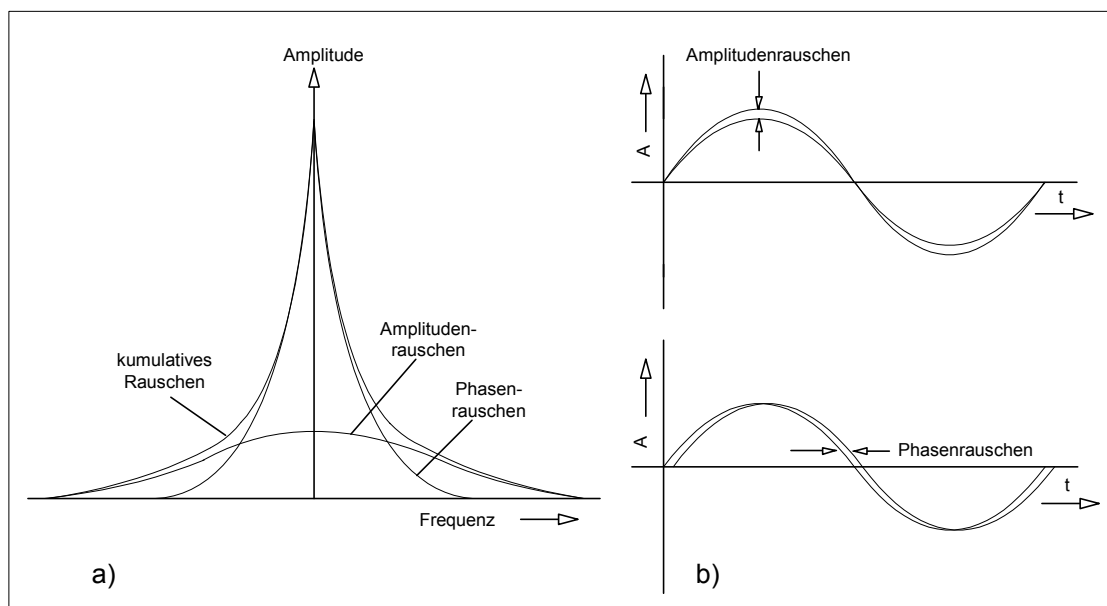


## Seitenbandrauschen von Sendern (TX-SBN)

Bei der Vorstellung eines neuen Transceivers, wird in der Regel hauptsächlich über die Eigenschaften des Empfängers berichtet, über das verbesserte RMDR, BDR oder dessen Großsignalverhalten. Bei der Prüfung des Senders, geht es meist nur um die erzeugte Intermodulation, Splattern oder Störungen durch CW-Tastklicks. Dass ein Sender aber auch Seitenbandrauschen erzeugt und dadurch benachbarte Empfänger im gleichen Band stören kann, darüber wurde bisher kaum berichtet. Nachfolgend untersuche ich das Seitenbandrauschen von Transmittern und zeige dessen Wirkung auf räumlich dicht benachbarte Empfänger.

### Seitenbandrauschen

Im Frequenzbereich wird Phasenrauschen in Form von Rauschseitenbändern rechts und links vom Träger sichtbar (**Bild 1**). Neben Phasenrauschen wirkt sich auch Amplitudenrauschen auf eine "Verbreiterung" des beanspruchten Signalspektrums aus. FM- und AM-Rauschen zusammen, bezeichnet man als kumulatives Seitenbandrauschen (SBN, Side Band Noise). Bei Empfängern besteht das Seitenbandrauschen bis zu einigen 100kHz praktisch nur aus Phasenrauschen und das AM-Rauschen ist vernachlässigbar klein. Obwohl beim Senden und Empfangen der gleiche Oszillator benutzt wird, produzieren manche Sender trotzdem ein relativ großes und breitbandiges Seitenbandrauschen, welches die Empfindlichkeit benachbarter Empfänger negativ beeinflussen kann.

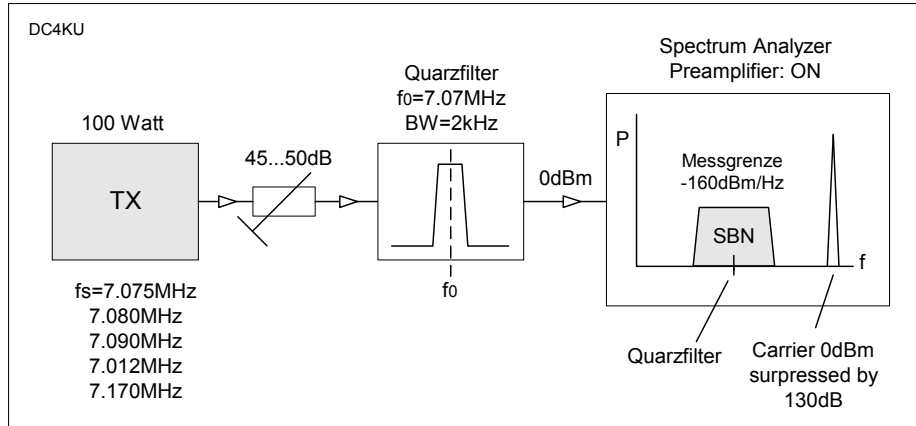


**Bild 1: Phasen- und Amplitudenrauschen eines Oszillatorsignals im a) Frequenzbereich und b) Zeitbereich**

### Messung des TX-SBN

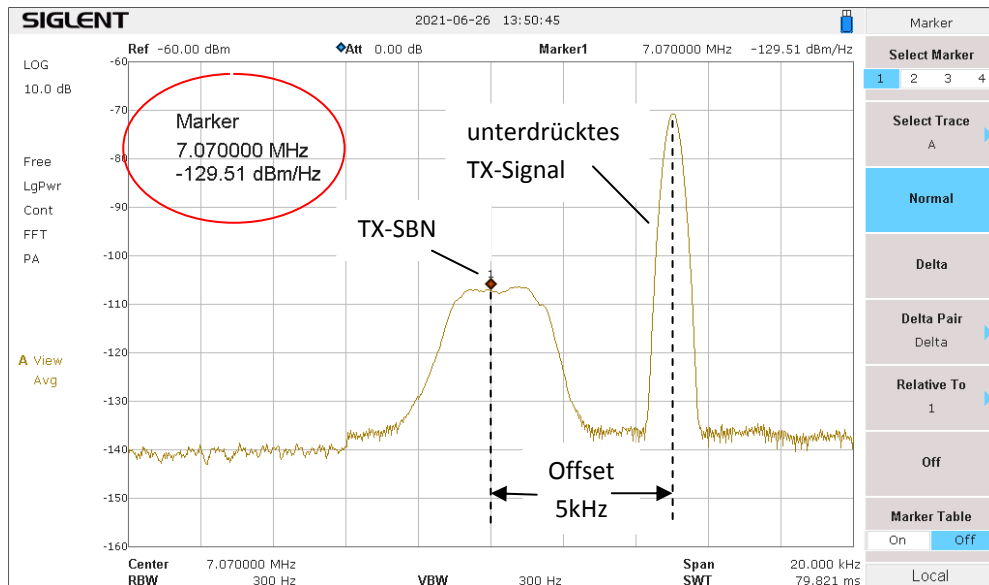
Zunächst muß das 100 Watt CW-Signal des Senders über einen Abschlußwiderstand mit Auskopplung auf 10mW (+10dBm) reduziert werden, so dass der angeschlossene Spektrum Analysator nicht übersteuert wird (**Bild 2**). Hinter dem Dämpfungsglied befindet sich ein schmalbandiges und steiflankiges 7.070MHz Quarzfilter. Der Analysator wird auf die die Mittenfrequenz des Filters abgeglichen und der Senders auf einen definiertem Abstand dazu, auf  $f_s = +5\text{kHz}$  (7.075MHz),  $+10\text{kHz}$  (7.08MHz),  $+20\text{kHz}$  (7.09MHz),  $+50\text{kHz}$  (7.12MHz) und

+100kHz (7.17MHz). In diesen Abständen wird das Sendesignal durch die Sperrdämpfung des Quarzfilters nochmals um 80dB unterdrückt (**s. Bild 7**), also auf insgesamt 130dB. Lediglich im Durchlaßbereich des Quarzfilters, wird das Rauschen dämpfungsfrei übertragen. Erst jetzt kann der Analysator auf seine höchst mögliche Empfindlichkeit von -160dBm/Hz eingestellt werden, mit 0dB Dämpfung im HF-Eingang und eingeschaltetem +20dB Vorverstärker.



**Bild 2: Messaufbau für SBN-Messungen an Sendern**

Als Beispiel zeigt **Bild 6** die SBN-Messung an einem 100 Watt TX, bei einem Offset von 5kHz und **Tabelle 1** das ermittelte SBN in Abständen von 5 bis 100kHz.



**Bild 3: SBN-Messung in 5 kHz Offset zum Träger bei Pa=100 Watt, SBN = -129.5dBm/Hz**

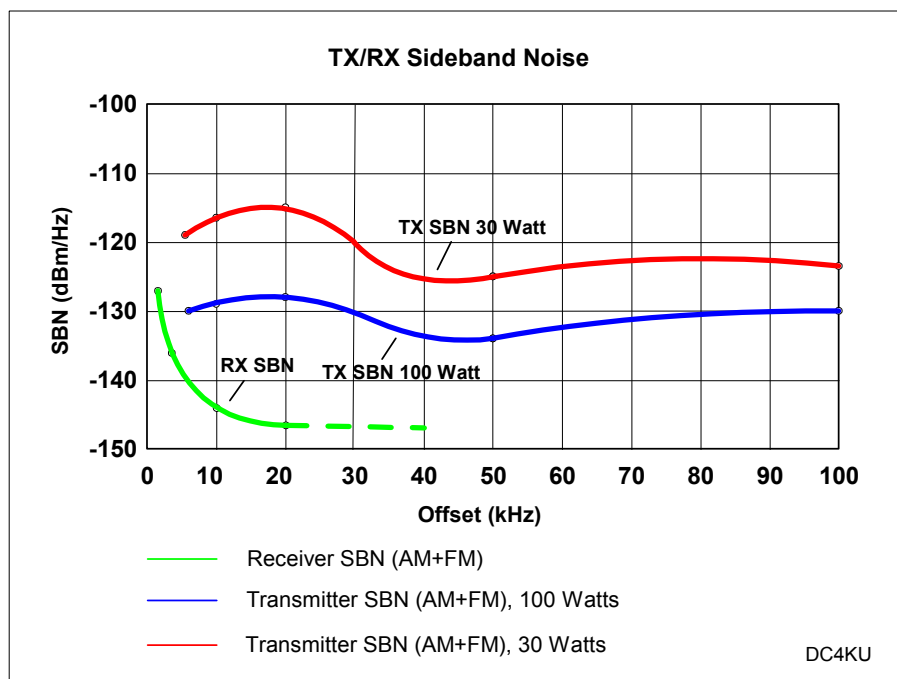
Offset (kHz)	5	10	20	50	100
SBN (dBm/Hz)	-136	-140	-142	-142	-143

**Tabelle 1: Kumulatives SBN (AM + FM) im Abstand von 5 bis 100kHz zum Träger**

Die Grafik in **Bild 4** und **Tabelle 2** zeigt das Seitenbandrauschen des Senders in Abständen bis 100kHz vom Träger, bei 30 und 100 Watt Ausgangsleistung. Zum besseren Vergleich, habe ich den SBN-Verlauf des Empfängers mit eingezeichnet (grün Kurve). Erst jetzt wird deutlich erkennbar, wie relativ stark das SBN des Senders ist. Dieser Effekt tritt bei den meisten

Transceivern auf, egal von welchem Hersteller. Das Sendesignal durchläuft mehrere Stufen im Transmitter, bis es z.B. 100 Watt Leistung am Ausgang erreicht hat. Bei der breitbandigen Signalverstärkung schleicht sich offenbar eine AM-Modulation mit ein, welches das kumulative SBN über einen größeren Frequenzbereich anhebt.

In diesem Zusammenhang ist interessant, dass das SBN bei großer Leistung geringer ausfällt, als bei kleiner Leistung.



**Bild 4: SBN-Verlauf des Empfängers (grün) und des Senders (blau und rot)**

Offset kHz	Pa=100W SBN, dBm/Hz	Pa = 30 W SBN, dBm/Hz
5	-130	-118
10	-129	-116
20	-127	-115
50	-133	-123
100	-130	-123

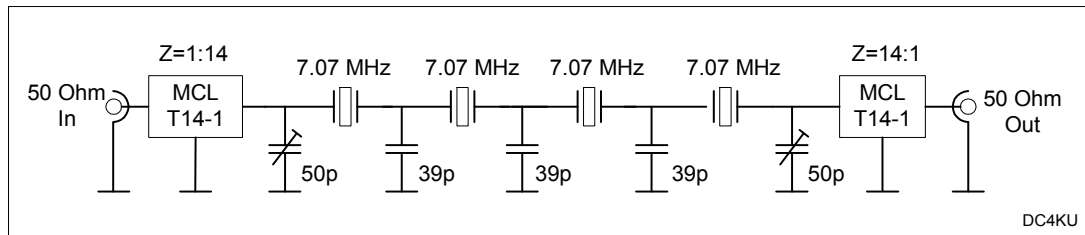
**Tabelle 2: SBN in Trägerabständen von 5 kHz bis 100 kHz**

Ein Spektrumanalysator zeigt nur kumulative Rauschen (Composite Noise) an, bestehend aus Phasen- (FM) und Amplitudenrauschen (AM). Ein professioneller Phase-Noise-Analyser kann hingegen das FM- und AM-Noise getrennt darstellen. Hierbei würde man deutlich sehen, dass das Phasenrauschen des Sendesignals relativ gering ist, das AM-Rauschen dafür aber ziemlich hoch.

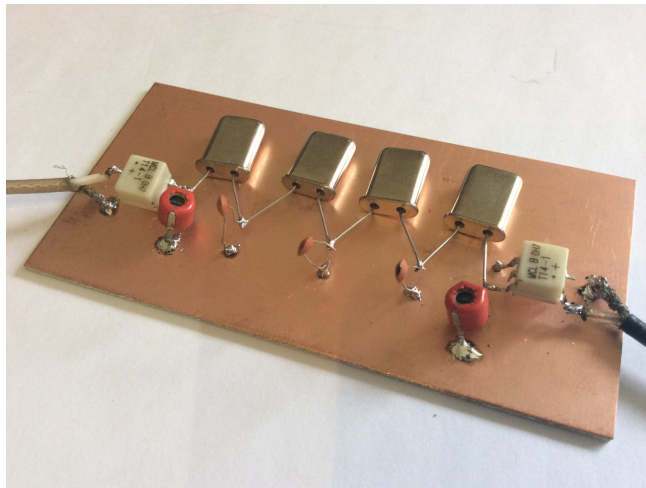
### Quarzfilter

Schaltplan und Aufbau des verwendeten Quarzfilters zeigt **Bild 4 und 5**. Es besteht aus vier 7.07 MHz Quarzen, einigen Kondensatoren, zwei Übertragern und hat eine Bandbreite von 2kHz. Auf der rechten Seite ist die Filterformkurve sehr steil und erreicht sehr früh eine

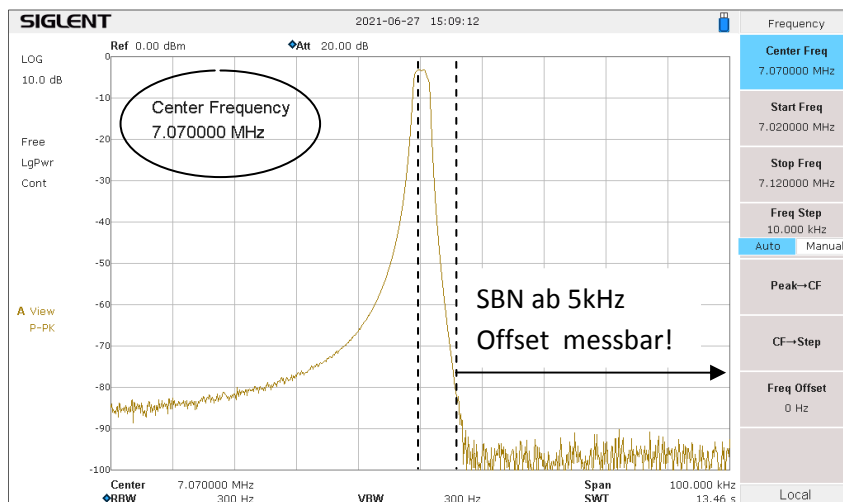
Dämpfung von 80dB. Auf dieser Seite, in Richtung höherer Frequenz, wird die SBN-Messung durchgeführt.



**Bild 5: 7.07MHz Quarzfilter Messungen im 40m-Band, Bandbreite 2kHz, Durchgangsdämpfung 3dB**



**Bild 6: Einfacher und schneller Aufbau des 7.07 MHz Quarzfilters**



**Bild 7: Filterformkurve,  $f=7.07\text{MHz}$ , Span 10kHz/Div**

### Was bewirkt das TX-SBN in der Praxis?

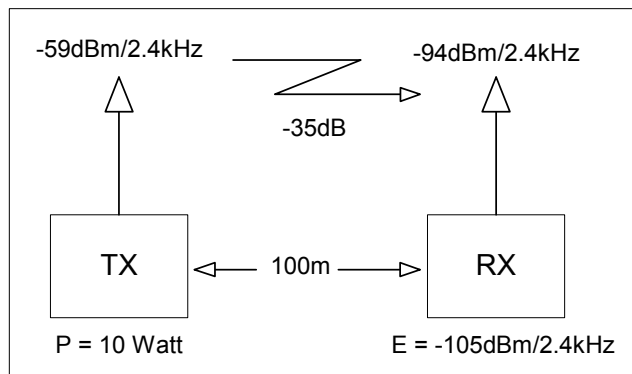
Ein 10 Watt Sender im 40m-Band produziert in 100kHz Abstand zum Nutzsignal (SSB oder CW) ein SBN von  $-133\text{dBm/Hz}$  (s. Bild 9). Bezogen auf eine Bandbreite von 2.4 kHz (SSB) und 10 Watt Leistung, produziert der Sender in den Modulationsspitzen ein TX-SBN von  $P_{\text{SBN}} = -133\text{dBm} + 34\text{dB} + 40\text{dB} = -59\text{dBm}/2.4\text{kHz}$ . Dieses Rauschen wird zusammen mit dem Nutzsignal von der Antenne abgestrahlt.

Befindet sich in einer Entfernung von 100m ein OM, der auf dem gleichen Band (Field Day)

unterwegs ist und versucht ein QSO in 100 kHz Abstand zu fahren, empfängt er das breitbandige Rauschen des Senders mit einem Pegel von

$$P_N = -59\text{dBm}/2.4\text{kHz} - \text{Freiraumdämpfung } (1/r^2) = -59\text{dBm}/2.4\text{kHz} - 35\text{dB} = -94\text{dBm}/2.4\text{kHz}.$$

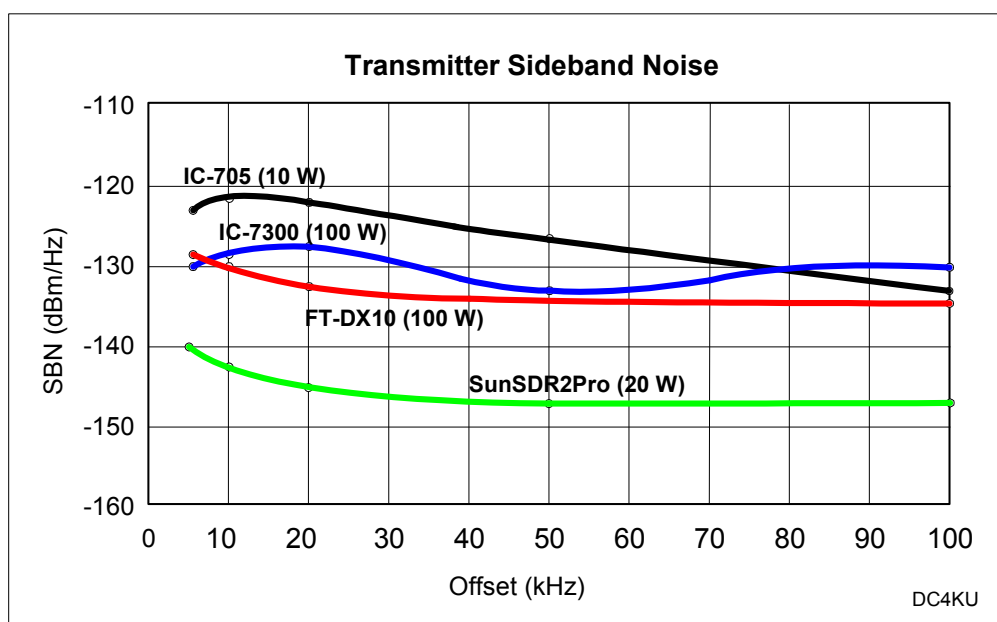
Hierbei sei angenommen, dass beide Antennen einen Gewinn von 0dB haben. Da die Empfindlichkeit des Empfängers auf 40m bei angeschlossener Antenne ca.  $-105\text{dBm}/2.4\text{kHz}$  (Residential Noise) beträgt, wird diese durch das Rauschen des Sendesignals um bis zu 11dB desensibilisiert und kleine Signale können eventuell zugedeckt und nicht mehr empfangen werden. Dies hat mit Blocking nichts zu tun!



**Bild 8: Beeinflussung eines Empfängers durch TX-SBN**

Produziert der TX in 100kHz Trägerabstand aber nur ein SBN von z.B.  $-146\text{dBm}/\text{Hz}$ , reduziert sich das Rauschen am Standort des Empfängers um 13dB auf  $-107\text{dBm}/2.4\text{kHz}$  und der Empfang wird nicht mehr gestört.

Das Sender-Seitenbandrauschen des Icom IC-705, Icom IC-7300, Yaesu FT-DX10 und SunSDR2Pro zeigt **Bild 9**.



**Bild 9: Sender-Seitenbandrauschen einiger moderner Transceiver**

### Zusammenfassung

Das TX-SBN ist sehr breitbandig und kann ein gesamtes Band abdecken. Unter "normalen"

Bedingungen fällt das Seitenbandrauschen eines Senders aber nicht auf, weil die Entfernung und die damit die Freiraumdämpfung zwischen den Stationen meist groß ist. In 10km Entfernung dürfte ein starkes TX-SBN nicht mehr bemerkbar sein. Hier ist dann nur noch die Großsignalfestigkeit von Bedeutung, wo man sich mit Preselectoren im Empfängereingang helfen kann. Bei TX-Seitenbandrauschen bietet ein Preselector keinen Schutz!

Werner Schnorrenberg  
DC4KU  
14.07.2021, Rev. 26.08.2021

## Literatur

**(1) Messung von Oszillator-Phasenrauschen bis -170dBc/Hz, DC4KU**

<https://dc4ku.darc.de/Messung-Phasenrauschen.pdf>

**(2) Messung des Seitenbandrauschens von Empfängern und Oszillatoren, DC4KU**

<https://dc4ku.darc.de/Messung-Seitenbandrauschen.pdf>

**(3) Leistung-Umrechnung, Freiraumdämpfung**

<http://funknetzplanung.com/powerberechnung.php>

**(4) Clean up our Transmitters, NC0B**

QST November 2019

**(5) TX NOISE, DJ0IP**

<https://www.dj0ip.de/transceivers/tx-noise/>