

Preisgünstige Messung des Rauschmaßes eines Vorverstärkers. Frequenzbereich ca. 60 – 1700 MHz.

Erwin Hackl, OE5VLL



Bild 1: CANFI – Startbildschirm nach Kalibrierung

Vorwort:

Es gibt große Unterschiede bei Vorverstärkern. Funkamateure wollen natürlich wissen, wie „gut“ ihr Verstärker ist. In Bezug auf das Rauschmaß von Vorverstärkern kann geholfen werden. Hier geht es um die praktischen Erfahrungen mit dem Projekt **CANFI** (Cheap Automatic Noise Figure Indicator) von Frank Schmäling DL2ALF, Wolf-Henning Rech DF9IC und Alexander Kurpiers DL8AAU. Siehe dazu <http://www.canfi.eu>

Dieser Artikel beschäftigt sich im Wesentlichen mit der messtechnischen Erfassung des Eigenrauschens von Antennen-Vorverstärkern mit preiswerten Mitteln durch den Funkamateur.

Gerade solche Themen werden meist nur von sehr versierten Funkamateuren mit dementsprechender Messplatzausrüstung behandelt. Dass dies mittlerweile auf Grund der modernen Technik auch auf sehr preiswerte und relativ einfache Weise ermöglicht wird, möchte ich mit diesem Artikel zeigen.

Möchte auch ausdrücklich noch darauf hinweisen, dass das CANFI-Projekt nicht von mir, sondern von den drei oben genannten OM's stammt. Dieser Artikel zeigt die von mir gemachten Erfahrungen mit diesem Projekt. Dies soll Anderen den Einstieg in dieses Projekt erleichtern.

Einige wesentliche Definitionen:

Rauschzahl und Rauschmaß:

F = Rauschzahl (Noise), dimensionslos, theoretisch minimalster Wert = 1

NF = Rauschmaß (Noise Figure), Einheit: dB, theoretisch kleinster Wert = 0 dB

NF zeigt an, wie viel Eigenrauschen dem Rauschen am Eingang hinzugefügt wird.

$$NF = 10 * \text{Log } F$$

Log (auch als LOG, Lg bezeichnet) ist 10er-Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10).

$$\begin{aligned} \text{Beispiele: } F = 2 &\rightarrow NF = 10 * \text{Log } 2 = 3 \text{ dB} \\ F = 5 &\rightarrow NF = 10 * \text{Log } 5 = 7 \text{ dB} \end{aligned}$$

ENR:

ENR (Excessiv Noise Ratio) bedeutet so viel wie „Rauscherhöhungsfaktor“ und ist ein Wert, welcher angibt, um wie viel mehr ein Rauschgenerator rauscht als das thermische Grundrauschen eines Widerstandes von -174 dBm/Hz beträgt.

Das ENR kann nicht so ohne weiteres gemessen werden, da jedes Messgerät auch selber ein Eigenrauschen hat und deswegen nicht mit direktem Bezug auf das Grundrauschen messen kann. Sieht man sich das „Rauschsignal“ des Rauschgenerators auf einem Spektrumanalysator an, so wird man, je nach Einstellung des Messgerätes eine Anhebung des Rauschpegels um z.B. 10 dB feststellen.

Das ENR ist temperaturabhängig! Professionelle Messgeräte erwarten daher eine Angabe der Umgebungstemperatur. Wenn man nicht gerade bei hochsommerlichen Temperaturen misst ist das für den Amateur aber eher belanglos.

Gain = Verstärkung:

Kann als Faktor (Multiplikationsfaktor ohne Einheit) oder in dB angegeben werden.
Negative Verstärkung = Dämpfung

Umrechnung von dB in Faktor: $\text{Faktor} = 10^{(\text{dB} / 10)} = 10^{\text{hoch (dB/10)}}$

Beispiel 1: $6 \text{ dB} = 10^{0,6} = 3,98$ (= ca. 4-fache Verstärkung)

Beispiel 2: $-6 \text{ dB} = 10^{-0,6} = 0,25$ (= Dämpfung auf $\frac{1}{4}$)

Umrechnung von Faktor in dB: $= 10 * \text{Log}(\text{Faktor})$

Beispiel 1: Faktor = 4 = $10 * \text{Log}(4) = 6,02 \text{ dB}$

Beispiel 2: Faktor = 0,25 = $10 * \text{Log}(0,25) = -6,02 \text{ dB}$

Was wird für dieses Projekt benötigt:

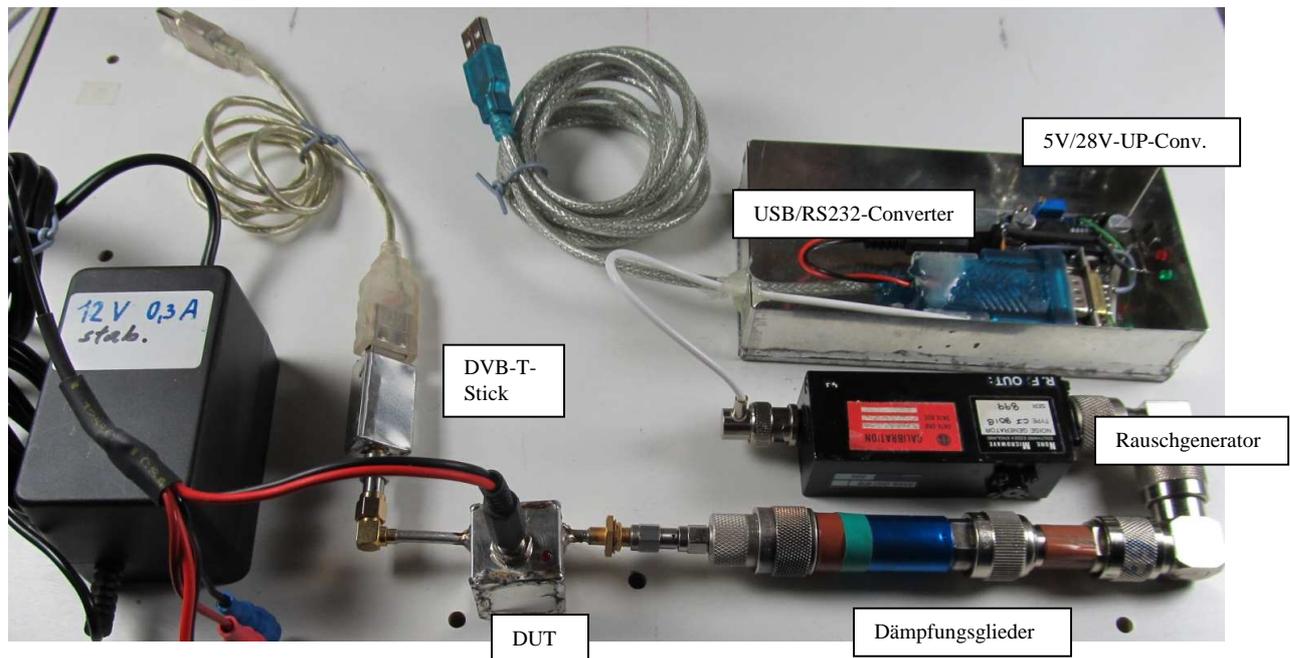


Bild 2: Beispielhafter Mess-Aufbau

Um das Rauschmaß eines Vorverstärkers mit CANFI messtechnisch erfassen zu können, müssen grundsätzlich folgende Komponenten zur Verfügung stehen:

HARDWARE:

Rauschquelle:

Eigenbau, Kosten: Wenige Euro

Kommerzieller Rauschgenerator auf Flohmärkten, ebay etc. z.B. 80.-Euro oder auch wesentlich mehr.

Diverse Dämpfungsglieder

Flohmärkte, ebay, etc., aber auch Eigenbau möglich wenn die erforderlichen Messmittel vorhanden sind.

USB-Hub

Kosten ca. 20.-Euro. Wie in meinem Fall kann aber bei Verwendung zweier USB-Anschlüsse dieser auch entfallen.

USB-to-Serial-Converter

Kosten ca. 20.-Euro. Es gibt aber auch Typen, welche sich nicht eignen! Von den CANFI-Entwicklern werden Typen verwendet, welche auf Basis des Silicon Labs CP2102 arbeiten.

Spannungs-Up-Converter

Z.B. via ebay um 1,50 Euro inklusive Versand aus China, um ca. 3.- bis 10.- Euro bei diversen Elektronik-Händlern.

Schaltung zum automatischen Ein-/Ausschalten der Rauschquelle
2 Transistoren und 3 Widerstände, Kosten max. 2.- Euro.

USB-DVB-T-Stick

Type mit RTL2832U-Digitalchip und E4000-Tunerchip. Waren schon um unter 20.-Euro via ebay erhältlich, es gibt aber Neu-Auflagen. Für jene mit R820T-Tunerchip gibt es schon eine Vorversion der Software.



Bild 3: USB-DVB-T-Stick

Diverses:

Verbindungskabel, Adapter,... je nach Bedarf.

Und natürlich ein PC, auf welchem die Software läuft. Windows-XP genügt. Zu beachten ist, dass manche Notebooks nicht den benötigten Strom an den USB-Buchsen zur Verfügung stellen.

SOFTWARE:

CANFI

Kann kostenlos von <http://www.canfi.eu/Download.html> heruntergeladen werden.

Funktionsschema:

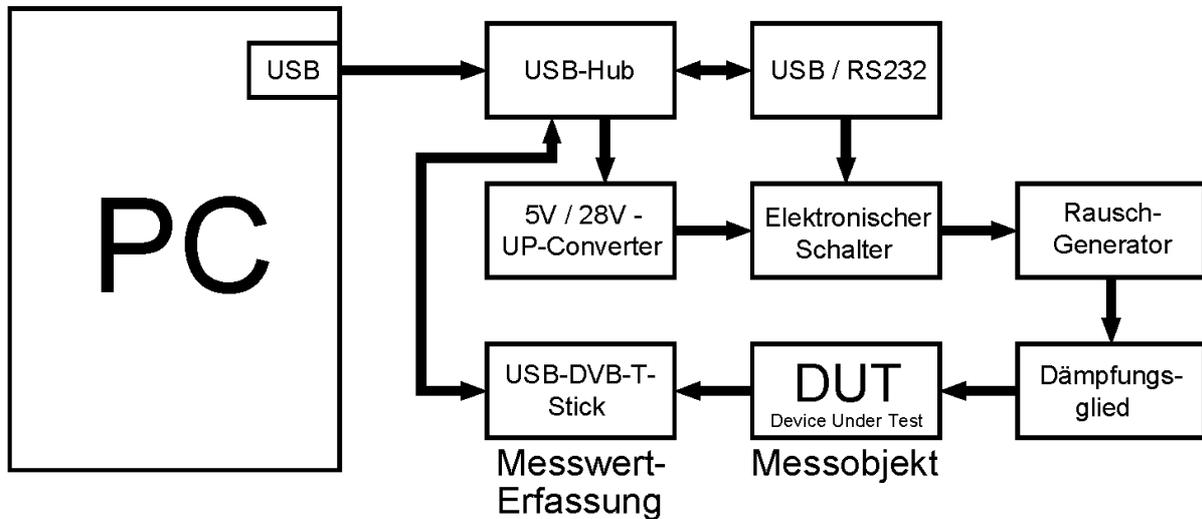


Bild 4: Prinzip-Schaltbild

Das obenstehende Prinzipschaltbild verdeutlicht die Funktion.

Mit der USB-Schnittstelle des PCs werden via USB-Hub 3 Komponenten versorgt:

- 1.) Der UP-Converter von 5 Volt auf 28 Volt. Dieser benötigt nur die 5 Volt vom USB-Anschluss.
- 2.) Der USB-RS232-Converter. Von der RS232-Schnittstelle wird nur der RTS-Pin verwendet. Mittels dieses Pins wird der elektronische Schalter betätigt, welcher seinerseits die 28 Volt für den Rauschgenerator durchschaltet.
- 3.) Der USB-DVB-T-Stick, welcher die eigentlichen Messdaten erfasst und an den PC übergibt.

Der Rauschgenerator wird softwaregesteuert Ein- / Ausgeschaltet.

Das nachgeschaltete Dämpfungsglied mit mindestens 23 dB (Wert für Rauschgeneratoren mit einem ENR von ca. 35 dB) sorgt dafür, dass sich die Anpassung des Rauschgenerators an das Messobjekt nicht merklich ändert. Das ist wichtig, da sich das unmittelbar auf die Verstärkung des Messobjektes auswirken kann und somit das Messergebnis verfälschen würde.

Das Rauschsignal wird dann dem Messobjekt (DUT) zugeführt.

Nicht eingezeichnet ist, dass auch das Messobjekt eine Stromversorgung benötigt!

Das Signal am Ausgang des Messobjektes wird dann vom USB-DVB-T-Stick erfasst und an den PC übergeben.

Details zu Baugruppen und dem mechanischen Aufbau:

Es ist natürlich jedem selber überlassen, wie er das Ganze aufbaut und welche Gehäuse und Buchsen er verwendet. Hier wird nur dargestellt, wie ich das Projekt aufgebaut habe.

USB-RS232-Converter, Spannungs-UP-Converter und elektronischer Schalter

Da am Laptop mehrere USB-Buchsen zur Verfügung stehen, wurde auf den USB-Hub verzichtet und die benötigten 5 Volt direkt aus dem USB-RS232-Converter „abgezweigt“. Hier muss aber angemerkt werden, dass sich dafür nicht jeder Converter eignet. Somit werden nur zwei USB-Anschlüsse benötigt, einer für den UP-Converter inkl. RS-232-Converter und einer für den DVB-T-Stick.

Der USB-RS232-Converter inklusive 5-Volt auf 28-Volt-Converter wurde in ein einst auf einem Flohmarkt erstandenes Blechgehäuse eingebaut. Für die Fotos wurde dieses Gehäuse geöffnet.

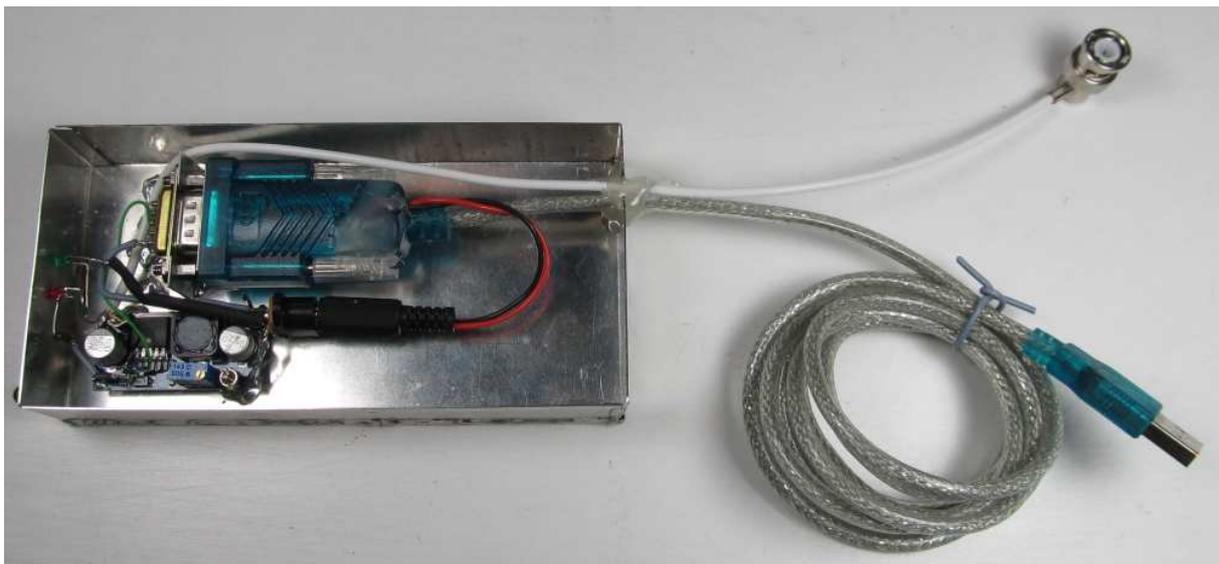
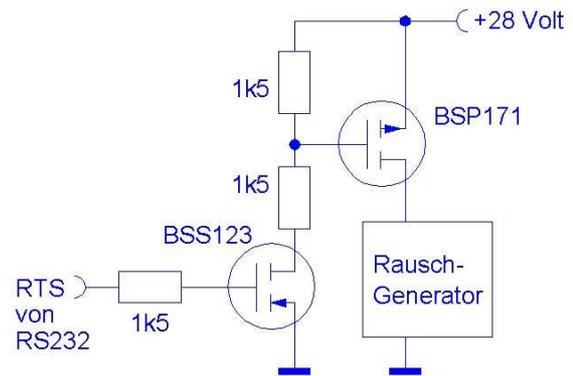


Bild 5: Blechgehäuse mit USB/Seriell-Converter und 5V/28V-UP-Converter

Der 5V/28V-Up-Converter kommt via ebay aus China um 1,50 Euro inklusive Versandkosten.

Technische Daten des verwendeten Converters: $U_{\text{Eing.}}$ 3,5 – 30 Volt, $U_{\text{Ausg.}}$ 5 – 35 Volt, $I_{\text{max.}}$ ca. 3 Ampere, 10-Gang-Einstellregler zur Justierung der Ausgangsspannung. Dies genügt für die üblicherweise benötigten rund 20 mA vollauf.

Bild 6: Schaltplan elektronischer Schalter zur Ein- / Ausschaltung der Rauschquelle



Die Schaltung zum Ein- / Ausschalten der Rauschquelle besteht nur aus 2 Feldeffekttransistoren und 3 Widerständen, alles in SMD-Ausführung. Diese 5 Bauteile wurden einfach auf die Platine des UP-Converters gelötet. Auf dem untenstehenden Foto kann man den „Leistungstransistor“ ganz links unten erkennen. Die grüne Litzenleitung geht auf den 1,5-kOhm-Widerstand (blau, Aufschrift 1501), welcher direkt an das „Treibertransistor-Gate“ gelötet ist. Zusätzlich wurden 2 Leuchtdioden so eingebaut, dass sie von außen sichtbar sind und eine gewisse Funktionskontrolle der Schaltung erlauben (grün für „5-Volt vorhanden“, rot für „28-Volt eingeschaltet“).



Bild 7: Detailansicht Spannungs-UP-Converter

Rauschgenerator

Weil ein bereits früher bei ebay ersteigter kommerzieller Rauschgenerator vorhanden war, wird der auch in diesem Projekt verwendet.

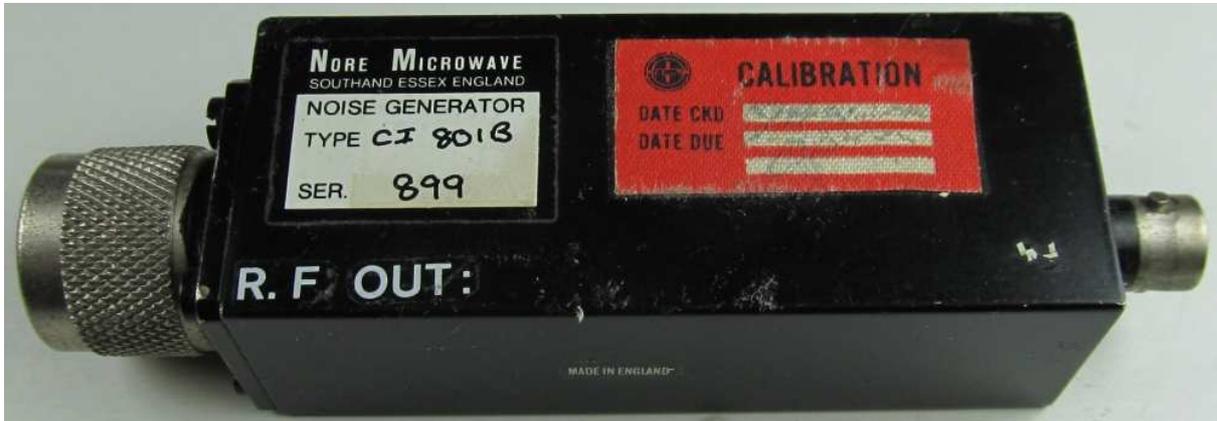


Bild 8: Verwendeter Rauschgenerator

Generell gilt für kommerzielle Rauschquellen: Spannungsversorgung +28 Volt an der BNC-Buchse. Diese 28 Volt sollten auf +/- 0,05 Volt eingehalten werden. Stromaufnahme ca. 20 mA.

Rauschgeneratoren kann man aber auch selber bauen. Der Bauteilaufwand und die Kosten sind sehr gering. Am besten baut man sie auch für 28-Volt-Stromversorgung auf. Das hat den Vorteil, dass sie jederzeit gegen eine kommerzielle Rauschquelle ausgetauscht werden können. Baut man sie aber für z.B. 12-Volt-Betrieb auf, dann muss auch der UP-Converter auf 12 Volt Ausgangsspannung eingestellt werden!

Die erste Schaltung zeigt einen einfachen Rauschgenerator. Diverse Transistortypen eignen sich als „Rauschdiode“. Der Kollektor des Transistors bleibt jeweils unbeschaltet. Dieser Generator hat ein ENR von ca. 35 dB (vor dem Dämpfungsglied). Das eingezeichnete Dämpfungsglied kann natürlich auch ein externes Bauteil sein und sollte nicht weniger als 23 dB aufweisen. Man kann selbstverständlich auch mehrere Dämpfungsglieder hintereinander schalten, um auf den gewünschten Wert zu kommen, wie im gegenständlichen Fall, wo ein 15-dB- und ein 10-dB-Dämpfungsglied verwendet werden um auf gesamt 25 dB zu kommen.

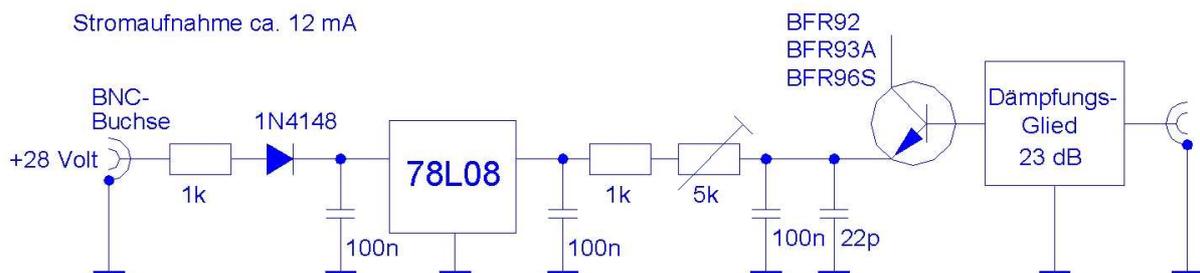


Bild 9: Schaltplan Rauschgenerator 1

Die zweite Schaltung wurde freundlicherweise von Johann OE2JOM zur Verfügung gestellt und hat sich laut seiner Aussage bestens bewährt. Sie hat ein ENR von 7 – 10 dB (nach dem Dämpfungsglied von 23 dB!) im Bereich von 10 MHz bis 10 GHz.

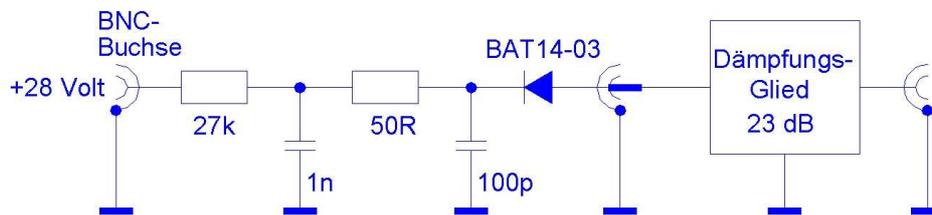


Bild 10: Schaltplan Rauschgenerator 2

Im Internet und in diversen Zeitschriften bzw. Büchern finden sich noch jede Menge von Schaltungen für Rauschgeneratoren. Wesentlich ist, dass der verwendete Generator nicht nur vom Pegel (ENR) sondern auch von seinem Frequenzbereich für seinen Einsatz geeignet ist. Im hier gezeigten Anwendungsfall, der nach oben durch den verwendeten DVB-T-Stick bei ca. 2 GHz begrenzt ist, sollten fast alle Schaltungen geeignet sein.

Folgend noch ein Foto von zwei betriebsfertigen Eigenbau-Rauschquellen, eine mit BNC-Stecker, die andere mit SMA-Stecker. Beide sind noch mit Bananensteckern für die Stromversorgung ausgerüstet. Als großer Vorteil hat sich die jeweils eingebaute LED erwiesen, welche anzeigt, ob die Stromversorgung vorhanden ist.



Bild 11: Zwei einfache Rauschgeneratoren

Dämpfungsglieder:



Bild 12: Dämpfungsglieder mit SMA-, BNC- und N-Anschlüssen

Weil sie vorhanden waren, wurden kommerzielle Dämpfungsglieder verwendet, welche auf diversen Amateurfunk-Flohmärkten zu finden waren. Im abgebildeten Fall (Bild 2) ist ein 15-dB- und ein 10-dB-Dämpfungsglied in Serie geschaltet um so auf die gewünschten 25 dB Gesamtdämpfung zu kommen.



Bild 13: Eigenbau-Dämpfungsglieder mit BNC-Anschlüssen

Es spricht aber nichts dagegen, Dämpfungsglieder im Eigenbau mit normalen 1-prozentigen Metallfilmwiderständen in Pi- oder T-Schaltung aufzubauen. Berechnungen dazu findet man im Internet. Für Frequenzen bis rund 500 MHz ist das kein Problem wenn die nötigen Messmittel zur Verfügung stehen.

USB-DVB-T-Stick:

Es gibt jede Menge DVB-T-Sticks, aber nicht alle sind für dieses Projekt verwendbar.

Wesentlich sind 2 Bauteile:

1. Der **RTL2832U** – Chip. Zuständig für die digitale Signalaufbereitung. Dieser Chip ist unbedingt notwendig. Bei den käuflichen Sticks wird aber nicht immer angegeben, ob sie diesen Chip beinhalten. Da hilft dann meistens nur das öffnen des Gehäuses. Bei ebay kann man die Suche gleich auf Sticks mit diesem Chip eingrenzen.
2. DVB-T-Sticks mit dem RTL2832U gibt es mit 3 unterschiedlichen Tuner-Chips. Diese sind **E4000**, **R820T** und **FC0013**. Die Software wurde für den E4000 ausgelegt. Dieser ist der ältere Tuner-Chip und eigentlich schon abgekündigt. Es wurde aber noch einmal eine Serie aufgelegt. Diese sind via ebay erhältlich. Allerdings meist zu einem höheren Preis als ursprünglich. Es gibt auch schon eine Vorabversion der Software für den R820T-Chip. Habe mich aber nicht weiter darum gekümmert, da ich ja die Version mit dem E4000-Tuner besitze. Von den Sticks mit dem FC0013-Tuner ist mir in Bezug auf dieses Projekt nichts bekannt. Aber für den Funkempfang mit DVB-T-Sticks eignen sich alle drei Tunertypen.

ACHTUNG!

In ebay gibt es auch Angebote mit folgendem Text:

[Neu E4000 RTL2832U + R820T USB DVB-T SDR ADS-B Remote Control Digital TV Stick](#)

Man beachte, dass hier zwar der E4000-Tunerchip angegeben ist, tatsächlich aber ein Stick mit R820T-Tunerchip verkauft wird!

Tipp: Wenn man einen DVB-T-Stick als „Funk-Empfänger“ mit der Software SDRSharp betreibt, dann kann man bei neueren Versionen den Menüpunkt Controller-Einstellungen (durch ein Zahnradsymbol links oben dargestellt) aufrufen. In diesem Fenster steht dann in der ersten Zeile rechts der Typ des Tuner-Chips, z.B. E4000.



Bild 14: USB-DVB-T-Stick mit geöffnetem Gehäuse

Auf dem folgenden Foto wurde versucht, das Innenleben des Sticks so darzustellen, dass die Beschriftung der Chips lesbar ist. Schriftgröße ca. 0,5 mm! Wer den Bericht in der Software-Version heruntergeladen hat, sollte das Bild so weit vergrößern können, dass er die Schrift lesen kann. Der Linke ist der Tuner-Chip E4000 (sitzt näher an der HF-Buchse), der rechte Chip ist der RTL2832U.



Bild 15: USB-DVB-T-Stick mit E4000 und RTL2832U

Das folgende Bild zeigt den Stick mit aus Weißblech hergestelltem Gehäuse, Anschlusskabel und SMA-Buchse. Als USB- Anschlusskabel sollten möglichst gut geschirmte Kabel verwendet werden. Eigentlich sind die hier zu verwendenden Kabel **USB-Verlängerungen** und nicht im Lieferumfang der USB-Sticks.



Bild 16: USB-DVB-T-Stick in Metallgehäuse eingebaut

Buchsen, Stecker, Adapter, Verbindungskabel:

Ursprünglich sollten N-Buchsen verwendet werden. Da die USB-DVB-T-Sticks aber so klein sind, wurde die Verwendung einer SMA-Buchse für den Stick als vernünftiger erachtet. Wesentlich ist, dass man schauen sollte, dass man mit möglichst wenig Adaptern etc. das Auslangen findet. Dies ist aber leichter gesagt als getan, da fast immer das Messobjekt über genau jene Buchsen verfügt, für die man erst recht wieder einen Adapter braucht.

Deshalb bot sich die Lösung an, den DVB-T-Stick mit einem eigenen USB-Kabel am Computer zu haben und dadurch denselben HF-seitig direkt an den Ausgang des Messobjektes anschließen zu können. Das erspart zumindest hier, an der empfindlichsten Stelle, ein Anschlusskabel.

Auf dem Foto (Bild 16) sieht man rechts unten auch einen so genannten „**Schutzstecker**“ am DVB-T-Stick. Dabei handelt es sich um ca. 2 cm lange „Verlängerungen“ ohne weitere elektrische Funktion. Ihr Zweck besteht darin, die Buchse eines z.B. Messgerätes zu schützen, indem Anschlusswechsel am Schutzstecker stattfinden und somit der Messgeräteanschluss vor Verschleiß etc. geschützt wird. Wird der Schutzstecker beschädigt, kann er einfach ausgewechselt werden, was bei Messgeräteanschlüssen meist nicht so ohne weiteres möglich ist und zumindest wesentlich höhere Kosten verursacht.

Als Verbindungskabel empfiehlt sich, möglichst nur „Semi-Rigid-Kabel“ zu verwenden, da diese die besten Schirmwerte besitzen – dazu weiter unten noch mehr.

Inbetriebnahme der Software CANFI:

CANFI steht derzeit in der Version 2.4.0.0 zur Verfügung (März 2015).



Bild 17: CANFI Startbildschirm während Messung

Um CANFI in Betrieb nehmen zu können muss prinzipiell der Treiber für den USB-DVB-T-Stick mittels ZADIG installiert worden sein.

Dies ist bereits in einem früheren Bericht erläutert worden. Siehe dazu auf der OAFV-Homepage unter:

http://www.oe5.ovsv.at/technik/sdr_dl/USB_DVB-T-Sticks_Software_SDRSHARP_V02.pdf

Das Programm **CANFI** benötigt keine Installation, es kann direkt **CANFI.EXE** gestartet werden.

In „Settings“ unter „Device“ ist der Stick „Generic RTL2832U“ auszuwählen und unter „COM Control“ ist diejenige COM-Schnittstelle auszuwählen, mit welcher der USB-RS232-Converter verbunden ist.

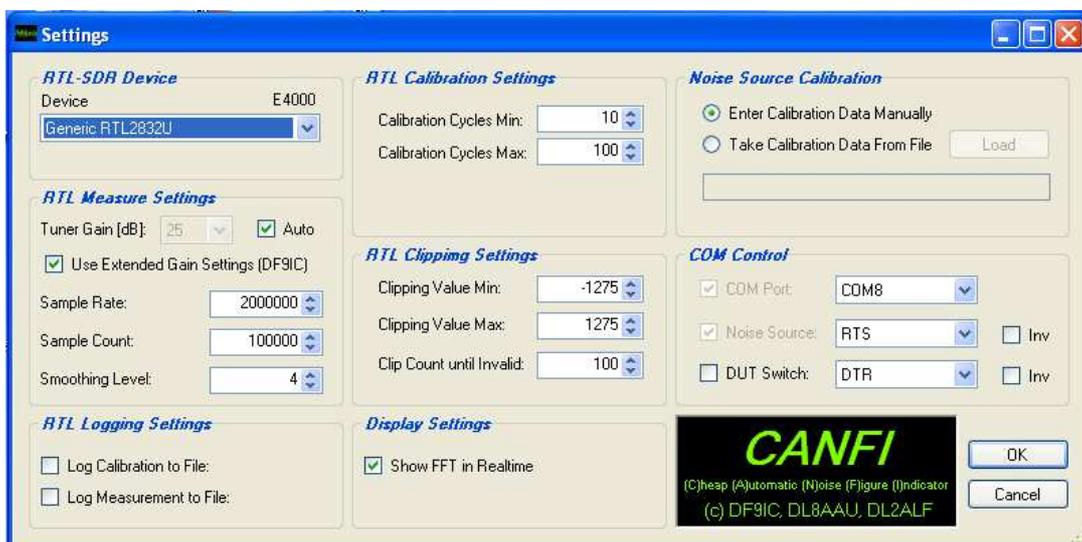


Bild 18: CANFI - Settings

Software-Kalibrierung:

Auf der Startseite von CANFI wird unter „Frequency DUT“ die gewünschte Messfrequenz angegeben. Es genügt eine Zirka-Angabe, für das 2m-Band kann man z.B. 144.000 MHz angeben.

Unter „P_ENR [dB]“ ist der ENR-Wert der Rauschquelle abzüglich dem Wert der angeschlossenen Dämpfungsglieder und +/- eines eventuellen Korrekturwertes einzugeben.

Achtung: Die Rauschquelle kann für unterschiedliche Frequenzen unterschiedliche ENR-Werte haben!

Beispiel:

ENR der Rauschquelle	=	33,95 dB
Dämpfungsglieder	=	-24,90 dB
Korrekturwert	=	-0,10 dB
Anzugebender Wert	=	8,95 dB

Anschließend wird der Rauschgenerator inklusive nachgeschalteter Dämpfungsglieder direkt mit dem DVB-T-Stick verbunden (kein DUT eingefügt!).

Danach kann „Calibrate“ gestartet werden. Man sieht dann im Feld „SDR Values“ unter „Gain“ wie der „Calibrationsvorgang“ bei -11 dB gestartet wird und dann bis $+34$ dB alle 2 – 3 dB Kalibrierwerte ermittelt werden. Das ist notwendig, da der DVB-T-Stick nur in einem Fensterbereich von ca. 10 dB genau arbeiten kann. Dies wird durch dementsprechende Einstellung der Verstärker im Tuner-Chip erreicht und geschieht automatisch durch die Software.

ACHTUNG!

Dieser Vorgang dauert üblicherweise 4 Minuten. In dieser Zeit und auch später während der Messungen ist tunlichst zu vermeiden dass irgendwelche Oszillatoren in Betrieb sind oder gar mit einem Funkgerät gesendet wird – dann kann man nämlich die Messung bzw. den Kalibriervorgang gleich vergessen. Rauschmaßmessungen finden mit kleinsten Signalen statt, da stören unter Umständen schon einfachste Oszillatoren oder eingeschaltete Messsender! Siehe dazu auch weiter unten unter „Mögliche Ursachen für Messfehler“.

Messung:

Nach der Kalibrierung wird der zu messende Vorverstärker eingefügt und an die Stromversorgung angeschlossen.

Die Messung wird unter „Measure“ mit „Measure“ (grünes Feld) gestartet.

In der großen Anzeige wird unter „Gain“ (nicht zu verwechseln mit der kleinen Gain-Anzeige unter „SDR Values“ beim Kalibriervorgang) sofort das Gain des DUT (Verstärkungsfaktor in dB) und daneben unter „Noise Figure“ das Rauschmaß des DUT angezeigt.

Die Software lässt keine Messung zu, wenn noch keine Kalibrierung stattgefunden hat.

Sollten hier bei den Messergebnissen größere Schwankungen auftreten (Kleinere bis in den einzelne Zehntel-dB-Bereich sind normal), dann hat man ein Problem, welches gelöst werden sollte. Siehe dazu weiter unten bei „Mögliche Ursachen für Messfehler“.

Weitere Funktionen der Software:

Speziell im Bereich „Settings“ gibt es weitere Funktionen der Software. Unter anderem z.B. die Menüpunkte für automatische Aufzeichnungen der Kalibrier- und Messergebnisse. Mit diesen habe ich mich noch nicht weiter beschäftigt, da sie für die Messergebnisse nicht relevant sind. Außerdem wollte ich auch noch Anderen die Möglichkeit bieten, an der Software etwas zu entdecken.

Durchgeführte Messungen:

Die in der Spalte „Messwert vom Rauschmessplatz“ aufgeführten Messungen wurden dankenswerter Weise von Hans **OE2JOM** auf seinem professionellen Rauschmessplatz erstellt und konnten so für Vergleichszwecke herangezogen werden.

Verstärker	Messwert vom Rauschmessplatz	Eigene Messung 17. Feb. 15	Eigene Messung 18. Feb. 15	Eigene Messung 8. Mär. 15
VV01				
	Gain	32,50 dB	30,51 dB	30,83 dB
	NF 5,51 dB	5,49 dB	5,53 dB	5,50 dB
VV02				
	Gain	32,14 dB	dB	31,23 dB
	NF 5,40 dB	5,45 dB	dB	5,35 dB
VV03				
	Gain	36,51 dB	36,37 dB	35,88 dB
	NF 2,90 dB	2,95 dB	3,02 dB	2,90 dB
Twin270				
	Gain	14,85 dB	14,68 dB	14,12 dB
	NF 1,00 dB	0,80 dB	0,70 dB	1,20 dB
PGA103				
	Gain	25,05 dB	25,22 dB	25,04 dB
	NF 0,80 dB	0,70 dB	0,76 dB	0,94 dB
MV144V				
	Gain	17,54 dB	17,62 dB	18,35 dB
	NF 1,54 dB	1,55 dB	1,64 dB	1,84 dB
MGA62563				
	Gain	21,56 dB	21,64 dB	21,23 dB
	NF 0,80 dB	1,45 dB	1,52 dB	1,05 dB

Bild 19: Tabelle mit Messergebnissen

Es wurden bewusst die Ergebnisse von unterschiedlichen Tagen aufgenommen, um die Streuung der Messwerte zu zeigen.

Eine Stelle sei besonders erwähnt: Die Rauschwerte von PGA103 und MGA62563 im Vergleich erste zu dritter Messung: Beim PGA103 wurde ein größerer und beim MGA62563 ein kleinerer Rauschwert als beim ersten Mal gemessen. Siehe dazu auch weiter unten unter „Mögliche Ursachen für Messfehler“.

Messung mit Vorverstärker für den DVB-T-Stick:

Für sehr empfindliche Messungen (Rauschmaß kleiner 1 dB) kann ein zusätzlicher Vorverstärker zwischen DUT und DVB-T-Stick eingefügt werden. Dieser sollte natürlich selber ein möglichst geringes Rauschmaß haben. Außerdem sollte er keinen zu hohen Verstärkungsfaktor aufweisen, da sonst der DVB-T-Stick übersteuert werden kann. Ein guter Wert ist ca. 10 dB Verstärkung. Bei zu hoher Verstärkung kann mittels nachgeschaltetem Dämpfungsglied dieser Wert erreicht werden.

Wesentlich ist, dass dieser „**Vorverstärker für den DVB-T-Stick**“ während der Kalibrierung bereits „mitkalibriert“ wird!

Der zu messende Vorverstärker (DUT) ist während der Kalibrierung noch **nicht** im Messaufbau enthalten!

Für die eigentliche Messung wird dann der DUT vor diesem Mess-Vorverstärker eingefügt.

Zu beachten ist, dass hier der Begriff Vorverstärker mehrfach vorkommt und deswegen leicht zu Verwechslungen führt. Es ist zu unterscheiden zwischen jenem Vorverstärker, welcher als Messobjekt dient (es können auch zwei sein), welcher hier deswegen als Messobjekt oder DUT bezeichnet wird und jenem Vorverstärker, der als „Vorverstärker für den DVB-T-Stick“ verwendet wird.

Messergebnisse:

Als „Vorverstärker für den DVB-T-Stick“ wurde der MGA62563 mit nachgeschaltetem Dämpfungsglied von 10 dB verwendet.

Gemessen wurde der Vorverstärker PGA103.

Rauschmaß des PGA103 bei Messung ohne Vorverstärker: 0,94 dB

Rauschmaß des PGA103 bei Messung mit Vorverstärker: 0,94 dB

Diese beiden Messungen wurden im selben Zeitbereich durchgeführt.

Dass die beiden Messergebnisse derart exakt übereinstimmen kann reiner Zufall sein, da die Messergebnisse wie anschließend gezeigt auch gewissen Schwankungen unterliegen, ist aber trotzdem bemerkenswert.

Rauschmaßmessungen (ohne Vorverstärker) am PGA103 an anderen Tagen erbrachten folgende differierende Messergebnisse:

0,92 dB, 0,93 dB, 1,02 dB, 0,70 dB, 0,76 dB, 0,94 dB.

Man sieht hier auch ganz gut die Streuung der Messergebnisse.

Die Rauschmaßmessung des PGA103 mit dem kommerziellen Messplatz ergab eine NF von 0,8 dB.

Messung zweier hintereinander geschalteter Vorverstärker:

Es können auch zwei in Serie geschaltete Vorverstärker gemessen werden. Üblicherweise wird dann jener Vorverstärker mit dem geringeren Rauschmaß als Erster, der Andere als Zweiter Verstärker geschaltet. Ausnahmen normalerweise nur für Versuchs- und Lehrzwecke.

Der Unterschied zum vorigen Kapitel „Messung mit Vorverstärker für DVB-T-Stick“ liegt darin, dass sich keiner der beiden Vorverstärker während der Kalibrierung in der Messkette befindet.

Tatsächlich ist die Beschaltung „Messung zweier hintereinander geschalteter Vorverstärker“ und die Beschaltung „Messung eines Vorverstärkers und Einsatz eines Vorverstärkers für den DVB-T-Stick“ exakt die Selbe. Der Unterschied liegt hier nur in der Kalibrierung!

Beispiel 1: Messung mit zwei Verstärker in Serie:

Verstärker A:	VV03,	Gain = 35,88 dB,	NF = 2,9 dB
Verstärker B:	MGA62563	Gain = 21,23 dB,	NF = 1,05 dB

Umrechnung der dB-Werte in Faktoren: = $10^{(dB / 10)}$ ergibt:

Verstärker A:	VV03,	Gain = 3872,6	F = 1,95
Verstärker B:	MGA62563	Gain = 132,7	F = 1,27

Formel für $F_{\text{Gesamt}} = 1 + (F_{\text{Verst.A}} - 1) + (F_{\text{Verst.B}} - 1) / \text{Gain}_{\text{Verst.A}}$

Ergebnis wenn Verstärker A vor Verstärker B:	Berechnet:	2,9002 dB
	Gemessen:	3,33 dB

Ergebnis wenn Verstärker B vor Verstärker A:	Berechnet:	1,07 dB
	Gemessen:	1,13 dB

Wie man an den Ergebnissen sehen kann, ist es wesentlich, als Ersten jenen Vorverstärker mit dem geringeren Rauschmaß zu nehmen!

Beispiel 2: Messung mit Verstärker und Dämpfung durch Kabel:

Ein weiteres Beispiel soll zeigen, dass die selbe Formel auch dann verwendet werden kann, wenn anstatt des zweiten Verstärkers ein „Dämpfungsglied“ eingesetzt wird. Dieses ist in der Realität dann z.B. das Koaxialkabel zwischen Antenne und Vorverstärker. In der Formel macht sich das dann als „negative Verstärkung“ (= Dämpfung) bemerkbar.

Für die folgende Berechnung wurden 6 dB Dämpfung angenommen, was z.B. 35 m RG213 auf 70 cm entspricht.

Außerdem wird hier gezeigt, welche Auswirkungen es hätte, wenn der Vorverstärker erst nach dem Kabel von der Antenne zur Funkstation eingesetzt wird.

Koaxkabel A:	35 m RG213 b. 70 cm,	Gain = -6,00 dB,	NF = 6,00 dB
Verstärker B:	MGA62563	Gain = 21,20 dB,	NF = 1,10 dB

Umrechnung der dB-Werte in Faktoren: $= 10^{(dB / 10)}$ ergibt:

Koaxkabel A:	35 m RG213 b. 70 cm,	Gain = 0,25	F = 3,98
Verstärker B:	MGA62563	Gain = 131,83	F = 1,29

Formel für $F_{\text{Gesamt}} = 1 + (F_A - 1) + (F_B - 1) / \text{Gain}_A$

Ergibt wenn Kabel (A) vor Verstärker (B):	Berechnet: 7,10 dB
	Gemessen: 7,06 dB

Ergibt wenn Verstärker (B) vor Kabel (A):	Berechnet: 1,18 dB
	Gemessen: 1,30 dB

Beachte: Ein um 6 dB höheres Rauschmaß bedeutet in der Praxis, dass die Empfangsanlage sozusagen um 6 dB unempfindlicher wird!

Bewertung und Genauigkeit der Ergebnisse:

Zwischen Theorie und Praxis gibt es immer Differenzen. Man sollte in die absolute Genauigkeit der Ergebnisse auch keine übermäßigen Erwartungen stecken.

Die Genauigkeit hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, außerdem ist wesentlich, ob es um die absolute oder eine differentielle Genauigkeit geht.

Der wesentlichste Punkt für die Qualität der Messungen ist die absolute Genauigkeit der zur Verfügung stehenden Kalibriermittel in Form von vermessenen Rauschgeneratoren und Messobjekten. Hat man mehrere auf kommerziellen Messplätzen vermessene Vorverstärker zur Verfügung, so kann man durchaus eine Genauigkeit von +/- 0,3 dB erreichen.

Eine höhere Genauigkeit ist erreichbar, wenn man z.B. bei einer Serie von Vorverstärkern jene mit den besten Rauschwerten heraussuchen will und die dazu nötigen Messungen im selben Zeitraum (nicht verteilt auf mehrere Tage) durchführt. Denn da geht es dann „nur“ um die differentiellen und nicht um die absoluten Messwerte.

Auch die Umgebungstemperatur hat einen Einfluss auf die Ergebnisse. Da man aber üblicherweise bei „normalen“ Raumtemperaturen messen kann, sollte dieser Einfluss nur sehr klein sein. Bei kommerziellen Messplätzen ist aber durchaus auch eine Berücksichtigung der Raumtemperatur vorgesehen.

Punkte wie „Rauschanpassung des Verstärkers“ etc. wurden hier nicht behandelt, diese fallen mehr in die Kategorie Verstärkerbau.

Führt man die selben Messungen mehrfach, auch über mehrere Tage verteilt durch, so kann man an den unterschiedlichen Messergebnissen erkennen, mit welcher Streuung der Ergebnisse man rechnen kann.

Eine weiter oben bereits erwähnte Messserie hier noch einmal aufgelistet.

0,92 dB, 0,93 dB, 1,02 dB, 0,70 dB, 0,76 dB, 0,94 dB.

Man sieht hier Ergebnisse von min. 0,70 bis max. 1,02 dB, also mit einem Bereich +/- 0,16 dB, wenn man von einem Mittelwert ausgeht. Das sind für „den Heimgebrauch“ sehr gute Ergebnisse, mit welchen man absolut zufrieden sein kann.

Man sollte hier auch bedenken, dass unterschiedliche Werte auch z.B. durch „nicht optimale“ Verbindungen entstehen können. Wer stellt z.B. seine SMA-Verbindungen schon jedes mal mit einem dafür vorgesehenen Drehmomentschlüssel her (die Meisten besitzen gar keinen). Habe mich aber selber schon davon überzeugen können, wie beim Anziehen der Mutter einer SMA-Verbindung zuerst der Wert der Übergangs-Dämpfung sinkt und nach einem bestimmten Drehmoment aber wieder ansteigt. Wenn man dann noch bedenkt, dass durchaus 10 oder mehr Verbindungen in einem Messaufbau vorkommen, dann braucht man sich nicht mehr zu wundern, warum Messergebnisse auch im Zehntel-dB-Bereich alleine aus diesem Grund schwanken können.

Sogenannte „Ausreißer“ oder „unerwartete Messergebnisse“ können auch auf Einstrahlungen externer Signale zurückzuführen sein und sind auszusortieren. Nicht selten sind Aussendungen von Funkgeräten, welche man z.B. während des Kalibrier- oder Messvorgangs getätigt hat daran Schuld. Auch wenn es gewissermaßen zusammengehört, aber **funken und messen zur gleichen Zeit vertragen sich hier nicht!**

Ein meiner Meinung nach sehr wichtiger Punkt ist die Überprüfung der Plausibilität der Messergebnisse:

Beispiel: Mein „nicht optimal“ umgebauter und jetzt mit dem MGA62563 bestückter Verstärker. Dieser IC hat laut Datenblatt ein Rauschmaß von 0,9 dB. Dass durch den noch dazu nicht optimalen Aufbau das Rauschmaß des Verstärkers auf keinen Fall kleiner als die des ICs sein kann, ist klar. Würde man hier ein Messergebnis von z.B. 0,3 dB erhalten, wäre dieses nicht plausibel und man sollte nach der Ursache für dieses falsche Ergebnis suchen. Eine z.B. nicht (mehr) entsprechende Kalibrierung könnte die Ursache sein. Ein Ergebnis von 0,7 dB wäre aber durchaus noch mit den „normalen Streuungen“ erklärbar.

Eine Erhöhung der Genauigkeit erreicht man auch über Mehrfachmessungen mit anschließender Mittelwertbildung.

Da für die Güte eines Vorverstärkers nicht nur Rauschmaß und Verstärkung, sondern auch Parameter wie z.B. die Großsignalfestigkeit entscheidend sind, sollte auch das Rauschen desselben nicht überbewertet werden. Allerdings gibt es auch Anwendungsfälle, wo es auf jedes Zehntel dB ankommt, z.B. beim Empfang der Signale von weit entfernten Weltraum-Sonden etc.

Kalibriernormale:

Es hat sich als äußerst Vorteilhaft herausgestellt, wenn man nicht nur einen oder mehrere auf einem Rauschmessplatz vermessene Rauschgeneratoren besitzt, sondern auch mehrere vermessene Vorverstärker, möglichst auch solche mit einem Rauschmaß unter 1 dB. Damit hat man sofort eine Kontrolle, ob der gesamte Messaufbau in Ordnung sein kann. Hier erweisen sich gute Freunde mit Rauschmessplatz als äußerst hilfreich.

Meiner Meinung nach nützen vermessene Vorverstärker wesentlich mehr als vermessene Rauschquellen, da damit die Messkette „von der Quelle bis zum Messobjekt“ inklusive allen Verbindungen auf Einmal kalibriert werden kann.

Eine ausgezeichnete Gelegenheit, vorhandene Rauschquellen und Vorverstärker auf einem kommerziellen Rauschmessplatz messen zu lassen, ist die „UKW-Preisverleihung“ in Wolfsbach bei Stadt Haag, welche schon seit längerer Zeit alljährlich im Jänner stattfindet. Bei dieser Gelegenheit findet zugleich auch der **Mikrowellenstammtisch** statt. Und hier ist dankenswerterweise immer auch Hans **OE2JOM** mit seinem Messplatz zugegen und bietet an, Equipment von Funkerkollegen zu vermessen.

Mögliche Ursachen für Messfehler:

Da es sich bei Rauschmaßmessungen, wie weiter oben bereits erwähnt, um Messungen mit extrem kleinen Signalen handelt, gibt es eine Menge an möglichen externen Störquellen, aber auch intern gibt es jede Menge Fehlerquellen.

Generell sollte man Messergebnisse auch daraufhin überprüfen, ob sie glaubhaft sind. Wer einen Vorverstärker mit einem IC aufbaut, welcher im Datenblatt ein Rauschmaß von z.B. 3 dB angegeben hat und ein Messergebnis mit 2 dB Rauschmaß bekommt, der sollte sich vor Augen halten, dass es auch hier keine Wunder gibt.

1.) Der DVB-T-Stick hat eine **temperaturbedingte Abweichung**. Dies kann durch eine Einlaufzeit von z.B. 1 Stunde Betrieb vor der Kalibrierung umgangen werden.

2.) **Falsche Kalibrierwerte**. Es kann leicht passieren, dass z.B. die Kalibrierwerte der falschen Frequenz, Zahlendreher etc. eingegeben werden. Speziell bei einem Frequenzwechsel kann das sehr leicht passieren.

3.) Extrem wichtig ist **beste Schirmung** des Messaufbaus. Deshalb verwende ich für die Verbindungen wenn möglich keine Kabel. Ist dies nicht möglich, dann möglichst nur Semi-Rigid-Leitungen, weil diese die besten Schirmwerte aufweisen.

4.) **Kontaktfehler** in den Verbindungen des Messaufbaus. Wenn mehrere Verschraubungen hintereinander sind, kann es z.B. passieren, dass eine davon wieder gelockert wird während eine neue Verschraubung hergestellt wird.

5.) Einstreuungen über **Stromversorgungsleitungen**. Abhilfe schaffen zum Teil geschirmte Stromversorgungsleitungen mit eingebauten Abblock-Kondensatoren, z.B. 100 nF SMD-Kondensatoren im Stecker und an der Buchse.

6.) Stark **schwankende Messwerte** sind auch ein sicheres Anzeichen für Probleme irgendwelcher Art.

7.) **Übersteuerung**: Speziell bei Messungen zweier in Serie geschalteter DUT's könnte es vorkommen, dass der DVB-T-Stick oder auch der zweite DUT übersteuert und somit die Messung unbrauchbar wird. Eine Messung mit einer Gesamtverstärkung zweier Vorverstärker von rund 55 dB führte noch nicht zu Problemen. Bei Messungen mit 2 DUT's sollten diese vorher auch einzeln gemessen werden und das Gesamtergebnis auf Plausibilität überprüft werden.

8.) Sind in der Spektrum-Anzeige (rechts unten) Störspitzen zu sehen (wie im untenstehenden Bild auf der Anzeige ganz links zu sehen) oder das Maxima der Anzeige nicht in der Mitte sein, dann hat man ein Problem und sollte nach der Ursache suchen. Einmal hatte sich ein solcher Fehler durch Abblockung und Schirmung der Stromversorgung (wie in Punkt 4 beschrieben) beheben lassen.

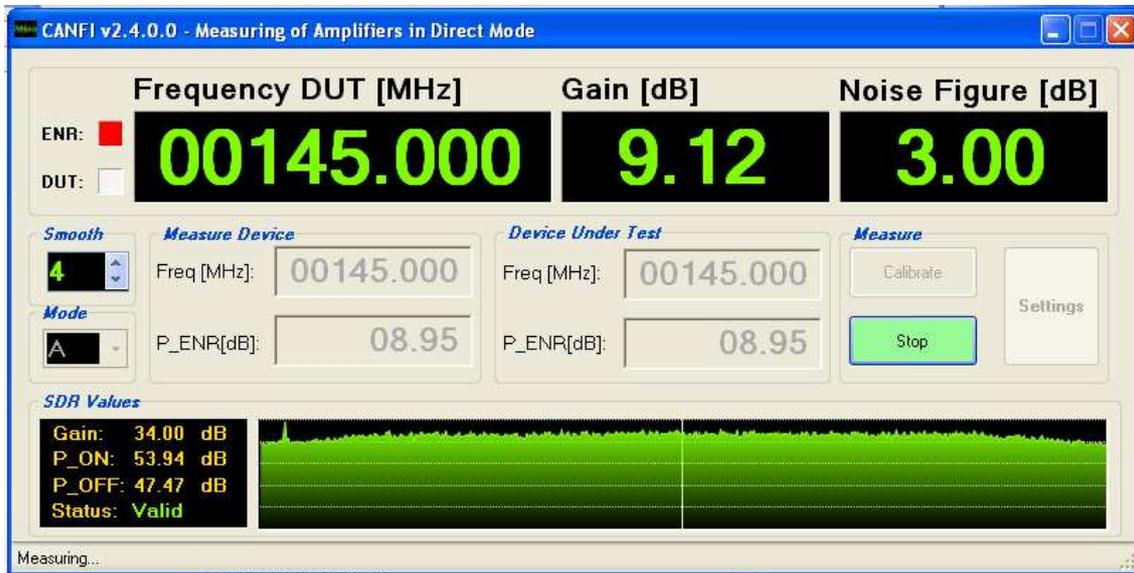


Bild 20: CANFI Störungs-Spitze in Spektrumsanzeige

9.) Selbst **schwingende DUTs** verursachen natürlich auch Messprobleme – ein solcher Fall ist mir noch nicht untergekommen.

10.) **Messwerte ändern sich, wenn Kabel bewegt werden.** Es kann sich hier z.B. um gelockerte Verbindungen oder schadhafte Messkabel handeln.

11.) **Schadhafte Netzgeräte** welche keine stabile Spannung erzeugen oder Schwingungen erzeugen. Kontrolle mit Oszilloskop oder Tausch des Netzgerätes.

12.) **Einstrahlungen von Außen:** Siehe dazu auch Pkt. 3, Schirmung. Hier genügen unter Umständen sehr kleine Signale, um eine Messung unbrauchbar oder sogar unmöglich zu machen. Ein eingeschalteter Messsender kann z.B. die Ursache sein. Was mir auch selber schon mehrfach passiert, dass ich während des 4 Minuten dauernden Kalibriervorgangs zwischendurch mal CQ gerufen habe und dabei nicht daran dachte, dass dies die Kalibrierung unbrauchbar macht. Somit konnte der Vorgang sofort noch mal gestartet und die nächsten 4 Minuten gewartet werden. Schlimmer ist aber noch, wenn man mit „gestörter“ Kalibrierung Messungen durchführt. Über „unerwartete Messergebnisse“ braucht man sich dann nicht zu wundern.

13.) **Anpassung bei Ein / Aus der Rauschquelle:** Wird an den Rauschgenerator eine zu geringe Dämpfung nachgeschaltet (kleiner 23 dB), so kann es zu Verfälschungen des Messergebnisses kommen.

Messobjekte:

Hier noch einige Bemerkungen zu den verwendeten Messobjekten, mit all ihren „Unvollkommenheiten“.

Zum Glück steht mir eine ganze Reihe von Vorverstärkern zur Verfügung. Das noch größere Glück ist aber, dass von allen auch die auf einem kommerziellen Rauschmessplatz erfassten Rauschmaße vorhanden sind, da Hans OE2JOM diese dankenswerter Weise vermessen hat.

Die Versuche mit den Messungen wurden auf dem 2m-Band durchgeführt, da einer der Verstärker nur für dieses Band ausgelegt war.

Außerdem wurden den Verstärkern Kurzbezeichnungen verpasst, was die zahlreichen Mess-Serien etwas erleichterte.

Verstärker TWIN 270:

Eines meiner besten Stücke ist der „TWIN270“. Dieser Verstärker hat parallelgeschaltete Filter für das 2m- und 70cm-Band. Versuche mit Breitbandverstärkern verliefen nicht zur Zufriedenheit und so war ich froh, diesen aufzutreiben. In diesem Fall war es ein Vorteil, dass er noch immer nicht auf dem Mast montiert worden ist.

Wie auf dem Typenschild angegeben, sollte er ein Rauschmaß $< 0,6$ dB haben.



Bild 21: Antennenvorverstärker TWIN 270

Verstärker PGA103:

Ein „Bausatz“ von G4DDK / G8EMY mit dem PGA103+ P-HEMT MMIC, HF-dicht eingebaut in ein Gehäuse aus Weißblech und ausgestattet mit SMA-Anschlüssen. Laut Datenblatt weist der IC ein Rauschmaß von 0,47 dB bei 144 MHz und 0,53 dB bei 432 MHz auf. Dies wären die theoretisch niedrigsten erreichbaren Rauschmaße, die klarerweise von einem realen Verstärker nicht erreicht werden.

Der „mechanische“ Aufbau schaut ein bisschen „wild“ aus, erfüllt aber seinen Zweck sehr gut. Wichtig ist bei solchen Aufbauten immer, dass Eingang und Ausgang **dauerhaft** beschriftet sind, was durch „eingefräste“ Beschriftung wie hier an den „12 V“ zu sehen ist. Pickerl welche sich ablösen und Beschriftungen welche mit der Zeit sich „auflösen“ sind hier Fehl am Platze, da man bei verlöteten Gehäusen später nicht so ohne weiteres nachsehen kann, wo denn nun Ein- und Ausgang sind.



Bild 22: Antennenvorverstärker PGA103

Verstärker MGA62563:

Der ursprünglich von B&M-electronics stammende Verstärker sollte laut Aufdruck ein Gain von > 40 dB und ein Rauschmaß „NF typ $> 1,0$ dB“ bei 12 V Versorgungsspannung aufweisen. Die Herkunft wahrscheinlich von einem Amateurfunk-Flohmarkt.

Das Gain von > 40 dB konnte durch die Messungen bestätigt werden, das Rauschmaß lag aber bei > 11 dB !

Ein Blick in das Gehäuse brachte folgendes zu Tage:

Die beiden in Reihe geschalteten MMIC's hatten bereits ein Rauschmaß von 3 dB laut Datenblatt.

Das noch mehr irritierende aber war, dass direkt am Eingang mit SMD-Widerständen ein Dämpfungsglied realisiert war. Eine Nachberechnung an Hand der Widerstandswerte ergab eine Dämpfung von 8 dB. Dieser Wert ist direkt zum Rauschmaß des ersten MMIC zu addieren, somit konnte der Verstärker gar keines unter 11 dB aufweisen.

In Folge dieser Erkenntnisse wurde das Dämpfungsglied entfernt und durch eine Drahtbrücke ersetzt. Ebenso wurde mit dem zweiten MMIC verfahren. Anstelle des ersten MMIC wurde ein **MGA62563** eingebaut, welcher laut Datenblatt ein Rauschmaß von 0,9 dB aufweist. Die Stromversorgung musste auch angepasst werden und wurde im wesentlichen durch einen 3,3-Volt-Spannungsregler realisiert. Da der MGA62563 sechs Anschlüsse hat, musste etwas etwas „gekünstelt“ werden, wie man auch auf dem untenstehenden Foto ersehen kann.

Das wesentliche ist aber, dass er nun ein „brauchbarer Verstärker“ ist und noch dazu ein gutes Rauschmaß aufweist.

Dieser Verstärker wäre z.B. ohne Probleme als Vorverstärker für den DVB-T-Stick einsetzbar.

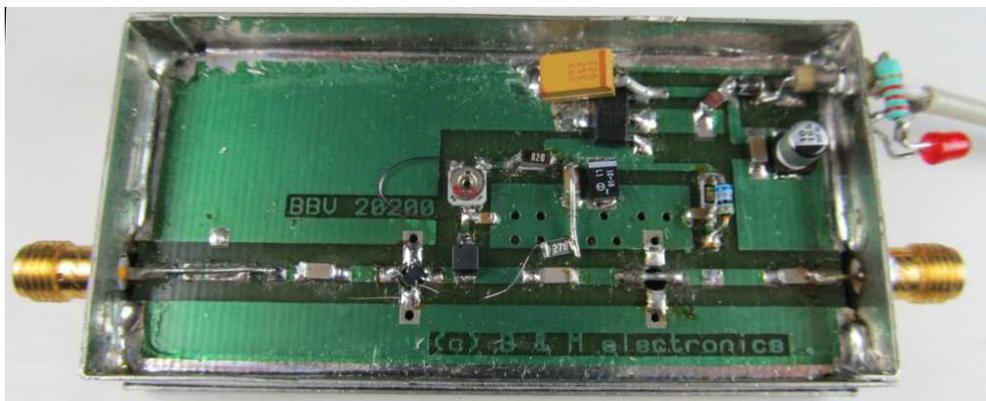


Bild 23: Antennenvorverstärker MGA-62563

Verstärker MV 144 V:

Bei diesem Mast-Vorverstärker handelt es sich um einen sehr guten Typ mit sehr geringem Rauschmaß. Allerdings ist er auf das 2m-Band eingeschränkt, was aber auch ein Vorteil sein kann.



Bild 24: Antennenvorverstärker MV144V

Verstärker VV01, VV02 und VV03:

Diese 3 Vorverstärker stammen aus dem D-Netz. Allerdings mussten sie für Amateurfunkzwecke erst umgebaut werden. Eine entsprechende Anweisung hierfür gab es in der QSP Januar 2004, ab Seite 41 von OE5MLL. Ein Nachteil dieser Verstärker ist, dass sie eine höhere Spannung zur Stromversorgung benötigen – typisch 18 Volt und damit die meist zur Verfügung stehenden 12 V nicht verwendet werden können.



Bild 25: Antennenvorverstärker VV01, VV02, VV03

Schlusswort:

Es gäbe immer noch etwas, über das man berichten könnte, aber irgendwann muss man einmal einen Schlusstrich setzen, da ansonst so ein Bericht nie zum Abschluss käme oder gar vom Lauf der Zeit überholt werden würde.

Sollten Fehler im Bericht auftauchen, so bitte ich mir dies zu verzeihen, da auch ich nicht unfehlbar bin. Aber ein Hinweis darauf per email wäre nett.

Im Wesentlichen sollte gezeigt werden, dass sich auch heute noch (oder erst recht) das basteln lohnt, denn noch nie gab es so hocheffiziente Baugruppen zu einem derart günstigen Preis.

Mein großer Dank gilt in erster Linie den drei Funkamateuren, welche CANFI entwickelt haben. Vor ihnen habe ich den größten Respekt, denn das würde meine bescheidenen Fähigkeiten bei weitem überfordern. Aber mit diesem Artikel hoffe ich, für deren Projekt so manchen Funkamateurer interessieren zu können.

Weiterer Dank gilt all jenen Funkamateuren, die mich bei meiner Arbeit unterstützt und mir in der einen oder anderen Form geholfen haben.

Nun seid Ihr, die Leser dieses Berichtes, dran. Hoffe, dass sich so mancher findet, der dies zum Anlass nimmt, wieder einmal etwas Interessantes aufzubauen.

Euer Erwin Hackl, OE5VLL email: erwin.hackl@pc-club.at