

Applikationen eines SDR-Receiver

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Applikationen eines SDR-Receiver	2
1.) Abhören und speichern des eigenen Sendesignals mit dem SDR-Receiver	2 - 4
2.) Messung der Intermodulationsfestigkeit (Linearität) des SDR-Receiver	4 - 5
3.) Intermodulationsmessung an einer 10 Watt SSB-Endstufe	5 - 8
4.) Messung der In-Band-Intermodulation	8 - 11
5.) SDR-Receiver als Meßempfänger?	11 - 17
6.) Messung der Empfindlichkeit eines DVB-T-Sticks mit SDR#	17 -18
7.) Gleichzeitige Darstellung von HF- und NF-Spektrum	18 - 19
8.) Gegenüberstellung: SDR-Receiver - Spektrumanalysator	20
Literatur	21

Applikationen eines SDR-Receiver

Bei den meisten SSB-QSO's wird die Frage gestellt "Wie kommt mein Signal bei dir an?" und gemeint ist die Feldstärke und die Qualität des eigenen Signals. Die Feldstärke ist leicht ermittel (meist S9 +XX) aber die Qualität kann nur subjektiv beurteilt werden. Manchmal hören sich Signale hart, komprimiert bis verzerrt an und der betroffene Funkamateurliebt sich oft nicht zu helfen. Wo liegt der Fehler in meinem Transmitter? Im Mikrofonverstärker, der Signalaufbereitung oder in der Endstufe?

Das einzige Mittel, die Qualität des eigenen SSB-Senders objektiv zu beurteilen, ist die Messung des Sendesignals mit einem Mehrtonsignal (hier: Zweiton-Signal), denn nur bei Mehrtönen können Intermodulationsverzerrungen sichtbar gemacht werden und damit defekte bzw. falsch eingestellte Bauteile der Transverters lokalisiert werden. In **(1)** wurde über die Messverfahren berichtet. Zur Durchführung einer Intermodulationsmessung benötigen wir einen HF-Spektrumanalysator, aber die Beschaffung eines solchen Messgerätes sprengt im Normalfall das Budget eines Funkamateurs.

Durch die Anwendung von SDR (Software Defined Radio) entstehen völlig neue Möglichkeiten der Signaldarstellung und Signalanalyse. Im Regelfall werden SDR-Receiver (SDR USB-DVBT-Stick) als HF-Empfänger für die Funkamateurbänder (und sonstige Bänder) verwendet. Nachfolgend soll gezeigt werden, dass ein SDR-Receiver auch als HF-Spektrumanalysator für Intermodulationsmessungen an HF-Sendern im Frequenzbereich bis 2000MHz eingesetzt werden kann.

Alle Messungen wurden mit einem "SDR Empfänger DX-PATROL 100kHz-2000MHz" durchgeführt, mit integriertem Down-Converter für KW 0,1-30MHz (6). Als Software kommt "SDRSharp" (7) unter Windows7, 64Bit zum Einsatz.

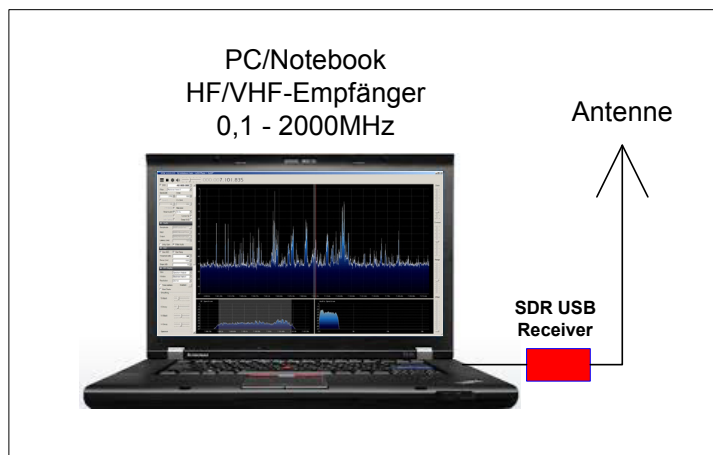


Bild 1: PC/Notebook mit SDR-Stick als SSB-Receiver für 0,1-2000MHz

1.) Abhören und speichern des eigenen Sendesignals mit dem SDR-Receiver

Die erste und einfachste Möglichkeit zur Modulationskontrolle des eigenen Sendesignals, besteht im Speichern (Recording) und anschließendem Abhören seines eigenen Signals, z.B. während eines

QSO's. Zum Empfang des eigenen Sendesignals im Check, benötigt der SDR-Receiver nur eine kurze Wurfantenne, den Aufbau zeigt **Bild 2**.

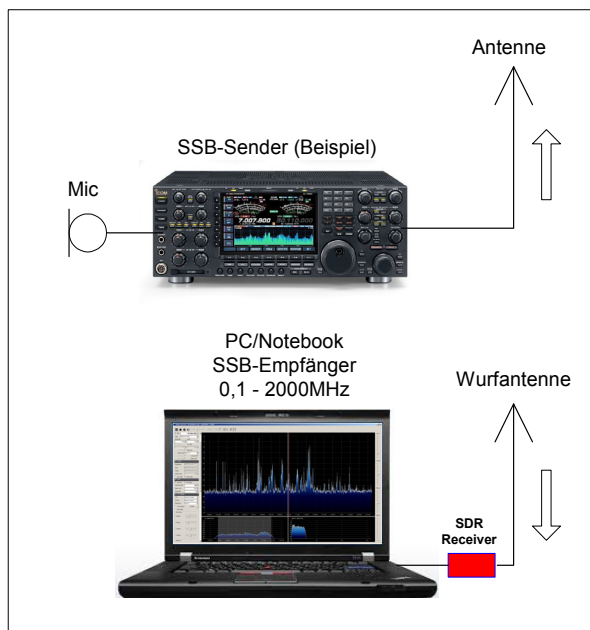


Bild 2: Abhören und Recording des eigenen SSB-Signals (oder FM, AM,..)

Sender und SDR-Receiver werden auf die gleiche Frequenz von z.B. 7,1 MHz abgestimmt. Dann verkleinert man die Frequenzauflösung über den Regler "Zoom" so weit, bis das eigene Sprachsignal auf der Mitte des Bildschirms deutlich zu sehen ist (Bild 4). Über Controller-> RF Gain die Verstärkung des SDR-Sticks so einstellen, dass das Sendesignal die oberste Displaylinie (Referenzlinie) nicht überschreitet. Der Frequenzhub (Darstellfenster) sollte auf eine Breite von ca. 10kHz (+/-5kHz) eingestellt sein. Anschließend wählt man im Bedienfeld des Programms -> "Record", drückt die PTT-Taste des Senders und bespricht das Mikrofon für einige Sekunden. Dann Stoppt man "Record" und startet die aufgenommene Sprachsequenz, die in einer .wav-Datei im Verzeichnis der SDRSharp-Software automatisch abgespeichert wurde.

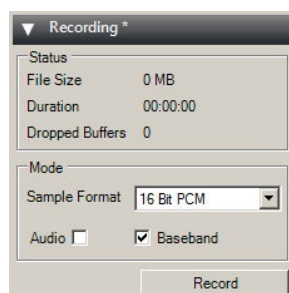


Bild 3: "Record"-Funktion in der Software SDRSharp

Mit Hilfe dieser akustischen Selbstkontrolle kann man schon feststellen, ob das eigene Signal klar und deutlich ist oder sich die Modulation etwas seltsam anhört. Eine qualifizierte Messung ist das jedoch nicht. Im Spektrum der Sprachmodulation läßt sich nichts erkennen, außer wie breit das Signal ist. In Prinzip wird die SSB-Filterformkurve abgezeichnet.

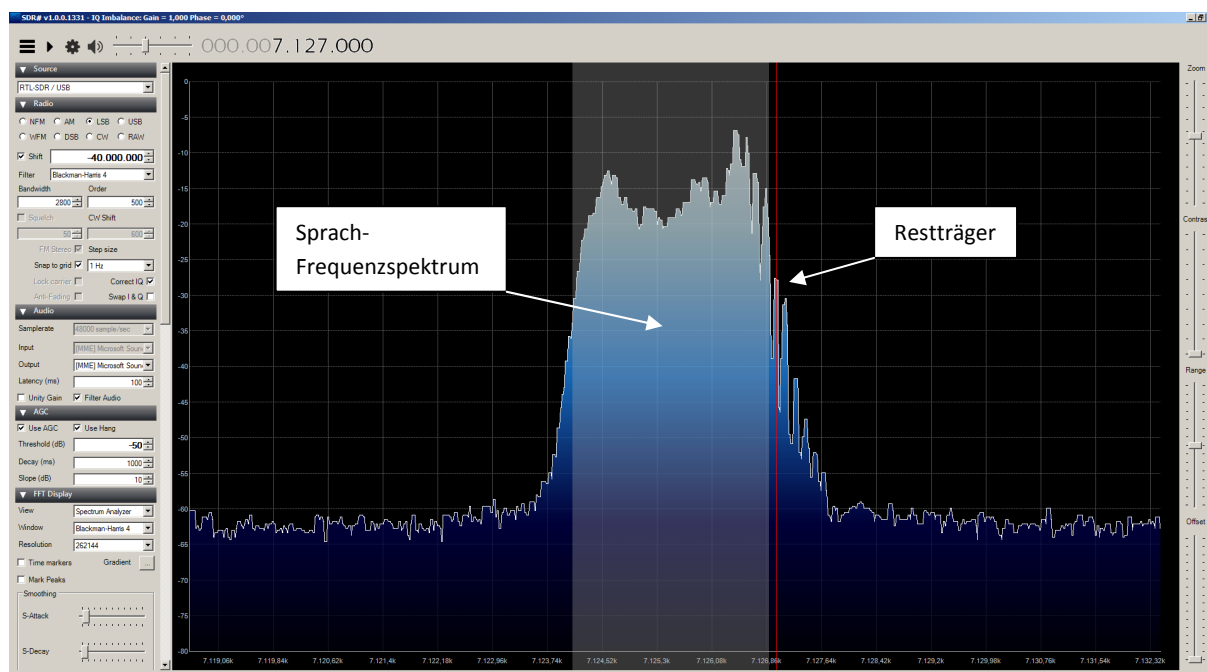


Bild 4: Momentanes Modulationsspektrum (FFT-Analyse) des SSB-Sprachsignals (LSB), B=2,8kHz, 40m-Band

Messergebnis:

Aus dem Spektrum des Sprachsignals ist lediglich zu erkennen, dass das SSB-Signal insgesamt schmalbandig ist und die Nachbarkanäle über einen Dynamikbereich von 50dB nicht gestört werden. Eventuell auftretende Intermodulationen und Oberwellen gehen im Gesamtspektrum verloren und sind auf diese Weise nicht messbar.

Tipp:

Wenn der SDR-Receiver nur zum Abhören der KW-Bänder benutzt wird, sollte man zumindest auf 80- und 40m ein 10...20dB-Dämpfungsglied vorschalten, damit der Stick mit seiner hohen Empfindlichkeit und Bandbreite nicht übersteuert wird.

2.) Messung der Intermodulationsfestigkeit (Linearität) des SDR-Receiver

Zunächst muß die Intermodulationsfestigkeit des SDR-Receiver ermittelt werden, um sicher zu stellen, dass der SDR-Stick selbst keine Intermodulation erzeugt. Dazu wird ein HF-Doppelton-Generator (**5**) mit einer Ausgangsleistung von max. -20dBm benötigt, welcher mit dem Eingang des SDR-Receiver verbunden wird (**Bild 5**). Nach Start von SDRSharp wird die Auflösung (Zoom) soweit erhöht, bis beide Signale ($f_1=7,055\text{MHz}$, $f_2=7,060\text{MHz}$) deutlich sichtbar werden und beide in Bildschirm-Mitte positioniert sind, wie in **Bild 6** dargestellt. Anschließend vergrößert oder verkleinert man die Signale mit Hilfe der RF-Gain-Einstellung so weit, bis beide Signale die oberste, horizontale Rasterlinie erreichen.

Bild 6 zeigt das Ergebnis unserer Messung. Der Dynamikbereich beträgt $\geq 60\text{dB}$ und im gesamten Bereich sind keine Intermodulationsprodukte zu erkennen. Damit ist sichergestellt (bewiesen), dass der SDR-Stick für Intermodulationsmessungen an SSB-Sendern geeignet ist.

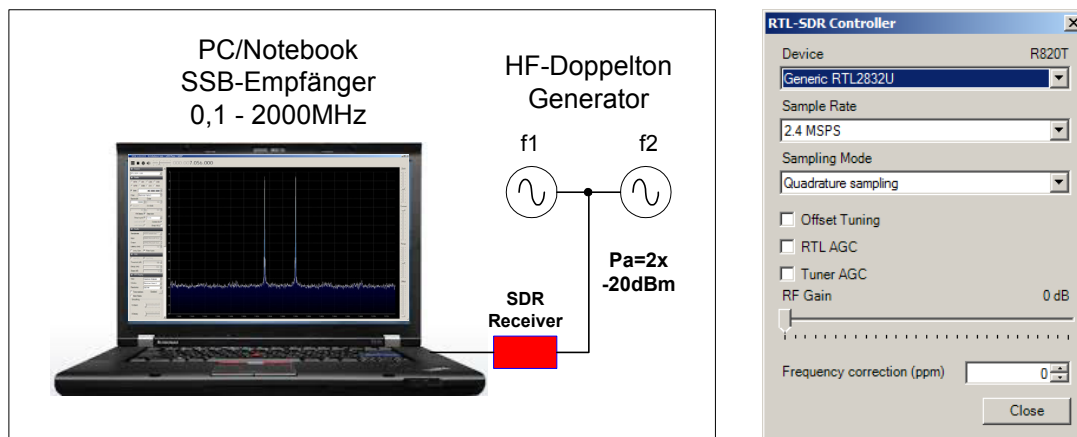
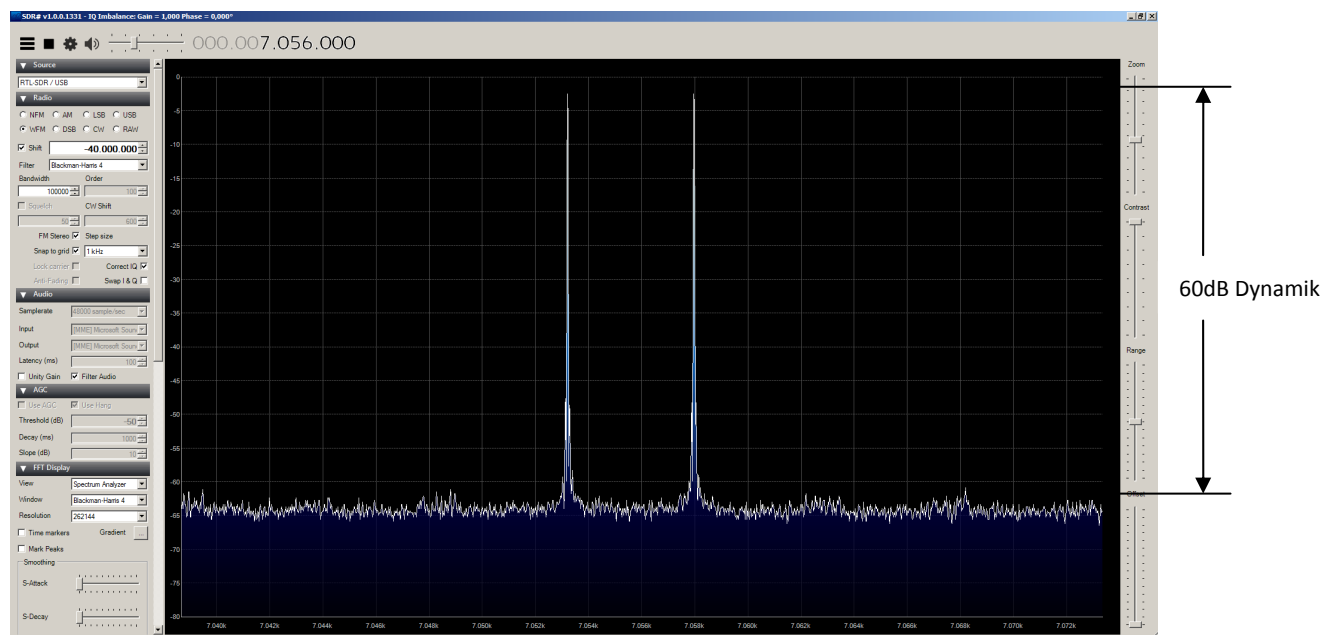


Bild 5: IM-Test des SDR-Receiver, RF Gain Einstellung

Bild 6: IM-freie Messdynamik des SDR-Receiver von 60dB, $f_1=7,055\text{MHz}$, $f_2=7,060\text{MHz}$, $P_a=2x-20\text{dBm}$

3.) Intermodulationsmessung an einer 10 Watt SSB-Endstufe

Zur Qualitätsmessung eines SSB-Sendesignals benötigt man einen Niederfrequenz 2-Ton-Generator, der anstelle des Mikrofons agiert. Wie man eine solche Messung mit einem HF-Spektrumanalysator durchführt, wurde bereits in (1, 2, 3) beschrieben. Aufgrund der hohen Messgenauigkeit und Auflösung des SDR-Sticks, läßt sich diese Messung auch ohne einen (teuren) HF-Spektrumanalysator durchführen. In Verbindung mit geeigneter Software, verfügt ein SDR-USB-Stick über die Möglichkeit, das FFT-Spektrum sehr weit aufzulösen, so dass auch Signale bis in den Hz-Bereich sichtbar und analysiert werden können.

Zur Durchführung pegelgenauer Messungen, wird der SDR-Sticks direkt mit dem Ausgang des Senders verbunden (**Bild 7**). Aber Vorsicht! Der USB-Stick verträgt max. -20dBm ($0,01\text{mW}$)

Eingangsleistung und sollte nicht übersteuert werden. Bei 1 Watt HF-Ausgangsleistung benötigt man ein Dämpfungsglied von minimal 50dB, und bei 100 Watt minimal 70dB.

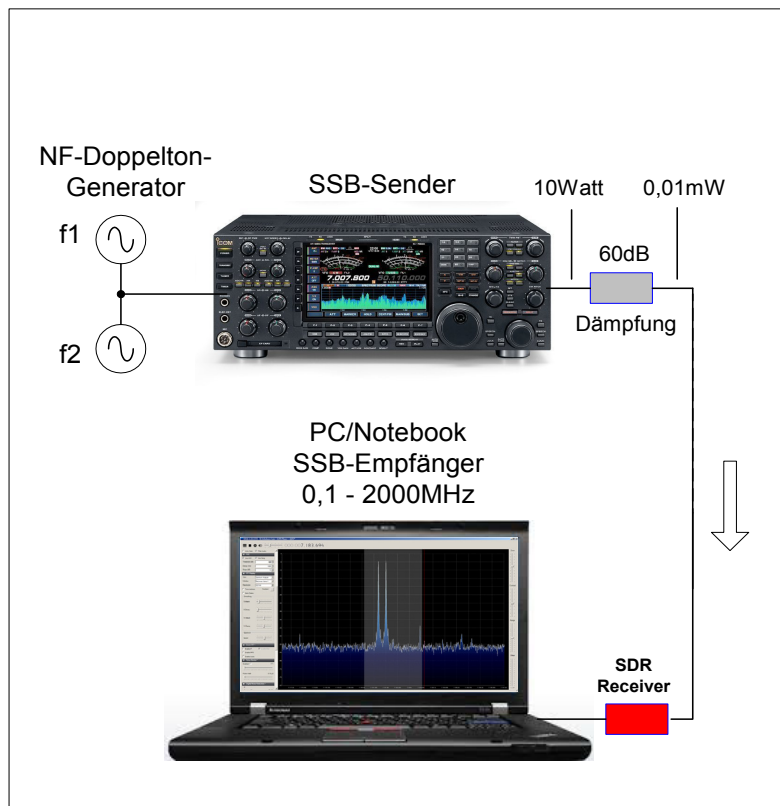


Bild 7: Messung mit gedämpfter Sendeleistung und direkter Verbindung zum SDR-Receiver

Einstellungen am SSB-Sender und 2-Ton-Generator:

Im Beispiel erfolgt die Messung bei 7MHz. Zur korrekten Messung der "In-Band Intermodulation" werden die Frequenzen beider Signaltöne so gewählt, das sie mittig in der Bandbreite des SSB-Filters (300-2700Hz) liegen und einen geringen Frequenzabstand zueinander haben, so dass zumindest die benachbarten IM-Produkte noch innerhalb der Filters liegen. Anschließend wird der verwendete SSB-Sender mit diesen beiden Tönen über ein Wattmeter auf seine Nennleistung (im Beispiel auf 10 Watt PEP) abgeglichen.

Einstellungen im Programm SDRSharp:

Die Frequenzauflösung (Zoom) wird bei der Mittenfrequenz von 7,0 MHz so weit erhöht, bis die beiden Signale (f1 und f2) im Display deutlich zu erkennen sind. Falls die Signale ungleich groß sind, werden sie mit Hilfe der Pegelstellung des 2-Ton-Generators auf exakt gleiche Pegelgröße abgeglichen. Anschließend werden beide Signale über "RF-Gain" auf die oberste, horizontale Linie (0-Linie) des Displays gezogen. Zur Verstärkungseinstellung nur die Handeinstellung verwenden, keine AGC einschalten!

Grundeinstellungen in SDRSharp zur Intermodulationsmessung:

RF Gain: manual, Sampling: 2,8(2,4)MSPS, Bandwidth: 2700Hz (2400Hz), Resolution: 26144, AGC: Use AGC, Use Hang, Audio: Filter Audio, Zoom: -> auf hohe Auflösung einstellen, Frequenz-Darstellbereich (Frequenzhub) auf +/-3kHz...+/-5kHz einstellen

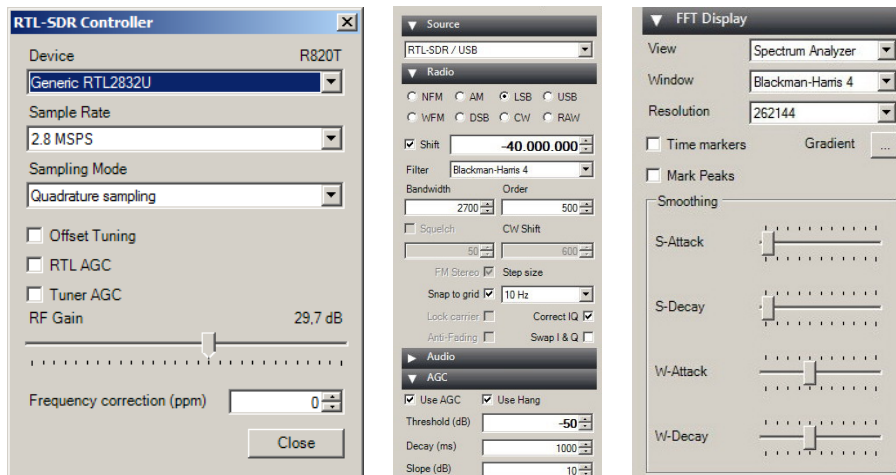


Bild 8: Grundeinstellungen von SDRSharp

Das gemessene Intermodulationsspektrum meiner 10 Watt SSB-Endstufe zeigt **Bild 9**. Die Intermodulationsprodukte 3. Ordnung sind um 35dB unterdrückt, bezogen auf PEP 41dB. (<1%). Die Qualität des Sendesignals ist demnach gut, der Klirrfaktor ist gering und Signalverzerrungen sind im Empfänger nicht hörbar.

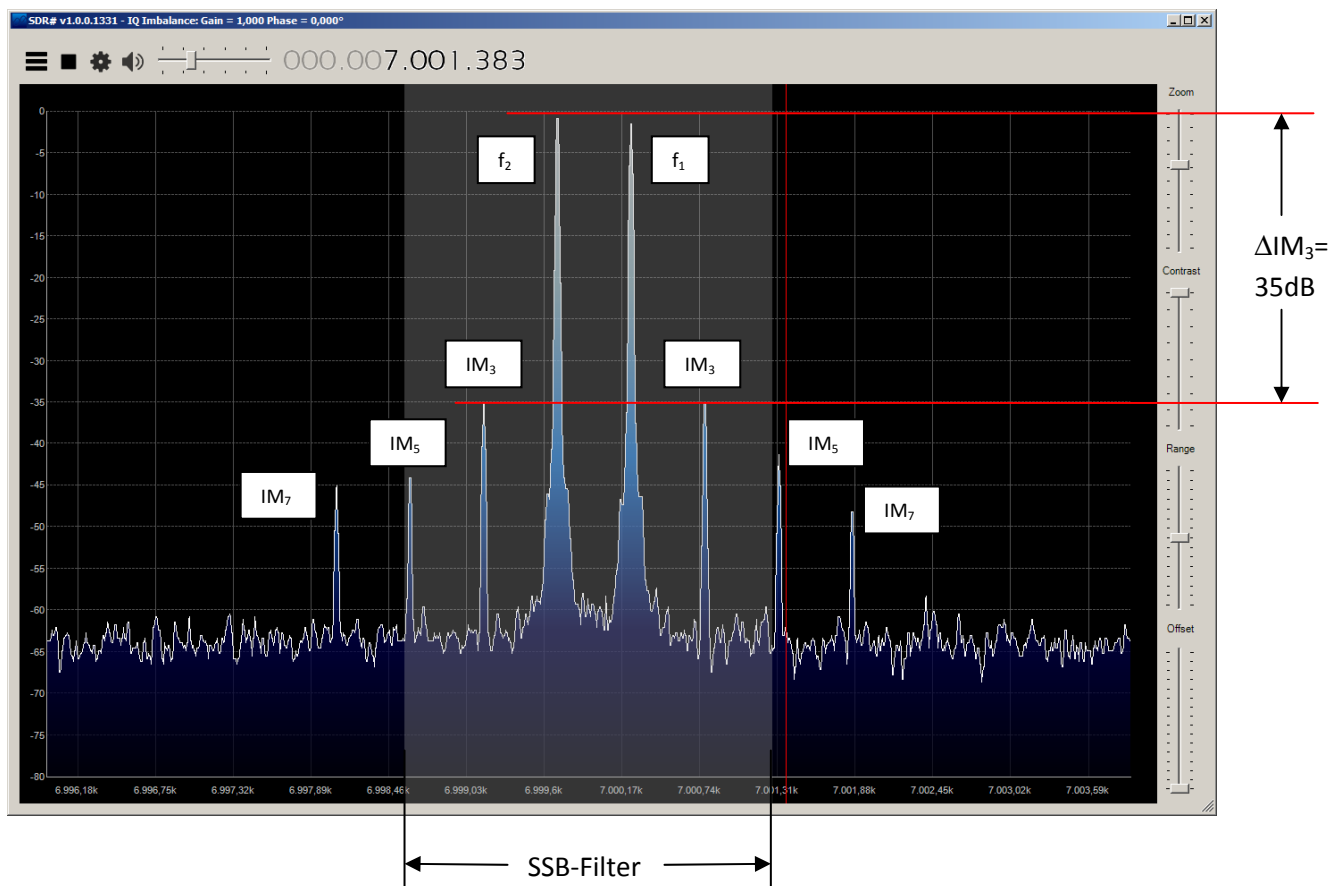


Bild 9: "Sauberes" Doppelton-Spektrum einer 10 Watt-Endstufe, f1= 1050Hz, f2=1575Hz

Folgende Meßergebnisse können vom Bildschirm direkt abgelesen werden:

IM₃: $2f_1-f_2$, $2f_2-f_1$ Differenz zu Nutzsignalen: 35dBc, bezogen auf PEP 41dBc

IM₅: $3f_1-2f_2$, $3f_2-2f_1$ bei -43dBc

IM₇: $4f_1-3f_2$, $4f_2-3f_1$ bei -45dBc

Wird die PA zu weit angesteuert, entsteht ein Spektrum nach **Bild 10**. Das Sendesignal kommt in Begrenzung, der IM₃-Abstand beträgt nur noch 15dB und die daraus resultierende Signalverzerrung ist deutlich hörbar. Das SSB-Signal hört sich gepresst, hart und undeutlich an. Außerdem wird das Signal breit und splättert sichtbar in die Nachbarkanäle.

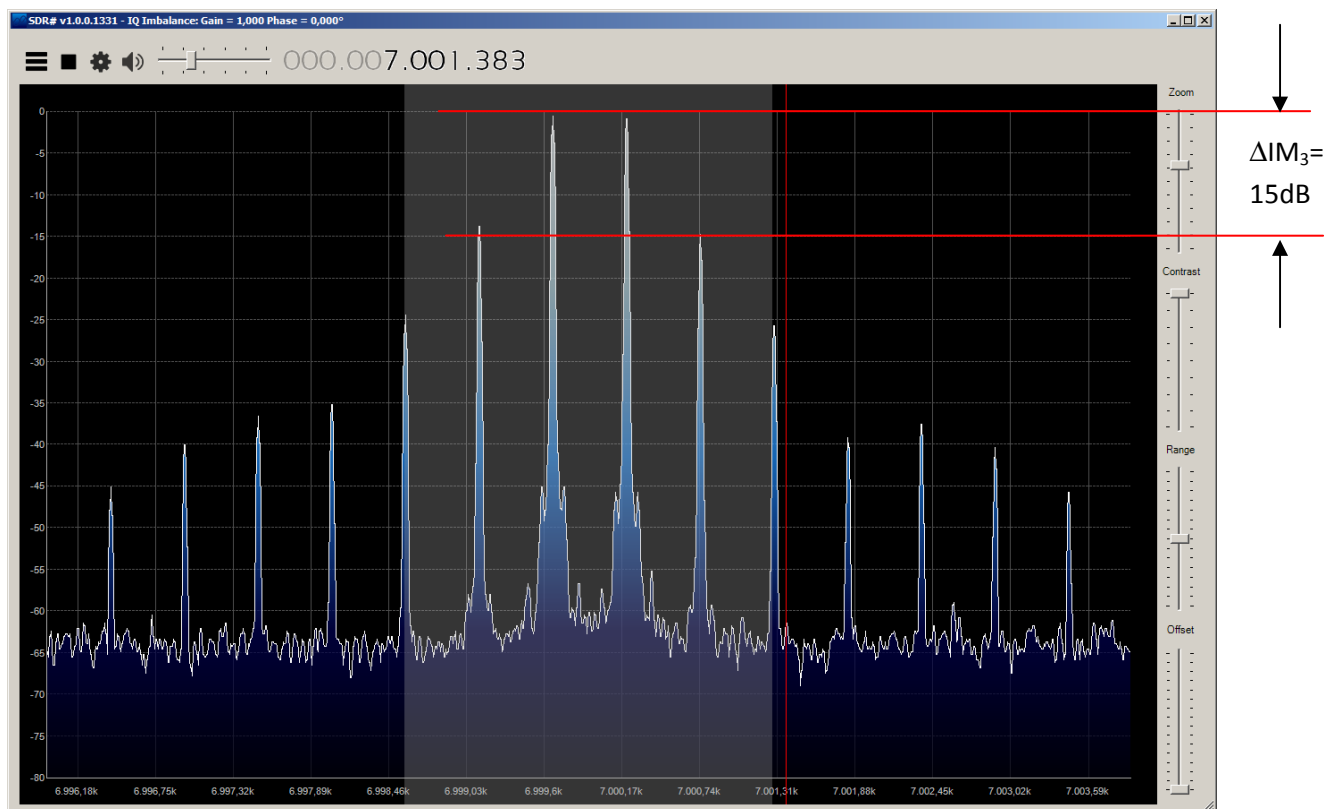


Bild 10: Übersteuerte PA, Endstufe in Kompression, der IM₃-Abstand beträgt nur noch 15dB

4.) Messung der In-Band-Intermodulation

Bei der Frequenzwahl des NF-Doppeltons für IM-Messungen gibt etwas zu beachten. Zunächst könnte man meinen, egal mit welchen Tonfrequenzen gearbeitet wird, Hauptsache sie passen beide in die Übertragungsbandbreite des SSB-Filters (BB=2,4kHz). Für IM₃-Messungen werden häufig (fast immer) weit auseinander liegende Tonfrequenzen benutzt, wie z.B. $f_1=700\text{Hz}$ und $f_2=2200\text{Hz}$, was jedoch sehr ungünstig ist.

Die Problematik eines zu groß gewählten Doppeltonabstands zeigt **Bild 11**. Die Töne von 700Hz und 2200Hz passen zwar beide in den Durchlaßbereich des SSB-Seitenbandfilters, die vor dem Filter entstehenden Intermodulationsprodukte werden jedoch durch die Filterflanken abgeschnitten, sie werden nicht weiter geleitet und kommen demnach auch nicht zu Anzeige.

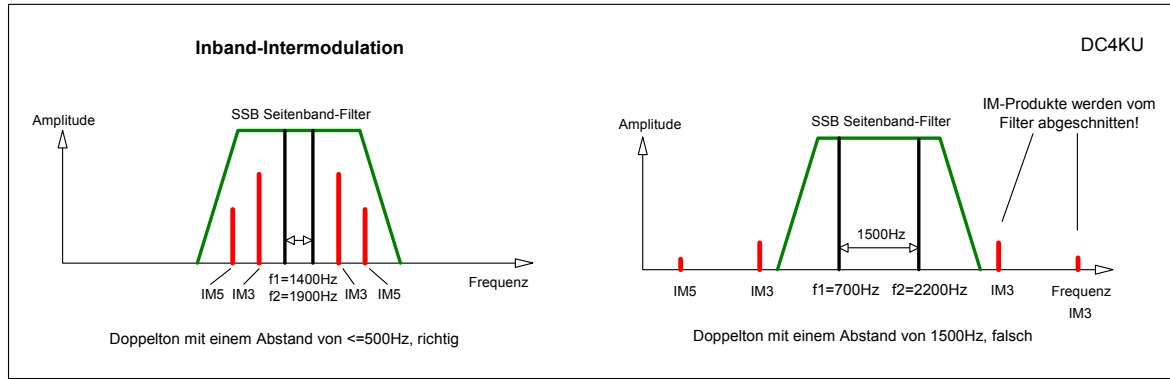


Bild 11: In-Band-Intermodulationsmessung

Bei einem ungünstig eingestellten Mikrofonverstärker (Clipper, Compressor) oder übersteuerten 1. Mischer können schon in den Eingangsstufen des Senders IM-Verzerrungen entstehen, die bei falsch gewählten Tonabständen nicht zur Anzeige kommen würden. Um eine Fehlmessung zu verhindern, müssen die Doppeltöne demnach dicht beieinander liegen und möglichst in der Filtermitte positioniert werden, so dass die benachbarten IM-Produkte noch mit übertragen werden. Eine korrekte Einstellung zeigt **Bild 12**. Die Ausgangsleistung des Senders wurde hier auf <1Watt reduziert, um sicher zu stellen, dass die Endstufe selbst keine Intermodulation erzeugt.

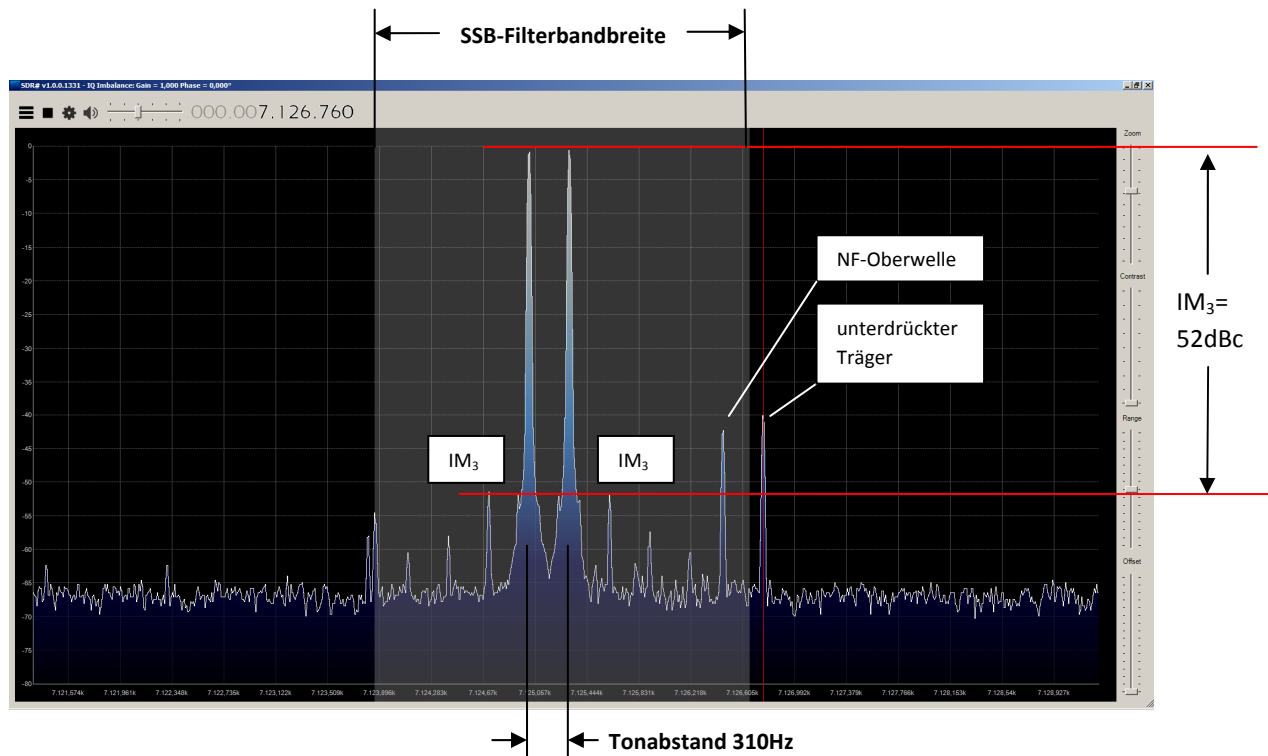


Bild 12: Sender In-Band Intermodulation mit sehr geringer Ausgangsleistung von <1Watt. IM₃-Produkte sind um 52dB unterdrückt und Oberwellen von f₁, f₂ um >40dB, Abstand der Tonfrequenzen Δf=310Hz

Zur Demonstration der Wirkung von In-Band-Intermodulation, wurde bei den nachfolgenden Messungen (**Bild 13 und 14**) der Mikrofonverstärker des SSB-Transverters absichtlich übersteuert, so dass niederfrequente Verzerrungen entstehen.

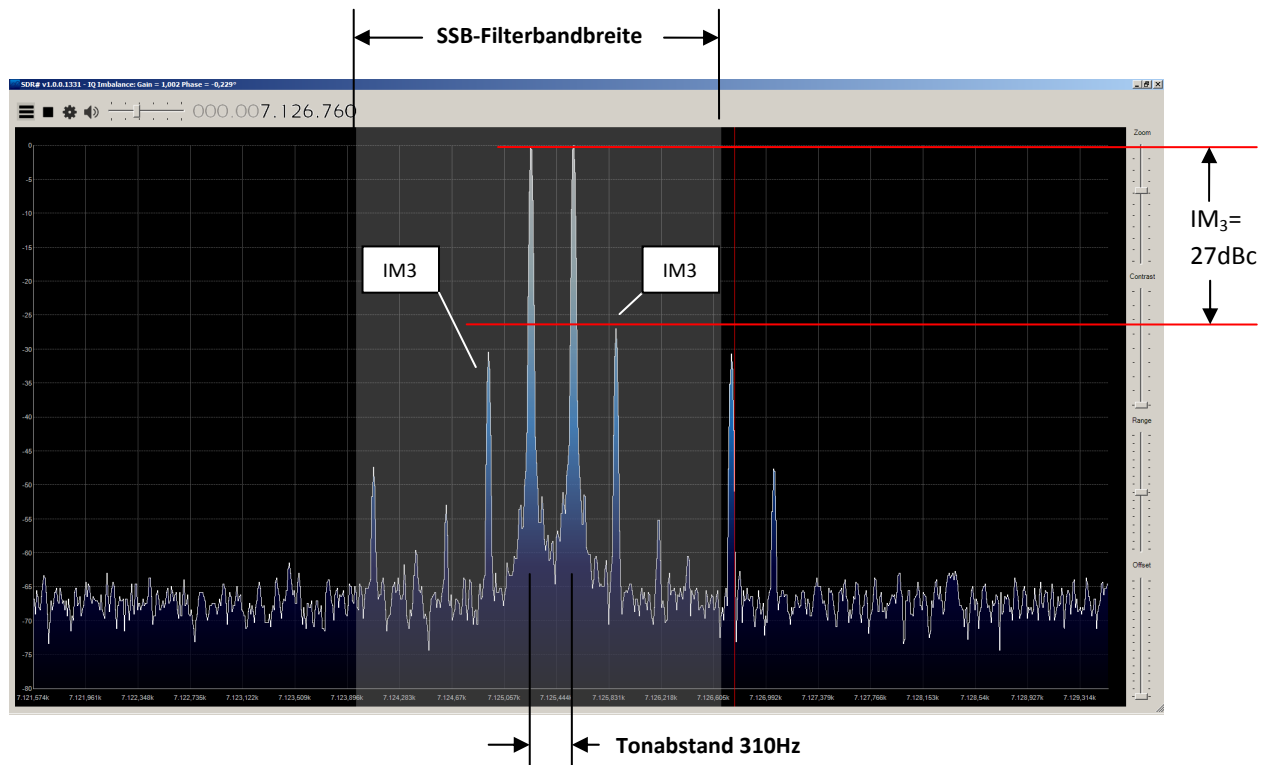


Bild 13: In-Band Intermodulationsstörungen durch übersteuerten Mikrofonverstärker, Abstand der Tonfrequenzen $\Delta f=310\text{Hz}$, der IM-Abstand reduziert sich auf $\text{IM}_3=27\text{dBc}$

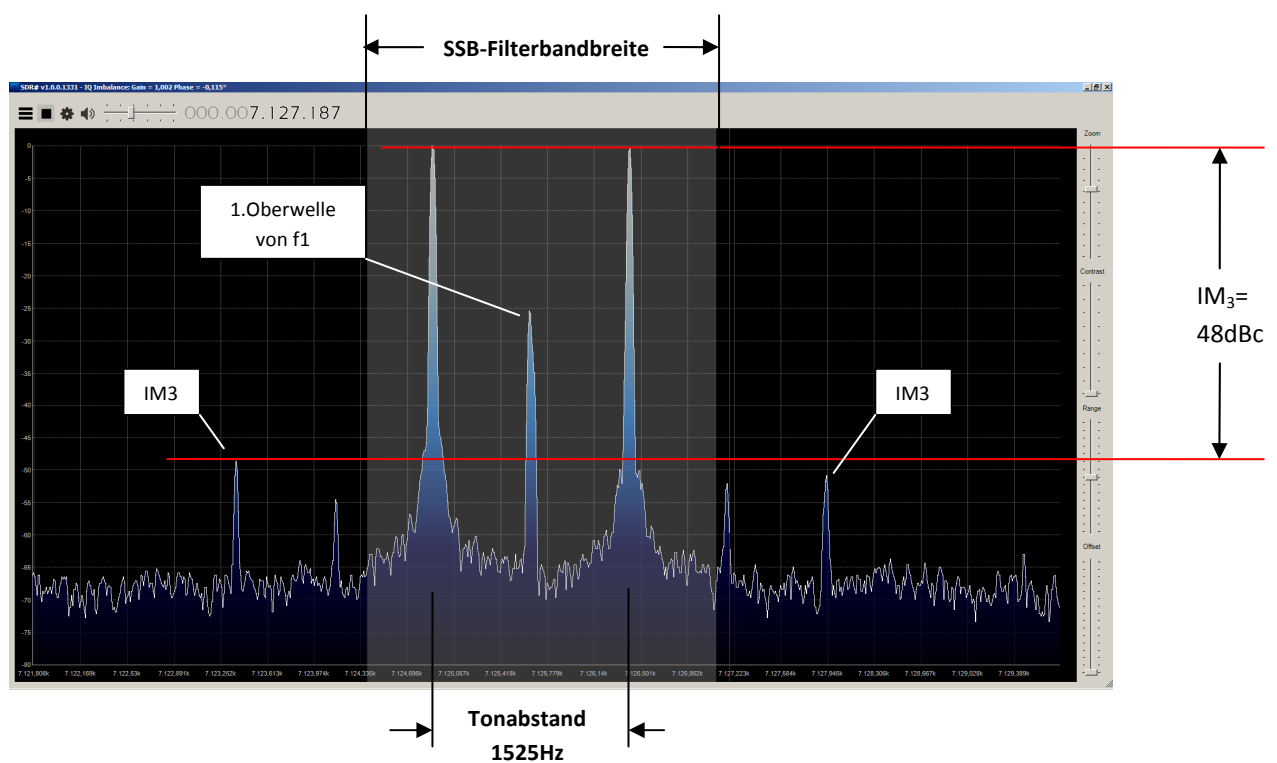


Bild 14: Messung des gleichen, verzerrten Signals wie in Bild 13, aber mit Tonabstand von $\Delta f=1500\text{Hz}$. Die tatsächlichen IM-Störungen kommen nicht mehr zur Anzeige, da sie von den Flanken des SSB-Filters abgedämpft werden. Der gemessene Intermodulationsabstand von $\text{IM}_3=48\text{dBc}$ ist falsch (zu gut!).

Meßergebnisse:

a) Das Doppeltongsignal der Transverters bei nicht übersteuertem Mikrofon und stark reduzierter Leistung zeigt **Bild 12**, der IM_3 -Abstand beträgt $> 50\text{dB}$.

b) Bei Übersteuerung des Mikrofonverstärkers in **Bild 13** reduziert sich der IM_3 - und Oberwellenabstand auf nur 27dB . Solche Störungen sind akustisch schon als leichte Verzerrung wahrnehmbar. Da alle Nutz- und Störsignale innerhalb der Übertragungsbandbreite des SSB-Filters auftreten, bezeichnet man solche Verzerrungen als "In-Band-Intermodulation" (**1, 2, 3**).

c) Wird die gleiche Messung mit einem vergrößerten Tonabstand von z.B. $\Delta f = 1525\text{Hz}$ durchgeführt, sind die entstehenden "In-Band-Intermodulationsstörungen" nicht mehr erkennbar, weil sie vom SSB-Filter des Sender abgeschnitten werden (**Bild 14**).

Leider werden in vielen Beschreibungen und Berichten über Intermodulations-Messungen an SSB-Sendern die falschen Tonfrequenzen angegeben und oft werden auch falsch dimensionierte NF-Doppeltong-Generatoren beschrieben und angeboten.

Fakt ist: Wird der SSB-Sender mit falsch gewählten (zu großen) Signaltonabständen getestet, kommen eventuelle Fehler im Mikrofonverstärker, 1. Mischer und SSB-Filter nicht zur Anzeige! Damit die entstehenden IM-Störungen überhaupt sichtbar werden, müssen die Tonfrequenzen in der SSB-Filtermitte positioniert werden und ihr Tonabstand (Δf) sollte $\leq 500\text{Hz}$ sein.

Eine ähnliche Problematik zeigt sich bei Messungen der Großsignalfestigkeit von HF-Empfängern. Auch hier wird häufig mit zu großen Signalabständen gemessen und das Ergebnis der Intermodulationsfestigkeit (IP_3) auf diese Weise (meist unwissentlich) "geschönt". In (**2**) wurde schon darüber berichtet.

5.) SDR-Receiver als Meßempfänger?

Bei den bisherigen Messungen wurden mit Hilfe der Software SDRSharp nur Pegeldifferenzen (dBc) ausgemessen, jedoch keine Absolutpegel in dBm oder dBV. Mit dem SDR-Receiver lassen sich jedoch auch absolute HF-Pegel über einem großen Dynamikbereich im Frequenzbereich von $0,1\text{-}2000\text{MHz}$ messen, und das bei gleichzeitig sehr hoher Frequenzauflösung.

Zur Einstellung von HF-Pegelmessungen, wird im Programm SDRSharp die "RF-Gain" auf "0dB" eingestellt (**Bild 15**). Im Frequenzbereich $0,1\text{-}30\text{MHz}$ arbeitet der SDR-Receiver mit 20dB HF-Verstärkung und im Bereich $30\text{-}2000\text{MHz}$ mit 40dB HF-Verstärkung. Zur Kompensation dieser Verstärkungen, wird dem SDR-Receiver - je nach Frequenzbereich - ein 20dB (HF) oder 40dB (VHF) Dämpfungsglied vorgeschaltet.

Nach Abstimmung des SDR-Receivers auf das zu messende HF-Signal, wird dieses mit einer vertikalen Skalierung von 5dB/Teil als Spektrallinie auf dem Display des PC's dargestellt. Bei meinen gewählten Einstellungen: **Sample Rate 2,4MSPS, Resolution 26144 und AGC off** erreicht eine Spektrallinie die oberste, horizontale Linie (0) bei einem HF-Pegel von 0dBm (1mW , 224mVeff). Die oberste horizontale Linie ist jetzt vergleichbar mit dem "Referenzpegel" eines Spektrumanalysators. Somit kann jetzt auch die absolute Leistung von Signalen (Spektrallinien) gemessen werden. Die Messdynamik beträgt $>60\text{dB}$ (Bild 15).

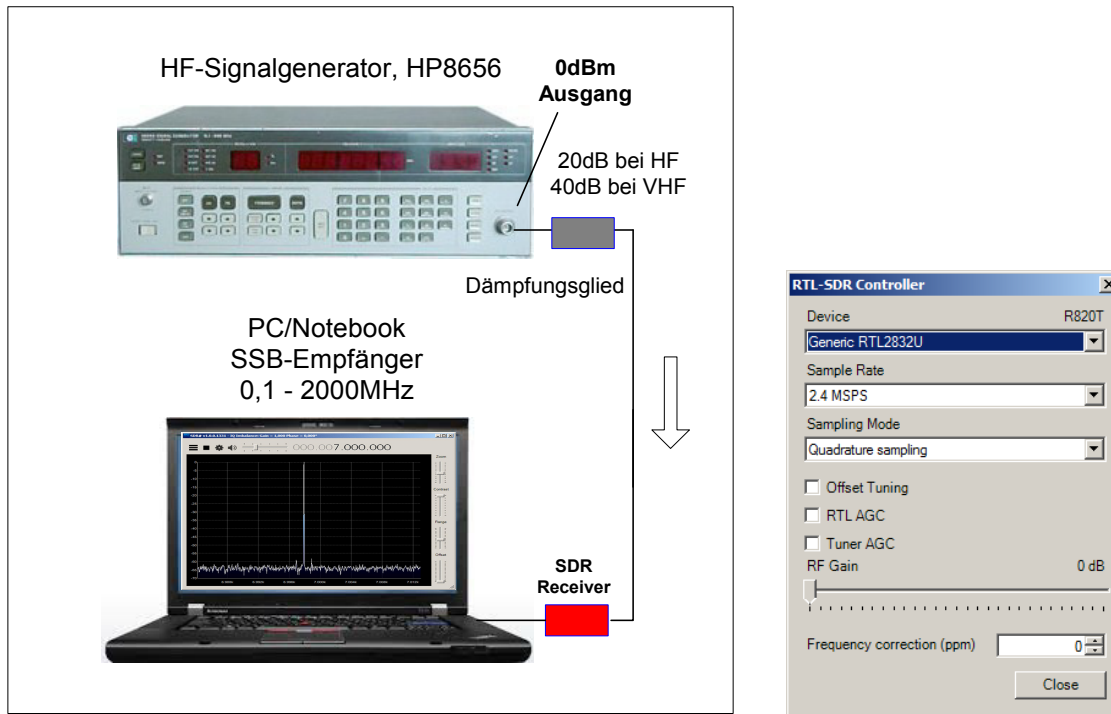


Bild 15: Messaufbau für HF-Pegelmessung und Einstellung von RF Gain in Controller (0dB)

Bilder 16-22 zeigen die Ergebnisse der selektiven HF-Leistungsmessung eines 7MHz CW-Signals, bei eingespeisten Signalpegeln von 0...-60dBm in 10dB Schritten. Die Meßpegel können direkt an der vertikalen Skalierung des Rasterfelds abgelesen werden. Die Skalierung 0...-60 entspricht jetzt 0...-60dBm. Als HF-Signalquelle wurde ein kalibrierter HP-Signalgenerator verwendet. Die Genauigkeit der Pegelmessung über den gesamten Amplitudenbereich ist erstaunlicherweise sehr gut, die max. Fehler liegen bei +/- 0,5dB.

Meßsignal 7MHz, Referenzpegel 0dBm

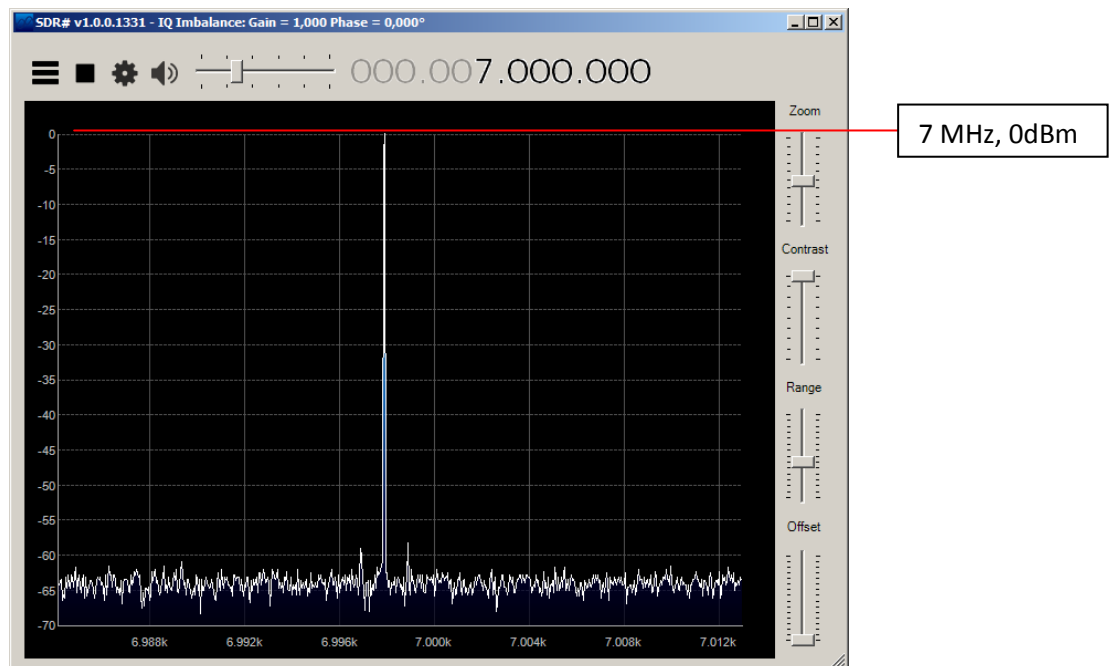


Bild 16: Pegel: 0dBm, Fehler 0dB

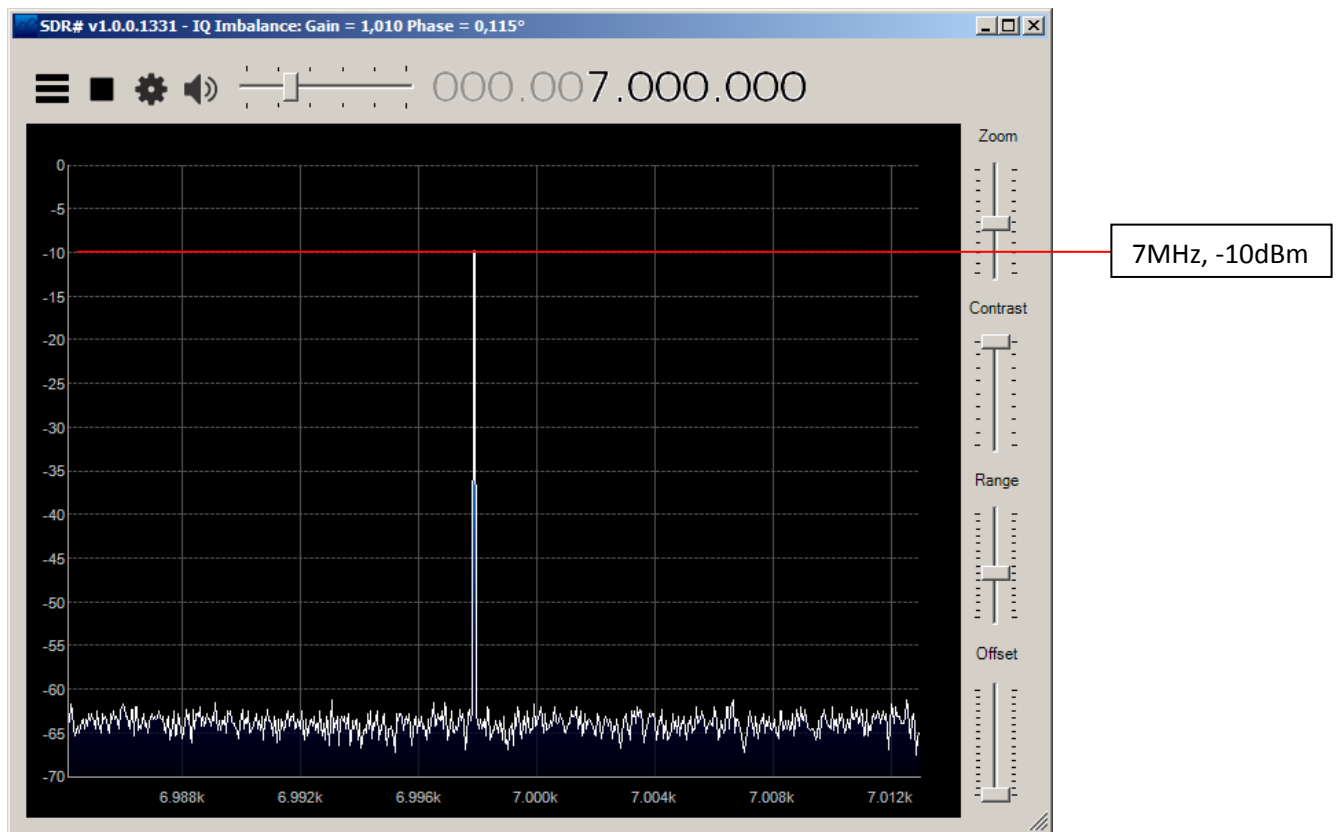


Bild 17: Pegel -10dBm, Fehler 0dB

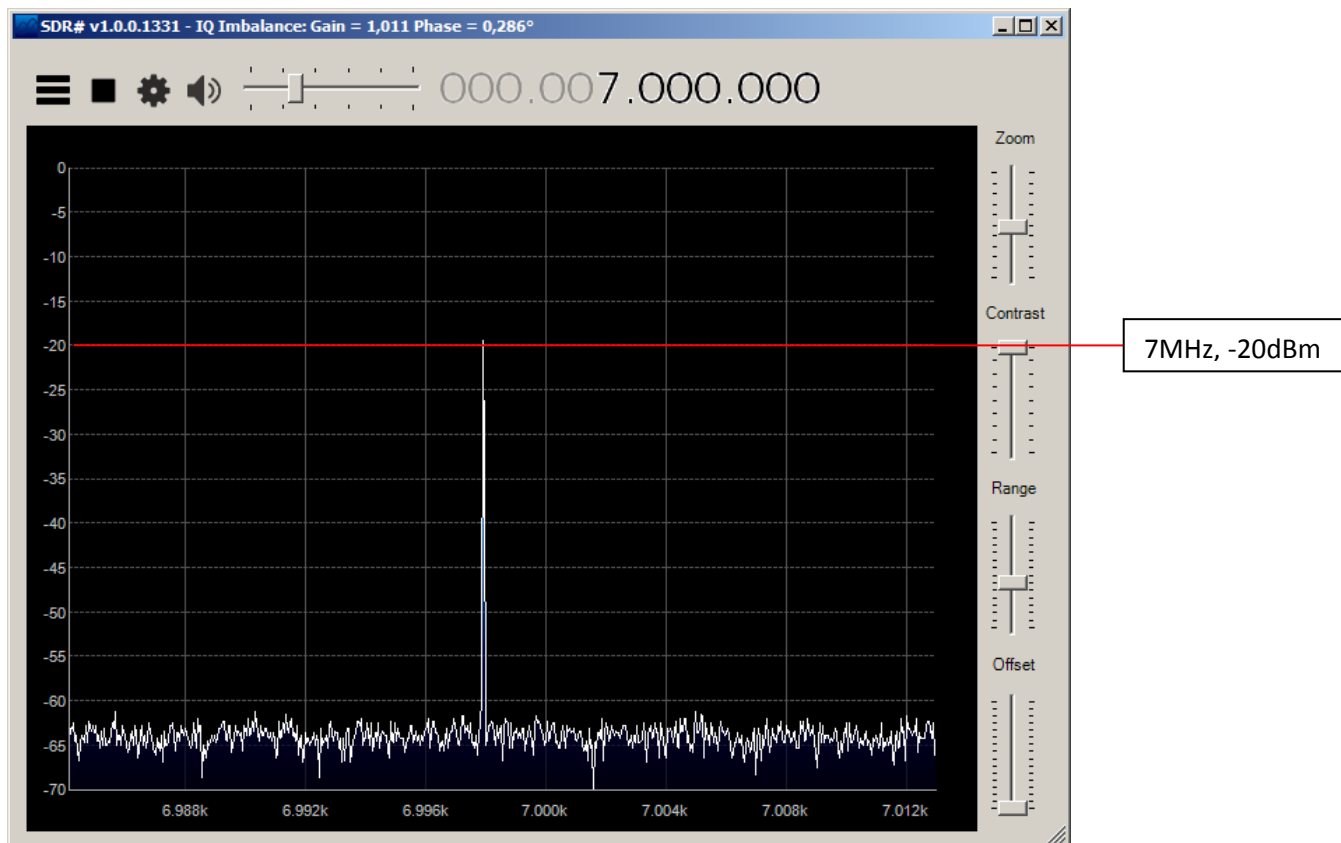


Bild 18: Pegel -20dBm, Fehler 0,5dB

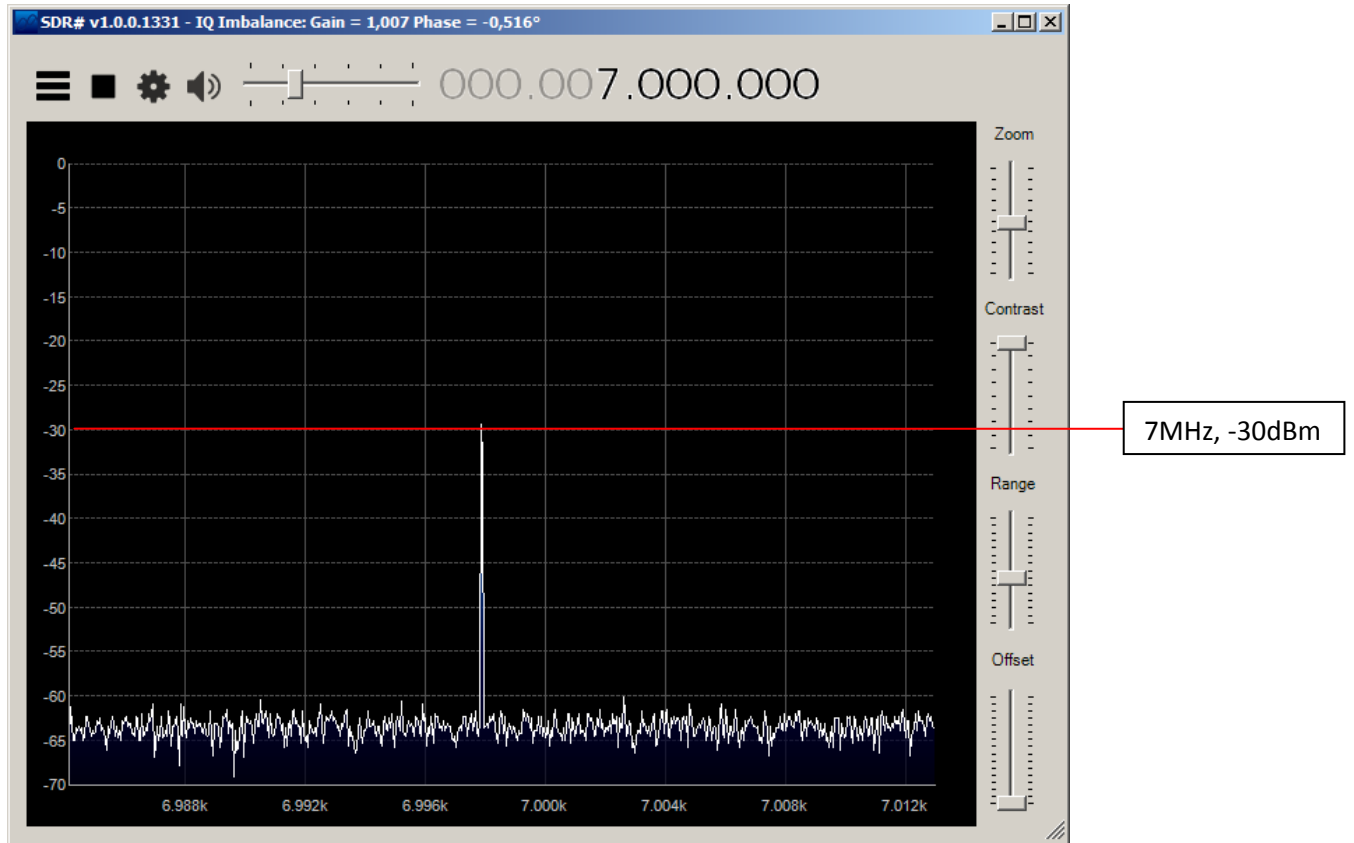


Bild 19: Pegel -30dBm, Fehler 0,5dB

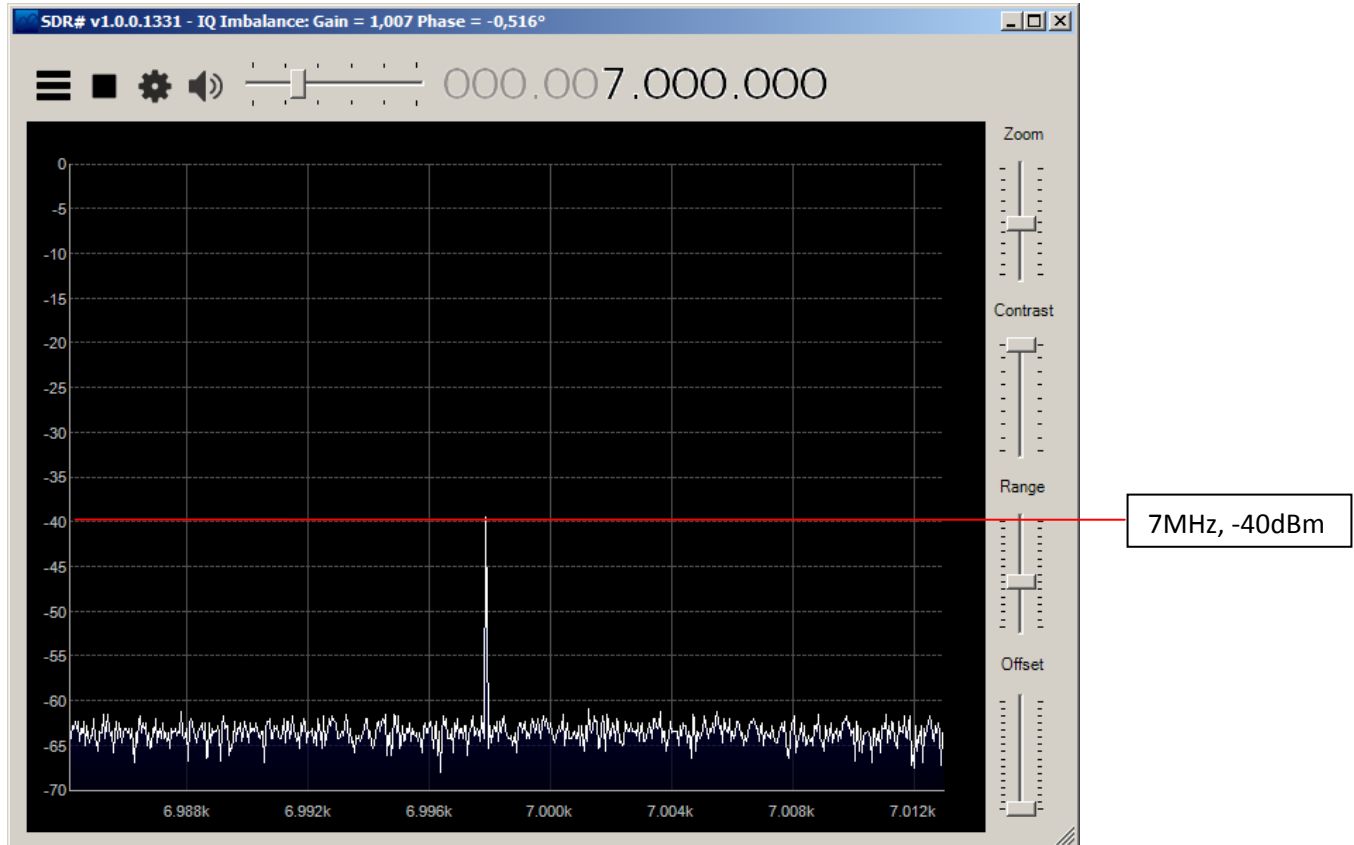


Bild 20: Pegel -40dBm, Fehler 0dB

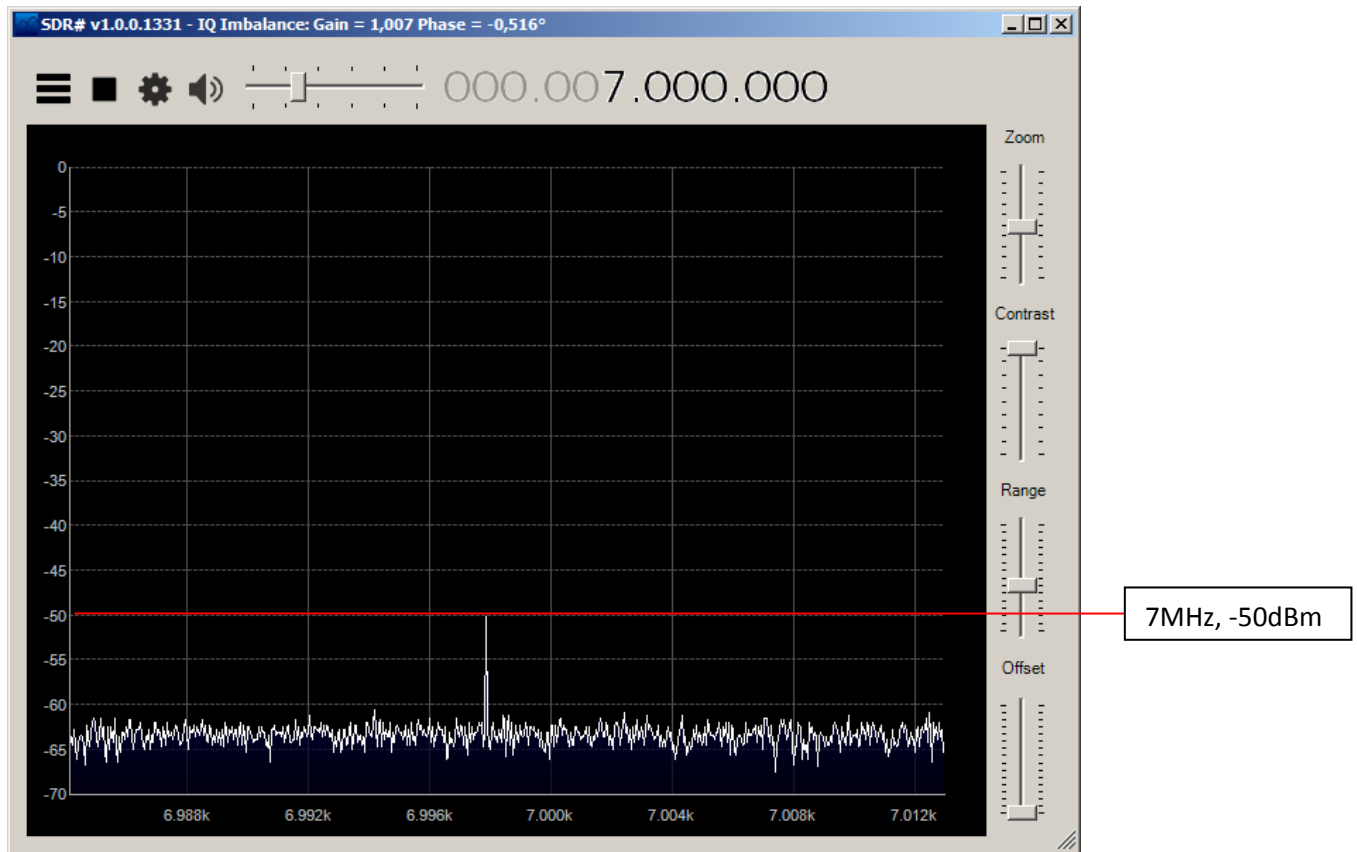


Bild 21: Pegel -50dBm, Fehler 0dB

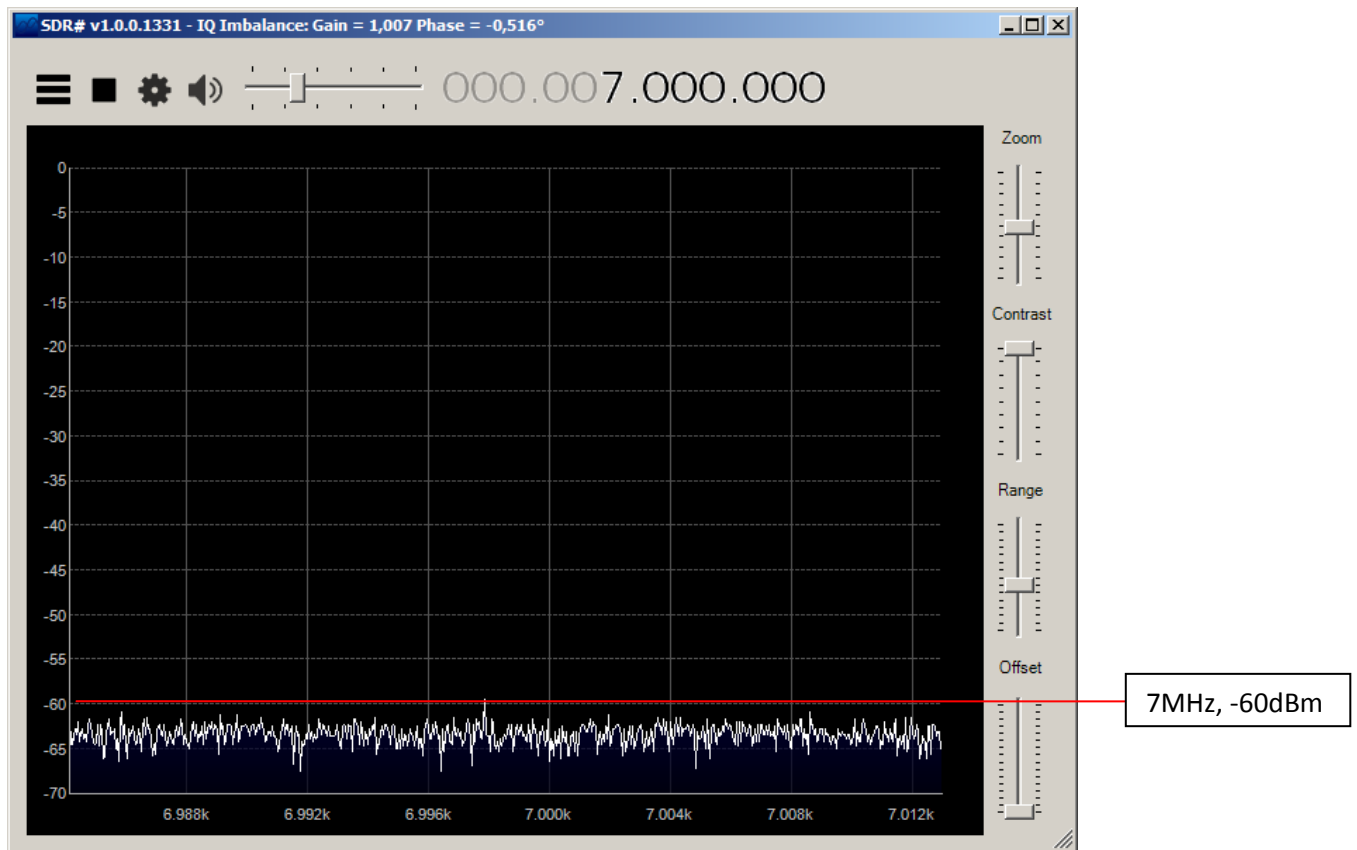


Bild 22: Pegel -60dBm, Fehler 0dB

Führt man die Messungen ohne 20- bzw. 40dB-Dämpfungsglied durch, dann beträgt der Pegelmessbereich im HF-Bereich -20....-80dBm und im HF-Bereich -40...-100dBm.

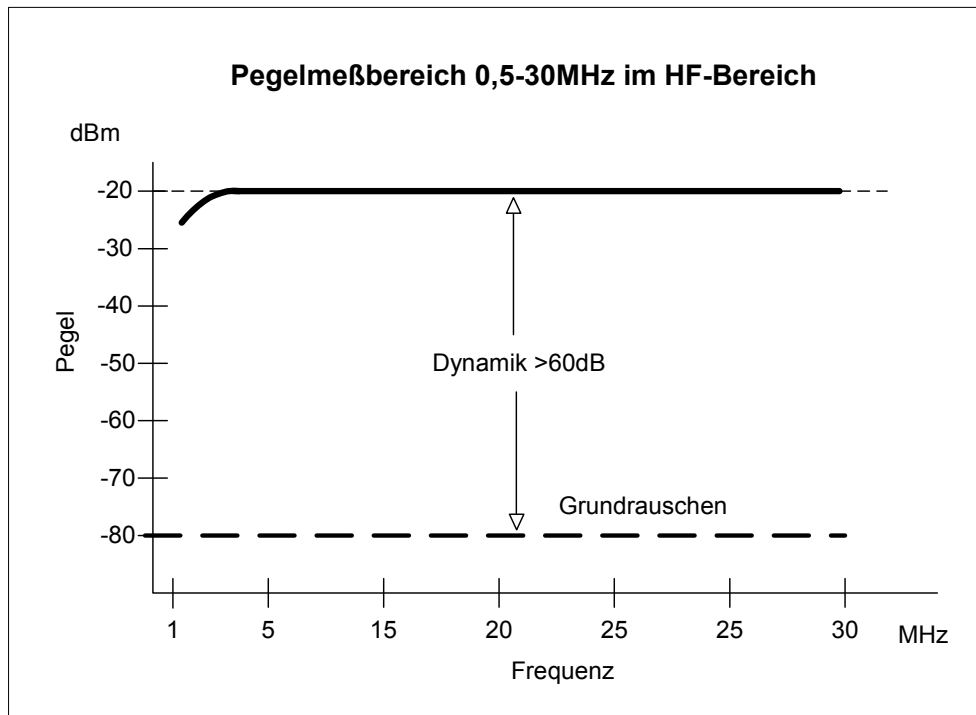


Bild 23: Pegelmessbereich im Frequenzbereich 0,1-30MHz, Genauigkeit 5-30MHz: +/-1dB

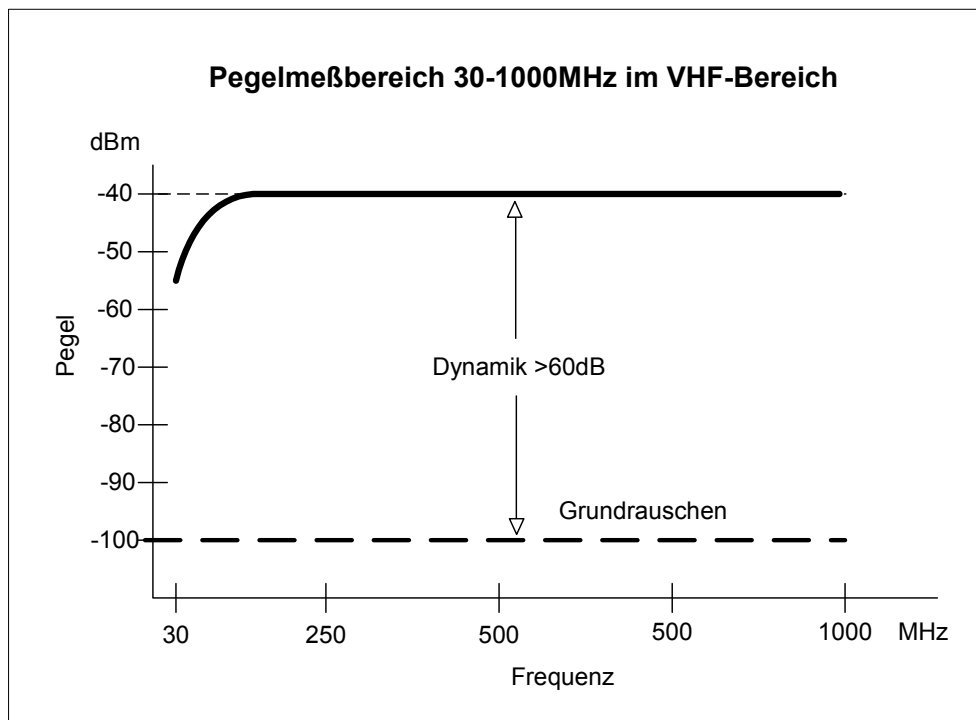


Bild 24: Pegelmessbereich im Frequenzbereich 30-1000MHz, Genauigkeit 100-1000MHz: +/-1dB

6.) Messung der Empfindlichkeit eines DVB-T-Sticks mit SDR#

Die Empfindlichkeit des FFT-Analysators ist abhängig von der eingestellten Abtastrate (Sample Rate) und digitalen Auflösung (Resolution). Für die FFT-Analyse wurde eine Abtastrate von 2,4MSPS gewählt, was einer dargestellten Bandbreite von 2,4MHz entspricht. Mit einer Resolution von 262'144 beträgt die spektrale Auflösung $2400000\text{Hz}/262144=9,16\text{Hz}$ (Bin Width der FFT). Bei einer gewählten Bandbreite von 500Hz, ist die spektrale Auflösung 500/9,16 mal größer als in der NF, entsprechend 17,4dB.

Ein Signal von $S=N$ erscheint also in der Spektralanalyse mit 17,4dB über dem Rauschpegel (**Bild 25**). Der Grund für diese Differenz liegt einfach darin, dass der SSB-Empfänger im Beispiel mit einer Bandbreite von **500Hz** arbeitet, der FFT-Analysator aber nur mit einer Auflösung von **9,16Hz**. Beim verwendeten "SDR-Receiver DX-Patrol" erzeugt ein 7MHz-Signal mit einem Pegel von -122dBm am Bildschirm des Analysators eine Spektrallinie von ca. 17dB über Rauschen und am NF-Ausgang (Lautsprecher) ein $(S+N)/N$ von 3dB. Damit entspricht und entspricht ein Pegel von -122dBm der Empfindlichkeitsgrenze des Empfängers im DX Patrol.

- Empfindlichkeit (S) = -122dBm (bezogen auf $B=500\text{Hz}$ und $(S+N)/N=3\text{dB}$)

Bei einem Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz und Normierung auf eine Bandbreite von 1Hz ergibt sich ein Rauschmaß (Noise Figure) von

- Rauschmaß (NF) = Empfindlichkeit - Rauschgrenzwert - $10\log B = (-122+174-27)\text{dB} = 25\text{dB}$

- Rauschzahl (F) = 316

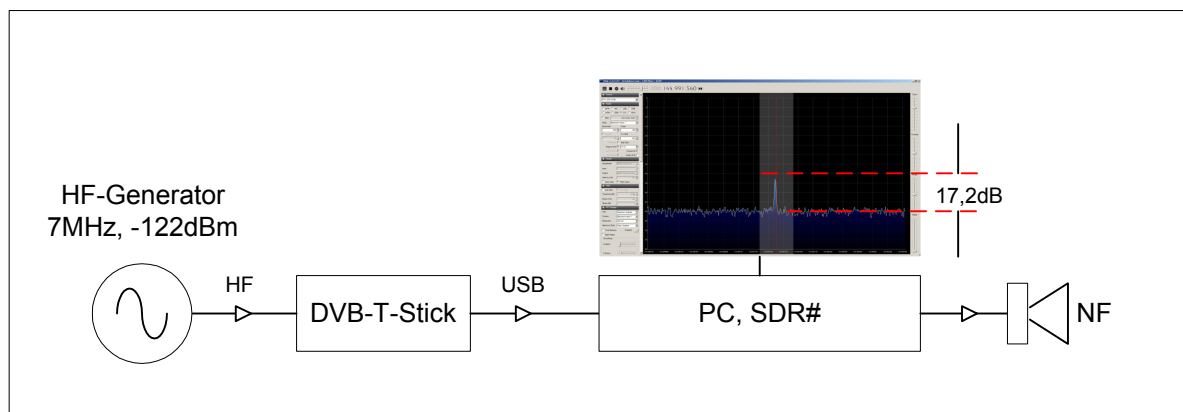


Bild 25: Signalpegel -122dBm für ein akustisches $(S+N)/N$ von 3dB

7.) Gleichzeitige Darstellung von HF- und NF-Spektrum

Mit Hilfe der FFT-Analyse Software "audioTester" lässt sich das NF-Signal am Ausgang des PC's viel genauer analysieren, als mit der Software SDR#. Dazu verbindet man an der PC-Soundkarte die Anschlüsse *NF-out* mit *NF-in* über ein kurzes Audio-Kabel und startet die Software audioTester und SDR#. AudioTester und SDR# können beide am PC gestartet werden und laufen problemlos gleichzeitig.

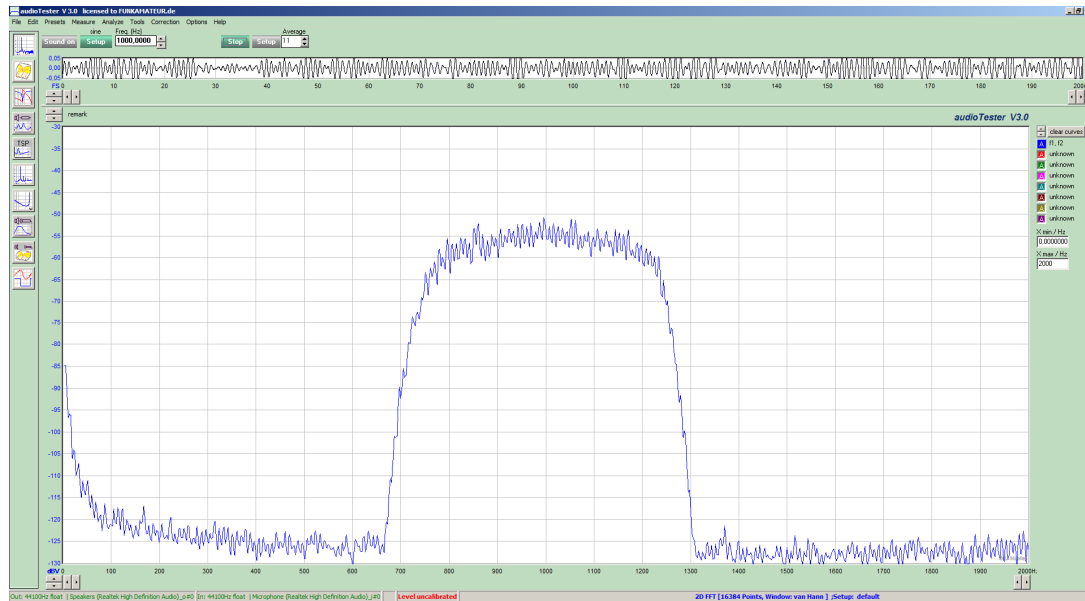


Bild 26: Filterformkurve des 500 CW-Filters, Frequenzbereich 0-2kHz, Filter Order 2000

Als ein Beispiel zeigt **Bild 26** die FFT-Analyse des NF-Ausgangssignals mit gewähltem 500Hz CW-Filter. Deutlich ist die aus dem Grundrauschen hervortretende Filterformkurve mit ihren steilen Flanken und hoher Selektion zu erkennen. Der dargestellte Frequenzbereich beträgt 0...2kHz und die Dynamik beträgt 100dB.

Bild 27 zeigt das NF-Spektrum bei Empfang und Abgleich auf ein 145MHz Signal mit -135dBm. Der Überlagerungston wurde auf 1kHz (CW Shift 1000) eingestellt und liegt damit in der Mitte des 500Hz-Filter. Die spektrale Auflösung (Bin Width) der niederfrequenten FFT-Analyse beträgt 5,38Hz. Aus diesem Grund erscheint das -135dBm Signal auch mit ca. 20dB über Rauschen. Das gleiche Signal erzeugt am Lautsprecherausgang des Empfängers nur ein SNR von 3dB und ist kaum hörbar.

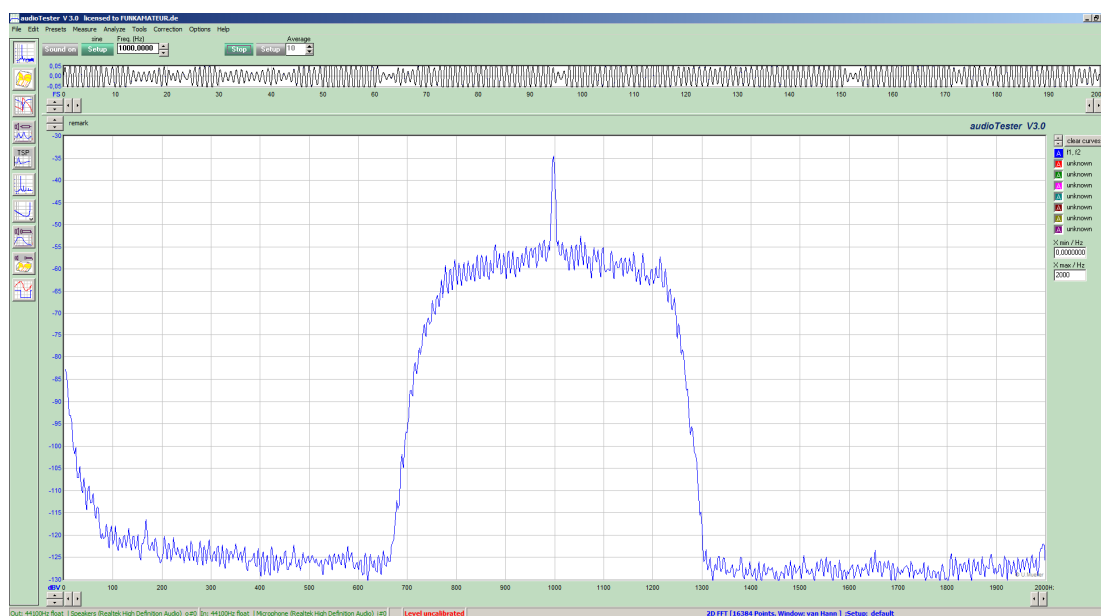


Bild 27: Spektralanalyse des NF-Ausgangssignals mit 1kHz Überlagerungston, Filter Order 2000

Die komplette Signalanalyse im HF- und NF-Bereich zeigt **Bild 28**, von einer Bildschirm-Kopie meines PC's. Beide Programme, SDR# (links) und audioTester (rechts), werden gleichzeitig und parallel ausgeführt.

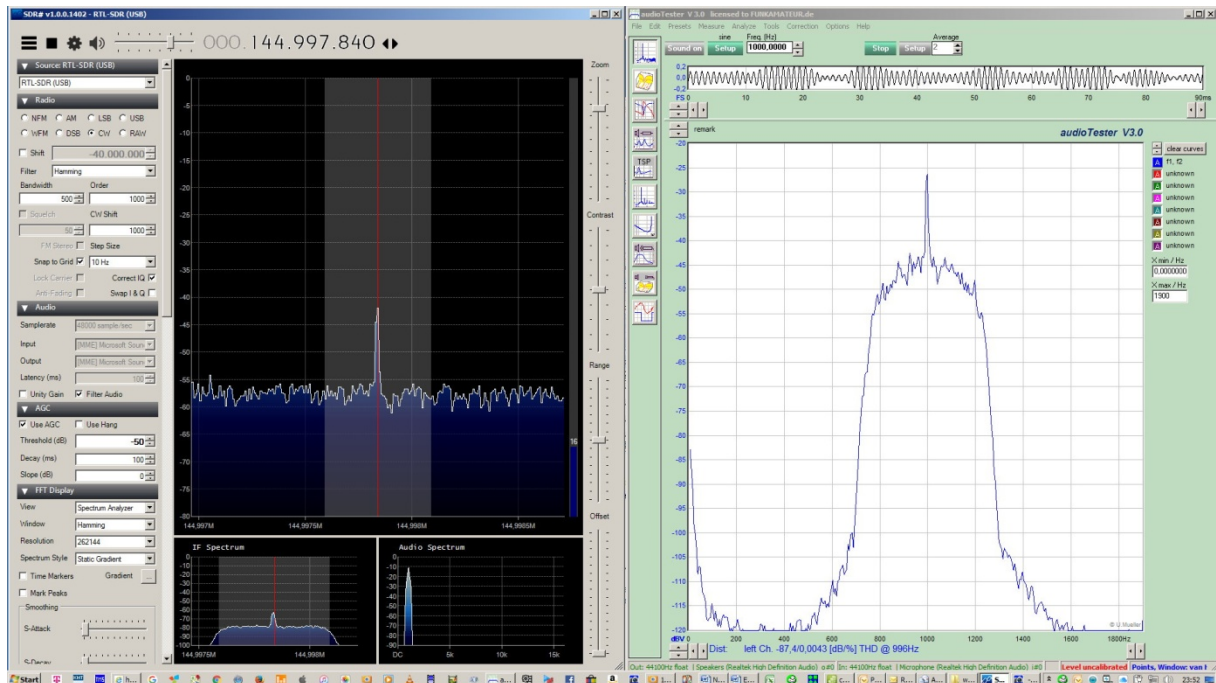

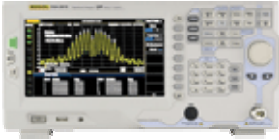


Bild 28: Spektrum im HF-Bereich von 144,997-144,999MHz (links) und demoduliertes Signal im NF-Bereich von 0-2kHz (rechts)

8.) Gegenüberstellung: SDR-Receiver (FFT) - Spektrumanalysator

	SDR-Receiver	Spektrumanalysator
		
Aufbau	FFT-Analysator	Überlagerungsverfahren
Frequenzabtastung	parallel	sequenziell
spektrale Auflösung	2Hz	10Hz - 1MHz
fehlerfrei zu analysierende Signalform	transient	periodisch
Dynamik	50..70dB	80..100dB
Vergrößerung der Selektivität	Zeitfenster verlängern	Auflösungsbandbreite verkleinern
Frequenzhub, max.	2MHz	0-2GHz (oder höher)
Ablaufzeit (sweep time)	schnell	langsam
Frequenzbereich	0,1-2000MHz (mit Down-Converter)	0,1- 2000MHz (oder höher)
Unterdrückung von Nebenwellen	geeignete Fensterfunktion	Reduzierung der Sweep Time
Tracking Generator	nein	optional
Frequenzmessung	ja	ja
Amplitudenmessung	ja	ja
Pegelmessgenauigkeit	mittel bis hoch	hoch, kalibriert
Preis €	15,- (24MHz-1,7GHz) 89,- (0,1MHz-2GHz) (Preisangabe ohne PC)	ab ca. 1.500,-

Literatur

(1) Intermodulationsmessungen an HF-Sendern und HF-Endstufen

https://dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung_an_HF-Sendern.pdf

(2) In-Band IM3-Messungen am Beispiel des IC7800, CQ-DL 8/2005, Seite 544-548

https://dc4ku.darc.de/Inband_Intermodulation.pdf

<http://www.ab4oj.com/test/imdtest/main.html>

(3) Antennenrauschen im Kurzwellenband

<https://dc4ku.darc.de/KW-Antennenrauschen.pdf>

(4) NF-Doppelton-Generator für IM₃-Messungen an SSB-Sendern

<https://dc4ku.darc.de/NF-Doppelton-Generator.pdf>

(5) HF-Doppelton-Generator für IM₃-Messungen an SSB-Endstufen (PA) und HF-Empfängern

<https://dc4ku.darc.de/HF-Doppelton-Generator.pdf>

(6) DX-Patrol SDR-Empfänger

http://www.wimo.de/dx-patrol-sdr-empfaenger_d.html

(7) SDR#, Software

<http://sdrsharp.com/#download>

(8) SDR# Software Defined Radio, Installationsanleitung

https://dc4ku.darc.de/SDR_Software-Defined-Radio.pdf

(9) Power-Splitter & Power-Combiner

https://dc4ku.darc.de/Power_Splitter.pdf

(10) Breitbandempfänger VLF bis UHF mit modernem DVB-T-Stick

Funkamateure 5,6/2014

(11) Theorie und Praxis der Spektrumanalyse

Vogel Buchverlag

ISBN: 978-3-8343-3221-9

http://www.vogel-buchverlag.eu/product_info.php?products_id=244

Werner Schnorrenberg

DC4KU, dc4ku@darc.de

Jan. 2015

Rev. 14.02.2015

Rev. 11.07.2015

Rev. 23.10.2015