

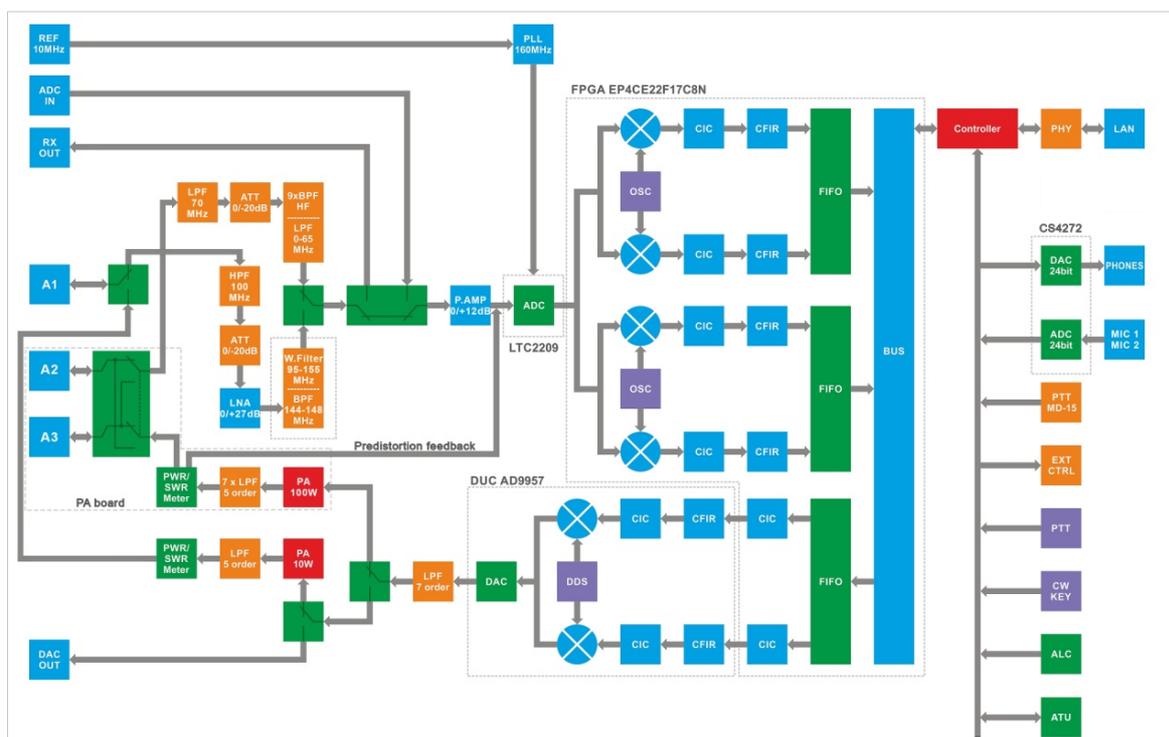
SunSDR2 DX - Test Report



Aufbauend auf dem beliebten SDR-Transceiver "SunSDR2 Pro" bietet der Hersteller Expert Electronics den "SunSDR2 DX" an. Dieser Transceiver arbeitet als direkt-abtastendes Software Defined Radio (SDR) mit einem hochauflösenden 16Bit A/D-Wandler (LTC 2209), bei einer Abtastrate von 160 MS/s. Es werden alle Amateurfunkbänder von 160 bis 6m (0.09...65MHz) sowie das 2m VHF Band (95...148MHz) unterstützt. Die Sendeleistung beträgt 100W auf Kurzwelle, 50W auf 6m und 7W auf 2m. Änderungen gegenüber dem SunSDRPro betreffen die Filter. So ist ein neues Hochpassfilter ab 100 MHz eingebaut, das für eine bessere Empfindlichkeit auf VHF führt. Für HF stehen 9 einzelne, optimierte Bandpaßfilter oder ein einziges Tiefpassfilter ab 65 MHz zur Verfügung. Ergänzt wird diese Kombination durch ein zusätzliches Tiefpassfilter ab 70 MHz, das den Dynamikumfang auf Kurzwelle und 6m verbessert.

Der Sender ist völlig unabhängig vom Empfänger mit eigenem Quadratur-Oszillator ausgelegt und ermöglicht so einen flexiblen Halb- oder Vollduplex-Betrieb. Zusammen mit der Software ExpertSDR2/3 sind zwei unabhängige Haupt- und zwei unabhängige Sub-Empfänger im gleichen Bandbereich möglich. Darüber hinaus, ist die Anzeige eines breiten Spektrums von bis 0 bis 80 MHz möglich (Bandscope).

Die Steuerung des SunSDR2 DX erfolgt über ein Ethernet-Kabel, welches entweder direkt mit einem PC oder dem DSL-Router im Heimnetz verbunden wird. Mit Hilfe die neuen Software ExpertSDR3 und einer von EE kostenfrei zur Verfügung gestellten "Cloud", läßt sich der SunSDR2 DX auf einfache Art weltweit aus dem Internet bedienen. Komplizierte Port-Weiterleitungen und DynDNS gehören damit der Vergangenheit an.



Blockdiagram SunSDR2 DX

Installation

Zunächst die Software "ExpertSDR2_SunSDR2DX" von <https://eesdr.com/en/software-en/expertsdr3-en> heruntergeladen und auf einem PC (Windows 10 32/64bit, Linux und macOS) installiert und den SunSDR2 DX über ein LAN-Kabel mit dem PC verbinden (**Bild 1**). Der TRX ist auf die IP 192.168.16.200 voreingestellt. Damit der PC den Transceiver erkennen kann, muß seine IP-Adresse geändert werden.

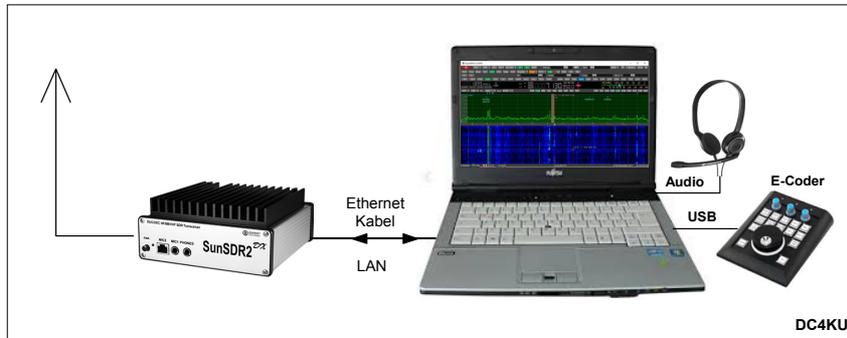


Bild 1: SunSDR2-DX in direkter Verbindung mit einem PC

Dazu unter *Netzwerk- und Freigabecenter -> Adaptereinstellungen ändern -> Ethernet -> Internetprotokoll, Version 4 (TCP/IPv4)*, die IPv4-Adresse des PCs von "IP-Adresse automatisch beziehen" auf z.B. 192.168.16.50 (1...199) einstellen und abspeichern (**Bild 2**). Nach Änderung der Adresse wird der SunSDR2 DX vom PC erkannt und die Software kann gestartet werden. Die Verbindung zu einem einzelnen PC ist damit abgeschlossen.

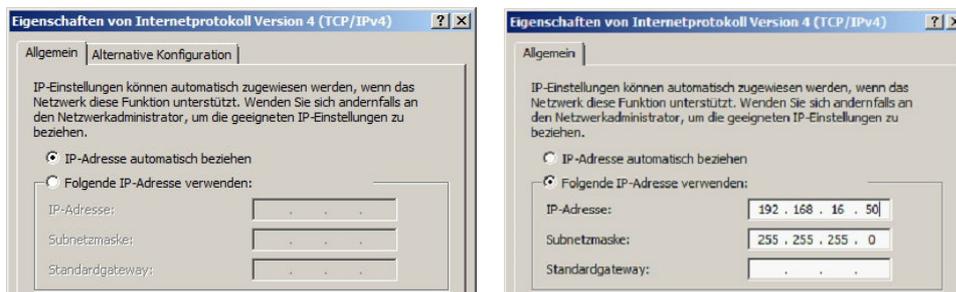


Bild 2: Einstellen der IP-Adresse im PC

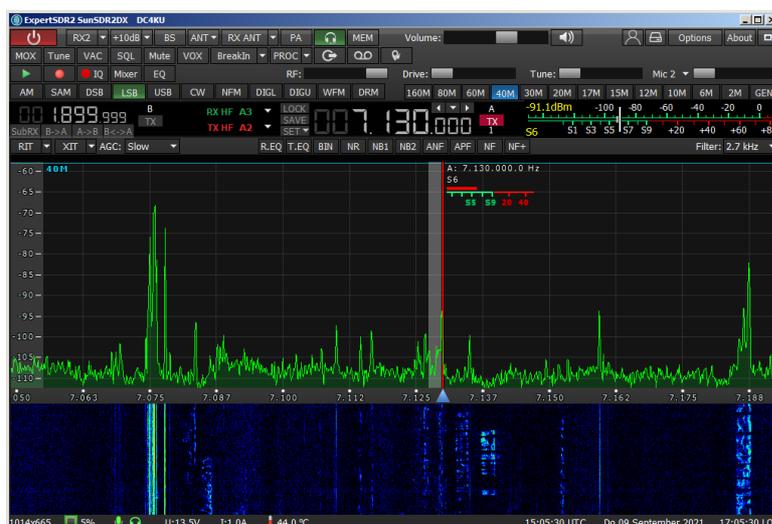


Bild 3: Display des SunSDR2 DX unter der Software ExpertSDR2_SunSDR2DX

Damit sich der SunSDR2 DX auch von anderen PCs im Heimnetz fernsteuern lässt, muss er mit dem heimischen DSL-Router verbunden werden (**Bild 4**). Dazu im Menü unter *Options -> Expert -> "Set IP*

Address" eine freie IP-Adresse des Routers eintragen, wie z.B. **192.168.178.120** und diese mit *Write* -> *OK* abspeichern. Falls der voreingestellte "Port 50001" vom Router bereits für eine andere Applikation verwendet wird, hier einen noch freien Port eintragen, wie z.B. **Port 50071**. Dann den SunSDR2 DX ausschalten, von der Stromversorgung trennen und das Ethernet-Kabel mit dem Router verbinden, gemäß **Bild 4**.

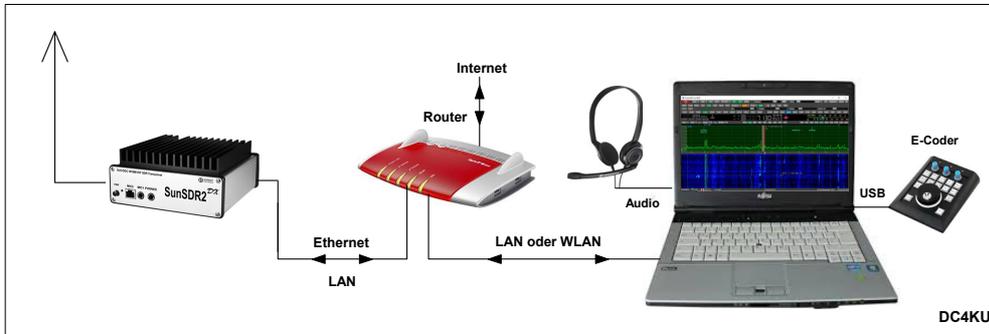


Bild 4: SunSDR2 DX im Heimnetz

Nach Wiedereinschalten des Transceivers, verbindet sich dieser innerhalb einiger Sekunden automatisch mit dem Router (**Bild 5**). Nach erneutem Start der Software, erkennt man unter *Options* die neue SDR-Adresse und den SDR-Port des SunSDR2 DX: **192.168.178.120:50071**. Damit ist der SunSDR2 DX mit dem Heimnetz verbunden und kann dort von allen PCs erreicht werden, auf denen die Software **ExpertSDR2_SunSDR2DX** installiert wurde.

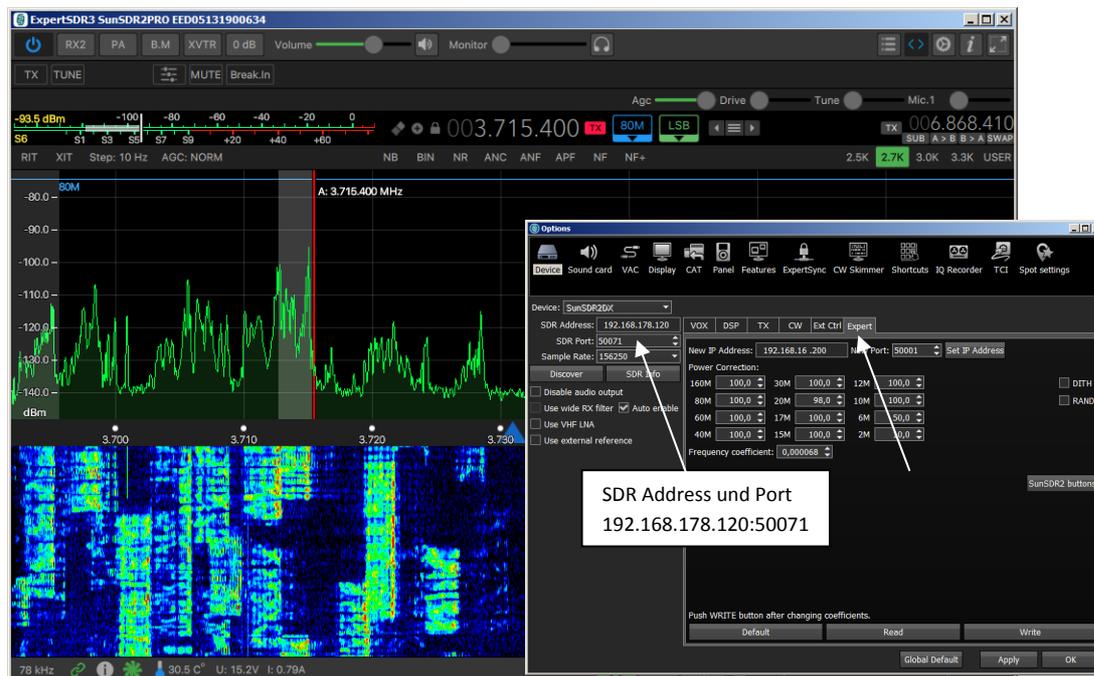


Bild 5: SunSDR2 DX gestartet und seine IP- und Port-Einstellungen

Steuerung über das Internet

Zur Fernsteuerung über das Internet, ist eine **Server/Client-Verbindung** erforderlich (**Bild 6**). Als Server-PC kann ein beliebiger PC im Heimnetzwerk agieren. Von "<https://eesdr.com/en/software-en/expertremote-en>" die Software **ExpertRS** (Remote Server) und **ExpertRC** (Remote Client) herunter laden und auf dem Server- und Client-PC installieren. "ExpertRS" am Server-PC öffnen (**Bild 7**) und unter SDR Port: **50071** eintragen und auf *Search* klicken. Der Server des SunSDR2 DX ist jetzt aktiviert und Stand-by für eine Verbindung. Anschließend kann das Programm wieder geschlossen werden, der Server bleibt aber im Hintergrund geöffnet.

Damit die Übertragung ins Internet funktioniert, benötigt der Server-PC noch eine sogenannte "Port-Weiterleitung". Dazu den Router öffnen, dort auf *Internet -> Freigaben* gehen und am Server-PC die Ports **50071 bis 50073** (Daten und Audio) über TCP und UDP freigeben. Dann am Client-PC das Programm "ExpertRC" öffnen, *Options -> Device* wählen und dort die öffentliche IPv4-Adresse des Routers sowie den Port des SunSDR2 DX eintragen, im Beispiel: **92.36.144.213:50071 (Bild 8)**.

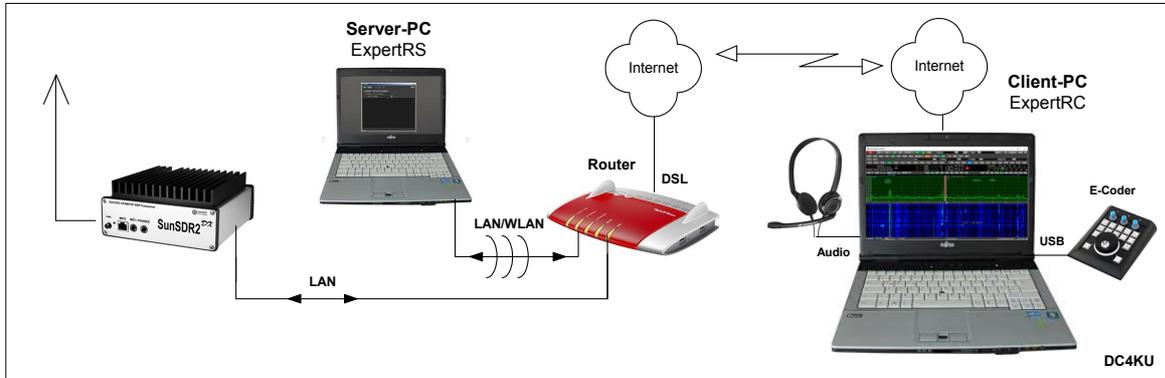


Bild 6: SunSDR2 DX im Internet

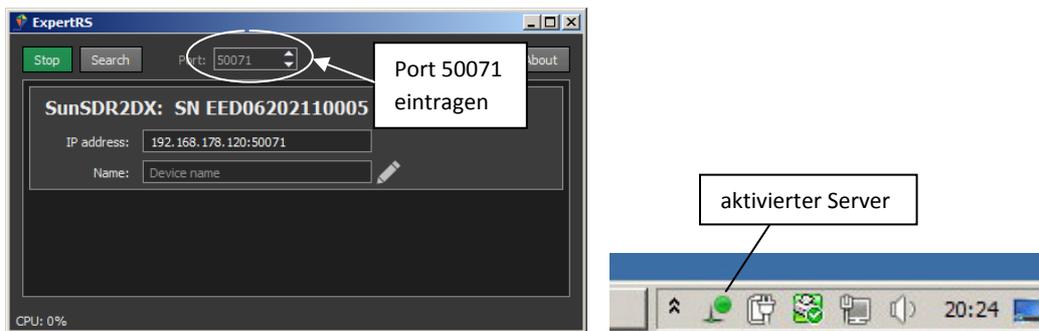


Bild 7: ExpertRS gestartet (links) und Markierung des Servers im unteren Rand des PC-Bildschirms (rechts)

Anschließend lässt sich der SunSDR2 DX weltweit über das Internet fernsteuern. Der Zugriff funktioniert unter LAN, WLAN und LTE (3G, 5G) mit einem wählbarem Traffic von 70kbit/s bis über 1MBit/s und einer Sample Rate von 39062 bis 312500Hz.



Bild 8: Nach Eingabe der URL, ist der SunSDR2 DX weltweit über das Internet erreichbar

Die neue ExpertSDR3 Software

Erst kürzlich stellte Expert Electronics eine neue Software unter der Bezeichnung ExpertSDR3 vor, die nach einem völlig neuen Konzept arbeitet (<https://eesdr.com/en/software-en/expertsdr3-en>). Nach Installation und Start des Programms öffnet sich ein Menü, in dem alle vorhandenen Funkgeräte aufgelistet werden, im Beispiel ein ColibriNANO, SunSDR2 Pro und SunSDR2 DX (**Bild 9, links**). Nach Anwahl eines der Radios über "Start", öffnet sich dieses und kann bedient werden (**Bild 9, rechts**). Bei Bedarf, können auch alle Radios geöffnet und auf unterschiedlichen Frequenzen gleichzeitig ferngesteuert werden.

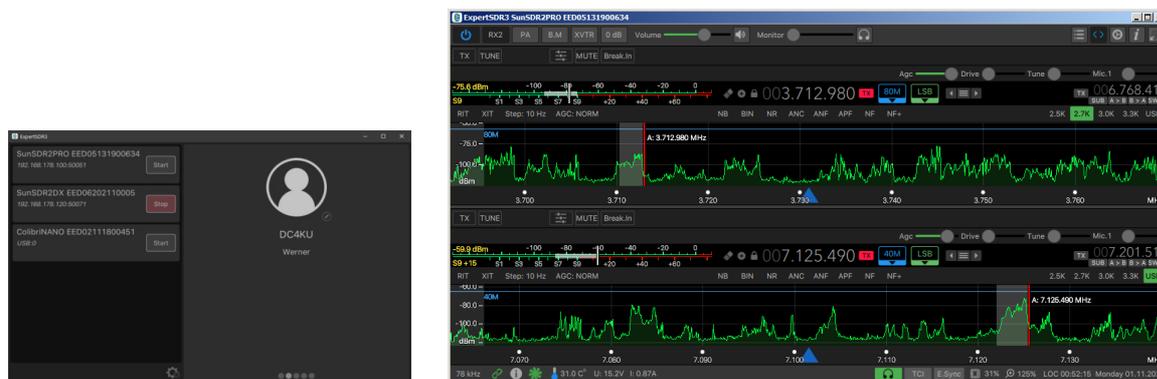


Bild 9: Liste aller verfügbaren Radios und Start des SunSDR2 im RX2-Mode, 40m und 80m

Ein besonderes Feature - welches bisher noch von keinem anderen Hersteller angeboten wird - ist die Fernsteuerung der Radios über eine "Cloud", die Expert Electronics kostenfrei zur Verfügung stellt. Hierbei stehen Server- und Client-PC über eine Cloud in Verbindung (**Bild 10**). Aufwendige Port-Freigaben und DynDNS-Einstellungen im Router sind jetzt nicht mehr erforderlich!

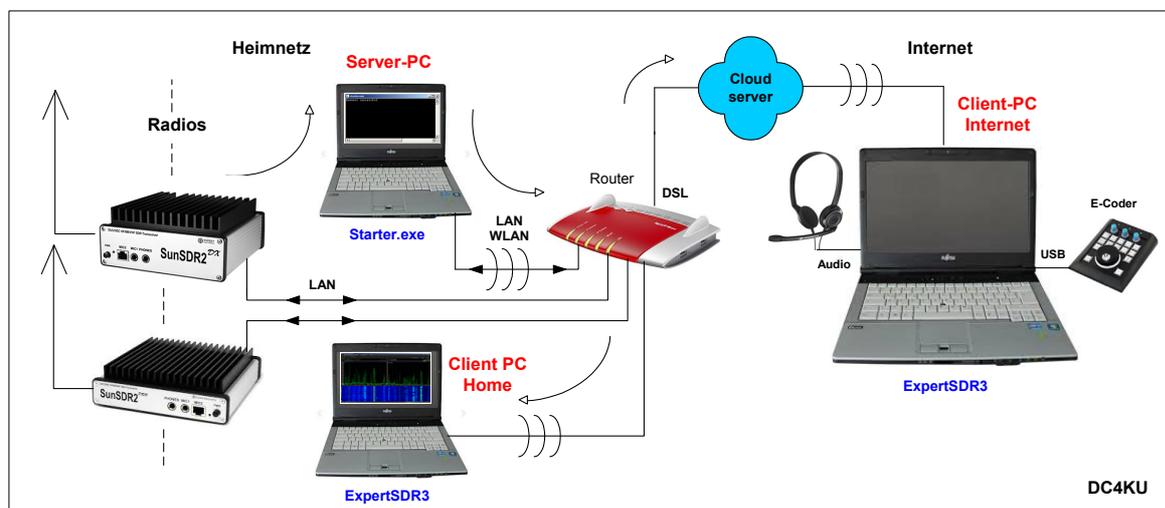


Bild 10: Steuerung aller Funkgeräte im Heimnetz und Internet über die Cloud

Zunächst meldet man sich bei der EE-Cloud an (**Bild 11**). Dazu die URL <https://cloud.eesdr.com:5450/reg.html> öffnen und im Cloud-Menü eine *Email-Adresse* und ein *Kennwort* eintragen. Die erfolgreiche Registrierung wird anschließend von Expert Electronics per Email bestätigt, welches aus Sicherheitsgründen nochmals rückbestätigt werden muß.

Anschließend die Datei **Starter_Win64** von <https://eesdr.com/en/software-en/expertsdr3-en> auf dem Server-PC herunterladen und öffnen. Unter *Starter_Win64* -> 20210702 findet man das File **config.json**. Dieses mit einem Text-Editor öffnen und unter "email" und "secret" seine Email-Adresse und sein Passwort der Cloud eintragen und abspeichern. Nach Doppelklick auf "starter.exe" erscheint am Server-PC die Meldung "Connect Successful" (**Bild 12**), was bedeutet, dass alle Funkgeräte im Heimnetz in Verbindung mit der Cloud stehen. Das war's auch schon!

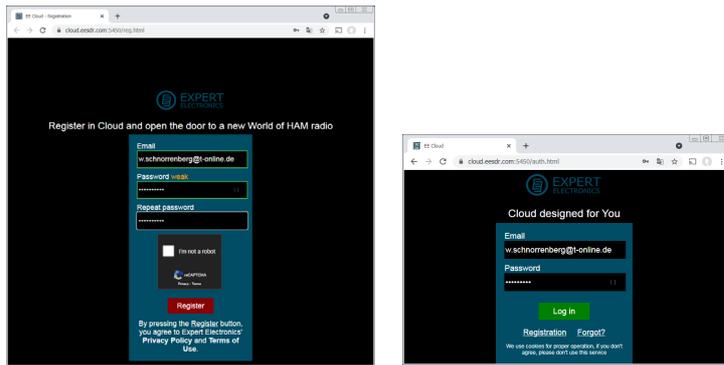


Bild 11: Registrierung bei der EE-Cloud mit Email und Kennwort (links) und Log In (rechts)

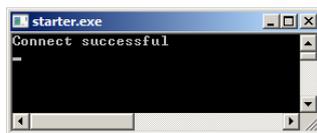


Bild 12: Erfolgreiche Verbindung

Nun gibt es zwei Möglichkeiten, Server und Client im Heimnetz oder Internet zu verbinden: Entweder (a) über einen Web-Browser oder (b) über die Software ExpertSDR3.

a) Nach Eingabe der URL <https://cloud.eesdr.com:5450.auth.html> in einem Browser (Opera), werden alle mit der Cloud verbundenen Funkgeräte in einem Menü angezeigt und können über "Connect" gestartet werden (**Bild 13, links**). Da die Verbindung übers Web läuft, können zur Fernsteuerung auch Smartphones oder Tablets verwendet werden.

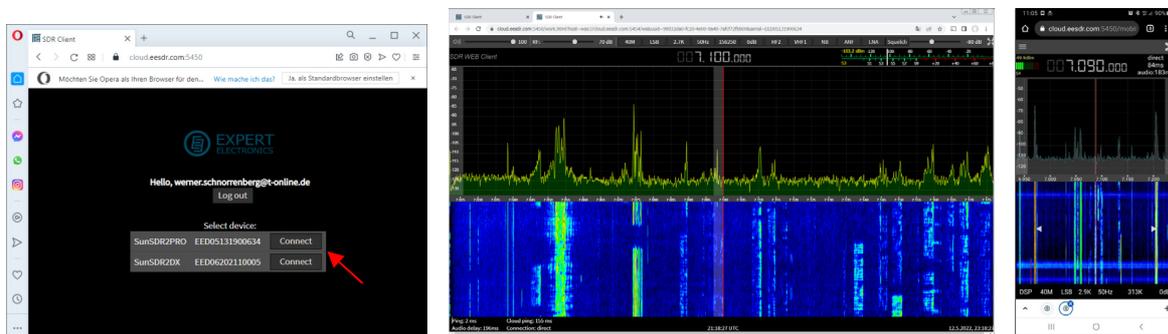


Bild 13: SunSDR2Pro, geöffnet über einen Web-Browser am PC oder Smartphone

b) Nach Start von ExpertSDR3 auf einem Client-PC öffnet sich ein Menü, in dem man unter *Remote* die URL der Cloud cloud.eesdr.com, die E-Mail Adresse und das Passwort einträgt (**Bild 14, links**). Nach Klick auf "Login", erscheinen im Menü wieder alle Radios, die nach Klick auf "Start" geöffnet werden können. Im Beispiel wurde ein SunSDR2Pro im Internet gestartet.

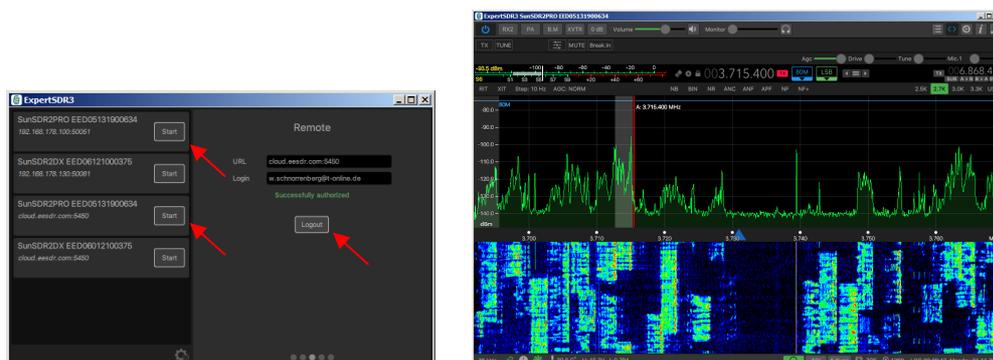


Bild 14: SunSDR2Pro, geöffnet über die Software ExpertSDR3

ExpertSDR3 eröffnet so viele neue Möglichkeiten, dass eine ausführliche Beschreibung ihrer Eigenschaften hier den Rahmen sprengen würde. Das behalte ich mir für einen späteren Bericht vor.

HF-Messungen am Empfänger

Empfindlichkeit (MDS) und Rauschmaß (Noise Figure)

Zur Messung der Empfindlichkeit des Empfängers, wird ein HF-Messsender auf die Frequenz des Empfängers (CW) abgeglichen und dessen Pegel soweit verkleinert, bis das demodulierte NF-Signal am Lautsprecherausgang (800Hz) nur noch um 3dB größer ist, als das Grundrauschen des Empfängers. Als Messgerät für den Rauschanstieg am NF-Ausgang, verwende ich ein breitbandiges AC-Voltmeter mit dB-Skalierung. **Tabelle 1** zeigt die ermittelte Empfindlichkeit (dBm) auf den einzelnen Bändern, mit und ohne +10dB Preamplifier und **Tabelle 2** das Rauschmaß (dB).

Settings: CW 500Hz, AGC off, Dith/Rand off, Preamp ON, use wide filter ON, 145MHz with VHF LNA

MDS	3,6MHz	14,1MHz	28,1MHz	50,1MHz	145MHz
Gain +10dB	-133dBm	-133dBm	-133dBm	-128dBm	-144dBm
Gain 0dB	-121dBm	-121dBm	-121dBm	-119dBm	-

Tabelle 1: Empfindlichkeit (MDS) in dBm

Mit dem Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz, berechnet sich das Rauschmaß (Noise Figure, NF) zu Noise Figure = MDS - Rauschgrenzwert - 10logB = MDS + 147dB, mit B=500Hz

Noise Figure	3,6MHz	14,1MHz	28,1MHz	50,1MHz	145MHz
Gain +10dB	14dB	14dB	14dB	19dB	3dB
Gain 0dB	26dB	26dB	26dB	28dB	-

Tabelle 2: Noise Figure (Rauschmaß) in dB

S-Meter und dBm-Anzeige

Der SunSDR2 DX zeigt den Signalpegel in einer Skala von S1 bis S9+80dB an, als auch in "dBm". Zur Prüfung der Anzeigegenauigkeit, wird bei 14.2 MHz das HF-Signal eines kalibrierten Messsenders von S1 bis S9+60dB (-122dBm bis -13dBm) eingespeist und mit der Anzeige des SunSDR2 DX verglichen.



Bild 15: S-Meter und dBm-Anzeige

Settings: Frequenz 14,2MHz, SSB, 2,7kHz, Preamp +10dB

Input Level dBm	-121	-115	-109	-103	-97	-91	-85	-79	-73	-63	-53	-43	-33	-23	-13
S-Meter Level	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S9+10	S9+20	S9+30	S9+40	S9+50	S9+60
Displayed Level dBm	-120.9	-115.3	-109.4	-102.8	-96.9	-91.0	-85.1	-80.6	-72.9	-62.8	-53.1	-42.8	-32.7	-2.8	-12.8

Tabelle 3: Genauigkeit von S-Meter- und dBm-Anzeige über einen Messbereich 108dB, S1 bis S9+60

Die Pegel-Messgenauigkeit in dBm des 16 Bit SunSDR2 DX ist außergewöhnlich gut und mit keinem mir bekannten Empfänger vergleichbar. Der Fehler beträgt maximal +/- 0.5dB über einen Bereich von 110dB. Mit dieser extrem hohen Genauigkeit, läßt sich der SunSDR2 DX auch als Spektrum Analysator oder als Meßempfänger verwenden.

Sideband Noise und Reciprocal Mixing Dynamic Range

Seitenbandrauschen (SBN) und Reciprocal Mixing Dynamic Range (RMDR) zählen zu den wichtigsten Eigenschaften eines Empfängers (**Bild 16, 17**). Bei direkt abtastenden SDRs, entsteht das SBN im Wesentlichen durch das Time-Jittern der ADC-Clock und bei analogen Empfängern durch das Frequenz-Jittern des Überlagerungsoszillators. Kleine Signale in Nähe größerer Signale können durch Seitenbandrauschen zugedeckt werden, wodurch der Empfänger an Empfindlichkeit und Dynamik verliert. Der Verlust an Dynamik wird als "Reciprocal Mixing Dynamic Range (RMDR)" bezeichnet.

Es gilt: Je höher der RMDR und je kleiner das SBN, umso besser ist der Empfänger. Die SBN-Messung erfolgt mit einem rauscharmen OCXO bei 14.2454MHz, dessen Pegel im Abstand von 1 bis 10kHz zur Empfangsfrequenz jeweils so weit vergrößert wird, bis das Grundrauschen (SBN) um 3dB ansteigt. Daraus berechnen sich SBN und RMDR zu

$$\text{SBN} = \text{Pi} - \text{MDS} + 10\log B$$

mit Pi = Eingangspegel, $B=500\text{Hz}$ und $\text{MDS} = -133\text{dBm}/500\text{Hz}$

und

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

Delta f kHz	Pi dBm	SBN dBc/Hz	RMDR dB
1	-38	-120	95
2	-16	-138	111
3	-15	-141	114
4	-14	-144	117
5	-13	-146	119

Tabelle 4: SBN und RMDR im Trägerabstand von bis 5kHz

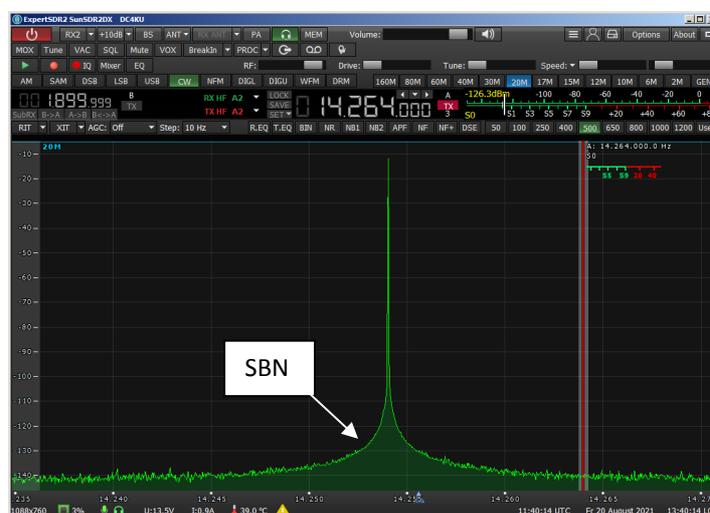


Bild 16: Sichtbares Empfänger-Seitenbandrauschen im Sockel bei $\text{Pi} = -10\text{dBm}$ ($\text{S9} +63 \text{ dB}$)

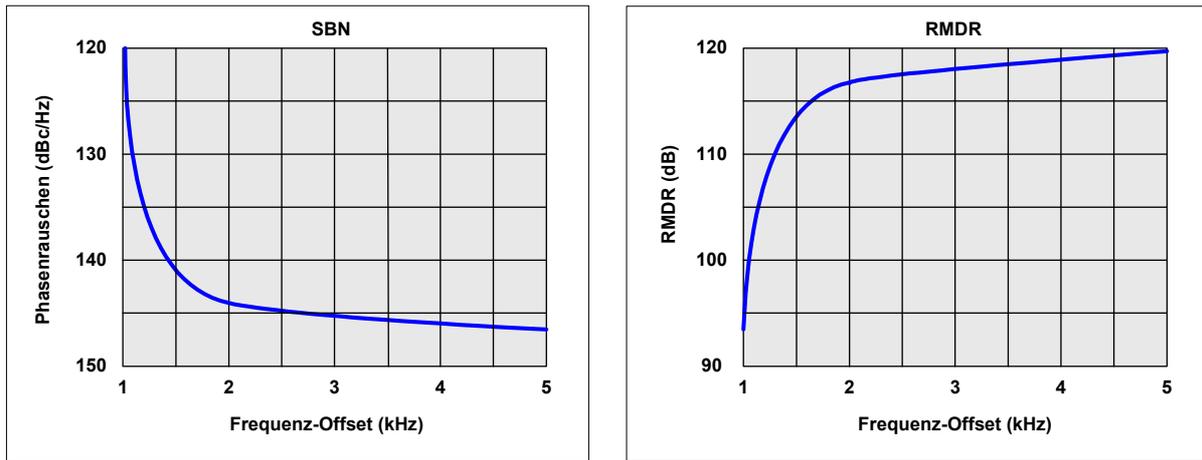


Bild 17: Verlauf von Phasenrauschen und RMDR

Intermodulation 3. Ordnung, DR3

Zur Prüfung des DR3 (Dynamic Range 3rd order), wird der Empfänger mit zwei gleich großen HF-Signalen angesteuert und gleichzeitig die Intermodulationsprodukte 3. Ordnung bei $2 \times f_1 - f_2$ und $2 \times f_2 - f_1$ gemessen. Hierbei wird der Pegel (Pi) des 2-Ton Signals schrittweise vergrößert und die dabei entstehende Intermodulation 3. Ordnung notiert, bis hin zur Begrenzung des Empfängers (**Bild 19**). Hierbei berechnet sich der DR3 zu

$$DR3 = P_i - MDS.$$

Im Gegensatz zu analogen Empfängern, steigen die IMD3-Störprodukte eines direktabtastenden SDRs bei Signalvergrößerung nicht mit dreifacher Geschwindigkeit an, sondern verbleiben in der Nähe des Grundrauschens und vergrößern sich erst massiv kurz vor Begrenzung des ADC's. Die größte verzerrungsfreie Dynamik, entsteht demnach erst bei maximaler Aussteuerung des ADC, im sog. Sweet-Spot. Mit +10dB Vorverstärkung, entwickelt der SunSDR2 DX eine sehr gute Dynamik. Bei einem Pegel von $P_i = 2 \times -25dBm$ ($2 \times S9 + 48dB$), entsteht der größte IMD3-Abstand von 106dB (Sweet-Spot) (**Bild 18**). Ab einem P_i von $2 \times -15dBm$, gerät der ADC in seine Begrenzung (Clipping).

Settings: $f_1 = 14.100MHz$, $f_2 = 14.102MHz$, CW, B=500Hz, Preamp on, Dither/Random on

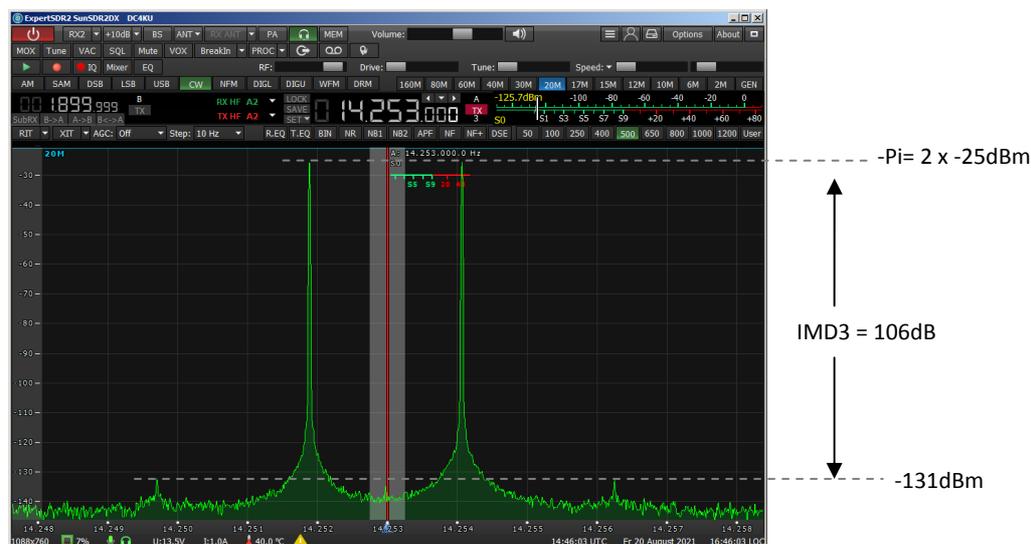


Bild 18: Maximaler IMD3-Abstand, kurz vor Clipping: 106dB

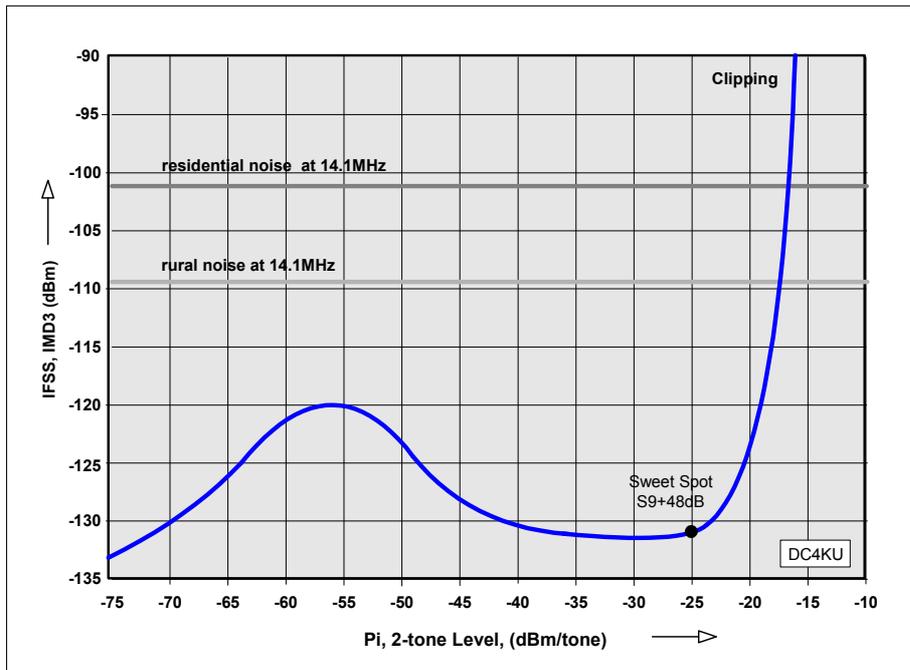


Bild 19: IMD3-Verlauf in Abhängigkeit eines 2-Ton Signals (Pi), 20m Band

Ein max. IMD3 von 106dB ist für einen SDR-Empfänger ein sehr guter Wert, bessere Werte erreichen nur analoge Empfänger mit entsprechend leistungsstarken Mischern im HF-Eingang. Bei Betrachtung des Intermodulationsverlaufs ist allein wichtig, dass alle entstehenden Intermodulationsprodukte bis hin zur Begrenzung die Größe des Residential- bzw. Rural-Noise, also das erzeugte Grundrauschen des Empfängers mit angeschlossener Antenne, nicht überschreiten.

Intermodulation 2. Ordnung, DR2

Die Intermodulation 2. Ordnung sagt aus, wie hoch die Unterdrückung der Summe zweier Signale ist. Im Beispiel verwende ich zwei CW-Signale bei $f_1=6.1\text{MHz}$ und $f_2=8.1\text{MHz}$ und messe das das Summensignal (IMD2) im 20m-Band bei $f_1 + f_2 = 14.2\text{MHz}$. Bei dieser Messung wird der Pegel (Pi) beider Signale soweit erhöht, bis das IMD2-Signal mit 3dB aus dem Grundrauschen erkennbar wird, d.h. die Grenzempfindlichkeit (MDS) erreicht hat. Der IMD2-Dynamikumfang (DR2, Dynamic Range 2nd Order) und beträgt dann

$DR2 = Pi - MDS$

Settings: $f_1=6,1\text{MHz}$, $f_2=8,1\text{MHz}$, $f_{DR2}=14,2\text{MHz}$, CW, B=500Hz, Gain +10dB/0dB, Dith/Rand on

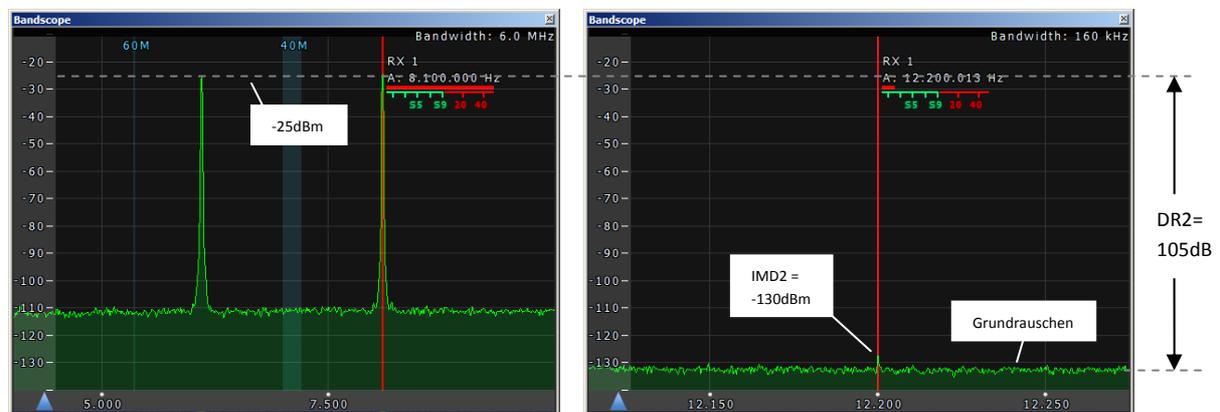


Bild 20: DR2-Messung über die "Bandscope" Darstellung (Spektrum Analysator), Gain +10dB

Gain	MDS dBm	Pi dBm	DR2 dB
0	-123	-15	108
+10dB	-130	-25	105

Tabelle 5: Störungsfreie Dynamik 2. Ordnung (DR2)

Der +10dB Vorverstärker des SunSDR2 DX ist sehr großsignalfest und erzeugt kaum Intermodulation, wie die Messwerte in **Tabelle 5** zeigen. Mit einer Vorverstärkung von +10dB, verkleinert sich der DR2 nur um 3dB, von 108 auf 105dB.

Anmerkung zu Intermodulation

Im Eingang des Empfängers befinden sich eine Reihe von Bandpass-Filtern, insgesamt 9 Stück. Bei Bedarf, kann über die Einstellung "Use wide RX Filter: ON" auch nur ein 65MHz Tiefpass-FILTER vorschaltet werden, wobei dann jedoch beachtet sollte, dass der Empfänger vor großen Signalen nicht mehr so gut geschützt ist. **Bild 21** zeigt eine IMD2-Messung über das 65MHz TP-FILTER. Neben den beiden Nutzsignalen $f_1 = 6.1\text{MHz}$ und $f_2 = 8.1\text{MHz}$ sind die entstehenden IM-Störprodukte bei $2 \times f_1 = 12.2\text{MHz}$ und $f_1 + f_2 = 14.2\text{MHz}$ gut zu erkennen. Wird das BP-FILTER im 20m-Band über "Use wide RX filter: OFF" wieder eingeschaltet, bewirkt die Selektion des Filter eine starke Dämpfung von f_1 und f_2 , so dass die beiden IM-Produkte im Rauschen verschwinden (**Bild 22**).

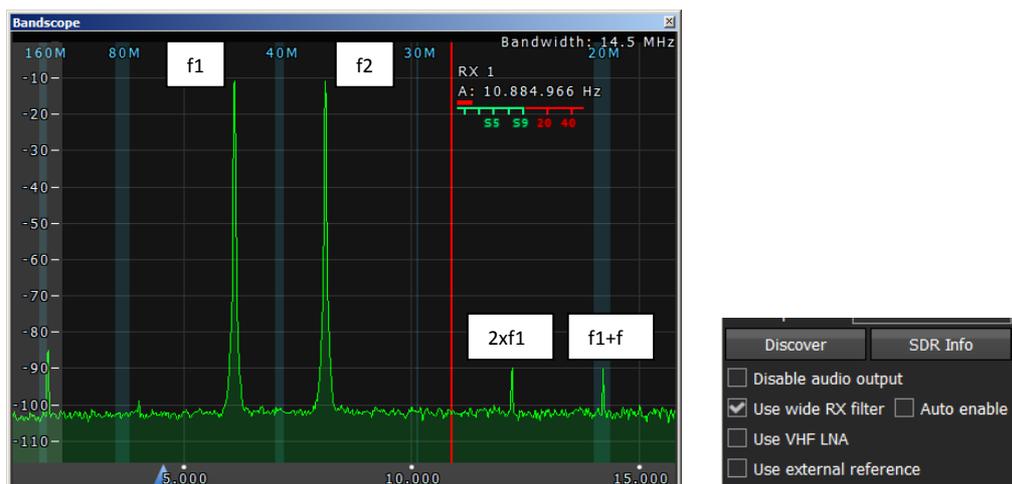


Bild 21: Entstehende Intermodulation durch breitbandigen HF-Eingang 0...65MHz

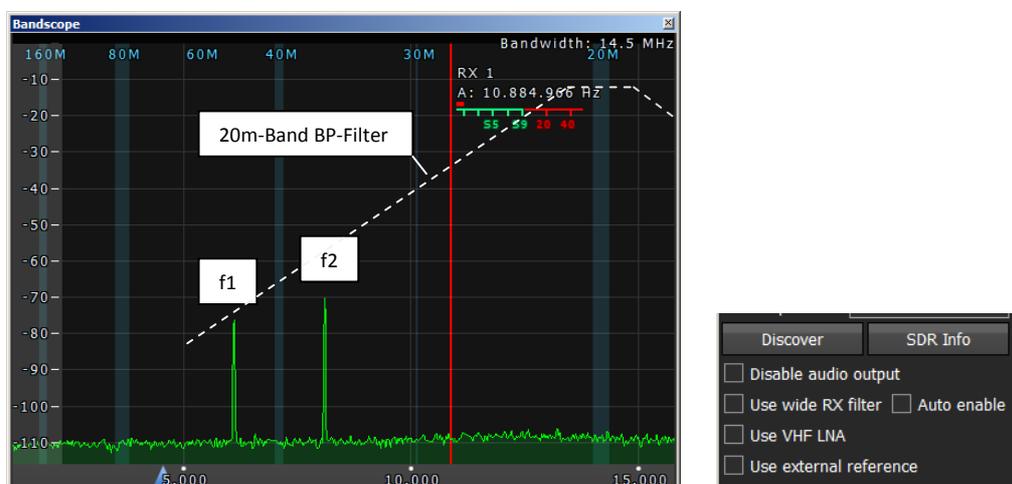


Bild 22: Keine Intermodulation durch Bandpass-Filter im 20m-Band

Noise Power Ratio (NPR)

Die Großsignalfestigkeit eines Empfängers, lässt sich auch das Rauschleistungsverhältnisses ermitteln. Der Eingang des Empfängers wird hierbei nicht mehr mit einzelnen CW-Signalen angesteuert, sondern mit weißem Rauschen konstanter Leistung. **Bild 23** zeigt den Testaufbau, bestehend aus einem Rauschgenerator (0-5MHz), Bandpaßfilter, Notchfilter und Dämpfungsglied und **Bild 24** das resultierende Rauschspektrum am Ausgang des Notchfilters (Kerbfilter).

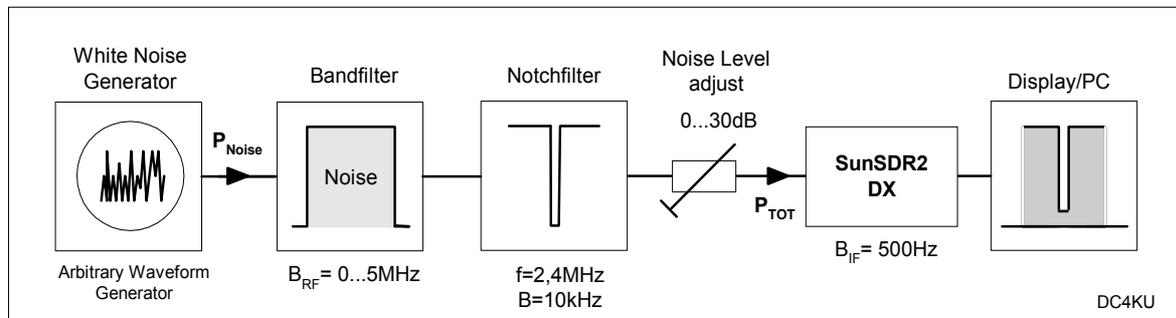


Bild 23: NPR-Messplatz

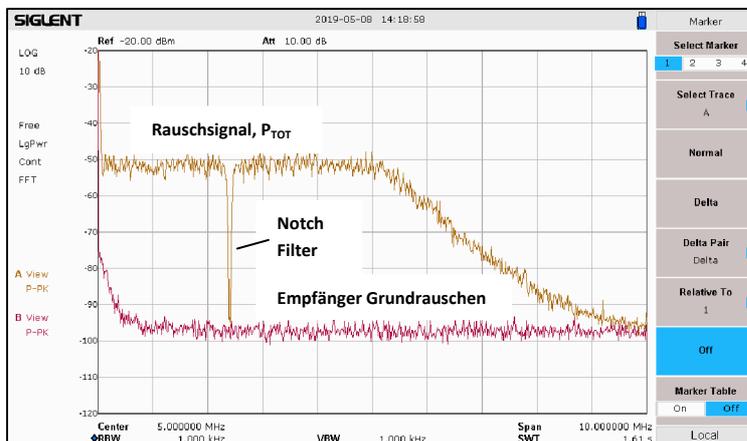


Bild 24: Rauschspektrum mit Notchfilter am Eingang des Empfängers

Das Notchfilter hat die Aufgabe das Rauschen an einer Stelle zu beseitigen, im Beispiel bei $f=2.4\text{MHz}$. Der Empfänger wird auf die Mitte des Notchfilters abgeglichen (2.4MHz) und empfängt an dieser Stelle nur noch sein Grundrauschen. Dann wird das angelegte Rauschen soweit erhöht, bis der ADC kurz vor seiner Begrenzung steht. Dies ist durch einen $+3\text{dB}$ Rauschanstieg im Sockel des Notchfilter zu erkennen. An diesem Punkt erreicht die entstehende Intermodulation die Grenzempfindlichkeit des Empfängers und die Differenz von angelegter Rauschleistung (P_{TOT}) zum Grundrauschpegel (MDS) entspricht dem NPR.

Beim SunSDR2 DX erfolgt dies bei einem Rauschpegel P_{TOT} von $-5\text{dBm}/5\text{MHz}$ Rauschbandbreite.

Daraus berechnet sich sein NPR zu

$$\text{NPR} = P_{\text{TOT}} - \text{BWR} - \text{MDS} = -5\text{dBm} - 10\log 5000\text{kHz}/500\text{Hz} - (-121\text{dBm}) = 76\text{dB}$$

mit:

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

BWR (Bandwidth Ratio) = $10\log B_{\text{RF}}/B_{\text{IF}} = 10\log 5000\text{kHz}/500\text{Hz} = 40\text{dB}$

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

B_{IF} = Rauschbandbreite des Empfängers (im Beispiel 500Hz)

MDS = -121dBm , Grundrauschen des Empfängers mit Wide RX-Filter: On

Das NPR läßt sich direkt im Spektrum des SunSDR2 DX abgelesen, er beträgt 76dB bei einer Rauschleistung von $P_{TOT} = -5\text{dBm}/5\text{MHz}$ (**Bild 25**). Bei NPR-Messungen sollten dem Empfänger keine begrenzenden Bandpaßfilter vorgeschaltet sein, weil ansonsten die Gefahr besteht, dass nicht das gesamte Rauschspektrum den Eingang des ADCs erreicht. Deswegen aktiviere ich unter *Options* -> *Device* -> *Wide RX-Filter On*, wodurch dem Empfänger nur ein 65MHz TP-Filter vorgeschaltet wird.

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

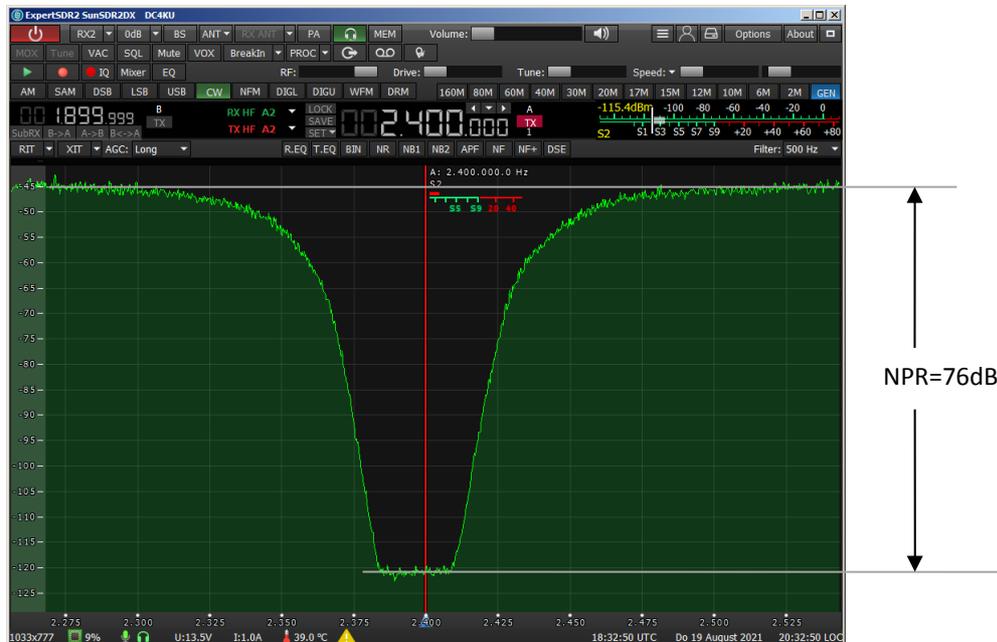


Bild 25: Noise Power Ratio

Mit einem NPR von 76dB stellt der SunSDR DX seine Großsignalfestigkeit unter Beweis, einfache SDR's erreichen meist nur einen NPR von 40 bis 50dB.

Wide Band Scope

In der Betriebsart "BS" (Wide Band Scope), öffnet der SunSDR2 DX einen zusätzlichen Bildschirm, in dem das gesamte Spektrum von 0 bis 80MHz angezeigt wird. Schaltet man über die Funktion "Use Wide RX Filter: on" die Bandpaßfilter im Eingang des Empfängers ab, sieht man das gesamte, ungefilterte Spektrum von 0 bis 80MHz (**Bild 26**).

Auf diese Weise lässt sich gut abschätzen, welche Signale in welcher Größe die angeschlossene Antenne von 0 bis 80 MHz überhaupt liefert. Im Beispiel erscheinen die stärksten Signale bei ca. 7MHz mit etwa -45dBm (S9 +30dB) und einige Störsignale bei 40, 50, 60 und 70MHz.

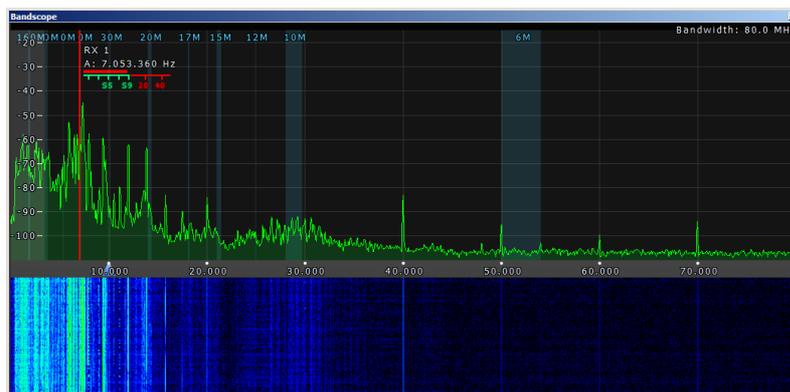


Bild 26: Darstellung des Spektrums von 0-80MHz über "Wide Band Scope"

Verkleinert man den Span auf z.B. 2-13MHz (**Bild 27, links**) und schaltet die BP-Filter wieder ein (use Wide RX Filter: Off), erkennt man die selektive Wirkung des jetzt vorgeschalteten BP-Filters im 40m-Band (**Bild 27, rechts**). Auf diese Weise, lässt die Wirkung aller BP-Filter im Frequenzbereich überprüfen. Frequenz, Hub und Pegel können in der Einstellung "Bandscope", ähnlich wie bei einem Spektrum Analysator, frei gewählt werden.

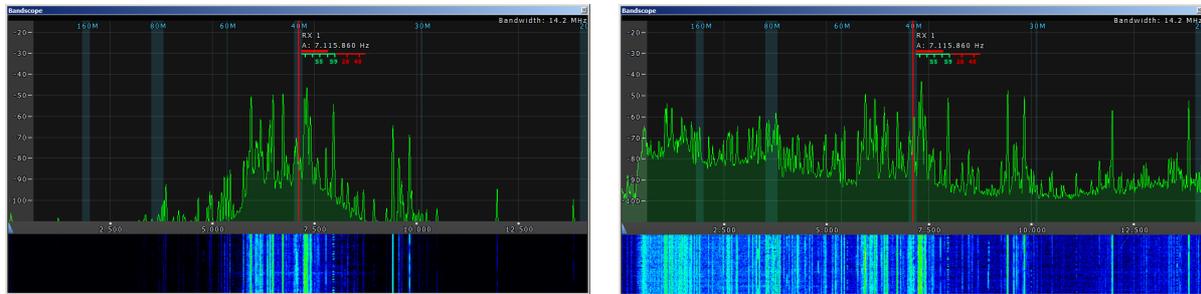


Bild 27: Spektrum im 40m-Band mit (links) und ohne BP-Filter (rechts)

Noise Filter

Eine weitere, sehr nützliche Funktion, sind die aktivierbaren Noise-Filter. Das sind Notchfilter, die im Spektrum überall platziert werden können, um störende Frequenzen zu unterdrücken. Habe ich z.B. auf 3793kHz ein QSO verabredet (**Bild 28**) und genau dort stört mich ein pfeifende CW-Signale im Hintergrund, kann ich dieses mit einem Notchfiltern komplett und einfach unterdrücken. Die Filter können dabei so schmal eingestellt werden, dass sie das Modulationssignal selbst nicht beeinträchtigen. Insgesamt können bis zu 8 Notchfilter gewählt werden, mit jeweils wählbarer Notch-Bandbreite von 50Hz bis 5kHz, die an beliebigen Stellen im Spektrum platziert werden können.

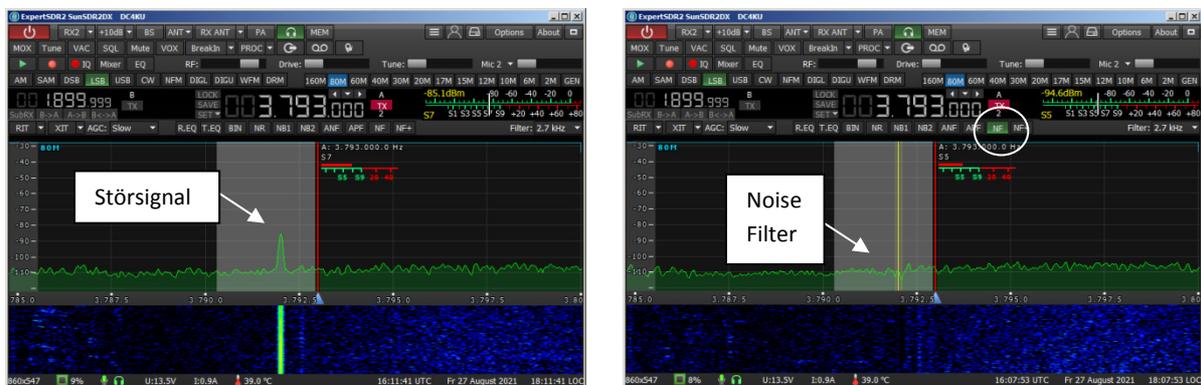


Bild 28: Unterdrückung unerwünschter Signale im Spektrum durch Noise-Filter (Notch-Filter)

HF-Messungen am Sender

HF-Ausgangsleistung

Bei dieser Messung, wird das HF-Ausgangssignal des Transceivers über ein 50dB-Dämpfungsglied mit einem kalibrierten Spektrum Analysator verbunden und die maximale HF-Ausgangsleistung (Watt) in der Betriebsart CW (RTTY) auf den Frequenzen 3.6, 14.1, 28.3, 50 und 145MHz ermittelt.

Settings: RTTY, Betriebsspannung +13,8VDC

Frequenz	3,6 MHz	7,1 MHz	14,1 MHz	28,3 MHz	50 MHz	145 MHz
P _{OUT}	107 Watt	107 Watt	110 Watt	119 Watt	75 Watt	8 Watt

Tabelle 6: Max. HF-Ausgangsleistung (CW-Signal)

Intermodulation des Senders

Bei diesem Test, wird ein NF 2-Ton-Signal ($f_1=700\text{Hz}$, $f_2=1500\text{Hz}$) in den Mikrofoneingang des SunSDR2 DX eingespeist und der Sender darüber auf max. Ausgangsleistung abgeglichen. Die Gesamtleistung von 100W verteilt sich jetzt mit jeweils 50W (-3dB) auf beide Signale und erreicht in der Spitze eine Leistung von 100Watt PEP. Das Spektrum zeigt neben den beiden Nutzsignalen (f_1 , f_2) auch die unerwünschten IM-Produkte des Senders, wobei die IMD3-Produkte im Regelfall die höchste Amplitude haben.

Der Abstand der IMD3-Produkte zu den Nutzsignalen sollte bei maximaler Ausgangsleistung nicht geringer als 25dBc sein (gemäß ITU-R Rec. SM.326-7 Norm -25 dBc worst-case) und die Produkte höherer Ordnung im Pegel relativ schnell abfallen. **Bild 29** zeigt die Intermodulation des Senders als Beispiel im 20m-Band und **Tabelle 7** die IMD3-Abstände bei 3.6, 14.1, 28.3, 52 und 145MHz.

Settings: 40m-Band, 2-Ton Signal 700/1500 Hz mit gleichen Amplituden, PEP = 100W

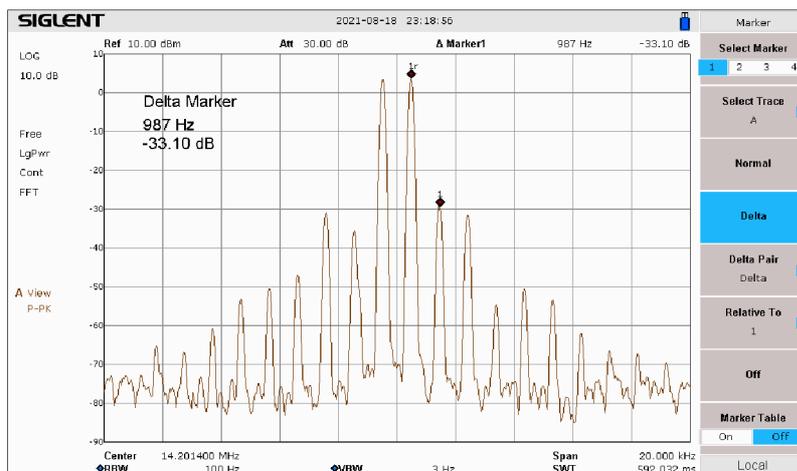


Bild 29: Sender-Intermodulation im 20m-Band, 100Watt PEP, IMD3=33dBc

Frequenz	3,6 MHz	14,1 MHz	28,3 MHz	52 MHz	145 MHz
IMD3	31 dBc	33 dBc	30 dBc	30 dBc	30 dBc

Tabelle 7: IMD3-Abstände bei maximaler Ausgangsleistung auf den einzelnen Bändern

Noch etwas realistischer, lässt sich der Intermodulationsverlauf mit weißem Rauschen ermitteln. Anstelle des 2-Ton-Signals, wird weißes Rauschen in den Mikrofoneingang eingespeist (**Bild 30**). Als Ergebnis zeigt sich eine fast rechteckige Rausch-Hüllkurve, die der Bandbreite des gewählten Auflösungsfilters, im Beispiel $B=2.7\text{kHz}$ (SSB), entspricht.

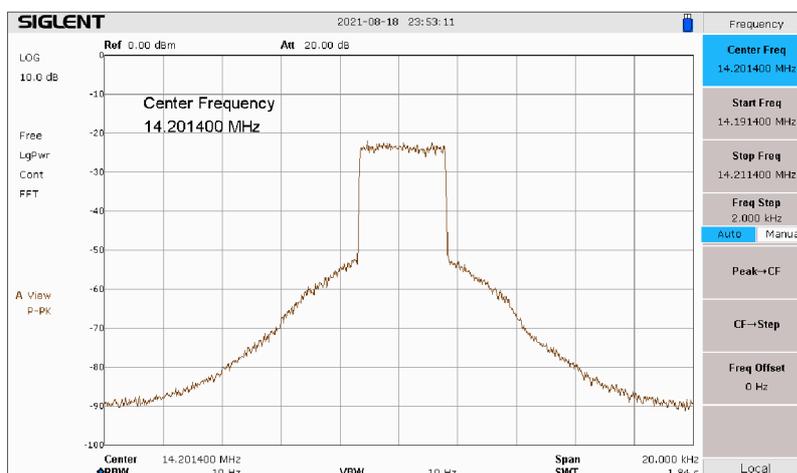


Bild 30: IMD-Ermittlung mit weißem Rauschen, B=2.7kHz

Theoretisch sollten die beiden Flanken steil nach unten bis hin zum Grundrauschen verlaufen, in der Praxis tun sie das natürlich nicht. Ab etwa 30dBc entstehen die ersten IM-Produkte, deren Pegel sich bei wachsender und fallender Frequenz jedoch relativ schnell verkleinern. Im Rauschspektrum sind jetzt keine einzelnen Spektrallinien mehr sichtbar, sondern nur ein kumulatives Spektrum, bestehend aus quasi endlos vielen IM-Produkten. Aus diesem Grund ist eine IMD3-Messung mit einem Rauschsignal im Prinzip wirklichkeitstreu, als mit nur 2 Signalen. Das Verfahren ist aber auch hart und streng, ähnlich einer NPR-Messung und vermutlich wird es deswegen von den meisten Herstellern in deren Datenblättern nicht veröffentlicht. Am Verlauf des Rauschspektrums lässt sich auch gut erkennen, in welchem Abstand sich eine weitere Station platzieren könnte, ohne gestört zu werden.

Sender-Seitenbandrauschen (TX-SBN)

Auch Sender erzeugen Seitenbandrauschen, welches im normalen Betrieb aber kaum entdeckt wird, wenn die Stationen weit voneinander entfernt sind. Sind die Stationen aber nah zusammen, wie z.B. bei einem Field Day, kann es passieren, dass ein Sender mit starkem Seitenbandrauschen Empfänger in der Nähe "zurauscht" (desensibilisiert) (**Bild 31**). Das hat mit Blocking nichts zu tun, zusätzliche Filter im Eingang des Empfängers bringen hier keine Verbesserung (**5**).

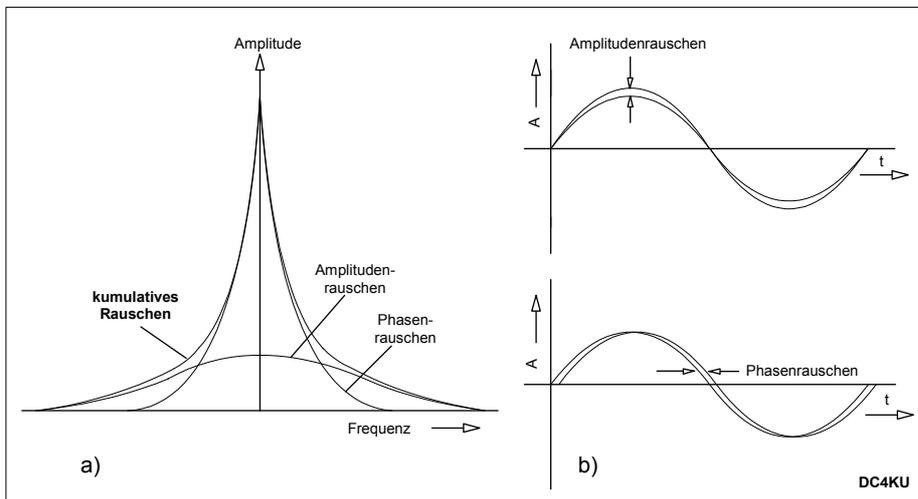


Bild 31: Phasen- und Amplitudenrauschen im a) Frequenzbereich und b) Zeitbereich

Obwohl Empfänger und Sender vom gleichen Oszillator angesteuert werden, produzieren Sender häufig ein unzulässig hohes Seitenbandrauschen. Der Grund liegt meist an einer (ungewollten) AM-Modulation des Sendesignals, welche dem Phasenrauschen überlagert ist. Das resultierende, kumulative Rauschen (AM+FM) ist vielfach höher und breitbandiger, als nur das Phasenrauschen.

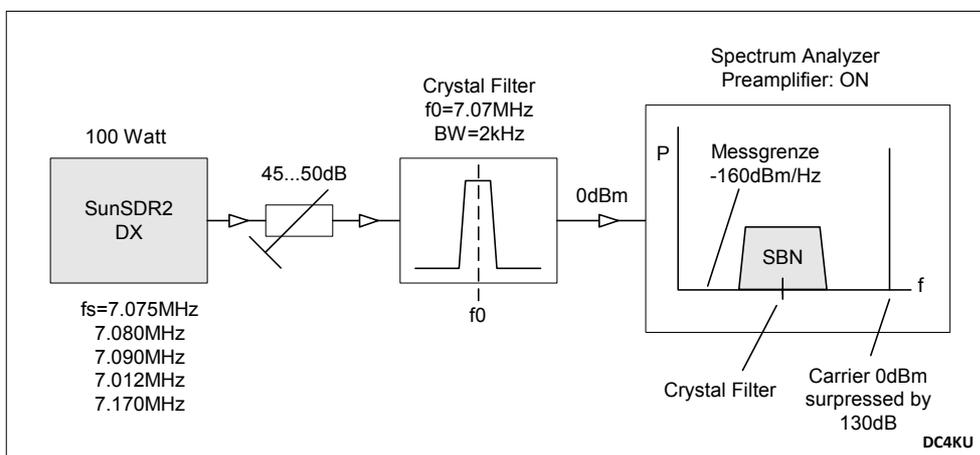


Bild 32: Messaufbau für SBN-Messungen an Sendern

Die Messung des Seitenbandrauschens eines Senders erfolgt im Prinzip genau so, wie die SBN-Messung an einem Oszillator. Der Sender wird in Frequenzabstände von 5 bis 100kHz zur Mittenfrequenz eines schmalbandigen und steiflankigen Quarzfilters (7.070MHz, B= +/-1kHz) eingestellt und das resultierende Seitenbandrauschen im Durchlaßbereich des Filters mit einem Spektrum Analysator gemessen (**Bild 32**).

Zunächst muß das 100Watt Sendesignal (CW) mit einem Durchgangs-Dämpfungsglied auf 1mW (0dBm) reduziert werden, so dass der angeschlossene Spektrumanalysator nicht übersteuert wird. Zusätzlich sperrt das 7.07MHz-Quarzfilter das Sendesignal ab einem Offset von 5kHz nochmals um ca. 80dB, so dass das Sendesignal insgesamt um 130dB gedämpft wird. Lediglich im Durchlaßbereich des Quarzfilters wird das Rauschen dämpfungsfrei übertragen. Erst jetzt kann der Analysator auf seine höchste Empfindlichkeit von -160dBm/Hz eingestellt werden, mit 0dB Dämpfung im Eingang und zugeschaltetem +20dB HF-Vorverstärker. Anschließend läßt sich das SBN des Senders in Abständen von 5 bis 100kHz (1MHz) zur Sendefrequenz ermitteln. Als Beispiel zeigt **Bild 33** das SBN-Ergebnis in 10kHz Abstand zum Träger und **Tabelle 8** die Messergebnisse in Abständen bis 100kHz.

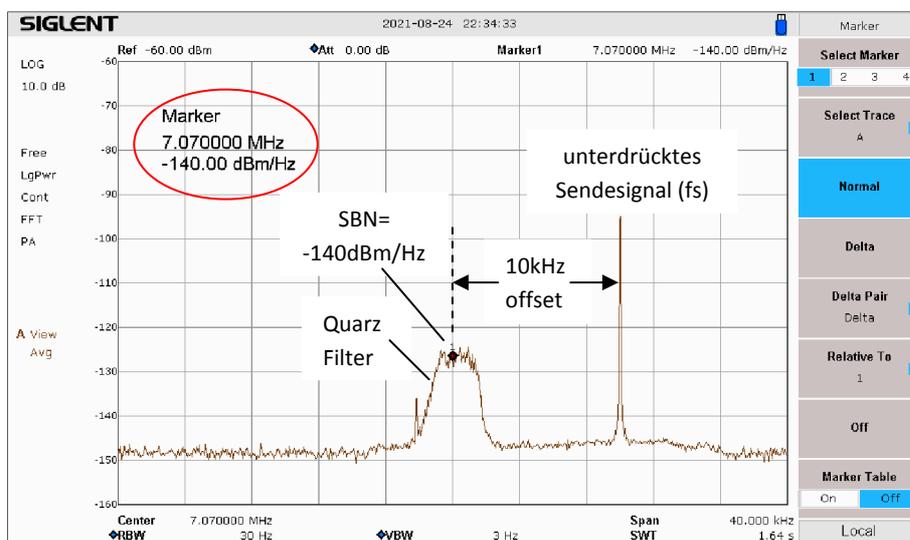


Bild 33: TX SBN in 10 kHz Offset zum Träger, SBN = -140dBm/Hz

Offset (kHz)	5	10	20	50	100
SBN (dBm/Hz)	-136	-140	-142	-142	-143

Tabelle 8: Kumulatives SBN (AM + FM) des Senders im Abstand von 5...100kHz zum Träger

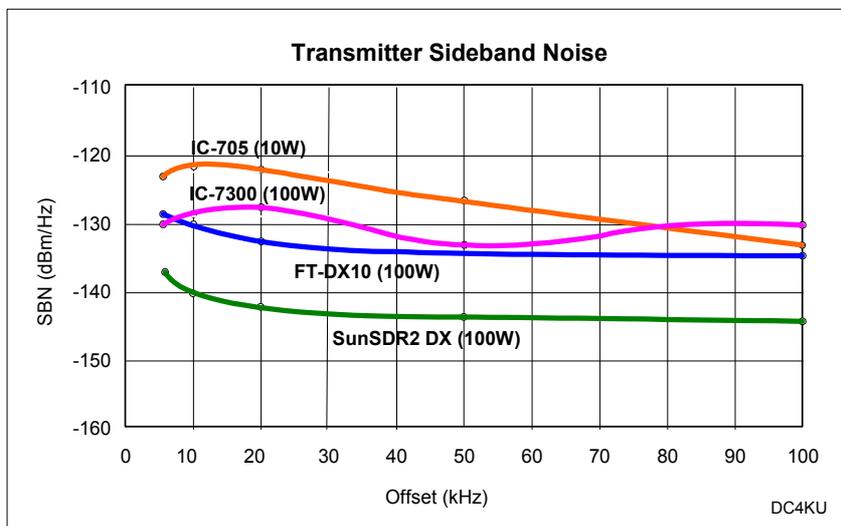


Bild 34: Kumulatives Sender-Seitenbandrauschen des IC-705, IC-7300, FT-DX10 und SunSDR2 DX

Mit einem SBN von nur -140dBm/Hz in 10kHz Abstand zum Träger, ist das Rauschen des Senders so gering, dass der SunSDR2 DX problemlos bei Field Days eingesetzt werden kann, ohne andere Stationen durch sein Seitenbandrauschen zu stören. **Bild 34** zeigt zum Vergleich das kumulative Sender-SBN einiger moderner Transceiver.

Kennwerte von Transceivern

Die ermittelten Kennwerte einiger Transceiver zeigt **Tabelle 9**. Beim Vergleich sollte beachtet werden, dass der FT-DX10 ein Hybrid-Transceiver ist (analoger Mischer und digitale ZF), der SunSDR2 DX (16Bit), IC-705 (14Bit) und IC 7300 (14Bit) jedoch direktabtastende SDRs sind.

	Receiver				Transmitter	
	MDS B = 500Hz	RMDR Offset 2kHz	IMD3 Delta f = 2kHz	NPR	IMD3 700/1500Hz	TX-SBN Offset = 20kHz
FTDX-10	-134 dBm	116 dB	110 dBc	78 dB	27 dBc	-132 dBm/Hz
SunSDR2 DX	-133 dBm	111 dB	106 dBc	76 dB	33 dBc	-142 dBm/Hz
IC-7300	-133 dBm	106 dB	99 dBc	76 dB	36 dBc	-127 dBm/Hz
IC-705	-124 dBm	109 dB	98 dBc	76 dB	36 dBc	-122 dBm/Hz

Tabelle 9: Kennwerte verschiedener Transceiver im 20m-Band



Bild 35: SunSDR2 bei einem Contest im 80m Band

Werner Schnorrenberg
DC4KU

06. November 2021, Rev. 20. Mai 2022

Literatur

(1) Expert Remote System, User Manual

https://eesdr.com/images/Document/Expert%20Remote%20system_ENG.pdf

(2) **SunSDR2 DX, HF/50MHz/VHF-Transceiver, User Manual**

https://eesdr.com/images/Document/SunSDR2_DX/SunSDR2_DX_User_Manual_ENG.pdf

(3) **Expert SDR3 Software**

<https://eesdr.com/en/software-en/expertsdr3-en>

(4) **Noise Power Ratio (NPR) Testing of HF Receivers**

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

(5) **Seitenbandrauschen von Sendern**

FUNKAMATEUR 09-2021