

# Bestimmung der rauschbegrenzten Empfindlichkeit von FM-Empfängern mit Antennenbuchse, gemäß IEC 60315-4, DIN IEC 60315-4, TGL200-7041 und TGL8836

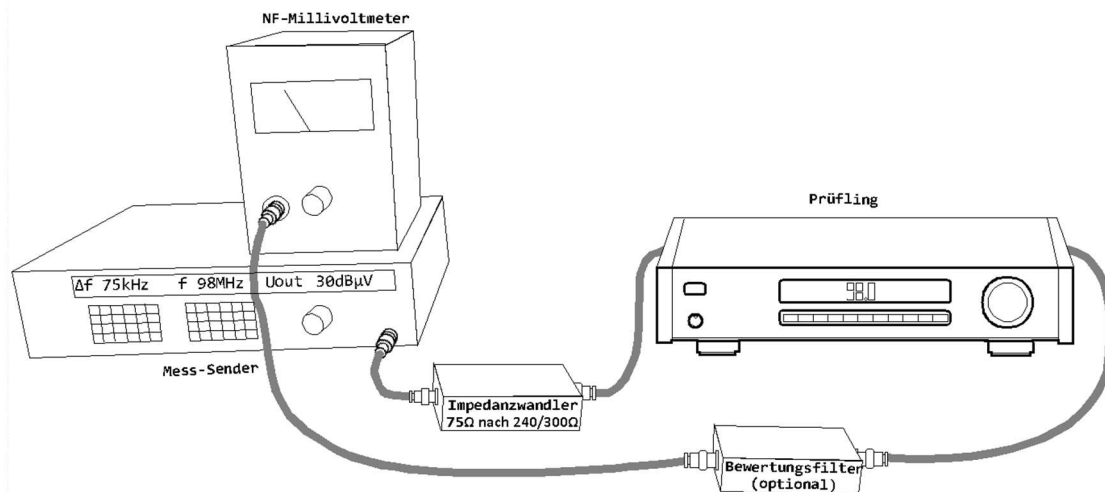
Dieses Verfahren dient zur Überprüfung der vom Produktentwickler definierten Empfangseigenschaften. Durch Vergleich mit der Spezifikation können Defekte, Abgleichfehler und Alterung nachgewiesen werden. Auch die Gegenüberstellung der Empfangseigenschaften von Geräten unterschiedlicher Hersteller ist möglich.

Im Gegensatz zu AM-Empfängern, denen ein Netz von Sendestationen mit großer Reichweite und Feldstärke zur Verfügung steht, ist bei FM die Reichweite der Sender auf maximal 200km begrenzt. Um eine weit entfernte Station in akzeptabler Qualität empfangen zu können, ist ein erheblicher Antennenaufwand erforderlich. Das setzt sich fort bei der Antennenleitung bis hin zum Empfängereingang. Gängiges Mittel ist hier die Leistungsanpassung. Alle beteiligten Elemente haben die gleiche Impedanz, so wird die maximal mögliche Empfangsleistung erreicht. In der Vergangenheit bei symmetrischer Signalübertragung waren 300Ω der Standard, heute kommt für den Heimbereich fast ausnahmslos das Koaxialkabel mit 75Ω zum Einsatz.

Als Signalquelle dient ein HF-Generator mit einer genau einstellbaren Ausgangsspannung zwischen  $0,1\mu\text{V}_{\text{EMF}} \dots 100\text{mV}_{\text{EMF}}$  entsprechend  $-20\text{dB}\mu\text{V}_{\text{EMF}} \dots 100\text{dB}\mu\text{V}_{\text{EMF}}$ . EMF steht für die Leerlaufspannung ohne Terminierung. Der Frequenzbereich muss mindestens von 88-108MHz reichen, um den UKW-Bereich abzudecken. Der Generator muss  $\Delta f = \pm 75\text{kHz}$  frequenzmodulierbar sein. Die Modulationsfrequenz beträgt 1kHz und ist Bedingung für die Nutzung eines Hörkurvenfilters. Sofern nur mit 1kHz Modulation gearbeitet wird, ist keine senderseitige Pre-Emphasis notwendig. Der Innenwiderstand des Generators muss bekannt sein und soll zwischen 50...75Ω liegen. Zusätzlich sollte der Generator einen Stereo-Modulator besitzen, so lassen sich auch die Stereo-Empfangseigenschaften bestimmen. Die Signalpegelanzeige sollte in  $\text{dB}\mu\text{V}_{\text{EMF}}$  erfolgen.

An Tunern oder Kofferempfängern mit Dioden- bzw. Demodulatorausgang wird die rauschbegrenzte Empfindlichkeitsmessung bevorzugt. Dieses Verfahren wird in dieser Anweisung näher beschrieben.

## Messaufbau



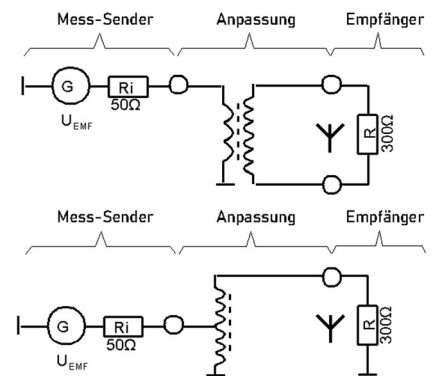
**Antennenanpassung:** Bei älteren Empfängern mit 240Ω oder 300Ω Antenneneingang ist zur Anpassung des Messsenders an den Empfänger ein Impedanzwandler notwendig. Dieser verdoppelt das Generatorsignal, um am 300Ω Empfängereingang die gleiche Hochfrequenzleistung zu erzielen wie an einem 75Ω Gerät.

75Ω Empfänger benötigen am 50Ω Generator keinen Impedanzwandler. Versuche zeigten, dass selbst mit einem hochwertigen Impedanzwandler geringster Einfügedämpfung von 0,1dB keine höhere Empfangsempfindlichkeit erreichbar ist. Voraussetzung hierfür ist ein kurzes hochwertiges Koax-Kabel.

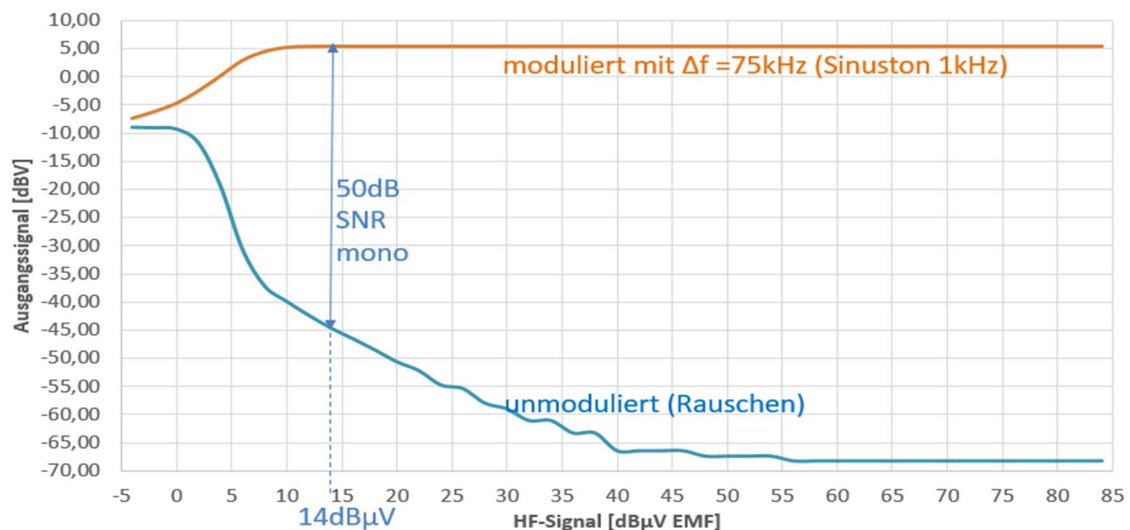
Die Dämpfung des verwendeten Impedanzwandlers muss bekannt sein. Sie wird in dB angegeben und ist vom Generatorsignal abzuziehen, damit mit der tatsächlichen Hochfrequenzleistung am Empfängereingang gerechnet wird. Ebenso haben Messungen bewiesen, dass gewöhnliche 75Ω Antennenleitungen teils starke Dämpfungen von bis zu 10dB haben. Auch diese Dämpfung ist vom Generatorsignal abzuziehen. Die Leitung zum Generator sollte darum so kurz wie möglich sein.

- $R_i$  Innenwiderstand des Generators 50Ω
- $R$  Eingangsimpedanz des Empfängers 300Ω
- $U_{EMF}$  Leerlaufspannung des Generators in V

Bei symmetrischen Antenneneingängen hat sich die Trafovariante (oberes Bild) bewährt. Wird stattdessen ein Spartrafo wie im unteren Bild verwendet, dann kann es bei geerdetem Vorkreis vorkommen, dass die Eingangsempfindlichkeit von der Polung des Antennensteckers abhängt. Experimentell ist dann die Polung mit der größten Empfindlichkeit zu wählen.



Charakteristik eines Rundfunkempfängers: Misst man abhängig vom HF-Signal den Audio-Pegel und das Rauschen, dann erhält man das folgende Diagramm. Daraus lässt sich die rauschbegrenzte Empfindlichkeit ablesen. Sie ist dann erreicht, wenn das Signal-Rauschverhältnis (SNR) den spezifizierten Wert von 50dB erreicht hat. Datenblattabhängig sind auch andere Rauschabstände wie z.B. 26dB oder 30dB möglich. Das vorliegende Diagramm wurde automatisiert an einem Tuner Revox B-260 mittels Leader 3216 aufgenommen.



Die Trägerfrequenz des Senders ist so zu wählen, dass sie auf der Hälfte des vom Receiver empfangbaren Frequenzbandes liegt, das sind 98MHz für Empfänger, die bis 108MHz reichen. Auf diese Frequenz ist auch der Empfänger abzustimmen. Bei der rauschbegrenzte Empfindlichkeit wird das Audiosignal vor der Endstufe, also im Niederpegelbereich untersucht. Hierfür ist die maximale Modulation  $m=100\%$  zu wählen. Das sind bei Mono-Betrieb  $\Delta f=\pm 75\text{kHz}$  und bei Stereo  $\Delta f=\pm 67,5\text{kHz}$  weil 10% der möglichen Modulation für den Pilotton benutzt werden.

Einige Hersteller geben in ihren Datenblättern eine Modulation  $m=30\%$  ( $\Delta f=\pm 22,5\text{kHz}$ ) oder  $\Delta f=\pm 40\text{kHz}$  zur Bestimmung der rauschbegrenzte Empfindlichkeit an. Um sowohl die Norm als auch die Herstellerangaben zu erfüllen, dürfen beide Modulationen in das Diagramm eingetragen werden. Natürlich ist bei  $m=100\%$  die rauschbegrenzte Empfindlichkeit besser, weil ein deutlich höherer Nutzpegel vorliegt. Dem trägt die Norm insofern Rechnung, indem sie für FM einen höheren  $\text{SNR}=50\text{dB}$  fordert. Die Modulation mit maximalem Frequenzhub hat zusätzlich den Nutzen, dass bei Klirrfaktorbetrachtungen der Maximalwert auch ohne Pre-Emphasis erreicht werden kann. Mit Pre-Emphasis würden der maximale Frequenzhub und der maximale Klirrfaktor erst bei 15kHz erreicht, mit diesem Verfahren wird er bereits bei 1kHz messbar.

Stereo: Im Diagramm werden die Empfindlichkeitskurven für Mono und Stereo gemeinsam eingetragen. Einige moderne Stereoempfänger besitzen eine feldstärkeabhängige Stereobasisbreitenregelung. Das bedeutet, dass bei schwachen Stereo-Sendern die Stereo-Anzeige im Empfänger bereits leuchtet, der Stereodecoder jedoch die Signale R und L mischt. Das verschlechtert den Stereo-Eindruck, senkt aber das Rauschen merklich. Bei der Messung würde dieser Empfänger scheinbar bessere Rauschabstände bei Stereo erreichen, obwohl es sich im ungünstigsten Falle um eine monofone Wiedergabe handelt. Hier sieht die Norm vor, dass die Signale für R und L im Messsender um  $180^\circ$  phasengedreht werden (Taste S drücken). Die Tonsignale löschen sich bei geringer Feldstärke und geringer Basisbreite teilweise oder vollständig aus und es muss eine höhere Senderleistung eingestellt werden, um das geforderte SNR zu erreichen. So gelingen realistische SNR-Messungen. Zur Erfassung der Mono Empfindlichkeit ist am Messsender die Taste M zu drücken und der Pilotton abzuschalten.

Störungen: Es können breitbandiges Rauschen, Pilottonreste und bei Messungen direkt über dem Lautsprecher zusätzlich Netzbrummen auftreten, darum wird ein [A-Bewertungsfilter \(Hörkurvenfilter\)](#) gemäß IEC60651-1 empfohlen. Akustisch nicht relevante Signalanteile werden dadurch entfernt und das Messergebnis verbessert sich.

Für die Empfindlichkeitsmessung ist eine Senderlücke in Bandmitte ohne Störungen zu nutzen. Störquellen wie Schaltnetzteile, LED-Leuchten aber auch ungenutzte Messgeräte sind auszuschalten. Der Störpegel sinkt dadurch hörbar.

Messung: Beginnend bei  $-10\text{dB}\mu\text{V}_{\text{EMF}}$  wird die HF-Eingangsspannung in 5dB Stufen bis auf  $80\text{dB}\mu\text{V}_{\text{EMF}}$  erhöht. Die Einstellwerte für verschiedene Messsender befinden sich im Anhang. Der koaxiale Empfängereingang ist zwar mit  $75\Omega$  angegeben, es herrscht jedoch keine Leistungsanpassung wie in der Messtechnik, es gibt auch keinen Abschlusswiderstand i.H.  $75\Omega$ . Stattdessen ist der Tuner Eingangskreis so bemessen, dass er an einer  $75\Omega$  Quelle die beste Empfangsleistung liefert. Da die frequenzabhängige Eingangsimpedanz des Tuners  $>75\Omega$  ist, repräsentiert die EMF realistischer die Tuner-Eingangsspannung.

Der Generator LEADER 3216 liefert bereits die angezeigten  $\text{dB}\mu\text{V}_{\text{EMF}}$  am Ausgang. Bei Rohde & Schwarz SMT und SML liegt der angezeigte  $\text{dB}\mu\text{V}$  Wert mit +6dB am Ausgang! Hier muss entweder ein Durchgangsterminator  $50\Omega$  aufgesteckt oder 6dB vom Anzeigewert abgezogen werden. Diese Maßnahme ist sehr wichtig, weil sonst der Empfänger um  $6\text{dB}\mu\text{V}$  zu gut bewertet wird!

Empfängerseitig kann es besonders bei hohen Feldstärken zu einer Verstimmung des Oszillators kommen. Bei manueller Messung ist die Frequenz dann jeweils so einzustellen, dass sich der maximale unverzerrte Audio-Pegel ergibt. Falls vorhanden, ist es besser mittels der Feldstärkeanzeige auf Maximum abzustimmen. Moderne Tuner mit einer digitalen Abstimmung sind nicht von diesem Effekt betroffen.

Die Angabe dBfW (Femtowatt) repräsentiert die Hochfrequenzleistung am Empfängereingang und berechnet sich aus der Hälfte der EMF und der Quellimpedanz. Durch Leistungsanpassung (Generatorinnenwiderstand = Lastwiderstand) halbiert sich die Spannung am Lastwiderstand. Die Einheit „dBfW“ ist allerdings veraltet, „ $\text{dB}\mu\text{V}_{\text{EMF}}$ “ wird üblicherweise verwendet.

Pro Eingangsspannungswert wird zunächst mittels RMS-Audiovoltmeter das Tonsignal in mV erfasst, dann ist die Modulation abzuschalten und es wird das Rauschen in mV gemessen. Das Rauschsignal muss nicht zwingend vom Nutzsignal subtrahiert werden, denn im interessanten Bereich ist der Rauschpegel so gering, dass er das Ergebnis nicht beeinflusst.

Falls sich die Herstellerangaben nicht erreichen lassen, sollte ein anderes Antennenkabel oder ein A-Bewertungsfilter verwendet werden. Bei Tunern hilft es häufig das Tonsignal nicht nur zu messen, sondern auch zu hören, um eine eventuelle Störung zu identifizieren. Auch kann abhängig von der Messmethode eine permanente Gleichspannung auf dem Signal das SNR verschlechtern.

Eine Klirrfaktormessung sollte separat erfolgen, denn häufig haben einfache Spektrumanalysatoren eine Störaussendung, welche das SNR verschlechtert.

Die Spannungswerte [V] lassen sich zur Darstellung im Diagramm einfach in einem Tabellenkalkulationsprogramm logarithmieren [dBV]:

$$=20*\text{LOG10}(\text{Tonspannung [V]}/\text{Bezugstonspannung [1V]})$$

Wertetabelle für verschiedene Messender:

Sender Einstellwerte		EMF [V]		P [dBfW]
LEADER 3216	R&S SMT / SML	EMF [μV]	EMF [mV]	P [dBfW]
EMF [dBμV]	U [dBμV]			
-10,0	-16,0	0,3	0,000	-3,0
-7,5	-13,5	0,4	0,000	-0,5
-5,0	-11,0	0,6	0,001	2,0
-2,5	-8,5	0,7	0,001	4,5
0,0	-6,0	1,0	0,001	7,0
2,5	-3,5	1,3	0,001	9,5
5,0	-1,0	1,8	0,002	12,0
7,5	1,5	2,4	0,002	14,5
10,0	4,0	3,2	0,003	17,0
12,5	6,5	4,2	0,004	19,5
15,0	9,0	5,6	0,006	22,0
17,5	11,5	7,5	0,007	24,5
20,0	14,0	10,0	0,010	27,0
22,5	16,5	13,3	0,013	29,5
25,0	19,0	17,8	0,018	32,0
27,5	21,5	23,7	0,024	34,5
30,0	24,0	31,6	0,032	37,0
32,5	26,5	42,2	0,042	39,5
35,0	29,0	56,2	0,056	42,0
37,5	31,5	75,0	0,075	44,5
40,0	34,0	100,0	0,100	47,0
42,5	36,5	133,4	0,133	49,5
45,0	39,0	177,8	0,178	52,0
47,5	41,5	237,1	0,237	54,5
50,0	44,0	316,2	0,316	57,0
52,5	46,5	421,7	0,422	59,5
55,0	49,0	562,3	0,562	62,0
57,5	51,5	749,9	0,750	64,5
60,0	54,0	1000,0	1,000	67,0
62,5	56,5	1333,5	1,334	69,5
65,0	59,0	1778,3	1,778	72,0
67,5	61,5	2371,4	2,371	74,5
70,0	64,0	3162,3	3,162	77,0
72,5	66,5	4217,0	4,217	79,5
75,0	69,0	5623,4	5,623	82,0
77,5	71,5	7498,9	7,499	84,5
80,0	74,0	10000,0	10,000	87,0