicht?

23:09Uhr. Unser Zug steht nun an der mongolischen Grenze. Die Fenster sind auf Wunsch der Beamten zugezogen, die Reisekoffer liegen öfFnungsbereit auf den Klappbetten. Die Toilette bereits seit 30 Minuten schon wieder geschlossen. Wieder vermutlich etwa 2 Stunden Zeit, sich Gedanken über Dinge zu machen, die man eigentlich nicht braucht 😊

Kurz vor meiner Abfahrt habe ich noch gesehen, dass man im Internet gebrauchte Eichleitungen 4612K für etwa 200Eur bis 500USD bekommt. Das hört sich teuer an, ist aus meiner Sicht für eine geprüfte und wirklich gemäß Datenblatt sauber funktionierende 40GHz-Eichleitung durchaus angemessen. Und für Liselotte sowieso. Ich nehme an, dass wohl inzwischen fast jeder der Leser inzwischen gegoogelt hat, was ein FSEK auf dem Gebrauchtmarkt kostet, von daher spielen Ersatzteile von 500Euro hier keine große Rolle.

## 15 Ausgangstest bis 8GHz

Zwei Marathons und eine heftige mongolische Magen-Darm-Infektion später, sind wir schließlich wieder zurück im Messplatzzimmer. Der Karton zum Verschicken der Eichleitung liegt bereit und Martin hat sich schon darum gekümmert, wo er sich denn ein passendes CAL-Kit für einen 40GHz-NWA ausleihen kann.

Ich erkenne, dass die Prüfung für Martin doch einiges an Aufwand bedeutet, daher will ich auch sicher gehen, dass ich ihm die Eichleitung auch nur schicke, wenn ich selber alle meine eigenen Möglichkeiten ausgeschöpft habe. Und das habe ich bislang nicht, denn bis 8GHz kann ich mit meinem R&S ZVC selber ebenfalls ganz passabel messen. Also werde ich selbst erst einen Ausgangstest machen, bevor ich Martin um seine Unterstützung bitte.

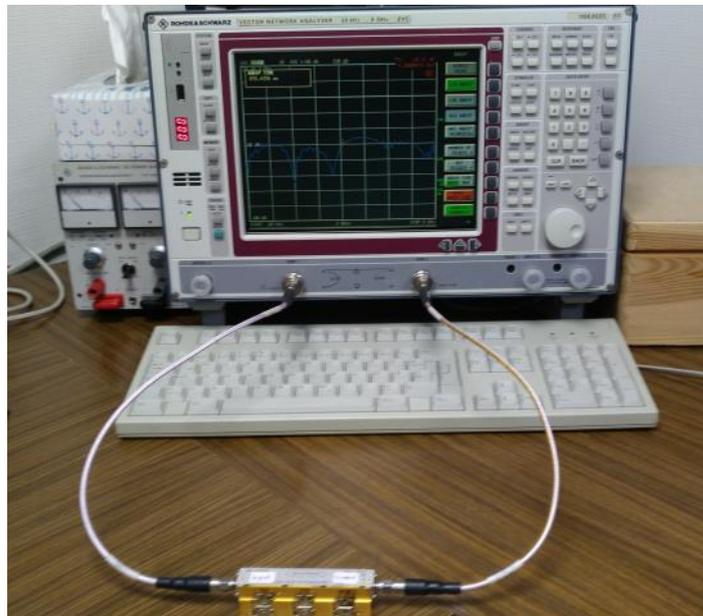


Abbildung 60: Messaufbau bis 8GHz

Gemessen wird Durchgang (also S21), Anpassung am Eingang (S11) sowie Ausgang (S22). Mit dem R&S Word-Makro mache ich von allen Messungen Screenshots. Ich gebe hier jetzt nicht alle Kurven wider, aber exemplarisch mal die kritische für die reparierte 10dB-Stufe:

### S21

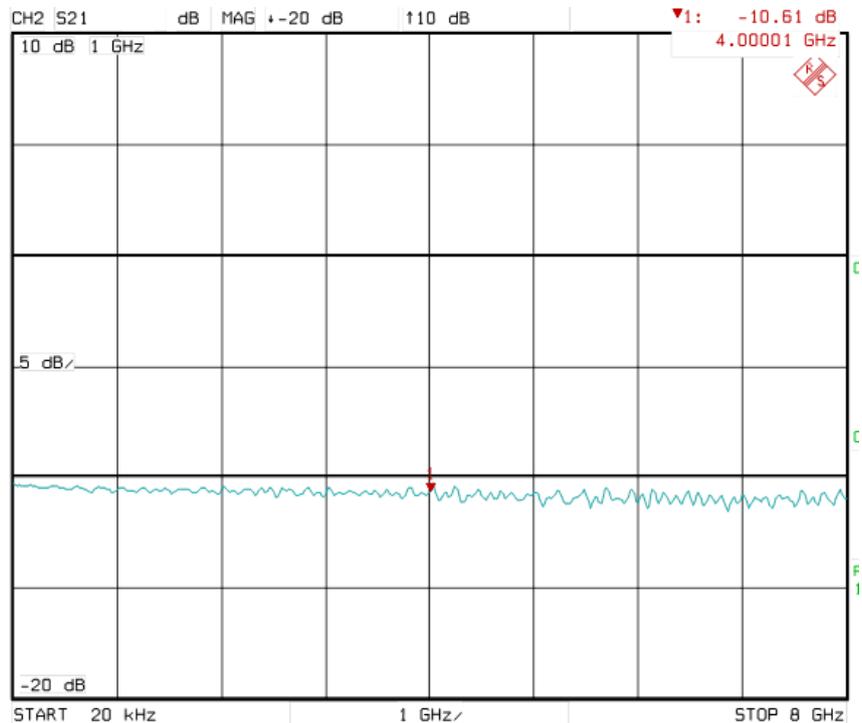


Abbildung 61: Durchgang (S21) der 10dB-Stufe

Sieht erstmal nicht schlecht aus, bei 4GHz gerade mal 0,6dB Dämpfung zu viel. Das ist nicht schlimm, zumal die Kurve ziemlich schnurgerade verläuft und keine Wellen oder so hat.

### S11

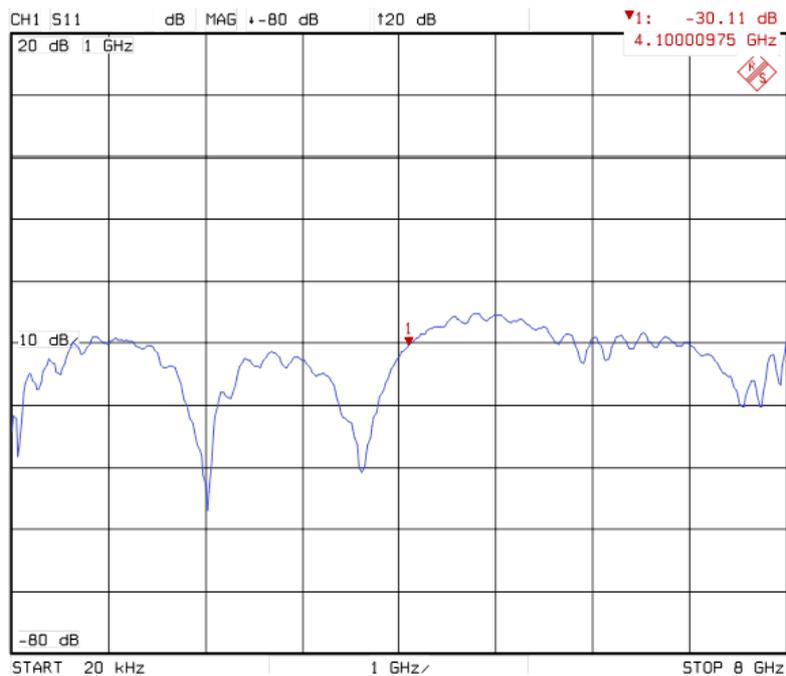


Abbildung 62: Anpassung (S11) der 10dB-Stufe

Die Anpassung schaut ebenfalls sehr gut aus. Das Datenblatt fordert hier mindestens 19dB Rückflussdämpfung. Ich lese hier bis 8GHz immer mindestens 25dB ab, das sind bereits sehr gute Nachrichten!

Aber schauen wir uns das doch alles mal zusammen mit den Datenblattwerten an. Ich schätze die Werte aus dem Diagramm und trage sie zusammen in mein Excel-Diagramm mit ein. Dann sehen wir:

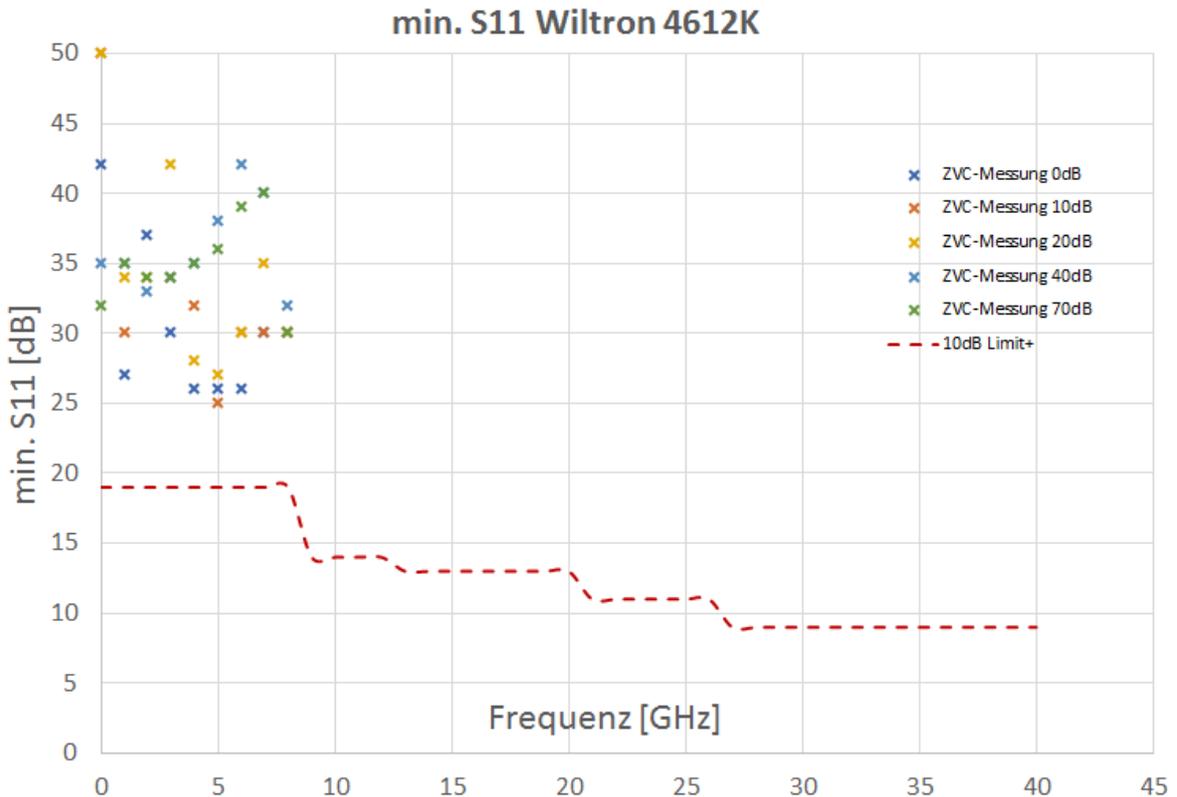


Abbildung 63: bis 8GHz gemessene S11-Werte

Obwohl man strenggenommen nur die orangefarbene Messreihe „ZVC-Messung 10dB“ zugrunde legen dürfte, halten alle geprüften Stellungen die Anforderungen an S11 für eine 10dB-Stufe ein! Und mehr noch: selbst im schlimmsten Fall habe ich noch immer mindestens 6dB Puffer zum Grenzwert. Leute, das sieht gut aus!

Zurück zur Durchgangsdämpfung S21.

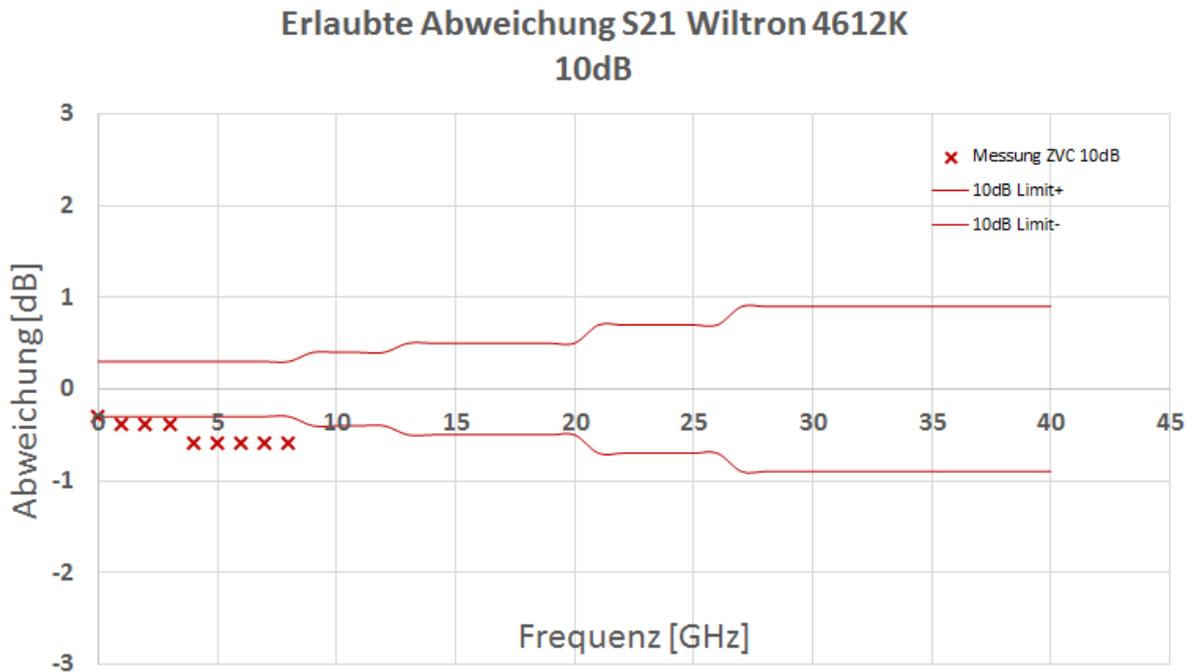


Abbildung 64: S21 für die 10dB-Stufe

Beim Betrachten von Abbildung 64 könnte man erst meinen, dass wir ein Problem hätten. Die (grafisch abgelesenen!) Werte der 10dB-Stufe scheinen ganz knapp aus den Limits herauszufallen. Zumindest sieht es erstmal so aus.

Gucken wir uns dazu mal an, wie die Dämpfung für 0dB aussieht (also „Bypass“):

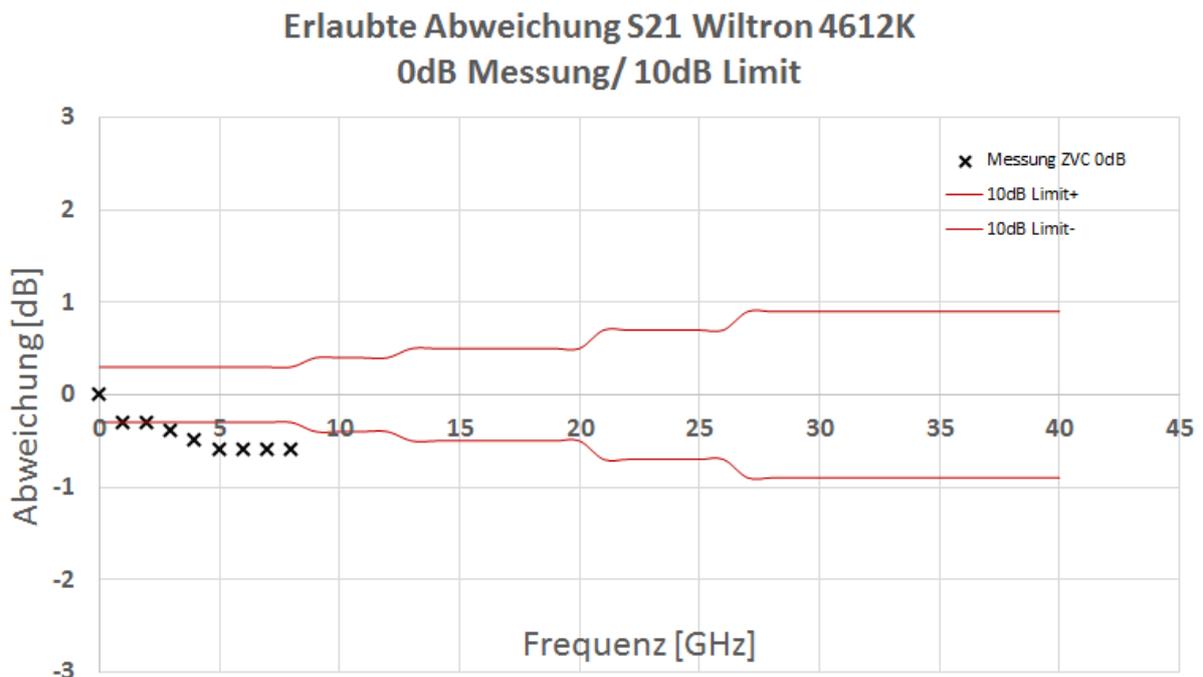


Abbildung 65: Vergleich für die "Bypass"-Stellung

Ach sieh an- nähmen wir auch hier einmal die 10dB-Datenblattkurve zugrunde, würde die Eichleitung auch in ihrer 0dB-Stellung schon rausfallen!

Tut sie aber nicht, denn wir haben was Wichtiges vergessen: allen diesen oben gezeigten Kurven liegt die Grunddämpfungs-Kurve aus Abbildung 56 zugrunde. Ich zeige nochmal:

### Insertion Loss (maximum):

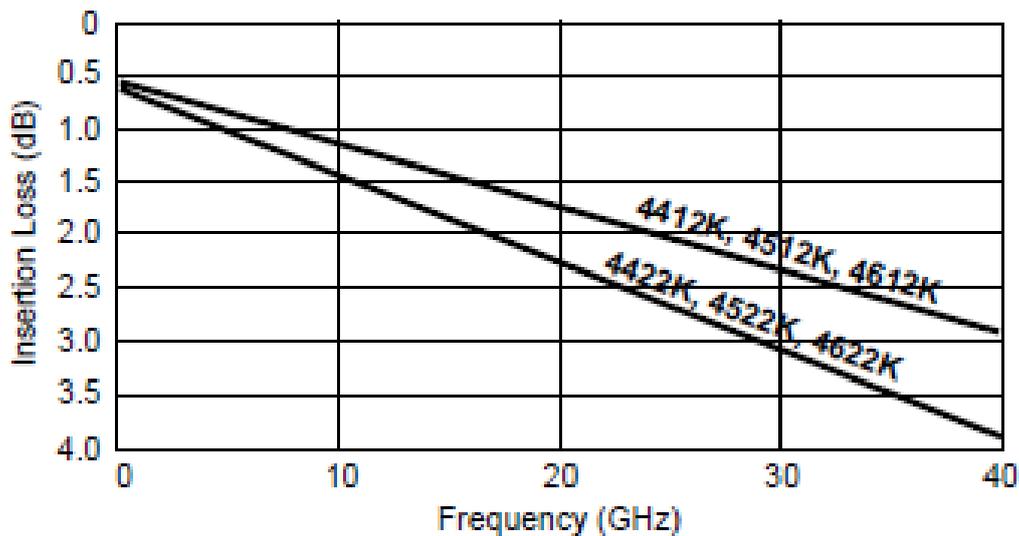


Abbildung 66: nochmal gezeigt: die Durchgangsdämpfung für 0dB

Und siehe da: für das Modell 4612K schätze ich aus dem Diagramm ab, dass wir bei 8GHz bereits etwa gut und gerne 1dB Grunddämpfung mitbringen dürfen, **die wir dann bei allen folgenden S21-Berechnungen wieder aus der Kurve abziehen müssten!**

Und genau hier liegt die Lösung: diese Grunddämpfung aus Abbildung 65 habe ich in allen meinen Diagrammen natürlich NICHT abgezogen. Daher erscheinen die ganzen Werte viel schlimmer, als sie sind. In Wirklichkeit scheint meine Eichleitung nach der Reparatur nämlich absolut super innerhalb der Limits zu liegen- jedenfalls bis 8GHz!

Der Vollständigkeit halber zeige ich Euch auch noch die Diagramme für die 20dB und 40dB-Stufen. Natürlich wird der Effekt der 0dB-Grunddämpfung bei immer höheren Abschwächungswerten immer geringer. Daher wundert es auch nicht, dass bereits bei 20dB die Eichleitung TROTZ des unterlassenen Herausrechnens der Grunddämpfung dennoch innerhalb der Spezifikationsgrenzen liegt.

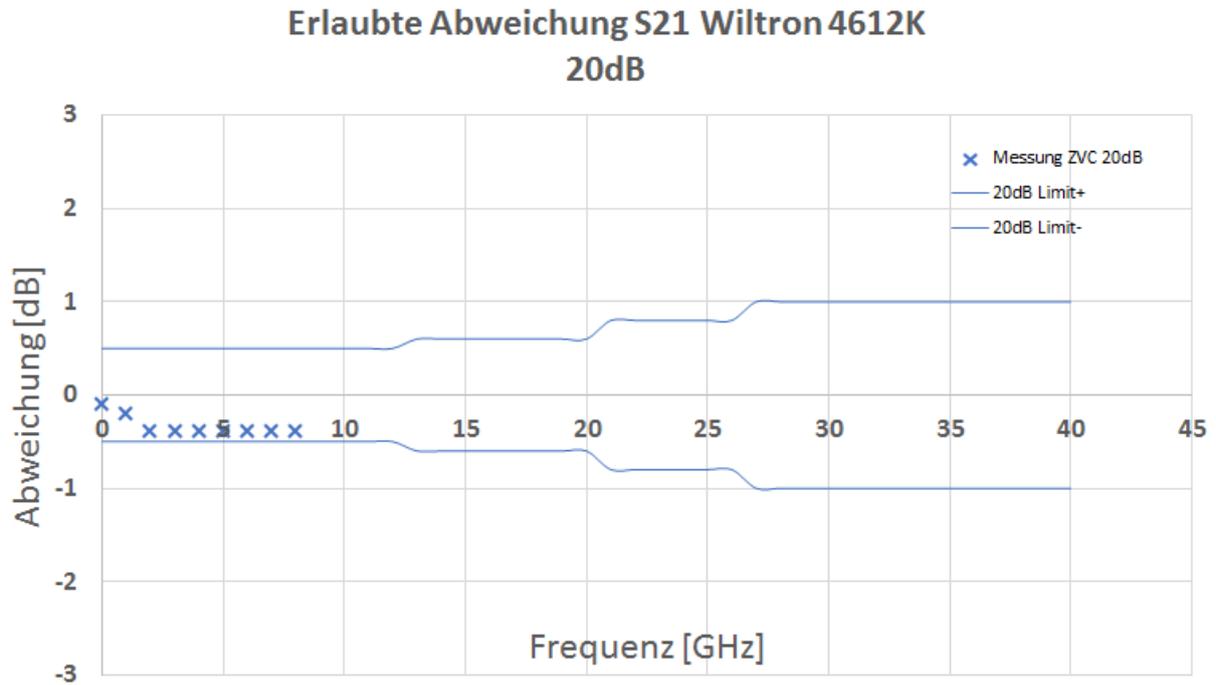


Abbildung 67: S21 bei 20dB

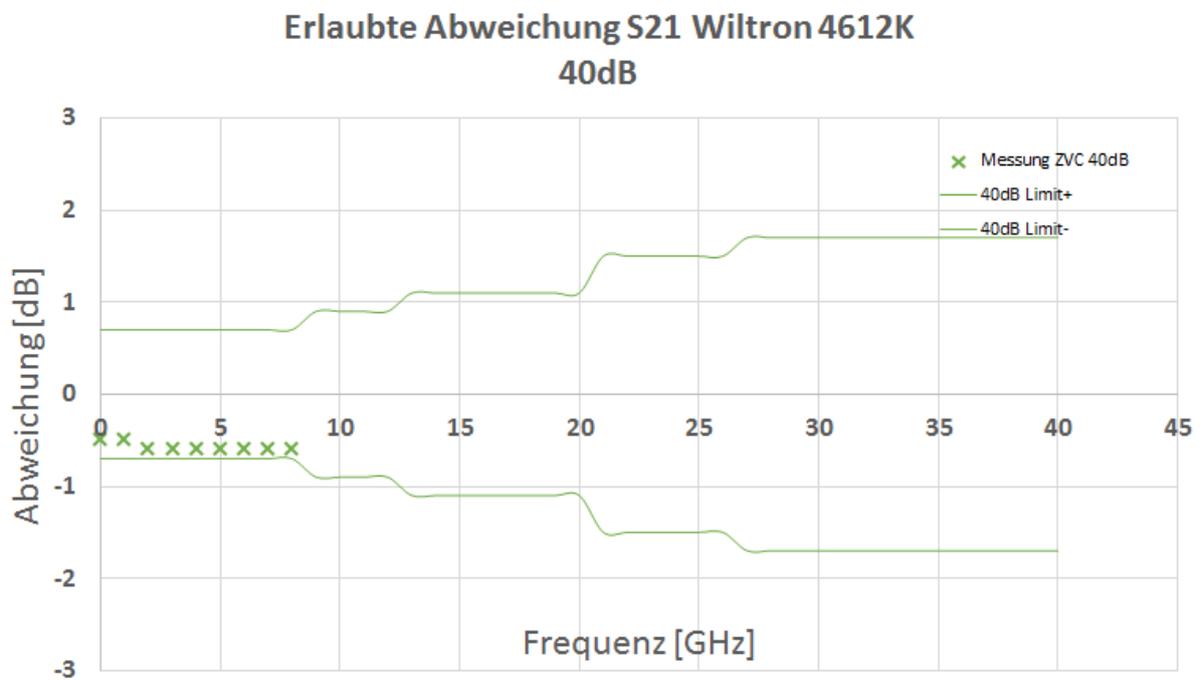


Abbildung 68: S21 bei 40dB

## 16 Zwischenfazit

Es sieht gut aus, das Paket an Martin kann gepackt werden. Ich habe eigentlich alles getan, um Martin nicht seine kostbare Zeit zu stehlen, indem ich mit unnützem „Schrott“ beschäftige. Es geht mir wirklich um die letzte Gewissheit, dass oberhalb 8GHz nichts Schlimmes mehr irgendwo passiert!

Zugegeben- erwarten tue ich es nicht und es wäre auch eine große Enttäuschung für mich. Aber trotzdem: Kontrolle ich besser als Vertrauen und daher checken wir das jetzt. ☺



Abbildung 69: Martin, die Eichleitung kommt!! ☺

Die folgenden Kapitel 17 bis einschl. 20 sind geschrieben von Martin Rickes!

## 17 Martin übernimmt...

Diese Worte sind leider sehr wahr. Die Kontrolle war wichtig und Enttäuschung zunächst leider auch reichlich vorhanden.

Ein paar Tage später purzelt mir ein Paket von Marc auf den Schreibtisch.

Mir, also Martin. Ich bin heute zu Gast in diesem Reparaturbericht. Marc und ich kennen uns über den Funkmessplatz am Funk.Tag in Kassel (siehe: [funkmessplatz.info](http://funkmessplatz.info)).

Mein Hauptbetätigungsfeld ist, neben dem Anhäufen von Messgeräten (wer kennt das nicht?), der Amateurfunk in den oberen GHz-Bändern. Dementsprechend habe ich Messtechnik für den doch etwas welligeren Gleichstrom.

Unter anderem ein HP 8510C VNA-System.

Der HP 8510C, wohl der Industriestandard in der Netzwerkanalyse der 80er (A/B) und 90er (C) Jahre. Die letzte Software-Revision für das Gerät in der C-Version und den antiken, internen Rechner ist von 2001 (in dem Jahr kam Windows XP auf den Markt!), was alles über den Produktzyklus der Geräte sagt. Das würde man sich von einem Smartphone wünschen.

Speziell die letzte Generation „C“ ist heute noch überall im Einsatz. Das ist bei dem damals aufgerufenen Preis auch kein Wunder: Das komplette System in „meiner“ Konfiguration hat damals neu deutlich über eine halbe Millionen Euro gekostet (auf 2019 hochgerechnet)! Das erklärt auch, warum die Geräte meist aussehen wie neu: Da durften nur handverlesene Personen dran arbeiten.

Der abgebildete VNA hatte nur einen Vorbesitzer, wenn man davon absieht, dass er bei einem wohlbekannten Aachener Händler einige Zeit im Lager herumstand (unvollständig, defekt aber optisch neuwertig). Als besagter Händler beschlossen hat, es reicht so langsam mit der Arbeit, fand der VNA seinen zum Weg zu mir.

Der VNA besteht aus mehreren Einzelgeräten, die mit einer Vielzahl von Kabeln untereinander verbunden werden müssen:

- Display und Computer-Einheit: Das Hirn der ganzen Geschichte
- IF-Unit: Das ist der eigentliche VNA, kann aber nur 20 MHz
- S-Parameter Test-Set: Hier drin werden die HF-Signale auf die IF-Ebene umgesetzt
- Sweep-Quelle: Hier gibt es mehrere Möglichkeiten (HP 8350, 8340 oder die 836XX-Serie)

Mein System besteht, neben dem Display und IF-Teil, aus einem 8516A Test-Set bis 40 GHz und einem 83621A. Dem aufmerksamen Leser ist jetzt sicher aufgefallen, dass das nur ein 20 GHz-Sweeper ist. Der Clou am 8516A Test-Set ist, dass es einen internen Frequenzverdoppler hat und man so um den 40 GHz Signalgenerator drumherum kommt.

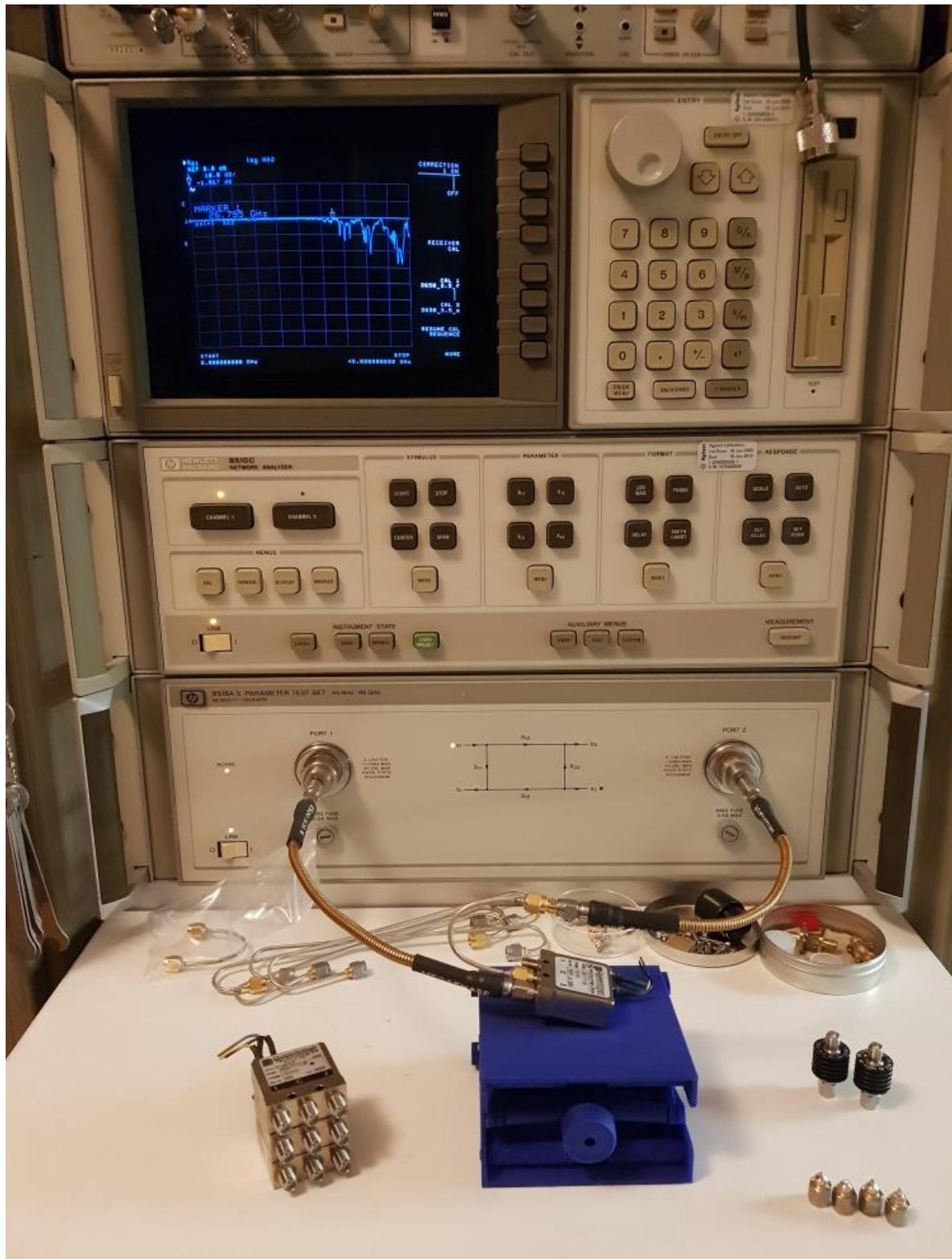


Abbildung 70: Der VNA im Betrieb - Messen von geschrotteten Koax-Relais bis 40 GHz

Der Generator ist im Rack unter dem Tisch montiert (die langweilige, graue Kiste):



**Abbildung 71: Generatorbank**

Der zweite (83620A, mit Bedienteil) ist da schon auf Vorrat untergebracht, um den VNA zukünftig mit externen Mischern zu betreiben. Dann geht der bis zu 110 GHz!

Nun aber zum Eingemachten:

Messungen bis 40 GHz hoch sind für mich auch eher selten. Meist messe ich nur bis 24 GHz. Das nächste Amateur-Band ist 47 GHz und das liegt (noch) außerhalb des Bereichs meines VNA. Aus diesem Grund besitze ich auch nur ein Cal-Kit bis 26,5 GHz mit 3,5 mm Steckverbindern. 40 GHz Cal-Kits sind erheblich seltener zu hobbykompatiblen Konditionen zu bekommen und da muss man dann auch privat mal wirtschaftlich denken.

Es gibt aber Methoden, wie man auch ohne geeignetes Cal-Kit messen kann: Response-Kalibrierung. Thru-Response ist im Grunde das Gleiche, wie eine Normalisierung beim Spekki mit Tracking-Generator. Nur wird auch die Phase gemessen (die aber in diesem Fall egal ist). Ist bei S21/S12 der SOLT-Cal nicht ganz unähnlich.

So etwas gibt es im 8510 auch für die Reflektion, ist dort aber mit größeren Kompromissen verbunden.

Fangen wir also mal mit einer Messung mit Thru-Response Cal bis 40 GHz an. Zur Verifikation zuerst ein Inmet 6dB 2,92 mm Alternator:

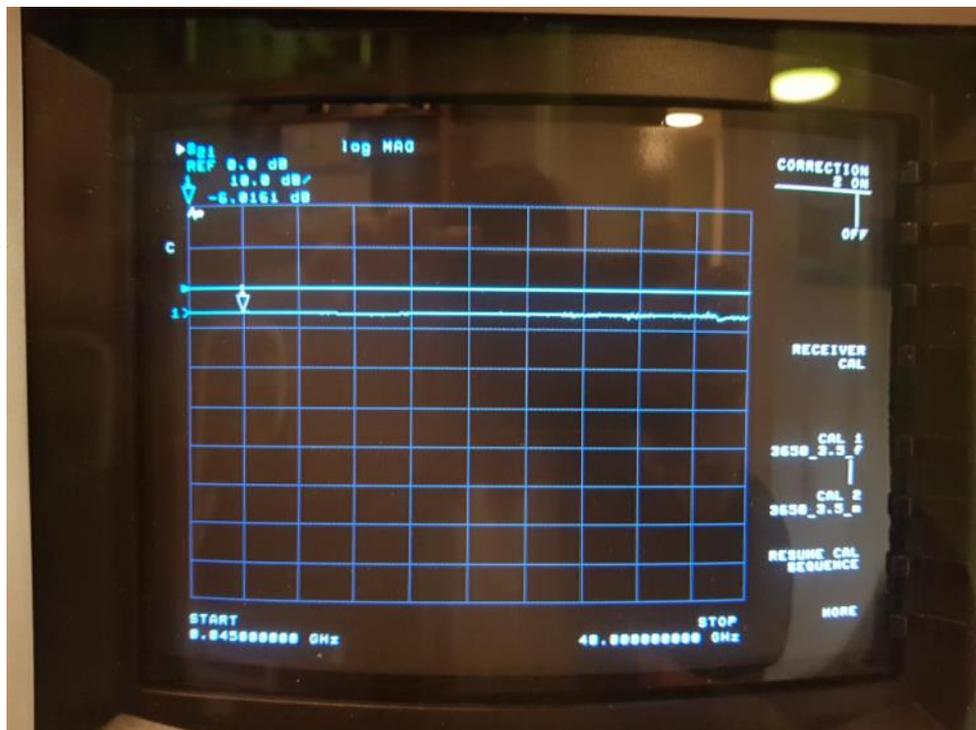


Abbildung 72: Passt!

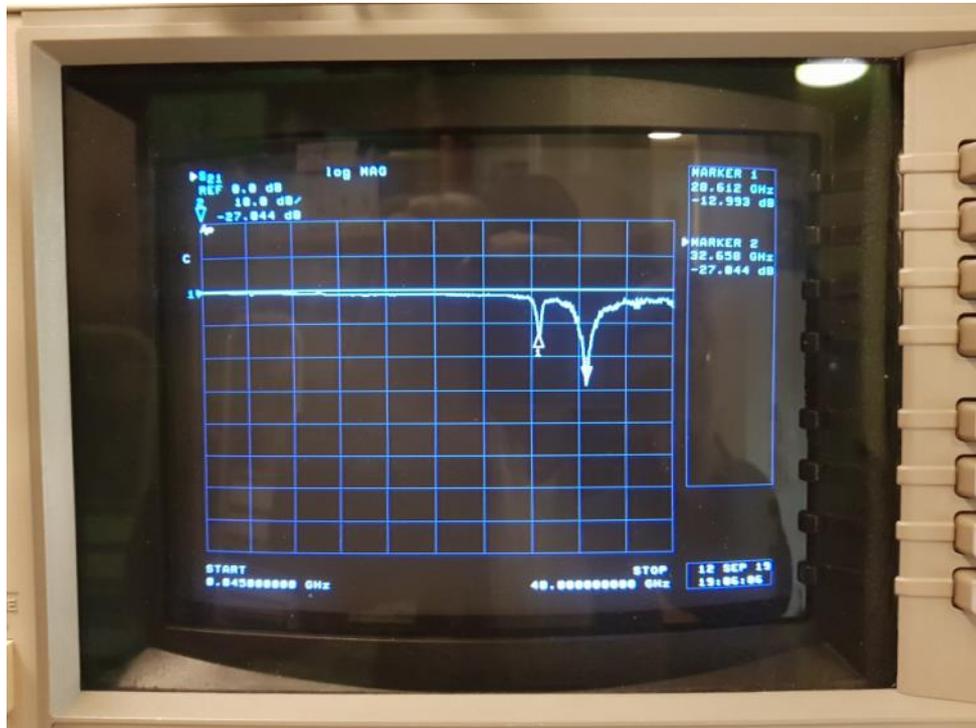
Die Kalibrierung kann als ausreichend angesehen werden, obwohl keine vollständige SOLT-Cal durchgeführt wurde.

Es ist übrigens gerade im Mikrowellen- oder mm-Wellen-Bereich sehr empfehlenswert, die Kalibrierung immer nochmal kritisch zu überprüfen. Hierfür gibt es extra Verification-Kits (zu einem ähnlichen Preis wie ein Cal-Kit).

## 18 Bestandsaufnahme

Netterweise hat Marc mir die Eichleitung bereits halbzerlegt geschickt, ich muss nur die Blechverkleidung abnehmen und schon kann es los gehen.

Die Eichleitung, so wie sie von Marc kam:



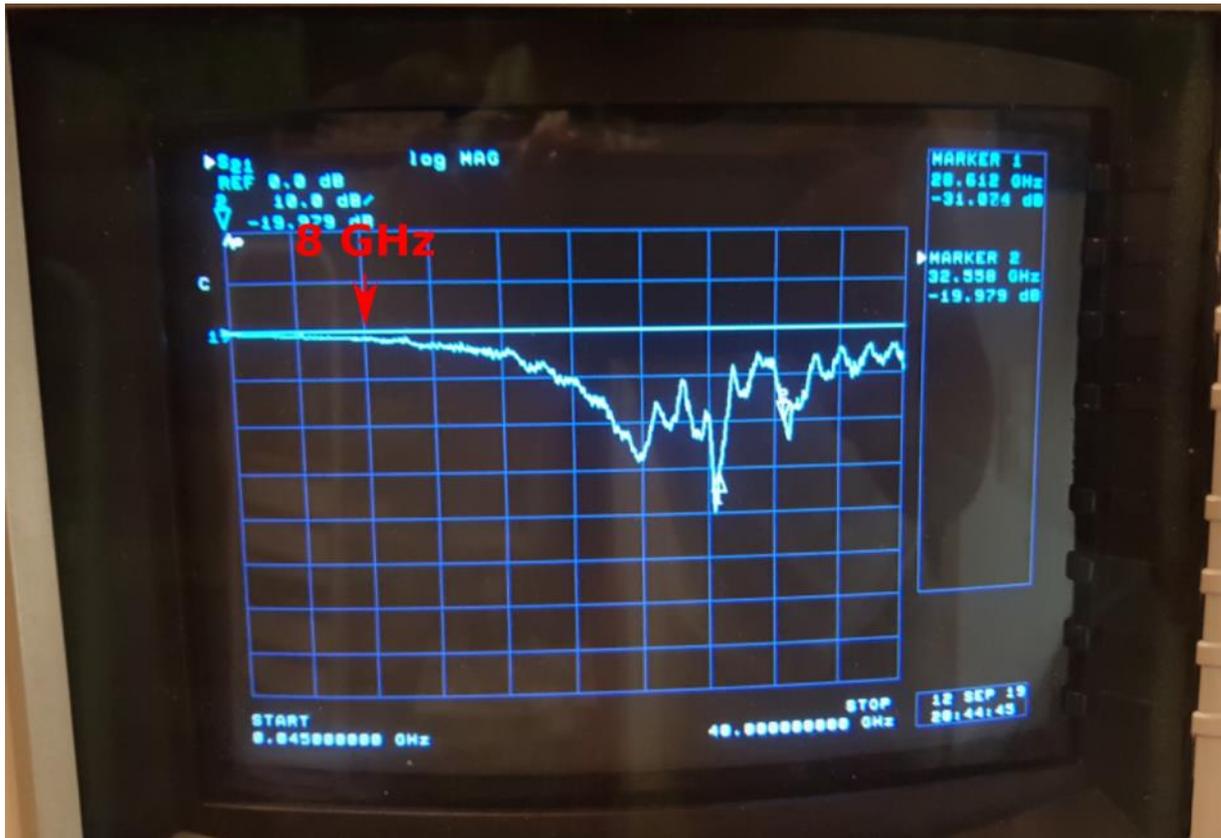
**Abbildung 73: Passt nicht!**

Bei 28,6 GHz und 33,6 GHz ist eine deutliche Resonanz und damit ein massiver Einbruch in der Durchlasskurve. Das ist eine Fehlanpassung irgendwo im Inneren der Eichleitung. So kann man die über 20 GHz nicht nutzen. Da die Resonanzen auch wandern können (und werden!), kann man sich auch nicht die zwei „blinden Flecke“ merken.

Insbesondere dürfen diese von der Ein- und Ausgangsimpedanz abhängig sein, das ist für die Eingangssektion eines Spekkis ja nun garnichts, denn es kann ja bedeuten, dass das Gerät anders misst, je nachdem was man anschließt.

Durch wackeln oder klopfen lassen sich unterschiedliche Resonanzmuster „einstellen“.

Ein ganz extremes Beispiel:



**Abbildung 74: Sieht böse aus, nicht?**

Und was noch böser ist: Marcs obere Messgrenze bei 8 GHz liegt beim zweiten Skalenteiler von vorn. Und da schaut immer noch alles gut aus, er hat also vollkommen richtig gemessen. Marcs Bauchweh war also nicht nur berechtigt, sondern hat ihm unter Umständen auch viel Ärger erspart.

Das ist nun eine große Ernüchterung. Ein kleiner Hoffnungsschimmer ist aber da: Schaltet man die Eichleitung durch, folgt der völlig vergrätzte Frequenzgang brav der Dämpfung. Auch bei 10 dB. Das stimmt zumindest hoffnungsvoll, dass die eigentliche Reparatur geklappt hat.



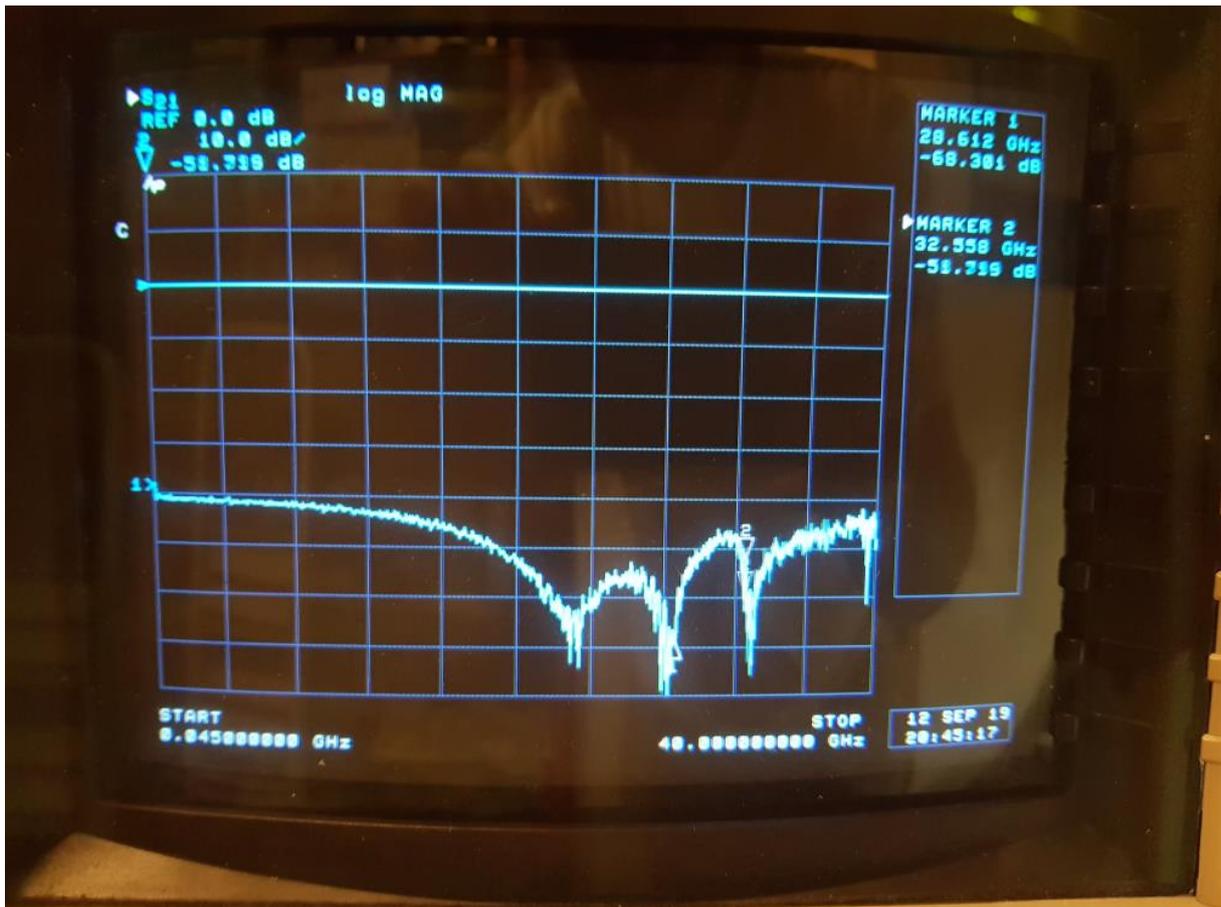


Abbildung 77: 40 dB

## 19 Nix mit Messen, erst reparieren!

Nach einer kurzen Telefonkonferenz mit Marc einigen wir uns darauf, dass ich versuche, die Quelle für die Resonanzen zu finden. Das ist eine Reparatur, die nur mit vorhandenem Messgerät durchgeführt werden kann. Wir kommen schnell überein, dass es keinen Sinn hat, das Teil ewig hin und her zu senden.

Das heißt auch, ich kann das Ding nicht einfach mit einem Zettel „Sorry, aber dein Problem“ wieder zur Post bringen. Schade...

Aber gut, was wissen wir?

Wir haben schmalbandige Resonanzen, das spricht für ein Problem in der Mechanik. Also aufmachen! Am besten erst mal alles angucken, ob irgendetwas lose, verbogen oder sonst komisch ist. Ich entferne die K-Stecker, rupfe den Wiltron-Aufkleber wieder herunter und beginne die Schrauben aus dem Gehäuse zu drehen. Anschließend lässt sich die Eichleitung mit etwas Kraft auseinanderziehen. Das ist wirklich nur was für ruhige Hände und Nerven aus Drahtseilen.

Für die Sichtkontrolle verwende ich ein Bausch & Lomb Stereozoom, damit habe ich eine maximale Vergrößerung von 100. Dazu ist eine gescheite Kaltlichtquelle Pflicht.



**Abbildung 78: Operation am offenen Herzen. Schwester: Pinzette!**

Nach dem Zerlegen und der ersten Sichtkontrolle fällt nichts auf.

Nächster Schritt: Nach dem Prinzip „Did you turn it off and on again?“ wieder zusammenbauen<sup>1</sup>. Dabei stoße ich auf ein Problem. Ich bekomme die K-Stecker nicht mehr drauf. Ohje. Ein Telefonat

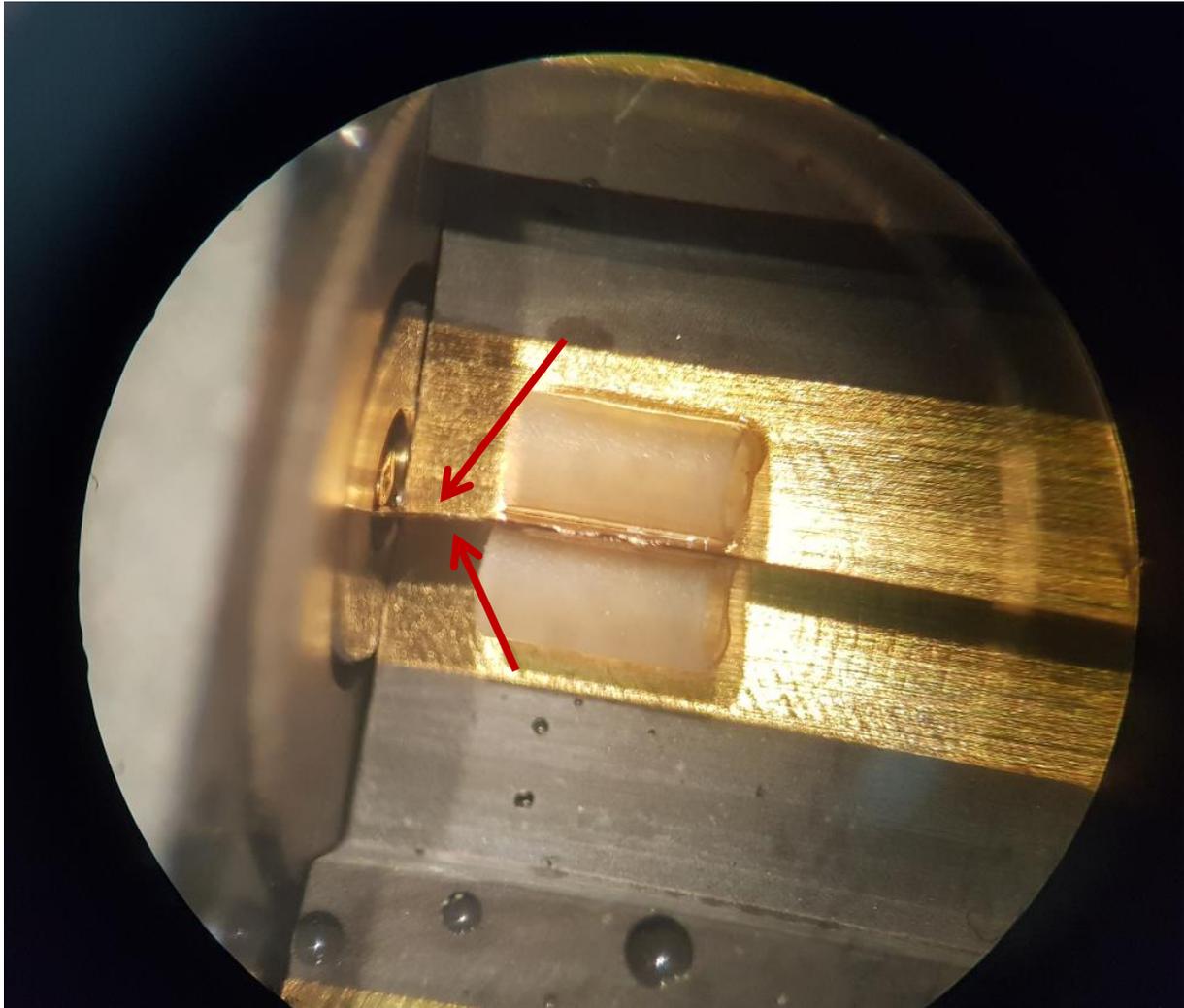
<sup>1</sup> Das ist weit weniger blöde, als es zunächst den Eindruck macht: Solche Fehlanpassungen können durch irgendeinen Fehler beim Zusammenbau leicht verursacht werden. Zum Beispiel, wenn die Blockhälften verkantet wurden und deshalb nicht richtig verbunden sind. Einen HF-Block nochmal zu zerlegen und sauber zusammensetzen, kann durchaus ein Problem lösen.

mit Marc später bin ich schlauer (glaube ich) und montiere die Stecker. Das Ergebnis ist leider immer noch das gleiche, zwei scharfe Resonanzen. Mist, das war wohl nix!

Was mich an der ganzen Sache stört, ist die Art, wie die Stecker kontaktiert sind:

Marc hatte mir gesagt: „Stecker senkrecht drauflegen und festschrauben“. Daran habe ich mich auch gehalten, da ich ihn aber nicht draufbekam, habe ich daraus geschlossen, dass die Kontaktfahne seitlich gegen den Pin drücken muss. Das ist eigentümlich, denn der Mittenkontakt des Steckers soll eigentlich hinten selbst wiederum einen Pin einer Durchführung aufnehmen (googelt mal „Glass Bead RF“). Das ergibt eine sehr gute, koaxiale HF-Verbindung und der Steckerflansch lässt sich einfach wieder abnehmen.

So etwas habe ich noch nie gesehen und ich finde es auch etwas ungünstig, sowas gibt ja a) eine wunderbare Stoßstelle und ist b) auch kein besonders zuverlässiger Kontakt.



**Abbildung 79: Echt jetzt?**

Ein weiteres Telefonat mit Marc bringt die Lösung: Der Pin soll sehr wohl da in die Mitte! Nach einigem Probieren komme ich langsam hinter die Geheimnisse des richtigen Zusammenbaus der Eichleitung. Ich habe alles in einer Anleitung zusammengefasst, die meinem Bericht angehängt ist.

Beachtet man die Anleitung, geht der Stecker auch drauf. Für die folgenden Zeilen sollte man diese gelesen haben, sonst versteht man nichts.

Meine Erklärung für das Ganze ist: Als Marc die Eichleitung zusammengebaut hat, hat er den Stecker ja auf die senkrecht stehende Eichleitung gelegt. Beim Drauflegen ist der Mittelteil des Steckers rausgeplumpst (er ist nur lose eingeschoben) und neben den Pin gefallen, was diese seitliche Kontaktie-

rung verursacht hat. Man könnte sagen zum Glück, sonst wäre die Eichleitung möglicherweise jetzt kaputt, da man ja penibelst auf die zwei Ebenen achten muss.

Vor der finalen Montage reinige ich alle Kontaktflächen vorsichtig mit 99,9%igem Isopropanol. Auch die filigranen Kontaktpins bekommen eine kleine Wäsche. Alle Arbeiten müssen unter einem guten Mikroskop stattfinden: Die Breite dieser Kontaktfahne ist vielleicht 0,3 mm und die Materialstärke irgendwas um 50  $\mu\text{m}$  (Schätzwerte, ich hab's nicht gemessen ☺).

Nachdem die Eichleitung nach den neuen Hinweisen richtig (so hoffen wir mal...) zusammengebaut ist, schaut das Ergebnis so aus:

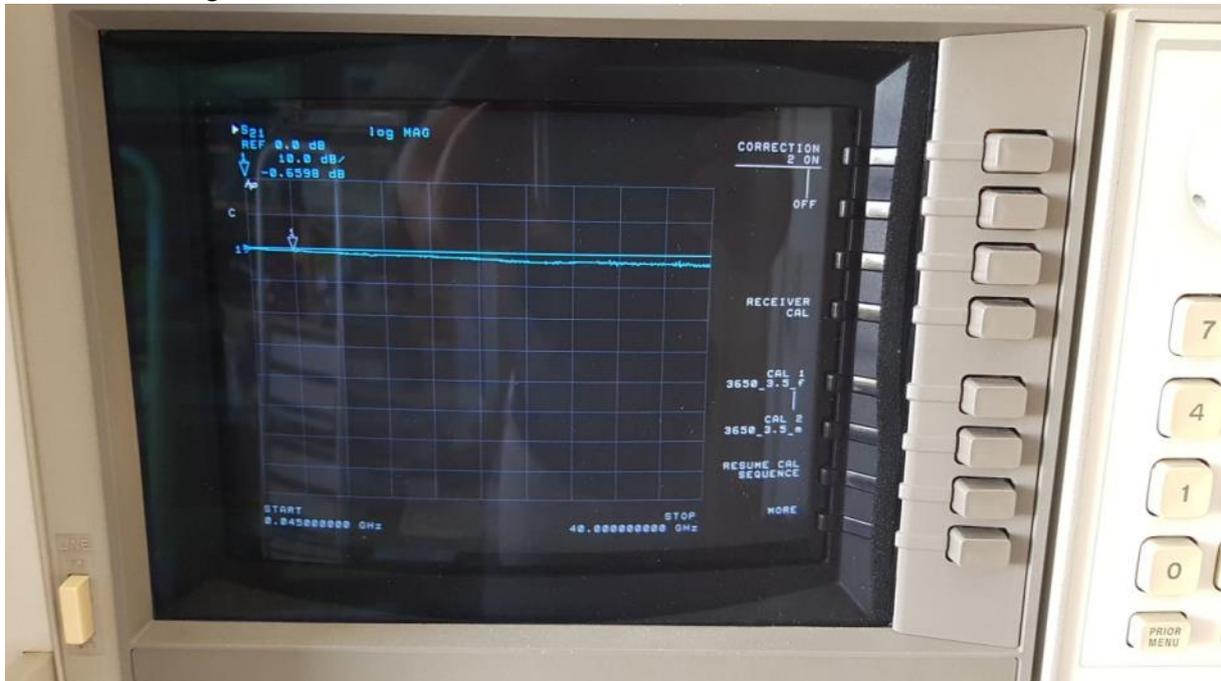


Abbildung 80: 0dB-Stellung

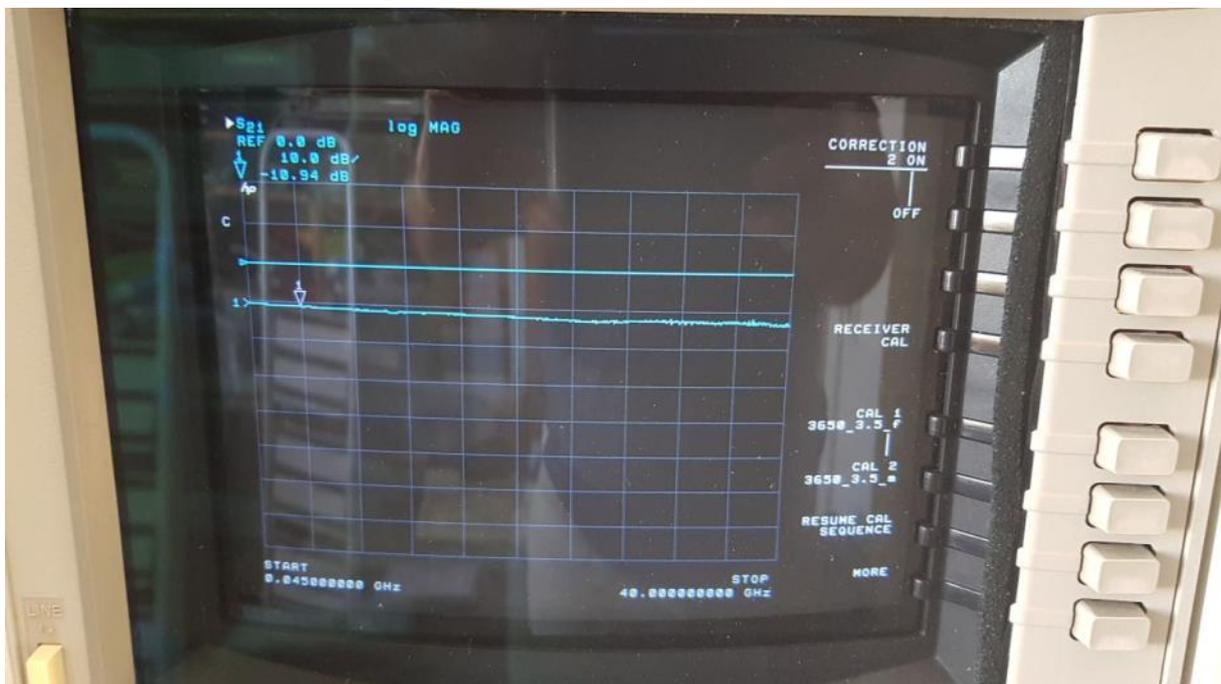


Abbildung 81: 10 dB-Stellung

Was jetzt noch aussteht: Amtlich kalibrierte Messungen. Reflection Cal in Response sieht gut aus! Aber die Messdynamik ist miserabel (10 dB, manchmal weniger), da lässt sich noch keine sichere Aussage treffen. Aber in erster Näherung ist die Eichleitung wieder gut.

## 20 Messung

Einige Zeit später bekomme ich ein 2,4 mm (bis 50 Ghz) CalKit ausgeliehen. Der Leihgeber zieht es vor seinen Namen nicht in einem Bastelbericht im Netz stehen zu haben, daher geht der Dank an dieser Stelle an Anonym. Du weißt ja, dass du gemeint bist! 😊

Solche CalKits sind eine hohe Schule der Präzisionsmechanik. Es ist nicht schwer genauso viel für ein gebrauchtes CalKit auszugeben, wie für den dazugehörigen VNA. Belohnt wird das Ganze durch eine sehr schöne Verpackung in einem tollen Holzkästchen:



Abbildung 82: Mein Anritsu 26,5 GHz CalKit – Reicht hier leider nicht aus

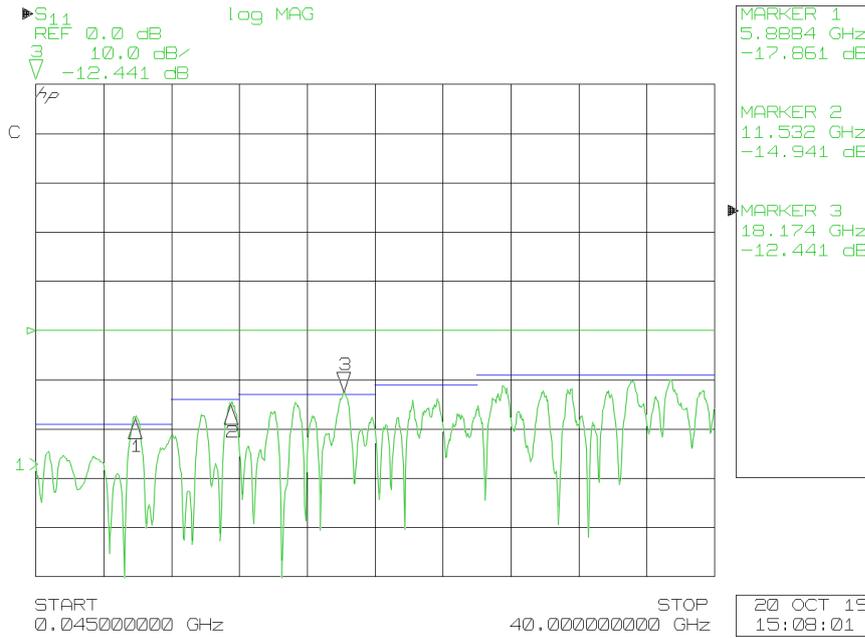
Leider stellt sich schnell heraus, dass das CalKit einen Defekt hat. Ich kann also trotzdem keine voll kalibrierte Messung durchführen, so ein Ärger (für den armen Besitzer natürlich ungleich mehr). Mit ein paar Winkelzügen lassen sich dem VNA dennoch die gewünschten Ergebnisse entlocken. Das war reichlich Bastelei und erfordert mehrere Messungen, um die Ergebnisse zu verifizieren.



**Abbildung 83: Messung der Anpassung.**

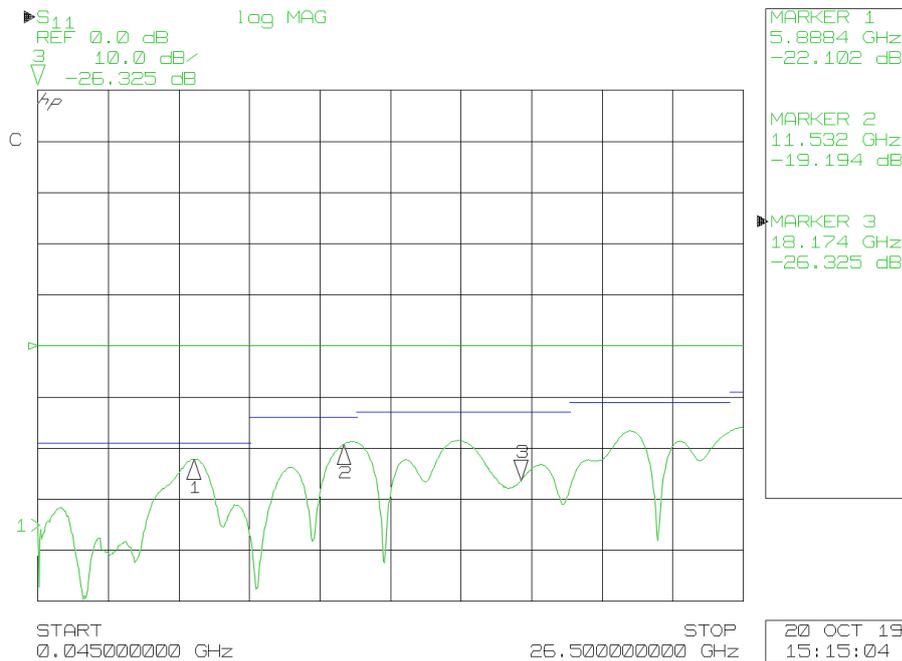
Zur Messung habe ich den Eingang der Eichleitung über einen 2,92 zu 2,4 mm Adapter an den VNA angeschlossen und den Ausgang mit einem 50 Ohm-Abschluss versehen. Den habe ich aus meinem CalKit gemopst, nicht ideal, aber der ist bei 40 GHz noch „okay genug“. Und eigentlich natürlich totaler Frevel.

Ich habe in den VNA Limit-Lines einprogrammiert, die den Angaben aus dem Datenblatt der Eichleitung entsprechen. Bei einer Messung von 45 MHz bis 40 GHz ist die Eichleitung an zwei Stellen scheinbar nicht in Spezifikation:



**Abbildung 84: Anpassung bis 40 GHz in 0 dB-Stellung**

Hierbei handelt es sich aber um Kalibrierartefakte, die aus den Problemen mit dem 2,4 mm CalKit herrühren und die einzigen waren, die ich nicht wegbekam. Das ist aber nicht schlimm, denn bis 26,5 GHz habe ich ja ein zweites CalKit.



**Abbildung 85: Nachmessen bis 26,5 GHz**

Hier sind die Peaks nicht mehr über dem Limit, also alles gut. Natürlich misst man in der Stellung 0dB im Wesentlichen die Load am anderen Ende. Selbes Spiel bei der reparierten Stellung 10dB

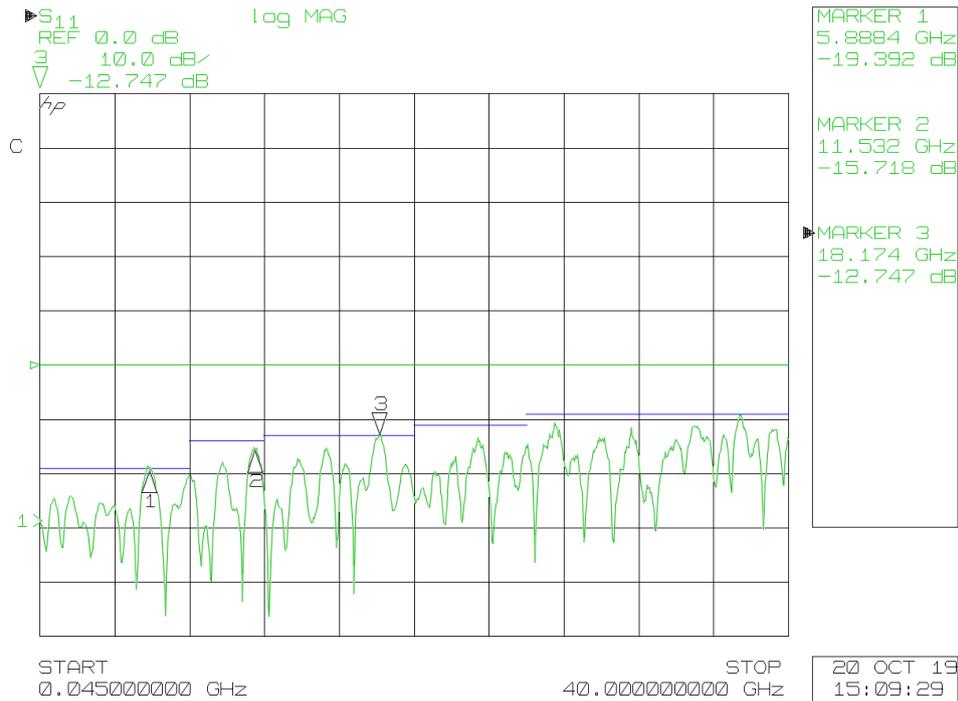


Abbildung 86: Messung bis 40 GHz, auch hier wieder drei Spitzen

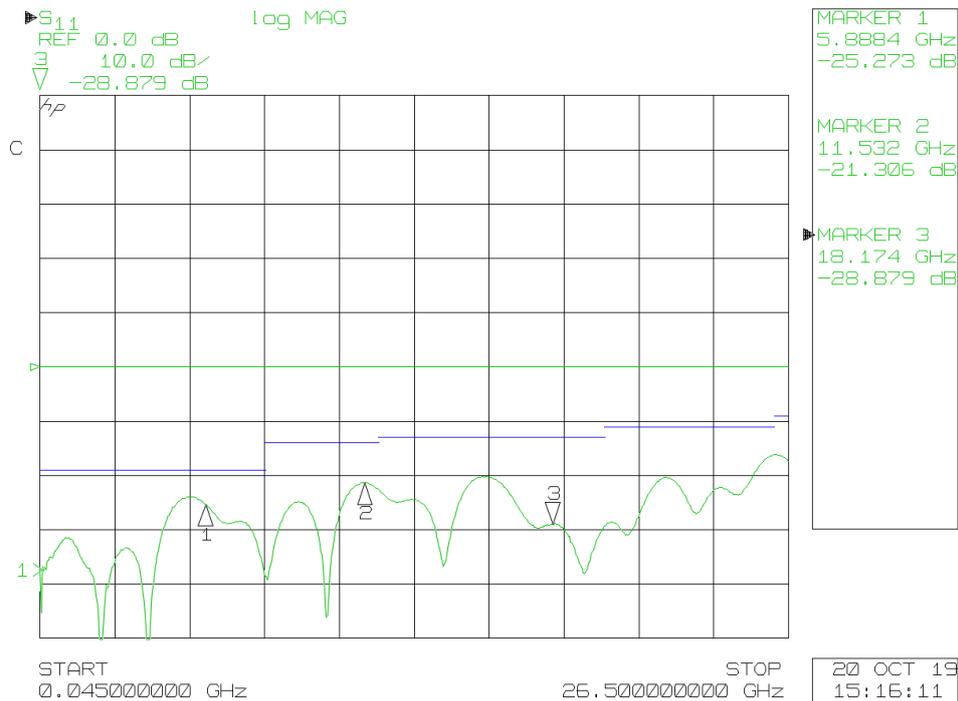
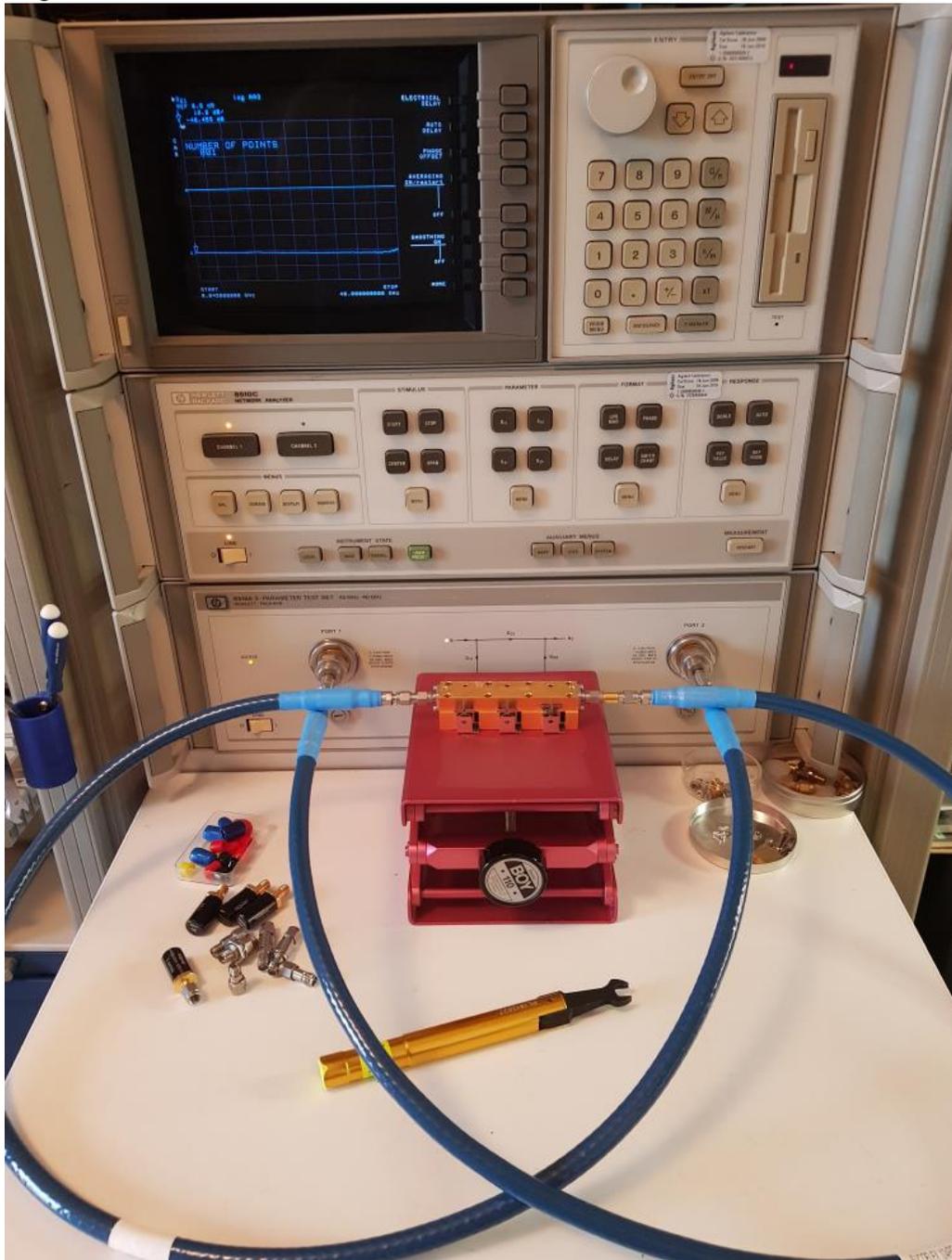


Abbildung 87: Spitzen weg, alles in Spec!

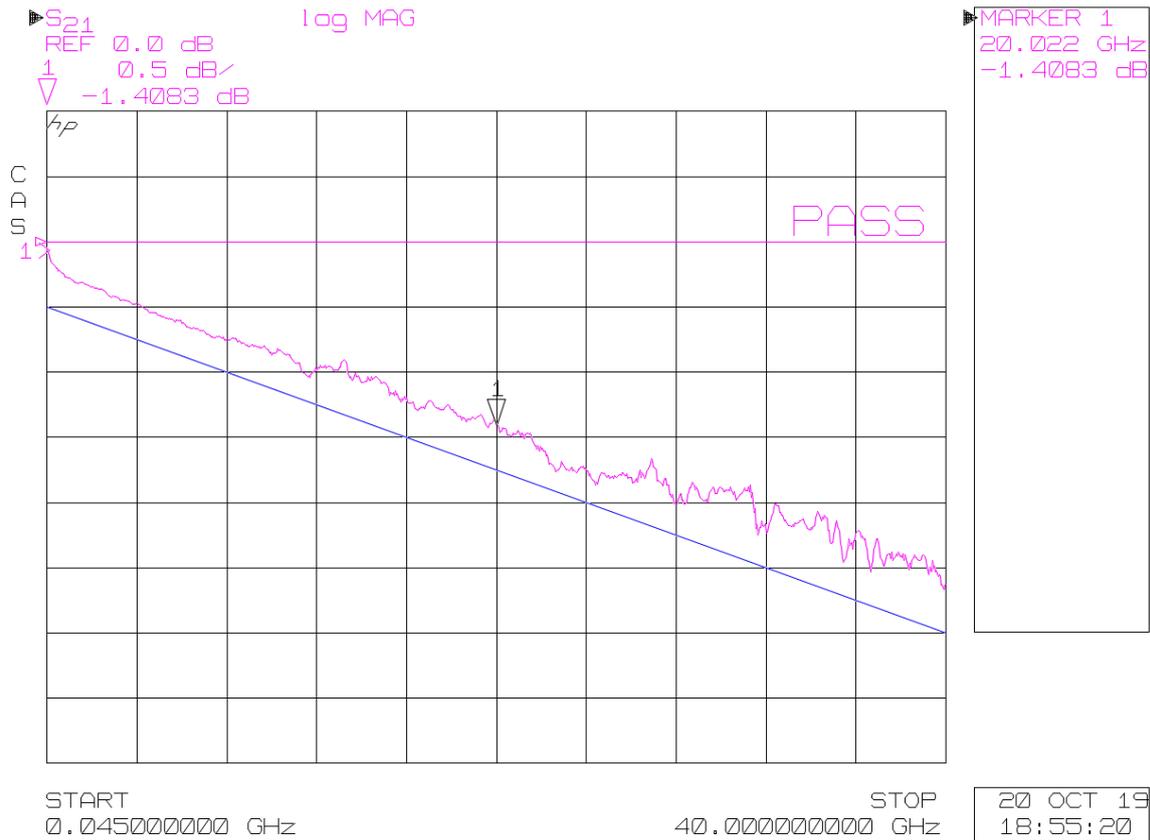
Ich habe alle Stellungen durchgemessen und keine war auffällig.  
 An die Anpassung können wir also einen Haken machen! Das stimmt hoffnungsvoll.

Zu guter Letzt nochmal zurück zur Transmission.



**Abbildung 88: Transmissionsmessung**

Marc hat ja schon geschrieben, dass man die Dämpfung bei 0dB zunächst betrachten muss und aus den folgenden Dämpfungsmessungen herauskalibrieren muss.



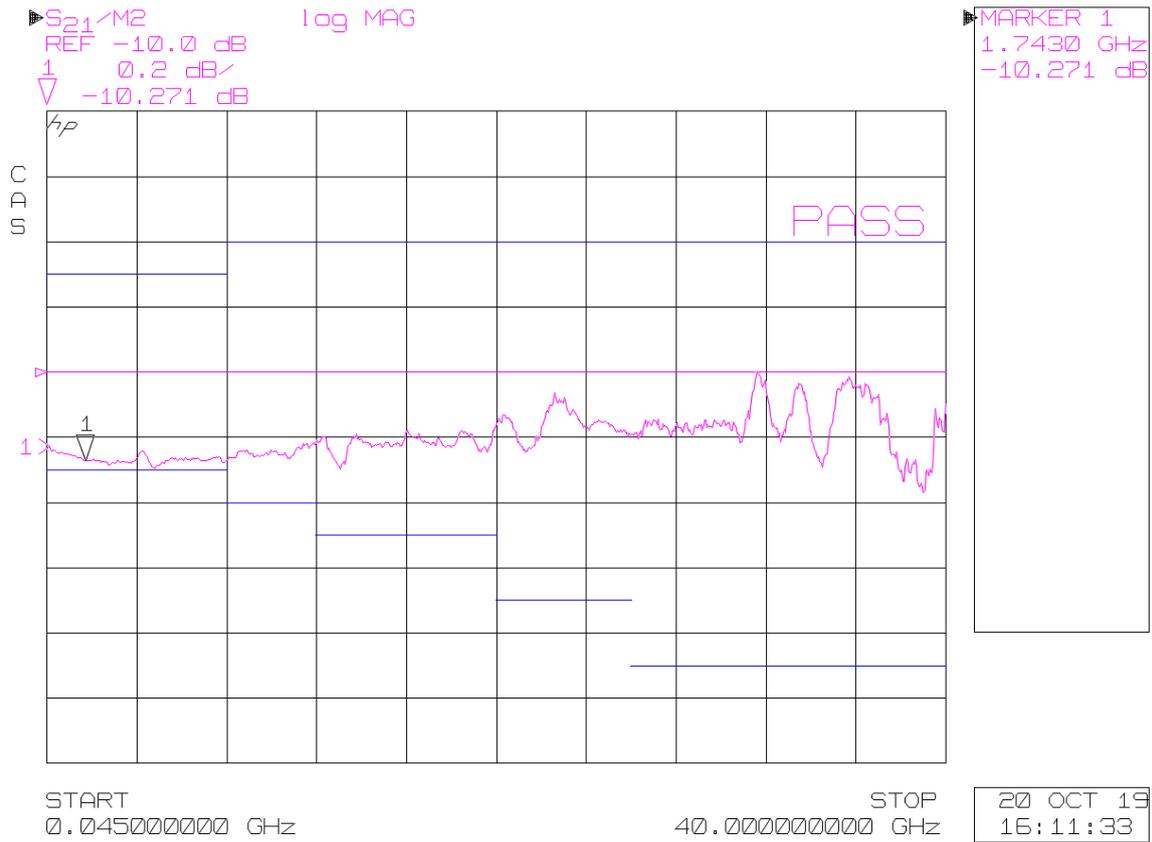
**Abbildung 89: Transmission in 0dB-Stellung**

Die im Datenblatt angegebene Dämpfung habe ich hier als Linie angelegt, wir sind in der 0 dB-Stellung wunderbar in der Spezifikation.

Das ist eine große Erleichterung, denn mein Herumbiegen an den Steckern und Kontakten hat den größten Einfluss, wenn die Eichleitung auf Durchgang geschaltet wird. Dass hier noch alles in Spezifikation ist, zeigt, dass wir dabei nichts kaputt gemacht haben.

Diesen Messwert lege ich im Speicher des 8510C ab und kann damit die 10 dB-Stellung normalisieren. So kann ich direkt den Einfluss des Dämpfungselements messen, was ja genau das ist, was spezifiziert wird.

Auch hier werden wieder Limit-Lines programmiert. Da die Eichleitung ja eher etwas zu viel Dämpfung hat, habe ich die oberen Werte nicht alle programmiert, sondern eine Abweichung von 0,4 dB bis 40 GHz als Limit gesetzt. So ist die Prüfung sogar strenger (und ich hab weniger Arbeit 😊):



**Abbildung 90: Geht! Achtet auf die Skalierung, 0,2dB pro Skalenteiler**

Dieses „PASS“ ist das, worauf wir seit Wochen hingearbeitet haben. Nach den hier gemachten Messungen zu urteilen, ist die Eichleitung komplett wieder in Spezifikation. Und das nach einer Reparatur mit reinen Hobby-Mitteln bei einer Eichleitung für bis zu 40 GHz.



**Abbildung 91: Siegerfoto aus'm Hessischen 😊**

Das Ganze ist auch wieder ein gutes Beispiel, warum auch ich es normalerweise grundsätzlich ablehne, Dinge von anderen Leuten zu reparieren. Aus einem einfachen „kannst du mir das mal schnell durchmessen“ entwickelt sich ein Projekt, in das zig Arbeitsstunden reingehen. Was Ihr gelesen habt, hat in der Realität etwa 1 ½ Monate gedauert.

Wie Marc geht es mir auch so, ich meine das auch gar nicht böse und würde ja gerne helfen. Aber wo ziehe ich Grenzen? Meine Zeit ist eben limitiert.

Damit ist meine Aufgabe in dieser Veranstaltung erledigt. Die Eichleitung wird wieder komplett zusammengebaut, verpackt und tritt die Rückreise zu Marc an.

Ich hoffe Euch hat dieser kleine Exkurs gefallen und gebe damit zurück an Marc.

## 21 Zurück in die Zentrale

Ich bin platt. Zum einen davon, dass ich mit Hobbymitteln(!) eine 40GHz-Eichleitung löten und damit wirklich erfolgreich reparieren konnte, so dass sie hinterher sogar wieder die Hersteller-Spezifikation erfüllt. Zum anderen aber auch deswegen, dass ich selber den Zusammenbau voll versaut hatte und Martin das für mich richten musste.

Am meisten beeindruckt hat mich allerdings, wie super und reibungslos wir alle zusammengearbeitet haben. Die Eichleitung ist ein Beleg dafür, wie gut Teamarbeit und Zusammenarbeit funktionieren kann, wenn man nur ein gemeinsames Ziel hat. Warum klappt das reibungslos bei einem Niedersachsen und einem Hessen, aber nicht zwischen den viel professioneller geschulten und in Zusammenarbeit erfahrenen Staatspräsidenten während des nächsten Klimagipfels? Sollte man denen vielleicht lieber mal einen Lötkolben und eine Bastelpinzette in die Hand drücken statt eines Rednermikrofon? Ist ein Spektrumanalyzer hier vielleicht die Antwort auf all unsere Probleme mit den Missverständnissen in der Weltpolitik? Ich hätte da einen zum Ausleihen... ;-)

Nunja, vielleicht etwas weit gesprungen, aber es hat uns definitiv gezeigt, was man mit Herzblut, Leidenschaft und etwas Hirn gemeinsam im Team alles erreichen kann. Und das war für mich definitiv das schönste Erlebnis dieses ganzen Reparaturberichts! An dieser Stelle möchte ich auch unbedingt bei dem Leihsteller des 40GHz CAL-Kits bedanken, ohne das wir die Überprüfung nicht hätten machen können! Schade, dass er inkognito bleiben möchte, aber das soll meine Dankbarkeit nicht schmälern. Ein voll ausgerüstetes 40GHz-CAL-Kit zu besitzen, ist quasi der Ferrari 458 unter den Sportwagen. Und auch dort will nicht jeder Fahrer hinter der spiegelnden Sonnenbrille gleich an jeder Ecke im Supermarkt beim Einkaufen als 458-Besitzer erkannt werden. Also verstehe ich das.

Nun bleibt mir nur noch der Wiedereinbau in den FSEK und dann steht dem 40GHz-Genuss nichts mehr im Wege. Das einzige Problem ist allerdings nur, dass ich im Moment keine höheren Signale als 27GHz erzeugen kann und damit die 40Gig gar nicht voll ausnutzen kann!

So geht es aber jedem in unserem Messplatzteam: jeder von uns besitzt ein wesentliches Bausteinchen von 40GHz-Technik: Stefan den Signalgenerator und kalibrierten(!) NRV-Z55 Leistungsmesskopf, Martin den Netzwerkanalysator und ich nun eben nun den Spektrumanalysator. Alles gleich verteilt. Einzelnen schon jeweils nicht schlecht, aber erst zusammen (fast) unschlagbar!

Mit einem schöneren Satz zu "Teamleistung" kann man wohl kaum enden!

## 22 DANKE!

Mein Dank gilt allen, die dieses Projekt erst möglich gemacht auch nach Kräften unterstützt haben:

- natürlich zu allererst dem Spender des FSEK!
- dann dem Postboten, der das dicke Paket befördern musste :-)
- Martin, ohne den ich den Zusammenbaufehler der Eichleitung nie bemerkt hätte
- dem Leihsteller des CAL-Kits
- einer weiteren ungenannten Person, die mir bei den HF-Planaradaptern für das HF-Stecksystem des FSEK ausgeholfen hat

## 23 Ausblick

Ein sehr reizvolles Thema wird es sein, den FSEK nach dem Zusammenbau einmal so richtig intensiv zu überprüfen. Dazu braucht man zwingend einen 40GHz Signalgenerator, einen geeigneten Powersplitter und auch einen entsprechenden Leistungsmesskopf. Das alles hat wiederum Stefan aus unserem Messplatzteam, weshalb wir für die Zukunft bereits eine gesellige Biertrink- und FSEK-Kalibrierorgie bei mir zu Hause planen! Das wird Spaßig!

Aber zuvor plane ich, einen Bericht zur Restauration einer LIP-515 Flachsleifmaschine zu veröffentlichen. Seid also gespannt :-)



Abbildung 92: die nächste Herausforderung wartet: eine Flachsleifmaschine!

# Bonusmaterial

## Kommentare zur Arbeit an einer Wiltron 4612K Eichleitung

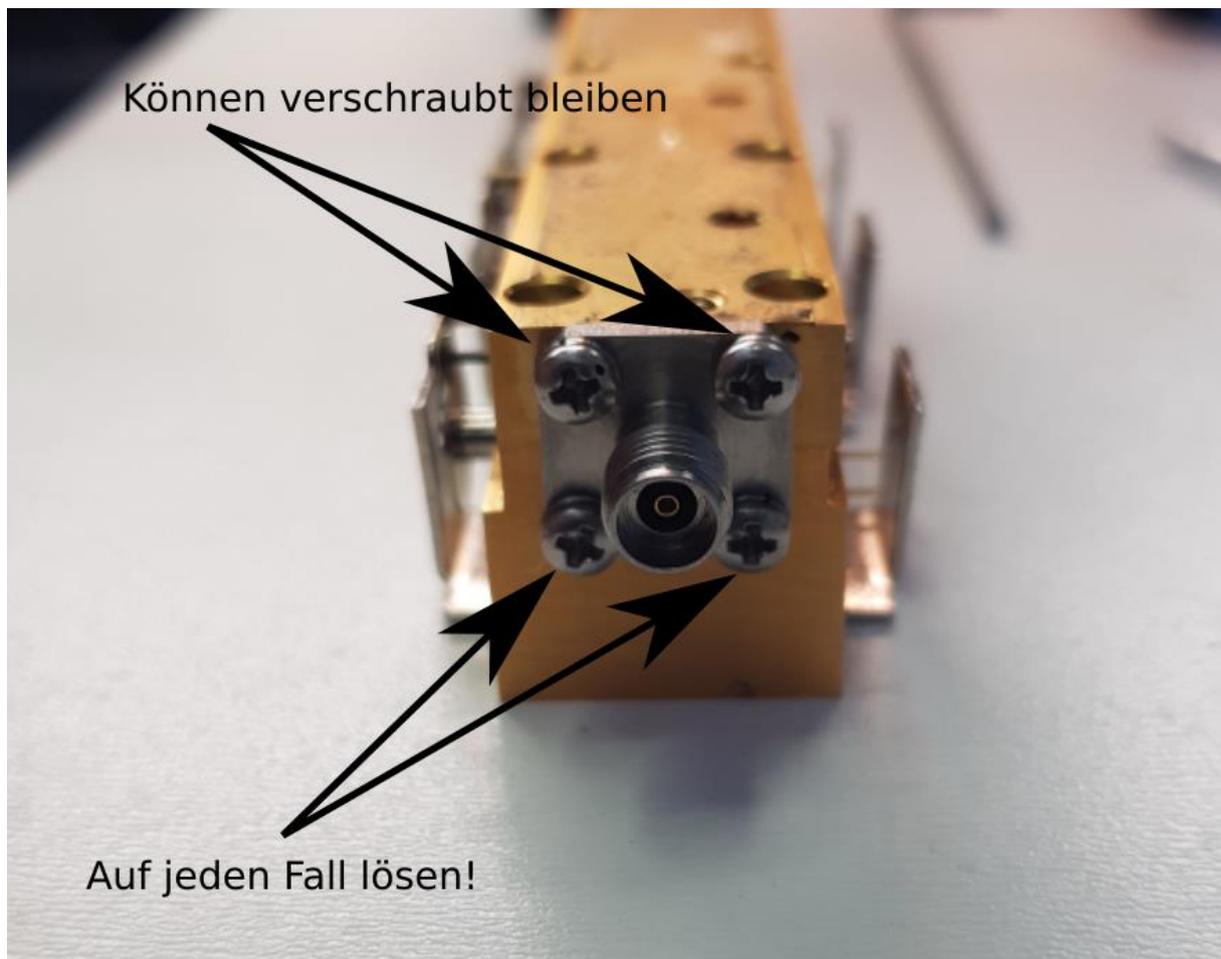
Autor: Martin Rickes

## Zerlegen

Am K-Stecker-Flansch nur die Schrauben lösen, die in den Teil mit den Spulen gehen (nachfolgend der „untere“ Block). So kann der Stecker beim Zerlegen dranbleiben und dieser feine Kontakt ist geschützt.

Durch kleine Kippbewegungen lassen sich die Hälften gut trennen.

**Auf keinen Fall darf der Stecker nur am unteren Block verschraubt bleiben, dann zerstört man die Eichleitung beim Zerlegen!**

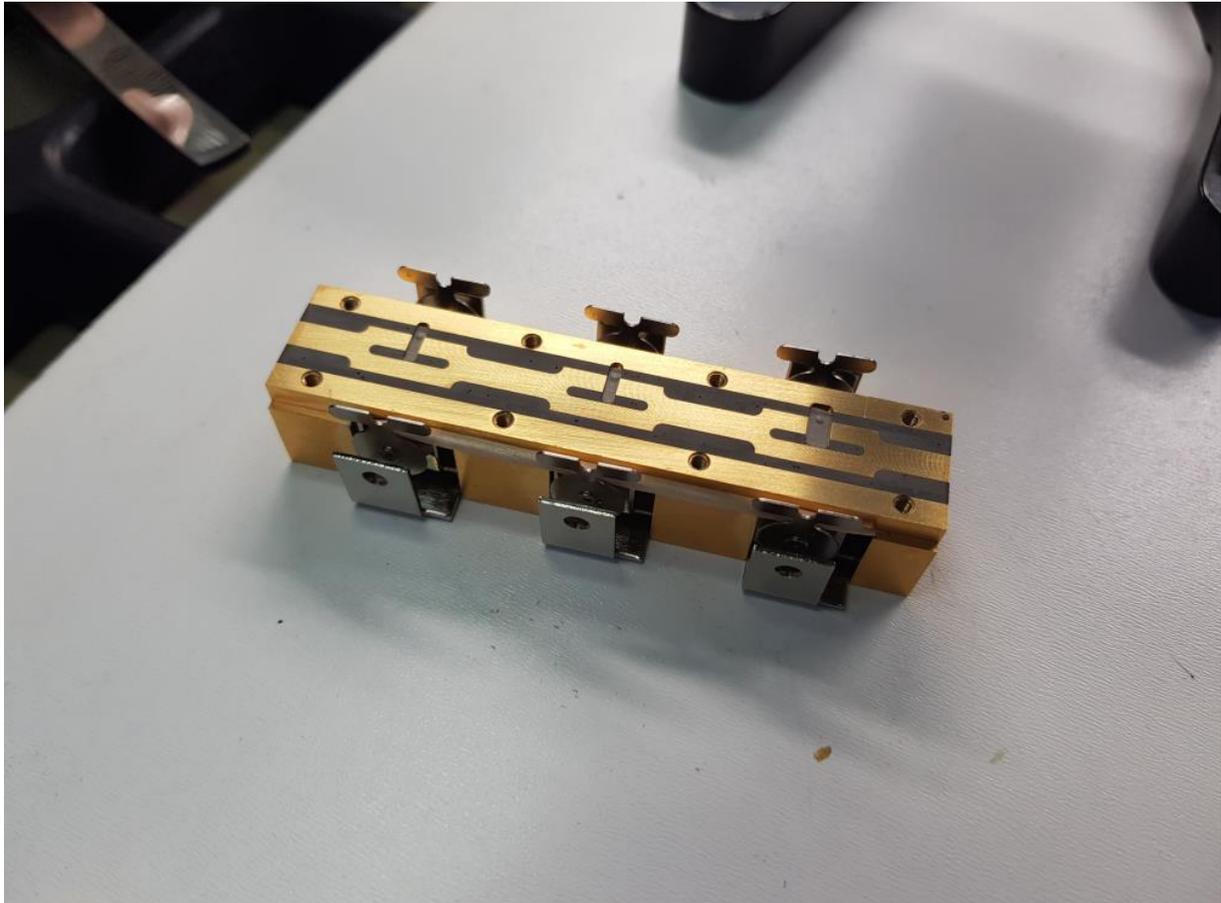


Die Plastikstößel können leicht herausfallen, man sollte sicher sein, dass man herabfallende Teile wiederfindet.

## Zusammenbau

Zusammenbau in umgekehrter Reihenfolge. Hälften richtig herum aufeinandersetzen, Blöcke sind nicht symmetrisch.

Um die Plastikstößel „einzufädeln“ am besten einen Zahnstocher in die Aktuatoren klemmen, wie hier abgebildet (kleines Suchbild):



Dann müsste es senkrecht genau drauf gehen.

Kontaktflächen vor dem Zusammenbau mit einem mit Isopropanol leicht angefeuchteten Wattestäbchen vorsichtig reinigen, dass kein Staub oder Partikel mehr zwischen den Kontaktflächen ist.

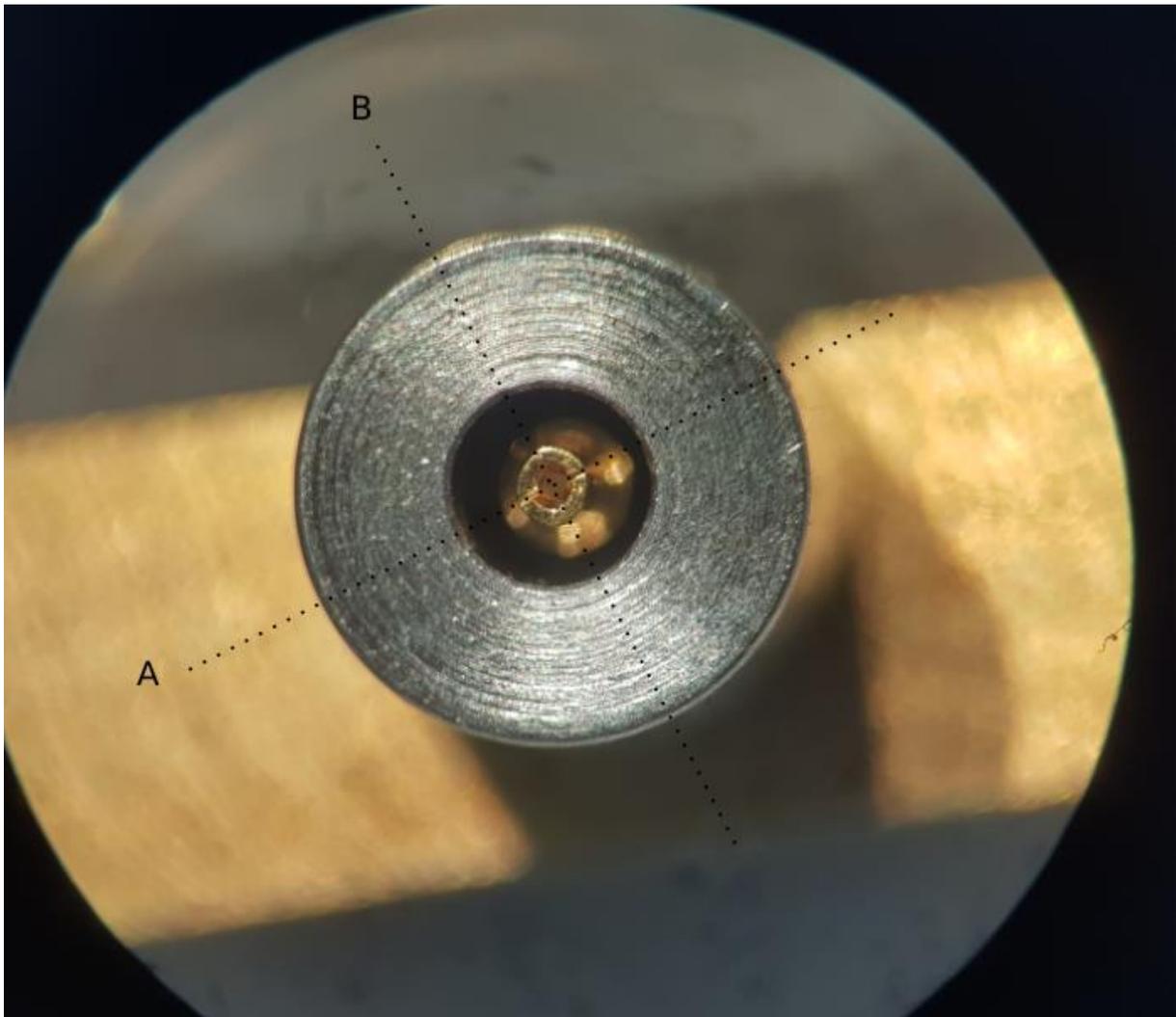
## K-Stecker montieren

Inneren Teil aus dem K-Stecker nehmen und bereitlegen.

Gute, gebogene Pinzette mit glatter Spitze mit Isopropanol reinigen.

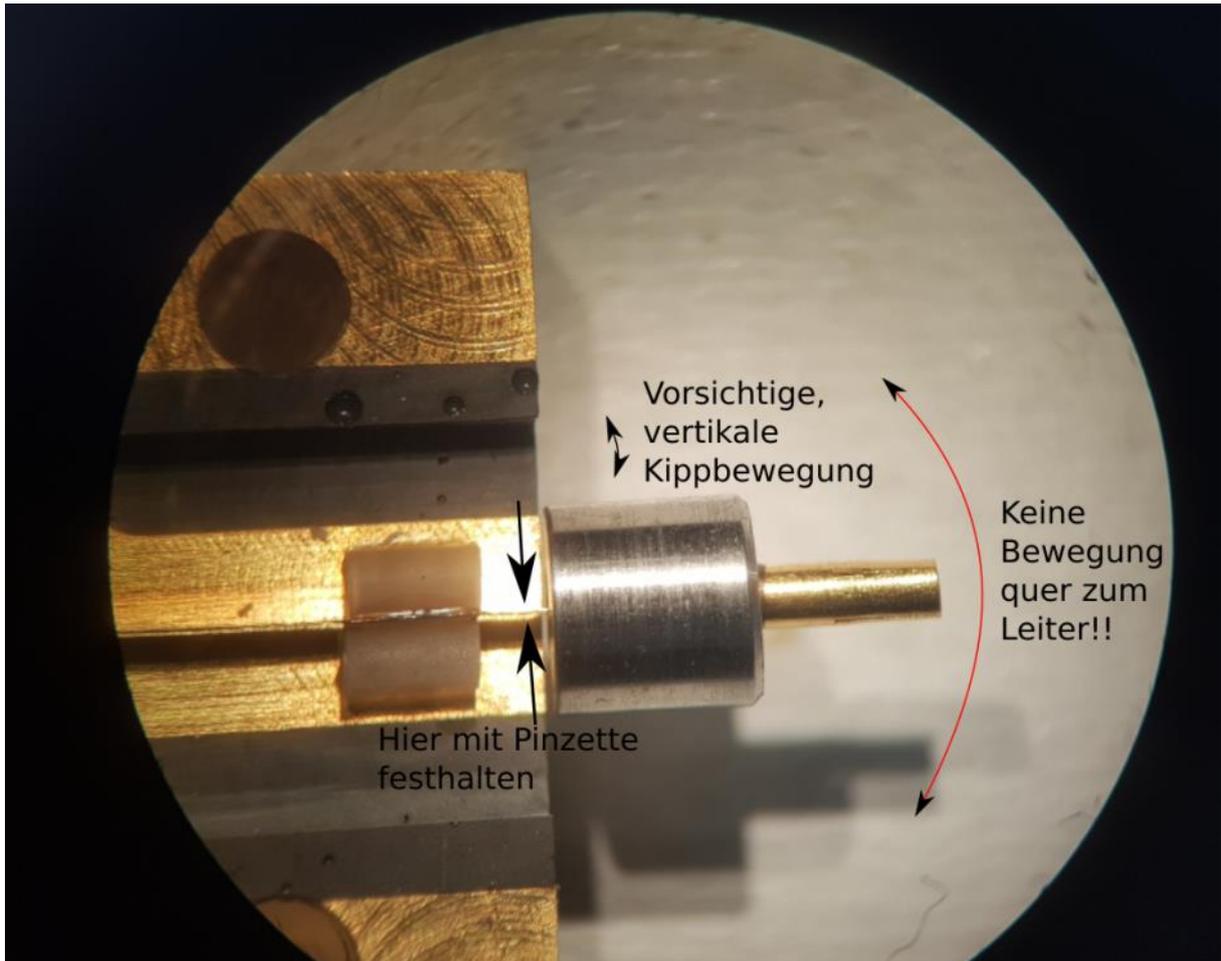
Folgende Tätigkeiten müssen unter dem Mikroskop ausgeführt werden!

Als Erstes muss die Schnittebene des Receptacles ermittelt werden.



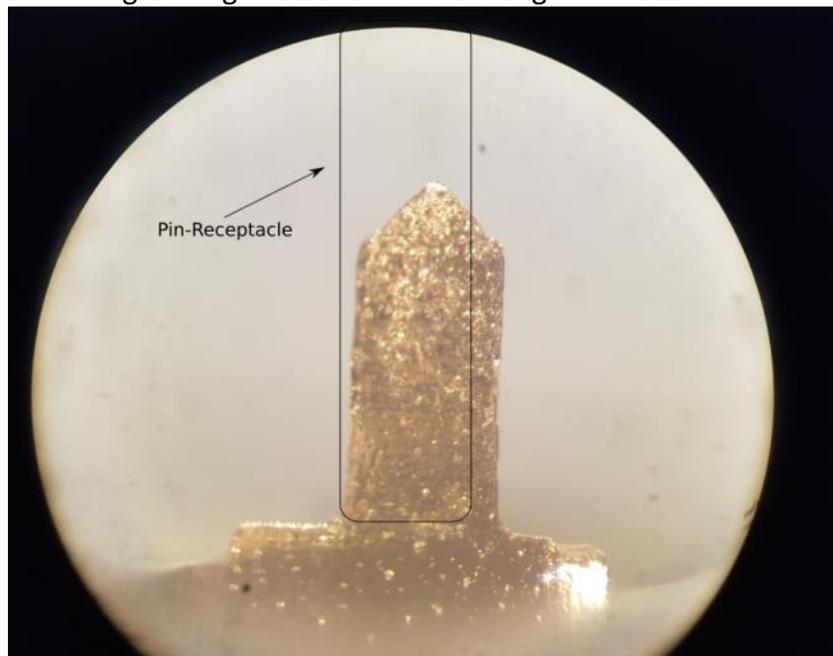
Das hier abgebildete Pin-Receptacle besteht aus vier Federelementen, hat also zwei Ebenen. Unter dem Mikroskop ermitteln, welche der Beiden benutzt aussieht. Im Beispielbild ist Ebene A deutlich stärker geweitet.

Als Nächstes den Block mit der Eichleitung zur Hand nehmen. Den K-Stecker vorsichtig mit der genutzten Ebene A parallel zur Ausrichtung des Kontaktes mit leichten Kippbewegungen aufschieben (vertikal). Dabei mit der gereinigten Pinzette den Kontakt seitlich stabilisieren. Der Kontakt muss zwischen die Federelemente des Receptacles rutschen.

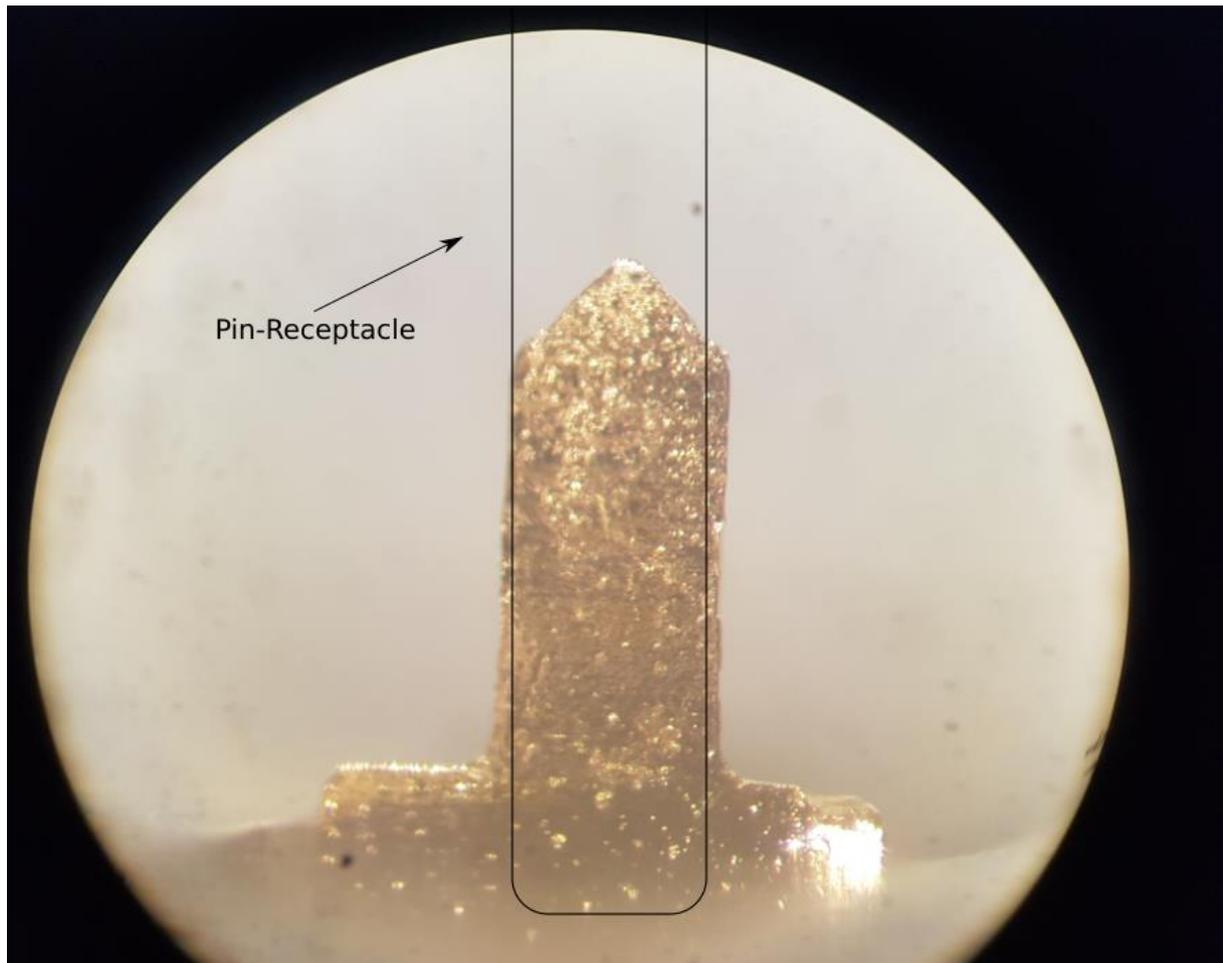


**Achtung:**

Es kann sein, dass der Pin nur durch ein Federelement rutscht. Dann muss der Stecker abgenommen werden und der Vorgang wiederholt werden. Dies ist einfach zu merken, da der Stecker nicht vollständig drauf geht. Zur Verdeutlichung eine Skizze:



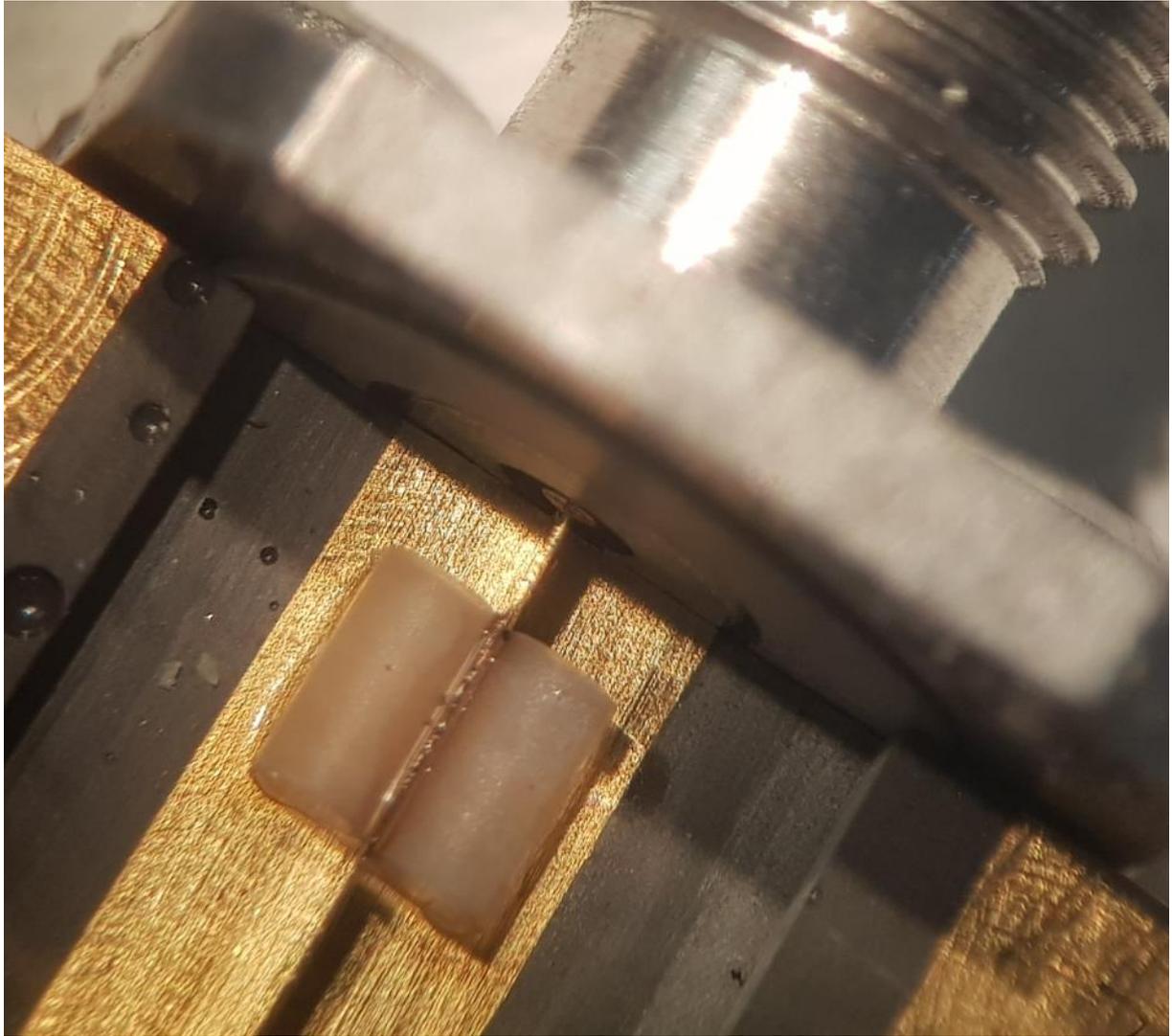
Wenn die Montage erfolgreich ist, muss ein Teil der breiteren Leiterbahn ebenfalls im K-Stecker sein, in etwa wie folgt skizziert:



Daher ist die Ausrichtung nach Ebenen unbedingt erforderlich, da spätestens der breitere Teil des Kontaktes anstößt und weitere Kraft die Eichleitung zerstört! Gleiches gilt für ein unsymmetrisches Aufschieben, wie im vorherigen Absatz beschrieben.

Wenn der innere Teil des Steckers vollständig aufgeschoben werden kann (er berührt das Gehäuse!), den K-Stecker-Flansch vorsichtig aufschieben und verschrauben.

Unter dem Mikroskop den korrekten Sitz des Steckers überprüfen:



## 24 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 wieder. 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 Artikel5, Absatz1 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](mailto:Marc.Michalzik@bymm.de)

### Autoren:

Marc Michalzik, Martin Rickes ( Kapitel 17-bis einschl. 20, sowie Bonusmaterial)

Dieser Artikel unterliegt dem Urheberrecht. © ®. Alle Rechte vorbehalten. Keine Vervielfältigung, Nachdruck. V1.5; Marc Michalzik, Martin Rickes, OCT2019