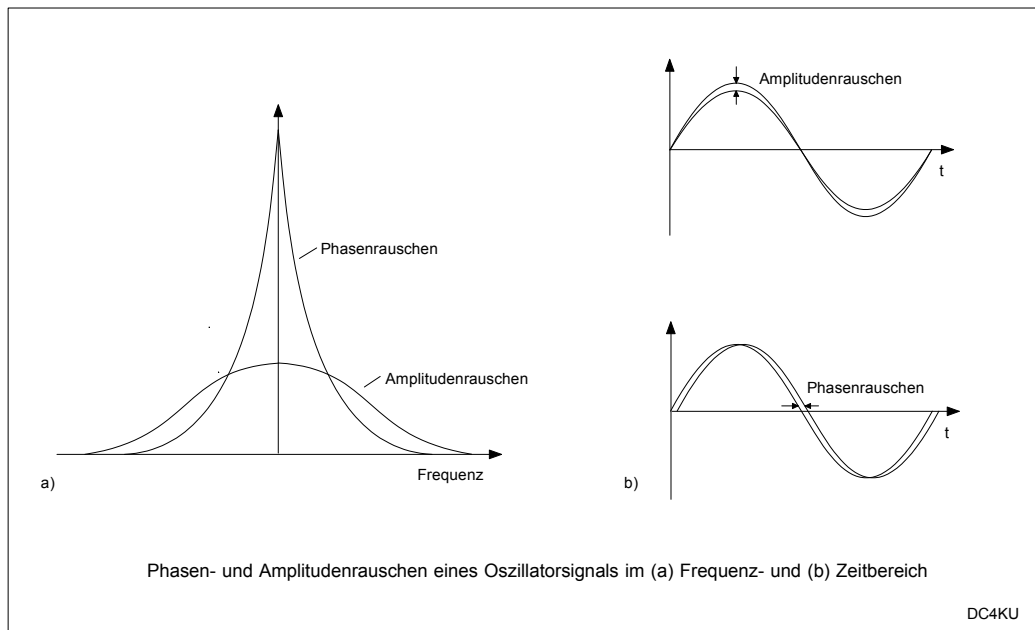


## Messung des Seitenbandrauschen (SBN) eines SSB-Empfängers

### 1. Phasen- und Amplitudenrauschen

Kein elektronisches Bauteil ist frei von stochastischem Rauschen. Auch jeder Oszillator endlicher Güte und Bandbreite erzeugt durch Rauschen Frequenzabweichungen, welche die Phasencharakteristik des Oszillators beeinflusst. Im Frequenzbereich wird Phasenrauschen als Rauschseitenbänder rechts und links vom Träger sichtbar (1). Neben Phasenrauschen wirkt sich auch Amplitudenrauschen auf eine Verbreiterung des Signals aus. Im Trägerabstand von bis zu 100kHz besteht das Seitenbandrauschen jedoch praktisch ausschließlich aus Phasenrauschen (Bild 1).



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

Starkes SBN eines VFO's kann ein kleines Signal in Nachbarschaft eines starken Signals „zudecken“ und den Empfänger „taub“ machen. Beim Mischvorgang moduliert sich das Oszillator-Seitenbandrauschen 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 Filterselektion, Filterflankensteilheit und Empfindlichkeit vom Phasenrauschen des Oszillators zugerauscht werden (Bild 2). Eine weitere Quelle starken Seitenbandrauschens kann durch Vervielfachung ( $n$ ) von Oszillatorfrequenzen ( $f_0 \times n$ ) entstehen. Hierbei ist zu beachten, dass das Phasenrauschen des mit  $n$  multiplizierten Oszillatorsignals um das Maß  $20 \log n$  ansteigt.

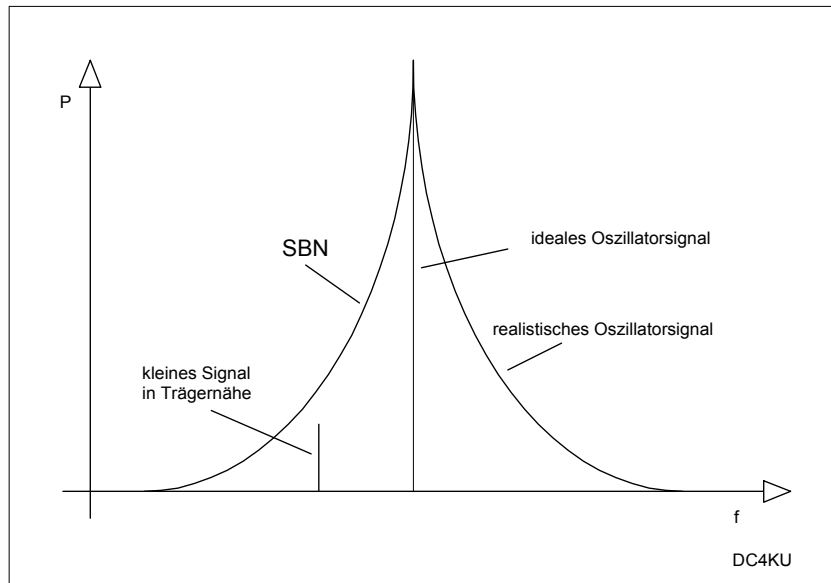
### 2. In welchem Maß reduziert das Phasenrauschen die Dynamik des Empfängers?

Egal, mit welchem Oszillator gearbeitet wird, bei großsignalen Empfangssystemen stellen sich ganz besondere Forderungen hinsichtlich des Seitenbandrauschens, wie folgende Betrachtung aufzeigen soll. Angenommen sei, der KW-Empfänger besitzt einen  $IP_3$  von +30dBm und eine Grenzempfindlichkeit von  $S = -128$ dBm bei 2,4kHz-SSB-Rauschbandbreite (2). Hieraus resultiert ein maximaler Eingangspegel für intermodulationsfreien Empfang von

$$P_{\text{emax}} = 1/3 (2 \times IP_3 + S) = -23 \text{ dBm} (S9+50\text{dB})$$

und ein  $IM_3$ -freier Dynamikumfang von

$$\text{Dynamikbereich} = P_{\text{emax}} - S = -23\text{dBm} - (-128\text{dBm}) = 105 \text{ dB}$$



**Bild 2: Dynamikreduktion durch Oszillator-Seitenbandrauschen**

Ebenso wie Grundrauschen (Random Noise) wird das SBN in Leistung/Bandbreite (dBm/Hz) angegeben oder als Leistungsverhältnis zum Pegel des Trägersignals, in der Einheit dBc/Hz (dBc = dB bezogen auf carrier). Um gleiche Bezugsverhältnisse beim Vergleich verschiedener Oszillatoren in definierten Abständen zum Träger zu erhalten, bezieht man die Ergebnisse grundsätzlich auf eine theoretische Rauschbandbreite von 1 Hz.

Bei vorgegebenem max. Eingangspegel ( $P_{\text{emax}}$ ) und Grenzeempfindlichkeit ( $S$ ) lässt sich nun berechnen, wie groß das Seitenbandrauschen des Oszillators in einem definiertem Abstand von z.B. 10 kHz zum Trägersignal maximal sein darf, um gerade den gleichen Pegel, wie den des Empfängergrundrauschens zu erreichen und damit kleine Signal noch nicht zu blockieren (3, 4).

$$\text{SBN} = S - P_{\text{emax}} - B_k$$

$$\text{SBN} = -128 \text{ dBm} - (-23 \text{ dBm}) - 34 \text{ dB} = -139 \text{ dBm/Hz in 10 kHz Abstand zum Träger}$$

$S$	Grenzeempfindlichkeit des Empfängers = -128 dBm,
$P_{\text{emax}}$	maximaler $\text{IM}_3$ -freier Eingangspegel = -23 dBm
$B_k$	Bandbreitenkorrektur des Auflösungsfilters bei 2,4 kHz: $10\text{Log}2400 = 34\text{dB}$

Nach dieser Berechnung sollte das SBN des VFO's bei Empfang eines -23 dBm starken (rauschfreien) Signals im Abstand von 10 kHz nicht größer als -139 dBm/Hz sein, wobei eine Desensibilisierung des Empfängers um 3 dB hier schon stattfindet. Generell ist für einen guten Empfänger zu fordern, dass seine maximale ohne Zustopfen verarbeitbare Eingangsleistung im Abstand von 10 kHz mindestens 10 dB über der oberen Dynamikgrenze liegt.

Demnach sollte der VFO des o. a. Empfängers ein SBN von -150 dBm/Hz in  $\Delta f=10\text{kHz}$  nicht überschreiten.

### 3. Messung des Oszillator-Seitenbandrauschens

Zur Messung des Seitenbandrauschens verwendet man den gleichen Messaufbau wie zur Empfindlichkeitsmessung des Empfängers, nämlich die sog. „3 dB-Methode“ (3) (**Bild 3**). Das Testsignal ( $P_e$ ) wird über einen Eichteiler (0-60dB) an den Eingang des Empfängers gelegt und die Empfangsfrequenz in Betriebsart SSB auf  $f_e + 10$  kHz eingestellt. Am NF-Ausgang wird ein NF-Wechselspannungs-Effektivwertmesser, ideal mit logarithmischer Skalierung, angeschlossen. Die Schaltung zur Generierung eines quasi rauschfreien Testsignals gibt **Bild 4** wieder. Das Grundrauschen wird mit dem Lautsprecher-Poti soweit angehoben, bis sich auf dem Zeigerinstrument ein ablesbarer Wert einstellt (relativer Bezugspunkt: 0 dB). Anschließend wird der Pegel ( $P_e$ ) des Testsignals von  $-30$  dBm ausgehend soweit erhöht, bis durch die Zunahme des Rauschens der Zeiger des Voltmeters um 3 dB (Faktor  $1,414 = 20 \log U_2/U_1 = 3\text{dB}$ ) angestiegen ist.

Im Beispiel erfolgte dies bei  $P_e = -10\text{dBm}$ . Das SBN erreicht bei diesem Pegel den Wert des Grundrauschens ( $-128$  dBm), d.h. ein rauschfreies  $-10\text{dBm}$ -Signal desensibilisiert die Empfindlichkeit des Empfänger bei dieser Frequenz gerade um 3 dB.

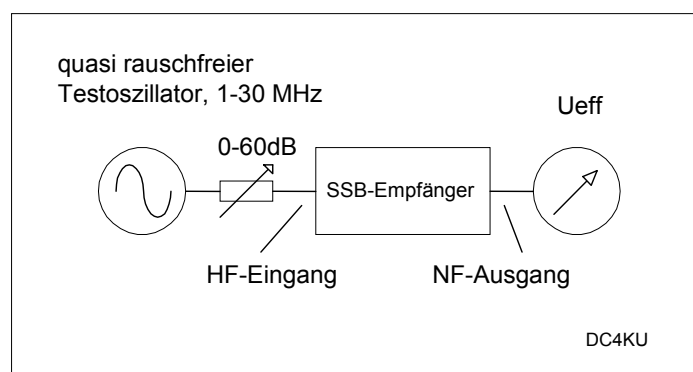
Das SBN berechnet sich nach dem Beispiel in 2.) zu:

$$\text{SBN} = S - P_e - B_k$$

S	Grenzeempfindlichkeit des Empfängers = $-128$ dBm in 2,4 kHz SSB-Bandbreite
$P_e$	Eingangspegel des Testoszillators für 3 dB Desensibilisierung ( $P_e = -10\text{dBm}$ )
$B_k$	Bandbreitenkorrektur des Auflösungsfilters bei 2,4 kHz: $10\log 2400 = 34\text{dB}$

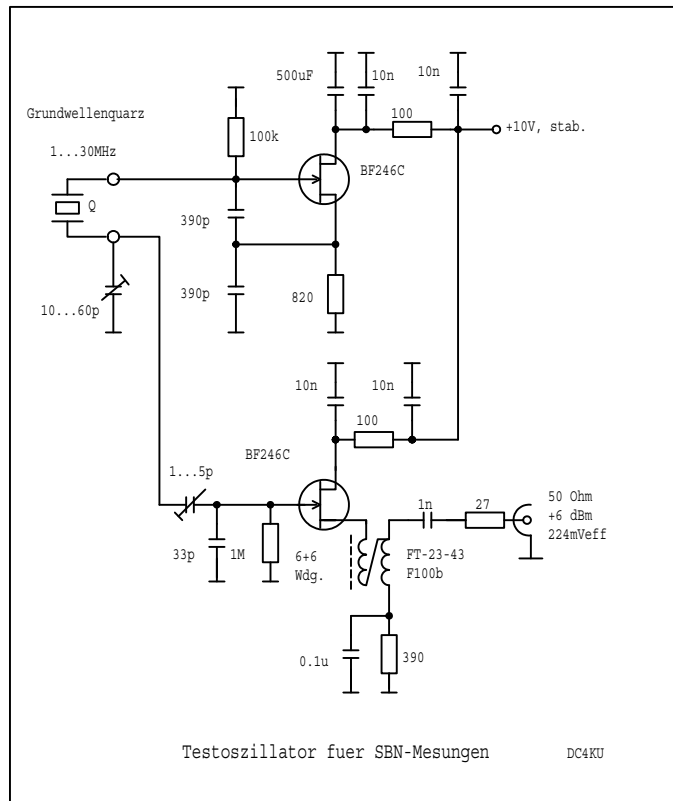
$$\text{SBN} = -128 \text{ dBm} - (-10 \text{ dBm}) - 34 \text{ dB} = -152 \text{ dBm/Hz in } \Delta f = 10 \text{ kHz vom Träger}$$

Bei größeren Entfernungen  $\Delta f$  vom Träger wird das SBN dann Punkt für Punkt durchgemessen (3) und grafisch aufgetragen (Vorsicht bei Pegel von  $>0\text{dBm}$ !). **Bild 5** zeigt das Ergebnis von SBN-Kurven verschiedener Oszillatoren.

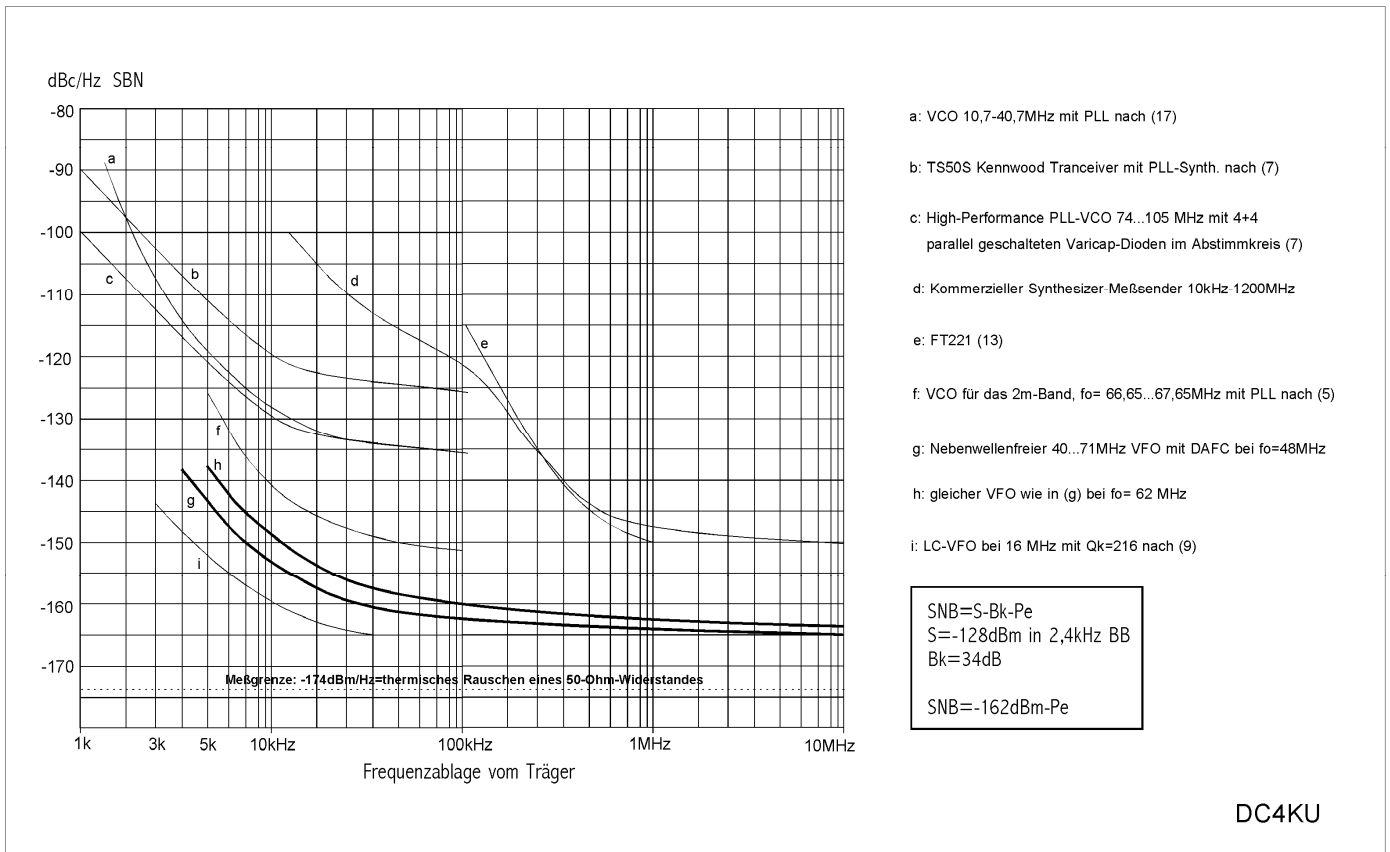


**Bild 3: Messaufbau für Seitenband-Rauschmessungen**

Bei guten Empfängern sollte die bis zur Desensibilisierung (Zustopfen) verarbeitbare Eingangsleistung ( $P_e$ ) im Trägerabstand von  $f=1\text{kHz}$  mindestens den Wert der oberen Aussteuergrenze ( $P_{e\text{max}}$ ) erreichen, bei dem die ersten Intermodulationsstörungen ( $\text{IM}_3$ ) auftauchen. Ansonsten bestimmt das SBN das Großsignalverhalten des Empfängers. Ein Vorteil der hier beschriebenen Meßmethode ist, dass das SBN des gesamten Empfängers mit allen Umsetzungs-Oszillatoren erfasst wird, wobei im Regelfall der 1. Lokaloszillator (VFO) maßgeblich für das SBN verantwortlich ist. Vorsicht ist geboten bei hohen Signalpegeln von bis zu  $0\text{dBm}$  (1 mW) und darüber, da durch Übersteuerung (Blocking, 1 dB-Kompression) eventuell Messfehler auftreten können. Außerdem muss das Quarzfilter über ausreichende Flankensteilheit und Weitabselektion verfügen.



**Bild 4: Testoszillator mit quasi rauschfreiem Signal für SBN-Messungen**



**Bild 5: Seitenbandrauschen verschiedener Oszillatoren**

**Literatur:**

- (1) CQ-DL 12/1976 Rauscharmer Oszillator, S. 418-421, Michael Martin
- (2) CQ-DL 7/2000 u. 8/2000: „Großsignalfestes und empfindliches HF-Eingangsteil“, S. 482-485 u. S. 578-579, Werner Schnorrenberg
- (3) Mikrowellen & HF-Magazin 2/1990, Rauschmessungen, S149-155, W. Schnorrenberg
- (4) CQ-DL 5/91, Messung nichtlinearer Verzerrungen, S. 183-185, Werner Schnorrenberg
- (5) UKW-Berichte 2/85, PLL-Oszillator, Seitenbandrauschen, S. 74-76, Joachim Kestler
- (6) CQ-DL 4/93, Messung kritischer Spezifikationen eines Empfängers, S. 128-130, Werner Schnorrenberg

Werner Schnorrenberg, DC4KU  
dc4ku@darc.de