

SunSDR2Pro - Test



Der SunSDR2Pro ist ein direkt abtastender, netzwerktauglicher 16 Bit-SDR-Transceiver, für die Frequenzbereiche 9kHz bis 65MHz (KW) und 96-148MHz (2m). Der Transceiver wird über seine Ethernet-Schnittstelle mit einem PC verbunden (Win 7 bis 10) oder über einen Router ins heimische Netzwerk eingebunden. Zum Start des Transceivers benötigt man die Software "Expert SDR2", deren aktuelle Version von Expert Electronics unter <https://eesdr.com> herunter zu laden ist. Bei meinen Tests verwendete ich die Software "ExpertSDR2 v.1.3.0 Beta1_SunSDR2_PRO". Der Hersteller liefert auf seiner Homepage mehrere User-Manuals, darunter auch eine deutschsprachige Betriebsanleitung.

Installation und Start

Der SunSDR2 kann über seine Ethernet-Schnittstelle in ein Heim-Netzwerk mit eingebunden werden, ähnlich wie ein Netzwerkdrucker oder ein Massenspeicher und hat von Hause aus die statische IP-Adresse 192.168.16.200. Es gibt zwei Möglichkeiten, den SunSDRPro zu betreiben: Entweder nur von einem einzelnen PC aus, oder über alle PCs/Notebooks im heimischen Netzwerk (**Bild 1**).

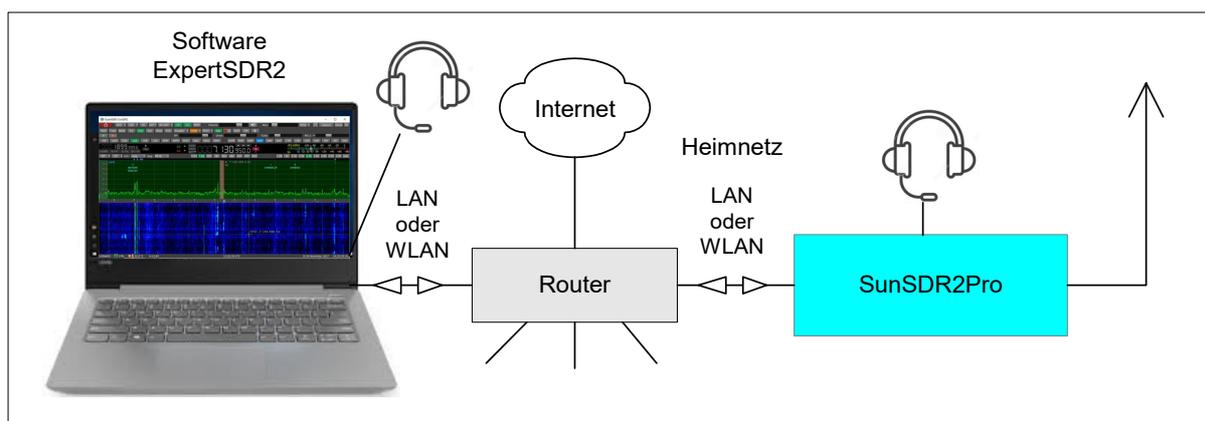


Bild 1: Betrieb des SunSDR2Pro im heimischen Netzwerk

Zunächst muß der SunSDR2Pro vom PC erkannt werden. Dazu den Transceiver über das mitgelieferte LAN-Kabel mit einem PC (Win7-10) verbinden und die IP-Adresse des PCs unter *Systemsteuerung -> Netzwerk -> Adaptereinstellungen ändern -> LAN-Verbindung -> Eigenschaften -> Internetprotokoll* auf z.B. 192.168.16.**50** (1...199) einstellen (**Bild 2, links**). Anschließend wird der SunSDR2Pro vom PC

erkannt und kann gestartet werden. Die Installation des Transceivers mit direkter Verbindung zu einem einzelnen PC ist damit abgeschlossen.



Bild 2: Einstellung der IP-Adresse am PC SunSDR2Pro im Netzwerk

Falls der Transceiver jedoch für das gesamte Heimnetz freigeschaltet werden soll (und das wird wohl der Regelfall sein), muß die Adresse des SunSDR2Pro auf eine freie Netzwerk IP-Adresse eingestellt werden. Um eine frei IP-Adresse im heimischen Netzwerk zu finden, öffne ich einfach das Menü des Routers und schau nach, welche Adresse noch frei ist, bei mir war es z.B. die 192.168.178.99. Dann im Menü -> *Options* -> *Expert* unter *SDR Address* die gewünschte IP-Adresse eintragen und unter "*Set IP Address*" abspeichern. Den Transceiver dann ausschalten, das LAN-Kabel vom PC trennen und stattdessen mit dem Router verbinden. Nach Wiedereinschalten des Transceivers, verbindet sich der Transceiver dann automatisch über die zuvor gespeicherte IP-Adresse mit dem Heim-Netzwerk. Zur Kontrolle öffnet man *Options* -> *Discover* -> *Found SDR2 Transceiver* und findet dort die gefundene, neue IP-Adresse des SunSDR2Pro (**Bild 2, rechts**).

Anschließend kann der SunSDR2Pro von allen PCs/Notebooks im Heimnetz gestartet und benutzt werden und der "Remote-Control", ebenso übers Internet, sind keine Grenzen mehr gesetzt.

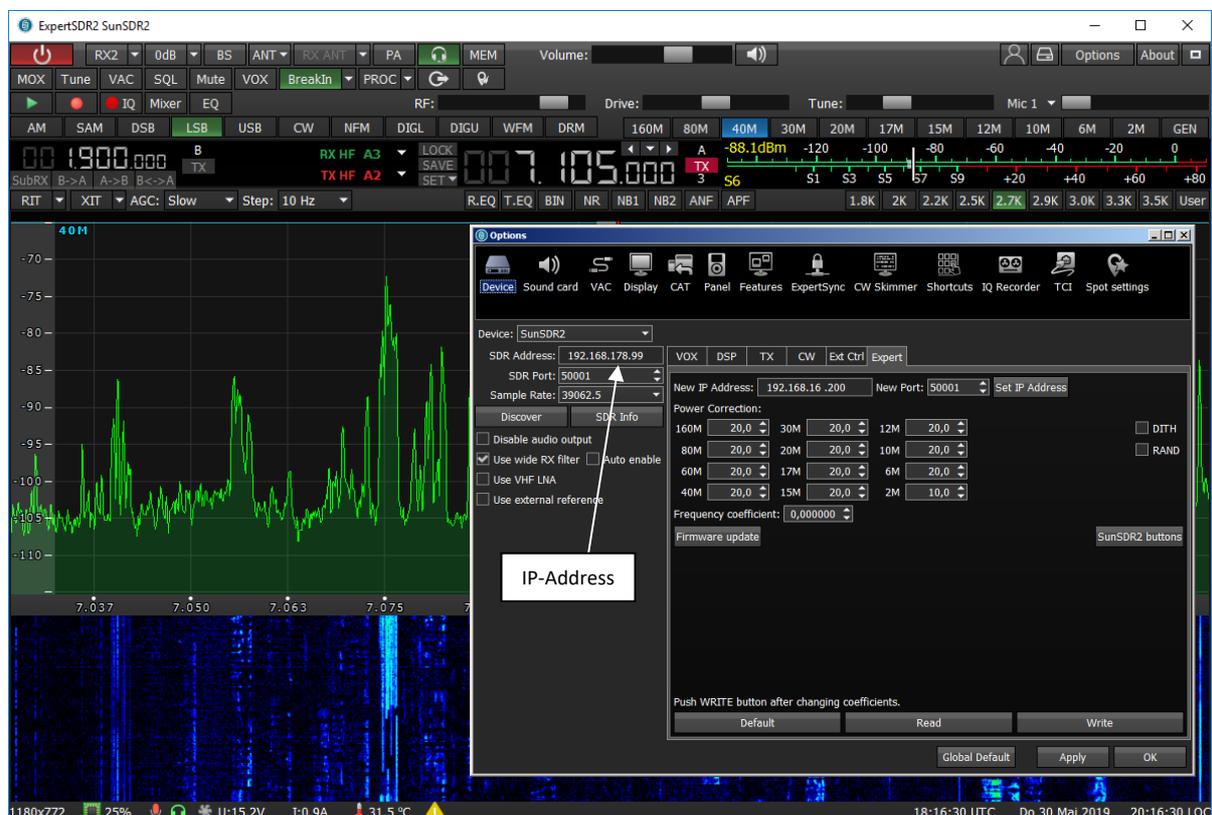


Bild 3: Schirmbild des SunSDR2Pro und seine IP-Adresse unter Options -> Device

Messungen am Receiver

S-Meter Genauigkeit

Zunächst wird die Genauigkeit des S-Meters überprüft. Hierzu wird ein HF-Signal bei 14,2MHz mit Pegeln von -122 bis -13dBm eingespeist (IN) und diese mit der dBm Anzeige des S-Meters verglichen.

Settings: Frequenz 14,2MHz, CW 500Hz, Wide RX-Filter off, Dith off, Rand off, Preamplifier off

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S9+10	S9+20	S9+30	S9+40	S9+50	S9+60
IN dBm	-121	-115	-109	-103	-97	-91	-85	-79	-73	-63	-53	-43	-33	-23	-13
S dBm	-122	-115	-109	-103	-96	-90	-84	-78	-73	-62.5	-52.6	-42.3	-33	-23	-12,5

Tabelle 1: S-Meter Anzeige und dBm

Die Pegelanzeige funktioniert bis auf S1 herunter sehr genau, der max. Fehler beträgt 1dB. Mit dieser Genauigkeit läßt sich der SunSDR2Pro auch als "HF-Pegelmessgerät" verwenden.

MDS (Minimum Decernable Signal) und Rauschmaß (NF, Noise Figure)

MDS entspricht dem kleinsten noch detektierbarem Signal, das im Grundrauschen noch hörbar ist. Legt man ein CW-Signal an den Empfängereingang, dessen Pegel das Grundrauschen des Empfängers am NF-Ausgang um +3dB anhebt, dann entspricht die Leistung des Signals (MDS) nach $(S+N)/N=2$ dem des Grundrauschens (Noise Floor). Die Messung kann unter SSB oder CW durchgeführt werden, wobei der Empfänger auf den Überlagerungston abgeglichen wird. Für diese Messung benötigt man einen kalibrierten HF-Generator, eine Eichleitung und ein RMS-Voltmeter (**Bild 1**).

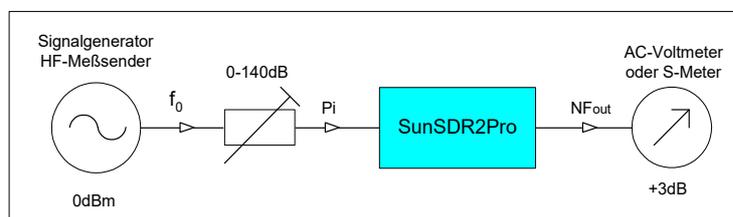


Bild 4: Messaufbau zur Ermittlung von MDS

Settings: B=500Hz CW, AGC on, Dither & Random off, Wideband RX-Filter on

Preamp	3,6MHz	7,1MHz	14,1MHz	21,3MHz	28,1MHz	50,1MHz
on	-134	-134	-134	-133	-133	-132
off	-125	-126	-126	-126	-124	-123

Tabelle 2: MDS in dBm

Mit einem Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz, berechnet sich das Rauschzahl (Noise Figure) zu $NF = MDS - \text{Rauschgrenzwert} - 10\log B = MDS + 147\text{dB}$, mit B = Rauschbandbreite

Preamp	3,6MHz	7,1MHz	14,1MHz	21,3MHz	28,1MHz	50,1MHz
on	13dB	13dB	13dB	14dB	13dB	15dB
off	22dB	21dB	21dB	21dB	23dB	24dB

Tabelle 3: Rauschzahl (Noise Figure)

Hinweis: Werden Bandpaßfilter anstelle des Wide band RX-Filters (65MHz TP-Filter) vor den Eingang des Empfängers geschaltet, erhöht sich der Rauschpegel um ca. 3dB. Wird die Funktion *Dithering* eingeschaltet, erhöht sich der Rauschpegel nochmals 5...8dB.

Reciprocal Mixing Dynamic Range (RMDR) und Side-Band Noise (SBN)

Bei der Mischung eines HF-Signale mit einem Oszillator, überträgt sich auch das Oszillator-Seitenbandrauschen auf das resultierende ZF-Signal. Diesen unerwünschten Effekt nennt man "Reciprocal Mixing Noise". Kleine Signale in der Nähe größerer Signale können durch das Seitenbandrauschen des Oszillators zugedeckt werden. Der Empfänger erfährt dadurch einen Verlust an Empfindlichkeit bzw. Dynamik (Desensibilisierung), der als "Reciprocal Mixing Dynamic Range, RMDR" bezeichnet wird. Dieses Problem kennt man hauptsächlich von analogen Empfängern **(1)**.

Moderne SDRs arbeiten mit sehr rauscharmen, quartzesteuerten Taktoszillatoren und im Gegensatz zu analogen Empfängern, bleibt das Phasenrauschen auch bei hohen Frequenzen gleich. Zur RMDR-Messung, wird der Empfänger in Frequenzabständen von 0.5 bis 5kHz zu einem rauscharmen Referenzsignal abgeglichen und der Signalpegel (Pi) so weit vergrößert, bis das Grundrauschen des Empfängers am NF-Ausgang um 3dB ansteigt. Als Referenzoszillator verwende ich einen Ultra Low Phase Noise 10MHz OCXO von KVG mit einem SBN von -168dBm/Hz in 1kHz Abstand. **(Bild 5 und 6)**.

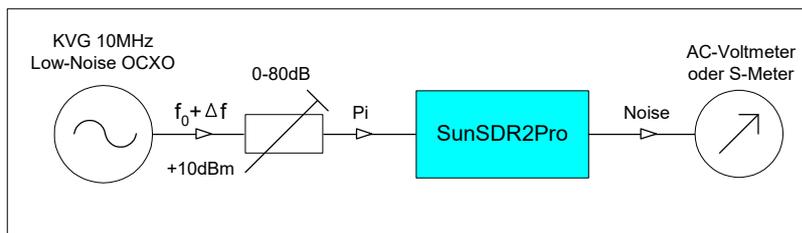


Bild 5: Messaufbau zur Ermittlung von RMDR und SBN

Der RMDR des Empfängers berechnet sich zu

$$\text{RMDR} = \text{Pi} - \text{MDS}$$

mit Pi = Eingangspegel in dBm, MDS = -124dBm/100Hz Bandbreite

und das Seitenbandrauschen (SBN) zu

$$\text{SBN} = -\text{RMDR} - 10\log B$$

mit $10\log B = 10\log 100\text{Hz} = 20\text{dB}$

Es gilt: Je größer das RMDR und je kleiner das SBN, umso besser für den Empfänger.

Settings: fe= 10MHz, CW, B=100Hz, Gain on, Dither on, Wide RX-Filter off, Resolution 100Hz, Averaging num 30, Update period, 50mS, FFT size 8193, Sample rate 39062.5

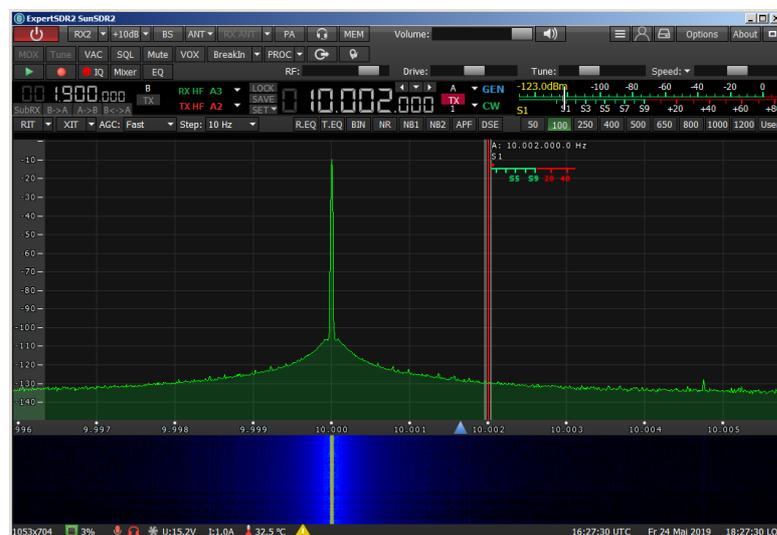


Bild 6: Messung Seitenbandrauschen

Ultra Low Phase-Noise 10MHz OCXO

Delta f kHz	Pi dBm	RMDR dB	SBN dBc/Hz
0,5	-30	94	-114
1	-15	109	-129
2	-7	117	-137
3	-6	118	-138
4	-5	119	-139
5	-4	Clip!	

RMDR=Pi-MDS
SBN=RMDR-10logB
 mit
 MDS=-124dBm/100Hz
 10LogB=20dB

Tabelle 4: RMDR und SBN (Phase Noise) in Abhängigkeit von Pi

In einem Offset von 2kHz zu einem CW-Signal von -7dBm (S9+65dB), beträgt das RMDR (die Dynamik) des Empfängers 117dB. Ohne das CW-Signal beträgt die Dynamik: MDS - Clipsevel= 124dBm - (-4dBm) = 120dB.

Hinweis: Bei einer RMDR-Messung muß man darauf achten, dass das erzeugte Seitenbandrauschen des verwendeten Referenzoszillators in allen Frequenzabständen (Offsets) kleiner sein muß, als das des zu prüfenden Oszillators, ansonsten misst man das SBN des Referenzoszillators und nicht das des Oszillators und die Ergebnisse werden falsch (zu klein) **(1)**. Reziprokes Mischen passiert eben in beide Richtungen.

Blocking Dynamic Range (BDR)

Der Blocking Dynamic Range sagt aus, wie gut ein Empfänger sehr kleine Signale in Nachbarschaft sehr großer Signale verarbeiten kann, ohne dabei an Empfindlichkeit zu verlieren. Der maximale BDR eines Empfängers ist dann erreicht, wenn durch Vergrößerung eines Störsignals ein 2kHz entferntes kleines Nutzsignal um 1dB an Amplitude verliert (Desensibilisierung) **(2)**.

Bei direkt abtastenden Empfängern, ist eine BDR-Messung im Prinzip aber nicht mehr relevant, weil ein ADC bei der Wandlung großer Signale keine komprimierende Wirkung auf kleine Signale ausübt. Ein ADC kennt weder eine "1dB-Kompression" noch einen "Blocking Dynamic Range", dafür aber eine Begrenzung (Saturation). Trotzdem geben viele Hersteller den BDR ihrer SDR-Radios im Datenblatt gerne mit an, weil hier im Regelfall sehr hohe dB-Werte erreicht werden.

Das Ergebnis einer BDR-Messung am SunSDR2Pro im 40m-Band zeigt **Bild 7**. Selbst bei einer Signalstärke von 0dBm (224mV, S9+73dB), bleibt der Pegel eines Nutzsignals von -100dBm im Abstand von nur 2kHz davon völlig unbeeindruckt. Berechnet man aus dieser Erkenntnis den BDR, erreicht der Empfänger einen Wert von

BDR = Clipping Level - MDS = >0dBm - (-120dBm) = > 120dB

Settings: CW, B=500Hz, Gain off, Wide RX-Filter on, Dither & Random on

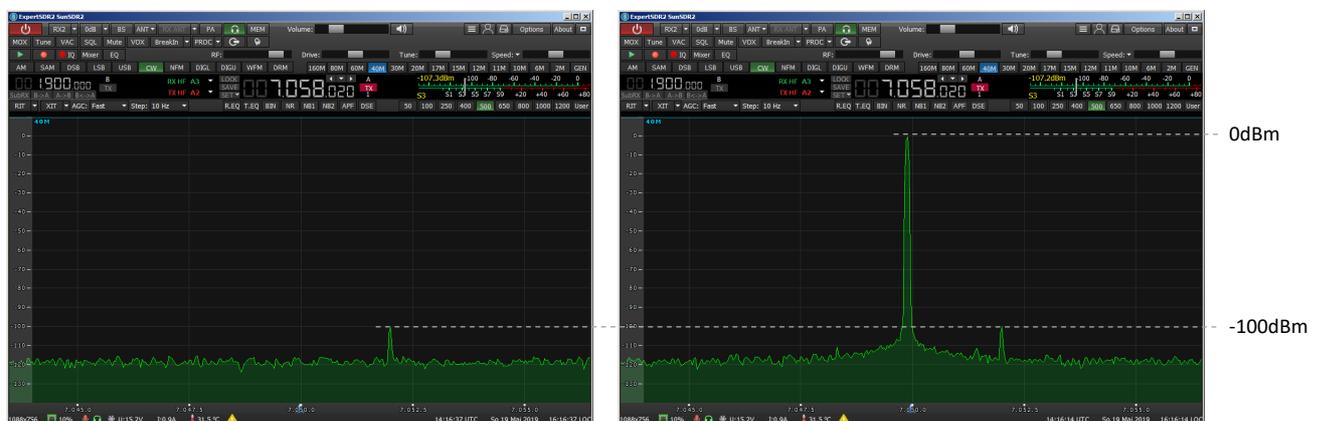


Bild 7: Ein A/D-Wandler kennt selbst über 100dBc keinen "Blocking Dynamic Range"

IMD3, DR3, Intermodulation 3. Ordnung

Zur Prüfung der Intermodulationsfestigkeit, belasten wir den Eingang des Empfängers mit zwei gleich großen HF-Nutzsignalen, im Beispiel bei $f_1=7050\text{kHz}$ und $f_2=7052\text{kHz}$ und vergrößern deren Pegel - ausgehend von $P_i=2 \times -70\text{dBm}$ - bis hin zur Begrenzung (Saturation) des Empfängers (3).

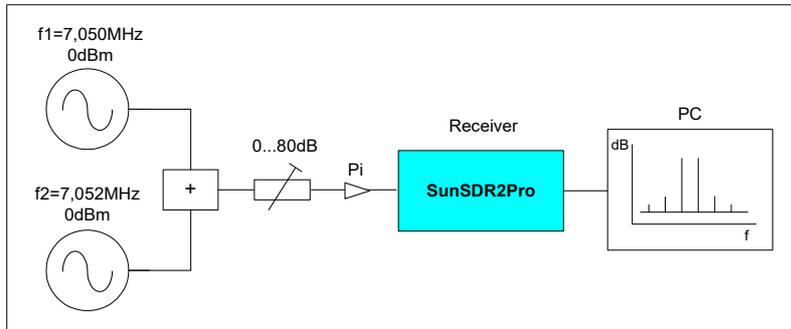


Bild 8: Empfänger IMD3-Messung

HF 2-Ton Generator

Im Gegensatz zu analogen Empfängern, steigen die IMD3-Störprodukte bei direkt abtastenden SDRs nicht mit dreifacher Geschwindigkeit zu den Nutzprodukten an, sondern verbleiben in der Nähe des Grundrauschpegels und vergrößern sich erst bei Begrenzung (Saturation). Dabei wird der größte, verzerrungsfreie Dynamikumumfang im Regelfall erst kurz vor Begrenzung des ADC erreicht. **Bild 9** zeigt die Messkurven der IMD3-Produkte, bei unterschiedlichen Grundeinstellungen des Receivers, mit und ohne Vorverstärkung (Gain +10dB/0dB) sowie mit und ohne Wide-Band-Filter (WBF) (65MHz TP-Filter) on/off.

Settings: $f_1=7,050\text{MHz}$, $f_2=7,052\text{MHz}$, CW, 500Hz, AGC off, Dither & Random on

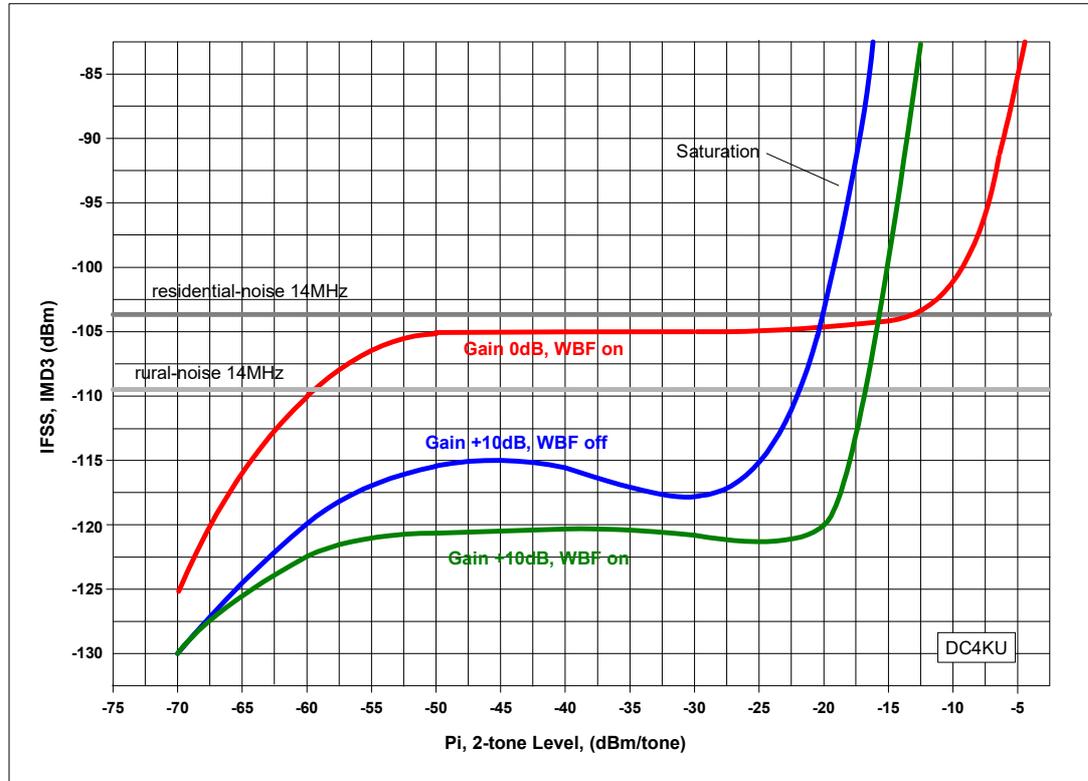


Bild 9: IMD3 in Abhängigkeit der Aussteuerung und Anwahl von Gain und Wide RX-Filter (WBF)

Die grüne Messkurve, mit 10dB Gain und WBF on, zeigt die größte, verzerrungsfreie Dynamik. Bei einem Eingangspegel von $2 \times -20\text{dBm}$ sind die entstehenden IMD3-Produkte um 120dB unterdrückt,

so dass ein DR3 (Dynamic Range 3rd Order) von bis zu 100dB bis entsteht. Bei geringfügig größerer Aussteuerung, gerät der ADC dann in Begrenzung. Die anderen Kurven zeigen das Verhalten des Empfängers bei zu- und abgeschalteter Gain und WBF on/off. Bei zugeschalteten Bandpaßfiltern (blaue Kurve) gerät der Empfänger relativ früh in Begrenzung. Dieser Effekt entsteht offensichtlich durch nicht ausreichende IMD3-Festigkeit (Großsignalfestigkeit) der vorgeschalteten Bandpaßfilter, hier sind die Entwickler des SunSDR2Pro nochmals gefordert. Ohne Vorverstärkung (rote Kurve) und abgeschalteten Bandpaßfiltern gerät der Empfänger erst ab $2 \times -10\text{dBm}$ ($S9+63\text{dB}$) in Saturation.

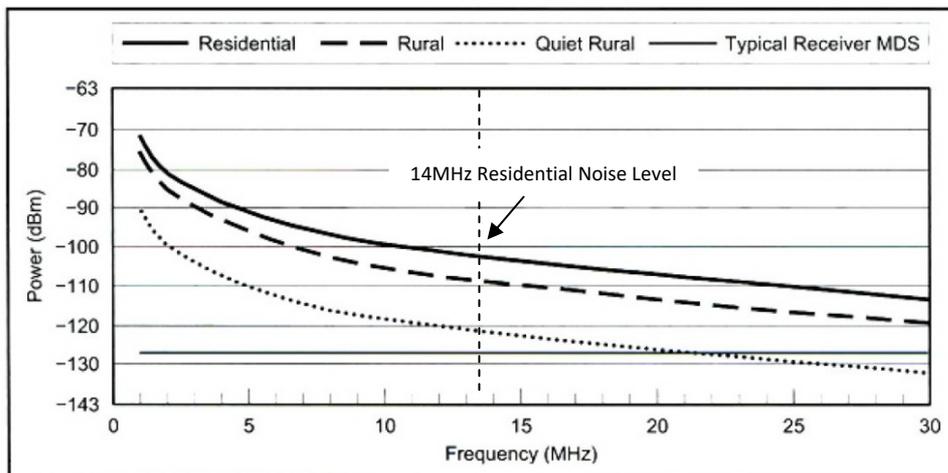


Bild 10: Typ. Externauschen in städtischen Bereichen (Residential, Urban) und in ländlichen Wohngebieten (Rural), (Man-Made Noise in 500Hz Bandbreite, von Rec. ITU-R P.372-7, Radio Noise, ARRL-Handbook)

Wichtig und entscheidend ist, dass sich alle IMD3-Kurven hin bis zur Begrenzung, stets unterhalb der Residential-Noise (städtisches Rauschen) bzw. Rural-Noise Linie (ländliches Rauschen) befinden (**Bild 10**) (4, 5). Wird das erreicht, sind die IMD-Störprodukte bei Anschluß einer Antenne nicht mehr hörbar/detektierbar.

Um das besser zu demonstrieren, leite ich das 2-Ton Signal zusammen mit dem Antennensignal über einen Power-Splitter auf den Eingang des Empfängers. Bei einem 2-Ton Pegel von $2 \times -13\text{dBm}$, also kurz vor Saturation, entsteht ein Spektrum nach **Bild 11**. Da ich das Signal (Rauschen) meiner KW-Antenne mit einspeise, liegt das Grundrauschen bei nur noch $-94\text{dBm}/2.7\text{kHz}$ (S 5). Trotzdem sind die IMD3-Produkte des 2-Ton Signals mit fast 20dB über Rauschen noch gut erkennbar. Die Grenze der Aussteuerung ist demnach erreicht bzw. schon überschritten.

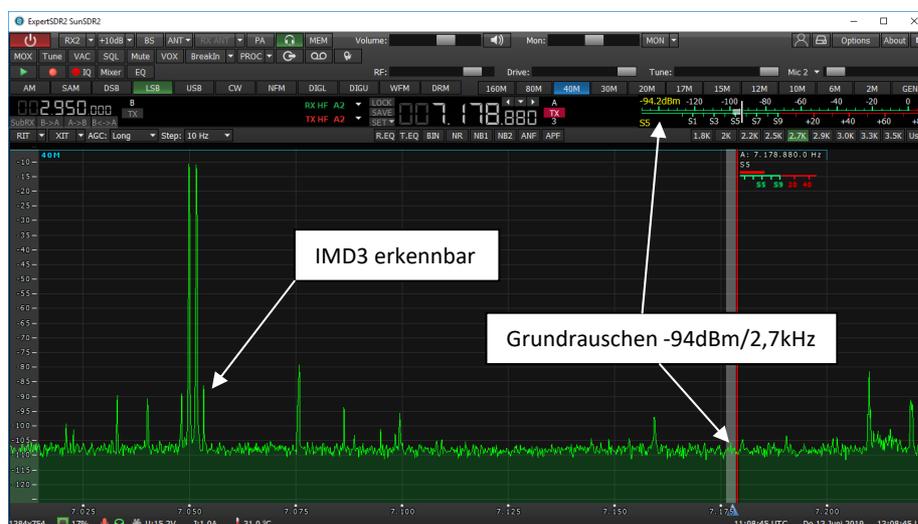


Bild 11: 2-Ton Signal mit $2 \times -13\text{dBm}$ plus Antennen-Signal am Eingang des Receivers

Verkleinere ich das 2-Ton Signal dann auf 2 x -20dBm, verschwinden die IM3-Störprodukte im Grundrauschpegel der Antenne und der IMD3-Abstand (die verzerrungsfreie Dynamik) beträgt 90dB.



Bild 12: Bei $P_e=2x-20\text{dBm}$ verschwinden die IM3-Produkte im Grundrauschen des Empfängers

Dieser Test ist unbestechlich, weil man das 2-Ton Signal quasi als "Antennensignal" mit eingespeist und sofort erkennt, ob und wann IMD-Verzerrungen oberhalb des Grundrauschens sichtbar sind oder nicht. Ein guter SDR-Empfänger produziert bis kurz unterhalb seiner Saturation keine erkennbaren Intermodulationsprodukte! Da das Grundrauschen bei höheren Frequenzen abnimmt, müsste dieser Test auf allen Bändern durchgeführt werden.

Zum "IP3": So gerne es viele OM's auch hätten, einen IP3 (Intercept-Point 3. Ordnung) läßt sich nicht ermitteln. Würde man es trotzdem versuchen, ergäbe sich für jeden Eingangspegel ein anderer IP3-Wert. Bei direct-sampling SDRs gibt es keinen IP3, weil es hierzu keinen mathematischen Zusammenhang mehr gibt.

Dither & Random

In den Kurven von Bild 9 ist gut zu erkennen, dass sich ein A/D-Wandler bei hoher Aussteuerung offensichtlich "wohler" fühlt, als bei geringer. Dieser Umstand wird von Entwicklern ausgenutzt,

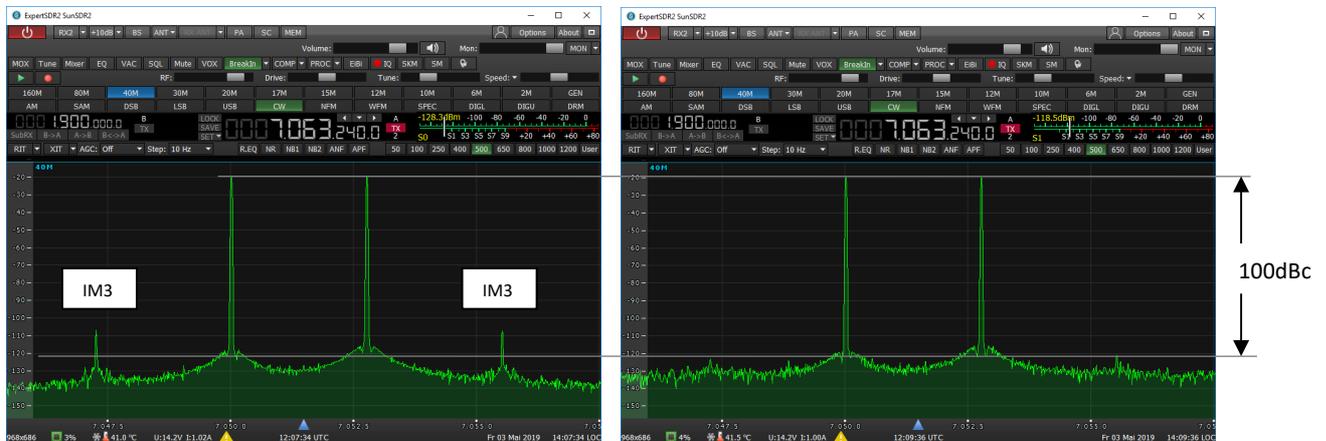


Bild 13: Zweiton-Signal mit $2x-20\text{dBm}$ am Eingang des Receivers, mit Dith & Rand (rechts) und ohne (links). Mit Dith & Rand beträgt die verzerrungsfreie Dynamik 100dBc, die IMD3-Signale verschwinden im Rauschen.

indem man dem Eingang des ADC optional ein Rauschsignal zuführt (6). Diese Funktion wird als "Dither" bezeichnet, ICOM nennt es "IP+". Durch Aktivierung von Dither und Output-Randomization

im ADC, läßt sich die Linearität und die IMD-Dynamik des SDR verbessern. Als Beispiel zeigt **Bild 13** ein 2-Ton Signals mit und ohne Dither. Wird Dither eingeschaltet, gehen die IM3-Produkte um fast 20dB zurück. Gleichzeitig erhöht sich aber auch das Grundrauschen um fast 10dB. Beim SunSDR2Pro läßt sich diese Funktion unter *Optionen -> Device -> Expert -> DITH, RAND on/off -> Write* dauerhaft ein- oder ausschalten. Im normalen Funkbetrieb wird Dither nicht benötigt, weil das Grundrauschen der Antenne als externes Dither-Signal schon ausreicht.

Hinweis zum verwendeten 2-Ton Generator: Für fehlerfreie IMD3-Messungen, muß der erzeugte IMD3-Abstand des 2-TonGenerators selbst, größer sein als 100dB (s. Bild 11). Ansonsten läuft man Gefahr, dass man die IMD3 des 2-Ton Generators misst und nicht die des Messobjektes, hier der Empfänger (**3**).

IMD2, Intermodulation 2. Ordnung

Eine Intermodulationsmessung 2. Ordnung ist zweckmäßig, weil hierbei die Unterdrückung von unerwünschten Summensignalen (f_1+f_2) kontrolliert wird. Im Beispiel verwende ich zwei Nutzsignale bei 6.1MHz und 8.1 MHz und messe das das Summensignal (IMD2) im 20m-Band bei 14.2MHz. Bei dieser Messung wird der Pegel (P_i) beider Signale soweit erhöht, bis das IMD2-Signal mit +3dB aus dem Grundrauschen hörbar wird, d.h. die Grenzempfindlichkeit (MDS) erreicht hat. Der IMD2-freie Dynamikumfang (DR2) des Receivers beträgt dann

$DR2 = P_i - MDS$, (DR2= Dynamic Range 2nd Order)

Settings: $f_1=6,1\text{MHz}$, $f_2=8,1\text{MHz}$, $f_e=14,2\text{MHz}$, CW, B=500Hz, RX filter off, Rand/Dith off

Gain	MDS dBm	Pi dBm	DR2 dB
+10dB	-129	-25	104
0dB	-122	-23	99

Tabelle 5: DR2-Messung bei $f_1 + f_2 = 14,2\text{MHz}$

Hinweis: Auch bei dieser Messung, muß der der vom HF 2-Ton Generator selbst erzeugte IMD2-Abstand größer als 100dB sein, ansonsten werden die Ergebnisse falsch (zu klein). Unter Umständen kann ein TP-Filter am Ausgang des Generators helfen.

Noise Power Ratio (NPR)

Das NPR (Noise Power Ratio) dient zur ultimativen Erfassung der Großsignalfestigkeit eines Empfängers (**7, 8, 9**). Der Eingang des Empfängers wird hierbei nicht mehr mit einzelnen CW-Signalen angesteuert, sondern mit einem gleichmäßigen, weißen Rauschband konstanter Leistung. **Bild 14** zeigt den Testaufbau, bestehend aus Rauschgenerator, Notchfilter (Kerbfilter), Bandpaßfilter und Dämpfungsglied und **Bild 15** das Spektrum am Ausgang des Messplatzes.

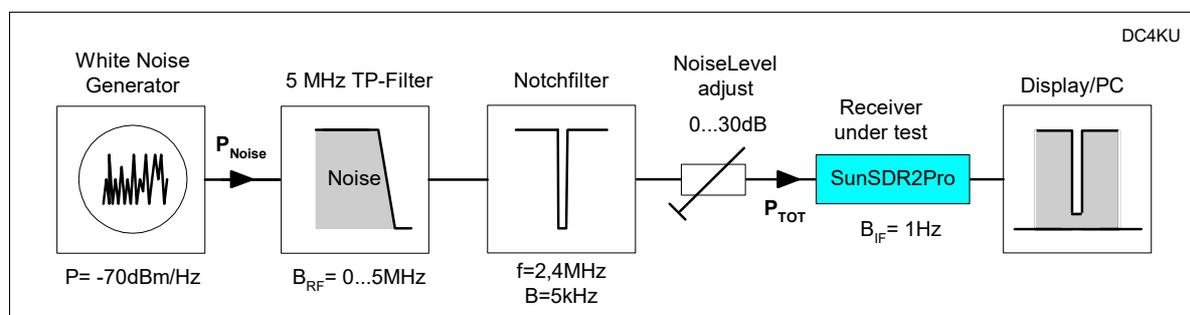


Bild 14: NPR- Messplatz

Das schmalbandige Notchfilter hat die Aufgabe, das Rauschen an einer Stelle im Frequenzband zu eliminieren, im Beispiel bei $f_e=2.4\text{MHz}$. Der Empfänger wird auf die Mitte des Notchfilters

abgeglichen und das Rauschsignal soweit erhöht, bis der ADC in Sättigung gerät. Diese Begrenzung ist durch einen plötzlichen Rauschanstieg im Boden des Notchfilter zu erkennen. Anschließend die Rauschleistung soweit reduzieren (1...2dB), bis im Sockel des Filters kein Anstieg mehr zu erkennen ist. An diesem Punkt ist das NPR des Empfängers erreicht und entspricht der Differenz von angelegter Rauschleistung (P_{TOT}) zum Grundrauschpegel (MDS) im Sockel des Notchfilters.

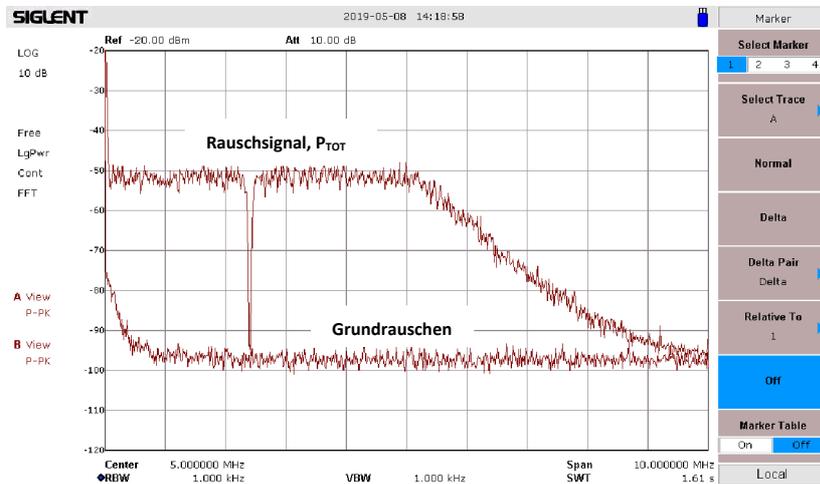


Bild 15: Spektrum am Eingang des Receivers. Rauschsignal bis 5MHz, mit Ausnahme im Notchfilter

Das resultierende NPR des Empfängers läßt sich direkt im Spektrum (**Bild 16**) abgelesen, es beträgt 73dB bei einer eingespeisten Rauschleistung von $P_{TOT} = -12\text{dBm}/5\text{MHz}$. Bei einer NPR-Messung sollten dem Empfänger grundsätzlich keine begrenzenden Bandpaßfilter vorgeschaltet sein, weil ansonsten die Gefahr besteht, dass nicht das gesamt Rauschspektrum den Eingang des ADCs erreicht. Deswegen aktiviert man unter *Options* -> *Device* -> *Wide RX-Filter on*, wodurch dem Empfänger nur das 65MHz TP-Filter vorgeschaltet wird und der HF-Eingang Scheunentorbreit wird.

Settings: Preamp off, NB off, Dither & Random off, Wide RX-Filter on, BW 1 kHz (B_{IF})

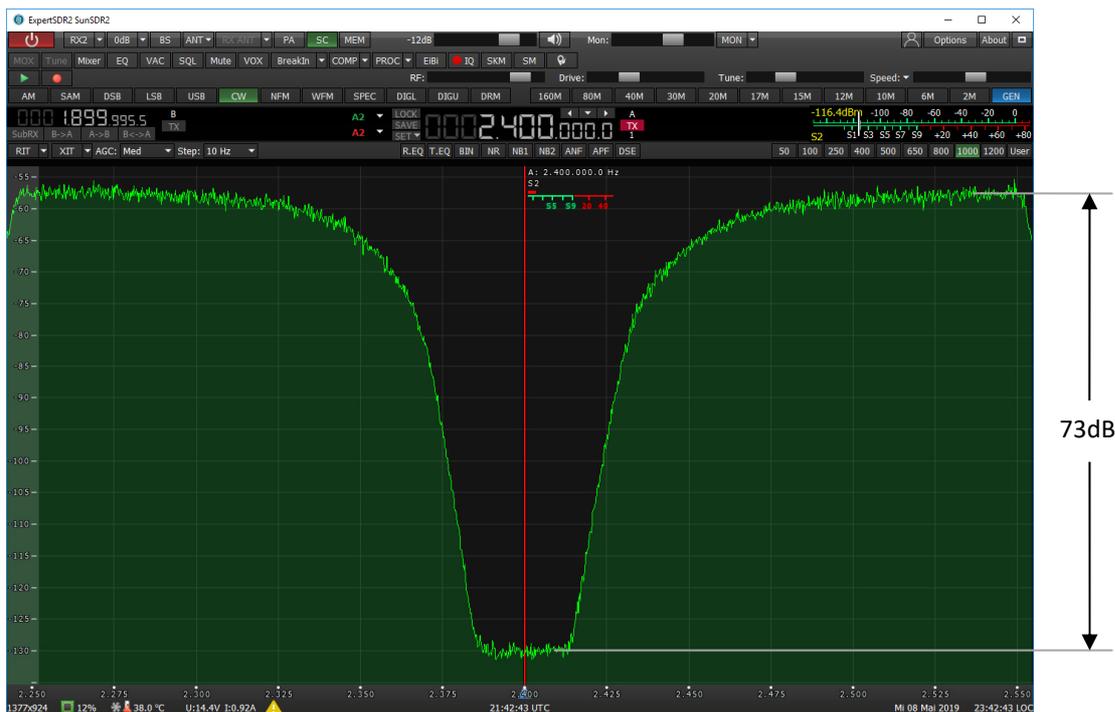


Bild 16: NPR = 73dB

Die ermittelten NPR-Werte, mit und ohne Preamp, zeigt **Tabelle 6**. Erwartungsgemäß geht der

NPR bei +10dB Vorverstärkung etwas zurück. Die Differenz ist aber nur gering, was für die Großsignalfestigkeit des Preamplifier spricht. Zum Vergleich, der NPR meines DDC SDR **ColibriNANO**, mit einer Auflösung von 14Bit, beträgt nur 58dB (**10**).

Preamp	P _{TOT} dBm	NPR dB
0dB	-12	73
+10dB	-21	69

Tabelle 6: Noise Power Ratio des SunSDR2Pro

Der theoretische NPR-Grenzwert eines 16bit A/D-Wandlers, angesteuert mit konstantem, weißem Rauschen über eine Bandbreite (B_{RF}) von 5 MHz, beträgt ca. 76dB (**7**).

Berechnung des NPR

$$\text{NPR} = P_{\text{TOT}} - \text{BWR} - \text{MDS} = -12\text{dBm} - 10\log 5000\text{kHz}/1\text{kHz} - (-122\text{dBm}) = 73\text{dB}$$

mit:

P_{TOT} = Rauschleistung (im Beispiel bezogen auf eine Bandbreite B_{RF} von 5MHz)

BWR (Bandwidth Ratio) = $10\log B_{\text{RF}}/B_{\text{IF}} = 10\log 5000\text{kHz}/1\text{kHz} = 37\text{dB}$

B_{RF} = Rauschbandbreite des Generators (im Beispiel 5MHz)

B_{IF} = Rauschbandbreite des Empfängers (im Beispiel 1kHz)

MDS = -122dBm, Grundrauschen des Empfängers mit Wide RX-Filter on

Was bedeutet ein NPR von 73dB?

Belastet man den Empfänger lückenlos von 0-5MHz mit gleich großen CW-Signalen, beträgt die Leistung eines jeden CW-Signals maximal $P = \text{NPR} + \text{MDS} = 73\text{dB} + (-122\text{dBm}) = -49\text{dBm}$, bevor der Empfänger in Begrenzung fährt. In diesem Zustand erreicht der Empfänger seine maximale IMD3-freie Dynamik von $P - \text{MDS} = -49\text{dBm} - (-122\text{dBm}) = 73\text{dB}$.

Anmerkung: Zur Ermittlung der Großsignalfestigkeit eines Empfängers, erscheint mir der NPR-Test wirklichkeitsnäher zu sein, als ein Test mit nur zwei CW-Signalen. Das Rauschband hat die gleiche Wirkung, wie viele hundert gleich großer CW-Signale. Funktionen wie Dither & Random zur rechnerischen Unterdrückung von IMD3-Signalen haben hier keinen Einfluss mehr und können abgeschaltet werden. Gute Empfänger liefern ein NPR von über 70dBc.

Wide RX-Filter

Bei Aktivierung des "Wide RX-Filters" wird dem Eingang des Empfängers anstelle von Bandpaßfiltern nur ein 65MHz-TP-Filter vorgeschaltet. Der Empfänger arbeitet dann im Eingang breitbandig von 0-65MHz, ähnlich einem Spektrum Analysator. Diese Einstellung wählt man z.B. dann, wenn man sämtliche Empfangssignale von 0-65MHz mit Hilfe des "Bandscope" gleichzeitig erfassen/sehen möchte. **Bild 17** verdeutlicht die Wirkung des Wide RX-Filters.



Bild 17: Spektrum am Bandscope mit Wide RX-Filter on

Das Bandscope ist auf den maximalen Anzeigebereich von 0 bis 80MHz eingestellt und als Eingangssignal verwende ich wieder ein Rauschsignal. Mit aktiviertem RX-Filter, sieht man den ungefilterten, spektralen Verlauf des Rauschens, als eine fast gerade Linie, die erst bei der Grenzfrequenz des TP-Filters abfällt. Schalte ich dann das RX-Filter aus und gleiche den Empfänger auf z.B. 14.2MHz ab, aktiviert der Empfänger automatisch ein für diesen Frequenzbereich passendes Bandpaßfilter, hier im 20m-Band, und das Rauschsignal wird außerhalb des Filterdurchlassbereichs stark gedämpft (**Bild 18**).

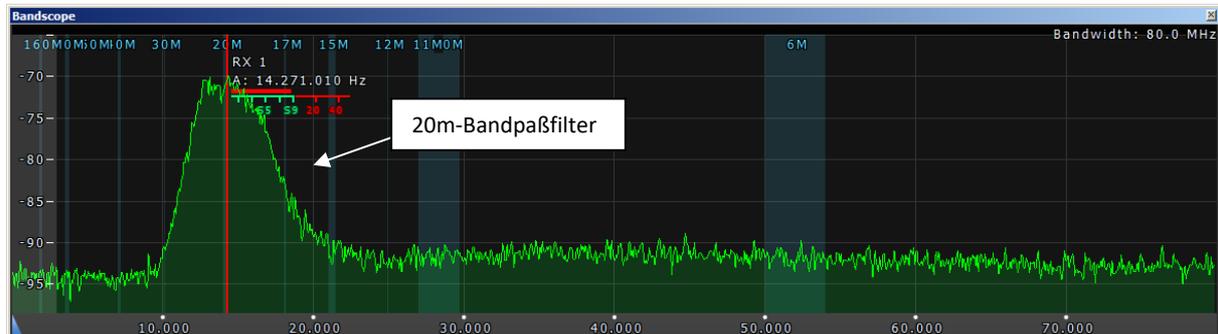


Bild 18: Spektrum mit Wide RX-Filter off. Der Empfänger wählt jetzt automatisch ein passendes, selektives BP-Filter, im Beispiel bei 14.2 MHz im 20m-Band.

Fazit: Beide Einstellungen sind im Empfangsbetrieb möglich. Mit Hilfe von Bandscope und Wide RX-Filter on läßt sich jederzeit kontrollieren, welche Signale von 0-65MHz am Eingang des Empfängers insgesamt anliegen und wie groß deren Pegel sind. Da ich nur selten Signale von größer als -40dBm auf meiner Antenne festgestellt habe und der Empfänger relativ großsignalfest ist, verwende ich meist nur das 65MHz-TP-Filter im Eingang. Wer jedoch vor Übersteuerung absolut sicher sein will, sollte das Wide RX-Filter deaktivieren.

Spurious Signals

Über das Bandscope, lassen sich auch die unerwünschten Störsignale (Birdies) des Empfängers aufspüren. Hierzu den Eingang des Empfängers mit 50 Ohm abschließen und Bandscope auf maximalen Anzeigebereich von 0-80MHz einstellen. Anschließend sieht man die Spurious Signals des Receivers. Im Beispiel sind es immerhin vier Signale (20, 40, 60MHz, 80MHz), mit Pegeln um die -100dBm (**Bild 19**).



Bild 19: Receiver Spurious Signals von 0-80MHz

Messungen am Transmitter

HF-Ausgangsleistung

Den HF-Ausgang des Transceivers über ein 40dB-Dämpfungsglied mit einem Spektrum Analysator

verbinden. Mikrofon-Eingang mit einem NF-Generator verbinden und auf 700Hz einstellen. NF-Amplitude soweit erhöhen, bis der Transmitter seine maximale Leistung (P_0) abgibt. Wird "Enable MIC AGC" angewählt, kann der Sender bei Vergrößerung des NF-Pegels nicht übersteuert werden.

Settings: Testfrequenzen 3.6, 14.2, 28.3 und 145MHz, NF Signal 700Hz, Drive 100%, Enable Mic AGC on, LSB/USB, Versorgung 15VDC

	P_0 , Watt
3,6 MHz	21.5
14,1 MHz	19.5
28,3 MHz	20.0
145 MHz	8.0

Tabelle 7: Maximale HF-Ausgangsleistung, abhängig von der Frequenz

2-Ton IMD3-Test

Bei diesem Test wird ein NF 2-Ton Signal (700Hz, 1500Hz) in den Mikrofoneingang des SunSDR2Pro eingespeist und der Sender ebenfalls auf max. Ausgangsleistung abgeglichen (**11**). Das Spektrum am HF-Ausgang zeigt neben den beiden Nutzsignalen (f_1 , f_2) auch die unerwünschten Intermodulations-Produkte, wobei die IMD3 im Regelfall die höchste Amplitude hat. Die Unterdrückung der IMD3 sollte bei max. Ausgangsleistung ≥ 25 dBc sein und die IMD-Produkte höherer Ordnung relativ schnell abfallen. **Tabelle 8** und **Bild 21-24** zeigen die entstehende Intermodulation im 80, 20, 10 und 2m-Band.

Settings: Testfrequenzen 3.6 , 14.2 , 28.3 und 145MHz, NF 2-Ton Signal 700Hz und 1500Hz mit gleichen Amplituden, LSB/USB, Drive 100%, Enable Mic AGC on

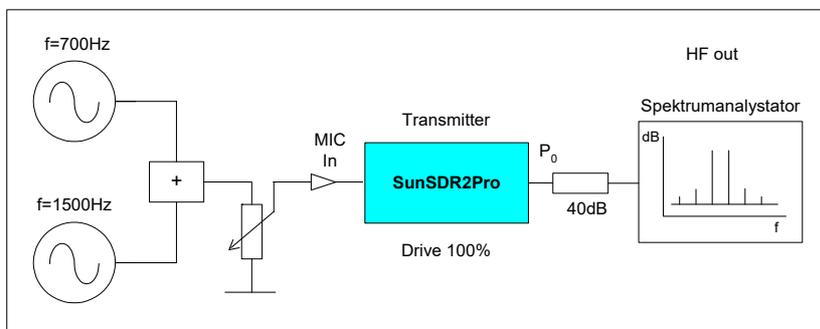


Bild 20: Sender IMD3-Messung

Audio 2-Ton Generator

f_1+f_2	3,6 MHz	14,1 MHz	28,3 MHz	145MHz
IMD3	36 dBc	37 dBc	33 dBc	30 dBc
IMD5	40 dBc	50 dBc	38 dBc	47 dBc
IMD7	46 dBc	52 dBc	45 dBc	60 dBc
IMD9	60 dBc	56 dBc	50 dBc	64 dBc

Tabelle 8: 2-Ton TX IMD

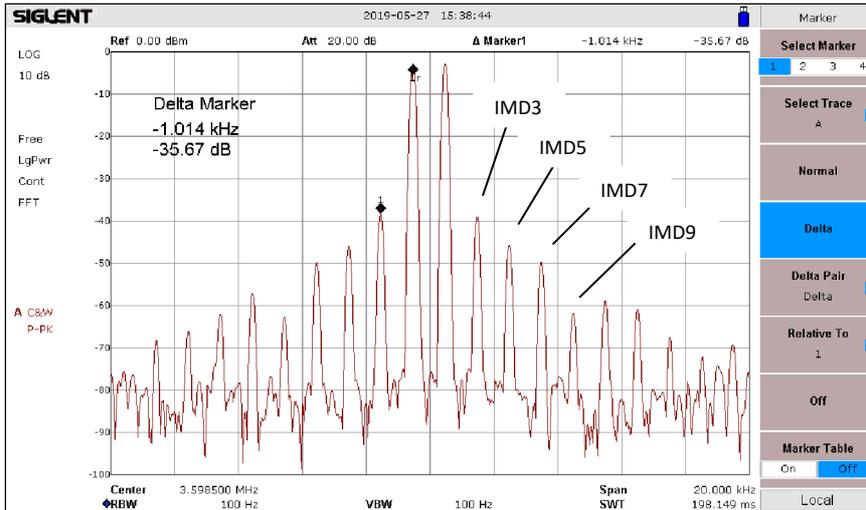


Bild 21: $f=3.6\text{MHz}$, 20Watt PEP, $\text{IMD3}=35.7\text{dBc}$

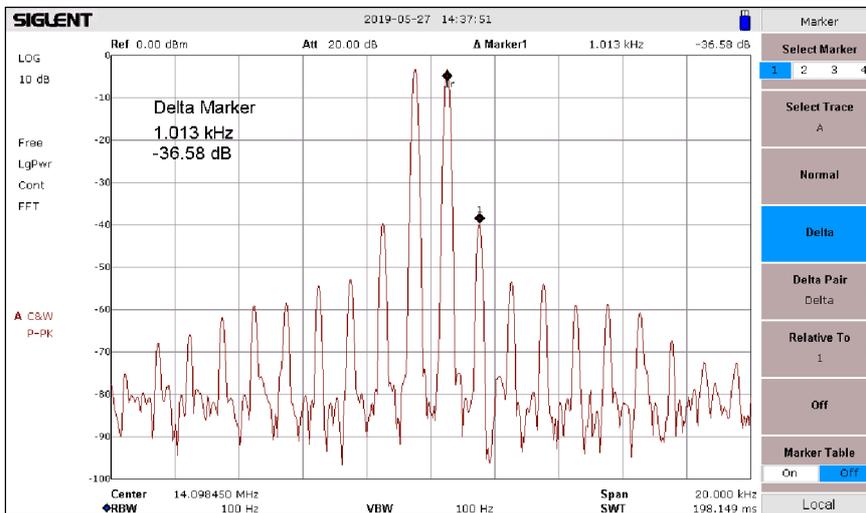


Bild 22: $f=14.1\text{MHz}$, 18.7Watt PEP, Delta $\text{IMD3} = 36.6\text{dBc}$

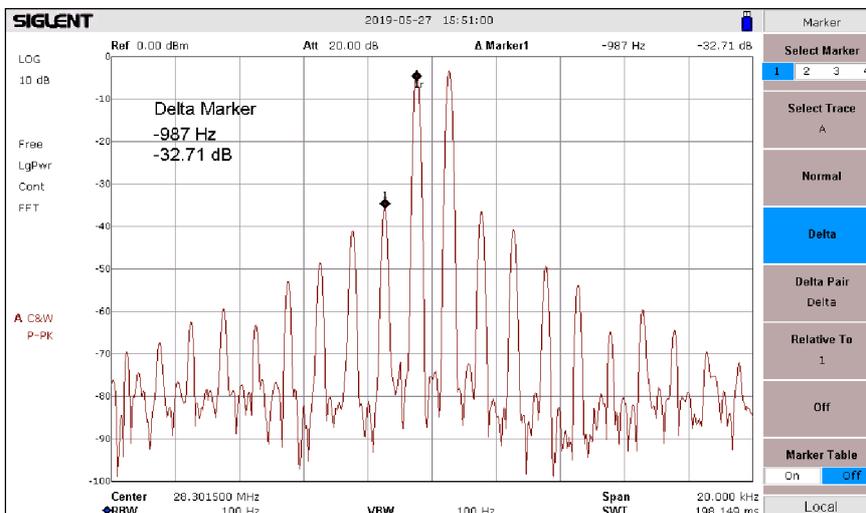


Bild 23: $f= 28.3\text{MHz}$, 18Watt PEP, Delta $\text{IMD3} = 32.7\text{dBc}$

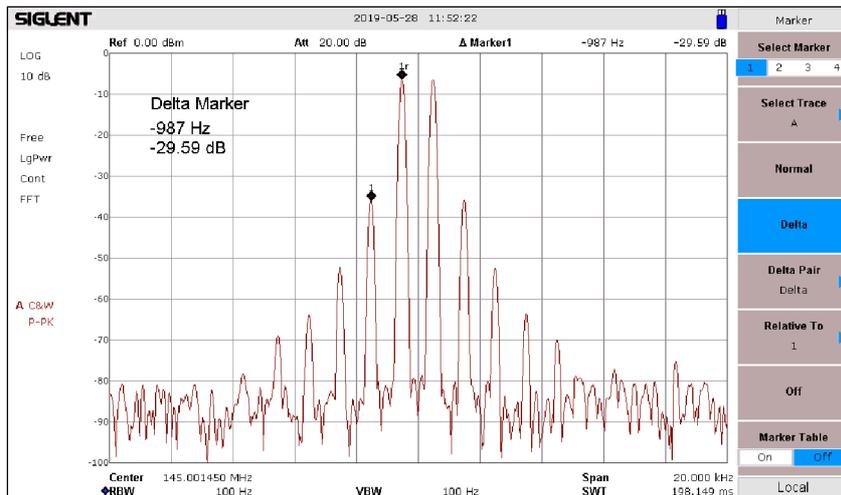


Bild 24: f=145MHz, 7.7Watt PEP, Delta IMD3 = 29,6dB

Oberwellenunterdrückung

Den Sender im 80-, 20-, 10- und 2m-Band auf jeweils maximale HF-Ausgangsleistung abstimmen und die Unterdrückung der 2. Harmonischen (2xf) mit einem Spektrumanalysator messen.

Settings: Testfrequenzen 3.6 , 14.2, 28.3 und 145MHz, NF 1-Ton Signal 700Hz, Drive 100%, Enable Mic AGC on, LSB/USB

f	2xf, Dämpfung (dB) der 1. Oberwelle
3.6 MHz	78dBc bei 7,2MHz
14.1 MHz	77dBc bei 28,2MHz
28.2 MHz	80dBc bei 56,4MHz
145 MHz	65dBc bei 290MHz

Tabelle 9: Unterdrückung der 2. Harmonischen

Kontrolle des eigenen Sendesignals

Sobald man den Sender einschaltet, erscheint im Display das Spektrum des momentan abgestrahlten Sendesignals, dargestellt über eine Bandbreite von 3kHz (**Bild 25**). So kann man jederzeit sein eigenes Sendesignal "live" beobachten und z.B. überprüfen, ob alle Höhen und Tiefen der Sprachmodulation auch passen und ob das verwendete Mikrofon etwas taugt oder nicht.

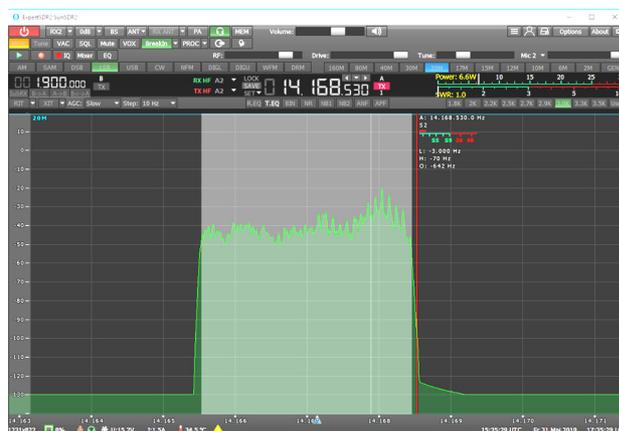


Bild 25: Bildschirm zeigt Spektrum des Sendesignals

Tipps

Reset Settings

Manchmal kann es erforderlich sein, den Transceiver auf seine ursprüngliche IP-Adresse und Ports zurück zu stellen. Dazu den Transceiver ausschalten, die **RST-Taste** auf der Rückseite drücken, halten und dann den Transceiver wieder einschalten. Die LED blinkt anschließend rot/grün und die RST-Taste wieder loslassen. Nach einiger Zeit leuchtet die LED konstant grün. Nach dem Reset hat der Transceiver wieder seine IP-Adresse 192.168.16.200 und die Ports 50001, 50002.

Reinstall Firmware

Zur Re-Installation der Firmware, den Transceiver ausschalten, die **L/W-Taste** drücken, halten und den Transceiver wieder einschalten. Die LED blinkt anschließend in grün. Die Software ExpertSDR2 öffnen -> Options -> Device -> Firmware Update wählen. Nachdem sich die Firmware installiert hat, leuchtet die LED konstant grün und die Firmware-Installation ist abgeschlossen.

Temperatur

Der Transceiver kann ziemlich heiß werden, nach 30 Minuten im Standby Betrieb (15V, 0,9A) schon bis +45°C. Deswegen setze ich einen kleinen, völlig geräuschlosen Radial-Lüfter auf den Kühlkörper. Anschließend bleibt die Temperatur bei unter +35°C.



SunSDR2Pro mit Lüfter

Literatur

(1) Messung des Seitenbandrauschens von Empfängern und Oszillatoren

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

(2) Receiver Blocking Dynamic Range

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

(3) IM3-Festigkeit eines 2-Ton Generators

https://dc4ku.darc.de/IM3_Festigkeit_eines_HF_2_Tongenerators.pdf

(4) Radio Noise

<https://itu.int/rec/R-REC-P.372/en>

(5) Antennenrauschen im Kurzwellenbereich

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

(6) Using Dither

<https://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-004.pdf>

(7) Noise Power Ratio Testing of HF Receiver, Adam Farson

http://www.ab4oj.com/test/docs/npr_test.pdf

(8) Theoretical maximum NPR of a 16-bit ADC, Adam Farson

http://www.ab4oj.com/test/docs/16bit_npr.pdf

(9) Noise Power Ratio

<https://dc4ku.darc.de/Noise-Power-Ratio.pdf>

(10) ColibriNANO-Test

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

(11) NF-Doppelton-Generator mit Wien-Robinson-Brücke

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

Werner Schnorrenberg

DC4KU

15.06.2019, Rev. 25.01.2021