

Bestimmung der rauschbegrenzten Empfindlichkeit von AM-Empfängern mit Ferritantenne gemäß IEC 60315, DIN IEC 60315 und TGL 200-7041

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 Empfängern verschiedener Hersteller ist möglich.

Anders als bei Empfängern mit Anschluss für eine externe Antenne, erfolgt bei der Ferritantenne die Signaleinkopplung durch ein magnetisches Feld.

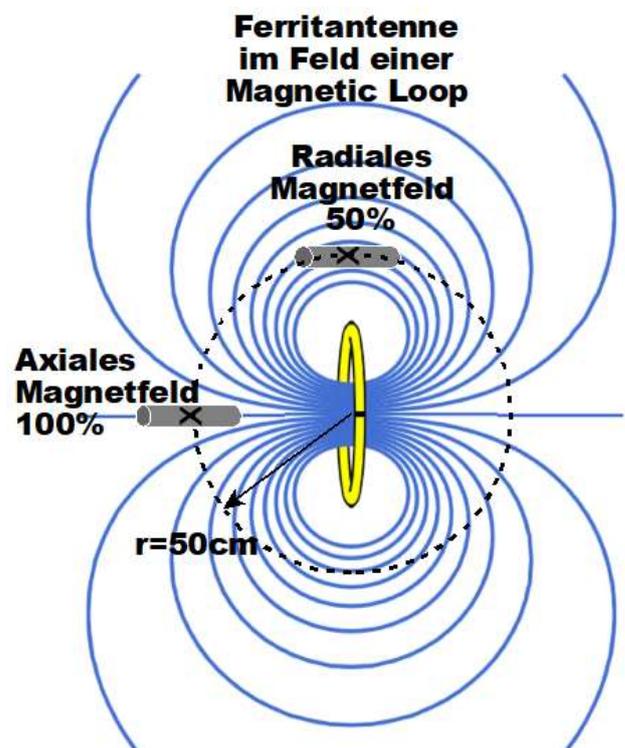
Als Signalquelle dient ein HF-Generator mit einer genau einstellbaren Ausgangsspannung zwischen 0,1mV...1000mV. Der Frequenzbereich muss mindestens von 100kHz – 3MHz reichen, um die Empfangsbereiche der Ferritantenne (Langwelle und Mittelwelle) abzudecken. Der Generator muss modulierbar sein. Der Amplituden-Modulationsgrad m soll 30% betragen. Die Modulationsfrequenz beträgt 1kHz und ist Bedingung für die Nutzung eines Hörkurvenfilters. Der Innenwiderstand des Generators muss bekannt sein und soll zwischen 50...75 Ω liegen.

Die Magnetfeldquelle ist eine Magnetantenne Schwarzbeck HFRA 5152 bzw. ein leicht selbst zu bauendes Äquivalent. Diese Antenne entspricht der in der Norm beschriebenen Magnetfeldquelle.

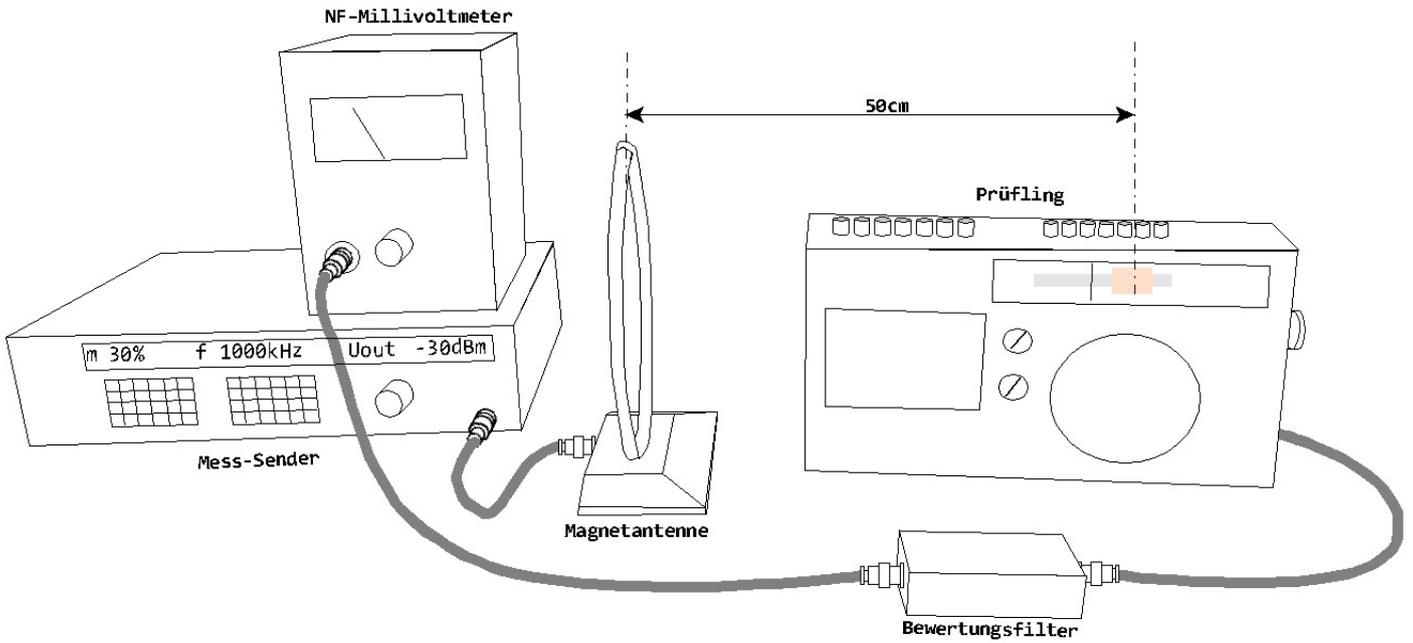
Aufbau der Magnetantenne: 3 Windungen CuL 0,8mm in einem 10-12mm dicken Kupfer- bzw. Aluminiumrohr, das zu einem im Mittel 25cm Durchmesser Ring gebogen ist, ohne dass sich die Rohr-Enden berühren. Die industrielle Magnetantenne besitzt an ihrem Fußpunkt einen 20 Ohm Widerstand mit einem Monitorausgang. Dieser Widerstand ist bei der Feldberechnung zu berücksichtigen. Obwohl es sich um eine Magnetfeldausendung handelt, wird das Feld üblicherweise als elektrisches Feld [V/m] angegeben. Die vorliegende Antenne wurde gemäß der Norm mit einem zusätzlichen diskreten ohmschen Widerstand von 330 Ω ergänzt. Das ist beim Selbstbau zu berücksichtigen, ansonsten stimmen die Pegelwerte im Anhang nicht.

Besonderheit des Messverfahrens: Die Norm beschreibt die Anordnung der Magnetantenne 50cm entfernt rechtwinklig vor oder hinter dem Empfänger in der Mitte der Ferritantenne. Siehe im Bild „Radiales Magnetfeld“ Diese Positionierung ist sehr robust im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse, denn ein Höhenunterschied oder eine geringe Mittenabweichung zwischen beiden Antennen ist unkritisch. Der Aufbau erfordert jedoch viel Platz in der Tiefe.

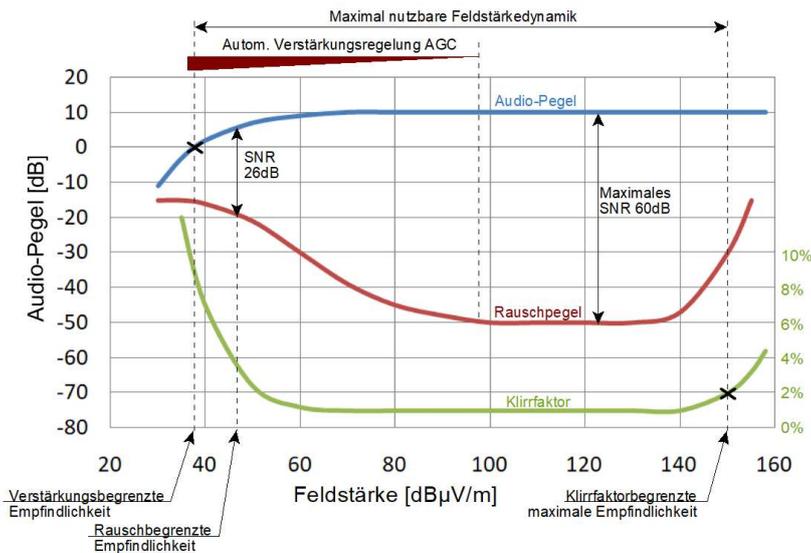
Platzsparender ist die Anordnung der Magnetantenne rechts oder links neben dem Empfänger, 50cm von der Mitte der Ferritantenne entfernt. Das axiale Magnetfeld ist zwar doppelt so groß wie das Radialfeld, wird aber in der Formel berücksichtigt. Bei dieser Positionierung sollen beide Antennen in der gleichen Höhe liegen. Dazu muss entweder der Empfänger oder die Sendeantenne höhenverstellbar sein. Für die Wertetabelle im Anhang wurde dieses Verfahren und ein Sender mit 50 Ω Innenwiderstand verwendet.



Messaufbau



Charakteristik eines Rundfunkempfängers: Nimmt man abhängig von der Signalfeldstärke den Audio-Pegel, das Rauschen und den Klirrfaktor auf, 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 26dB erreicht hat. Datenblattabhängig sind auch 10dB oder 20dB möglich.



Die maximale Feldstärkedynamik ist links begrenzt durch die verstärkungsbegrenzte Empfindlichkeit. Bei maximaler Lautstärke wird erst bei dieser Feldstärke 50mW Nutzsignal am Lautsprecher erreicht, das entspricht 0dB Audio-Pegel. Rechts ist sie durch den Klirrfaktor von 2% begrenzt. Da bei der Empfindlichkeitsmessung ein nennenswertes Rauschen, und bei Messungen direkt über dem Lautsprecher zusätzlich Netzbrummen auftreten kann, ist ein A-Bewertungsfilter (Hörkurvenfilter) notwendig. Akustisch nicht relevante Signalanteile werden entfernt und verbessern das Messergebnis.

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

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

Der Verstärkungs-Regelbereich AGC erstreckt sich links vom maximalen Rauschpegel und maximaler Verstärkung nach rechts bis zum Erreichen des minimalen Rauschpegels bei einer Signalfeldstärke von 104dBµV und minimaler Verstärkung. Sie hält den ZF-Pegel und damit die Lautstärke konstant. Wird durch weitere Erhöhung der Signalfeldstärke der AGC-Regelbereich überschritten, dann steigt die Lautstärke an.

Es ist unzulässig für die Rauschmessung am Mess-Sender den Träger abzuschalten. Zwar lassen sich scheinbar höhere Rauschabstände erreichen, diese Empfangssituation tritt in der Praxis jedoch nicht auf, denn jede Station sendet stets den Träger mit.

Rauschen bei schwachem Signal: ist ein normales Verhalten bei AM. Ohne Trägerfrequenz existiert im Empfänger nur die Oszillatorfrequenz und keine Mischprodukte, also auch keine Zwischenfrequenz 455kHz. Der schmalbandige ZF-Verstärker erhält selbst bei maximalem Gain nichts, was verstärkt und demoduliert werden könnte. Das ist das Verhalten in einer Senderlücke. Wird nun ein schwaches Trägersignal empfangen, das gerade aus dem Grundrauschen herausragt, dann entsteht die hoch verstärkte ZF als Mischprodukt welches durch das Rauschen amplitudenmoduliert wird und hinter dem Demodulator als Rauschen hörbar wird. Mit zunehmender Feldstärke wird die Verstärkung gesenkt und mit ihr das Rauschen.

Die Verstärkungsreserve von 10,5dB wird ausgeschöpft bei m=100%, die Lautstärke vergrößert sich entsprechend. Die Norm besagt, dass bei einer hohen Signalfeldstärke von 94dBµV und m=100% der Klirrfaktor nicht über 2% ansteigen darf.

Position der Ferritantenne: um den korrekten Abstand zwischen Sendeantenne und Empfangsspule einstellen zu können muss die Spulenposition im Empfänger bekannt sein. Ein Öffnen des Empfängers ist hierfür nicht notwendig. Bei einem geringen Feld von ca. 50dBµV/m und einer Modulation m=30% wird mit der Magnetantenne rechtwinklig über den Empfänger gefahren. Sobald die Lautstärke das Maximum erreicht, ist die Mitte der Empfangsspule gefunden und die Magnetantenne wird, wie in der Skizze 50cm entfernt von diesem Punkt aufgestellt. Wenn mehrere Wellenbereiche gemessen werden sollen, muss diese Prozedur für jeden Wellenbereich wiederholt werden, denn die Empfangsspulen liegen an verschiedenen Positionen auf dem Ferritstab.

Messung: Beginnend bei 110dBµV/m wird die Feldstärke in 5dB Stufen bis auf 40dBµV/m herabgeregelt. Die Einstellwerte für verschiedene Messsender befinden sich im Anhang. Empfängerseitig kann es besonders bei hohen Feldstärken zu einer Verstimmung des Oszillators kommen. Die Frequenz ist dann jeweils so einzustellen, dass sich der maximale Audio-Pegel ergibt. Pro Feldstärkewert wird zunächst das Tonsignal in mV erfasst, dann ist die Modulation abzuschalten (nicht der Träger) und es wird das Rauschen in mV gemessen. Beide Werte sind hinter einem Bewertungsfilter zu messen, sonst lassen sich die Herstellerangaben nicht erreichen. Falls eine Klirrfaktormessung gewünscht ist, sollte diese separat erfolgen, denn häufig haben Spektrumanalysatoren eine Störaussendung, welche das SNR verschlechtert.

Die Messwerte lassen sich am einfachsten in MS-Excel verarbeiten und logarithmisch darstellen. Nur die drei farblich hinterlegten Spalten sind auszufüllen, die übrigen Spalten und das Diagramm werden automatisch berechnet. Im Diagramm lässt sich dann die Feldstärke ablesen, bei der das SNR 26dB beträgt. Im Beispiel wird die Mindestempfindlichkeit bereits ohne Bewertungsfilter erreicht. (65dBµV/m bzw. -33dBm Signalpegel)

Tonsignal Rauschen Verzerrung

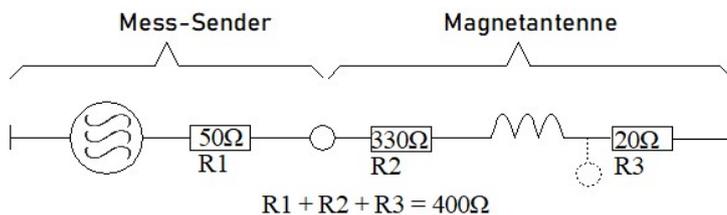


Sender Einstellwerte @ m=30			EMF [V]		Axiale Feldstärke nach EN300 330, Stützwerte in blau		
R&S AFGU	LEADER 3216	R&S SMT					
Uss [V] (@50Ω)	EMF [dBμV]	P [dBm] (@ 50Ω)	EMF [μV]	EMF [V]	E [mV/m] @ 50cm	E [dBμV/m]	E [dBV/m]
2,8217	126	13,0	1995262	1,99526	352,600	110,95	-9,05
2,5149	125	12,0*	1778279	1,77828	314,255	109,95	-10,05
2,2414	124	11,0	1584893	1,58489	280,080	108,95	-11,05
1,9976	123	10,0	1412538	1,41254	249,622	107,95	-12,05
1,7804	122	9,0	1258925	1,25893	222,476	106,95	-13,05
1,5868	121	8,0	1122018	1,12202	198,282	105,95	-14,05
1,4142	120	7,0	1000000	1,00000	176,719	104,95	-15,05
1,2604	119	6,0	891251	0,89125	157,501	103,95	-16,05
1,1233	118	5,0	794328	0,79433	140,373	102,95	-17,05
1,0012	117	4,0	707946	0,70795	125,107	101,95	-18,05
0,8923	116	3,0	630957	0,63096	111,502	100,95	-19,05
0,7953	115	2,0	562341	0,56234	99,376	99,95	-20,05
0,7088	114	1,0	501187	0,50119	88,569	98,95	-21,05
0,6317	113	0,0	446684	0,44668	78,937	97,95	-22,05
0,5630	112	-1,0	398107	0,39811	70,353	96,95	-23,05
0,5018	111	-2,0	354813	0,35481	62,702	95,95	-24,05
0,4472	110	-3,0	316228	0,31623	55,883	94,95	-25,05
0,3986	109	-4,0	281838	0,28184	49,806	93,95	-26,05
0,3552	108	-5,0	251189	0,25119	44,390	92,95	-27,05
0,3166	107	-6,0	223872	0,22387	39,562	91,95	-28,05
0,2822	106	-7,0	199526	0,19953	35,260	90,95	-29,05
0,2515	105	-8,0	177828	0,17783	31,426	89,95	-30,05
0,2241	104	-9,0	158489	0,15849	28,008	88,95	-31,05
0,1998	103	-10,0	141254	0,14125	24,962	87,95	-32,05
0,1780	102	-11,0	125893	0,12589	22,248	86,95	-33,05
0,1587	101	-12,0	112202	0,11220	19,828	85,95	-34,05
0,1414	100	-13,0	100000	0,10000	17,672	84,95	-35,05
0,1260	99	-14,0	89125	0,08913	15,750	83,95	-36,05
0,1123	98	-15,0	79433	0,07943	14,037	82,95	-37,05
0,1001	97	-16,0	70795	0,07079	12,511	81,95	-38,05
0,0892	96	-17,0	63096	0,06310	11,150	80,95	-39,05
0,0795	95	-18,0	56234	0,05623	9,938	79,95	-40,05
0,0709	94	-19,0	50119	0,05012	8,857	78,95	-41,05
0,0632	93	-20,0	44668	0,04467	7,894	77,95	-42,05
0,0563	92	-21,0	39811	0,03981	7,035	76,95	-43,05
0,0502	91	-22,0	35481	0,03548	6,270	75,95	-44,05
0,0447	90	-23,0	31623	0,03162	5,588	74,95	-45,05
0,0399	89	-24,0	28184	0,02818	4,981	73,95	-46,05
0,0355	88	-25,0	25119	0,02512	4,439	72,95	-47,05
0,0317	87	-26,0	22387	0,02239	3,956	71,95	-48,05
0,0282	86	-27,0	19953	0,01995	3,526	70,95	-49,05
0,0251	85	-28,0	17783	0,01778	3,143	69,95	-50,05
0,0224	84	-29,0	15849	0,01585	2,801	68,95	-51,05
0,0200	83	-30,0	14125	0,01413	2,496	67,95	-52,05
0,0178	82	-31,0	12589	0,01259	2,225	66,95	-53,05
0,0159	81	-32,0	11220	0,01122	1,983	65,95	-54,05
0,0141	80	-33,0	10000	0,01000	1,767	64,95	-55,05
0,0126	79	-34,0	8913	0,00891	1,575	63,95	-56,05
0,0112	78	-35,0	7943	0,00794	1,404	62,95	-57,05
0,0100	77	-36,0	7079	0,00708	1,251	61,95	-58,05
0,0089	76	-37,0	6310	0,00631	1,115	60,95	-59,05

0,0080	75	-38,0	5623	0,00562	0,994	59,95	-60,05
0,0071	74	-39,0	5012	0,00501	0,886	58,95	-61,05
0,0063	73	-40,0	4467	0,00447	0,789	57,95	-62,05
0,0056	72	-41,0	3981	0,00398	0,704	56,95	-63,05
0,0050	71	-42,0	3548	0,00355	0,627	55,95	-64,05
0,0045	70	-43,0	3162	0,00316	0,559	54,95	-65,05
0,0040	69	-44,0	2818	0,00282	0,498	53,95	-66,05
0,0036	68	-45,0	2512	0,00251	0,444	52,95	-67,05
0,0032	67	-46,0	2239	0,00224	0,396	51,95	-68,05
0,0028	66	-47,0	1995	0,00200	0,353	50,95	-69,05
0,0025	65	-48,0	1778	0,00178	0,314	49,95	-70,05
0,0022	64	-49,0	1585	0,00158	0,280	48,95	-71,05
0,0020	63	-50,0	1413	0,00141	0,250	47,95	-72,05
0,0018	62	-51,0	1259	0,00126	0,222	46,95	-73,05
0,0016	61	-52,0	1122	0,00112	0,198	45,95	-74,05
0,0014	60	-53,0	1000	0,00100	0,177	44,95	-75,05
0,0013	59	-54,0	891	0,00089	0,158	43,95	-76,05
0,0011	58	-55,0	794	0,00079	0,140	42,95	-77,05
0,0010	57	-56,0	708	0,00071	0,125	41,95	-78,05
0,0009	56	-57,0	631	0,00063	0,112	40,95	-79,05
0,0008	55	-58,0	562	0,00056	0,099	39,95	-80,05

* Der SMT gibt bei Modulation einen vernachlässigbaren Fehler aus, weil der Maximalpegel überschritten wird.

Wertetabelle für verschiedene Mess-Sender, gilt für Quellwiderstand $R_1=50\Omega$, Antennenwiderstand $R_2 + R_3 = 350\Omega$. Bei abweichendem Quellwiderstand R_1 ist R_2 so anzupassen, dass 400Ω erreicht werden.



Berechnung des axialen und radialen Feldes H_a und H_r

$$I = \frac{U_0}{R_1 + R_2 + R_3} \quad H_a = \frac{NIa^2}{2r^3} \quad H_r = \frac{NIa^2}{4r^3} \quad E = H\eta_0$$

E	Elektrische Feldstärke in	V/m
H_a/H_r	Magnetische Feldstärke in	A/m
r	Abstand der Empfangsspule	0,5m
a	Radius der Magnetantenne	0,125m
N	Windungszahl der Magnetantenne	3
I	Schleifenstrom der Magnetantenne in	A
R_1	Innenwiderstand des Generators	50Ω
R_2	Reihenwiderstand	330Ω
R_3	Messwiderstand	20Ω
η_0	Freiluftimpedanz	377Ω
U_0	EMF, Leerlaufspannung des Generators in	V