

Messung von Rauschmaß und Empfindlichkeit eines Empfängers

Die Empfindlichkeit eines SSB/CW-Empfängers lässt sich mit Hilfe eines HF-Generators oder Rausch-Generators ermittelt (**Bild 1**). Beide Generatoren werden so eingestellt, dass sich die Rauschleistung am NF-Ausgang des Empfängers um +3dB anhebt. Wird die Empfindlichkeit über ein CW-Signal ermittelt, bezeichnet man das Ergebnis als **MDS (Minimum Decernible Signal, kleinstes detektierbare Signal)**. Wird ein Rauschgenerator verwendet, misst man anstelle der Empfindlichkeit das **Rauschmaß (Noise Figure, NF)** des Empfängers.

Beide Messergebnisse sind autark und haben im Prinzip nichts miteinander zu tun. Versucht man z.B. aus der Empfindlichkeit das Rauschmaß (oder umgekehrt) zu berechnen entstehen Fehler, wie nachfolgend gezeigt wird.

Ermittlung der Empfindlichkeit (MDS, Minimum Decernible Signal)

Hierzu den Empfänger mit einem HF-Generator verbinden, auf den NF-Überlagerungston (ca. 1kHz) abgleichen und den HF-Pegel soweit reduzieren, bis die Spannung am RMS-Voltmeter nur noch um Faktor $\sqrt{2} = 1,414$ ansteigt, z.B. von zuvor 0,1 Volt auf 0,1414 Volt, es gilt $(S+N)/N=2$ (**Bild 1**).

Im Lautsprecher ist der Überlagerungston jetzt kaum noch hörbar. Beim IC-7300 erfolgte das bei einer Signalstärke von -125dBm mit einer gewählten SSB-Bandbreite (-3dB) von 2,4kHz. An einem FFT-Analysator (**Bild 2**) ist das +3dB CW-Signal allerdings gut zu erkennen. Die SSB-Empfindlichkeit (MDS) des IC-7300 bei $f=7,1\text{MHz}$ beträgt demnach:

MDS = -125dBm, bezogen auf eine Auflösungsbandbreite von $B=2,4\text{kHz}$

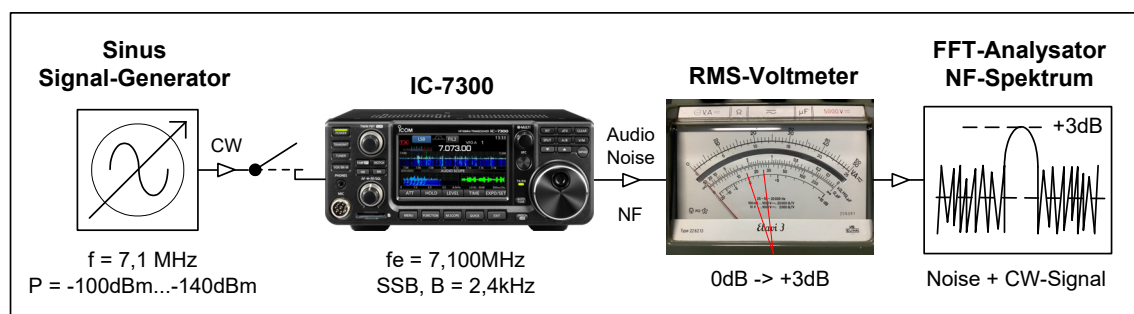


Bild 1: Empfindlichkeit eines SSB-Empfängers

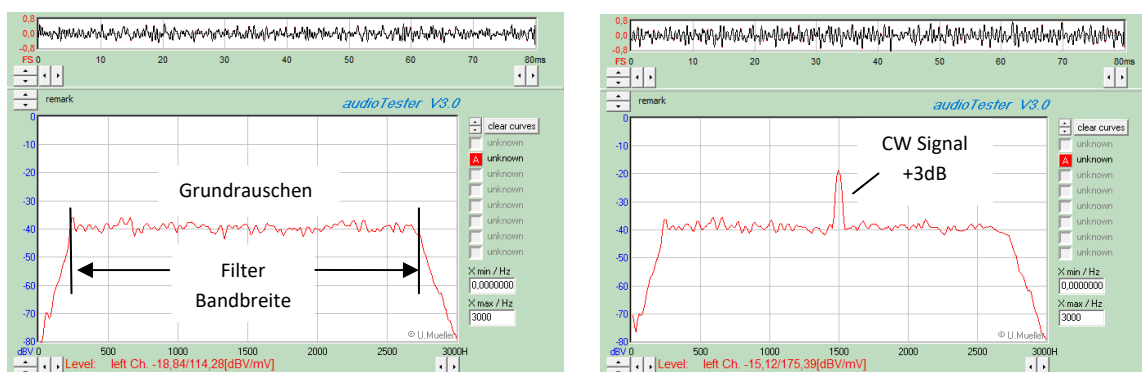


Bild 2: FFT-Analyse des NF-Rauschsignals (links) und mit +3dB CW-Signal (rechts)

Zusammenfassung:

Die MDS-Messung ist sehr einfach durchzuführen, weil hierzu lediglich ein im Pegel einstellbarer HF-Generator erforderlich ist. Das Ergebnis ist abhängig von der gewählten Auflösungsbandbreite (B) des Empfängers. Je kleiner die Bandbreite, umso größer die Empfindlichkeit, wie umgekehrt. Deswegen muss bei Benennung der Empfindlichkeit immer die Bandbreite (B) mit angegeben werden! Das MDS (ARRL) wird im Regelfall mit der kleinsten Auflösungsbandbreite ermittelt, z.B. mit $B=500\text{Hz}$.

Ermittlung des Rauschmaßes (F_{dB}) und Noise Figure (NF)

Zur Ermittlung der Rauschzahl (F) benötigt man einen kalibrierten Rauschgenerator, der ein im Pegel einstellbares weisses Rauschband von z.B. 0-10MHz erzeugt. Den Empfänger auf $f=7,1\text{MHz}$, SSB, $B=2,4\text{kHz}$ einstellen und den Pegel des Rauschgenerators so einstellen, dass die Spannungsanzeige des RMS-Voltmeter am Audio-Ausgang um Faktor $\sqrt{2}=1,414$ von z.B. 0,1Volt auf 0,1414Volt ansteigt oder auf der logarithmischen Skala des Voltmeters von 0dB auf +3dB (20log1.414 = 3dB) (**Bild 3**).

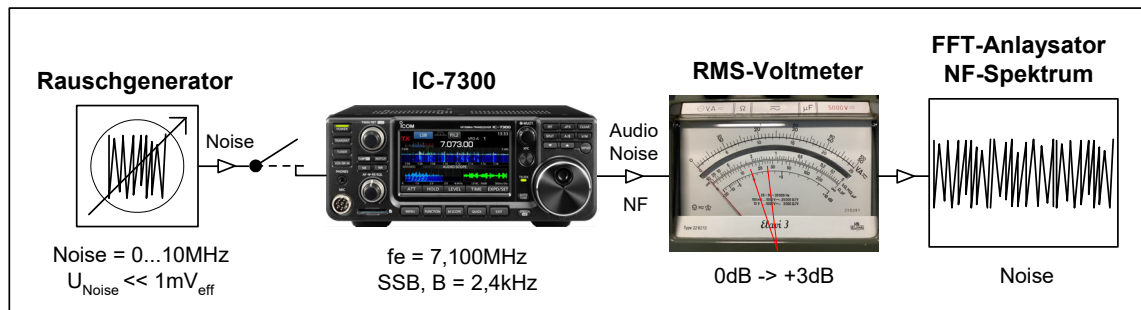


Bild 3: Rauschmaß eines SSB-Empfängers

Da die Rauschbeiträge von Empfänger und Rauschgenerator unkorreliert sind, addieren sich ihre Leistungen linear und die gesuchte äquivalente Eingangsrauschleistung entspricht somit der vom Generator gelieferten Rauschleistung. Schaltet man einen FFT-Analysator (0...3kHz) an den NF-Ausgang des Empfängers (**Bild 4**), lässt sich der +3dB Anstieg des NF-Rauschens innerhalb des Auflösungsfilters deutlich erkennen.

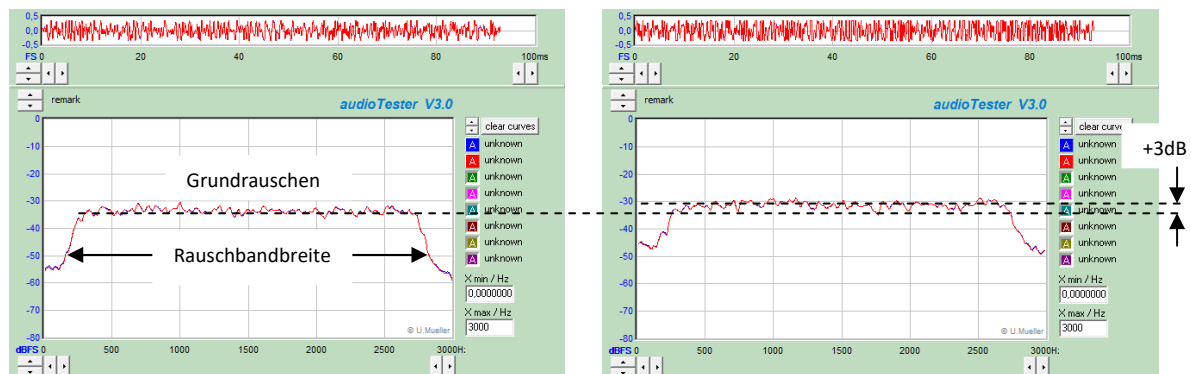


Bild 4: FFT-Analyse des NF-Rauschsignals (links) und mit +3dB Rauschen (rechts)

Beim IC-7300 erfolgte das bei einem angelegten Rauschpegel (0-10MHz) von

$$P_{\text{Noise}} = -88\text{dBm} \quad (U_{\text{eff}} = 9\mu\text{V})$$

Bezogen auf eine theoretische Rauschbandbreite von 1Hz ergibt sich eine Rauschpegel von

$$P_{\text{Noise}} = -88\text{dBm} - 10\lg 10.000.000 = -158\text{dBm/Hz}$$

Das resultierende Rauschmaß (F_{dB}) des Empfängers, ergibt sich aus der Differenz von eingespeister Rauschleistung -158dBm/Hz zum Rauschgrenzwert von -174dBm/Hz

$$\text{Rauschmaß } (F_{dB}) = \text{Noise Figure (NF)} = -158\text{dBm/Hz} - (-174\text{dBm/Hz}) = 16\text{dB}$$

entsprechend einer Rauschzahl (F) von

$$\text{Rauschzahl (F)} = 10^{\text{Rauschmaß}/10} = 10^{16/10} = 40$$

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

16dB bzw. Faktor 40 zwischen dem Eingang und Ausgang des Empfängers.

Zusammenfassung:

Da es sich um eine Vergleichsmessung handelt, brauchen die Werte der Rauschbandbreite nicht bekannt zu sein, da sie sich bei der Berechnung heraus kürzen. Sind beide Seiten von den gleichen Fehlereinflüssen betroffen, heben sie sich diese gegenseitig auf. Eine solche Rauschmessung ist sehr genau und bedarf keiner Korrektur!

Kalkulation zwischen Rauschmaß und Empfindlichkeit

Über die bekannte Gleichung „ $NF = MDS + 174dBm/Hz - 10\log B$ “ lässt sich das Rauschmaß oder das MDS berechnen, wenn eines von beiden bekannt ist. Mit einem MDS von -125dBm und $B=2,4kHz$ ergibt sich demnach eine Rauschmaß von

$$F_{dB} = MDS + 174dBm/Hz - 10\log B = -125dBm + 174dBm - 10\log 2,4kHz = 15,2dB$$

Dieses Resultat ist jedoch falsch, es müssten **16dB** sein! Der Grund liegt darin, dass zur Berechnung des Rauschmaßes die „Rauschbandbreite“ des 2,4kHz-Auflösungsfilters verwendet werden müsste. Der Pegel des Empfänger-Grundrauschens wird stets über die „effektive Rauschbandbreite“ des verwendeten Auflösungsfilters erfasst, welche der Bandbreite eines „idealen Rechteckfilters äquivalenter Fläche“ entspricht (**Bild 4**) und von der -3 bzw. -6dB Bandbreite im Regelfall abweicht.

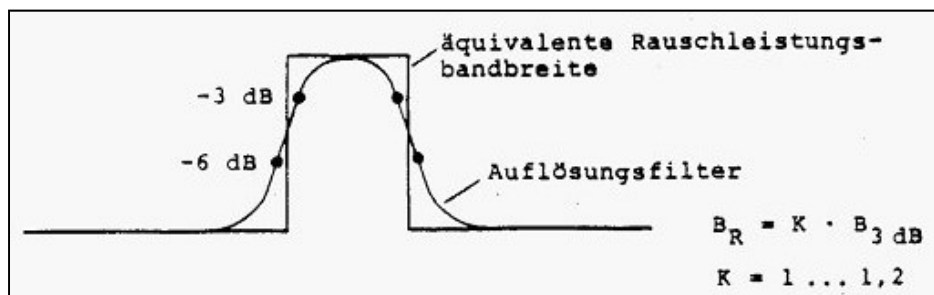


Bild 4: Äquivalente Rauschbandbreite des Auflösungsfilters

Bei der Berechnung des Rauschmaßes müsste deswegen unter „B“ die „Rauschbandbreite“ des Auflösungsfilters eingetragen werden, die jedoch meist nicht bekannt ist. Entspricht die Rauschbandbreite z.B. dem 1,2-fachen Wert der -3dB-Bandbreite von $B=2.4kHz$, ergibt sich schon eine Differenz von $10\log 2.88kHz/2.4kHz = 0,8dB$.

Auf Kurzwelle werden solche kleinen Berechnungsfehler meist „übersehen“ oder toleriert, im VHF/UHF-Bereich dürfte das schon anders sein.

Werner Schnorrenberg

DC4KU

03.09.2023, Rev. 11.11.2023, 13.12.2023