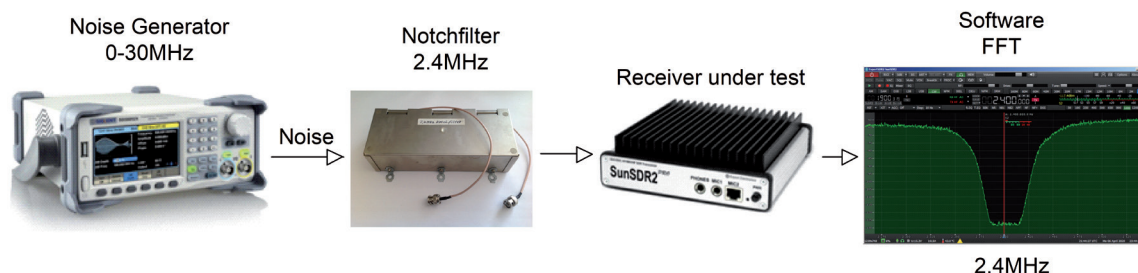


Das Noise Power Ratio richtig messen und interpretieren

# NPR und Rauschbandbreite

Werner Schnorrenberg, DC4KU

Bei NPR-Messungen an Empfängern sollte die verwendete Rauschbandbreite an den Empfangsbereich anpassen werden, um kein „zu gutes“ NPR zu messen.



Zur Ermittlung der Großsignalfestigkeit eines Empfängers verwendet man in der Regel einen HF-Zweitongenerator. Bei analogen Empfängern wachsen die IM3-Produkte bei Signalvergrößerung dreimal so schnell an wie die Nutzprodukte und treffen sich theoretisch in einem Schnittpunkt, dem IP3 (Intercept Point 3rd Order). Ein IP3 von z.B. 30 dBm ist ein guter Wert und der Anwender weiß, dass er einen ziemlich großsignalfesten Empfänger besitzt.

### IP und Digitaltechnik

Bei digitalen, direktabtastenden Empfängern verlaufen die IMD3-Verzerrung bei Signalvergrößerung nach keiner bestimmten Regel oder Gesetzmäßigkeit. Die ersten Verzerrungsprodukte sind schon relativ früh messbar und sollten bei guten SDRs stets unterhalb des Eigenrauschens (Residual Noise) der Empfangsantenne liegen und somit nicht erkennbar sein. Erst bei maximaler Aussteuerung des ADCs erreicht der Empfänger seinen größten IM-freien Dynamikbereich von vielleicht 100 dB. Dieser Punkt wird auch als Sweet-Spot bezeichnet. Bei weiterer Signalvergrößerung gerät der ADC

dann sehr schnell in Begrenzung (Clipping, Saturation).

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Signalverlauf der entstehenden IMD3-Produkte von analogen- und direktabtastenden Empfängern. Hier ist deutlich zu erkennen, dass bei digitalen Empfängern kein IP3 mehr existiert, sich die Großsignalfestigkeit eines SDRs also darüber nicht mehr spezifizieren lässt.

### Das NPR

Ein besser geeignetes Verfahren liefert die Messung des Rauschleistungsverhältnisses (NPR, Noise Power Ratio), bei dem der Empfänger mit weißem Rauschen definierter Bandbreite angesteuert wird. Das Rauschsignal wird so weit vergrößert, bis der ADC kurz vor seiner Begrenzung steht und Intermodulationsprodukte in Form von additivem Rauschen erzeugt.

Damit der geringe Rauschanstieg im Spektrum erkennbar ist, schaltet man zwischen Rauschgenerator und Empfänger ein schmalbandiges Notchfilter (im Beispiel bei 2,4 MHz), welches das Rauschen auf seiner Sperrfrequenz so weit unterdrückt, dass an dieser Stelle

### Zur Person

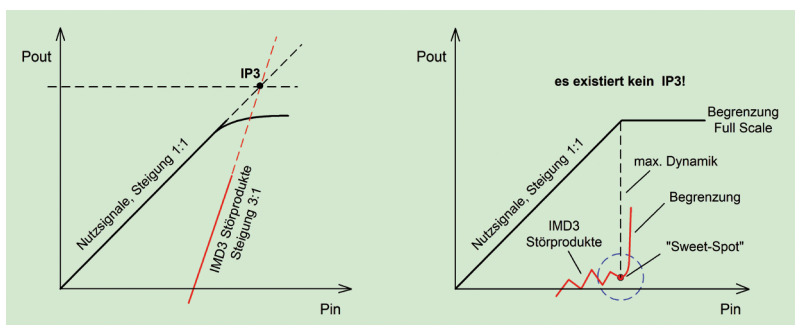
**Dipl.-Ing. Werner Schnorrenberg, DC4KU**  
 Jahrgang 1951,  
 Funkamateurlizenz seit 1973  
 Studium der Nachrichtentechnik in Köln, langjährige Mitarbeit bei Rohde & Schwarz und Tektronix in Köln  
 Weitere Hobbys: Windsurfen, Oldtimer, PC

Anschrift:  
 Habichtweg 30  
 51429 Bergisch-Gladbach  
 dc4ku@darf.de

nur noch das Grundrauschen (MDS) des Empfängers messbar ist. Überschreitet der Empfänger (ADC) seine maximale Aussteuerung, erzeugt er Intermodulationsprodukte, die sich als zusätzliches Rauschen von 1...3 dB im Sockel des Kerbfilters bemerkbar machen. Die maximale Aussteuerung des Empfängers ist dann erreicht und die Differenz von eingespeister Rauschleistung ( $P_{TOT}$ ) zur Empfindlichkeit des Empfängers (MDS) entspricht dem NPR:

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

- $P_{TOT}$  ... Rauschleistung (bezogen auf eine definierte Rauschbandbreite)
- BWR ... Bandwidth Ratio =  $10 \log B_{RF}/B_{IF}$
- $B_{RF}$  ... Rauschbandbreite des Generators (z.B. von 0 bis 100 MHz)
- $B_{IF}$  ... Filterbandbreite (Rauschbandbreite) des Empfängers (z.B. 500 Hz)
- MDS ... Empfindlichkeit des Empfängers (z.B. -122 dBm/500 Hz)



**Bild 1:** Prinzipieller IMD3-Verlauf eines analogen (links) und eines digitalen Empfängers (rechts)

## Tabelle

| Rauschbandbreite | NPR     |
|------------------|---------|
| 0...5 MHz        | 59 dB   |
| 0...10 MHz       | 56 dB   |
| 0...20 MHz       | 53 dB   |
| 0...40 MHz       | 50 dB   |
| 0...50 MHz       | 49 dB   |
| 0...55 MHz       | 48,6 dB |

**Tabelle 1: NPR des ColibriNANO mit verschiedenen Rauschbandbreiten**

## NPR-Messplatz

Ein NPR-Messplatz besteht im Prinzip aus einem einstellbaren HF-Rauschgenerator und einem Sperrfilter (Notchfilter). Die **Aufmachergrafik** illustriert das. Als Rauschquelle verwende ich einen Arbitrary Waveform Generator SDG6022X, der Signale aller Formen erzeugen kann, wie auch weißes Rauschen von 0 bis 200 MHz mit einer Leistung von  $-47$  bis  $+8$  dBm (**Bild 2**). Der Vorteil des Funktionsgenerators ist, dass man die gewünschte Rauschbandbreite und Rauschleistung beliebig einstellen kann und deswegen auf zusätzliche, externe Filter im Aufbau verzichten kann [4]. Dem Rauschgenerator folgt ein 2,4-MHz-Notchfilter (Siemens, eBay), bestehend aus acht LC-Kreisen hoher Güte mit einer Bandbreite von 40 kHz und einer Sperrtiefe von 100 dB (**Bild 3**). Den praktischen Aufbau solcher Filter beschreibt OE3HKL auf seiner Webseite [2].

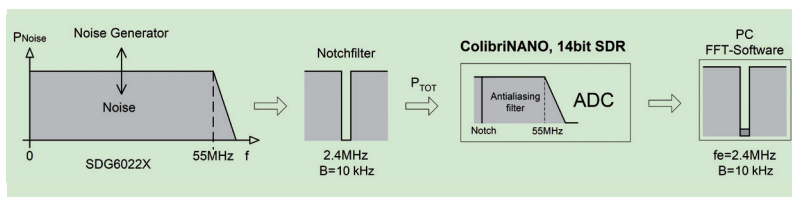
Grundsätzlich sollte man beachten, dass sich Rauschsignale völlig anders verhalten als CW-Signale. Die drei Rauschkurven in Bild 2 mit Bandbreiten von 0 bis 50, 100 und 200 MHz wurden mit

einem Spektrumanalysator gemessen. Obwohl die Leistung aller Signale 0 dBm ( $224$  mV an  $50 \Omega$ ) beträgt, verkleinert sich deren mittlere Leistung bei Verdopplung ihrer Bandbreite ( $50 \rightarrow 100$  MHz,  $100 \rightarrow 200$  MHz) um jeweils 3 dB. Die über den Marker gemessene Leistung der gelben Rauschkurve beträgt  $-77$  dBm/Hz. Bezogen auf eine Rauschbandbreite von  $0...50$  MHz beträgt die Rauschleistung  $P_N = -77$  dBm +  $10\lg(50 \text{ MHz}/1 \text{ Hz}) = 0$  dBm.

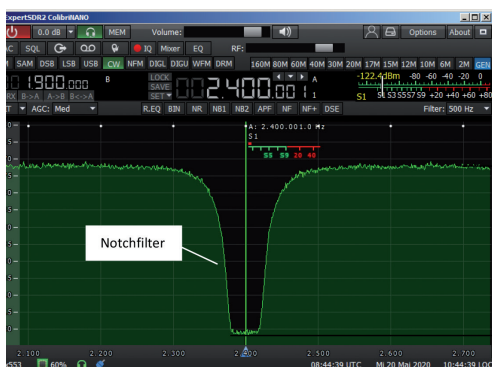
Ebenso berechnet sich die Rauschleistungen der beiden anderen Kurven, mit einem gleichen Ergebnis von  $P_N = 0$  dBm. Aus diesem Grund darf Rauschen, im Gegensatz zu CW-Signalen, niemals ohne die dazugehörige Bandbreite benannt werden (dBm/Hz).

## NPR-Messung an Breitbandempfängern

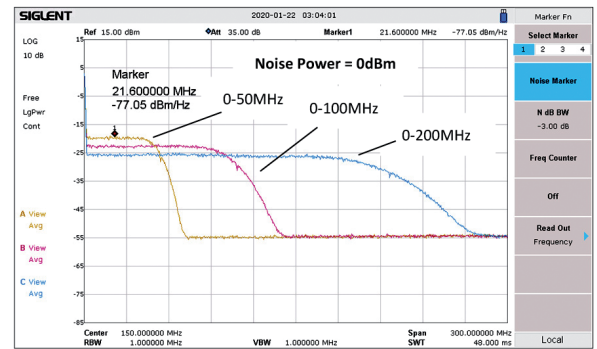
Einfache direktabtastende SDRs wie der ColibriNANO oder KiwiSDR haben keine Preselektoren (Frontend-Filter), sondern lediglich ein hochfrequentes Antialiasing-TP-Filter, dessen Grenzfrequenz unterhalb der halben ADC-Abtastfrequenz liegt. Der ColibriNANO besitzt eine ADC-Abtastfrequenz von  $122,88$  MHz und ein Antialiasingfilter mit einer Grenzfrequenz von  $55$  MHz, sodass alle Signale von  $0$  bis  $55$  MHz ungefiltert vom HF-Eingang zum ADC gelangen. Zur Ermittlung seines NPRs muss deswegen mit einer Rauschbandbreite von mindestens  $0...55$  MHz gearbeitet werden (**Bild 4**). Das Ergebnis der NPR-Messung zeigt sich im Spektrum des ColibriNANO.



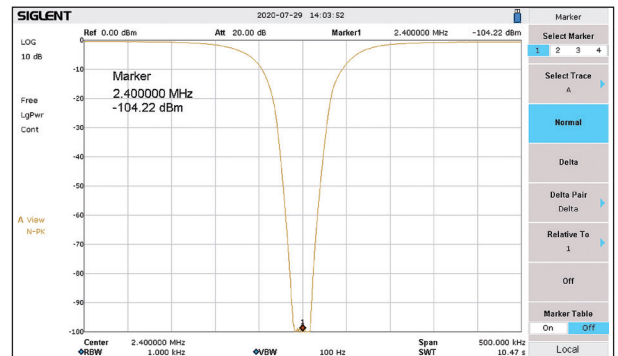
**Bild 4: NPR-Messung am ColibriNANO**



**Bild 5: ColibriNANO mit BRF = 55 MHz, NPR = 49 dB**



**Bild 2: Rauschsignale des SDG6022X**



**Bild 3: 2,4-MHz-Notchfilter, Übertragungskurve**

Bei  $P_{TOT} = -23$  dBm/55 MHz bzw.  $-73$  dBm/500 Hz erreicht der ColibriNANO ein maximales NPR von 49 dB (**Bild 5**). Settings ColibriNANO: Filter 500 Hz (CW), MDS  $-122$  dBm/500 Hz, Attenuation 0 dB, Preamp off,  $f_s = 122,88$  MHz, Antialiasingfilter  $f_B = 55$  MHz  
Berechnung:  
 $NPR = -23$  dBm  $- 10\lg(55 \text{ MHz}/500 \text{ Hz}) - -122$  dBm = 49 dB

## Was passiert, wenn ich die Rauschbandbreite verkleinere?

Bei Rauschreduzierung um Faktor 10, also von  $0...55$  auf  $0...5,5$  MHz, müsste sich das NPR theoretisch um  $10\lg(55 \text{ MHz}/5,5 \text{ MHz}) = 10$  dB vergrößern, obwohl die Rauschleistung in beiden Fällen  $-23$  dBm beträgt.

**Bild 6** zeigt anhand des ColibriNANO, dass dies auch messbar ist ( $NPR = 59$  dB). Berechnung:  
 $NPR = -23$  dBm  $- 10\lg(5,5 \text{ MHz}/500 \text{ Hz}) - -122$  dBm = 59 dB

Theorie und Praxis stimmen also überein. Doch welches NPR stimmt denn jetzt, 49 dB oder 59 dB? Im Prinzip stimmen beide Werte. Aber ein NPR von 59 dB ist unrealistisch, weil der Empfänger eine Bandbreite von  $0$  bis  $55$  MHz besitzt und nicht bei  $5,5$  MHz aufhört! Der korrekte NPR des ColibriNANO beträgt deswegen 49 dB. Den Zusammenhang von NPR und Rauschbandbreite zeigt die Kurve in

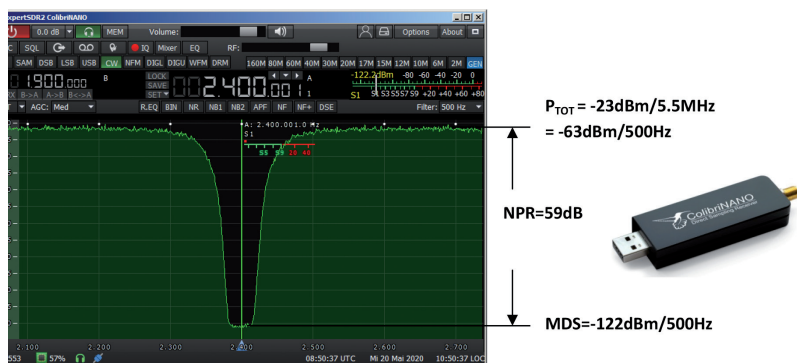


Bild 6: ColibriNANO mit BRF = 5,5 MHz, NPR = 59 dB

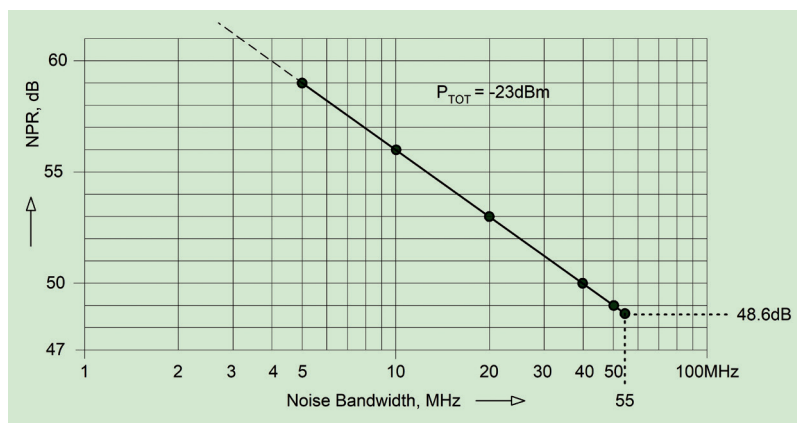


Bild 7 (rechts): NPR des ColibriNANO in Abhängigkeit der Rauschbandbreite

Bild 8 (unten): NPR-Messung am IC-7300

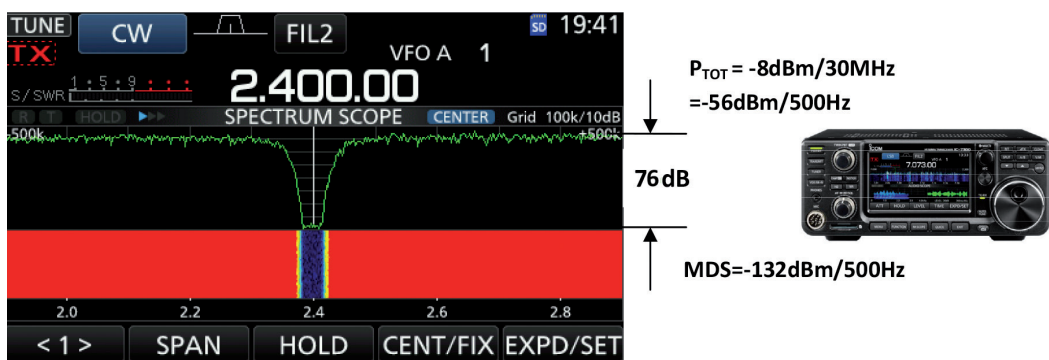
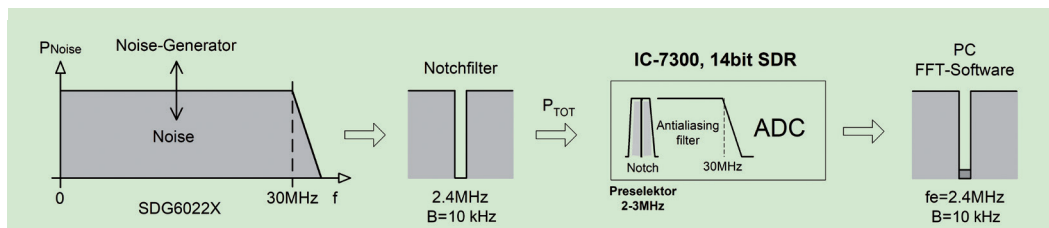


Bild 9: IC-7300, NPR = 76 dB

Bild 7. Bei Verdopplung der Rauschbandbreite fällt das NPR um 3 dB ( $10\log 2$ ) ab. Das bestätigen auch die Messungen laut Tabelle 1. Die Rauschleistung ( $P_{TOT}$ ) beträgt in allen Messpunkten  $-23$  dBm.

### NPR-Messung an Empfängern mit Vorselektion

Hochwertige SDR-Receiver, z.B. der Perseus oder der IC-7300 besitzen Frontend-Filter, die den Empfänger vor starken Signalen außerhalb der eingestellten Empfangsfrequenz schützen

sollen. Im Messbeispiel verwende ich den IC-7300 mit insgesamt zehn Preselektoren im HF-Eingang. Wird der Empfänger auf 2,4 MHz abgestimmt, schaltet er automatisch das passende Bandpassfilter in seinen Eingang, sodass nur noch ein Rauschsignal mit 1 MHz Bandbreite zum ADC gelangt. Der Rauschgenerator ist bei dieser Messung auf 0...30 MHz Bandbreite eingestellt (Bild 8). Eine Rauschbandbreite von 0 bis 5 MHz würde zur NPR-Messung zwar genügen, wäre aber nicht praxisorientiert,

denn der Empfänger hört ja bei 5 MHz nicht auf, zu empfangen, sondern erst bei 30 MHz. Deswegen sollte die verwendete Rauschbandbreite 0...30 MHz betragen. Mit  $P_{TOT} = -8$  dBm/30 MHz =  $-56$  dBm/500 Hz entsteht ein maximales NPR von 76 dB (Bild 9).

Settings IC-7300: Filter 500 Hz (CW), MDS  $-132$  dBm/500 Hz, Attenuation 0 dB, Preamplifier off

Berechnung:

$$NPR = -8 \text{ dBm} - 10\log(30 \text{ MHz}/500 \text{ Hz}) - (-132 \text{ dBm}) = 76 \text{ dB}$$

Bei NPR-Messungen an Empfängern mit Preselektoren bestimmen allein die Frontend-Filter, welche Rauschbandbreite der Empfänger (der ADC oder 1. Mischer) verarbeiten muss. Im Beispiel ist es nur ein schmales Rauschband von 2 bis 3 MHz, woraus sich dann ein relativ guter NPR von 76 dB ergibt.

Führt man die gleiche Messung mit einem Notchfilter bei 14 MHz durch, schaltet der IC-7300 automatisch einen Preselektor für 10...15 MHz in seinen Eingang und das resultierende NPR wird sich um ca.  $10\log(5 \text{ MHz}/2 \text{ MHz}) = 4$  dB verschlechtern. Weiterhin kann eine nicht ausreichende IM-Festigkeit des jeweils aktivierten Preselektors das NPR negativ beeinflussen.

### Zusammenfassung

Bei NPR-Messungen an Empfängern sollte die verwendete Rauschbandbreite an den Empfangsbereich des zu testenden Empfängers angepasst werden. Ein Empfänger mit einem Empfangsbereich von 0 bis 30 MHz (LP-Filter bei 30 MHz) sollte mit einer Rauschbandbreite von ebenfalls 0 bis 30 MHz beaufschlagt werden, egal, welche Selektionsfilter in seinem HF-Eingang eingebaut sind. Wird der NPR mit kleinerer Rauschbandbreite gemessen, kann daraus ein „zu guter“ NPR resultieren, der nicht mehr relevant ist.



### Literatur und Bezugsquellen

- [1] Adam Farson, AB40J: „Noise Power Ratio (NPR) Testing of HF Receivers“, [www.ab4oj.com/test/docs/npr\\_test.pdf](http://www.ab4oj.com/test/docs/npr_test.pdf)
- [2] OE2HKL, NPR Messplatz (Rauschgenerator), [www.oe3hkl.com/hf-measurements/npr-messplatz-rauschgenerator.html](http://www.oe3hkl.com/hf-measurements/npr-messplatz-rauschgenerator.html)
- [3] Walt Kester: Noise Power Ratio, [www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-005.pdf](http://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-005.pdf)
- [4] Werner Schnorrenberg, DC4KU: SDG6022X-Test, [https://dc4ku.darc.de/SDG6022X-Test\\_DC4KU.pdf](https://dc4ku.darc.de/SDG6022X-Test_DC4KU.pdf)