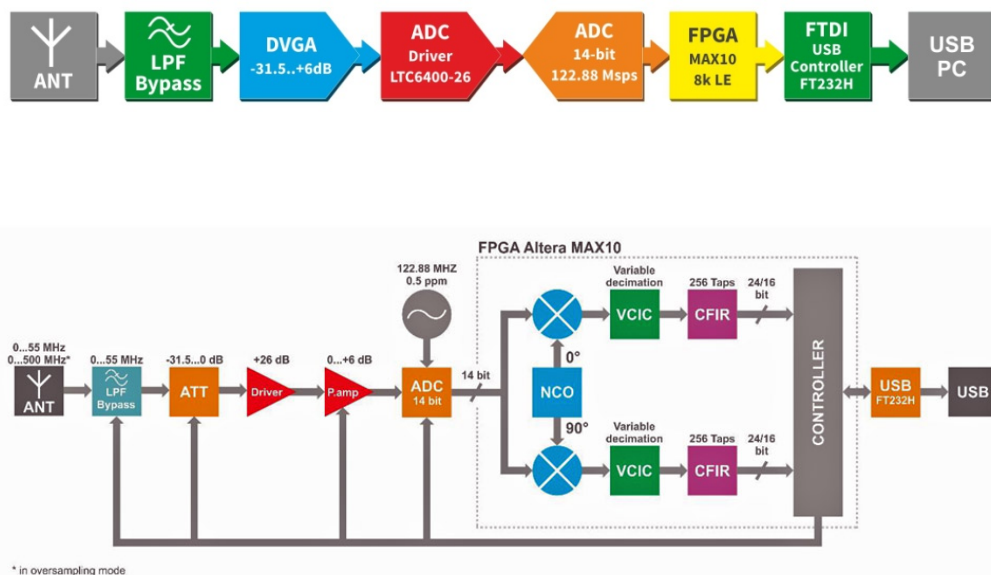


# ColibriNANO - Test

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>1. Empfindlichkeit und Rauschzahl</b>	<b>3-3</b>
<b>2. Pegel-Messgenauigkeit</b>	<b>4</b>
<b>3. Intermodulation und Dynamik</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Intermodulation 3.Ordnung</b>	<b>4-6</b>
<b>3.2 Intermodulation 2.Ordnung</b>	<b>6-7</b>
<b>3.3 Dithering</b>	<b>7-8</b>
<b>4. Reciprocal Mixing Dynamic Range</b>	<b>9-11</b>
<b>5. Blocking Gain Compression</b>	<b>11-12</b>
<b>6. NPR-Test</b>	<b>12-14</b>
<b>7. IQ-Recording</b>	<b>14-15</b>
<b>8. Remote Control</b>	<b>15-17</b>
<b>9. Zusammenfassung</b>	<b>18-20</b>



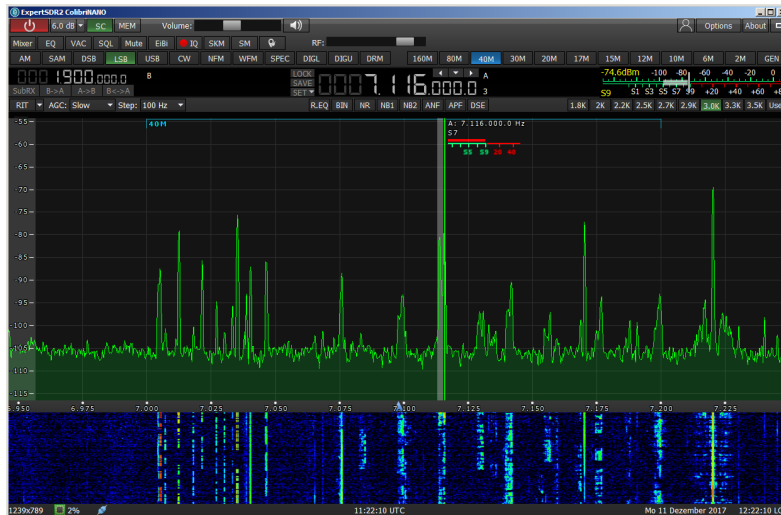
### ColibriNANO, DDC-SDR im USB-Gehäuse



### ColibriNANO Blockschaltbilder

Der ColibriNANO von ExpertElectronics ist ein direktabtastender Kurzwellenempfänger (DDC-SDR) mit einem Frequenzbereich von 0-55MHz. Hinter dem Eingang befindet sich ein 55MHz-Tiefpassfilter und keine weiteren, schaltbaren Filter. Dem folgt ein Dämpfungsglied, Vorverstärker und 14Bit AD-Wandler, der mit 122MHz abgetastet wird. Dadurch kann der gesamte Frequenzbereich bis 55MHz per Direktabtastung erfasst werden, mit Undersampling bis 500MHz. Durch schnelle Verarbeitung der IQ-Daten, wird eine maximale Abtastbreite von ca. 3 MHz erreicht, d.h. ein bis zu 3 MHz breites Spektrum kann gleichzeitig am Bildschirm beobachtet und aufgezeichnet werden.

Als PC-Software liefert der Hersteller das umfangreiche Programm "ExpertSDR2 ColibriNANO" ([www.eesdr.com/en](http://www.eesdr.com/en)), die z.Zt. aktuelle Version ist ExpertSDR2 1.2 RC3 (15. Dez.2017). Alternativ können auch die Programme SDR# oder HSDR verwendet werden, der Hersteller liefert hierzu die passenden ExtIO-Files. Falls sich der USB-Treiber unter Windows nicht automatisch installiert, kann man die passende Treibersoftware (für 32 und 64bit) von der Homepage herunterladen. Über die Software "ExpertSDR2 IQ-Player" (1) lassen sich zeitgesteuerte IQ-Aufnahmen in Bild und Ton abspielen und mit "ExpertRS for RPi3" (2) wird der ColibriNANO internetfähig.

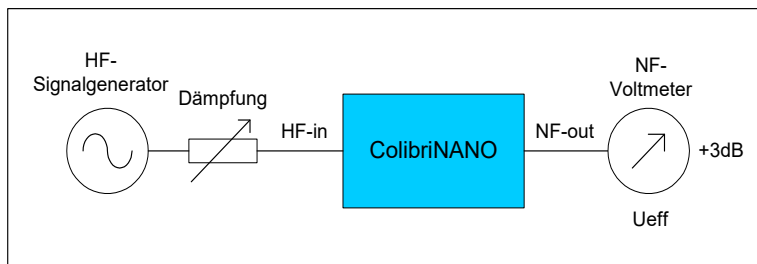


**Bild 1: ColibriNANO unter der PC-Software "ExpertSDR2" im 40m-Band**

**1.) MDS (Minimum Discernible Signal)**

Das 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. Für diese Messung benötigt man einen kalibrierten HF-Generator, eine Eichleitung und ein RMS-Voltmeter (**Bild 2**).Tabelle1 zeigt die gemessenen MDS-Werte im 80- bis 10m-Band.

Einstellungen ColibriNANO: Preamp. 0dB, RF100dB, Preamp Auto Off, AGC Off



**Bild 2: MDS-Messung**

MDS	3,7MHz	7,1MHz	14,1MHz	28,5MHz
CW, B=250Hz	-126dBm	-128dBm	-126dBm	-126dBm
SSB, B=2,7kHz	-115dBm	-117dBm	-116dBm	-115dBm

**Tabelle 1: MDS**

Nach Ermittlung des MDS, kann daraus der Rauschfaktor (F) bzw. die Rauschzahl ( $F_{dB}$ ) berechnet werden. Der Grenzwert der Empfindlichkeit ist bekanntlich -174dBm/Hz. Die Differenz von MDS und Grenzempefindlichkeit  $E=10\log(kT_0B)$  ergibt die Rauschzahl (Noise Figure, NF) des Empfängers. Bei z.B. 7,1MHz und B=250Hz berechnet sich die Rauschzahl des ColibriNANO zu

**Rauschzahl (NF) = MDS -  $10\log B$  - (-174dBm/Hz) = 22dB** (bezogen auf B = Rauschbandbreite)

Mit anderen Worten: Der Signal/Rausch-Abstand eines empfangenen Signals verschlechtert

sich um 22dB zwischen Eingang und Ausgang des Empfängers.

## 2.) Pegel-Messgenauigkeit

Die Pegelmessgenauigkeit wurde mit einem HF-Signalgenerator (HP8656B) bei 7, 14 und 21MHz gemessen. Über einen Pegelbereich von 100dB beträgt der max. Anzeigefehler lediglich 0,3dB.

Pegel, dBm	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
Anzeige, dBm	-99,8	-89,9	-79,9	-70	-60,1	-50,1	-40,2	-30,3	-20,3	-10,3	-0,3
Fehler, dB	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabelle 2: Pegelmessung bei 14MHz

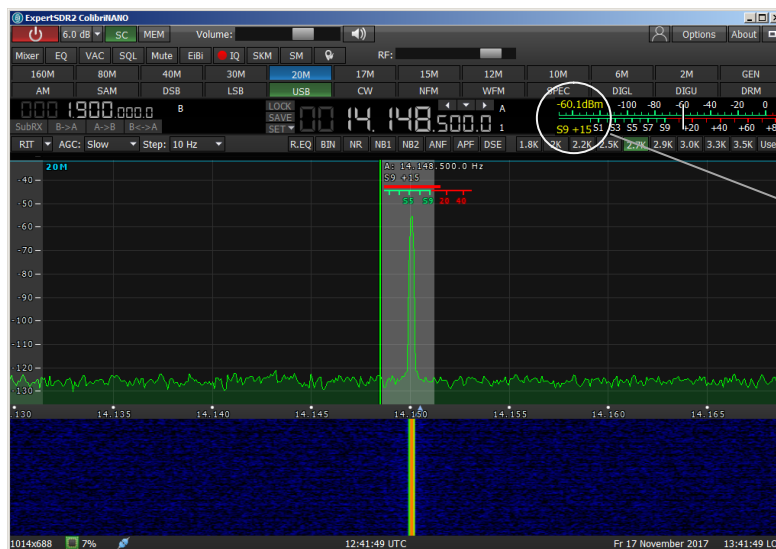


Bild 3: Pegelanzeige des ColibriNANO, im Beispiel für ein -60dBm Signal

Zur Pegel-Kalibration: Unter Options -> Device -> Expert kann die Verstärkung des Preamplifier korrigiert werde. Bei mir war eine Korrektur von -1dB erforderlich.

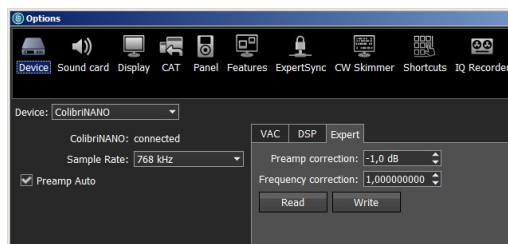


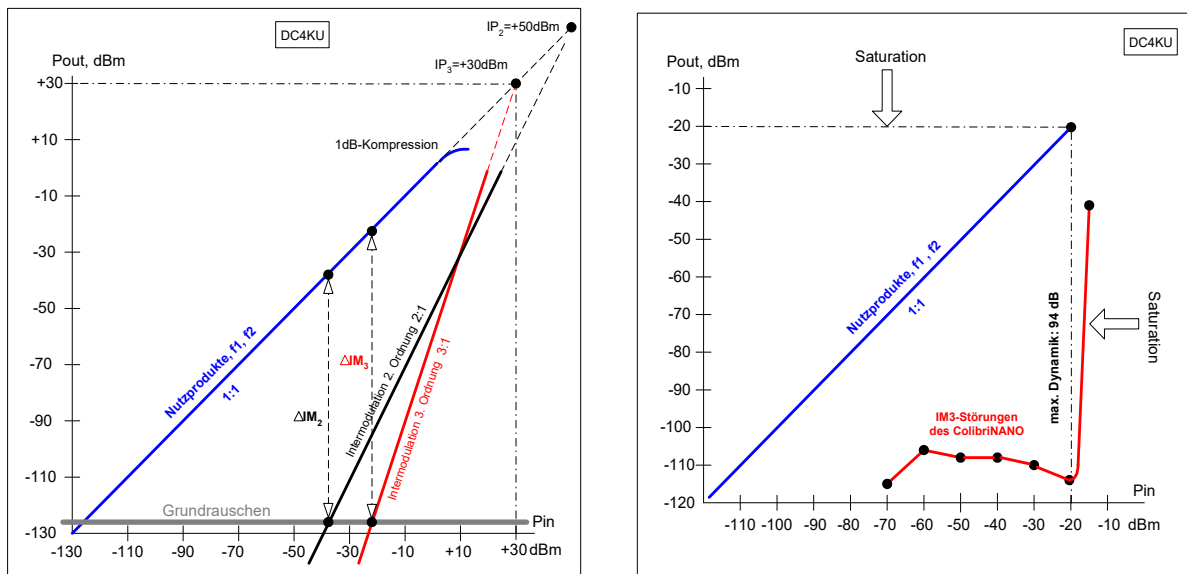
Bild 4: Preamp Correction

## 3.) Intermodulation und Dynamik

### 3.1) IMD 3.Ordnung

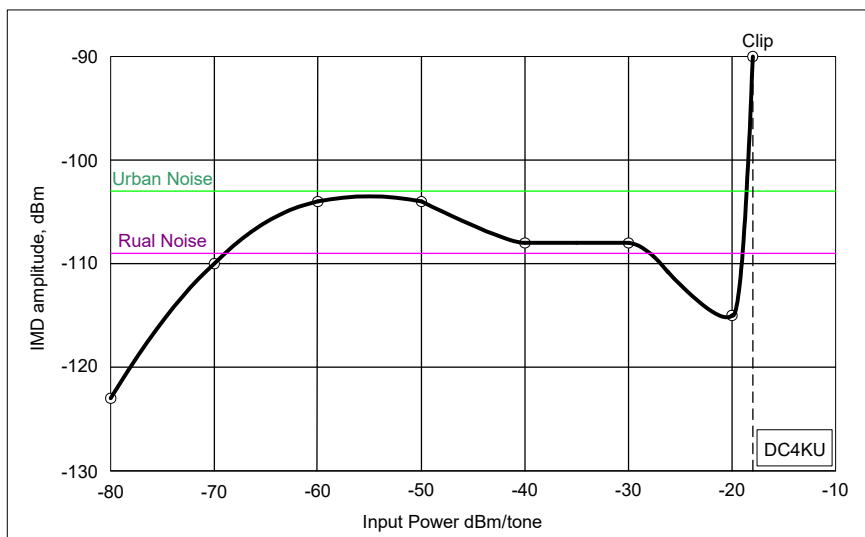
Zur Bestimmung der IMD3-Festigkeit von analogen Empfängern, verwendet man standardmäßig ein HF-Zweitonsignal. Zwei gleich große HF-Signale, die in geringem Frequenzabstand zueinander stehen, werden auf den HF-Eingang des Empfängers gegeben und deren Pegel so weit erhöht, bis die ersten unerwünschten IM<sub>3</sub>-Störungen bei 2xf<sub>1</sub>-f<sub>2</sub> und 2f<sub>2</sub>-f<sub>1</sub> den Pegel des Empfänger-Grundrauschens erreichen. Die Differenz zwischen Eingangspegel und Grundrauschen ergibt den max. IM-freien Dynamikumfang ( $\Delta IM_3$ ) des Empfängers. Bei analogen Empfängern wachsen die IM<sub>3</sub>-Störprodukte

um Faktor drei (**Bild 5, links**) und die  $IM_2$ -Produkte um Faktor zwei schneller an, als die Nutzsignale und schneiden sich (theoretisch) mit den Nutzsignalen im Intercept-Punkt 3. und 2.Ordnung, dem sog.  $IP_3$  und  $IP_2$ .



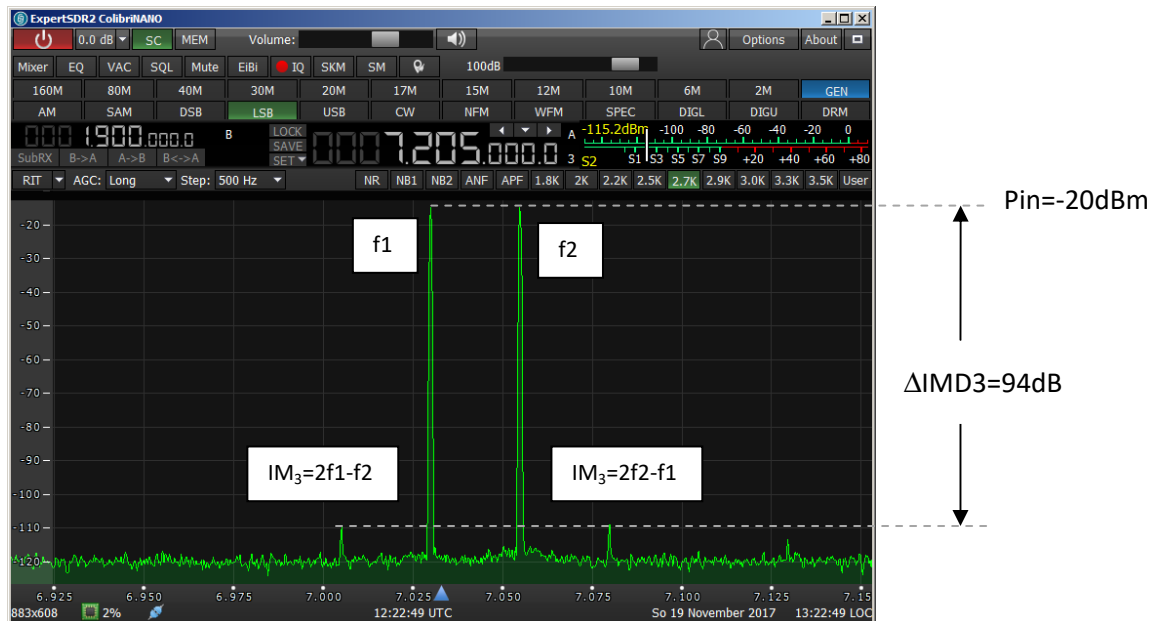
**Bild 5: IMD3-Verlauf eines analogen Empfängers (links) und des DDC SDR ColibriNANO (rechts),  $\Delta f=25\text{kHz}$**

Ganz anders sieht die Sache bei direktabtastenden SDR-Receiver aus. Im HF-Eingang befindet sich kein Mischer, sondern ein A/D-Wandler und dieser erzeugt (theoretisch) keine IM-Produkte. Führt man die beschriebene 2-Ton-Messung am ColibriNANO durch, sind im Bildschirm ebenfalls IM-Produkte im Pegelbereich von  $<-100\text{dBm}$  sichtbar, bei Pegelerhöhung (Pin) wachsen sie aber nicht um Faktor 3:1 an (wie bei analogen Empfängern), sondern verbleiben auf ihrem Level und werden bei Signalvergrößerung sogar kleiner. Die gemessenen IMD3-Werte zeigt **Bild 5 rechts** und **Bild 6**.



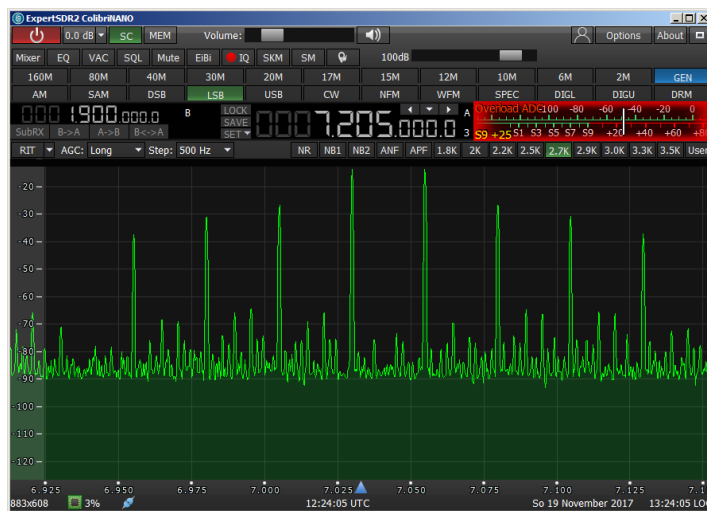
**Bild 6: 2-Tone IMD3 Test. Alle Verzerrungsprodukte liegen noch unterhalb der Urban Noise Linie**

Es ist deutlich zu erkennen, dass die  $IM_3$ -Produkte ihren größten Abstand zu den Nutzprodukten erst kurz vor der max. Aussteuerung (0dBFS) des ADC erreichen. Der  $IMD_3$  ( $\Delta IM_3$ ) ist an dieser Stelle maximal und beträgt 94dB (**Bild 7**).



**Bild 7: Maximale IM3-freie Dynamik des ColibriNANO bei Messung mit einem 2-Ton Signal,  $\Delta f=25\text{kHz}$**

Wird der Pegel jetzt noch um 1...2dB erhöht, gerät der ADC in die Sättigung (Sättigung, Clipping) und die Störprodukte nehmen massiv zu. Gleichzeitig erscheint im Bildschirm die Warnmeldung "Overload ADC" (**Bild 8**).



**Bild 8: Starke Verzerrungen durch Begrenzung des ADC**

Seinen maximalen, IM-freien Dynamikumfang, erreicht der ColibriNANO demnach kurz vor seiner Sättigung, bei einem Pegel des Zweitonsignals von  $P_{in}=-20\text{dB}$ .

$$\text{IMD}_3 = \Delta\text{IM}_3 = 94\text{dBc}$$

Einstellungen ColibriNANO: Preamplifier 0dB, AGC Off, RF 100dB, Peamp Auto off

Würde man aus diesem Wert den  $\text{IP}_3$  (Intercept Point 3.Order) berechnen, dann käme man auf

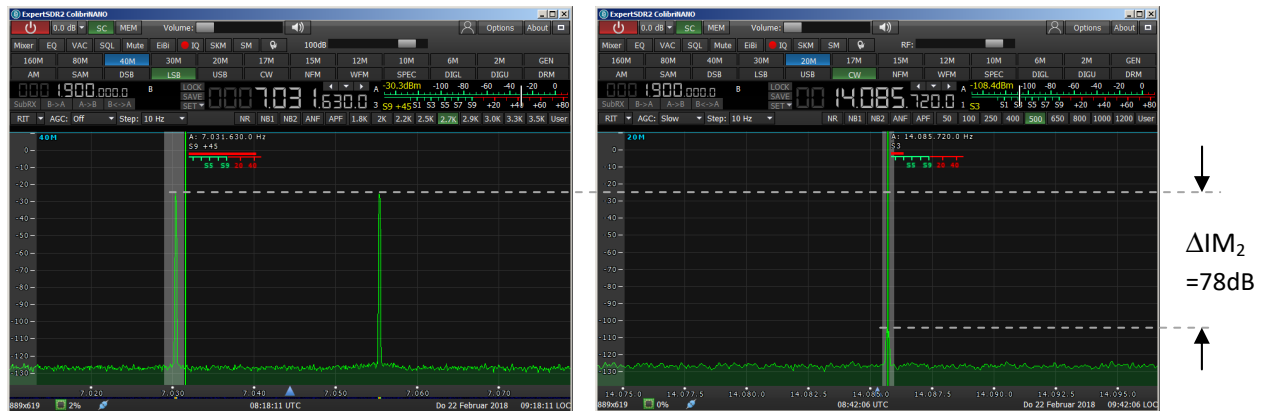
$$\text{IP}_3 = \Delta\text{IM}_3/2 + P_{in} = +27\text{dBm}$$

Da zwischen dem Pegelverlauf der Nutzsingale und der daraus entstehenden IM-Verzerrungen jedoch keine Gesetzmäßigkeit (s. **Bild 5 rechts**) besteht, kann auch kein sinnvoller " $\text{IP}_3$ " daraus

ermittelt werden. Ein  $IP_3$  existiert für ADC's nicht und lässt sich über die Formel  $IP_3 = \Delta IM_3/2 + P_{in}$  auch nicht berechnen.

### 3.2) IMD 2.Ordnung

Zur Messung der IMD2 verwendet man ebenfalls zwei Nutzsingale ( $f_1, f_2$ ) und misst den entstehenden Intermodulationsabstand 2. Ordnung ( $\Delta IM_2$ ) bei  $f_1+f_2$  (**Bild 9**).



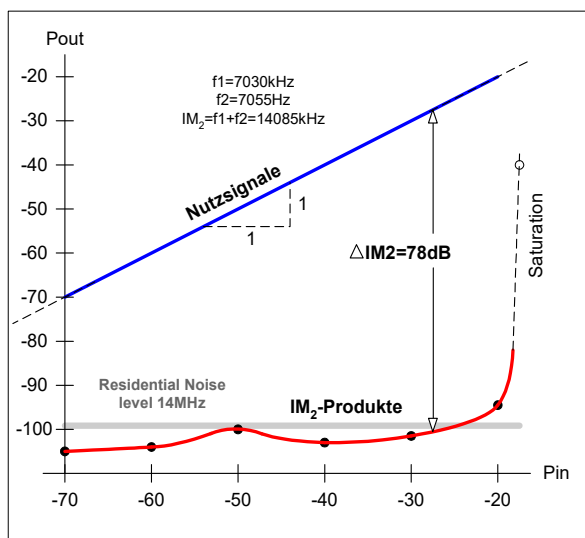
**Bild 9:** Zwei Signale ( $f_1, f_2$ ) im 40m-Band (links) erzeugen ein  $IM_2$ -Produkt bei  $f_1+f_2$  im 20m-Band (rechts)

Das Ergebnis der  $IM_2$ -Festigkeit ( $IM_2$ -Abstand) des ColibriNANO mit unterschiedlichen Pegeln ( $P_{in}$ ) zeigt **Bild 10**. Ähnlich, wie bei der  $IM_3$ -Messung, verbleibt das  $IM_2$ -Produkt auch bei Pegelerhöhung stets im Bereich von  $<-100dBm$  und erreicht erst bei  $P_{in}=-28dBm$  einen max. Abstand von  $\Delta IM_2=78dB$  zu den Nutzsingalen. Damit ergibt sich ein max. Intermodulationsabstand 2. Ordnung von

$$IMD_2 = \Delta IM_2 = 78dBc \text{ (Preamplifier 0dB, AGC Off, RF 100dB, Peamp Auto off)}$$

Ein Intercept-Point 2. Ordnung ( $IP_2$ ) nach lässt sich aus dem ermittelten  $IMD_2$ -Verlauf in **Bild 10** ebenfalls nicht ermitteln. Würde man den  $IP_2$  bei einem Eingangspegel von  $2x-28dBm$  berechnen, käme man auf

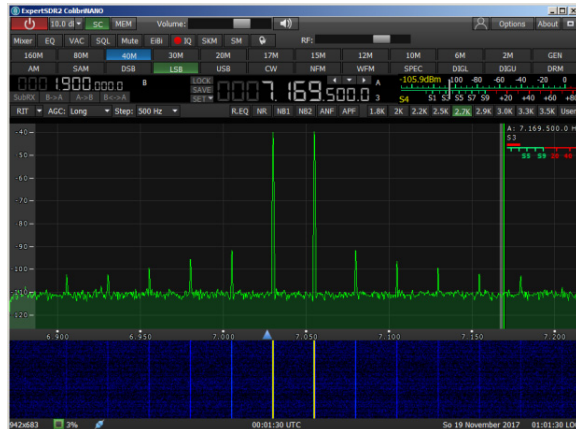
$$IP_2 = P_{in} + IMD_2 = -28dBm + 78dB = +50dBm$$



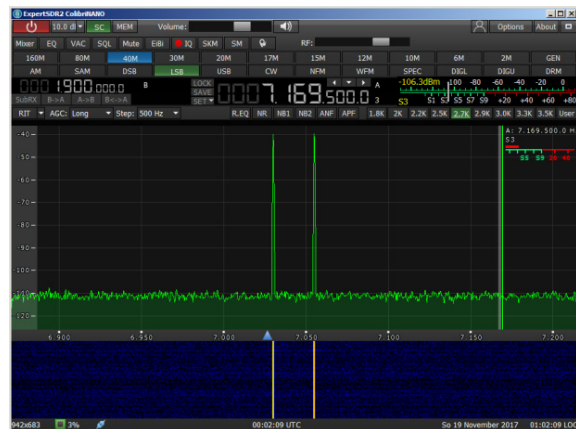
**Bild 10:**  $IM_2$ -Verlauf des ColibriNANO

### 3.3) Dithering

Wenn man sich den IMD-Verlauf in **Bild 5 und 9** ansieht, erkennt man, dass sich die Dynamik eines direktabtastenden Empfängers mit wachsenden Eingangssignalen vergrößert. Das steht im völligen Gegensatz zu analogen Empfängern, deren Dynamik mit wachsendem Pegel fällt. Offensichtlich gilt: Je größer das Eingangssignal am ADC, umso kleiner werden die IM-Verzerrungen (IM-Spurs).



**Bild 11: IM eines 2-Ton Signals**

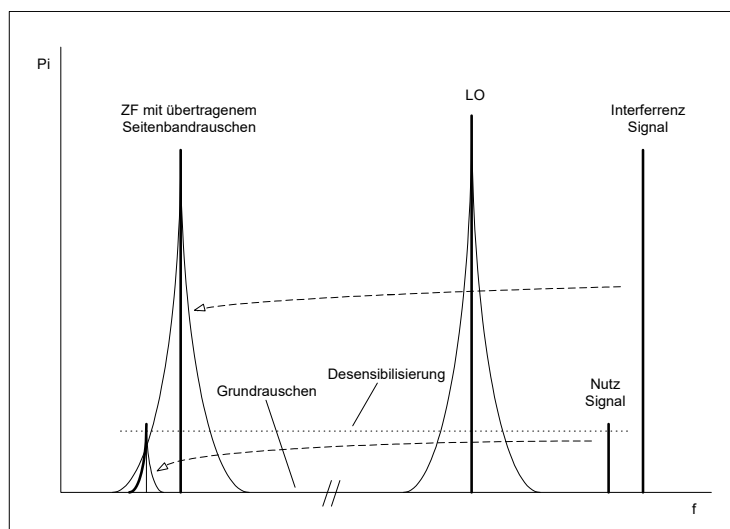


**Bild 12: IM eines 2-Ton Signals mit Dithering**

Bei digitalen Empfängern kann man sich diesen Effekt zu Nutze machen, indem man ein starkes Signal (oder Rauschen) außerhalb des Empfangsbereichs einspeist (Dithering) oder die Dämpfung im HF-Eingang reduziert. **Bilder 11 und 12** zeigen ein eingespeistes 2-Ton-Signals mit  $P_{in}=2x-40\text{dBm}$  und die daraus entstehenden "IM-Störprodukte". In **Bild 12** habe ich zusätzlich noch ein CW-Signal bei 8MHz mit einem Pegel von  $-25\text{dBm}$  eingespeist. Durch das entstehende "Dithering" de-korrelieren die vorher sichtbaren IM-Signale (die in Wirklichkeit gar keine sind) und verschwinden im Rauschen.

### 4.) Reciprocal Mixing Dynamic Range (RMDR)

Starkes Seitenbandrauschen eines Überlagerungsoszillators oder eines ADC-Wandlers kann ein kleines Signal in Nachbarschaft eines starken Signals „zudecken“ und den Empfänger unempfindlich machen. Beim Mischvorgang moduliert sich das Seitenbandrauschen des Oszillators bzw. des ADC auf das empfangene Signal auf (reziprokes Mischen) und kann damit zur Blockierung des Empfängers führen. Kleine Signale in der Nähe starker Signale können dann trotz ausreichender Selektion und Empfindlichkeit vom Phasenrauschen des Oszillators bzw. des ADC's zugerauscht werden (**Bild 13**).

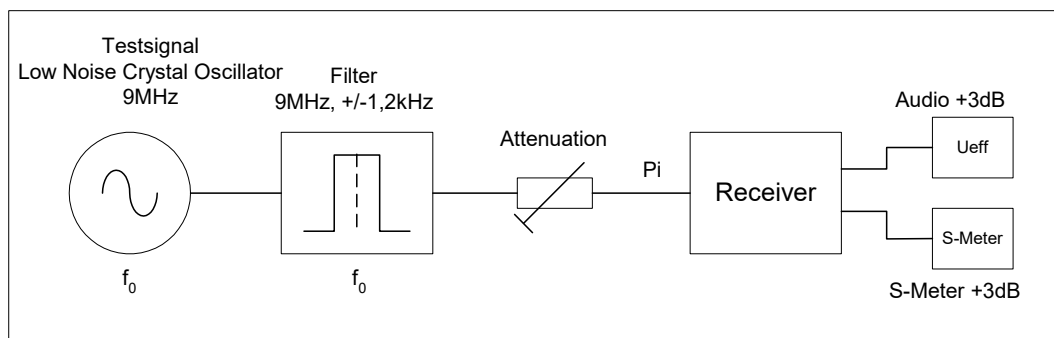


**Bild 13: Dynamikreduktion durch reziprokes Mischen**

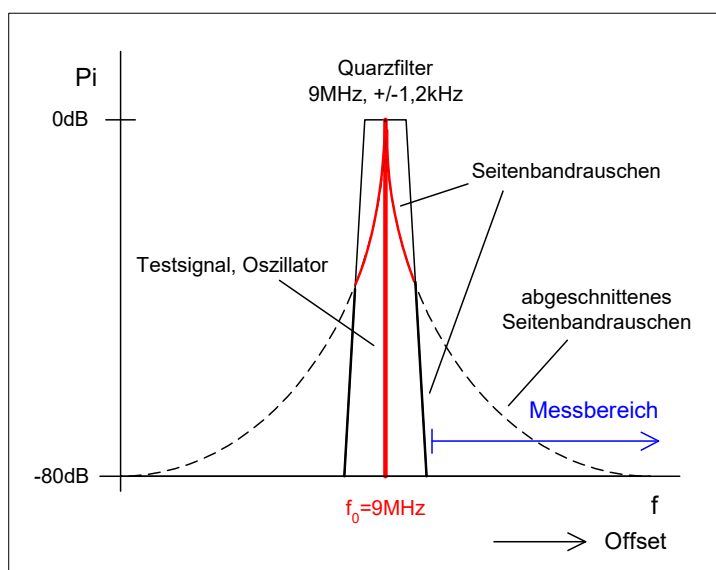


Der durch reziprokes Mischen reduzierte Dynamikbereich bezeichnet man als "Reciprocal Mixing Dynamic Range, RMDR" und ist ein wichtiger Kennwert eines Empfängers. Bei direkt abtastenden SDR-Receivern entsteht das Seitenbandrauschen durch ein Time-Jitter der ADC-Clock, bei analogen Empfängern durch ein Frequenz-Jitter der LO's.

Zur Messung des RMDR benötigt man einen sehr rauscharmen Testsignal. Das SBN des Testoszillators muß auf jeden Fall um 10dB kleiner sein, als des SBN des zu messenden Empfängers, ansonsten misst man das Seitenbandrauschen der Signalquelle und nicht das des Empfängers. Im Testaufbau (**Bild 14**) verwende ich einen rauscharmen 9MHz-Quarzoszillator (6) dessen SBN zusätzlich durch ein nachgeschaltetes, schmalbandiges 9MHz-Quartzfilter verbessert wird. Das Signal am Ausgang des Quarzfilters ist anschließend quasi rauschfrei (**Bild 15**).



**Bild 14: Messung des Seitenbandrauschens (PN) eines Empfängers und Ermittlung des RMDR**



**Bild 15: SBN-Reduzierung durch Filter**

Die Messung des SBN läuft ähnlich ab, wie die Messung der Empfindlichkeit (s. Seite 3), nur wird der Empfänger jetzt nicht auf die Frequenz des Testoszillators abgeglichen, sondern auf einen definierten Frequenzabstand (Offset) von  $\Delta f = 0,5, 1, 2, 3, \dots$  bis 20kHz. Bei jedem dieser Offsets wird der Pegel (Pi) des Testsignals anschließen soweit erhöht, bis sich am Lautsprecherausgang (Ueff) oder am S-Meter eine Rauschvergrößerung von 3dB ergibt. Diese Werte notieren.

\* Messen wir das Phasenrauschen (PN) oder das Seitenbandrauschen (SBN) des Empfängers?

Wir messen das Seitenbandrauschen (SNB). Das Seitenbandrauschen eines Oszillators besteht aus

mehreren Komponenten z.B. aus Phasen- und Amplitudenrauschen, wobei das Phasenrauschen im Regelfall den größten Anteil hat. Bei der hier beschriebenen direkten Meßmethode, bei dem der Receiver selbst als Messgerät dient, ermittelt man immer das kumulative Seitenbandrauschen des Empfängers, weshalb ich lieber die Bezeichnung Seitenbandrauschen als Phasenrauschen verwende.

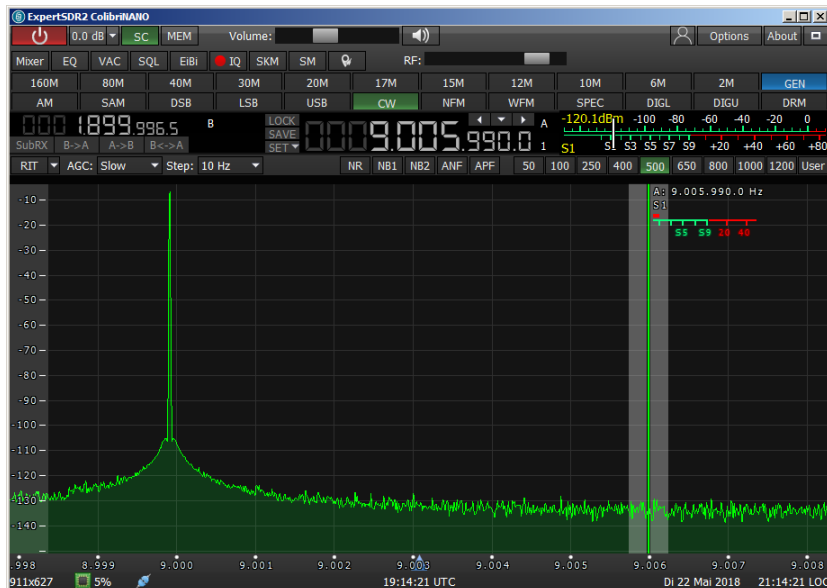


Bild 16: SBN-Messung bei einem Offset von 6kHz

Der aus dem reziproken Mischen resultierende Dynamikumfang (RMDR) des Empfängers entspricht der Differenz von Eingangssignal ( $P_i$ ) zu Empfindlichkeit (MDS).

Offset kHz	$P_i$ dBm	RMDR dB	SBN dBc/Hz
0,5	-23	100	-127
1	-19	104	-131
2	-15	108	-135
3	-14	109	-136
5	-13	110	-137
6	-12	111	-138
10	ADC Clip!		

#### Berechnung RMDR und SBN:

**RMDR** (Reciproical Mixing Dynamic Range) =  $P_i - MDS$

**SBN** (Sideband Noise) =  $-RMDR - 10\log B$ ;  $B=500\text{Hz}$

Einstellungen/Vorgaben:  $f_0=9\text{MHz}$ , CB,  $B=500\text{Hz}$ , NR,NB,ANF off, Preamp. off, Sampling Rate 96kHz, AGC off,  $MDS=-123\text{dBm/Hz}$  bei  $f=9\text{MHz}$

Als ein Beispiel zeigt **Bild 16** die SBN-Messung mit einem Offset von 6kHz. Bei einem Eingangspegel von  $-12\text{dBm}$  (1dB unter Clipping!) zeigt das S-Meter einen Anstieg des Grundrauschens von 3dB an. Das Grundrauschen ist hierbei von zuvor  $-123\text{dBm}$  (ohne Signal) auf  $-120,1\text{dBm}$  angestiegen.

Daraus berechnet sich der RMDR zu

$$\text{RMDR} = P_i - MDS = -12\text{dBm} - (-123\text{dBm}) = 111\text{dB}$$

und das Phasenrauschen bzw. Seitenbandrauschen zu

$$\text{SBN} = -\text{RMDR} - 10\log 500 = -138\text{dBc/Hz}$$

Ergebnis der Messungen:

Den geringsten Dynamikumfang von 100dB aufgrund reziproken Mischens ergibt sich bei einem Abstand zum Träger von 500Hz, in 5kHz Abstand beträgt der RMDR schon 110dB. Der zuvor ermittelte maximale IM3-Abstand des ColibriNANO beträgt jedoch nur 96dB. Demnach begrenzt das Seitenbandrauschen des ColibriNANO seinen maximalen Dynamikumfang nicht.

## 5.) Blocking Dynamic Range (BDR)

Der Blocking Dynamic Range (auch als "Blocking Gain Compression" bezeichnet) eines Empfängers sagt aus, wie gut ein Empfänger kleine Signale neben sehr großen Signalen verarbeiten kann. Der BDR (Blocking Dynamic Range) eines analogen Empfängers ist dann erreicht, wenn ein Störsignal ( $f_2$ ) so groß wird, dass ein kleines Nutzsignal ( $f_1$ ) in einem Abstand von 2...20kHz um 1dB an Amplitude (S/N) verliert. Der Empfänger wird hierbei durch Einspeisung eines großen Signals desensibilisiert und verliert an Empfindlichkeit. Der Blocking Dynamic Range eines Empfängers berechnet sich zu

**BDR = Blocking Level - Grundrauschpegel (MDS)**

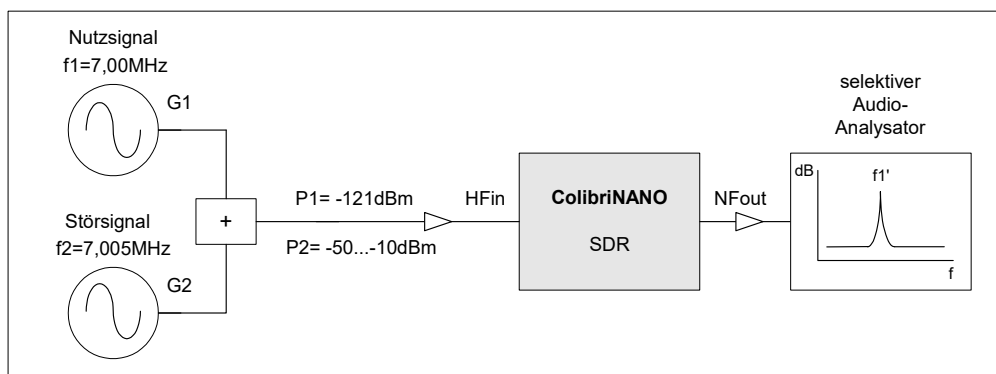
**Bild 17** zeigt den Aufbau einer Empfänger BDR-Messung, die ähnlich einer IM3-Messung ist, nur dass die Pegel der beiden Oszillatoren jetzt sehr unterschiedlich sind.

$f_1=7,000\text{MHz}$ ,  $P_1= -121\text{dBm}$  (HP8656B)

$f_2= 7,005\text{MHz}$ ,  $P_2= -30\dots+10\text{dBm}$  (Marconi 2019),  $f_2$  muß ein rauscharmes HF-Signal sein

Als "Audio-Analyzer" verwende die Soundkarte meines Notebooks und die Software "Audio-Tester V3.0".

Einstellung am Empfänger: CW 500Hz, AGC OFF, Attenuation 0dB

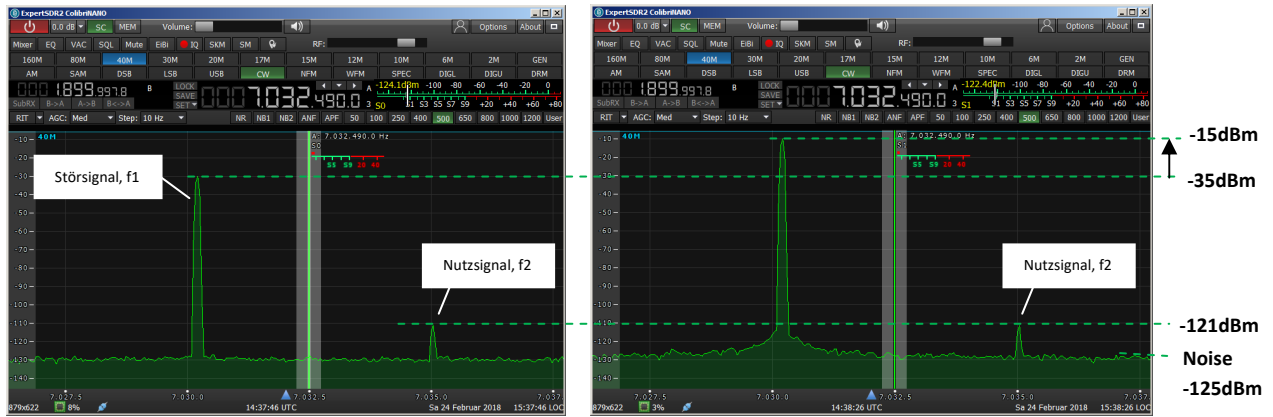


**Bild 17: BDR-Messaufbau für analoge und digitale Empfänger,  $\Delta f=5\text{kHz}$**

Im Gegensatz zu analogen Empfängern, ist eine BDR-Messung an digitalen, direkt abtastenden SDR's nicht mehr relevant, weil große Signale keinen komprimierenden Einfluss auf kleine Signale haben. Der A/D-Converter im Eingang eines SDR's kennt weder eine "1dB-Kompression" noch einen "Blocking Dynamic Range", dafür aber eine Begrenzung (Clipping).

Das Verhalten des direkt abtastenden DDC-SDR ColibriNANO zeigt **Bild 18**. Selbst bei einem Anstieg des Störsignals auf bis zu  $-15\text{dBm}$  bleibt das kleine Nutzsignal von  $-121\text{dBm}$  im Abstand von nur 5kHz davon völlig unbeeindruckt. Erst bei Übersteuerung des SDR's, bei einer Eingangsleistung von ca.  $-12\text{dBm}$ , gerät der ADC schlagartig in Begrenzung (Clipping) und der Empfang bricht zusammen. Der maximale Dynamikbereich des ColibriNANO beträgt demnach

**BDR = Blocking Level (=Clipping Level) - MDS =  $-12\text{dBm} - (-125\text{dBm}) = 113\text{dB}$**



**Bild 18: Ein direct sampling SDR zeigt bis zu seiner Begrenzung kein Blocking, egal welcher Frequenzabstand**

**6.) Noise Power Ratio**

Mit einem NPR-Test (Noise Power Ratio) wird Großsignalfestigkeit von analogen- und digitalen Empfänger bestimmt. Anstelle eines Zweitonsignals, wird der Empfänger mit breitbandigem, weißem Rauschen angesteuert. Ab einem gewissen Rauschpegel wird der Empfänger übersteuert und erzeugt Verzerrungsprodukte in Form von additivem Rauschen. Damit diese Verzerrungen im Rauschspektrum überhaupt messbar bzw. sichtbar werden, schaltet man zwischen Rauschgenerator und Empfänger ein schmalbandiges Kerbfilter (B=10kHz), welches das extern angelegte Rauschen auf seiner Sperrfrequenz (2,4MHz) völlig unterdrückt, so dass im Sockel des Filters, im nicht übersteuerten Zustand des Empfängers, nur das Grundrauschen des Empfängers messbar ist. Sobald der Empfänger aber Verzerrungen (IM, Oberwellen, etc.) erzeugt, werden diese durch einen Rauschanstieg im Boden des Notchfilters sofort erkennbar. Den prinzipiellen Aufbau eines NPR-Messplatzes zeigt **Bild 19**. Die Formel zur Berechnung des NPR lautet

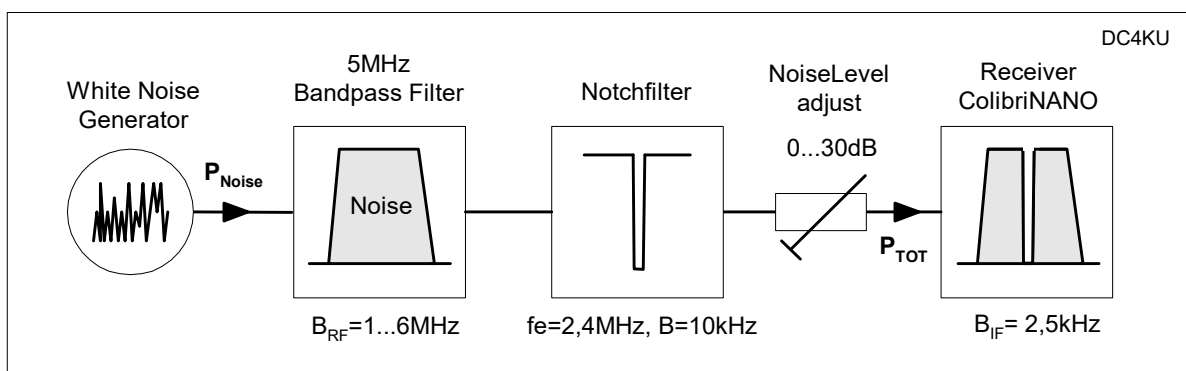
$$NPR = P_{TOT} - BWR - MDS$$

mit:

$P_{TOT}$  = eingespeiste Rauschleistung, begrenzt durch Bandfilter hinter Rauschgenerator

$BWR = 10 \log B_{RF} / B_{IF}$

MDS = Empfänger-Grundrauschen (ColibriNANO -117dBm bei 2,5kHz SSB-Bandbreite)

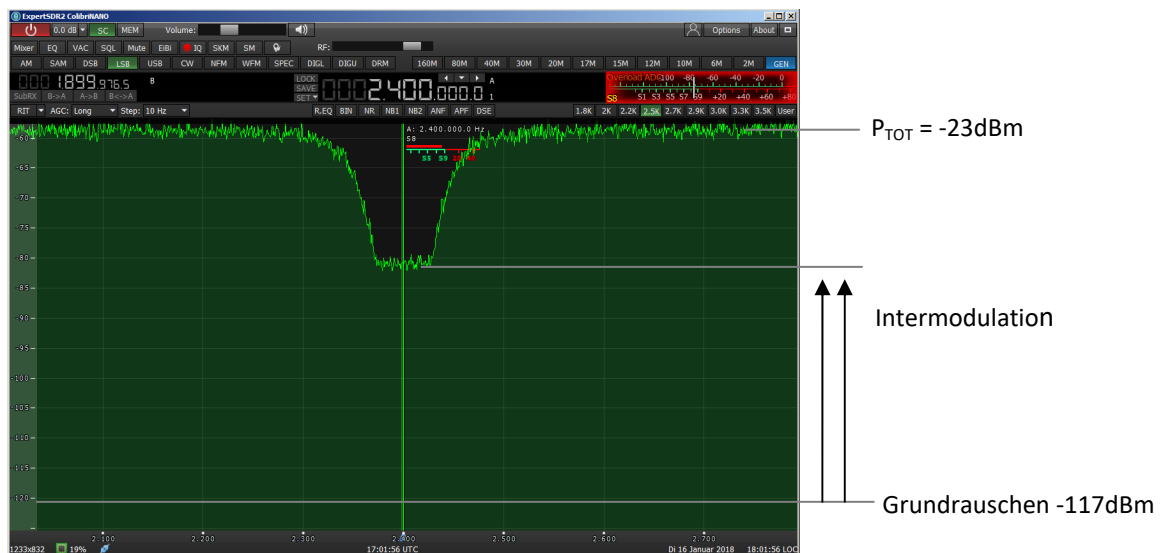


**Bild 19: NPR-Messplatz**

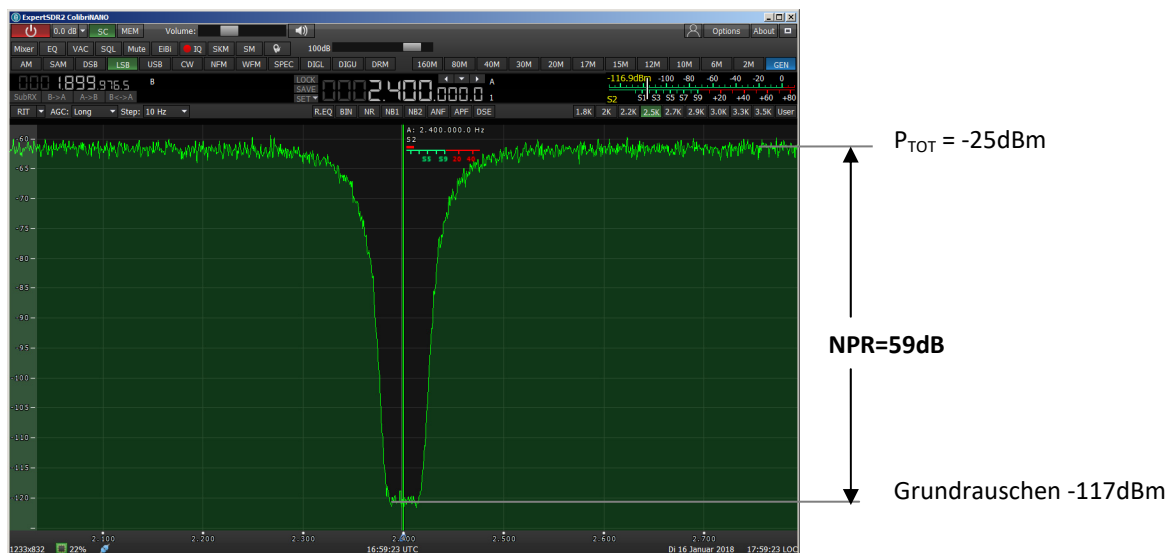
Der verwendete Rauschgenerator erzeugt ein breitbandiges Rauschsignal von -80dBm/Hz. Bezogen auf eine Rauschbandbreite ( $B_{RF}$ ) von 5MHz, entsteht am (breitbandigen) Eingang des ColibriNANO eine Rauschleistung von  $P_{TOT} = -80dBm/Hz + 10 \log 5MHz = -13dBm$ . Damit der Empfänger nicht übersteuert wird, schaltet man zunächst ein Dämpfungsglied von 20dB zwischen Generator und Empfänger. Anschließend verkleinert man die Dämpfung in 1dB-Schritten und beobachtet gleichzeitig den Rauschpegel (den Grundrauschpegel des ColibriNANO) im Notchfilter. Ab einer bestimmten Rauschgröße ( $P_{TOT} = -23dBm$ ) gerät der ColibriNANO in Begrenzung und erzeugt

breitbandige Störsignale, welche das Rauschen im Sockel des Notchfilters stark ansteigen läßt. Gleichzeitig erscheint im Display die Meldung "Overload ADC" (**Bild 20**).

Dann reduziert man den Rauschpegel um 1...2 dB, so dass sich der Empfänger wieder im linearen Bereich befindet. Bei dieser Pegeleinstellung des Rauschgenerators ist der maximale, IM-freie Dynamikbereich des Empfängers erreicht. Das resultierende NPR entspricht der Differenz des Rauschpegels außerhalb des Notchfilters zum Rauschpegel innerhalb des Notchfilters (Grundrauschen) und kann direkt vom Bildschirm abgelesen werden (**Bild 21**). Bei einer Rauschleistung von  $P_{TOT} = -25\text{dBm}$  erreichte der ColibriNANO seinen maximalen NPR von 59dB.



**Bild 20: ColibriNANO in Saturation, übersteuert**



**Bild 21: Maximaler NPR = 59dB**

Die Berechnung des NPR ergibt

$$\text{NPR} = P_{TOT} - \text{BWR} - \text{MDS} = -25\text{dBm} - 10\log 5000/2,5 - (-117\text{dBm}) = 59\text{dB}$$

Einstellungen am ColibriNANO: Peamp. Level 0dB, Gain 100dB, AGC off, Preamp Auto off

Ein verzerrungsfreier Dynamikumfang von 59dB ist ein guter Wert, wenn der Empfänger über keine begrenzenden Filter im Eingang verfügt, so wie der ColibriNANO. Im Gegensatz zur 2-Ton Messung, wird der ColibriNANO bei der NPR-Messung auf 1850 Kanälen (5MHz/2,7kHz) gleichzeitig mit einem

homogenen Rauschsignal von S9+14dB (-56dBm) pro Kanal angesteuert!

Ein Preselector im Eingang des Empfängers verbessert seine Dynamik. Würde man z.B. ein 80m-Bandpaßfilter, von 3,5-3,9MHz, vor den HF-Eingang des ColibriNANO schalten, vergrößert sich seine verzerrungsfreie Dynamik auf

$$\text{NPR}_2 = \text{NPR}_1 + 10 \log \frac{B_{\text{RF1}}}{B_{\text{RF2}}} = 59\text{dB} + 11\text{dB} = 70\text{dB}$$

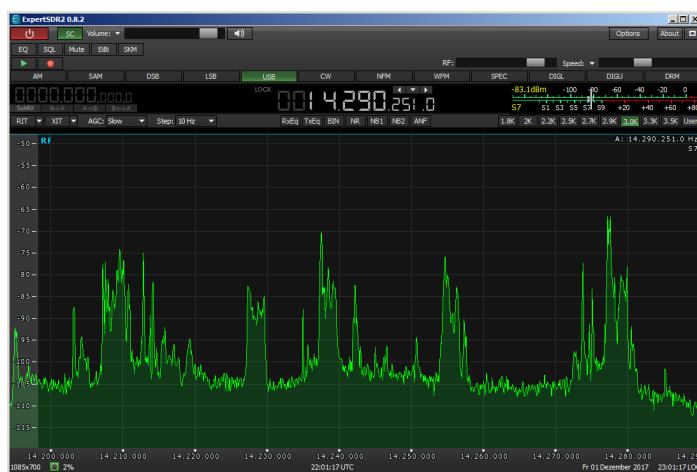
mit:  $\text{NPR}_1 = 59\text{dB}$ ,  $B_{\text{RF1}} = 5\text{MHz}$ ,  $B_{\text{RF2}} = 400\text{kHz}$

Das Beispiel zeigt, das sich mit begrenzenden Filtern (Preselectoren) im HF-Eingang, die Dynamik eines Empfängers vergrößern läßt, egal ob analog- oder digital aufgebaut. Direktabtastende SDRs mit 14 Bit Auflösung erreichen theoretisch einen NPR von bis zu 74dB, mit 16 Bit Auflösung bis 85dB, die praktisch erreichbaren Werte liegen bei ca. 70dB respektive 80dB.

Anmerkung zu NPR: Die Bestimmung der Empfänger-Großsignalfestigkeit mit einem Standard "Zweitton-Signal" ist im Prinzip unrealistisch, denn wann wird ein KW-Empfänger in der Praxis über eine Empfangsantenne mit nur zwei Signalen belastet? Ein Zweitton IM<sub>3</sub>-Test schmeichelt deswegen den meisten Empfängern. Ganz anders liegen die Verhältnisse mit einem breitbandigen Rauschsignal. Hier wird der Empfänger mit vielen hundert oder tausend gleich großen Signalen belastet und zeigt deswegen schon viel früher seine maximal zulässige Aussteuerung an. NPR ist ein hartes, ultimatives Messverfahren, welches jedoch viel mehr den tatsächlichen (worst case) Empfangsbedingungen entspricht und gerecht wird. Besonders bei Empfängern ohne Preselector, wie der ColibriNANO, zeigen sich starke Unterschiede zwischen einer Zweitton- und NPR-Messung. Ein NPR-Test kann grundsätzlich an allen analogen- und digitalen Empfängern durchgeführt geführt werden. Bei digitalen Empfängern ist es jedoch die einzige Möglichkeit, zur Bestimmung der Großsignalfestigkeit. Ein "IP3", zum Aufzeigen der IM-Festigkeit des Empfängers, existiert bei digitalen, direkt abtastenden Empfängern nicht mehr und wird in den meisten Datenblättern auch nicht angegeben. Deswegen steht zu vermuten, dass der NPR-Test zur Messung der Großsignalfestigkeit von Empfängern, in Zukunft den IP3-Zweitton-Test ersetzen wird.

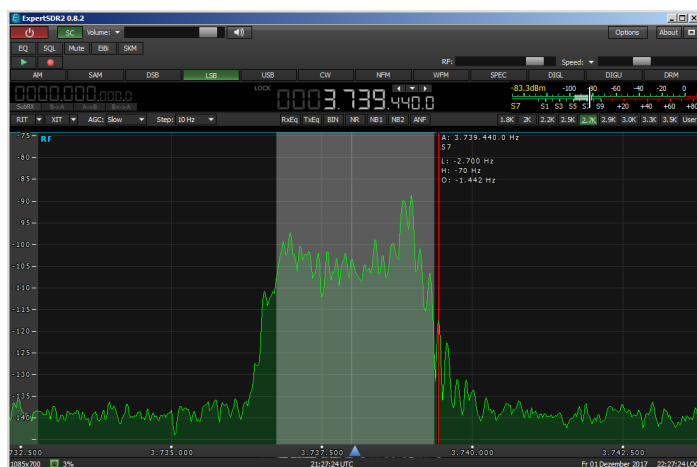
## 6.) IQ-Recording

Mit der Funktion "IQ-Channels Recorder" läßt sich das Spektrum zeitgesteuert aufzeichnen, ähnlich einem Video. Dazu unter ExpertSDR2 den Button "IQ" anklicken und das momentane empfangene Spektrum (Bildschirm plus Audio) wird unter einem .wav-File auf die Festplatte gespeichert. Zum Abspielen der aufgenommenen Sequenz, das zuvor installierte Programm "ExpertSDR2 IQ Player" (1) starten und unter Options -> Open das abgespeicherte .wav File (Apply) öffnen. Nach Start des Players wird das aufgezeichnete Spektrum abgespielt. Eine Aufnahme von 1 Minute belegt einen Speicherplatz von ca. 12MB (**Bild 22**).



**Bild 22:** Foto des Spektrums im 20m-Band, bei Wiedergabe am PC unter ExpertSDR2 0.8.2

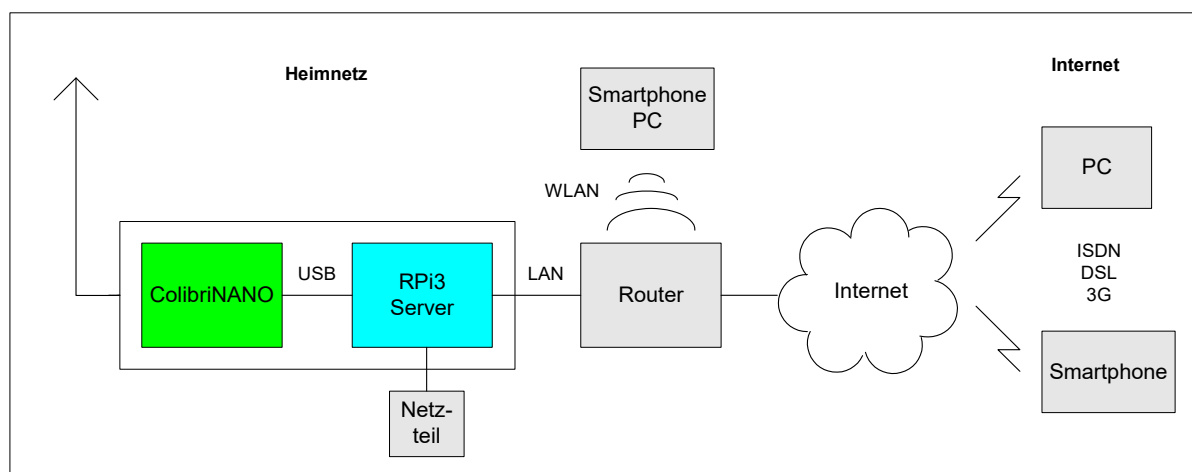
Die Anwendungen hierfür sind vielfältig, so man könnte man z.B. darüber auch sein eigenes Sendesignal aufzeichnen und abhören. Neben der akustischen Kontrolle des SSB-Sprachsignals lässt sich auch die spektrale Verteilung (Bandbreite, Bandbelegung) kontrollieren, und erkennen, ob die Modulation dynamisch oder komprimiert ist oder die Höhen und Tiefen des eigenen Sprachsignals, gemittelt über die Zeit, etwa gleich groß sind (**Bild 23**). Hört sich das eigene Sendesignal etwas dumpf und hohl an, dann werden die tiefen NF-Frequenzen im Spektrum stärker übertragen, hört es sich hell und nasal an, werden offensichtlich die hohe Sprachfrequenzen stärker übertragen als die tiefen. Die typische QSO-Frage "Wie hört sich mein Signal an?" lässt sich nun selbst beantworten und - falls erforderlich- kann man Änderungen in der Modulation (Mikrofon, Equalizer) des eigenen Sendesignals durchführen.



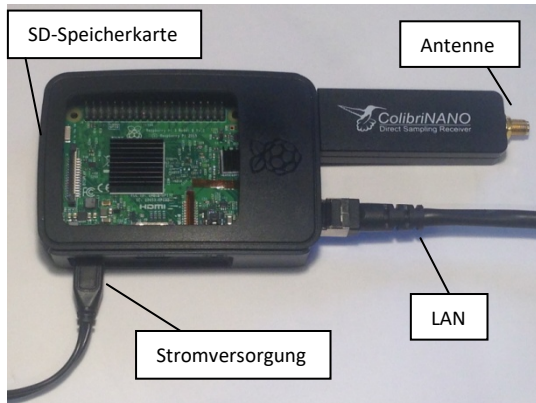
**Bild 23: Kontrolle des eigenen SSB-Sendesignals über ExpertSDR2 Player, SampleRate 96kHz**

## 7.) Remote Control

Der ColibriNANO ist von Hause aus kein netzwerktaugliches Gerät. Um den Receiver ins heimische Netzwerk zu bekommen, benötigt man einen USB-Netzwerk-Server oder den Mini-PC Raspberry Pi3. Der ColibriNANO wird über seinen USB-Stecker mit dem RPi3 verbunden und dieser über LAN mit dem heimischen Router (**Bild 24, 25**). Der RPi3 erhält dann vom Router automatisch eine IP-Adresse (bei mir 192.168.178.49). Anschließend installiert man die Software (Image Datei) "ExpertRS-RPi3 for ColibriNANO" (2) auf die SD-Karte des RPi3. Nach Start des RPi3 ist der ColibriNANO jetzt unter der IP-Adresse des RPi3 im Netzwerk erreichbar, ähnlich einer Web-CAM.

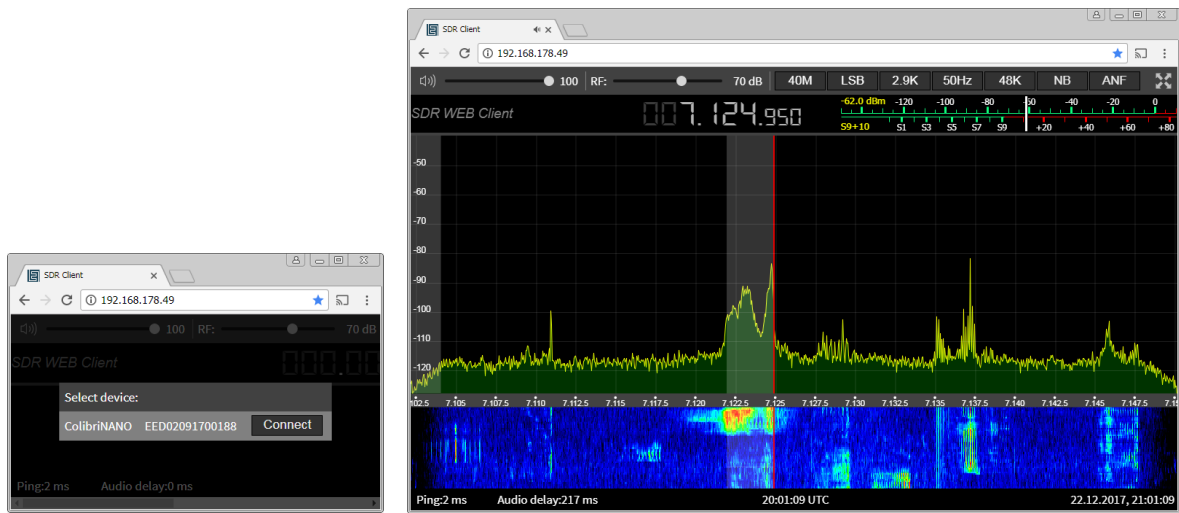


**Bild 24: ColibriNANO mit RPi3 als Server für den Zugang ins Heimnetz und Internet**

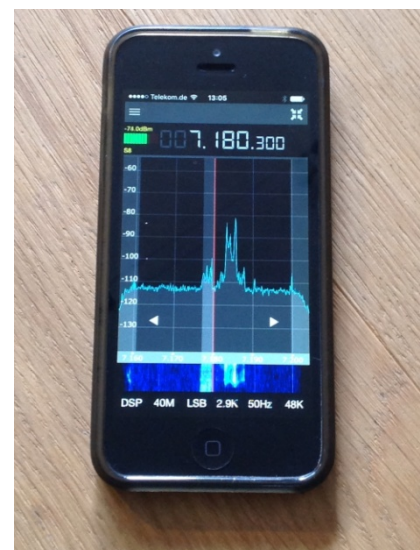
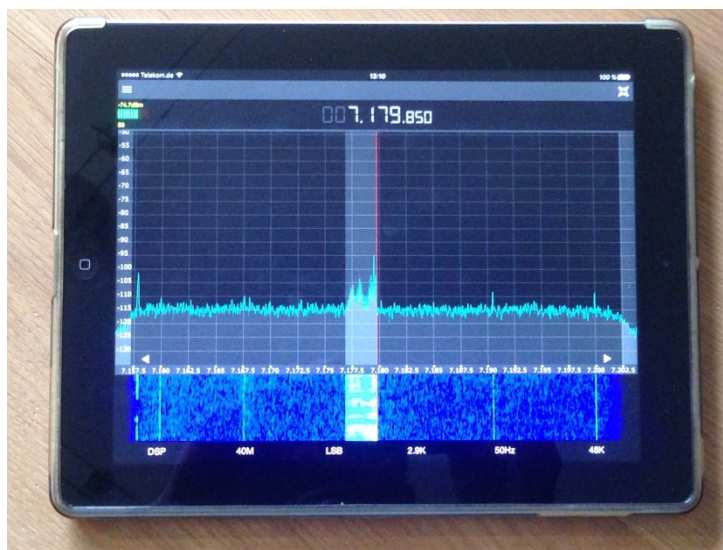


**Bild 25: Remote ColibriNANO mit Raspberry Pi3**

**Bild 26** zeigt den gestarteten ColibriNANO an einem Windows-PC unter Google-Chrome Browser (der Internet Explorer ließ sich nicht verwenden) und **Bild 27** auf einem Apple iPad und iPhone. Eine besondere APP muß hierfür nicht installiert werden.



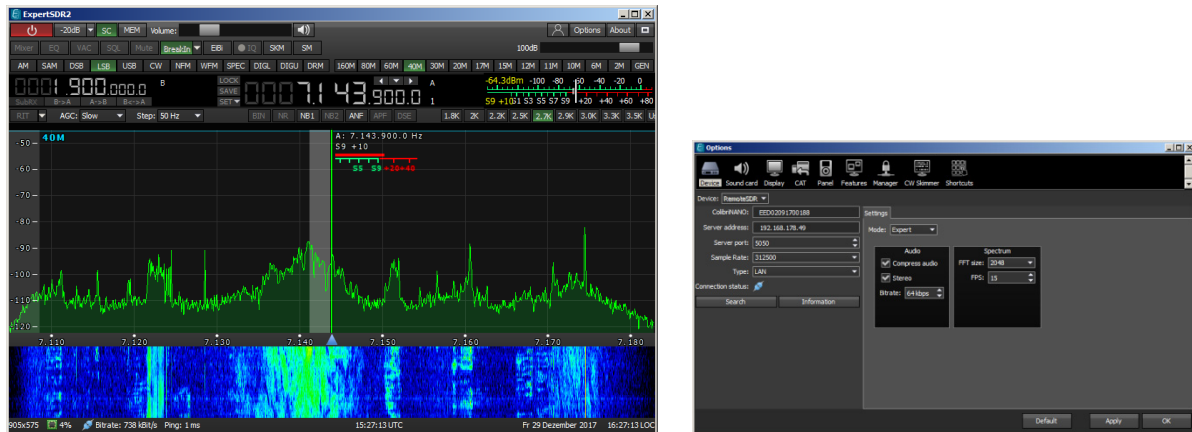
**Bild 26: ColibriNANO live am PC (Chrome Browser)**



**Bild 27: ColibriNANO live am iPad (links) und iPhone (rechts)**

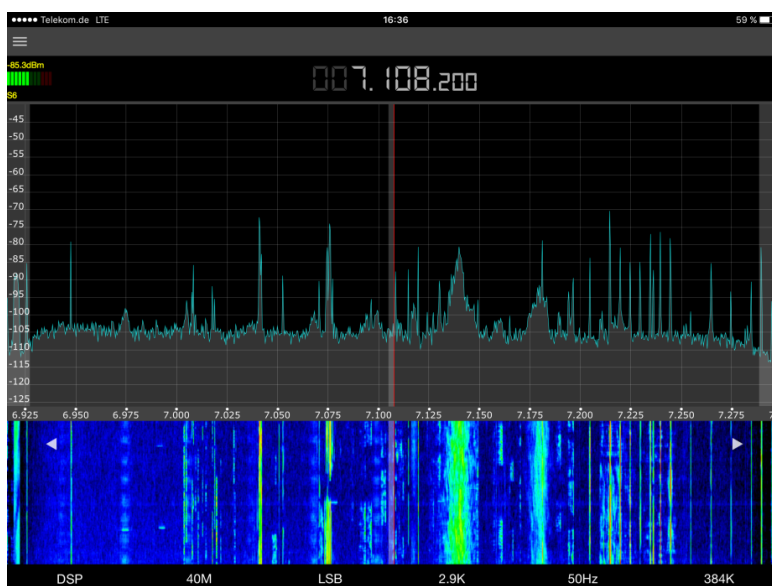


Zusätzlich liefert der Hersteller eine Remote-Client Software "ExpertSDR2\_1.1.3\_RC12\_Remote\_setup.exe", zur Installation auf einem PC/Notebook (3). Nach dem Start der Software "Expert SDR2 Remote" wird der ColibriNANO vom PC im Netzwerk gefunden und kann über "Options" eingestellt werden (Sample rate, Bit rate, etc.).



**Bild 28: ColibriNANO im heimischen Netzwerk am PC nach Start von "ExpertSDR2-Remote"**

Über eine Portweiterleitung (Port 5050 default ExpertRS und Port 80 für Remote Control des Receivers via Web-Client) und Registrierung bei einem DNS-Anbieter (DynDNS), ist der ColibriNANO anschließend im Internet weltweit erreichbar (**Bild 29**). Im Handbuch "Expert Remote Service" (4) werden Beispiele hierzu beschrieben. Jetzt kann man auch von unterwegs, auf Reisen oder im Urlaub, auf den Receiver über ein Smartphone, Notebook oder PC zugreifen und fernsteuern, der verwendete Browser muß nur HTML5 fähig sein. Die übertragenen IQ-Daten werden stark komprimiert, so dass sich ein Upload von nur 30...40kbit/s ergibt, eine 3G Verbindung reicht hierfür aus. Der heimische PC ist für den Remote-Betrieb nicht erforderlich und kann abgeschaltet werden, der RPi3 agiert alleine als Remote-Server. ColibriNANO und RPi3 bilden eine autarke Einheit und können auch an abgelegenen, ruhigen HF-Standorten positioniert werden, zum Betrieb sind lediglich eine Antenne und eine Internetverbindung erforderlich.

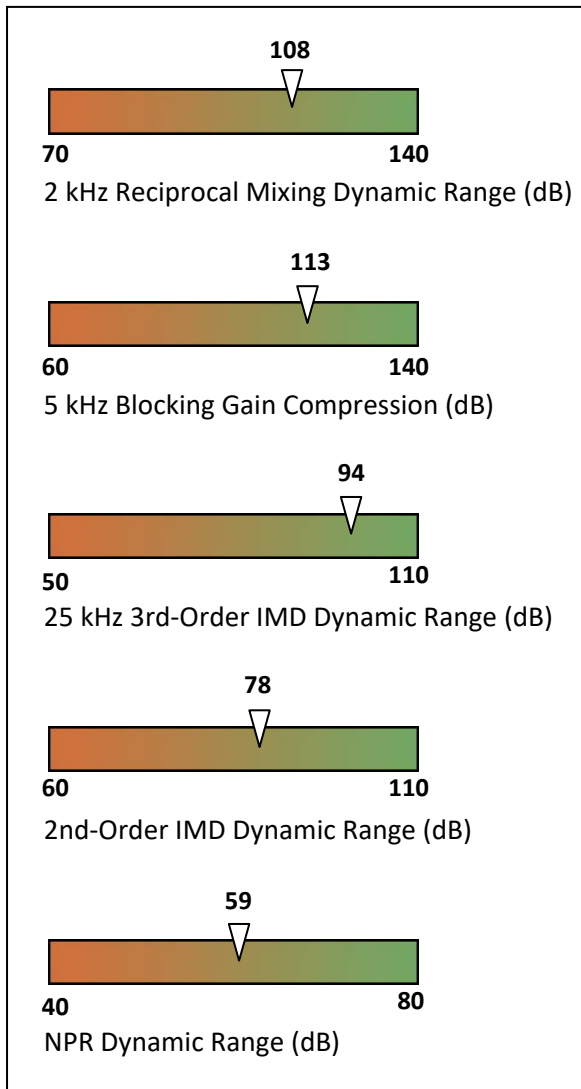


**Bild 29: ColibriNANO im Internet am iPad, empfangen mobil über 3G/LTE**

## 8.) Zusammenfassung

Der ColibriNANO sieht zwar auf den ersten Blick aus, wie ein einfacher DVB-T-Stick, stattdessen ist er aber ein vollwertiger KW-Empfänger, in Form eines direktabtastenden SDR. Seine Empfindlichkeit, Dynamik und Frequenzstabilität sind hervorragend und zusammen mit der Software ExpertSDR2 macht das Arbeiten mit dem ColibriNANO einfach nur Spaß. Spurious-Signals sind aufgrund der Verlagerung des ADC ins Frontend so gut wie keine zu entdecken. Für einen Preis von ca. € 300,- dürfte man zurzeit keinen besseren Direct-Sampling-SDR bekommen.

### Wichtige Daten:

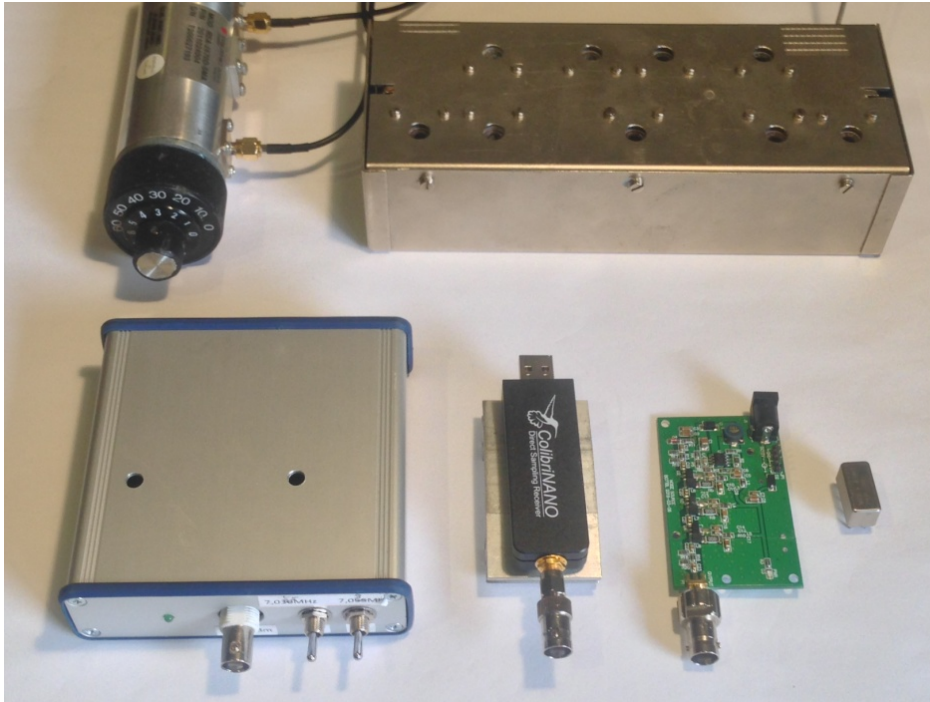


### ColibriNANO Tech Specs (Quelle: SunSDR)

Receiving bandwidth	0.1 – 55 MHz
Under sampling receiving	0.1 – 500 MHz
Blocking Dynamic Range (BDR)	110 dB
Sensitivity	0.05 uV at 20M band, preamp = 0
IMD3 Dynamic Range	95 dB
ADC resolution	14-bit @ 122.88 MHz
Sample rate	48, 96, 192, 384, 768 kHz and 1.5, 3.0 MHz

IQ resolution	24 bit (16 bit at 1.5 and 3 MHz sample rates)
RF Input	SMA connector
Preamp range	from 31.5 up to +6 dB with 0.5 dB steps
Operating temperature	-10°C to 60°C
Dimensions	90x25x17mm

### Verwendete Messtechnik



**Bild 30: Stellbares Dämpfungsglied 0-70dB, 2,4MHz-Notchfilter, HF-Zweitton-Generator (FA), ColibriNANO (montiert auf Kühlkörper), HF-Rauschgenerator und TP-Filter.**

### Literatur

- (1) Expert Electronics, Support  
ExpertSDR2 IQ Player - Software to playback the IQ files  
<https://eesdr.com/en/support-en/software-en>
- (2) Expert Electronics, Support  
ExpertRS (for RPi3) - new Expert Remote Server for ColibriNANO and ColibriDDC receivers  
<https://eesdr.com/en/support-en/software-en>
- (3) SUNSDR, Downloads  
ExpertSDR2 Remote Client v1.1.3 RC12  
[https://sunsdr.eu/sdm\\_downloads/expertsdr2-remote-client-v1-1-3-rc12](https://sunsdr.eu/sdm_downloads/expertsdr2-remote-client-v1-1-3-rc12)
- (4) Expert Electronics, Support  
Expert Remote user manual  
[https://eesdr.com/images/Document/Remote%20control\\_ENG.pdf](https://eesdr.com/images/Document/Remote%20control_ENG.pdf)

(5) Expert Electronics ColibriNANO Test Report  
Adam Farson, VA7OJ/AB4OJ  
[http://www.ab4oj.com/sdr/sunsdr/nano\\_notes.pdf](http://www.ab4oj.com/sdr/sunsdr/nano_notes.pdf)

(6) HF 2-Ton-Generator für IM3-Messungen  
Werner Schnorrenberg, DC4KU  
<https://dc4ku.darc.de/HF-Doppelton-Generator.pdf>

**Werner Schnorrenberg**

**DC4KU**

**16.01.2018**

Rev.: 22.02.2018, 26.03.2018, 07.04.2018, 23.05.2018, 9.6.2018, 20.09.2018, 08.04.2019

### Ergänzungen, 10.05.2020

Bei einem anderen ColibriNANO, beschafft Ende 2019, ergab sich ein besseres IMD3-Verhalten, (s. unter 3.1 auf Seite 5). Die IMD3-Produkte blieben alle unter -110dBm und die größte IM-freie Dynamik von 100dB (sweet-spot) wurde bei  $P_e=2x-20\text{dBm}$  erreicht.

