

SDRplay Radio Spectrum Processor

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. SDRplay RSP	1
2. Inbetriebnahme	2
3. Regelung	4
4. Messung der Empfindlichkeit	6
4.1 Empfindlichkeiten bei maximaler Verstärkung	7
4.2 Empfindlichkeiten bei reduzierter Verstärkung	9
5. Messung der Großsignalfestigkeit im KW-Bereich	10
5.1 Großsignalfestigkeit mit aktivierter AGC	10
5.2 Großsignalfestigkeit mit 102dB Gain Reduction	12
5.3 Großsignalfestigkeit mit 58dB Gain Reduction	13
7. Überlegungen zu IP3 und A/D-Wandler	14
6. Frequenzgenauigkeit und Frequenzdrift	17
7. Spurious Response (Image Signals, Geistersignale)	17
8. S-Meter kalibrieren	19
9. Zusammenfassung	21

1.) SDRplay RSP

Der Empfänger ist in einem Plastikgehäuse verpackt, auf der einen Seite mit einer USB-Buchse mit Verbindungskabel zum Anschluß an den PC und auf der anderen Seite mit einer SMA-Buchse zum Anschluß der Antenne. Eine LED, die anzeigt ob das der SDRplay in Betrieb ist, gibt es nicht. Beim ersten Anschrauben des mitgelieferten SMA-BNC Adapters SMS drehte sich die SMA-Buchse im Plastikgehäuse mit und das hauchdünne Koax-Anschlußkabel im inneren der Box drohte abzureißen. Kein Problem für den Funkamateurl... also die Box aufgeschraubt und die SMA-Buche so gut es ging vorsichtig im Gehäuse festgeschraubt. Gleichzeitig konnte ich das Innenleben der SDRplay bewundern (Bild 2).



Bild 1: SDRplay

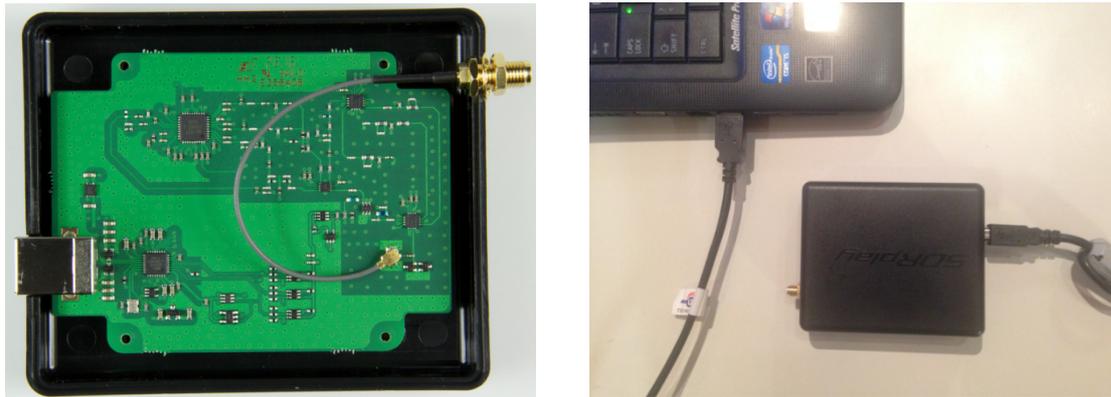


Bild 2. SDRplay geöffnet (links) und USB2-Anschluß am Notebook (rechts)

Besonderheiten des SDRplay:

- Empfang durchgehend von 10kHz bis 2GHz über einen Eingang
- keine Frequency-Shift Einstellung notwendig
- 12 Bit A/D-Wandler
- 10MHz Sample Rate
- ZF-Bandbreite bis zu 8MHz (7MHz nutzbar)
- 8 schaltbare Tiefpass- und Bandpaßfilter im Front-End

2.) Inbetriebnahme

Der SDRplay läuft unter den Programmen SDRuno, HSDR, SDR# (Shark) und weiteren Paketen. Alle nachfolgenden Messungen habe ich mit der Software SDR# auf einem Notebook unter WIN 7 durchgeführt.

Das Software-Package für SDR# findet man unter:

<http://www.sdrplay.com/platforms.html> und <http://airspy.com/download>

und die notwendigen Treiber und Plugins unter:

<http://www.sdrplay.com/windows.html>

Die Installation erfolgte in folgenden Schritten:

- API/Driver installiert (MiricsSDRAPIInstaller_1.97)
- SDR# Software Package installiert
- RSP1 EXIO Plugin installiert (SDRplay_EXTIO_Installer_Installer_V3.9.1)
- RSP1 SDR# Plugin installiert (SDRplay_SDRSharp_Plugin_v2.2)

Nach Installation von Software und Treibern - die bei mir problemlos verlief - das Programm SDR# starten. Damit der SDRplay nach dem Start erkannt wird, den Reiter "Source" öffnen und "SDRplay RSP" auswählen. Anschließend auf den Button "Start/Stop" drücken und die Frequenzanalyse (der Empfang) startet. Das typische Bild eines Spektrums im 40m-Band mit akustischer SSB-Demodulation (LSB) zeigt Bild 3.

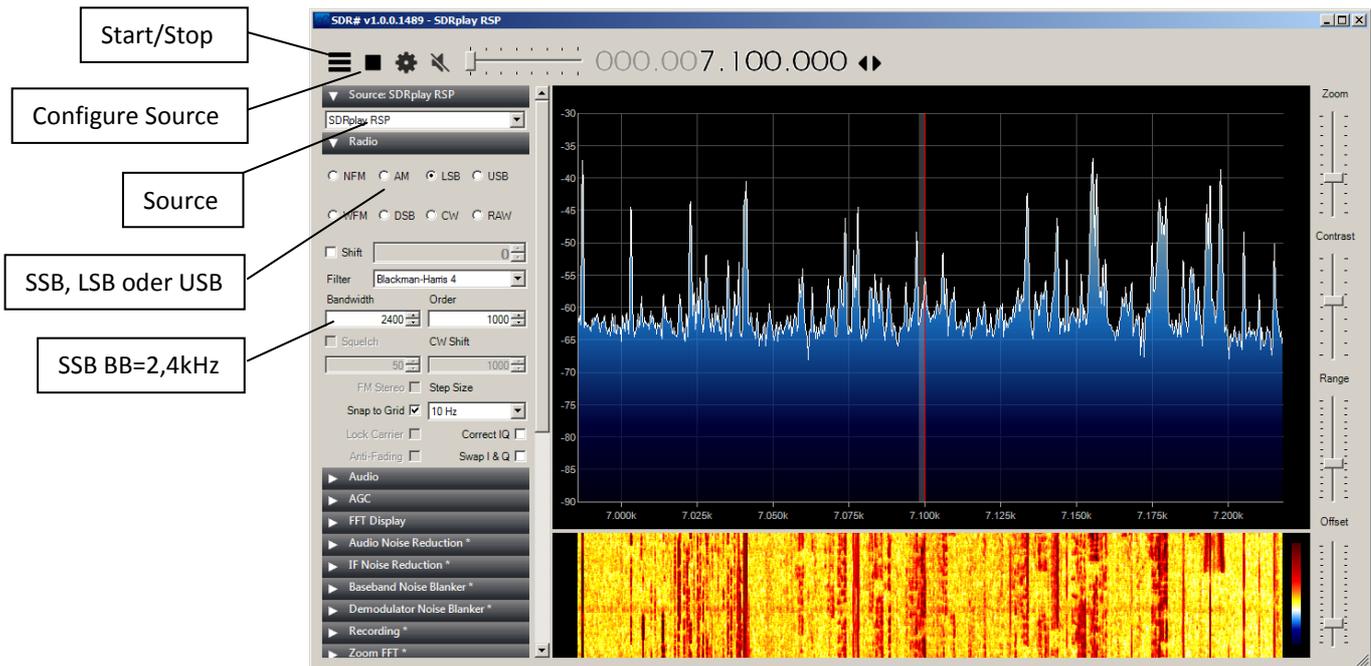


Bild 3: SDRplay mit KW-Antenne verbunden und empfangenes Spektrum im 40m-Band unter SDR#

Die grundlegenden Einstellungen des SDRplay erfolgen über "Configure Source". Das sich öffnende Menü "SDRplay Configuration" in Bild 4 zeigt im Wesentlichen den analogen Teil des SDRplay, dem MSi001-Tuner-Chip. Im Eingang befindet sich ein LNA (Low Noise Amplifier) mit 24/0dB Gain, dem folgt ein Mixer mit 19/0dB Gain und anschließend ein ZF-Verstärker mit stellbarer 0...59dB Gain. Zusammen ergibt sich eine max. Verstärkung von 102dB. Unter ADC kann die IF Bandwidth - die im Bildschirm sichtbare Bandbreite - gewählt werden. Bemerkenswert ist die Größe der maximalen Bandbreite von 8MHz. Bei meinem PC lag die Grenze leider bei 7MHz, ist aber immer noch ein respektabler Wert. Nach dem Start des SDRplay, schaltet der SDRplay die "Enable Tuner AGC" ein, d.h. der Empfänger arbeitet mit automatischer Regelung, nach einem intern vorgegebenen Algorithmus.

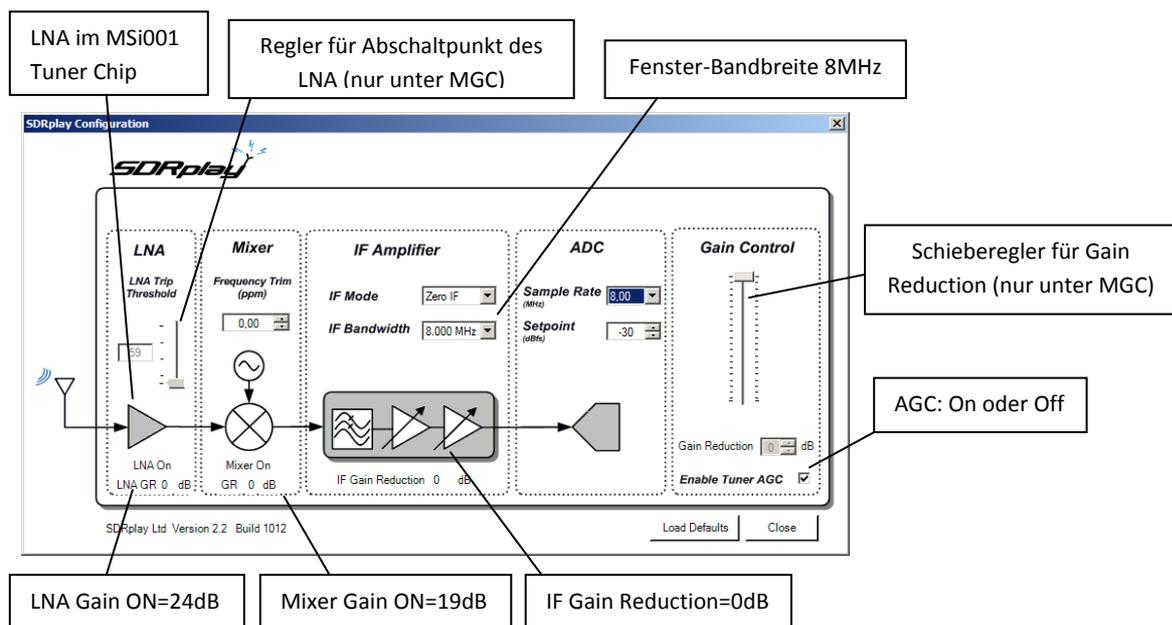


Bild 4: SDRplay Konfigurationsmenü (Default Einstellung) vom MSi001-Tuner-Chip

Hinweise zu Gain Control und LNA

* Im Konfigurationsmenü (Bild 4) wird nicht die Verstärkung angegeben sondern nur die sog. "Gain Reduction" (GR) in dB, also die eingestellte Dämpfung, bezogen auf die maximale Verstärkung bzw. minimale Dämpfung. Eine eingestellte Gesamtverstärkung von 102dB entspricht beim SDRplay einer Gain Reduction von 0dB. Stellt man den Dämpfungs-Schiebereglers z.B. auf ein Gain Reduction von 60dB ein, dann entspricht die Gesamtverstärkung $102-60=42\text{dB}$.

* Über den Regler "LNA Trip Threshold" läßt sich vorgeben, ab wann der LNA im Tuner-Chip zu- oder abgeschaltet werden soll. In Grundeinstellung steht der Regler auf 59dB, d.h. der LNA wird erst ab einer Gain Reduction von 59dB automatisch abgeschaltet. Bei Bedarf kann der Abschaltpunkt des LNA mit Hilfe des Schiebereglers auch auf andere Werte eingestellt werden, bis herauf zu einem Wert von 24dB. Die manuelle Einstellung der Schieberegler für "Gain Control" und "LNA Trip Threshold" funktioniert nur bei abgeschalteter AGC (Enable Tuner AGC -> off).

* zu LNA: Oberhalb 60MHz schaltet der SDRplay im Front End noch einen weiteren LNA mit einer Verstärkung von 20dB hinzu, s. Bild 33. Dieser LNA sitzt vor dem LNA im MSi001-Tuner-Chip und ist in Bild 4 nicht eingezeichnet.

3.) Regelung

Die Verstärkungseinstellung im SDRplay ist etwas tricky. Wie in Blockschaltbild 4 gezeigt, erfolgt sie in drei einzelnen, separaten Stufen, einem LNA, Mixer und ZF-Verstärker. Bei eingeschalteter AGC regelt der SDRplay seine Verstärkung selbst, indem er feststellt, welche Signale innerhalb der gewählten Bandbreite mit welchen Pegeln anstehen und regelt seine Verstärkung entsprechend nach.

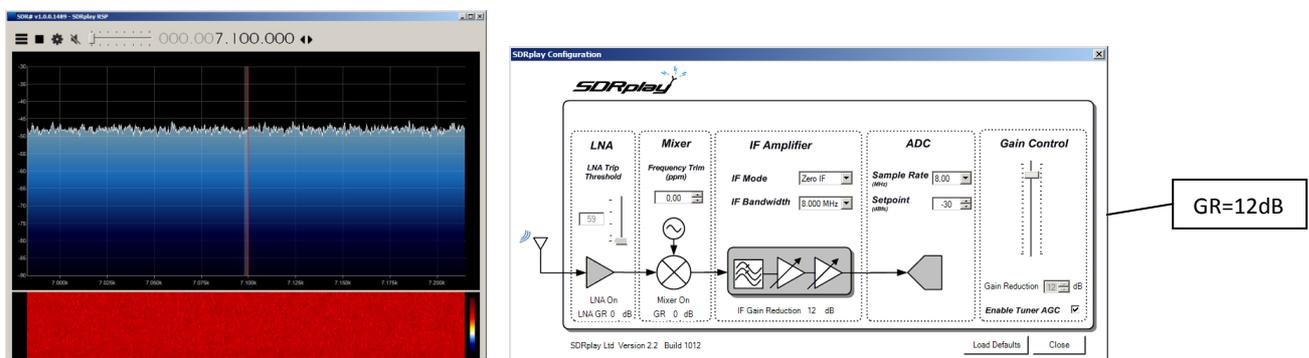


Bild 5: AGC ohne Signal am Eingang, relativ hochliegende Rauschlinie, die Gain Reduction beträgt nur 12dB

Bei kleinen Signalen wählt der SDRplay automatisch eine hohe Verstärkung und bei starken Signalen eine große Dämpfung, um die Signale möglichst verzerrungsfrei zu verarbeiten und die Intermodulation gering zu halten.

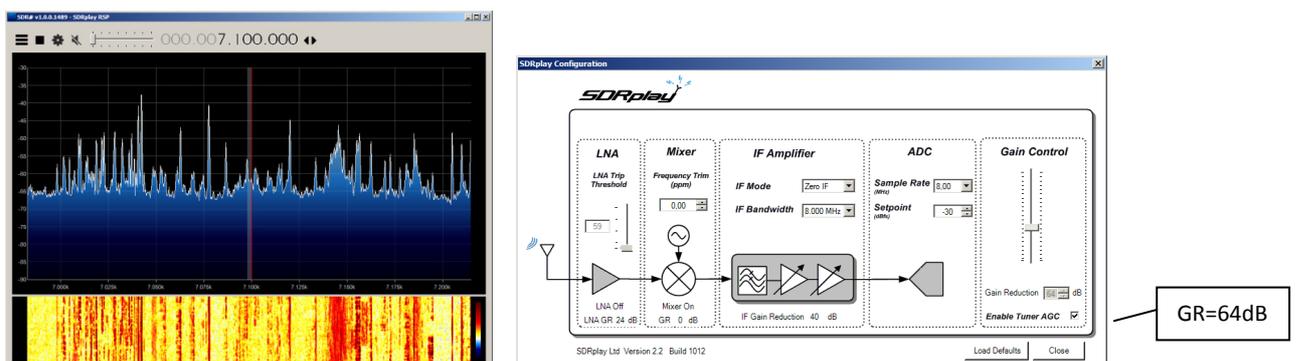


Bild 6: AGC bei mit angeschlossener KW-Antenne, SDRplay wählt eine Gain Reduction von 64dB

Sind keine Signale am SDRplus angeschlossen, dann schaltet der Empfänger auf seine maximale Verstärkung und im Bildschirm entsteht eine relativ hoch liegende Rauschlinie. Hierbei arbeitet die AGC nur mit einer IF Gain Reduction von nur 12 dB und die Gesamtverstärkung beträgt 90dB (Bild 5).

Bei Anschluß einer KW-Antenne erkennt die AGC die Pegel der auftretenden Signale und regelt die Verstärkung automatisch auf eine GR von 64dB herunter, entsprechend einer Verstärkung von $102\text{dB} - 64\text{dB} = 38\text{dB}$. Der Low Noise Amplifier (LNA) im Front End wird automatisch abgeschaltet und die ZF-Verstärkung um 40dB reduziert (Bild 6).

Bild 7 verdeutlicht das gute Regelverhalten (AGC) des SDRplay. Zwei Signale von -90dBm ($7\mu\text{V}$) und 0dBm (224mV !) erreichen mit nur 3dB Differenz fast die gleiche Höhe im Bildschirm (Referenzpegel), der dynamische Regelumfang beträgt demnach 90dB. Im Konfigurationsmenü erkennt man, wie sich der SDRplay bei diesen beiden Signalen einstellt, bei -90dBm sind LNA- und Mixer-Verstärker eingeschaltet und die IF-Gain Reduction beträgt nur 17dB, bei 0dBm werden beide Vorverstärker abgeschaltet und die Gain Reduction schaltet auf 50dB, insgesamt auf 102dB.

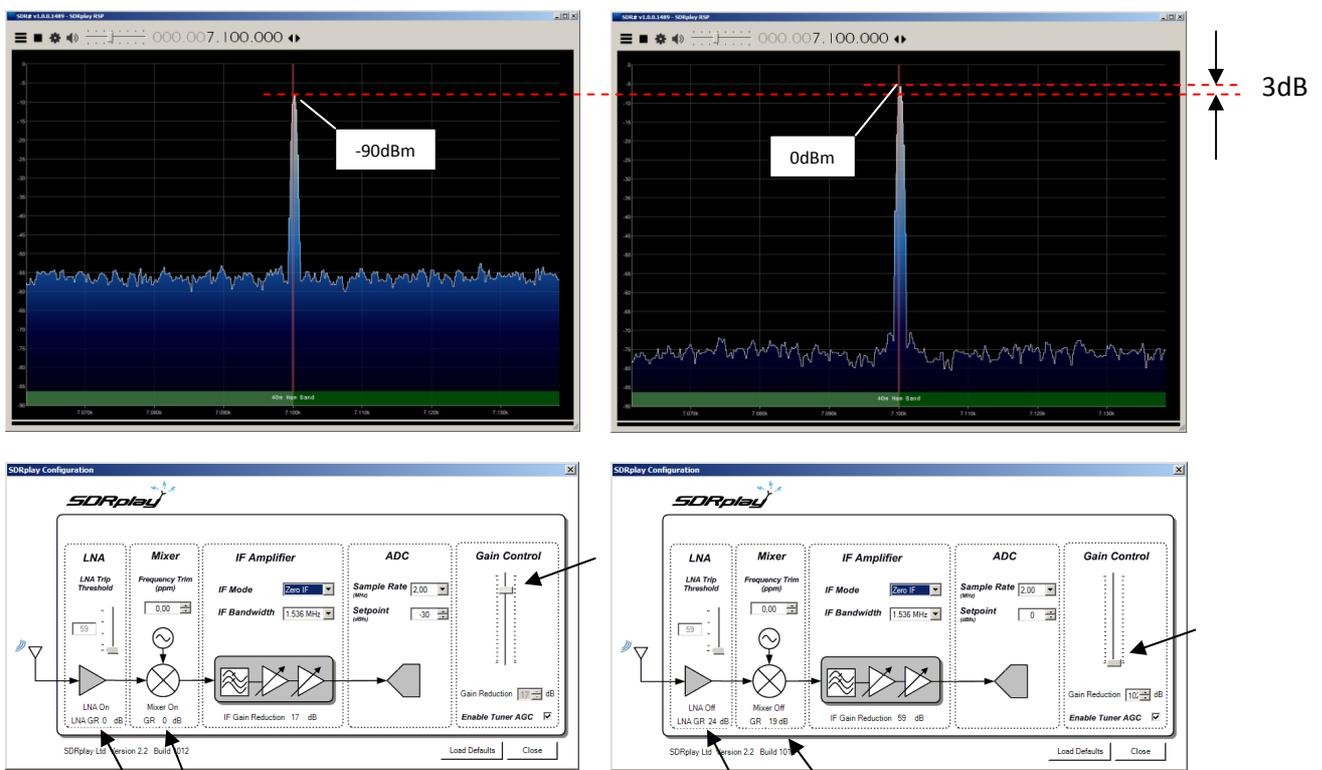


Bild 7: Regelung des SDRplay, -90dBm Signal (links), 0dBm Signal (rechts)

Falls das relativ hohe Rauschen bei hoher Verstärkung des SDRplay stört (Bild 7, links), kann man die AGC auch abschalten und die Dämpfung selbst festlegen (MGC). Auf Kurzwelle bevorzuge ich die

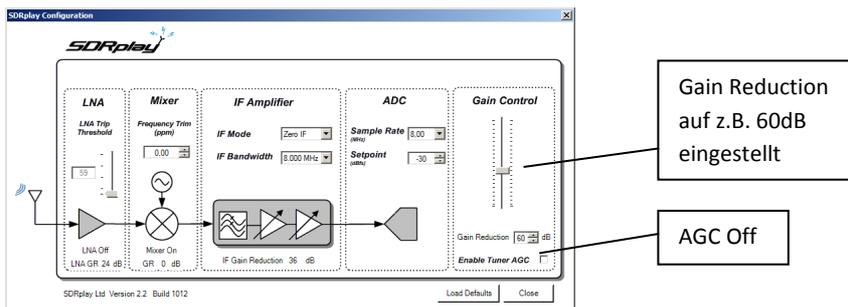


Bild 8: AGC abgeschaltet und die Dämpfung selbst eingestellt

Anwahl der MGC und stelle die Gain Reduction fest auf einen Wert von 60...75dB ein, das passt für fast alle Bänder im KW-Bereich (Bild 8). Der LNA ist bei dieser hohen Dämpfung abgeschaltet, eine hohe Verstärkung im Front-End wird auf Kurzweile sowieso nicht gebraucht, sie schadet eher.

Um das Regelverhalten des SDRplay mit seinen drei unabhängigen Verstärkerstufen zu ergründen, schalten wir die AGC ab (Enable Tuner AGC Off) und ziehen den Gain Control-Schieberegler ganz nach oben, bis auf eine Dämpfung von 0dB, entsprechend einer internen Verstärkung von 102dB. Dann ziehen wir den Regler langsam nach unten und vergrößern die Gain-Reduction des ZF-Verstärkers von 0 bis auf 59dB. Die Rauschkurve im Bildschirm sinkt dabei ebenfalls mit nach unten. Ab 59dB ZF-Dämpfung schaltet sich die Verstärkung des LNA (24dB) ab. Damit der entstehende Pegelsprung auf der Rauschkurve im Bildschirm nicht erkennbar wird, erhöht sich gleichzeitig die ZF-Verstärkung um 24dB, auf eine Dämpfung von insgesamt 35dB. Ziehen wir den Schieberegler dann weiter nach unten bis auf eine Dämpfung von 83dB, dann schaltet sich auch der Mixer-Verstärker (19dB) ab und die ZF-Verstärkung erhöht sich gleichzeitig um 19dB auf eine Dämpfung von insgesamt 40dB (Bild 9).

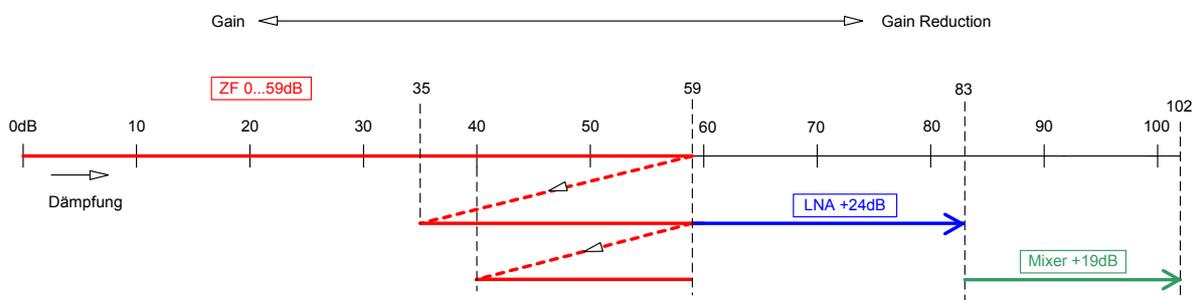


Bild 9: Verstärkungseinstellung des SDRplay

Anschließend kann die Dämpfung mit dem Schieberegler noch um 19dB auf insgesamt 102dB erhöht werden. Die gesamte Dämpfung bzw. der Regelbereich des ZF-Verstärkers beträgt somit 59dB. Über diesen Weg ist eine kontinuierliche Verstärkungs- bzw. Dämpfungseinstellung in 1dB-Stufen möglich.

4.) Messung der Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit (S) eines Empfängers entspricht dem Pegel seines Grundrauschens (N). Wenn ein empfangenes HF-Signal 3dB oberhalb des Grundrausches liegt, dann entspricht der Signalpegel dem Pegel des Grundrauschens, $S=N$.

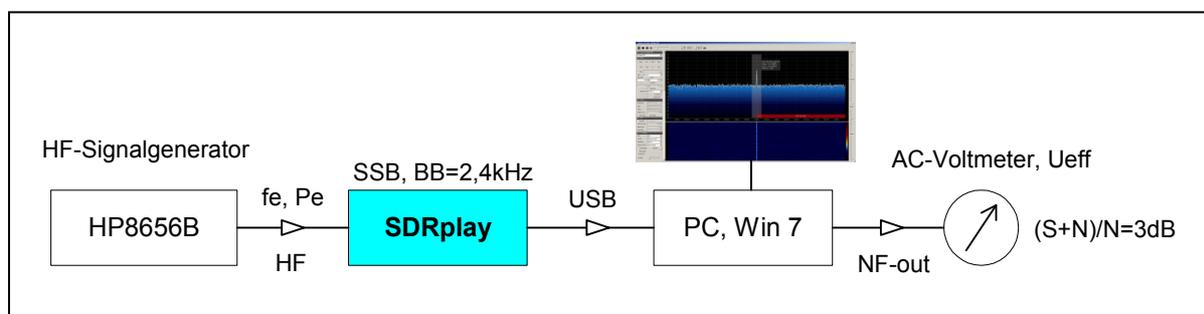


Bild 10: Messaufbau zur Ermittlung der Empfindlichkeit (Grundrauschpegel)

Zur Bestimmung des Grundrauschens (Noise Floor) eines SSB-Empfängers messen wir zunächst den relativen Pegel (Spannungswert) des Grundrauschens. Dazu schließen wir entsprechend Bild 10 ein AC-Voltmeter an den NF-Ausgang des PC's an und erhöhen den NF-Rauschpegel über den Lautstärkeregler

des PC's so weit, bis auf der Skala des Voltmeters ein gut ablesbarer Wert entsteht, von z.B. $U_1=100\text{mVeff}$. Für diesen Test eignet sich hervorragend ein Zeigerinstrument, weil der Zeiger eines Voltmeters das Grundrauschen schon integriert bzw. mittelt und bei der Messung nicht so zittert sondern stillsteht. Diese gemessene Spannung ist jetzt unser Referenzwert von 0dB. Anschließend legen wir ein HF-Signal (S) an den Eingang des SDRplay, gleichen das Signal auf 1kHz Überlagerungston ab (egal ob USB oder LSB) und reduzieren das HF-Eingangssignal soweit, bis sich das NF-Ausgangssignal nur noch um den Faktor 1,414 gegenüber der zuvor gemessenen Rauschspannung erhöht, im Beispiel bis auf eine Spannung von $U_2=141,4\text{mVeff}$. Gemäß der Gleichung $20\log U_2/U_1=3\text{dB}$ entspricht die Größe des HF-Signal (S) damit dem Pegel des zuvor gemessenen Grundrauschens (N) und es gilt $(S+N)/N=2=3\text{dB}$. Aus der ermittelten Empfindlichkeit (S) kann das Rauschmaß (NF) berechnet werden zu

$$\text{Rauschmaß (NF)} = \text{Empfindlichkeit (S)} - \text{Rauschgrenzwert} - 10\log\text{Bandbreite.}$$

Mit einer Bandbreite von 2,4kHz (SSB) und einem Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz ergibt sich

$$\text{Rauschmaß (NF)} = \text{Empfindlichkeit (S)} + 140\text{dB.}$$

Das dämpfungsabhängige Zu- und Abschalten von LNA- und Mixer-Gain beeinflusst natürlich auch die Empfindlichkeit und das Großsignalverhalten des SDRplay und muß bei Messungen beachtet werden. Deswegen wurde die Empfindlichkeit bei folgenden Grundeinstellungen des SDRplay gemessen:

- 4.1) Gain Control 0dB, LNA GR=0dB, Mixer GR=0dB, IF GR=0dB, AGC Off (High Gain Mode)
Einstellung auf minimale Dämpfung (Gain Reduction=0) bzw. maximale Verstärkung.
Alternativ kann auch die AGC eingeschaltet werden, weil bei einem SNR von 3 dB die Regelung noch nicht einsetzt.
- 4.2) Gain Control 60dB, LNA GR=24dB, Mixer GR=0dB, IF GR=36dB, AGC Off (Low Gain Mode)
Einstellungen für reduzierte Verstärkung.

4.1) Empfindlichkeit bei maximaler Verstärkung (High Gain Mode)

Einstellungen: LNA-Gain On, Mixer-Gain On, Gain Reduction 0dB (total Gain 102dB), AGC off

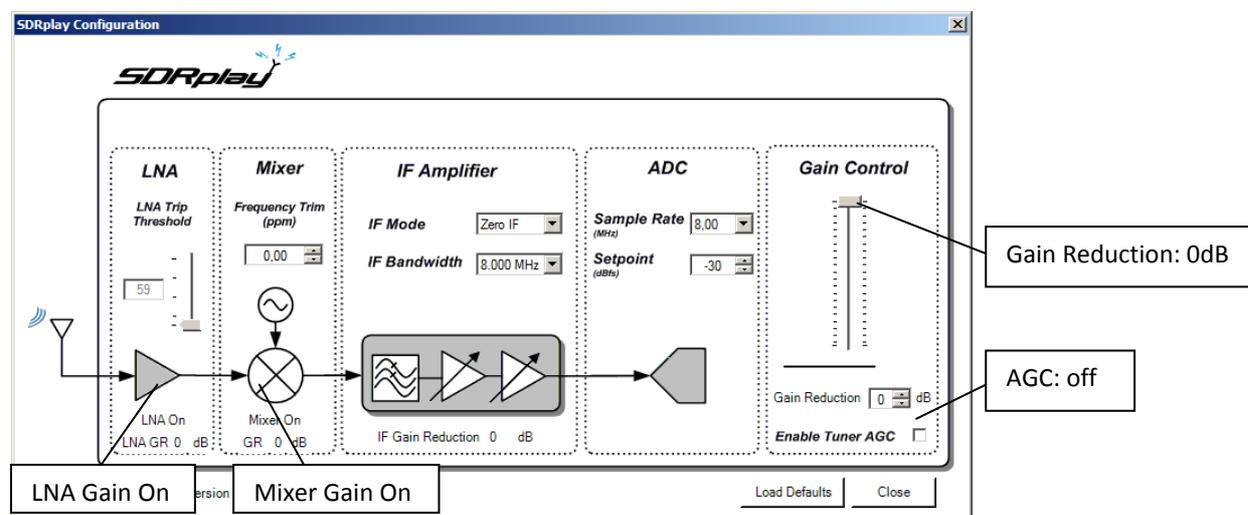


Bild 11: Einstellungen für maximale Verstärkung = Gain Reduction 0dB

Das Ergebnis einer **Empfindlichkeitsmessung bei 28,5MHz** zeigt Bild 12. Bild links zeigt das relative Grundrauschen des Empfängers im 10m-Band. In Bild rechts wird ein CW-Signal von 28,5MHz auf einen Überlagerungston von 1kHz abgeglichen und sein Pegel soweit vergrößert oder verkleinert, bis sich am AC-Voltmeter (Bild 9) ein akustisches $S/(S+N)$ von 3dB ergibt. Im Beispiel benötigen wir hierfür einen Signalpegel von -125dBm. Das Signal erscheint im Display nicht (wie erwartet) mit optisch "3dB über Rauschen", sondern mit einem viel größerem SNR von ca. 17dB, die Erklärung hierfür findet man in (1). Würde man das optische SNR von 17dB über Rauschen zur Berechnung der Empfindlichkeit ansetzen, wäre das Messergebnis falsch. Was alleine gilt, ist das am Voltmeter gemessene, niederfrequente (akustische) SNR von 3dB.

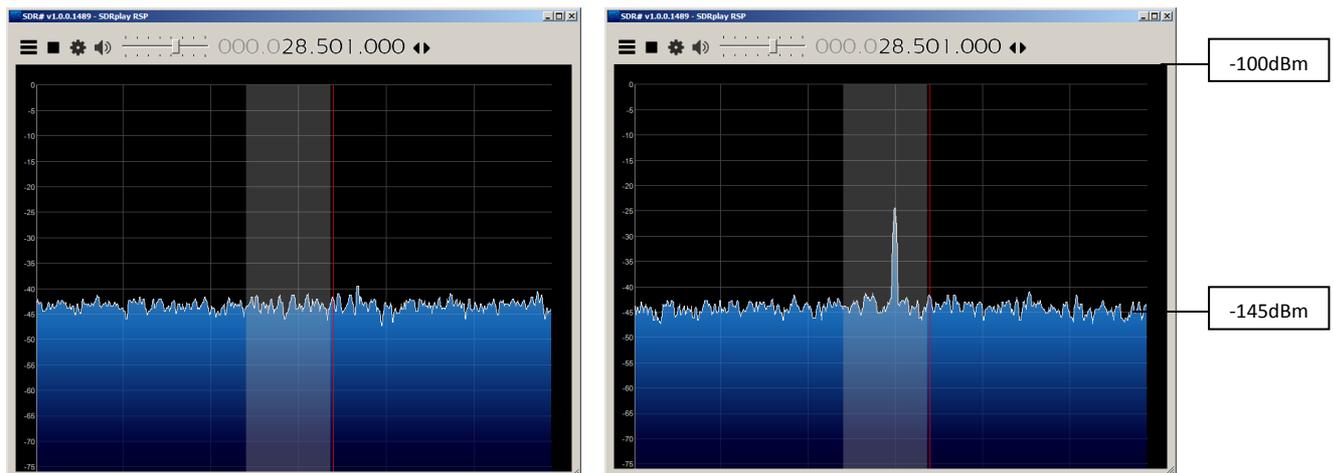


Bild 12: Grundrauschpegel ohne Signal (links). Ein Signal von -125dBm Leistung bei 28,5MHz erzeugt ein niederfrequentes, akustisches $(S+N)/N$ von 3dB (rechts)

Ergebnisse der Empfindlichkeit (S) und Rauschmaß (NF) bei maximaler Verstärkung:

Frequenz f_e MHz	Empfindlichkeit S^* dBm	Rauschmaß NF dB
1,8	-129	11
7,1	-128	12
14	-129	11
28,5	-130	10
145	-136	4
435	-136	4
990	-134	6

* Empfindlichkeit bezogen auf eine SSB-Bandbreite von 2,4kHz

Tabelle 1: Empfindlichkeit und Rauschmaß über der Frequenz

4.2) Empfindlichkeit bei reduzierter Verstärkung (Low Gain Mode)

Einstellungen: LNA Off, Mixer On, Gain Reduction 60dB (total Gain 42dB), AGC Off

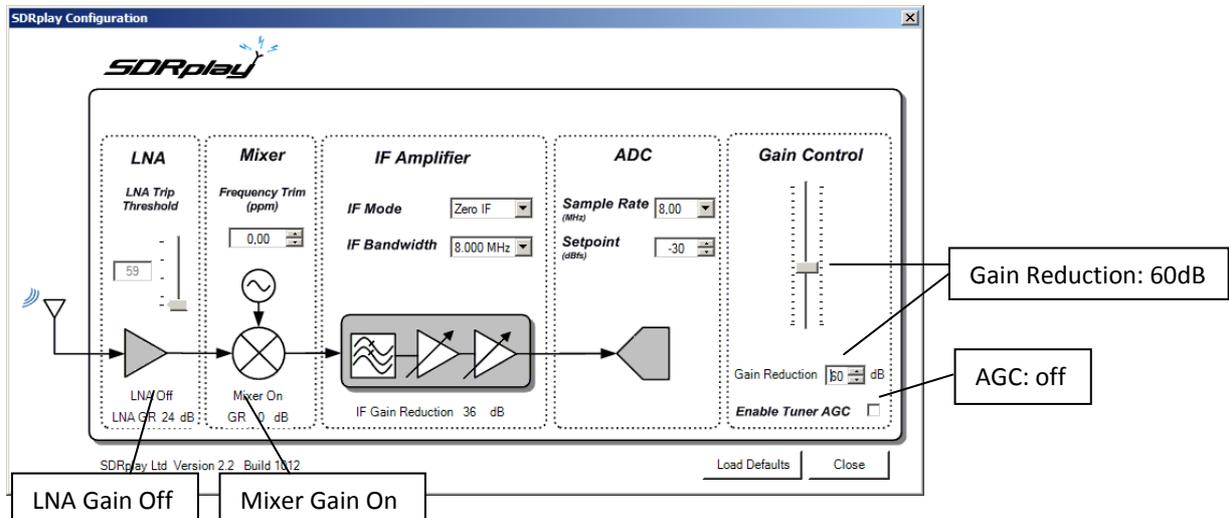


Bild 13: Einstellung für reduzierte Verstärkung, Gain Reduction 60dB

Ergebnisse der Empfindlichkeit (S) und Rauschmaß (NF) bei reduzierter Verstärkung:

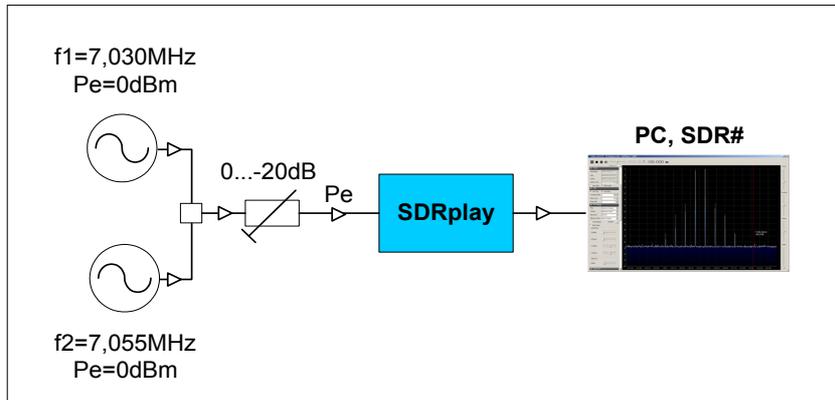
Frequenz fe MHz	Empfindlichkeit S * dBm	Rauschmaß NF dB
1,8	-106	34
7,1	-106	34
14	-106	34
28,5	-107	33
145	-119	21
435	-122	18
990	-120	20

* Empfindlichkeit bezogen auf eine SSB-Bandbreite von 2,4kHz

Tabelle 2: Empfindlichkeit und Rauschmaß über der Frequenz

5.) Messung der Großsignalfestigkeit im KW-Bereich

Da gemäß Bild 4 ein erheblicher Teil der Signalverarbeitung im analogen Tuner-IC abläuft, ergibt die Messung der Großsignalfestigkeit über ein 2-Ton-Signal Sinn. Die Intermodulationsfestigkeit wird gemessen, indem man zwei gleich große HF-Signale über einen Power-Splitter in den SDRplay eingespeist und die Pegelabstände der entstehenden Intermodulationsprodukte (IM) zu den Nutzprodukten ermittelt. Die stärksten Intermodulationsprodukte weisen im Regelfall die IM-Produkte 3. Ordnung auf, die sog. IM₃-Produkte im Abstand von 2f₁-f₂ und 2f₂-f₁.



$$IP = \frac{\Delta IM}{(N-1)} + Pe$$

IP = Intercept-Point (IP)
 ΔIM = IM-Abstand in dB
 N = Ordnungszahl
 Pe = Pegel der Eingangssignale

Bild 14: Messaufbau zur Ermittlung der Großsignalfestigkeit (IP₃)

Der Intercept-Point berechnet sich zu $IP = \frac{\Delta IM}{(N-1)} + Pe$

5.1) Großsignalfestigkeit mit aktivierter AGC

- Einstellungen: AGC On (Enable Tuner AGC)

Im Beispiel werden zwei Signale bei f₁=7,030MHz und f₂=7,055MHz mit Pegeln von jeweils Pe=-6dBm (kurz vor Saturation) in den SDRplay eingespeist. Das resultierende Spektrum zeigt Bild 15. Außer den Nutzprodukten sind noch zwei Intermodulationsprodukte 3. Ordnung zu erkennen, die im Abstand 2f₁-f₂ und 2f₂-f₁ entstehen. Der ermittelte Pegelabstand der IM₃-Störprodukte zu den beiden Nutzprodukten beträgt 50dBc.

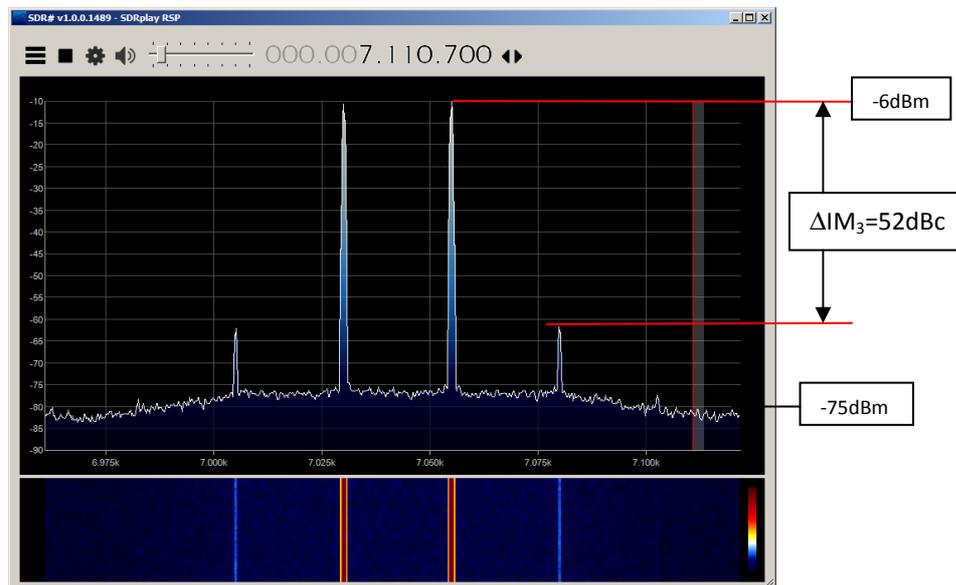


Bild 15: Pe= 2x-6dBm, Nutz- und Störsignale, IM₃-Abstand=52dB

Daraus berechnet sich ein IP3 zu

$$IP_3 = \Delta IM_3/2 + P_e = 52\text{dB}/2 - 6\text{dBm} = +20\text{dBm}$$

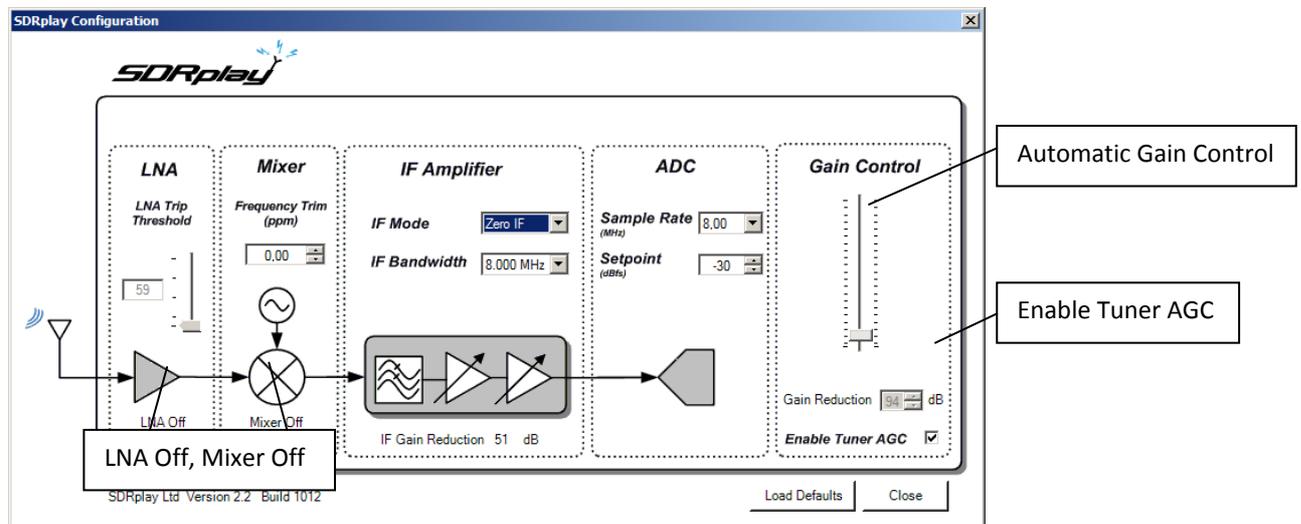


Bild 16: Einstellungen unter SDRplay Configuration auf AGC On

IM-freier Dynamikbereich

Lt. Definition ist die Grenze der Aussteuerung (P_{max}) für intermodulationsfreien Empfang dann erreicht, wenn die Intermodulationsprodukte die Leistung des Grundrauschens (S) erreichen. Zur Ermittlung des verzerrungsfreien Dynamikbereiches, werden die Pegel der Nutzprodukte soweit verkleinert, bis die Störprodukte vom Grundrauschen gerade zugedeckt wurden. Bei einer Leistung von $P_e=2x-12\text{dBm}$ (Bild 17) verschwinden die IM3-Signale gerade im Rauschen und der erkennbare, IM-freie Dynamikbereich, beträgt etwa 65dB.

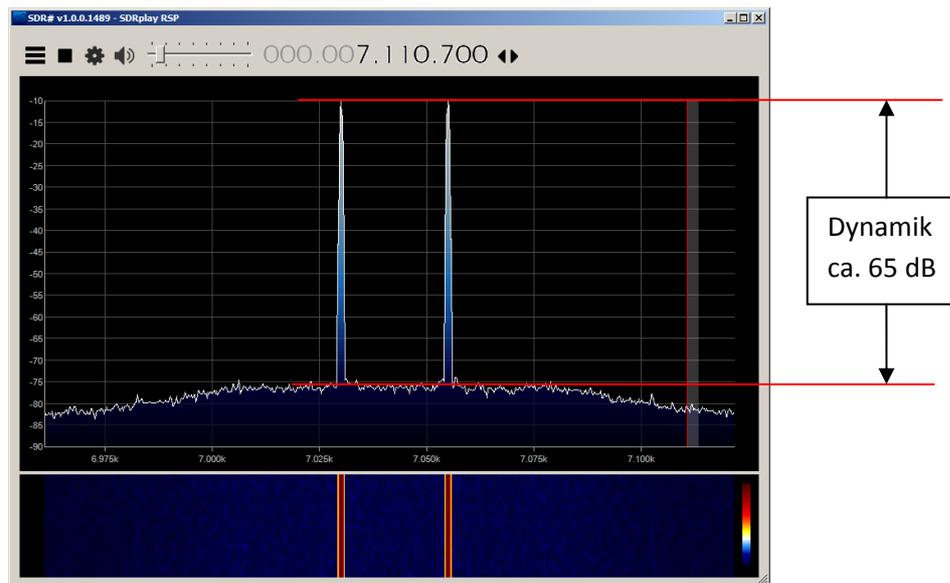


Bild 17: $P_e=2x-12\text{dBm}$ ergibt einen verzerrungsfreien Dynamikbereich von 65dB

Dynamik = 65dB

5.2) Großsignalfestigkeit bei einer Gain Reduction von 102dB

- Einstellungen: AGC Off, Gain Reduction 102dB, LNA Off, Mixer Off

Die Einstellungen unter Configuration zeigt Bild 19 und das resultierende Spektrum Bild 18. Das Messergebnis ist praktisch identisch mit der Messung unter 5.1.

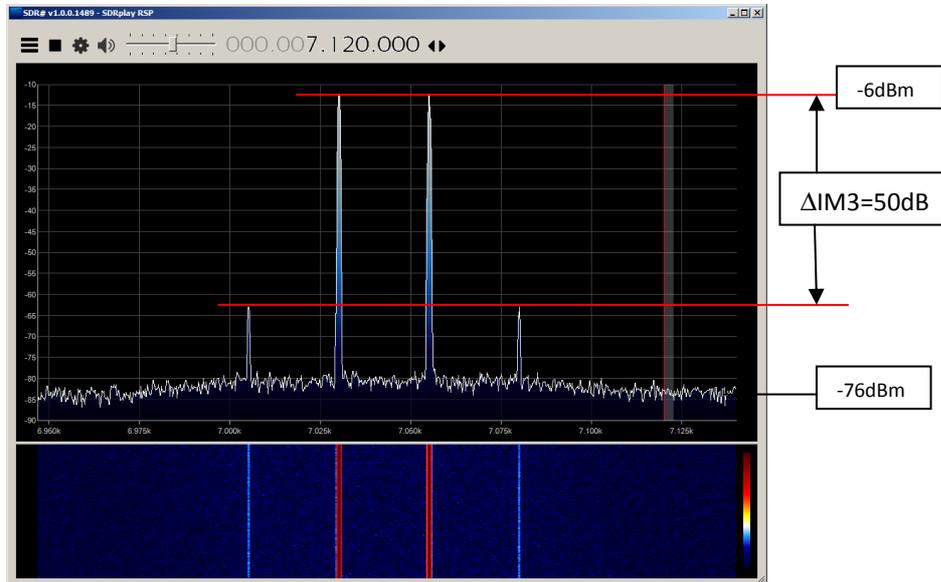


Bild 18: $P_e = 2x-6dBm$, Nutz- und Störsignale, IM3 Abstand=50dBc

Daraus berechnet sich ein Intercept Point 3. Ordnung (IP_3) von

$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e = 50dBm / 2 - 6dBm = +19dBm$$

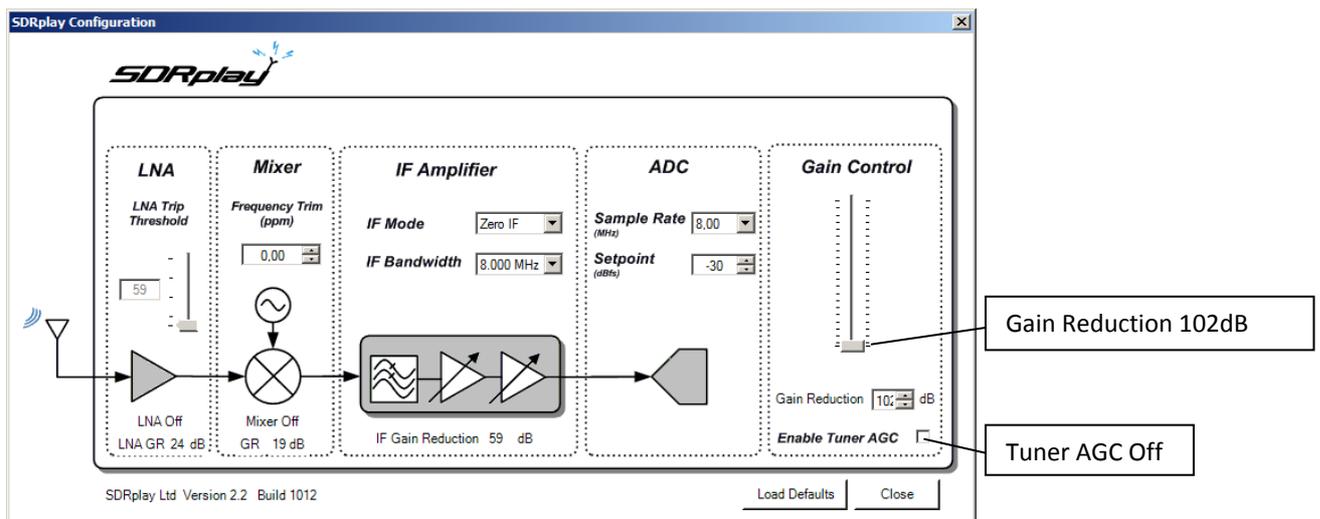


Bild 19: Gain Reduction 102dB (Low Gain Mode)

5.3) Großsignalfestigkeit bei einer Gain Reduction von 58dB

- Einstellungen: AGC Off, Gain Reduction 58dB, LNA On, Mixer On.

Der ZF-Verstärker arbeitet jetzt mit einer Verstärkung 44dB (102-58=44) und die LNA- und Mixer-Verstärker sind ebenfalls eingeschaltet. Bei einem Pegel von $P_e=2x-43dBm$ erreichen beide Spektrallinien die oberste, horizontale Linie (0). In dieser Einstellung erreichen die IM3-Produkte die Größe des Rauschens und der sichtbare Dynamikumumfang beträgt etwa 70dB.

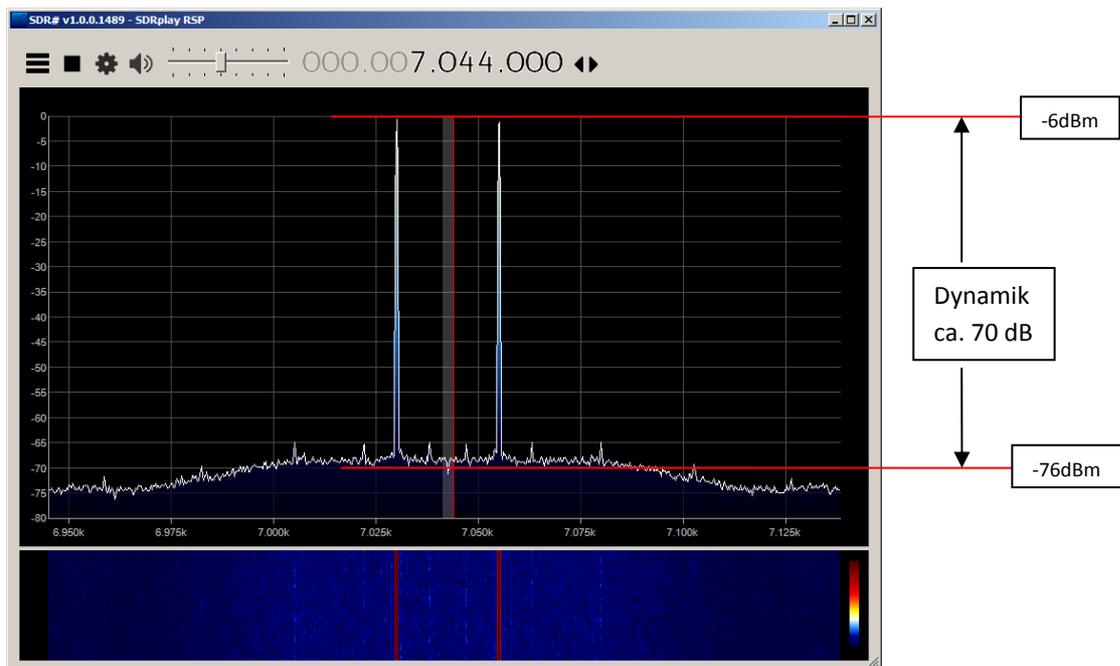


Bild 20: $P_e = 2x-43dBm$, Nutz- und Störsignale, IM_3 -Abstand=70dB

Daraus berechnet sich ein IP_3 von

$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e = 70dBm / 2 - 43dBm = -8dBm$$

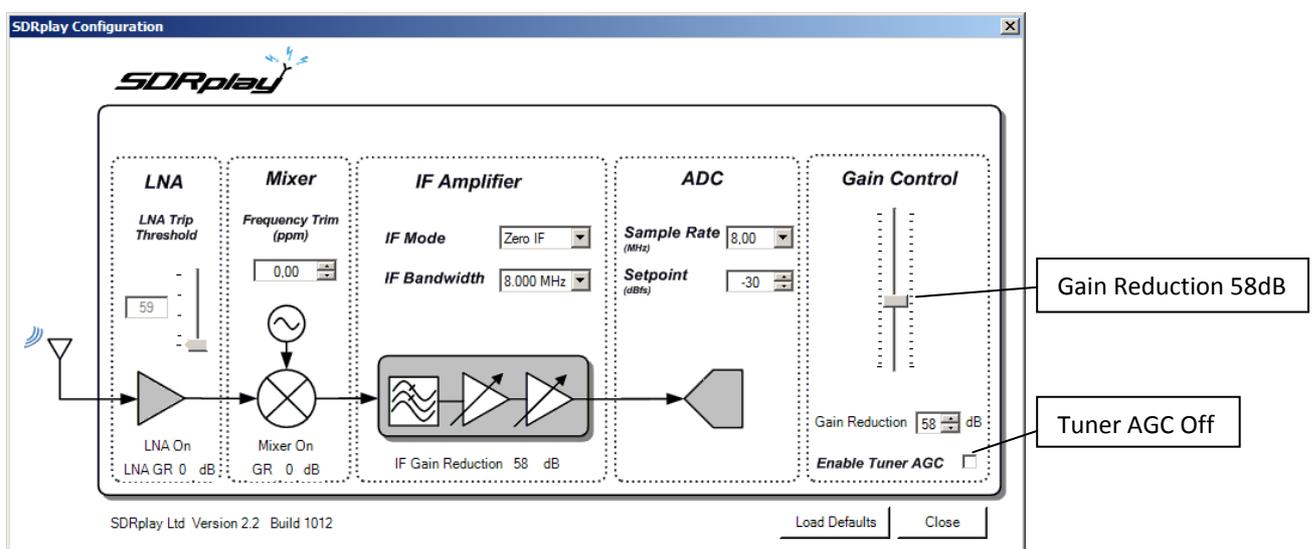


Bild 21: Einstellung unter SDRplay Configuration, Gain Reduction 58dB, AGC Off

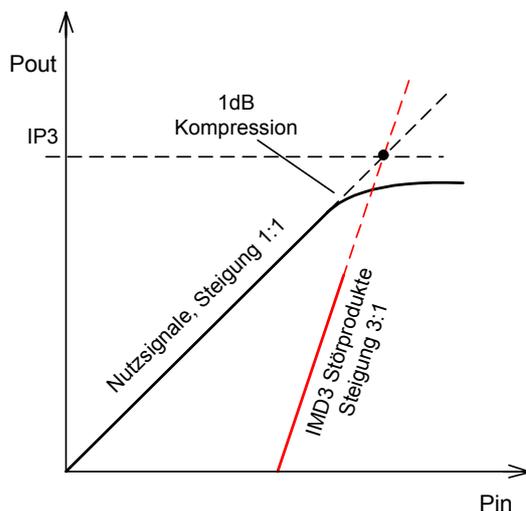
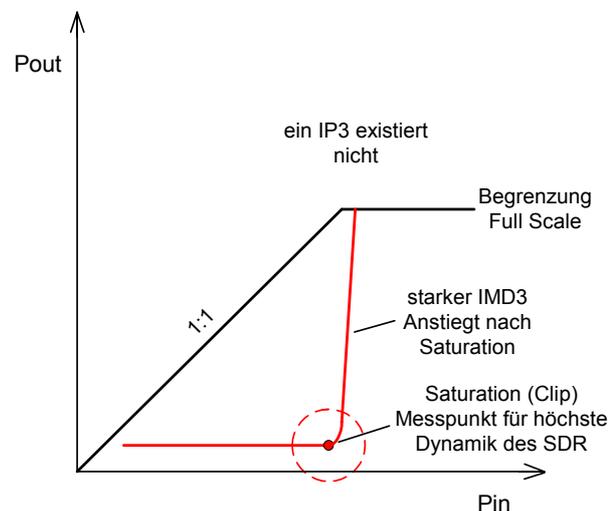
Ergebnisse der IM₃-Messungen:

Frequency Range (MHz)	AGC	Gain Reduction (dB)	LNA-Gain	Mixer-Gain	Pe (dBm)	ΔIM_3 (dBm)	IP3 (dBm)
7	On	regelt SDRplay	regelt SDRplay	regelt SDRplay	-6	52	+20
7	Off	102	Off	Off	-6	50	+19
7	Off	58	On	On	-43	70	-8

Tabelle 3: IP₃ bei 7,1MHz in Abhängigkeit unterschiedlicher Dämpfungseinstellungen (Gain Reduction)**6.) Überlegungen zu IP3 und A/D-Wandler**

Der IP3 ist ein theoretischer Schnittpunkt, bei dem sich die Übertragungskennlinien der Nutz- und IM3-Störsignale kreuzen (Bild 21a). Mit Hilfe des IP3 kann die Aussteuergrenze (P_{emax}) eines **analogen Receivers** für intermodulationsfreien Empfang berechnet werden und bei Kenntniss des Grundrauschens auf den maximalen Dynamikbereich geschlossen werden.

Anders sieht die Situation bei A/D-Wandlern aus. Bei **ADC's** kann der ermittelte IP3 nicht mehr zur Berechnungen von Aussteuergrenze und Dynamik herangezogen werden und führt beim Vergleich mit analogen Receivern zu falschen Ergebnissen. Die entstehenden IM-Produkte des A/D-Wandlers folgen nicht mehr den definierten Gesetzmäßigkeiten des quadratischen (IP2) oder kubischen (IP3) Anstiegs. Vielmehr spielt der Intermodulationsabstand eine wesentliche Rolle, da er im Gegensatz zu Analoggeräten durch Pegeländerungen kaum beeinflusst wird, aber stark abhängig ist vom augenblicklich zu verarbeiteten Signalgemisch.

**Bild 21: a) IM3 bei analogen Schaltungen****b) IM3 bei Empfängern mit ADC im Eingang**

Im Test werden zwei HF-Signale mit gleichem Pegel auf den Eingang des SDR gegeben. Ab einer bestimmten Pegelgröße und abhängig von der eingestellten Verstärkung des SDR, tauchen die ersten IM3-Produkte im Grundrauschen auf, ähnlich wie bei analogen Empfängern. Bei Signalerhöhung, steigen die IM3-Produkte jedoch nicht schneller an als die Nutzprodukte und verbleiben bei ihrer Größe. Würde man an dieser Stelle den IP3 nach der bekannten Formel $IP = \Delta IM/2 + P_e$ berechnen, wäre das Ergebnis falsch. Manchmal sinken die IM3-Produkte sogar bei wachsenden Nutzsignalen. Die entstehende IMD3-Messkurve erlaubt es demnach nicht, den IP3 daraus zu bestimmen, aber der IM3-freie Dynamikbereich kann daraus ermittelt werden.

Die flache verlaufende Kurve zeigt, dass die IMD3-Produkte nicht von den analogen Komponenten (LNA, Filter) herrühren, sondern von der AGC selbst. Das Spektrum zeigt die Störsignale des ADC, die durch Quantisierungsfehler bei der Digitalisierung und den nachfolgenden Rechenoperationen auftreten. Mit "Dithering" können diese Fehler etwas gemindert werden, indem ein zusätzliches, gleichmäßiges Rauschband dem ADC zugeführt wird und die entstehenden Störprodukte abdeckt.

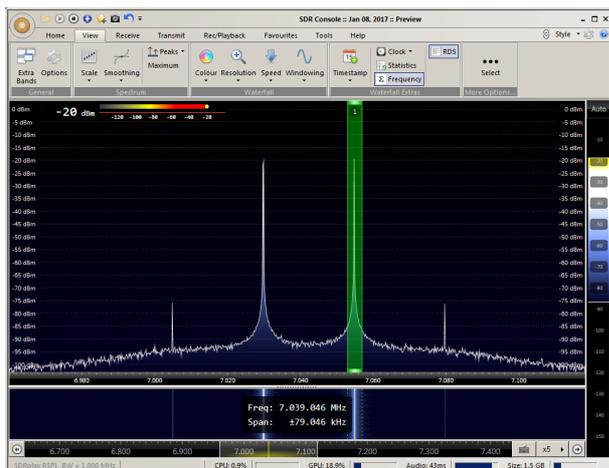
Der ADC ist ein nichtlineares Bauteil, dessen Linearität sich prinzipiell nicht über den IP3 bestimmen lässt, weil die IM-Produkte bei Signalvergrößerung nicht kubisch ansteigen. Erst einige dB vor Saturation, bevor das Signal begrenzt, wachsen die IP3-Produkte sehr viel schneller an, als die Nutzsignale. Ab dieser Stelle können auch analoge Baugruppen, wie ein vorgeschalteter LNA, für die vergrößerte Zunahme der IM mit verantwortlich sein.

Die größte Dynamik eines ADC wird kurz vor Saturation (Clipping) erreicht. Viele Hersteller berechnen bei diesem Punkt den IP3 des Receivers, der an dieser Stelle einen Wert von +30...40dBm erreichen kann. Der IP3 ist zwar für diesen Punkt korrekt, für alle anderen Pegel ist er jedoch nicht mehr gültig!

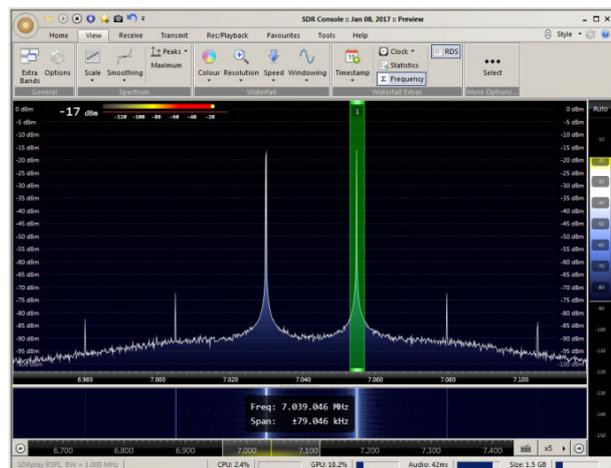
Ergebnisse von IP3-Messung am SDRplay RDS1

Nachfolgende Bilder zeigen die unterschiedlichen IP3-Werte am Beispiel des SDRplay, in Abhängigkeit der Größe der Eingangssignale. Bei $f_1=7,030$ und $f_2=7,055$ MHz werden die Nutzsignale ausgehend von 2x-20dBm in 3dB Stufen bis auf 2x-9dBm erhöht.

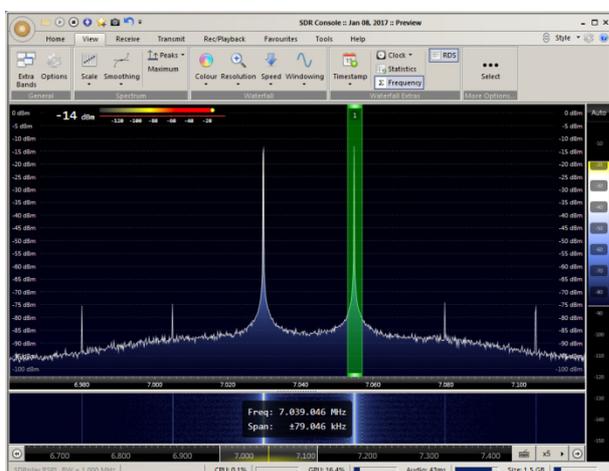
- Grundeinstellung am SDRplay: Gain Reduction maximal, LNA=Off.
- Unter SDR-Console: Referenzpegel auf 0dBm (1mW)einstellen (oberste horizontale Rasterlinie).



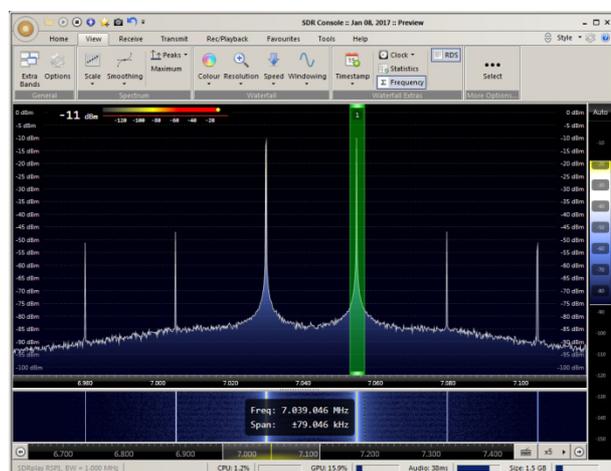
Pe=2x-20dBm, Δ IM3=56dB, IP3=8dBm



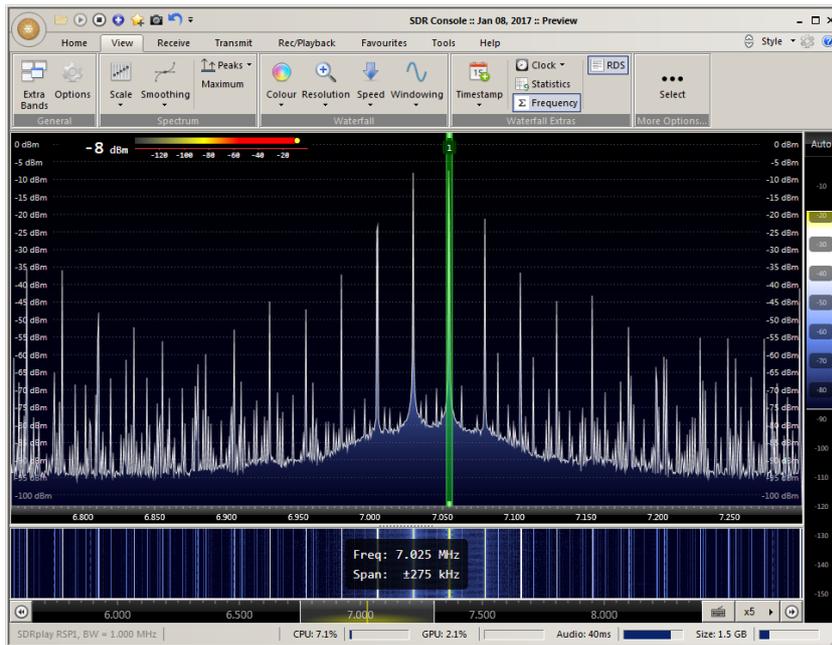
Pe=2x-17dBm, Δ IM3=55dB, IP3=11dBm



Pe=2x-14dBm, Δ IM3=62dB, IP3=17dBm!



Pe=2x-11dBm, Δ IM3=36dB, IP3=7dBm



Pe=2x-8dBm, ΔIM3 =16dB, IP3=0dBm (Begrenzung)

Bei Pe=2x-14dBm liegen die Nutzsignale nur einige dB unterhalb der Saturation und bei dieser Aussteuerung erreicht der SDRplay seinen maximalen IP3 von +14dBm. Bei Pe=2x-8dBm fährt die ADC bereits in Begrenzung und die Verzerrungsprodukte werden sehr groß.

Tabelle der Ergebnisse:

Pe	ΔIM3	(IP3)
-20dBm	56dB	8dBm
-17dBm	55dB	11dBm
-14dBm	62dB	17dBm
-11dBm	36dB	7dBm
-8dBm	19dB	0dBm

bestes IP3-Ergebnis

Trotz der beschriebenen Problematik, wird der IP3 von SDR's in Datenblättern meist mit angegeben, obwohl er für weitere Berechnungen (Rückrechnungen auf Dynamik und Pemax) nicht nutzbar ist. Er gibt dem Anwender jedoch ein "Bauchgefühl" für die Großsignalfestigkeit seines Empfängers.

Anmerkung: Entstehenden Verzerrungen im SDR-Receiver können sowohl vom analogen Teil des SDR bestimmt werden (LNA, Filter), als auch vom Blocking des ADC. Welcher Teil verantwortlich ist, kann geprüft werden. Wenn ein 2-Ton-Signal um 5dB vergrößert wird und die IM3 wächst um 15dB, dann sind die analogen Baumgruppen vor dem ADC dafür verantwortlich.

7.) Frequenzgenauigkeit und Frequenzdrift

Zur einfachen Messung der Frequenzgenauigkeit und Frequenzstabilität wird der SDRplay mit einem 10 MHz-TCXO verbunden und die Drift über einen Zeitraum von 30 Minuten gemessen.

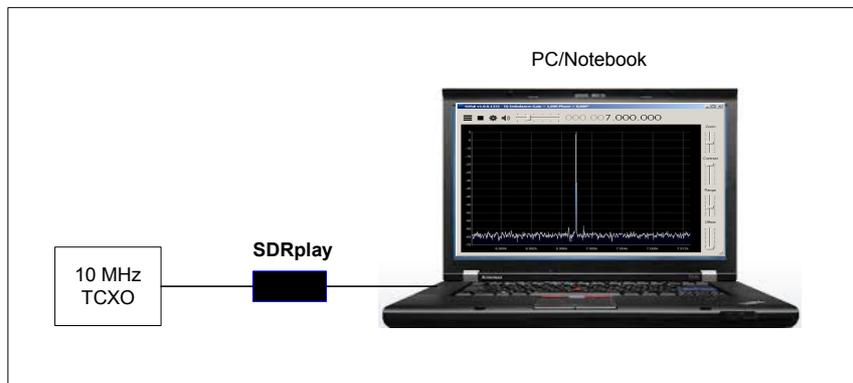


Bild 22: Messaufbau Frequenzdrift

Nach dem Einschalten des SDRplay wird zunächst die Frequenz auf der Spitze der 10MHz-Spektral-line bei gleichzeitig hoher Auflösung (Zoom) gemessen, das Ergebnis war 9.999.944Hz. Unter Configuration -> Mixer -> Frequency Trimm wird die Frequenz dann auf exakt auf 10.000.000Hz getrimmt, im Beispiel entsprach das einer Korrektur von nur -6,28ppm. Damit eine Frequenzdrift am Bildschirm überhaupt erkennbar wird, muß die Auflösung (Resolution) zumindest 524288 betragen. Nach 30 Minuten Betriebszeit und Erwärmung des SDRplay, war die Spektrallinie im Display nur um 10Hz nach oben gedriftet, auf einen Wert 10.000.010Hz. Die Drift wird ermittelt, indem man die Spektrallinie wieder auf ihre ursprüngliche Position zurück zieht und die geänderte Frequenz abliest.

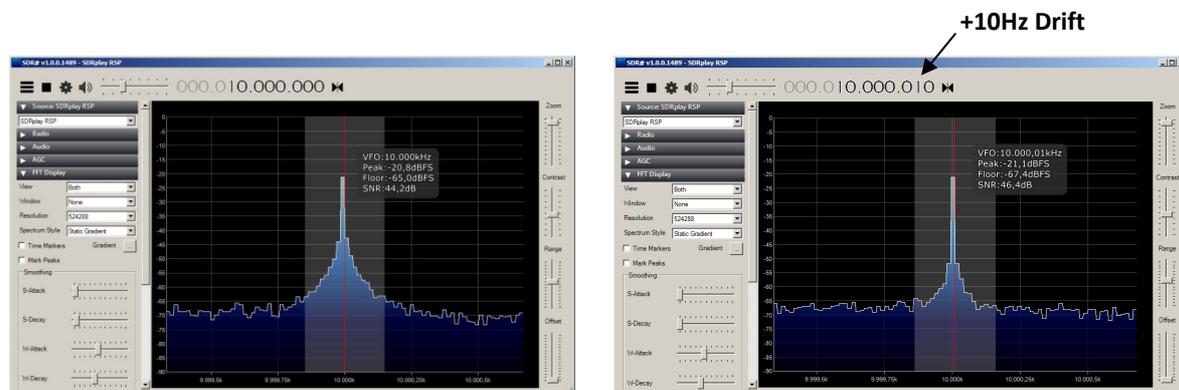


Bild 23: Mittenfrequenz und Signal auf $f=10.000.000\text{Hz}$ (links), Frequenzdrift nach 30 Minuten: +10Hz (rechts)

8.) Spurious Response (Image Signals, Geistersignale)

So wie die meisten SDR-Receiver zeigt auch der SDRplay etliche Signale an, die gar nicht empfangen werden. Bild 24 zeigt z.B. das Spektrum im 10m- und 2m-Band bei abgeschlossenem HF-Eingang. Die Anzahl der auftretenden Geistersignale ist jedoch geringer, als bei vielen anderen SDR-Receivern und stört im Empfangsbetrieb nur selten.

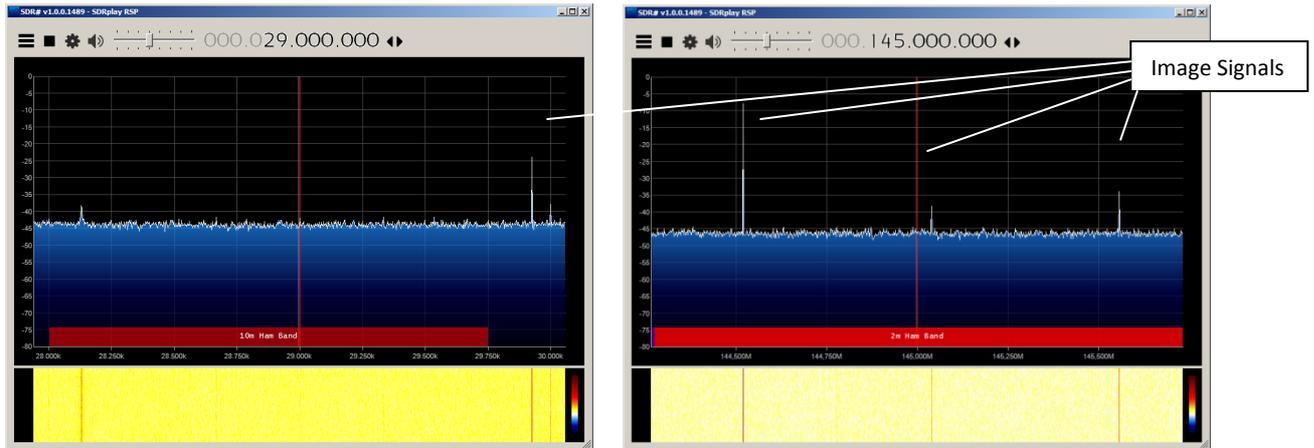


Bild 24: Unerwünschte Störsignale z.B. im 10m- und 2m-Band

SDRplay bietet aber auch hier eine Lösung an. Unter RF Amplifier -> IF Mode kann zwischen "Low IF" und "Zero IF" gewählt werden. Bei Anwahl von "Low IF" (Bild 24) reduziert sich zwar die max. Größe der wählbaren Bandbreite auf nur 1,536MHz, aber das angezeigte Spektrum wird freier von unerwünschten "Image" Signalen" (Bild 26).

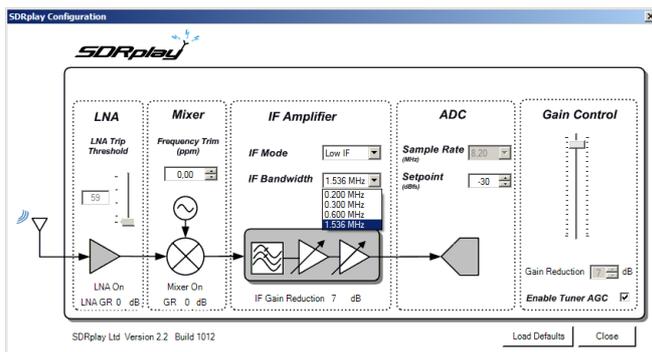


Bild 25: Unter IF Amplifier "Low IF" anwählen und die gewünschte Bandbreite wählen, hier 1,536MHz

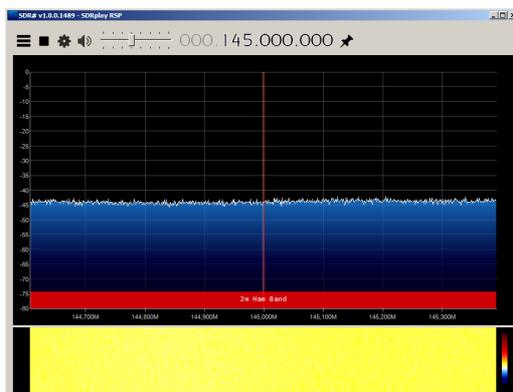


Bild 26: Sauberes Spektrum im 2m-Band bei Anwahl von "Low IF", Eingang mit 50Ohm abgeschlossen

9.) S-Meter

Zur Kalibrierung des S-Meters wurde das Programm HSDR verwendet, welches ein S-Meter im Bildschirm zeigt. Zunächst muß man ein pegelgenaues Signal einspeisen, bei z.B. 7MHz mit einer Leistung von -73dBm = S9. Den SDRplay auf das Signal abgleichen, die AGC abschalten und die IF Gain Reduction auf z.B. 60dB einstellen. Dann unter Options -> Misc Options auf "S-Meter Calibration" gehen und den Anweisungen (Bild 27) folgen. Mit der Mouse auf das S-Meter gehen, die linke Mouse-Taste drücken und den Zeiger auf S9 ziehen. Fertig! Damit ist das S-Meter kalibriert. Die S-Meter Anzeige wurde im KW-Bereich von 1-30MHz getestet, die Anzeigefehler von S1 bis S9+40 waren nur minimal.

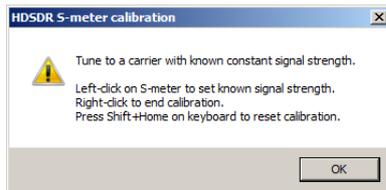


Bild 27: Einstellung des Zeigers im S-Meter

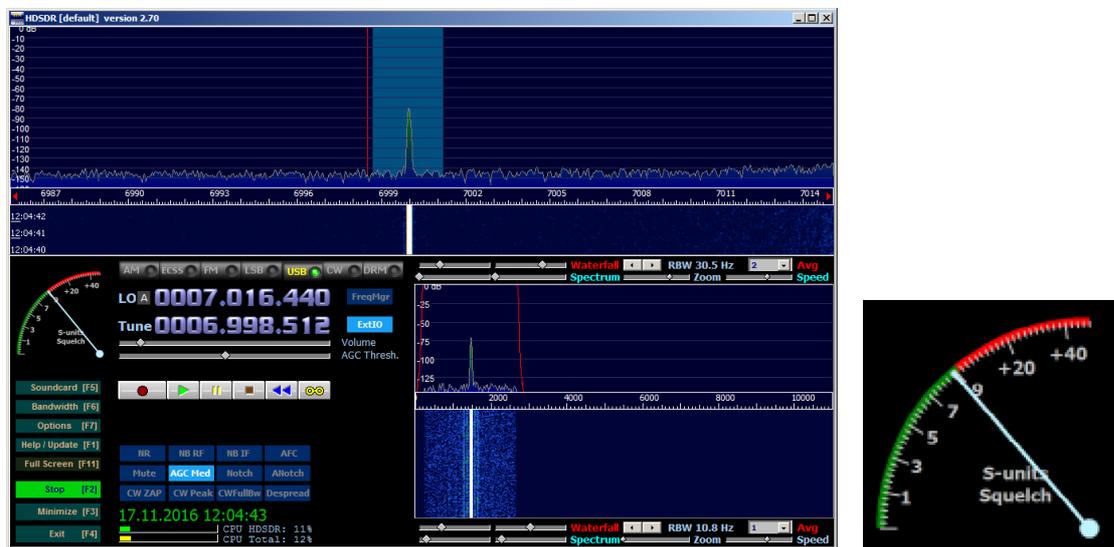


Bild 28: Korrekte S-Meter Anzeige S9 bei einem Pegel von -73dBm

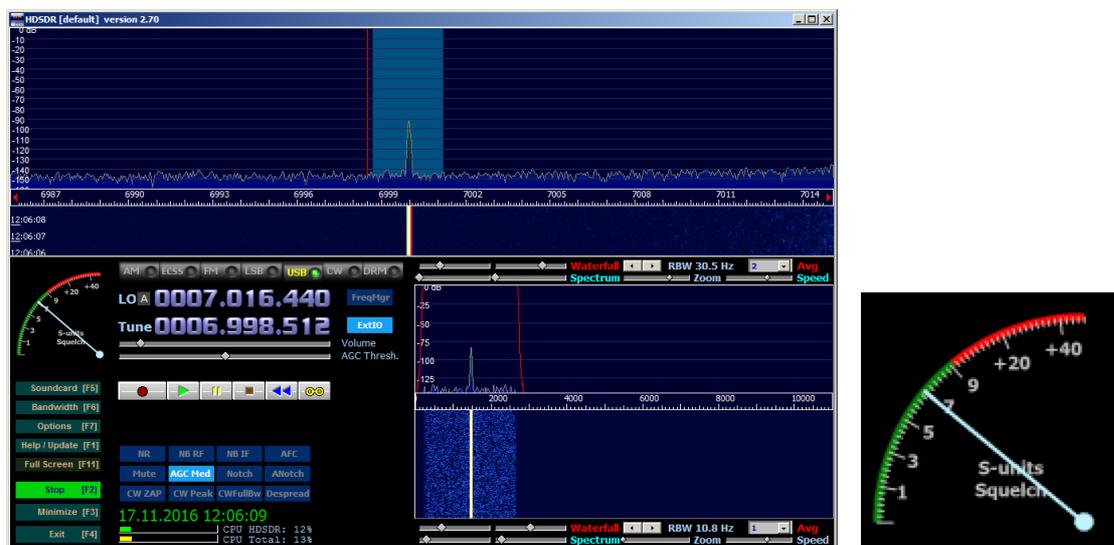


Bild 29: S7 bei -85dBm

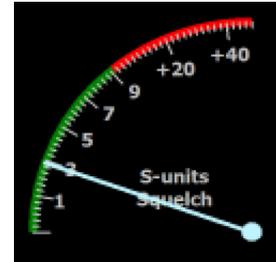
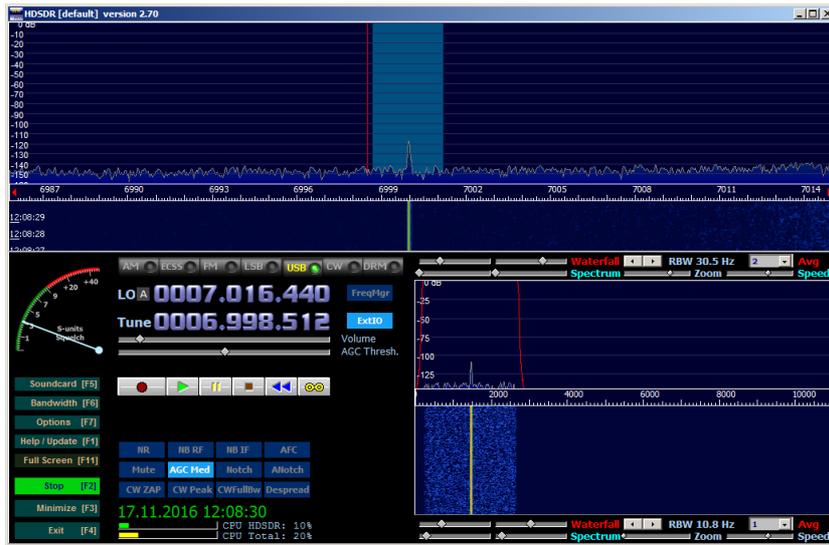


Bild 30: S3 bei -109dBm

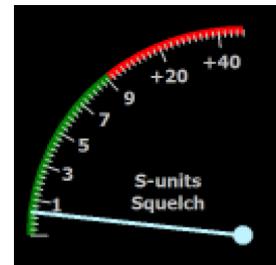
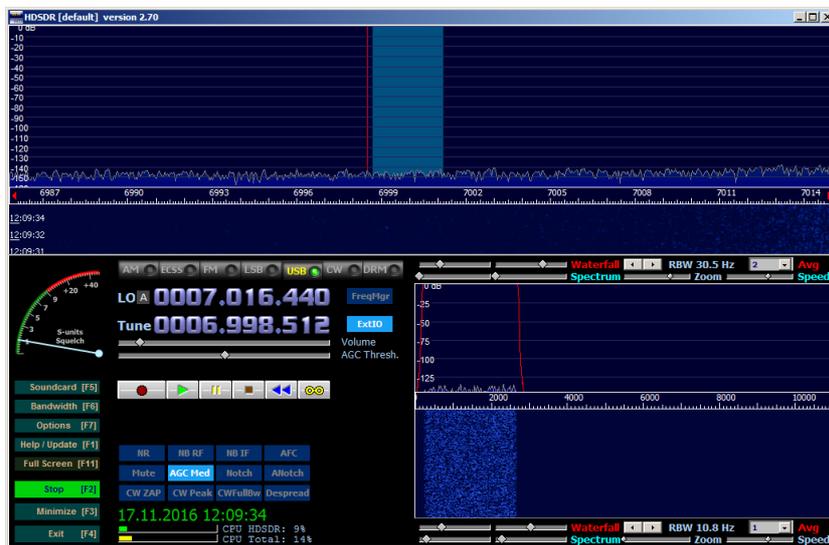


Bild 31: S-Meter Anzeige ohne Signal, Grundrauschen

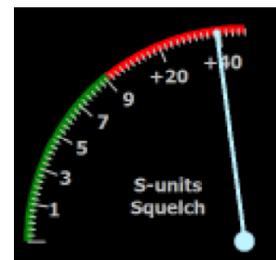
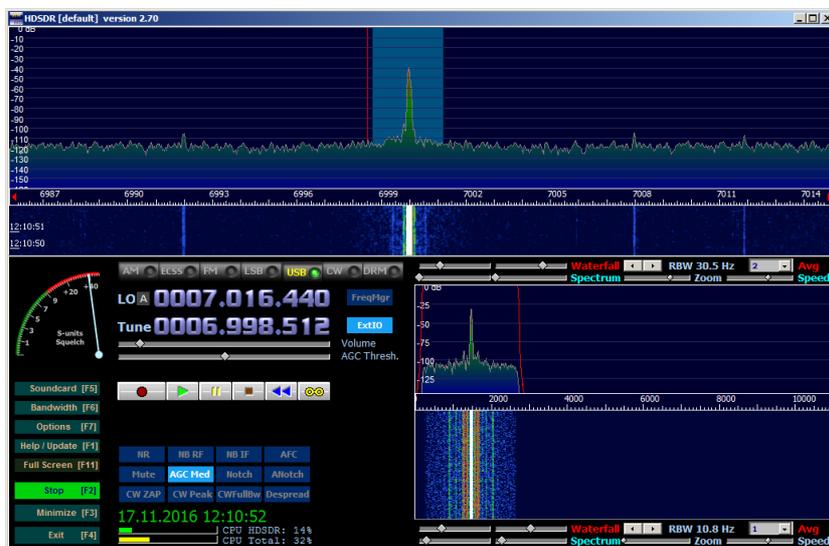


Bild 32: S9+40 bei -33dBm

Die korrekte S-Meter Anzeige funktioniert nur dann, wenn die Einstellungen am SDRplay nach der Kalibration nicht mehr verändert werden! Nachträgliches ändern von Bandbreite, Abtastrate oder Dämpfung beeinflusst die S-Meter Anzeige und machen sie ungültig. Deswegen sollte man nach der Kalibration des S-Meters die momentane Einstellung des SDRplay abspeichern. Dazu wählen: ExtIO -> Profiles -> Save current Setup as a Profile.

Nach der Pegelkalibration läßt sich der SDR-Receiver auch als Meßempfänger verwenden, dazu später mehr.

10.) Zusammenfassung

Der SDRplay ist ein empfindlicher und gleichzeitig großsignalfester Empfänger, für einen weiten Empfangsbereich von 10kHz bis 2GHz. Bemerkenswert sind die insgesamt 8 Tief-, Band- und Hochpassfilter im HF-Eingang (Preselection), welche in den Bändern 0-12MHz (TP), 12-30MHz, 30-60MHz, 60-120MHz, 120-250MHz, 250-420MHz, 420-1000MHz und 1000MHz (HP) automatisch zu- oder abgeschaltet werden und zur Großsignalfestigkeit erheblich beitragen (Bild 33). Starke Signale, die weitab liegen, stören dadurch kaum noch in den angewählten Bändern, so dass der SDRplay im gewählten Empfangsbereich kleinere Dämpfungen wählen kann.

Eine Fensterbandbreite von ca. 8MHz bei 12 Bit Auflösung ist erheblich mehr, als die eines einfachen SDR-Empfängers mit DVB-T Stick. Die Gesamtverstärkung beträgt über 100dB und teilt sich auf drei einzelne Stufen auf, dem HF-Eingang, dem Mischer und der ZF. Durch geschickte Auswahl (AGC) dieser Verstärker in Abhängigkeit des Pegels, gelingt dem SDRplay in allen Bändern eine praktisch verzerrungsfreie Signalübertragung bei ausreichender Empfindlichkeit.

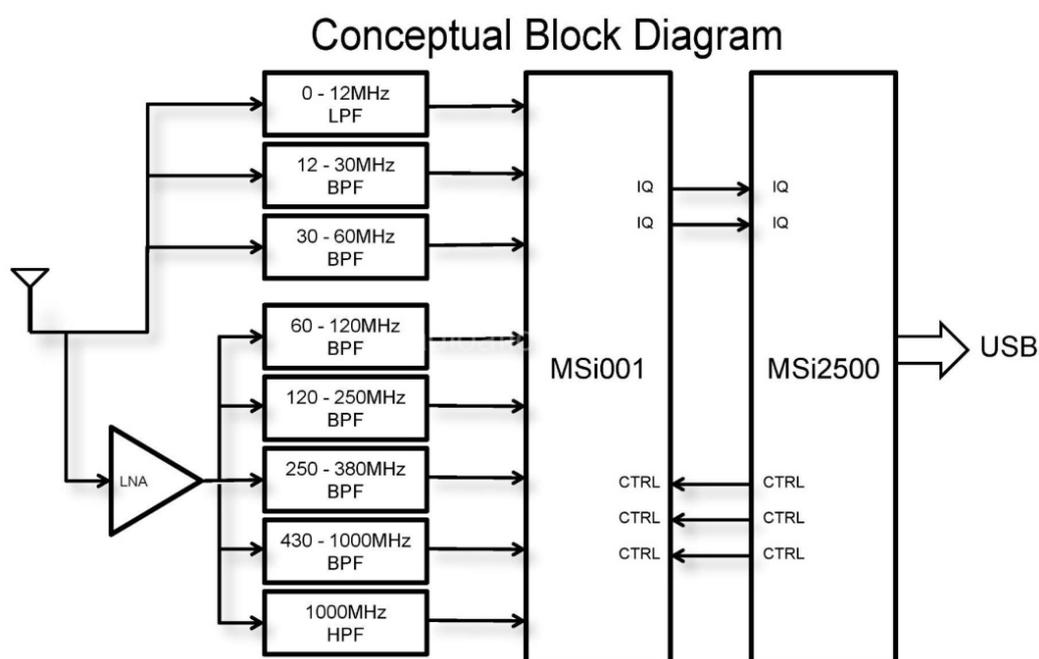


Bild 33: SDRplay Blockschaltbild mit Darstellung der LP-, BP- und HP-Filter im Frontend

Ab 60MHz schaltet der SDRplay im Frontend einen weiteren LNA-Preampplifier (MGA-68536) hinzu, mit ca. 20dB Gain und 20dBm OIP3, der im Gegensatz zum schaltbaren LNA im MSi001-Tuner-Chip nicht überbrückbar ist. Dieser LNA ist relativ großsignalfest und soll in den VHF/UHF-Bändern für eine

geringere Rauschzahl sorgen. Trotzdem kann durch diese zusätzliche Vorverstärkung die Intermodulationsfestigkeit des SDR leiden und gegebenenfalls sollte man den zweiten LNA im Tuner-Chip über das Konfigurationsmenü (Bild 4) abschalten. Die Intermodulationsfestigkeit im VHF/UHF-Bereich wurde nicht gemessen.

Der SDRplay läuft problemlos unter der Software SDR# und HDSDR. Die Software SDRuno wurde nicht getestet.

Gehäuse und Störausstrahlung

Etwas besser würde mir der SDRplay in einem Metallgehäuse gefallen. Die schnelle Datenverarbeitung auf der Platine des SDRplay könnte Störimpulse erzeugen, welche dann ungehindert durch das Kunststoffgehäuse nach außen treten. Viele OM's kennen solche Probleme mit WLAN-Routern im Plastikgehäuse (wie z.B. Fritz-Router), die den Empfang im Radio Check durch Störstrahlung erheblich stören können.



Bild 34: Relatives Störspektrum des SDRplay

Zum Test der relativen Störausstrahlung des SDRplay habe ich ein Stück Draht über das Gehäuse gelegt und das Drahtende mit einem Spektrumanalysator verbunden. Bild 34 zeigt das Ergebnis im Frequenzbereich bis 0-50MHz, die untere Kurve zeigt das Spektrum ohne SDRplay, die obere Kurve mit eingeschaltetem SDRplay. Dieses relative Störspektrum des SDRplay ist aber nicht größer, als das der meisten SDR-Sticks. Selbst der RTL-SDR.com, welcher komplett in einem Metallgehäuse verbaut ist, strahlt nicht weniger, als der SDRplay.

Werner Schnorrenberg
DC4KU, dc4ku@darc.de
27.11.2016

Rev.: 19.01.2017, 25.01.2017, 11.02.2017, 7.2019

Literatur

(1) Using SDR Sharp with the SDRplay Module
http://sdrplay.com/docs/SDRSharp_Plugin_Setup_r2p0.pdf

(2) DC4KU, Empfindlichkeit und Rauschmaß von "DX-Patrol"
https://dc4ku.darc.de/Empfindlichkeit_und_Rauschmass_des_RTL-SDR-Receiver_DX-Patrol.pdf