



Gunthard Kraus, DG 8 GB

Der DVB-T-Stick mit E4000-Tuner als Messempfänger

**Beschaffung, Eigenschaften, Umbau und
Betrieb unter der Software „SDR#“**

DVB-T-Sticks als digitale Empfänger sind im Augenblick die Champions und stehen im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. Besonders zu erwähnen ist der zweiteilige Artikel von Dirk Müller [1], [2], der stark motivierend wirkte und als Pflichtlektüre beim Einstieg in dieses Thema empfohlen werden kann. Diese Lektüre reizte mich so, dass ich beschloss, selbst einen solchen Stick ganz genau unter die Lupe zu nehmen. Wie das ablief, was dabei herauskam und was anderen beim Einstieg helfen könnte, soll dieser Artikel aufzeigen.

1. Einführung

Nach der Lektüre beider Artikelhälften [1, 2] war klar: so ein Stick muss her und es muss damit ausgiebig gespielt werden. Gespielt bedeutet aber in diesem Fall, dass er in ein abgeschirmtes Gehäuse eingebaut, mit einem SMA-Eingang versehen und über das hochwertigste erhältliche USB-Kabel mit dem PC verbunden wird. Nur so erhält man mit Hilfe eines professionellen Messsenders

reproduzierbare und exakte Informationen direkt neben einem laufenden (und störenden...) Rechner. Und da der Einsatz als Nachsetzer, Empfänger oder Spektrum-Analysator bis maximal 2 oder sogar 2,2 GHz möglich sein soll, kam nur eine Version mit dem E4000-Tuner in Betracht.

2. Beschaffung

Dies sollte eigentlich kein Problem darstellen, denn diese Sticks werden häufig angeboten. Nur: die Informationen über den darin verbauten Chipsatz sind leider sehr dürftig! Im Internet gibt es zwar entsprechende Listen [5], [6], die jedoch nicht immer ganz aktuell sind: manche Firmen haben leider die unangenehme Angewohnheit, den Chipsatz „heimlich“ in der Serie zu wechseln.

Deshalb wurde in der Internet-Suchmaschine „Google“ nur der Begriff „RTL2832U E4000“ als gewünschte Bestückung eingegeben - und siehe da: gleich der erste Treffer bei „Ebay“ listete 4 oder 5 Versender aus China auf. Der Preis inklusive Fracht liegt unter 20 Euro. Schön sind die im Angebot präsentierten Bilder

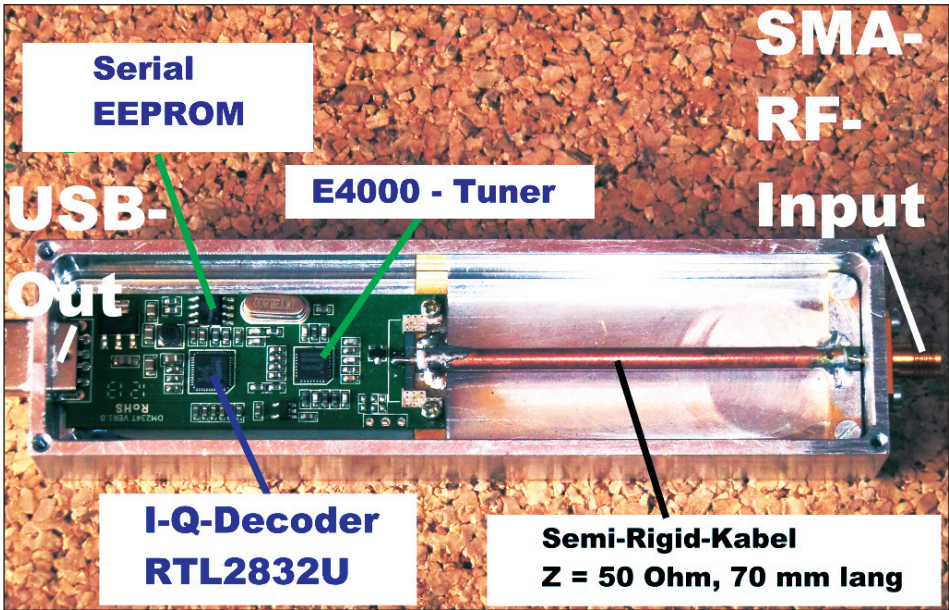


Bild 1: ... das Ziel: so wird der Stick im gefrästen Alugehäuse für die Messungen vorbereitet

der Leiterplatte samt verwendeter ICs. Durch diese Kontrollmöglichkeit und den Hinweis „Verkäufer mit Top-Bewertung“ wird das Risiko stark vermindert; Zahlung per Paypal und bereits einige Tage später traf die Lieferung aus China ein. Diese enthielt, außer dem gewünschten Stick (...es war eine Terratec-Version) eine kleine Stabantenne mit Fuß, ein kurzes USB-Kabel sowie eine Software-CD.

Nicht zu vergessen ist ein doppelt geschirmtes und zusätzlich mit Ferritring versehenes USB-Kabel (5 m für ca. € 6 über das Internet).

3. Umbau und Einbau: eine schweißtreibende Sache

Die erste Aktion ist natürlich das Entfernen des Kunststoffgehäuses und

das Freilegen der Platine. Mit Hilfe eines Messers oder Schraubendrehers geht das problemlos, denn es sind nur vier kleine Haltenasen zu überwinden. Allerdings ist gleich eine ernste Warnung nötig:

Man sollte unbedingt ESD-Schutzmaßnahmen (= Schutz vor Beschädigung durch statische Aufladungen) vorsehen, sonst sind die CMOS-Bausteine schnell zerstört!

Und jetzt beginnt die eigentliche Beschreibung, zu der **Bild 1** gehört.

Zuerst wurde ein gefrästes Aluminiumgehäuse für Platinen mit den Abmessungen 30 mm x 130 mm aus dem Vorrat geholt und auf einer Schmalseite der nötige rechteckige Durchbruch für die USB-Ausgangsbuchse des Sticks gefeilt. Das andere Ende des (inzwischen aus dem Kunststoffgehäuse befreiten) Sticks liegt auf einem (ebenfalls gefeilten) Messing-



klötzchen mit Durchgangsbohrungen für zwei M2-Schrauben auf. Darauf wird die Platine parallel zum Gehäuseboden angeschraubt und gehalten. In der Mitte der Oberseite des Klötzchens wurde mit der Rundfeile eine Vertiefung angebracht - dort wird später der Kupfer-Außenmantel eines ca. 75 mm langen Semi-Rigid-Kabels mit 50 Ω angelötet, während der Innenleiter des Kabels mit dem Antennen-eingang des Sticks verbunden ist.

Ein weiteres Klötzchen dient als Auflage für das andere Ende des Semi-Rigid-Kabels an der gegenüberliegenden Gehäuse-Schmalseite. Dort stellt der Kabel-Innenleiter die Verbindung zur SMA-Flanschbuchse her, sie dient als Antenneneingang.

Die eigentlichen Probleme traten erst beim Verlöten der Kabelmäntel mit den beiden Messingklötzchen auf; es erwies sich wegen der enormen Wärmeabfuhr durch den Klotz und das Aluminiumgehäuse als nahezu unmöglich und zerstörte das extra angefertigte Stück Semi-Rigid-Kabel.

Also wurden die Klötzchen wieder ausgebaut, sorgfältig (nach dem Erhitzen mit einem sehr kleinen, aber äußerst praktischen Gasbrenner der Firma PROXON) verzinkt und anschließend das überflüssige Zinn wieder mit einer Messing-Drahtbürste entfernt. Nach dem erneuten Zusammenbau wurde der alte 250 Watt-LötKolben verwendet, der genügend gespeicherte Hitze aufbrachte, um jeweils innerhalb einer Sekunde den blank geputzten Kabelmantel auf seinem Klötzchen sauber, dauerhaft und ohne Schaden für die Umgebung oder die Platine aufzulöten.

Die weißen Flecken in Bild 1 auf dem Masseblech der USB-Buchse neben der Gehäusewand bestehen aus Leitsilber,

mit dem der Spalt von 0,1 mm zwischen USB-Buchse und gefeiltem Durchbruch elektrisch abgedichtet wurde.

4. Das Programm „SDR#“: Beschaffung und Installation

Nach dem genauen Studium von [1] und [2] fiel die Entscheidung leicht. Der persönliche Verwendungszweck des fertigen Aufbaus sollte vor allem der Einsatz als universeller Empfänger oder als Spektrum-Analysator bis 2 GHz sein, also wurde „SDR#“ gewählt. Aus der Homepage der UKW-Berichte [3] wurde das dort bereitgestellte Installationspaket heruntergeladen und nach Anleitung ausgetestet. Allerdings war nach der Lektüre [2] schnell klar, dass die Entwicklung des Programms in der Zwischenzeit sehr große Fortschritte gemacht hat. Also wurde im Internet nachgeschaut, denn da gibt es unter www.sdrsharp.com eine eigene Homepage für „SDR#“ und darin die Download-Möglichkeit eines Installationspakets für die gerade gültige allerneueste Programm-Testversion. Die zugehörige Zeile in der Mitte der Download-Seite lautet:

You can use this quick installation script to test the latest development version:

<http://sdrsharp.com/downloads/sdr-install.zip> und nach dem Herunterladen und Auspacken ist die Installation (im Augenblick: Version v1.0.0.1135) kein Problem. Es gibt wahrlich viele Verbesserungen und der Umstieg lohnt sich! Vorher sollte man jedoch die bisher benutzte Version vom eigenen PC sorgfältig löschen...

Ein Tipp:

Diese Neu-Installation sollte man einmal im Monat machen, um stets in den Ge-

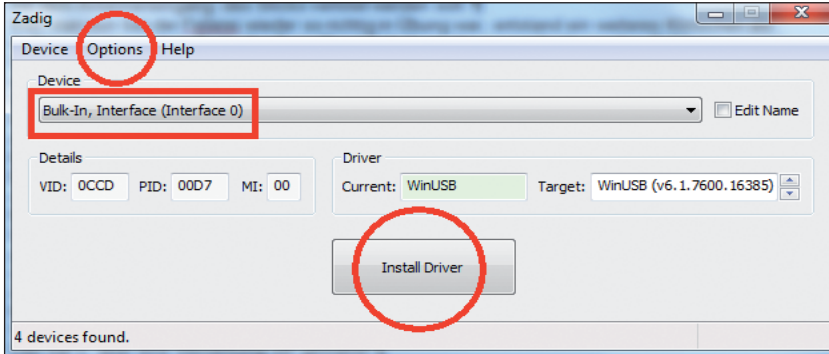


Bild 2: Ohne die Installation des richtigen Treibers läuft nichts (siehe Text)

nuss der aktuellsten Tricks und Feinheiten zu kommen. Vorsichtshalber kann man ja die bisherige SDR#-Installation in einem „Backup-Ordner“ für alle Fälle sichern...

Nach erfolgreicher Installation geht es wie folgt weiter:

a. Man schließt den Stick an den Rechner an, wechselt in den neu entstandenen SDRinstall-Ordner und kämpft sich darin bis zum Unterordner „sdrsharp“ durch. Darin wird das Programm „zadig.exe“ gestartet und im auftauchenden Menü (Bild 2) die Karteikarte „Options“ geöffnet. Mit „List all Devices“ kommt man an alles heran, was mit USB arbeitet; in der Liste wird der Stick z.B. „Bulk-In, Interface (Interface 0)“ ausgewählt. Normalerweise akzeptiert ihn das Programm in dieser Form und die Aufforderung „Install Driver“ wird ohne Protest ausgeführt. Ein sicheres Zeichen ist die abschließende Meldung „Driver installed successfully“.

b. Jetzt kann das eigentliche Programm im gleichen Unterordner „sdrsharp“ durch Anklicken von „SDRsharp.exe“ aufgerufen werden und auf dem Bildschirm sollte Bild 3 zu sehen sein.

Zu diesem Zeitpunkt läuft noch nichts,

aber das soll sich im nächsten Kapitel ändern (sollte sich trotzdem schon etwas bewegen, hält man „die Maschine“ bewusst mit dem im linken oberen Bildschirmfeld angeordneten „Play / Stop“-Button an).

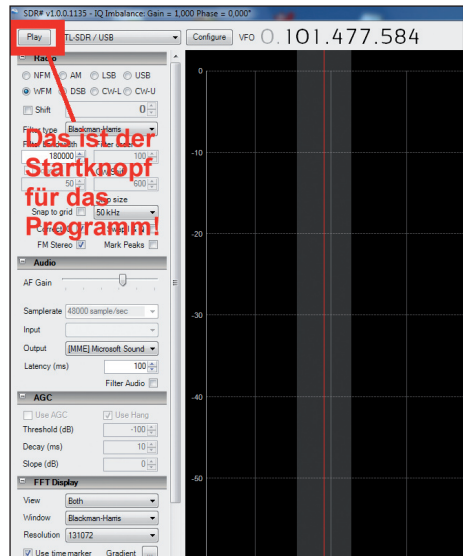


Bild 3: Diesen Startbildschirm benötigt man, es darf sich darin jedoch noch nichts bewegen



5. Bewährter Einstieg und Funktionstest: UKW-Radio-Empfang

Dafür wurde zuerst aus einem 25 cm langen Semi-Rigid-Kabel mit SMA-Winkelstecker eine kleine Antenne gebaut, indem der Kupfermantel samt Teflon-Innenisolation entfernt wurde. Der stehen gebliebene Innenleiter besteht aus hochfestem versilbertem Stahldraht und bildet so eine recht robuste provisorische Stabantenne (**Bild 4**).

Allerdings wurde diese Lösung nach der HAM-Radio durch eine verbesserte Version ersetzt. Jetzt wurde nur der Kupfermantel des Semi-Rigid-Kabels entfernt und die Innenisolation verblieb auf dem versilberten Innenleiter. Kurz vor Ende der Vorführung wurde nämlich das E4000 Tuner-IC durch statische Überspannung bei der Berührung durch einen Besucher zerstört.

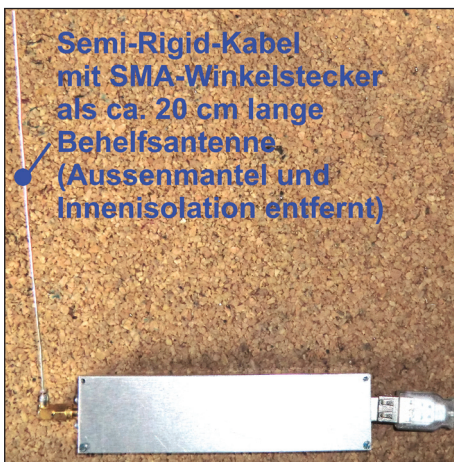


Bild 4: Das ist der betriebsbereite Aufbau mit der provisorischen Antenne (siehe Text)

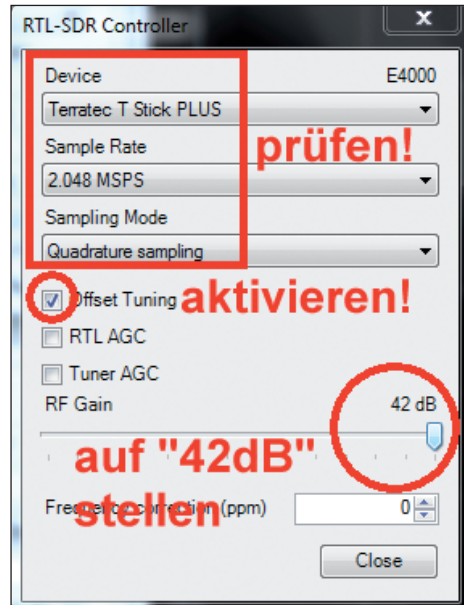


Bild 5: Die Einstellungen im „Configure“-Menü müssen genau stimmen

5.1. Die Grundeinstellungen

Auf dem Bildschirm ist noch alles ruhig und man blickt in die linke obere Ecke des Bildschirms. Neben der „Stop / Play“-Taste findet man dort den Zugang zu den vorhandenen USB-Devices; hier sollte „RTL-SDR / USB“ stehen. Ist das nicht der Fall (weil z.B. die Meldung „Others (sound card)“ zu lesen ist), geht man in dieses Menü und stellt auf „RTL-SDR / USB“ um.

Erst jetzt ist ein Klick auf „Configure“ (= am linken oberen Eck des Spektrums) sinnvoll, denn man muss die Einstellungen nach **Bild 5** vornehmen. In der oberen Hälfte des Menüs prüft man, ob der Stick korrekt erkannt und eine Sample-Rate von 2,048 Mega-Samples eingestellt

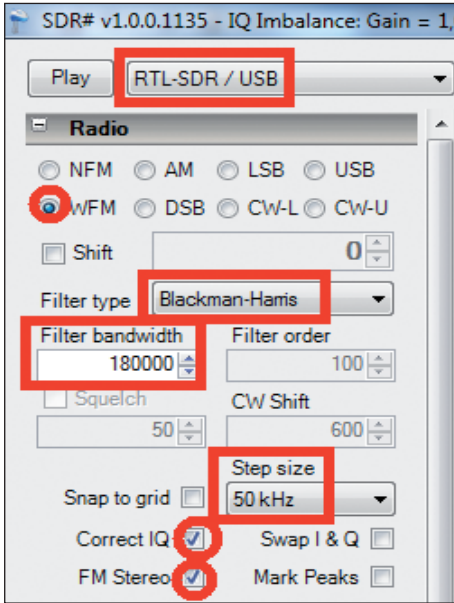


Bild 6: Nach dem Programmstart sorgt man mit diesen Einstellungen für Stereo-Klang auf UKW

ist. Beim Sampling-Modus stellt man auf „Quadrature Sampling“, weil nur damit der nachfolgende Demodulator RTL2832U (mit auf der Platine) etwas anfangen kann.

Wichtig:

Diese Änderungen bei der Stick-Auswahl oder bei der Sample-Rate oder beim Sampling-Modus sind NUR möglich, wenn das Programm gestoppt ist!

Anschließend schaltet man „Offset Tuning“ ein (...damit wird die störende Nullstelle bei der Frequenzumsetzung aus dem Sichtbereich des Spektrums verschoben) und dreht die Verstärkung (= RF Gain) auf Vollanschlag = 42 dB. Jetzt wird das Menü geschlossen und es geht mit dem „Radio“-Menü im linken oberen Eck weiter (**Bild 6**). Von oben nach unten betrachtet folgen:

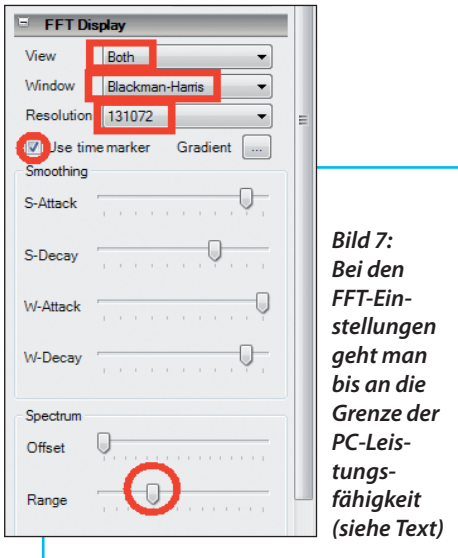
- a. der SDR-Stick sollte erkannt und angezeigt sein;
- b. man aktiviert „WFM“ = Wideband FM;
- c. beim Filter-Typ kann man mit „Blackmann-Harris“ nichts falsch machen;
- d. eine Bandbreite von 180 kHz ist zum Radiohören genau richtig;
- e. eine Schrittweite von 50 kHz entspricht dem üblichen Kanalraster des FM-Rundfunks;
- f. zum Abschluss setzt man Häkchen bei „Correct IQ“ (und wer möchte: auch bei „FM Stereo“).

Nun soll das FFT-Display am linken unteren Bildrand (**Bild 7**) betrachtet werden; hier geht es - wieder von oben nach unten - um folgende Einstellungen:

1. „Both“ schaltet die gleichzeitige Darstellung von Spektrum und Wasserfall ein (...man muss natürlich später mit der Maus den „Vorhang“ etwas hochheben = den unteren Rand des Spektrum-Diagramms hochziehen, da sich dahinter der Wasserfall versteckt).

2. „Blackman-Harris“ als FFT-Filter.

3. „Resolution“ hängt mit der für jede neue Spektrums-Berechnung verwendeten Anzahl von Samplewerten zusammen und das Wort hat sehr wohl seinen Sinn: je mehr Samples verrechnet werden, desto feiner wird die Frequenzauflösung und der Anblick des PC-Bildschirmes angenehmer. Aber: mit steigender Samplezahl steigen die Anforderungen an die Rechenleistung enorm an und der Bedarf an Arbeitsspeicher nimmt entsprechend zu. Am besten testet man selbst, welche Einstellung noch ohne Ruckeln oder Aussetzer verkraftet wird. Bei Rechnern mit einer Taktfrequenz von mehr als 2 GHz sollten 131 072 Samples problemlos möglich sein, was eine angenehme Darstellung der Spektrums-Anzeige ergibt.



*Bild 7:
Bei den
FFT-Ein-
stellungen
geht man
bis an die
Grenze der
PC-Leis-
tungs-
fähigkeit
(siehe Text)*

4. Wer Spaß daran hat, kann sich Time-Marker in die Wasserfall-Darstellung einblenden lassen.

5. „Range“ legt den Wertebereich der senkrechten Achse im Spektrum fest, hier hat sich die Einstellung „Null bis -70 dB“ sehr bewährt, denn zwischen -50 und -60 dB verläuft der Rauschpegel. Dieser hohe Rauschpegel hat einen einfachen Grund: die Schaltung arbeitet mit einem 8 Bit AD-Wandler, wobei für den erzielbaren maximalen Abstand in dB zwischen Nutzsignal und Quantisierungsrauschen die Beziehung gilt:

$$S/N = 1,76 + 6,02 \times (\text{Anzahl der Bits})$$

Bei 8 Bit sind das leider nur ca. 50 dB...

5.2. UKW-Empfang

5.2.1. Los geht's!

Wenn die Antenne angeschlossen ist, setzt ein Klick auf den Play-Button

im linken oberen Eck des Bildschirms „die Maschine“ in Gang. Auf dem Bildschirm sollte jetzt das Rauschen samt einigen Sendern als Spektrallinien auftauchen, sich bewegen und im Lautsprecher hörbar sein. Falls nicht: links, im Audio-Menü, findet man den Schieberegler für die Lautstärke = AF-Gain. Die voreingestellte Frequenz ist zunächst ganz egal, denn zuerst soll die Spektraldarstellung beschrieben werden. Deshalb fährt man zuerst bewusst den Mauszeiger komplett aus den Diagrammen heraus und betrachtet die Details des Spektrums in **Bild 8**.

a. Die gerade gültige Empfangsfrequenz wird durch eine dünne, rote, vertikale Linie markiert und zusätzlich mit einer Auflösung von 1 Hz oberhalb des Spektrums als „VFO“ ausgegeben.

b. Diese dünne rote Linie ist von einem graugrünen Bereich eingerahmt, der die gewählte Bandbreite (hier: 180 kHz) optisch markiert.

c. Der dargestellte Frequenzbereich („Frequency Span“) an der waagrechten Achse beträgt ohne Zoom immer exakt 2 MHz bei der im „Configure“-Menü gewählten Einstellung von 2,048 Megasamples. Eine zusätzliche Teilung der Frequenzachse in 10 Abschnitte ermöglicht einen besseren Überblick über den gerade überstrichenen Frequenzbereich.

d. Rechts oben neben dem Spektrum befindet sich (im blauen Kreis) der Zoom-Schieberegler. Schön ist dabei, dass beim Zoomen der gewählte Ausschnitt um die rote senkrechte Linie herum IMMER automatisch in die Mitte des Diagramms verschoben wird - selbst wenn sich die rote Linie vorher gerade nahe am Rand des Spektrums aufhält!

Zum Wasserfall-Diagramm selbst ist nicht viel Anleitung nötig. Markiert ist in Bild 8

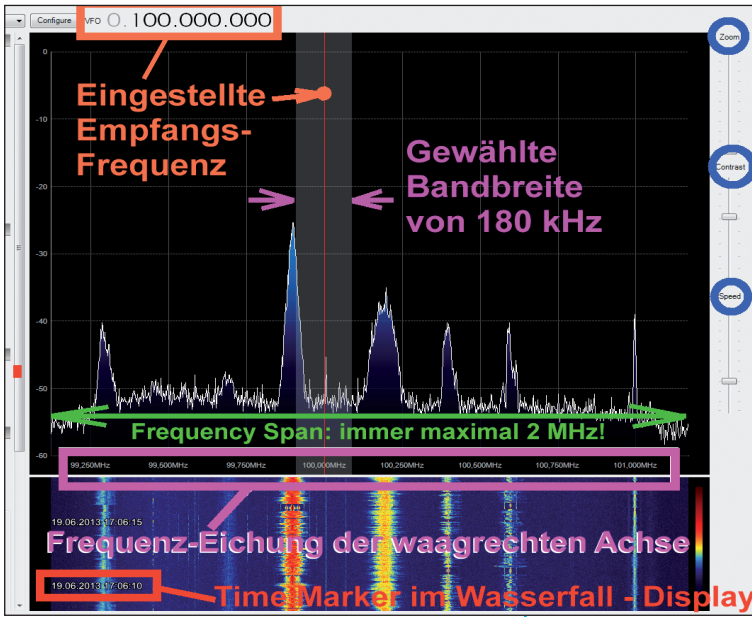


Bild 8: Dieses Bild sollte man mit dem eigenen PC-Bildschirm vergleichen, um sich an die diversen Informationen und Optionen zu gewöhnen

der eingeschaltete „Time Marker“, während für Kontrast und Vorschub („Speed“) zwei weitere (ebenfalls blau markierte) Schieberegler vorhanden sind.

5.2.2. Drehen an der Frequenzeinstellung

Hier muss man mehrere Betriebsfälle unterscheiden und getrennt besprechen.

Fall A: Abstimmung auf eine andere Frequenz im gerade dargestellten Spektrum mit 2 MHz Breite:

Das ist eine extrem einfache Übung, die auch Spaß macht. Dazu reicht die Maus, die man im Spektrum auf die gewünschte Frequenz fährt und an der eine zweite dünne, senkrechte Linie hängt. Neben dieser dünnen roten Linie ist die aktuelle Cursorposition - also die gerade gültige

Frequenz - eingeblendet. Ein linker Mausklick genügt - schon ist auf diese „Maus-Cursor“-Frequenz neu abgestimmt und sie wird mit 1 Hz Auflösung oberhalb des Spektrums als „VFO“ angezeigt. Wer möchte, kann zusätzlich den Zoom einsetzen und den Abstimmbereich eingrenzen.

Ein Tipp: Wer mit der absoluten Genauigkeit der Frequenzanzeige nicht ganz zufrieden ist (...schließlich ist der Quarz in der PLL-Abstimmung des Sticks auch nicht vollkommen...), der öffne das „Configure“-Menü neben der VFO-Anzeige. Darin kann man eine „Frequency Correction“ in ppm (= parts per million)-Schritten vornehmen, wenn die empfangene Frequenz mit voller Genauigkeit bekannt ist und die VFO-Anzeige davon abweicht.

Fall B: Wahl eines anderen Frequenzbereichs:



Soll nur der gewählte Ausschnitt des Spektrums verschoben werden, so fährt man den Cursor auf die Frequenz-Eichung der waagrechten Spektrums-Achse, aber es reicht genauso eine freie Stelle irgendwo im Diagramm. Bei gedrückter linker Maustaste kann man dann nach Lust und Laune das Bild nach links oder rechts „ziehen“, während die dünne rote Linie (für die VFO-Frequenz) auf dem Bildschirm stehenbleibt. Das reicht natürlich nur für eine maximale Verschiebung um die dargestellte Spektrums-Breite von 2 MHz, aber mit mehreren solchen Schritten hat man den ganzen UKW-Rundfunkbereich überstrichen. Die stillstehende dünne rote senkrechte Linie auf dem Bildschirm gibt wie immer die gerade gültige VFO-Frequenz an. Diese läuft mit, wenn in der eben besprochenen Weise am Diagramm „gezerrt“ wird.

Dazu ein Hinweis: Diese Vorgehensweise wird im nächsten Kapitel genauer an einem praktischen Beispiel und einer Betriebsart wie „LSB“ oder „USB“ betrachtet, denn gerade hier benötigt man eine solche feine Verstimm-Möglichkeit!

So richtig interessant wird es dagegen, wenn man schnell in einen völlig anderen Frequenzbereich springen will - als Beispiel vom Radiohören bei 101,5 MHz in das 2-m-Band bei 145 MHz oder das 70-cm-Band

bei 438 MHz. Das geht so (**Bild 9**):

Man fährt den Cursor auf eine Stelle in der VFO-Frequenzanzeige (hier ist es die „1“ bei der Anzeige von 101,5 MHz). Befindet man sich in der oberen Hälfte der Ziffer, so erscheint ein kleines rotes Feld. Klickt man hinein, wird diese Stelle inkrementiert und springt auf „2“. Nach zwei weiteren Klicks steht nun die erste Stelle auf „4“. Der Empfänger stimmt sich dabei gleichzeitig ohne weiteres Zutun auf diese neue Frequenz ab.

In gleicher Weise erhöht man die nächste Stelle auf „3“ und die dritte Stelle auf „8“.

Bei der vierten Stelle von links braucht man z.B. eine Null. Deshalb stellt man den Cursor auf die untere Hälfte dieser Ziffer und achtet auf das erscheinende kleine blaue Feld. Dort kann man mit einem Mausclick dekrementieren und diese Stelle auf „Null“ bringen.

In gleicher Weise werden die restlichen Stellen korrigiert und schon ist die Abstimmprozedur beendet. Nur darf man in den Amateurbändern nicht vergessen, von „WFM = Wideband FM“ auf die gewünschte Betriebsart wie AM, SSB oder „NFM = Narrowband FM“ umzuschalten. Die Bandbreite wird dabei vom Programm selbständig angepasst und man kann sich zum Abschluss die gewünschte genaue Empfangsfrequenz herauszoomen.



Ein Klick auf das eingblendete rote Feld inkrementiert diese Stelle (Entsprechend wird bei einem Klick auf das blaue Feld dekrementiert)

Bild 9:
Schon eine raffiniert - einfache Methode zur genauen Frequenzeinstellung!

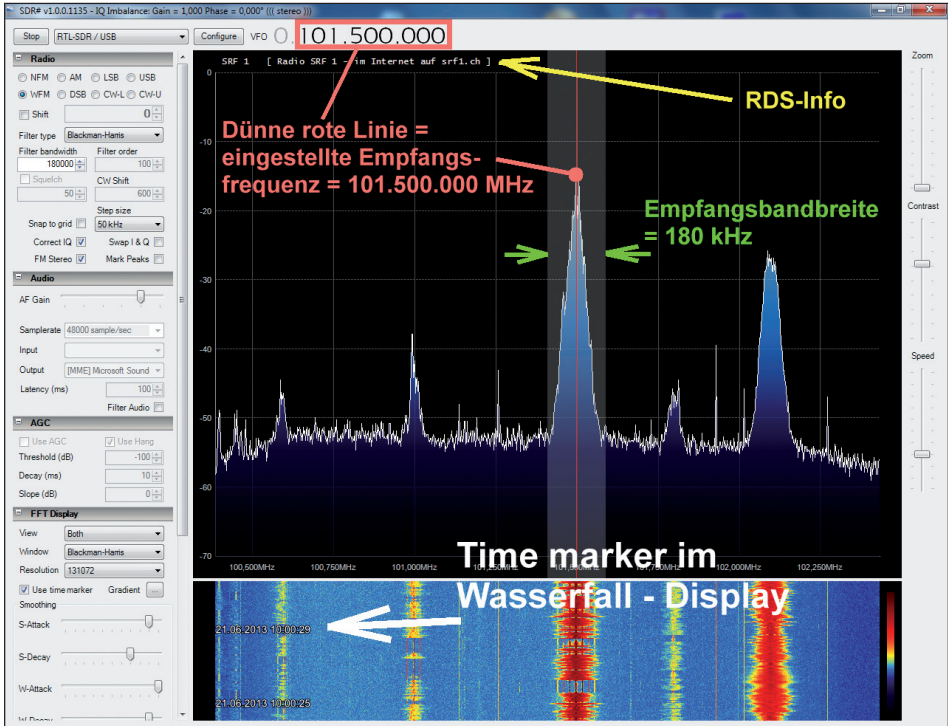


Bild 10: Das gehört zum Übungsbeispiel: Radioempfang bei 101,5 MHz; bitte bei Bedarf die Station selbst auswählen

5.3. Empfangsbeispiele zur praktischen Übung

5.3.1. FM-Stereo-Empfang bei 101,5 MHz

Als Zusammenfassung der Bedienung und der erhaltenen Informationen folgt die „Schritt für Schritt“-Anleitung:

1. Schritt:

Es wird vorausgesetzt, dass im „Configure“-Menü

Offset „Tuning“

RF Gain = 42 dB
 Frequency correction = 0 ppm
 eingestellt und die Tuner-AGC ausgeschaltet ist;

2. Schritt:

Das „Radio“-Menü wird so eingestellt:

WFM (= Wide Band FM)
 Filter Type = Blackman-Harris
 Bandbreite = 180 kHz
 Shift = 0
 Step Size = 50 kHz
 Correct IQ
 FM Stereo

3. Schritt:

Die VFO-Frequenz wird genau auf 101.500.000 Hz gestellt (siehe oben)

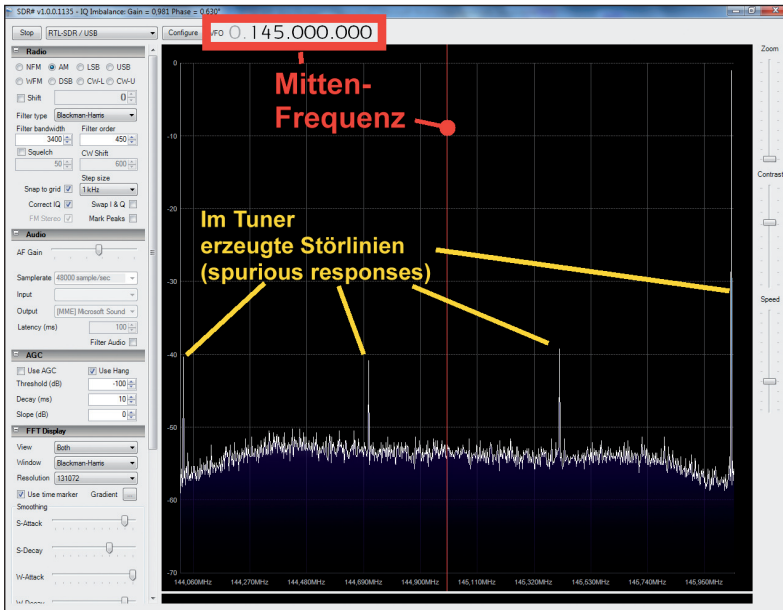


Bild 11: Das gesamte 2-m-Band in einer Darstellung; da der Antenneneingang mit einem 50 Ohm-Widerstand abgeschlossen ist, sieht man das Eigenleben des E4000-Tuners

4. Schritt:

Nun prüft man das FFT-Menü. Dort müssen folgende Einstellungen zu sehen sein:

View Both (= Spektrum + Wasserfall)

Window Blackman-Harris

Resolution 131 072 Samples

Use time marker Range

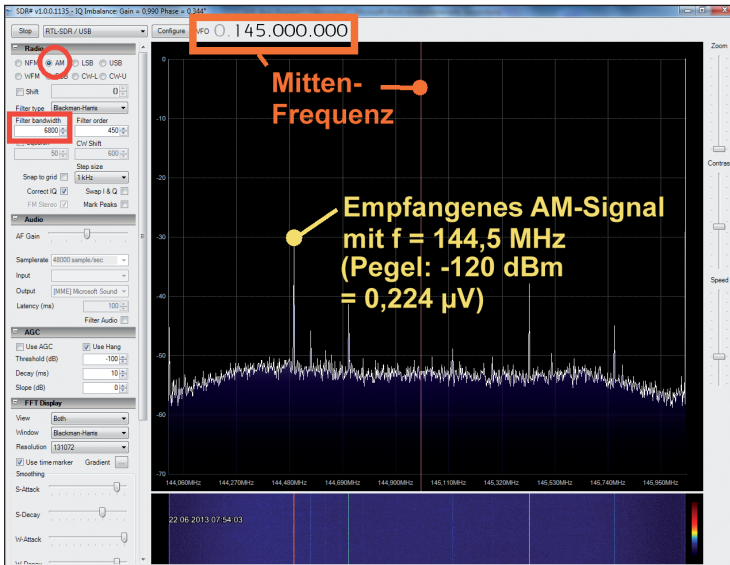
bitte an der senkrechten Diagramm-achse 0 bis -70 dB vorsehen

Jetzt sollte man **Bild 10** auf dem Bildschirm haben (...wenn es bei Ihnen keinen Sender exakt auf dieser Frequenz gibt: stellen Sie die dünne senkrechte Linie einfach auf den nächstliegenden Nachbarn im Spektrum!). Darin ist alles, was wichtig ist, markiert und erläutert. Bitte nun die Zoom-Funktion benutzen und diesen Kanal allein auf den Bildschirm holen (...und dabei der Musik aus den Stereo-Lautsprechern lauschen...).

5.3.2. AM- und SSB-Empfang im 2-m-Band

Dazu verschafft man sich zunächst einen Überblick über dieses Band und klickt mit der linken Maustaste etwa auf die Mitte des Spektrums. Sofort wird dort die dünne senkrechte rote Linie platziert und nach der Eingabe von 145.000.000 als VFO-Frequenz hat man diesen Frequenzbereich mit einer Breite von 2 MHz vor sich.

Jetzt wird noch die Antenne vom Stick abgeschraubt und durch einen SMA-Abchlusswiderstand ersetzt. Auf diese Weise sieht man, was der Tuner-Chip selbst an unerwünschten Linien produziert und kann anschließend neue Signale besser identifizieren (**Bild 11**).



5.3.2.1. AM-Empfang bei 144,5 MHz

Als Signalquelle dient hier der Präzisions-Messsender hp8657B mit digitaler Frequenzeinstellung sowie einer Frequenzauflösung von 1 Hz und einem Ausgangs-Pegelbereich von +14 bis -143 dBm (= 1,2 V bis 0,016 μ V) an 50 Ω . Dazu ist er FM- und AM-modulierbar und damit das perfekte Messgerät für diesen Zweck. Beeindruckend ist auch die Konstanz und Genauigkeit der eingestellten Frequenz.

Nun legt man an den Eingang des Sticks einen Pegel von -120 dBm auf der Frequenz 144,5 MHz, wobei die Ausgangsspannung des Senders mit 1 kHz und $m = 30\%$ amplitudenmoduliert wird.

Für den Stick wählt man im Radio-Menü den AM-Empfang mit einer NF-Bandbreite von 6800 Hz aus, was einen Bildschirm nach **Bild 12** ergibt (...wer sich über die

gewählte NF-Bandbreite wundert: in der kommerziellen Nachrichtentechnik geht man bei einem Telefon- oder Funkkanal von einer NF-Bandbreite von ca. 300 bis 3400 Hz aus und bei reiner AM braucht man den doppelten Wert).

Jetzt geht es schnell:

Mit der Maus wird möglichst genau auf die jetzt neu aufgetauchte Spektrallinie geklickt und anschließend gezoomt. Die VFO-Frequenz oberhalb des Spektrums stellt man exakt auf die Frequenz des Messsender-Signals von 144.500.000 Hz. Man sieht sehr schön den Eigen-Frequenzfehler der PLL-Abstimmung - das AM-Signal deckt sich nicht mit der Bandbreiten-Markierung des Programms.

Zur Korrektur öffnet man das schon bekannte „Configure“-Menü am oberen Bildrand und prüft zuerst:

- ist „Offset Tuning“ eingestellt?
- Steht die „Tuner Gain“ auf 42 dB?
- Ist die „Tuner-AGC“ ausgeschaltet?

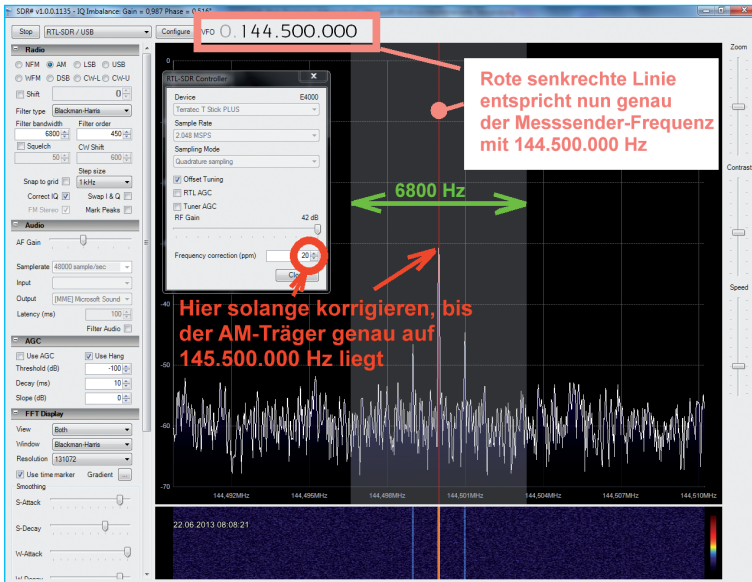


Bild 13:
Mit einem guten Messer kann man tatsächlich die Frequenzangabe auf dem Bildschirm korrekt abgleichen (siehe Text)

Stimmt dies alles, so kann man solange auf den Pfeil der „Frequency correction (ppm)“ klicken, bis der Träger des AM-Signals genau auf der senkrechten Linie, also auf 144.500.000 Hz liegt (**Bild 13**). Eine kurze Hin- und Herbewegung des Zoom-Schiebereglers zentriert wieder automatisch die rote senkrechte Linie auf dem Bildschirm (Bild 13).

Die Empfindlichkeit des Tuners ist hoch und trotz des kleinen Eingangssignals von 0,224 μV hat man noch mehr als 20 dB Abstand zwischen Träger und Rauschteppich!

5.3.2.1. LSB-Empfang

Das ist eine sehr einfache Sache, denn man schaltet am Sender die Modulation aus und wählt am Tuner „LSB“ samt einer NF-Bandbreite von 3400 Hz (Hinweis: das Programm wählt von sich

aus 2400 Hz). Sobald man die VFO-Abstimmung um 1 kHz von 144.501.000 Hz erhöht, erhält man sofort den entsprechenden 1 kHz-Pfeifton im Lautsprecher (**Bild 14**). Genauso einfach funktioniert der USB-Empfang.

6. Messung der Tuner-Daten

6.1. Die Eingangs-Reflektion S11

Dazu schließt man den Stick an den vektoriellen Netzwerk-Analysator an. Die Frequenz- und Betriebsarten-Einstellungen des Tuners sind egal, lediglich die „Tuner Gain“ im „Configure“-Menü muss auf 42 dB stehen; die Tuner-AGC ist ausgeschaltet. Gemessen wird von 200

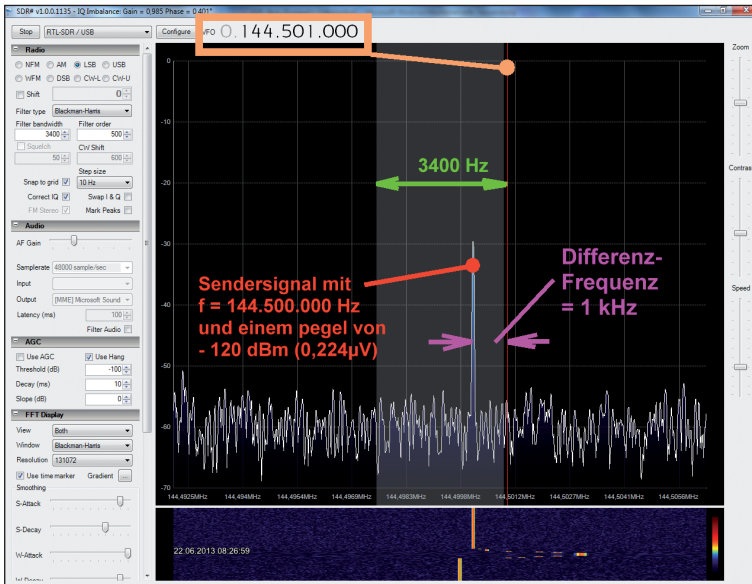


Bild 14: Eine schicke und leicht zu bedienende Sache: SSB- / LSB-Empfang bei 145,5 MHz

MHz bis 2 GHz und das Ergebnis findet man (samt dem Verlauf laut Datenblatt) in **Bild 15**. Gar nicht so übel - und nicht weit weg von den Datenblatt-Werten.

Der Anstieg der Reflektion unterhalb von 300 MHz dürfte mit dem Anstieg des Eingangswiderstandes der FETs in der Eingangsstufe mit sinkender Frequenz

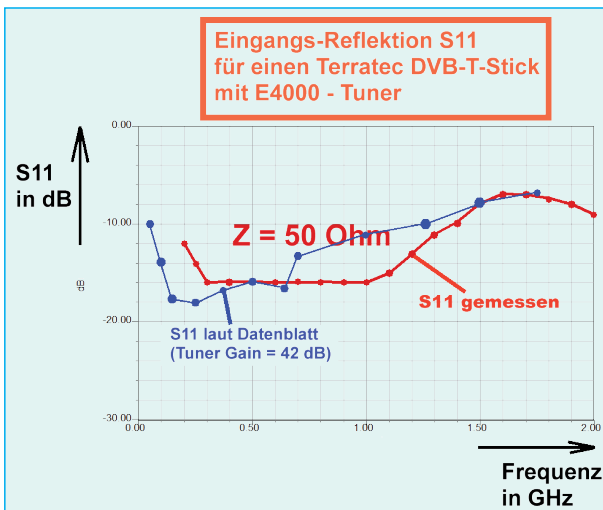


Bild 15: Die gemessene Eingangsreflektion S11 - theoretisch und praktisch

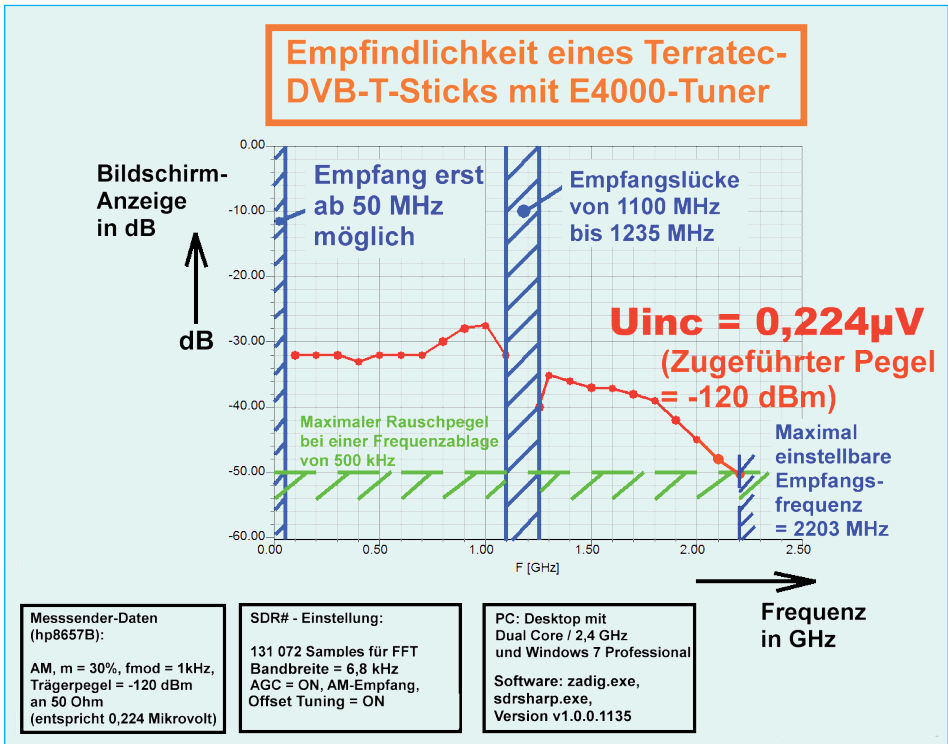


Bild 16: Hier ist endlich der Verlauf der Eingangsempfindlichkeit (gemessen mit einer Eingangsspannung von 0,2 µV im Bereich zwischen 50 MHz und 2200 MHz)

zusammenhängen. Hier könnte man nach einer Auswertung des Smithcharts und darin nach dem „Zurückdrehen um die Länge des Semi-Rigid-Kabels im Alu-Gehäuse“ noch mit einer kleinen Zusatzschaltung (z.B. mit einem Widerstand zwischen 50 und 100 Ω in Serie mit einer kleinen Induktivität) eine Verbesserung erzielen.

6.2. Frequenzgang der Eingangsempfindlichkeit

Sie wird mit dem hp8657B bis 2

GHz und mit dem hp8616 bis 2,2 GHz ermittelt. Ein AM-Signal wird in den SDR-Eingang eingespeist (Modulation mit m = 30 % und f = 1 kHz), wobei man bei einem Senderpegel von -120 dBm den Träger im Spektrum beobachtet.

Die Empfängereinstellungen sind:
AM / 6800 Hz Bandbreite / Offset Tuning / Tuner Gain = 42 dB / No Tuner AGC / frequency correction = 0 ppm

Die FFT benützt ein „Blackman-Harris Window“ und arbeitet mit 131 072 Samples.

Dargestellt wird an der senkrechten Spektrumsachse ein Bereich von 0 bis -70 dB.

Was dabei herauskommt zeigt **Bild 16**.

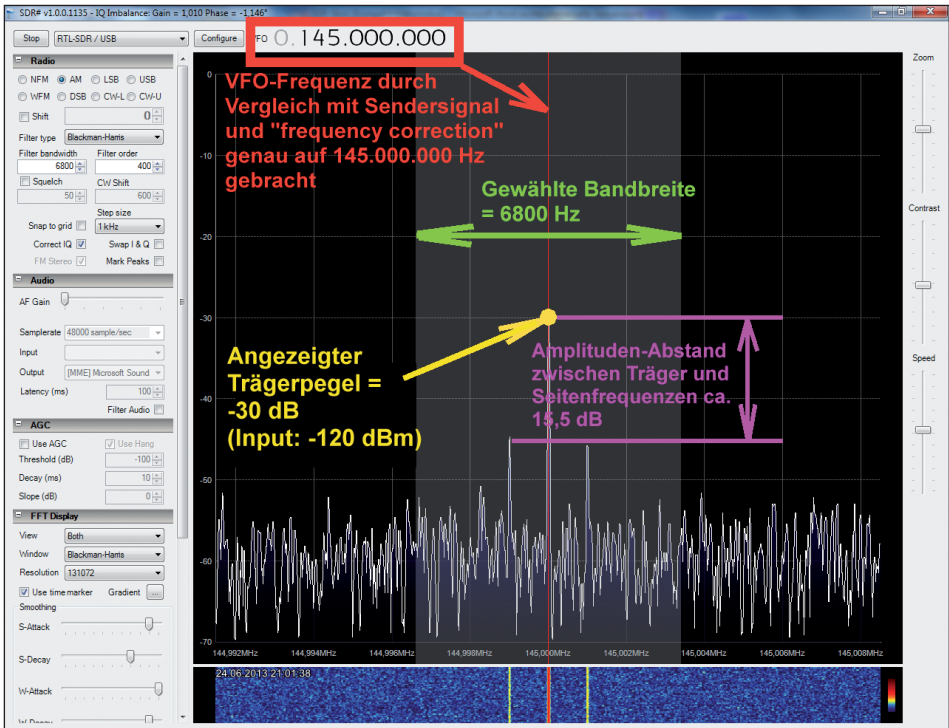


Bild 17: Das ist der Startpunkt für die Linearitätsmessung bei 145 MHz: ein AM-Signal mit -120 dBm = 0,22 μ V bei stark gedehnter Anzeige und voller Verstärkung ohne AGC (siehe Text)

Die Bereiche von 0 bis 50 MHz und von 1100 bis 1235 MHz sind nicht empfangbar, weil dort die PLL-Abstimmung gesperrt ist; aber das sagt schon das Datenblatt. Ab 1236 MHz aufwärts ist jedoch alles problemlos möglich - bis maximal 2200 MHz.

6.3. Bestimmung des Dynamikbereichs als Spektrum-Analysator

Das erwies sich (völlig unerwartet!) als eine recht harte Nuss und es dau-

erte recht lange, bis man das Verhalten des Tuners einschließlich der AGC ganz durchschaute. Aber da der Stick auch als Messempfänger bzw. Spektrum-Analysator eingesetzt werden soll (...denn danach haben Freunde schon gefragt...), braucht man dazu diese Daten. So wurde vorgegangen:

1. Im Radio-Menü wurde die Einstellung: AM / Filter bandwidth = 6800 Hz / Blackman-Harris Window / Correct IQ - stream beibehalten.
2. Im FFT Menü wurde: View = Both
Filter = Blackman-Harris



Resolution = 131 072
Range = 0 bis -70 dB verwendet.

3. Im Configure-Menü wurde:
„Offset Tuning“ und die maximale RF-Gain von 42 dB vorgesehen.

Ganz wichtig:
Sowohl die Tuner-AGC wie auch die RTL-AGC müssen bei all diesen Messungen ausgeschaltet sein und bleiben!

Außerdem war später eine „Frequency Correction“ von +25 ppm erforderlich, um Senderfrequenz und VFO-Frequenz (= rote senkrechte Linie im Spektrum) zur Deckung zu bringen.

4. Jetzt wurde dem Tuner ein Sendersignal mit der Frequenz 145 MHz (Modulation: AM / 1 kHz-Sinuston / m = 30 %) und einem Pegel von -120 dBm = 0,224 μ V angeboten. Das ergab nach der Empfänger-Abstimmung und dem Zoomen eine Träger-Amplitude von etwa -30 dB in der Spektrums-Anzeige. Die AF-Gain (im Menü „Audio“) wurde dabei etwas aufgedreht, um bei der Abstimmung mitzuhören und die Qualität des demodulierten Signals zu beurteilen (**Bild 17**).

5. Dann wurde am Messsender der Pegel (in Schritten von 10 dB) um insgesamt 30 dB bis auf -90 dBm erhöht. Dadurch berührt die Trägeramplitude jetzt gerade die Nulllinie im Diagramm und dadurch bleibt der zu 30 % AM-Modulationsgrad gehörende Amplitudenabstand von 15,5 dB zwischen dem LSB- bzw. USB-Signal und dem Träger korrekt erhalten.

6. Jetzt wurde das „Configure“-Menü geöffnet und der RF-Gain-Schieberegler auf „-1 dB“ gestellt. Theoretisch sollte das nun eine Reduktion der Verstärkung um insgesamt 42 dB + 1 dB = 43 dB bewirken - aber es wurden einfach nicht mehr als 35 dB. Diese Sache wurde noch genauer unter die Lupe genommen und deshalb

muss man leider sagen:

Dem „RF-Gain“-Schieberegler darf man nicht alles glauben. Weder der Gesamtumfang der Verstärkungsänderung, noch die einzelnen angezeigten Zwischenstufen sind korrekt. Da sollten die Programm-Entwickler etwas nachbessern.

7. Es wurde deshalb diese gemessene Verstärkungsreduktion von 35 dB beim Zurückdrehen auf „RF gain = -1 dB“ akzeptiert und vorgenommen, die man als Absinken der Trägeramplitude im Spektrum sehen konnte. Also wurde erneut der Senderpegel gesteigert und die angezeigte Trägeramplitude kletterte bei einer Erhöhung um diese 35 dB erneut bis an die Nulllinie des Diagramms. Dazu gehört der Eingangspegel von -55 dBm, was einer Eingangsspannung von 400 μ V entspricht.

Nun wurde kurzzeitig der Zoom ausgeschaltet und auch der Sender ausgetastet. Dadurch kann man prüfen, ob durch die stärkere Aussteuerung neue Störlinien im Spektrum entstanden sind, die man leider beim Durchstimmen ohne Eingangssignal regelmäßig auf dem Bildschirm findet. Das ist nicht der Fall und so kann man bei der maximalen RF-Gain von 42 dB (mit einem sichtbaren Rauschpegel von -55 dB als Untergrenze) tatsächlich einen Spektral-Anzeigebereich von 55 dB nutzen. Und wie bei einem echten Spektrum-Analysator lässt sich der lineare Bereich durch einen Vorteiler (also mit der Einstellung auf RF-Gain = -1 dB) von 55 dB bis auf 55 dB + 35 dB = ca. 90 dB ausdehnen. Nicht schlecht für ein 20 Euro-Gerät!

...weiter auf Seite 177!