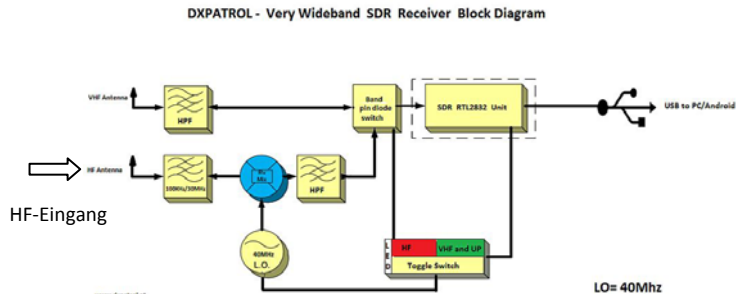


# Großsignalfestigkeit eines SDR-Receiver

## Messung kritischer Spezifikationen eines SDR-Receiver



DX Patrol 100kHz-2GHz



Blockschaltbild

Nachfolgend soll die **Großsignalfestigkeit** eines SDR-Receiver im **HF-Bereich (0,1-30MHz)** ermittelt werden. Der erste Test erfolgt mit gewählter RF-Gain von 0dB (min. Verstärkung) und der zweite Test mit maximaler RF-Gain von 49,6dB (max. Verstärkung).

### 1.) Intermodulation im 40m-Band mit "RF-Gain=0dB"

Der nutzbare Dynamikbereich eines Empfängers, wird in Richtung kleiner Signale durch das Grundrauschen und in Richtung großer Signale durch Auftreten von Intermodulationsprodukten (nichtlinearen Verzerrungen) begrenzt. In Empfängern treten hauptsächlich IM-Störungen 2.-, 3.- und 5.-Ordnung auf. Verantwortlich hierfür ist die endliche Linearität des Empfängereingangs. Den Messaufbau für IM-Messungen mit einem HF- 2-Ton-Generator zeigt Bild 1.

Verwendet werden zwei HF-Trägersignale bei  $f_1=7,052\text{MHz}$  und  $f_2=7,057\text{MHz}$ , die mit den Pegeln 2x-20dBm, 2x-14dBm und 2x-6dBm über einen Power-Splitter in den HF-Eingang des SDR-Receiver eingesteigt werden.

### Messaufbau

Bild 1: Messaufbau für IM3-Messung und Controller-Einstellung mit RF Gain = 0dB

**Grundeinstellung DX Patrol:** RF Gain=0, AGC off, RTL AGC off, Bandwidth 500Hz, Filter Order 300, FFT Display Windows Blackman-Harris, Resolution 262144Hz, Sample Rate 2,4MSPS.

Wenn die RF-Gain auf 0dB eingestellt wird, erreichen beide Spektrallinien bei einem Pegel von jeweils -20dBm die oberste, horizontale Bildschirm-Rasterlinie. Übersteigen die Spektrallinien diesen Referenzpegel um mehr als 15dB, dann besteht die Gefahr, dass sie außerhalb der linearen Übertragung des Receivers liegen und Klirrfaktor und Intermodulation erzeugen.

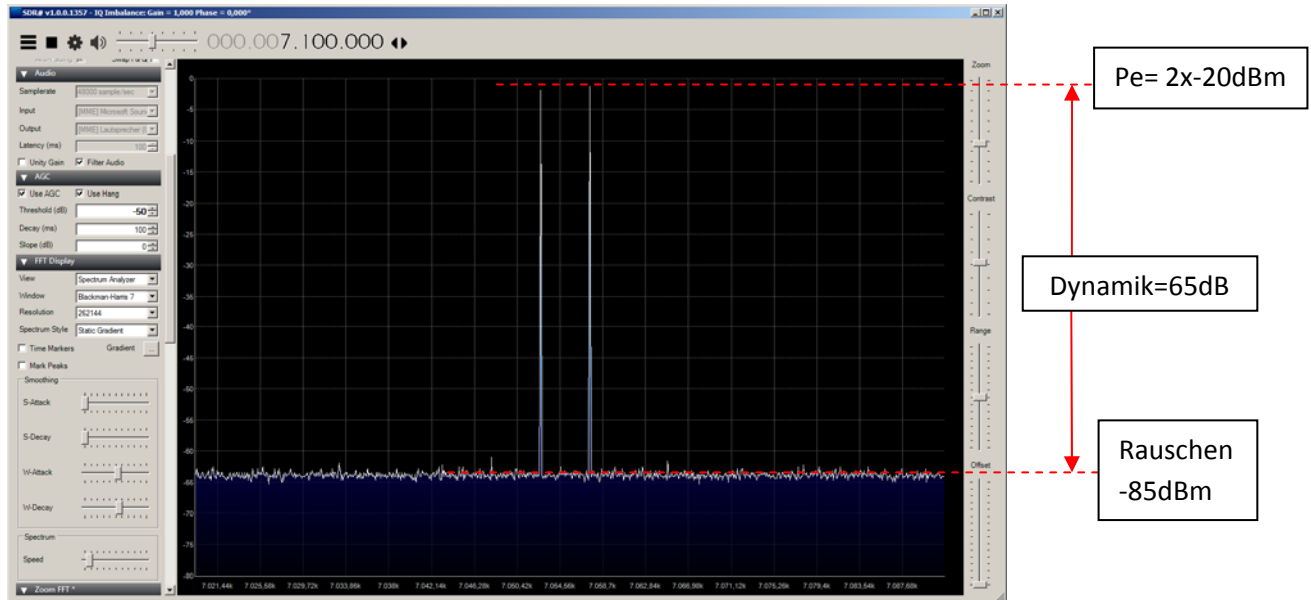


Bild 2: **Pe=2x-20dBm**, f1=7,052MHz, f2=7,057MHz, RF Gain=0, keine IM-Produkte erkennbar

Bei einem Pegel von **2x -14dBm** sind schon erste, kleine IM-Produkte am Rauschsockel zu erkennen.

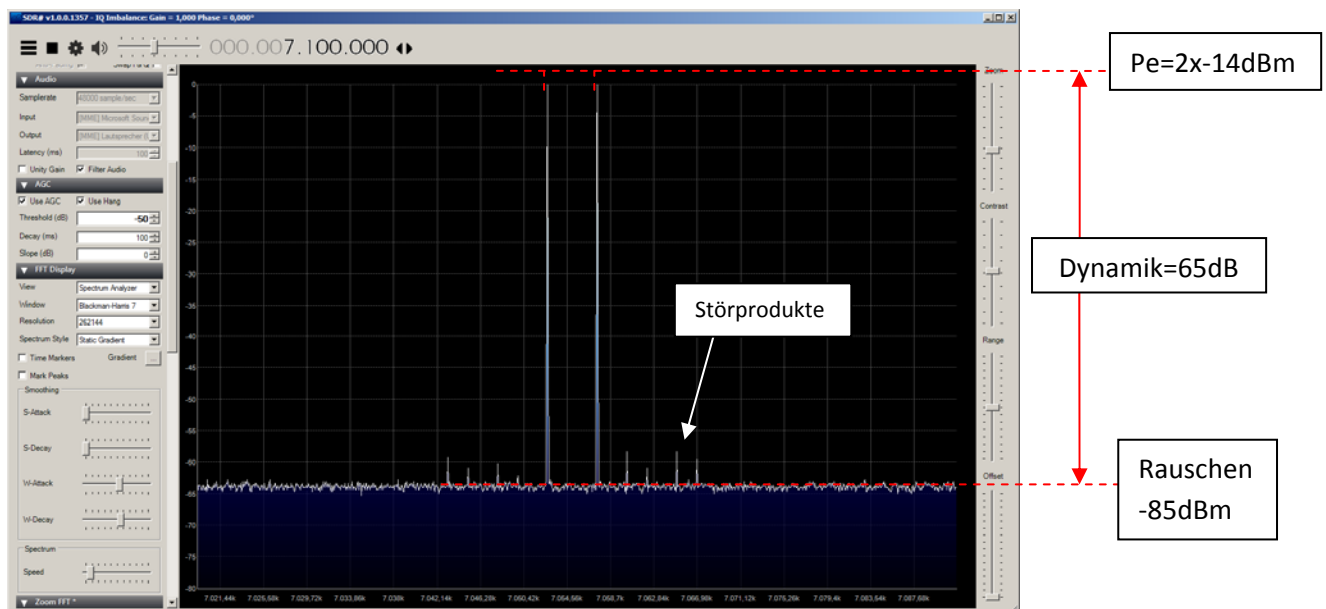


Bild 3: **Pe=2x-14dBm**, minimale IM-Produkte (und weiter Störprodukte durch Quantisierungsfehler) im Rauschen schon erkennbar, obere Linie (Referenzpegel) um 6dB übersteuert, Dynamik 65dB

Werden beide Nutzsignale auf einen Pegel von **2x -6dBm** erhöht, entstehen sichtbare Intermodulationsprodukte 3., 5. und 7. Ordnung, rechts und links von den Trägersignalen. Die stärksten Störsignale erzeugt das IM<sub>3</sub>-Signal, mit einem Abstand zu den Nutzprodukten von

$$\Delta IM_3 = -6dBm - (-48dBm) = 42dB$$

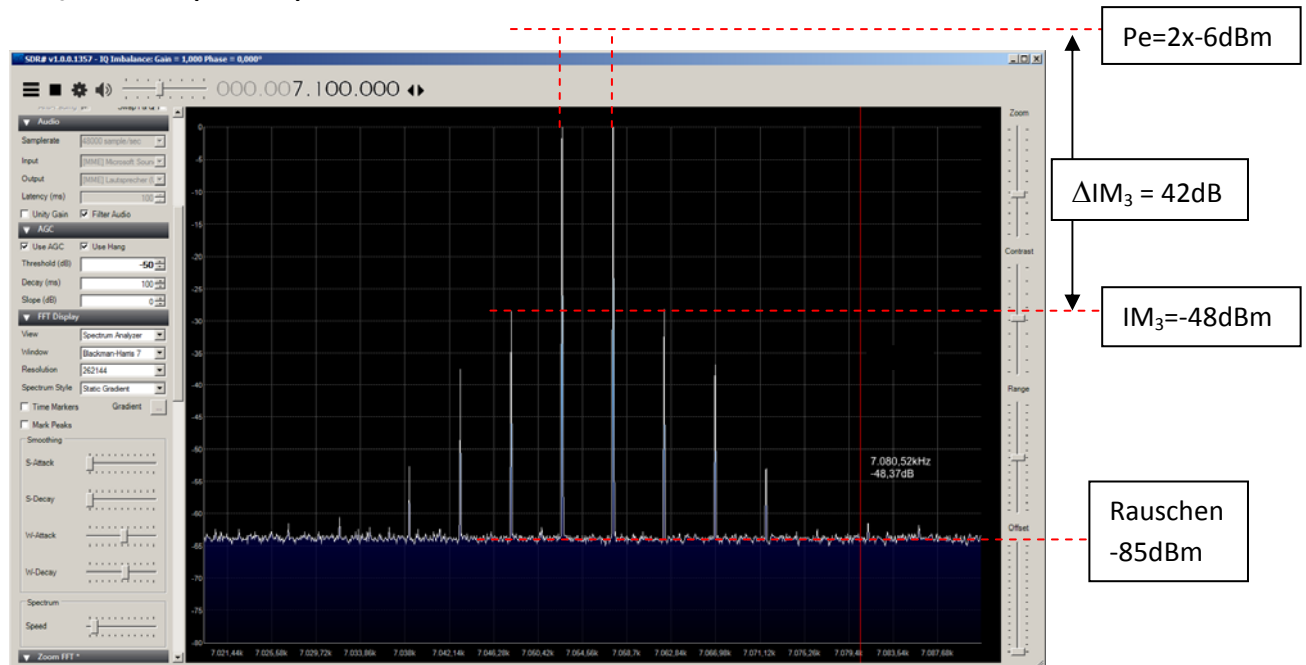


Bild 4: **Pe=2x-6dBm**, f<sub>1</sub>=7,052MHz, f<sub>2</sub>=7,057MHz, RF Gain 0dB, Dynamik 42dB. Beide Signale liegen 15dB oberhalb der obersten, horizontalen Linie und der A/D-Wandler steht kurz vor Saturation (Begrenzung).

Aus den gewonnenen Messwerten in Bild 4 berechnet sich der Intercept-Point 3. Ordnung (IP<sub>3</sub>) zu

$$IP = \Delta IM / (N-1) + P_e$$

$$IP = \text{Intercept-Point (IP)}$$

$\Delta IM$  = Intermodulationsabstand in dB

N = Ordnungszahl

Pe = Pegel der Eingangssignale

$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e = 42dB / 2 - 6dBm = +15dBm$$

### IM-freier Dynamikbereich

Bild 3 zeigt den Intermodulationsfreien Dynamikbereich. Bei einem max. Pegel von 2x -20dBm 2-Ton Leistung sind noch keine Intermodulationsstörungen im Bildschirm erkennbar. Lt. Definition ist die obere Grenze der Aussteuerung dann erreicht, wenn die IM-Produkte die Leistung des Grundrauschens (S) erreichen. Bei einem Grundrauschen von -85dBm ergibt sich demnach ein maximaler Dynamikbereich von 65dB. Der sichtbare, verzerrungsfreie Dynamikbereich beträgt demnach 65dB.

## 2.) Intermodulation im 40m-Band mit "RF-Gain=49,6dB"

Bei Erhöhung der "RF Gain" auf 49,6dB, steigt die Empfindlichkeit des Referenzpegels von -20dBm auf -70dBm an. Der SDR-Receiver arbeitet jetzt mit hoher Verstärkung und ein Doppeltensignal von  $P_e=2x-46dBm$  verursacht bereits starke Intermodulationsstörungen (Bild 6).

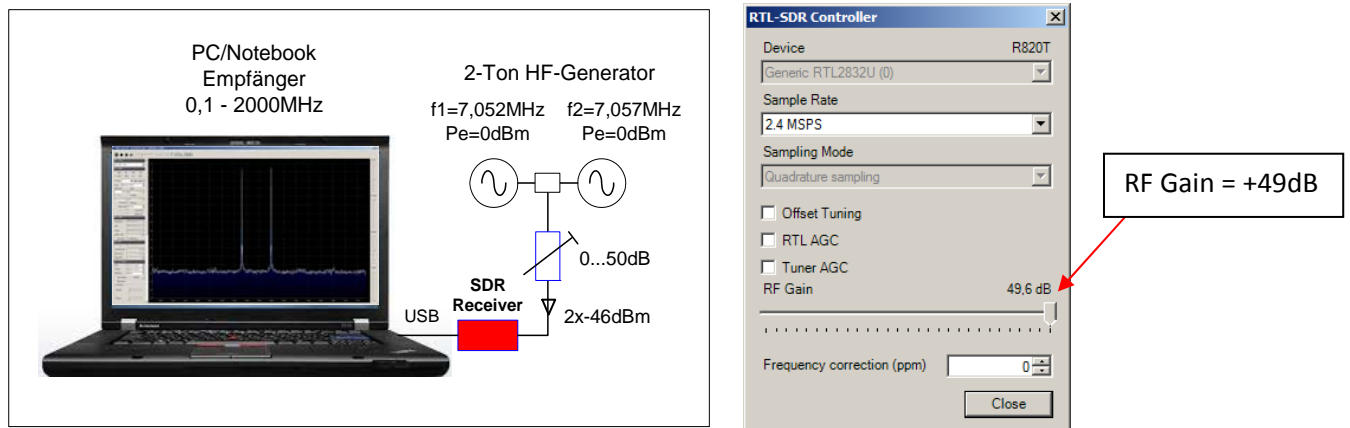


Bild 5: Messaufbau für IM3-Messung und Grundeinstellung des SDR-Controller, RF Gain = 49dB

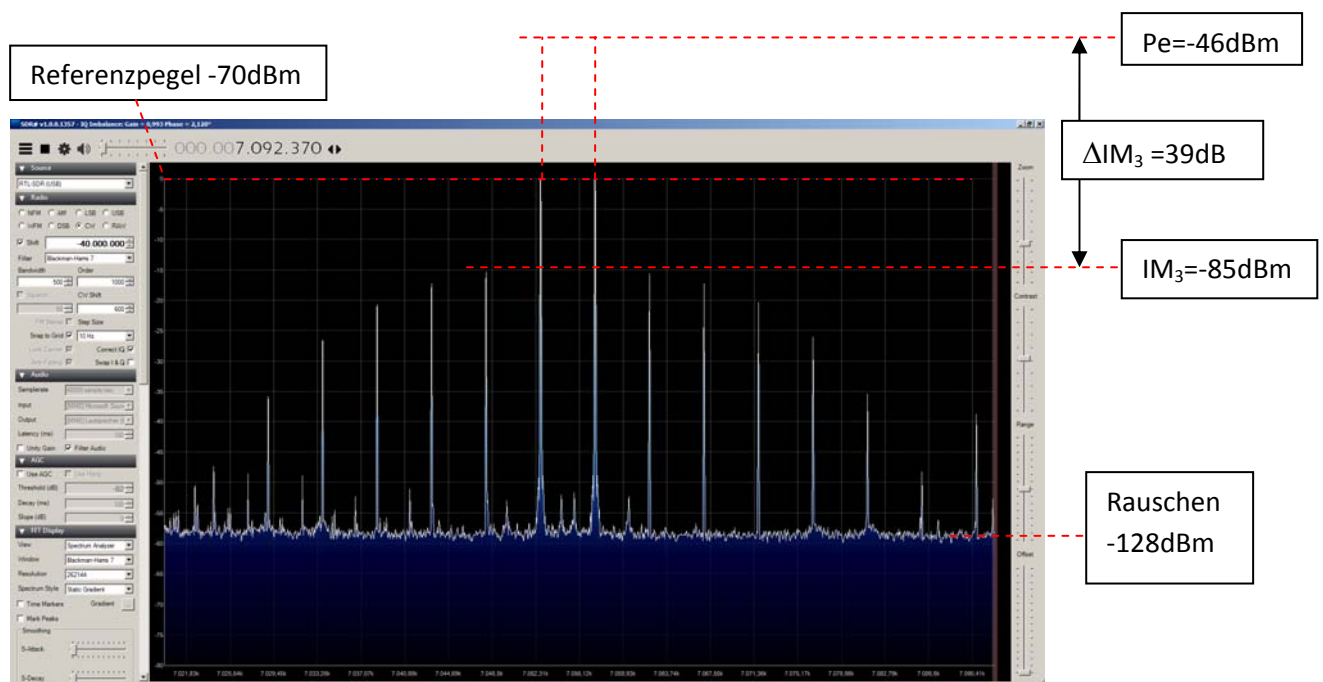


Bild 6:  $P_e=2x-46dBm$ ,  $f_1=7,052MHz$ ,  $f_2=7,057MHz$ , RF Gain=49,6dB, die Nutzprodukte liegen beide um 24dB oberhalb der oberen, horizontalen Linie,  $\Delta IM_3 = 39dB$

Die stärkste Störung erzeugt das  $IM_3$ -Signal, mit einem Abstand zu den Nutzprodukten von nur noch

$$\Delta IM_3 = -46dBm - (-85dBm) = 39dB$$

Daraus berechnet sich der Intercept-Point 3. Ordnung (IP3) des SDR-Receivers zu

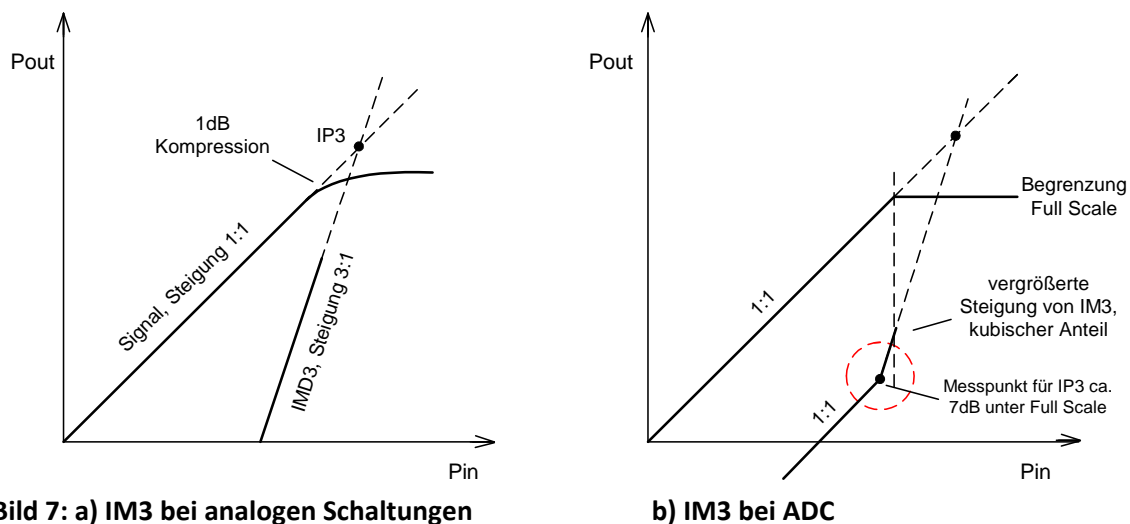
$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e = 39dB / 2 - 46dBm = -26,5dBm$$

## Zusammenfassung

Ohne HF-Vorverstärkung (RF Gain=0dB) eignet sich der SDR-Patrol gut als großsignalfester KW-Empfänger und FFT-Analysator mit einer Empfindlichkeit von ca. -85dBm und einem  $IP_3$  von +15dBm. Mit wählbarer, maximaler Vorverstärkung von RF Gain=49,6dB, wird der verzerrungsfreie Dynamikbereich stark eingeschränkt. Schon Empfangssignale von 200 $\mu$ V erzeugen IM-Verzerrungen. Bei Verwendung leistungsstarker Antennen im KW-Bereich, sollte immer ein 10..20dB Dämpfungsglied vor den Eingang des SDR-Receiver geschaltet werden und die gewählte RF-Gain einen Wert von 20...30dB nicht überschreiten.

## 3.) Überlegungen zu $IP_3$ und A/D-Wandler

Der  $IP_3$  ist ein theoretischer Schnittpunkt, bei dem sich die Übertragungskennlinien der Nutz- und  $IM_3$ -Störsignale kreuzen (Bild 7a). Mit Hilfe des  $P_3$  kann die Aussteuergrenze ( $P_{max}$ ) eines 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  $IP_3$  nicht mehr zur Berechnungen von Aussteuergrenze und Dynamik herangezogen werden und führt beim Vergleich mit analogen Konzepten zu falschen Ergebnissen. Die entstehenden IM-Produkte von A/D-Wandlern folgen nicht mehr den definierten Gesetzmäßigkeiten des quadratischen ( $IP_2$ ) oder kubischen ( $IP_3$ ) 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 7: a)  $IM_3$  bei analogen Schaltungen**

**b)  $IM_3$  bei ADC**

Im Testaufbau 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  $IM_3$ -Produkte im Grundrauschen auf, ähnlich wie bei analogen Empfängern. Bei Signalerhöhung, steigen die  $IM_3$ -Produkte jedoch nicht schneller an als die Nutzprodukte und verbleiben bei einer Steigung von ca. 1:1. Würde man an dieser Stelle den  $IP_3$  nach der bekannten Formel  $IP = \Delta IM/2 + P_e$  berechnen, wäre das Ergebnis falsch. Manchmal sinken die  $IM_3$ -Produkte sogar bei wachsenden Nutzsignalen. Die entstehende Messkurve erlaubt es demnach nicht, den  $IP_3$  daraus zu bestimmen, aber der  $IM_3$ -freie Dynamikbereich kann daraus ermittelt werden.

Die flache Steigung der Kurve zeigt, dass die  $IM_3$ -Produkte nicht von den analogen Komponenten (LNA) herrühren, sondern von der AGC selbst. Das Spektrum zeigt keine Intermodulationsprodukte aber



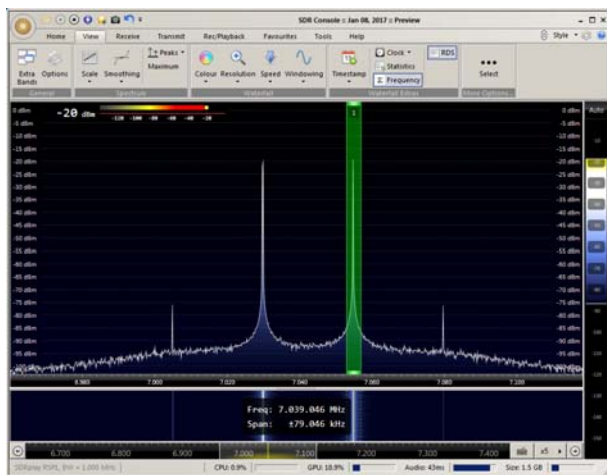
Störsignale des ADC, die durch Quantisierungsfehler bei der Digitalisierung und den nachfolgenden Rechenoperationen auftreten. Mit Dithering können diese Fehler etwas gemindert werden, indem ein zusätzliches, gleichmäßiges Rauschband - ähnlich dem eines analogen Verstärkers - die entstehenden Störprodukte 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 sondern linear ansteigen. Erst einige dB vor Saturation, bevor das Signal begrenzt (Saturation), wachsen die IP3-Produkte schneller an, als die Nutzsignale, mit einer Steigung von etwa 3:1. Ab dieser Stelle können auch analoge Baugruppen, wie ein vorgeschalteter LNA, für die vergrößerte Zunahme der IM mit verantwortlich sein. Den IP3 eines SDR berechnet man in der Regel bei ca. 7dB unterhalb der Sättigung des ADC (Bild 7b, ADC roter Kreis). Bei diesem relativ hohen Pegel ist der IM-Abstand noch groß, die analogen Teile werden stark gefordert und der berechnete IP3 erreicht seinen höchsten Wert.

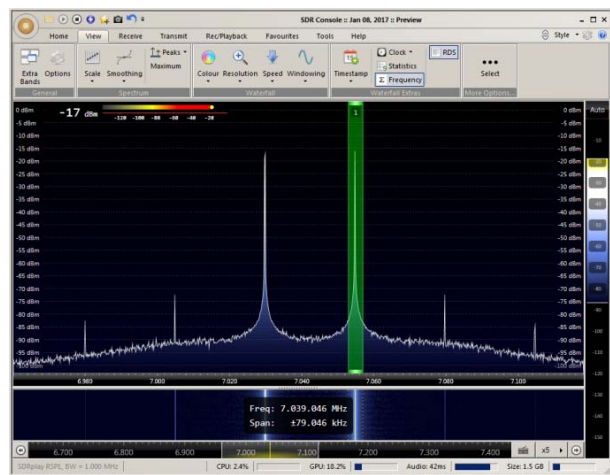
**Ergebnisse von IP3-Messung an einem SDRplay-RDS1**

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.

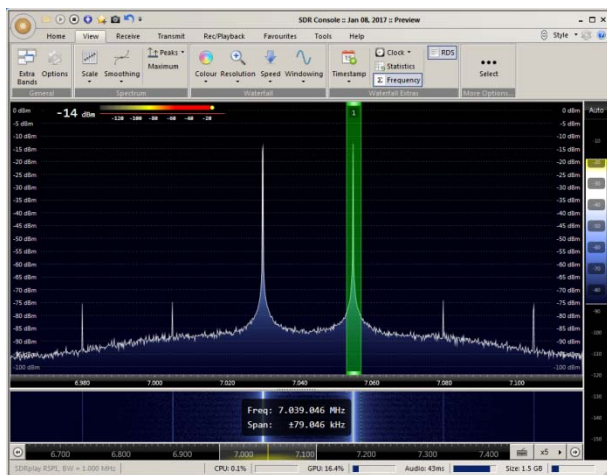
- Grundeinstellung am SDRplay: Gain Reduction maximal, LNA=Off.
- Unter SDR-Console: Referenzpegel auf 0dBm (1mW)einstellen (oberste horizontale Rasterlinie).



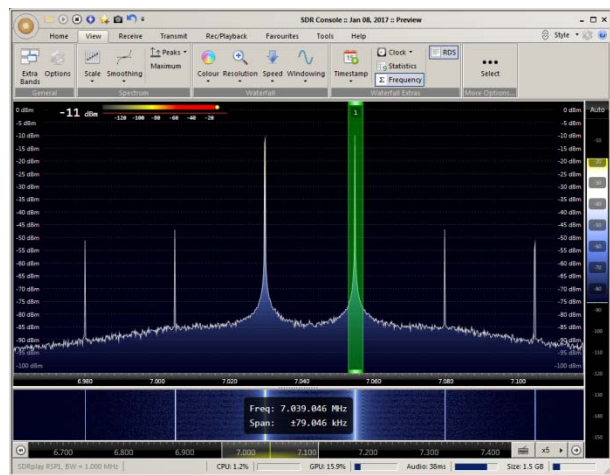
Pe=2x-20dBm,  $\Delta IM3=56$ dB, IP3=8dBm



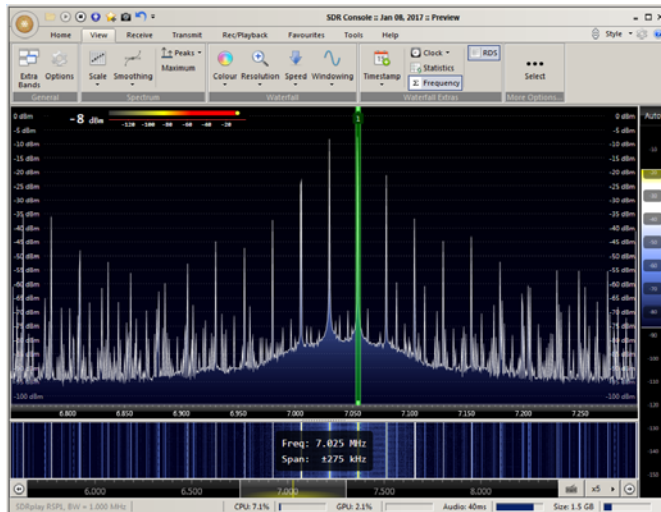
Pe=2x-17dBm,  $\Delta IM3=55$ dB, IP3=11dBm



Pe=2x-14dBm,  $\Delta IM3=62$ dB, IP3=17dBm!



Pe=2x-11dBm,  $\Delta IM3=36$ dB, IP3=7dBm



**Pe=2x-8dBm,  $\Delta$ IM3 =16dB, IP3=0dBm (Begrenzung)**

Deutlich zu erkennen ist, dass die IM3-Produkte bei Erhöhung der Signalpegel von 2x-17dBm auf 2x-14dBm nicht ansteigen sondern fallen! Bei Pe=2x-14dBm liegen die Nutzsignale schon kurz unterhalb der Saturation und bei dieser Aussteuerung erreicht der RDS auch seine größte Dynamik und seinen maximalen IP3 von +17dBm. Bei Pe=2x-8dBm fährt die ADC in Begrenzung und die Verzerrungsprodukte werden sehr groß.

Tabelle der Ergebnisse:

Pe	$\Delta$ IM3	IP3
-20dBm	56dB	8dBm
-17dBm	55dB	11dBm
<b>-14dBm</b>	<b>62dB</b>	<b>17dBm</b>
-11dBm	36dB	7dBm
-8dBm	19dB	0dBm

bestes IP3-Ergebnis!

Trotz der beschriebenen Problematik, wird der IP3 von ADC's und 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.

## Literatur

### (1) Antennenrauschen im Kurzwellenbereich

[http://www.dc4ku.darc.de/Antennenrauschen\\_im\\_Kurzwellenbereich.pdf](http://www.dc4ku.darc.de/Antennenrauschen_im_Kurzwellenbereich.pdf)

### (2) Empfindlichkeit und Rauschzahl eines SDR-Receiver

[http://www.dc4ku.darc.de/Empfindlichkeit\\_und\\_Rauschmass\\_eines\\_SDR-Receiver.pdf](http://www.dc4ku.darc.de/Empfindlichkeit_und_Rauschmass_eines_SDR-Receiver.pdf)

### (3) HF-Doppelton-Generator für IM3-Messungen an SSB-Endstufen und SSB-Empfängern

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

**(4) Intermodulationsmessung an HF-Sendern und HF-Endstufen**

[http://www.dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung\\_an\\_HF-Sendern.pdf](http://www.dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung_an_HF-Sendern.pdf)

**(5) HF-Power-Splitter und -Combiner**

[http://www.dc4ku.darc.de/Power\\_Splitter.pdf](http://www.dc4ku.darc.de/Power_Splitter.pdf)

Werner Schnorrenberg  
DC4KU, dc4ku@darc.de  
15.10.2015

Rev. 10.11.2015, 12.02.2017