

Die Festlegung von $S9 = 50\mu\text{V}$ als Bezugspegel für Frequenzen bis 30MHz orientierte sich an der Empfindlichkeit üblicher Empfänger und an dem auf KW normalerweise vorherrschenden atmosphärischen Grundrauschen. (Oberhalb von 30 MHz gilt ein anderer Bezugspegel). Die meisten S-Meter waren keine genauen Pegelmesser, sondern haben einfach die AGC Regelspannung angezeigt. Was im Ergebnis oft nicht mehr als einem Schätzen der tatsächlichen Eingangsspannung entsprach. S-Stufen sind keine physikalischen Größen, sondern ein praktisches Hilfsmittel zur einfachen Angabe von Empfangspegeln. Der Bereich von S1 bis S9 umfasst ja lediglich einen begrenzten Ausschnitt, nämlich 48dB, des tatsächlichen Dynamikbereiches*, eines modernen Empfängers.

* Dynamikbereich = Abstand zwischen der maximalen Empfindlichkeit und den größten Signalen, die ein Empfänger noch verarbeiten kann.

Im VHF-Bereich ist wegen des dort geringeren externen Rauschens eine höhere Empfängerempfindlichkeit erforderlich. Darum wurde für den Frequenzbereich über 30MHz der Bezugspegel für S9 zehnmal niedriger, bei $5\mu\text{V}$ Eingangsspannung festgelegt. Die 6dB Stufen bleiben gleich.

Bei heutigen SDR mit ihren genauen Analog-Digital Wandlern sind – wie bei einem Messempfänger – viel genauere Pegel-Anzeigen möglich. Es gibt daher keinen zwingenden Grund mehr, die Empfangspegel in groben S-Stufen anzugeben. Man kann sie viel präziser in μV , $\text{dB}\mu\text{V}$ oder dBm ablesen. Voraussetzung ist natürlich, dass man den SDR kalibriert hat. Ohne Kalibrierung lässt sich nur -dBSF angeben. (= -dB in Relation zur Vollaussteuerung des Wandlers. Weit aussagekräftiger wäre zusätzlich noch die Angabe des Signal-Rausch-Abstandes (SNR), denn auf den kommt es ja an.

Ein S-Meter zeigt nur die Spannung am Empfängereingang an und nicht etwa die Empfangs-Feldstärke. Dazu würde man zusätzlich eine Antenne benötigen, deren Antennenfaktor (das Wandlungsmaß zwischen Feldstärke und Ausgangsspannung an 50 Ohm) bekannt ist.

Rauschen - der Spielverderber beim Radioempfang

Rauschen ist ein nach Zufallsgesetzen auftretendes Störsignal, in dem alle Frequenzen statistisch verteilt auftreten (weißes Rauschen). Man kann Rauschen so erklären, dass auf jeder beliebigen Frequenz gleichzeitig ein Signal vorhanden ist. Die Überlagerung all der zufällig auftretenden Frequenzen ergibt nach der Demodulation im Empfänger das charakteristische zischende Geräusch, das ein Gemisch aller Tonfrequenzen darstellt. In der Spektrum-Darstellung zeigt sich Rauschen als ein unruhig zitternder Teppich (Noisefloor).

Da weißes Rauschen alle Frequenzen enthält, ist der Wert der Rauschleistung abhängig von der Bandbreite, innerhalb der man das Rauschen beobachtet oder misst. Stellt man sich Rauschen als Regenschauer vor, leuchtet ein, dass durch eine Öffnung von zwei Quadratmeter Fläche doppelt so viel Regen „hindurchrauscht“, als durch eine Öffnung mit nur einem Quadratmeter Fläche.

Die Größe des Rauschens im Empfänger ist daher abhängig von der eingestellten Filterbandbreite. Ein breites Filter lässt mehr Rauschen durch als ein schmales Filter. Man sagt: die Rauschleistung ist proportional zur Filterbandbreite. Ein Empfänger mit 2700 Hz Bandbreite empfängt z. B. 27mal mehr Rauschen als ein Empfänger mit 100Hz Bandbreite. Die Bandbreite eines Empfängers oder Verstärkers soll daher nur so groß wie eben nötig sein, um das Nutzsignal passieren zu lassen.

Aus praktischen Gründen bezieht man die Angabe der Rauschleistung in der Regel auf 1Hz Bandbreite. Dadurch kann man die Rauschleistung bei anderen Bandbreiten durch einfache Multiplikation mit der Filter-Bandbreite in Hz errechnen. Eine Bandbreite von 2700Hz würde eine 2700fache Rauschleistung empfangen.

In der Elektrotechnik gibt man elektrische Größen oft im logarithmischen Maßstab, in dB an, das ist oft übersichtlicher und macht Berechnungen einfacher. Eine Addition im logarithmischen Maß entspricht der Multiplikation von linearen Zahlen. Addiert man die Werte der Rausch-Bandbreite im logarithmischen dB Maß, so ergibt sich das Gleiche, als wenn man wie bei normalen Zahlen mit der Filter-Bandbreite multipliziert. Vergleicht man z.B. Rauschen bei der Bandbreite von 2400Hz mit einer angegebenen Bandbreite von 1Hz, resultiert daraus in dB eine um:

$$10 \log(2400) = 34\text{dB höhere Rauschleistung.}$$

Alles rauscht - Rauschursachen in der Funktechnik

Externes Rauschen, (QRN)

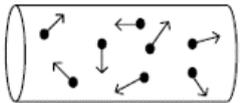
Es wird wie das Nutzsignal von der Antenne empfangen und besteht aus:

- **Atmosphärisches Rauschen**
Das atmosphärische Rauschen stammt hauptsächlich von Blitzen, die sich gerade irgendwo auf der Welt entladen. Blitzentladungen erzeugen energiereiche Hochfrequenz-Impulse, die sich durch Reflexion an der Ionosphäre über die ganze Erde verbreiten. Das atmosphärische Rauschen ist besonders auf LW/MW und den unteren KW-Bändern sehr stark.

- **Kosmisches Rauschen**
Das kosmische oder galaktische Rauschen hat seine Ursache hauptsächlich in der Sonnenaktivität und von den Fixsternen des Milchstraßensystems. Hintergrundrauschen kommt auch von der Bewegung von heißen Gasmolekülen im Weltraum und von der Entstehung unseres Universums. Das galaktische Rauschen ist nicht aus allen Richtungen und auf allen Frequenzen gleich. Richtet man eine Richtantenne auf die kalten Teile des Himmels, wird weniger Rauschen empfangen als aus den heißen Teilen des Weltraumes wie z.B. in der Nähe der Sonne. Das galaktische Rauschen spielt erst oberhalb von 5 MHz eine merkliche Rolle.
- **Man Made Noise.**
Es entsteht durch elektrische und elektronische Geräte in Industrie und Haushalten. Der Pegel dieses Rauschens ist abhängig vom Ort und von der Tageszeit. In ländlichen Gegenden ist dieses Rauschen geringer als in Städten oder in Industriegebieten. Tagsüber rauscht es mehr als nachts. Ursachen sind zum Beispiel: Hochspannungsleitungen, Schaltnetzteile, TV- und Computermonitore, PCs, PLC und DLS Modems, Maschinen, Zündfunken etc. Man Made Noise-Störungen die nicht wie Rauschen zufällig verteilt sind oder bei denen diskrete Frequenzen und periodische Impulse zu unterscheiden sind, bezeichnet man als Geräusch (QRM).

Internes Rauschen

(Eigenes Rauschen eines Empfängers)

- **Thermisches Rauschen.**
Jeder Widerstand rauscht, sobald Wärme mit im Spiel ist, und das ist bei Temperaturen über dem absoluten Nullpunkt immer der Fall. Bei Wärme bewegen sich die Ladungsträger unregelmäßig. An jedem (Wirk)-Widerstand misst man wegen der Wärme-Bewegung der Ladungsträger eine kleine Rausch-Leerlaufspannung. Diesen Effekt nennt man  thermisches Rauschen, Je höher die Temperatur ist, desto intensiver bewegen sich die Teilchen, und umso höher ist die Rauschspannung. Die Rausch-Spannung und Rausch-Leistung des thermischen Rauschens nimmt mit der Bandbreite und mit der Temperatur zu:

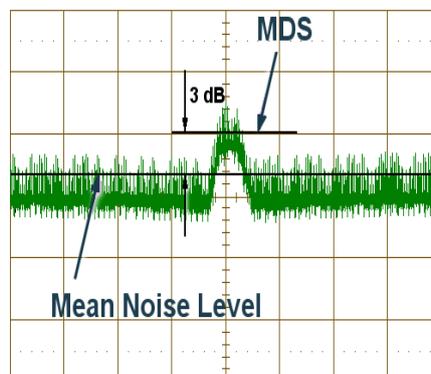
Thermisches Rauschen eines 50Ω Widerstands bei verschiedenen Bandbreiten			
	Bandbreite B[Hz]	Rauschleistung Pr [dBm]	Rauschspannung Ur [μV]
Theorie bei T=17°C	1 [Bezug]	-174	0,008
CW	500	-147	0,01
SSB	2400	-140	0,02
FM	12000	-133	0,05

Tabelle 1 -

- Elektronisches Rauschen.
Wird verursacht durch Zufalls-Effekte in den passiven und aktiven Bauelementen in Verstärkern und Empfängern

MDS und Noisefloor

Rauschen begrenzt die Fähigkeit eines Empfängers, schwache Signale aufzunehmen. Das interne Eigenrauschen, der „Noisefloor“ bildet die untere Grenze für die Empfindlichkeit eines Empfängers. Man benennt die Grenzempfindlichkeit als MDS (Minimum discernible Signal) - das schwächste Signal, das gerade noch über dem Eigenrauschen des Empfängers erkennbar ist. Das MDS wird meist 3dB über dem mittleren Grundrauschflur angesetzt. (Grafik: Wikimedia).



Zu der Angabe der max. Empfängerempfindlichkeit bzw. des MDS (Minimum discernible Signal) gehört immer die Angabe der Filterbandbreite, auf die diese Empfindlichkeitsangabe bezogen ist.

Warum: beim Funkrauschen handelt sich überwiegend um "weißes Rauschen", dessen Höhe von der Empfangs-Bandbreite abhängig ist. Weißes Rauschen ist unabhängig von der Frequenz, bei der das Rauschen gemessen wird. Wenn das Rauschen in einem 1 Hz breiten Frequenzbereich, z. B. von 1 Hz bis 2 Hz, gemessen wird, ergibt sich der gleiche Messwert wie bei einer Messung von z. B. 19,999 kHz bis 20,000 kHz.

Die Rausch-Spannung oder Rauschleistung ist allein kein bestimmter Wert, sondern ist abhängig von der Filter-Bandbreite, bei der das Rauschen ermittelt wird.

Eine Angabe von Rauschgrößen oder MDS-Werten ohne die zugehörige Bandbreite ist wertlos!

Beispiel: Ist eine Empfänger-Empfindlichkeit im Prospekt als MDS in dBm/Hz angegeben, dann ist bei einem 6kHz AM Filter das MDS sechstausendmal höher, oder in dB ausgedrückt: Der Grundrauschflur liegt um

$$10 \log(6000) = 37,7\text{dB}$$

über dem Rauschflur im Vergleich zu einem Hertz Filterbandbreite. Denn ein 6 kHz Filter lässt nun mal 6000mal mehr Rauschleistung durch, als bei dem 1Hz Filter als Vergleichsbezug. Kleinere Filterbandbreiten ergeben also ein niedrigeres Grundrauschen. Durch Reduzieren der Filterbandbreite kann man das Rauschen reduzieren. Darum ist SSB bei schwachen Signalen gegenüber AM oder FM klar im Vorteil.

Kann man die Grenzempfindlichkeit eines Empfängers beliebig gut machen?

Leider nein. Irgendwann kommt man an eine von der Natur vorgegebene physikalische Grenze - das thermische Grundrauschen. Jeder Widerstand rauscht in Abhängigkeit von der Temperatur. Bei „Zimmertemperatur“ von 290°K, oder rund 17°C, erzeugt ein an den Empfängereingang angeschlossener 50 Ohm Widerstand eine Rauschleistung von -174dBm/Hz. Das entspricht einer Empfangsspannung von 0,0004µV bei einem Hertz Bandbreite. Bei einer bei SSB üblichen Bandbreite von 2400Hz sind das 0,02µV. Das wäre das theoretisch erreichbare Minimalrauschen eines idealen Empfängers. Besser geht nicht.

Oder vielleicht doch? In der Radioastronomie mit den extrem schwachen Signalen, kühlt man den Antennenvorverstärker direkt an der Antenne mit flüssigen Gasen. Bei niedrigeren Temperaturen ist das thermische Rauschen nämlich niedriger.

Was tun gegen das externe Rauschen?

Wie der Name schon sagt - es kommt von außen über die Antenne. Und dieses Rauschen ist dem Nutzsignal überlagert und kann danach auch nicht so ohne Weiteres davon befreit werden. Auch der beste Empfänger kann nachträglich nur in sehr begrenztem Maße etwas daran verbessern.

Das externe Rauschen, insbesondere das Man Made Noise in Städten ist in unseren Breiten dominierend. Es liegt in aller Regel viele dB über der Grenzemfindlichkeit des Empfängers. Fast alle modernen Empfänger sind auf KW empfindlich genug, so dass ihr Eigenrauschen nicht zum begrenzenden Faktor wird. (Anhang, Grafik 1).

Signal/Rausch Verhältnis, Störabstand

Das Verhältnis zwischen dem empfangenen Nutzsignal und dem Rauschen nennt man „Signal / Rausch Verhältnis“, abgekürzt S/N oder SNR. Es wird im logarithmischen Maßstab in dB angegeben. Es muss ausreichend groß sein, damit ein Signal über dem Rauschen aufgenommen werden kann. Das SNR ist beim Radioempfang das ausschlaggebende Qualitätskriterium.

$$\text{SNR} = (\text{Signal} + \text{Rauschen}) / \text{Rauschen}$$

Auf den unteren Kurzwellenbändern und auf LW/MW dominieren ein hohes atmosphärisches Rauschen und Man Made Störungen von der Antenne die Höhe des Noisefloors im Empfänger. Auf UKW und höher sind es dann zunehmend das kosmische und das interne Rauschen die den Empfang schwacher Signale erschweren. (Grafik Seite 10).

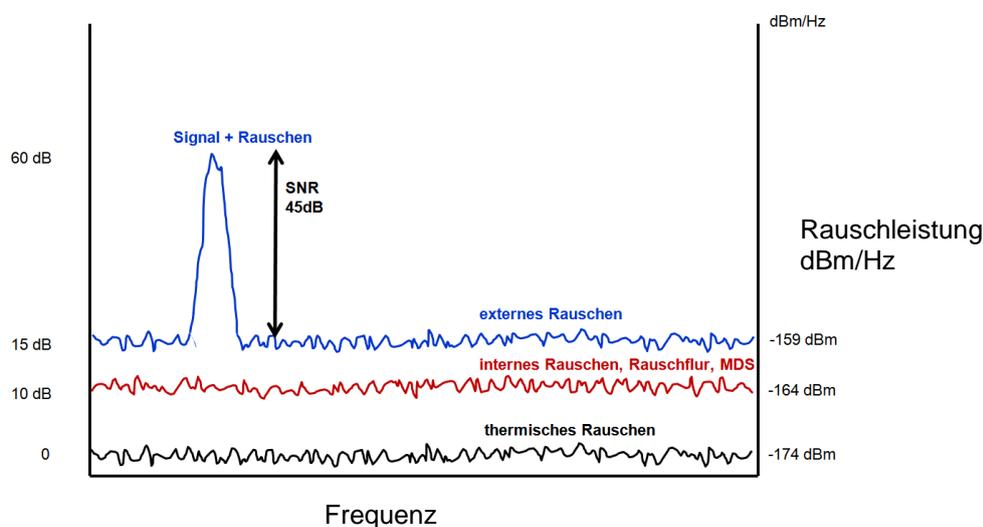


Bild: (Signal to Noise Ratio), SNR

Tabelle 2

Absolute Pegelwerte am Empfängereingang (50 Ohm) und zugehörige S-Stufen

Bezugswert für S9 bei Frequenzen unter 30 MHz = 50µV

Bezugswert für S9 bei Frequenzen über 30 MHz = 5µV

dB zu 1 mW	dB zu 1µV	Spannung an 50 Ohm	>30 MHz (UKW) S-Stufen	< 30 MHz (KW) S-Stufen
dBm	dBµV	µV		
-174	-67	0,0004	290K therm. Noise, B = 1Hz	
-154	-47	0,004	290K therm. Noise, B = 100 Hz	
-147	-40	0,01	290K therm. Noise, B = 500 Hz	
-144	-37	0,0140	290K therm. Noise, B = 1000 Hz	
-140	-34	0,0199	290K therm. Noise, B = 2400 Hz	
-141	-33	0.02	1	
-137	-30	0.03		
-135	-28	0.04	2	
-133	-26	0.05		
-131	-24	0.06		
-130	-23	0.07		
-129	-22	0.08	3	
-128	-21	0.09		
-127	-20	0.10		
-123	-16	0.16	4	
-121	-14	0.21		1
-117	-10	0.32	5	
-115	-8	0.40		2
-113	-6	0.50		
-111	-4	0.63	6	
-110	-3	0.70		
-109	-2	0.80		3
-108	-1	0.90		
-107	0	1.00		
-105	2	1.26	7	
-103	4	1.60		4
-101	6	2.00		
-99	8	2.50	8	
-97	10	3.20		5
-95	12	4.00		
-93	14	5.00	9	
-92	15	6.00		

dB zu 1 mW	dB zu 1µV	Spannung an 50 Ohm	>30 MHz (UKW) S-Stufen	< 30 MHz (KW) S-Stufen
dBm	dBµV	µV		
-91	16	6.30		6
-88	19	9.00		
-87	20	10.0		
-85	22	12.6		7
-83	24	16.0	9 + 10dB	
-81	26	20.0		
-79	28	25.0		8
-77	30	30.0		
-75	32	40.0		
-73	34	50.0	9 + 20dB	9
-72	35	60.0		
-71	36	70.0		
-69	38	80.0		
-68	39	90.0		
-67	40	100		
-63	44	160	9 + 30dB	9 + 10dB
-61	46	200		
-57	50	300		
-55	52	400		
-53	54	500	9 + 40dB	9 + 20dB
-52	55	600		
-51	56	700		
-49	58	800		
-48	59	900		
-47	60	1000		
-43	64	1,6 mV	9 + 50dB	9 + 30dB
-33	74	5,0 mV	9 + 60dB	9 + 40dB
-23	84	16 mV		9 + 50dB
-13	94	50 mV		9 + 60dB
0	107	225 mV		
20	127	2,25 V		
40	147	22,5 V		

B = Filterbandbreite

dBm = Empfänger Eingangsleistung in dB in Bezug zu 1mW

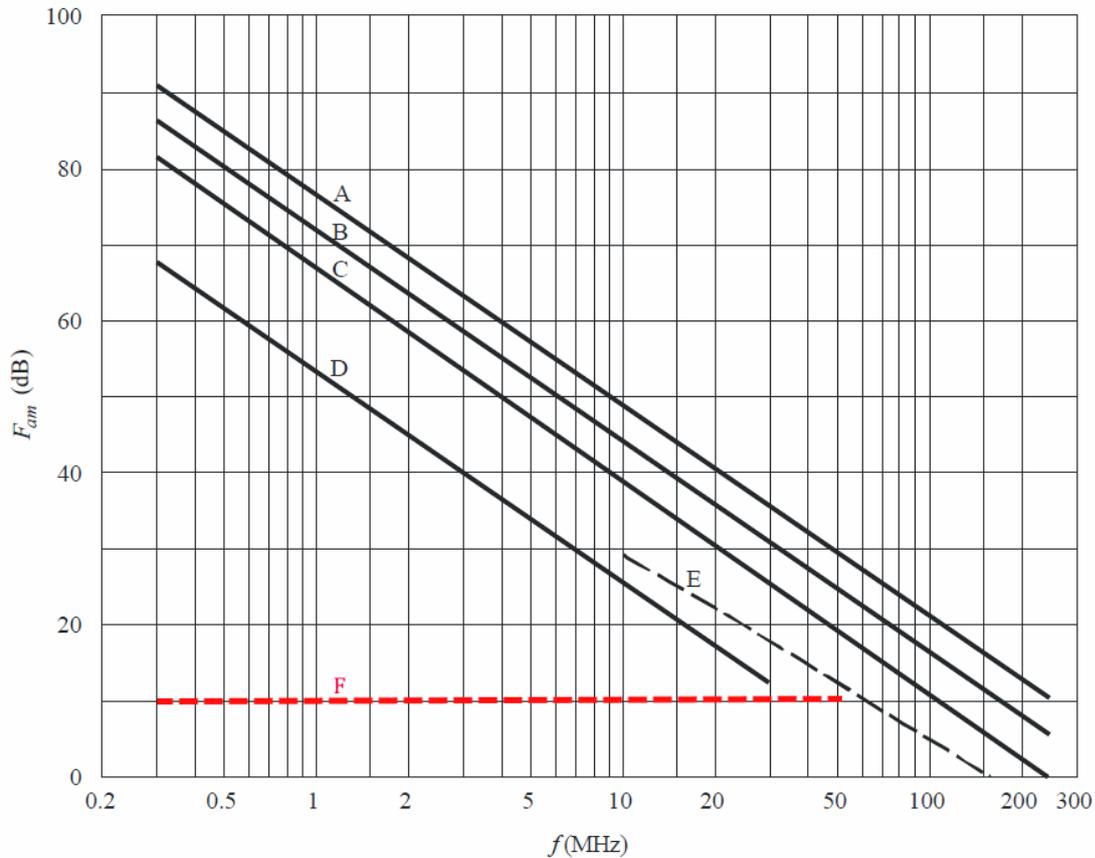
dbµV = Empfänger Eingangsspannung in dB in Bezug zu 1µV

290K therm. Noise = durch Naturgesetz bedingtes thermisches Grundrauschen bei 290°K bzw. 16,9°C bezogen auf die jeweilige Filterbandbreite.

Tipp am Rande:

Die gerundete Umrechnung der Angabe von Rauschleistung oder von Empfangsleistung in dBm (dB bezogen auf ein Milliwatt) in die Angabe einer Empfangsspannung in dBµV (dB bezogen auf 1µV) an 50 Ohm geht ganz einfach in dem man die Zahl 107 zum dBm Wert addiert.

Grafik 1



**Von der ITU ermittelte Rauschgrößen für Man Made Noise und galaktisches Rauschen
Angabe als Rauschfaktor in (dB) über dem thermischen Rauschen bei T=16,9°C..**

Quelle: ITU-R P327-13

Umweltkategorien:

- A: Man Made Noise, in Gewerbegebieten
- B: Man Made Noise, in städtischen Wohngebieten
- C: Man Made Noise, in ländlicher Umgebung
- D: Man Made Noise, in ruhiger ländlicher Umgebung
- E: Kosmisches Rauschen aus dem Weltraum

Das atmosphärische Rauschen (nicht eingezeichnet) liegt meist noch darüber.

F: zum Vergleich das Eigenrauschen bzw. die Empfindlichkeit eines guten Kurwellenempfängers

Das Diagramm zeigt, dass unter 50 MHz das externe Rauschen dominiert. Es liegt insbesondere auf den unteren Kurzwellenbändern deutlich über dem Eigenrauschflur (MDS) eines guten Kurwellenempfängers. Ab 10MHz spielt das kosmische Rauschen zunehmend eine Rolle. Im VHF Bereich und höher, gelten wegen des niedrigeren externen Rauschens für einen Empfänger höhere Anforderungen in Bezug auf seine Empfindlichkeit und sein Eigenrauschen.