

# Das Rauschen um die Jahrtausendwende

HEINRICH F. RECKEMEYER – DJ9YW

*Während die Auslegung von Senderendstufen und Antennensystemen schnell an räumliche, finanzielle sowie administrative Grenzen stößt und die Parameter der Übertragungsstrecke vom Funkamateurl nicht zu beeinflussen sind, hat sich das Rauschverhalten der verwendeten Empfänger speziell oberhalb 30 MHz über die Jahrzehnte hinweg geradezu revolutionär verbessert. Der Beitrag gibt einen historischen Abriss und kommentiert den derzeitigen Stand der Technik.*

Die Qualität einer Funkverbindung wird durch Sender, Antennen, Übertragungsstrecke und Empfänger bestimmt. In den beiden erstgenannten Punkten setzten schon immer der Aufwand für die Mechanik und den Platz bzw. die damit verbundenen Kosten die Grenze. Zur durch Ausbreitungsbedingungen bzw. Dämpfung charakterisierten Übertragungsstrecke gesellen sich Störungen, die in den Industrieländern von vielerlei Maschinen sowie zunehmend aus digitalen Steuerungen stammen und besonders in den KW-Bereichen, aber auch bereits auf 6 m, 2 m und 70 cm, den Funkbetrieb stark einengen können.



In den darüberliegenden Bändern herrscht noch weißes Rauschen vor, wenn man einmal von Nebenprodukten aus Videoubertragungssystemen und Radaranlagen absieht. Gerade dort haben sich jedoch die Chancen für erfolgreiche Verbindungen erheblich verbessert, weil die Empfänger dank der Halbleiterentwicklung in früher ungeahnte Regionen des Rauschens vorgehend sind.

## ■ Chronik

Bereits vor dem zweiten Weltkrieg fanden im militärischen Bereich Röhren bis 1 GHz Verwendung. Das Empfangsrauschen war so stark, daß Spiegel von über 2 m Durchmesser vonnöten waren. Im Amateurfunk kamen dann in den fünfziger Jahren die ersten AM-Selbstbaugeräte für 144 MHz zum Einsatz. Für den 3-m-Rundfunkempfang wurden sogenannte Pendler hergestellt.

Diese selbstschwingenden Gebilde störten die gesamte Nachbarschaft und mußten später durch die Röhre ECC85 in abgeschirmten UKW-Teilen ersetzt werden, die als PCC85 auch in Fernseh-Eingangsteilen bis etwa 220 MHz zu finden war.

Danach folgte die relativ rauscharme PC900, die 1966 auch in einem der ersten europäischen 2-m-SSB-Transceiver der Fa. Götting & Griem zum Einsatz gelangte. Als dann das ZDF im UHF-Band IV(V) auf Sendung ging, gab es vergoldete UHF-Spanngitterröhren, die danach von Germaniumhalbleitern abgelöst wurden. Der AF139 sowie später der AF239 traten in

**Bild 1:**  
23-cm-EME-Antenne von DJ9YW. Das Rauschmaß des nachfolgenden Empfangssystems beläuft sich auf 0,48 dB und repräsentiert das derzeit Machbare in diesem Frequenzbereich, vgl. a. [1].

Foto: DJ9YW

UHF-Antennenverstärkern ihren Dienst an. Bei Außentemperaturen von minus 15 °C und tiefer spielten diese Halbleiter dann jedoch nicht mehr mit. Trotzdem waren sie begehrt und wurden für die Bastelprofis der ehemaligen DDR in Streichholzschachteln usw. geschmuggelt.

Zwischenzeitlich gab es im 2-m-Amateurfunk so exotische Vorstufen wie parametrische Verstärker oder Nuvistoren. Danach setzte der Siegeszug der Siliziumhalbleiter ein. Bis auf das Sendeteil waren nun alle Stufen der UKW-Amateurfunkgeräte transistorisiert. Es folgten FET- und MOSFET-Eingangsstufen.

Empfindlichere Empfangssysteme führten mithin nicht gerade zu einer Verbesserung der Übersteuerungsfestigkeit nachfolgender Stufen wie Mischer, ZF-Teil und Demodulatoren. Die Dynamik ist nicht nur bei benachbarten starken Sendern von Wich-

tigkeit, sondern beeinträchtigt auch z.B. bei EME mit antennenseitigen Vorverstärkungen von 30 dB und mehr die Qualität durch Kompressionseffekte. Bei der Fertigung von Amateurfunkgeräten wird dies leider meist nicht ausreichend berücksichtigt. PLL-Rauschglocken können ähnliche Probleme aufwerfen.

## ■ Das Rauschmaß

Das Rauschen der Eingangsstufen war stets ein Handicap, um eine wünschenswerte Funkverbindung abwickeln zu können. Da das Rauschmaß (das ist der in dB angegebene Rauschfaktor, letzterer früher Rauschzahl genannt, vgl. S. 72 in dieser Ausgabe) manchmal mit 10 bis 20 dB weit jenseits von Gut und Böse lag, brachte mancher QSO-Versuch keinen Erfolg.



**Bild 2:** Die RV12P2000 stammt aus den vierziger Jahren und wurde nach dem Krieg gern in Amateurschaltungen bis in den UKW-Bereich eingesetzt. Fotos: Red. FA (2)

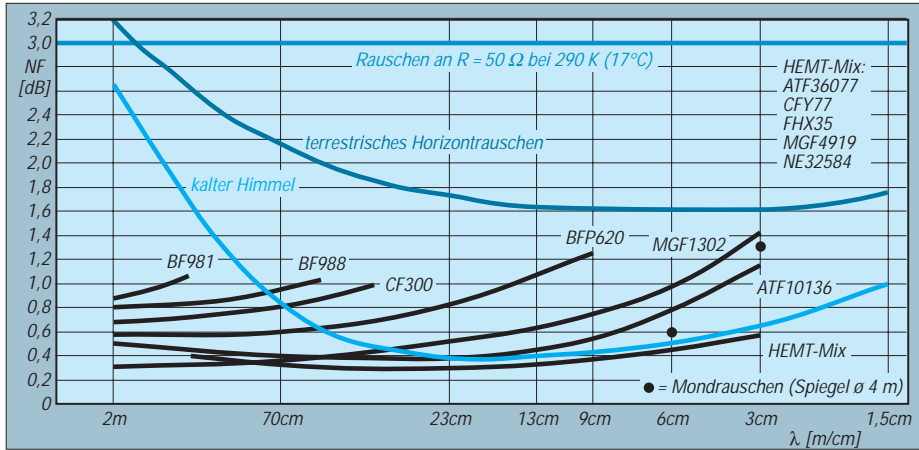
Daraus ist ersichtlich, daß nur hier noch Reserven auszuschöpfen waren, zumal sich alle vorgenannten Parameter nur wenig verändern ließen, oder dies preislich in keinem Verhältnis zu einer Empfangsverbesserung von 10 dB und mehr stand.

In den SHF-Bereichen bis 10 GHz gab es anfangs keine verstärkenden Halbleiter für Eingangsstufen, so daß man beispielsweise auf Mischdioden zurückgreifen mußte. Hier beginnt die eigentliche Revolution durch den heutigen Einsatz von GaAs-FET und HEMT-/PHEMT-FET. Wie aus Bild 3 hervorgeht, ergeben sich nunmehr Empfindlichkeitswerte von Empfängern, die bei einer terrestrischen Antennenausrichtung unterhalb des Rauschens liegen.

Selbst EME ist jetzt mit kleineren Antennen möglich, da die Halbleiter bereits ohne Kühlung Rauschwerte unter denen des kalten Himmels aufweisen. Bild 3 beruht auf eigenen Messungen an tatsächlichen Vorstufenaufbauten mit den dabei üblichen Streu-, Schwingkreis- bzw. Anpaßverlusten und liegt somit über den theoretischen Herstellerangaben.

Es zeigt sich, daß sogar für EME der relativ übersteuerungsfeste Dual-Gate-MOSFET BF981 für 2 m bzw. der neue BFP620 für 70 cm vollauf genügen. Ab 6 cm wird die Empfindlichkeit für EME z.B. mit einem 4-m-Spiegel nicht einmal ausgenutzt, da dort bereits das Mondrauschen einsetzt.

Die Rauschlinie des kalten Himmels ist eine mittlere Bezugsgröße [2]; sie kann an wenigen Tagen im Jahr merklich unterschritten werden (2 m bis 1,9 dB sowie 70 cm, 23 cm und 13 cm bis 0,2 dB NF). Die Tage, an denen kein EME-Betrieb machbar ist, weil die Sonne oder Sternformationen ein erhöhtes Rauschen liefern, kann man u.a. aus der PC-Freeware von VK3UM [2] ersehen. Trotzdem ist es z.B. auf 23 cm möglich, nur wenige Grad neben der Sonne noch Verbindungen über den Mond abzuwickeln.



**Bild 3:** Rauschmaß NF (nicht zu verwechseln mit *Niederfrequenz*) einiger Halbleiter<sup>1</sup> über den Frequenzbereich von 144 MHz bis 24 GHz im Vergleich zu anderen Rauschquellen  
<sup>1</sup>) Hersteller: ATF36077/10136 Agilent, BF981 Philips; BF988, CF300 Telefunken; BFP620, CFY77 Infineon; FHX35 Fujitsu; MGF4919 Mitsubishi; NE32584 NEC

Auf höheren Frequenzen besteht das Problem eines EME-QSOs eher darin, den Mond zu treffen, da durch die Öffnungswinkel unter 1° eine supergenaue Spiegelnachführung ohne Schlupf erforderlich wird. Andererseits lässt sich die anstehende EMVU-Problematik weitgehend umgehen, indem man mit schmalen Antennenkeulen ab etwa 23 cm über den Nachbarn oder die Straße hinweg strahlt oder bei EME- und Satellitenbetrieb die Antenne zum Himmel steht.

Bild 3 lässt ebenfalls erkennen, daß die für höhere Frequenzen entwickelten HEMT-Halbleiter wegen der schmalen Gatekontaktierung auf den unteren Bändern schlechter werden und sich bestenfalls noch bis 70 cm eignen. Beachtlich ist die Preisentwicklung dieser Super-Halbleiter. Der CFY77 ist bereits für 2 DM zu haben. Interessant ist der Effekt, daß sich das Signal/Rauschverhältnis bei zunehmender Empfindlichkeit des Empfangssystems gegenüber einem kalten Himmel stärker verbessert als das Rauschmaß selbst.

Tabelle 1 verdeutlicht diesen Effekt anhand von mir vorgenommenen Messungen. Dies ist insofern erklärlich, weil die Antenne nur noch das deutlich unter dem Rauschen eines ohmschen Widerstands liegende Himmelsrauschen einbringt. Eine kleine Verbesserung des ohnehin sehr geringen *N* im Signal/

Rauschabstand (S+N)/N bewirkt folglich einen großen Effekt. (Es sei daran erinnert, daß hier Signal- bzw. Rauschleistung und nicht etwa Rauschmaß in dB einzusetzen ist.)

## ■ Das Antennenkabel

Zwischen der Antenne mit ihrem Grundrauschen gemäß Bild 3 und dem Empfänger mit seinem Eigenrauschen befindet sich das Antennenkabel, welches wie ein Dämpfungsglied wirkt und demnach genauso rauscht.

**Tabelle 1: Überproportionaler Zuwachs des Signal/Rauschverhältnisses SNR1**

NF [dB]	NF-Gewinn [dB]	SNR-Zuwachs [dB]
1,8	0,2	0,3
1,6		
0,6	0,2	1,5
0,4		

<sup>1</sup>) bei auf den kalten Himmel gerichteter Antenne

für den kommerziellen Bereich Kabel mit Schaum-(Cellflex) oder Luft-Isolation (Flexwell) hergestellt. Inzwischen gibt es für den Funkamateurer ähnlich aufgebaute Kabel wie H2000, Aircom plus, die auch bezahlbar sind.

## ■ Der Vorverstärker

Auf KW ist in den heutigen Geräten oft ein zuschaltbarer Vorverstärker eingebaut. Hier ist keine Mastmontage erforderlich, weil Erdrauschen und QRM/N noch recht hoch und die Kabel verlustarm sind. Ohnehin wäre eine Aktivierung nur auf 10 m und 6 m sinnvoll. Sogar auf 2 m reicht oft ein Vorverstärker vor dem Transceiver im Shack, wenn dadurch ein Empfänger-rauschmaß von etwa 1 dB zustandekommt und die Kabelverluste zur Antenne nicht mehr als 1 dB betragen. Wie aus Bild 3 ersichtlich, genügt das sogar noch bei EME-Betrieb.

Auf allen höheren Bändern ist allerdings eine Außenmontage des Vorverstärkers, möglichst dicht an der Antenne, unumgänglich. Zu hohe Verstärkungswerte verschlechtern jedoch das Empfangssystem wieder in seiner Qualität durch Übersteuerungseffekte.



**Bild 4:** Links ein Germanium-Transistor aus den siebziger Jahren, daneben rauscharme Dual-Gate-FET BF981 aus den Achtzigern, wie sie für 2-m-Vorverstärker auch heute noch völlig ausreichend sind.

In den Anfangsjahren der Kurzwellennutzung wurden luftisolierte symmetrische Zweidraht-Leitungen (600-Ω-Hühnerleiter) eingesetzt. Auch im VHF-Bereich fanden Flachbandleitungen (240/300 Ω) Verwendung.

Später folgten Koaxialkabel, obwohl die Verluste größer waren. Der Vorteil lag aber darin, daß z.B. bei Eis und Schnee keine Zusatzdämpfung auftrat und langfristig die Witterungsbeständigkeit erheblich höher war. Außerdem konnte man nun eine Verlegung in und an Wänden usw. ohne Abstandhalter vornehmen. Weiterhin ergab sich ein Schirmungsmaß, welches nach den heutigen EMVU-Vorgaben ohnehin erforderlich geworden wäre. Auch die gegenseitige Störfreiheit mit hausinternen Geräten verbesserte sich – man denke nur an die vielen PC-Einstrahlungen.

In Deutschland wurde eine Impedanz von 60 Ω als gesunder Kompromiß zwischen guter HF-Leistungsübertragung bei 50 Ω (HF-Sendeströme) und geringsten Verlusten für Empfangsbetrieb bei 75 Ω (Dielektrikum) eingeführt. Leider konnte diese Variante dem internationalen Druck nicht standhalten, so daß heute 50- und 75-Ω-Systeme nebeneinander bestehen. Im Amateurfunk dominiert praktisch nur noch 50 Ω. Da die Koaxialkabel bei den höheren Frequenzen doch erhebliche Verluste aufwiesen, wurden

Wer das Rauschmaß seines Empfängers kennt, addiert diesem die Verluste des Kabels und möglicher Koaxialrelais hinzu und kann daraufhin mit den Rauschwerten des Vorverstärkers und der Rauschsummenformel (s. S. 72) die benötigte Verstärkung ausrechnen, um den erforderlichen Wert entsprechend der Grafik zu erreichen. Ab 70 cm werden bereits erhebliche Unterschiede bei terrestrischen QSOs zum Horizont und solchen zum kalten Himmel bei EME deutlich. Um auf NF-Werte unter 0,5 dB zu kommen, ist allgemein eine Vor-

verstärkung von 30 dB erforderlich. Nicht jeder Empfänger/Nachsetzer verkraftet diese Maßnahme [4]. Besonders bei SSB verschlechtert sich dadurch die Silbenverständlichkeit.

Ab 23 cm muß der Vorverstärker möglichst direkt am Feed montiert sein. Ein kurzes Stück Koaxialkabel mit Steckern kommt recht schnell auf eine Einfügedämpfung von 0,2 dB, was bei den üblichen Vorverstärkern mit etwa NF 0,4 dB (S+N/N)-Verluste von 1,4 dB erbringt.

### ■ Das S-Meter

Dieses Thema ist eine unendliche Geschichte mit nach wie vor noch offenem Ausgang. Schon vor mehr als 70 Jahren hat man sich Gedanken über die Einordnung von Signalstärken gemacht. Es wurde ein WRT-System ausgearbeitet, welches CW-Signale in ihrer Lautstärke beurteilen sollte.



Bild 5: Der 1999 von Infineon entwickelte BF620 rauscht auf 1,8 GHz mit 0,65 dB und weist bei 21 dB Verstärkung einen IP3 von +10 dBm auf. Werkfoto

Durchgesetzt hat sich aber das RST-System, das im Signalhandbuch für den KW-Verkehr von Fuchs-Fasching bereits 1941 erwähnt ist [5]. Darin ist z.B. für S1 *kaum hörbar*, S5 *ziemlich gute Zeichen* oder S9 *äußerst starke Zeichen* definiert. Dem liegt also das subjektive, aber gar nicht so schlechte Hörempfinden zugrunde. Ähnlich geschieht dies bei dem zur Beurteilung schwacher EME-Signale verwandten TMO-System.

Später kamen Anzeigeeinstrumente, sogenannte S-Meter, auf, die am Empfänger bzw. Transceiver ein direktes Ablesen des Signalpegels ermöglichen sollten. Heute zählt das S-Meter neben dem Frequenzdisplay und einem Spektrum-Skope zu einer beliebten Geräteausstattung jeden Funkamateurs, allerdings sind Drehspulinstrumente fast durchweg bis in die höchsten Preisklassen Balkenanzeigen gewichen. Diese sind bestenfalls für FM-Geräte akzeptabel, zumal weder vernünftige Peilungen, Bakenbeobachtungen und genaue Messungen aller Art damit durchführbar sind.

Bei S-Metern spricht man zuweilen scherzhaft von „Schätzreisen“. Stimmt der S9-Wert noch recht genau, sind insbesondere im unteren Anzeigebereich herstellerübergreifend erhebliche Defizite zu erkennen. Das liegt freilich nicht an den Drehspulmeßwerken bzw. Digitalanzeigen, sondern an

den Eigenheiten der Regelspannungserzeugung.

Kommen wir nunmehr zu der Festlegung von S-Stufen, bezogen auf die dem Empfänger zugeführten Signalstärken. Trotz umfangreicher Recherchen konnte ich nicht aufdecken, wer für KW die Definition 6 dB pro S-Stufe und S9 mit 50 µV an 50 Ω ursprünglich festgelegt hat. Ich nehme an, daß dies erst einmal für das anfänglich am häufigsten genutzte 80-m-Band mit dem üblichen atmosphärischen Grundstörspegel erdacht war. Das kann heute allerdings kaum mehr gelten, weil auf 80 und 40 m der „Radau“ häufig schon bei S9 liegt, und ein S9+20 dB-Rapport nur noch soviel aussagt, daß die Gegenstation gerade noch lesbar ist. Bei Vorschaltung eines Dämpfungsgliedes stimmen dann die 6-dB-Schritte wieder nicht mehr.

Dieses System wurde dann offenbar für die höheren KW-Bänder bis 10 m/6 m übernommen, obwohl dort eher Verhältnisse wie auf 2 m vorliegen, wo für S9 ein Pegel von 5 µV pro S-Stufe gilt. Eine weitere Verfälschung entsteht, wenn dann der interne Vorverstärker dazugeschaltet wird. Auf den Bändern ab 2 m aufwärts liegen erheblich bessere Kalibriermöglichkeiten vor, zumal allgemein eine stabile Konstellation mit ständig eingeschaltetem Vorverstärker angenommen werden kann.

DL3XW hatte vor Jahren vorgeschlagen, für eine objektive Anzeige die Skala für 2-m-Geräte in dB zu eichen, wobei als Bezugswert für den Nullpunkt die Rauschleistung eines Widerstandes bei Raumtemperatur in SSB-Bandbreite gelten sollte. Bei einem Rauschmaß um 2 dB und SSB-Bandbreite läge dann der Nullpunkt bei -138 dBm. Um positive Zahlenwerte zu erhalten, wären 138 dB dazu zu addieren. Nun würde am Anfang 0 dB und für S9 mit -93 dBm (5 µV an 50 Ω) 45 dB stehen. Bei 5-dB-Stufen, wie sie im UKW-Bereich lange Zeit üblich waren [7], ginge die Teilung auch genau auf, aktuell sind jedoch 6-dB-Stufen, siehe Kasten.

#### S-Stufen oberhalb 30 MHz

Gemäß vorliegender gültiger IARU-Empfehlungen von 1978 bzw. 1989 [6] beträgt die Schrittweite auch oberhalb 30 MHz 6 dB. Dies macht Sinn, weil sich die Skalen für KW- und UKW-Bänder dann nur im Absolutwert um 20 dB unterscheiden und eine S-Stufe immer der doppelten Spannung respektive vierfachen Leistung entspricht (mit 1,732 rechnet es sich halt nicht so bequem...).

Nach der Kalibrierung mit einem Meßsender, der auch intern wie ein 50-Ω-Widerstand rauscht, würde bei Anschluß einer Antenne auf 2 m eine nur unwesentliche Veränderung auftreten, da sich in Bild 3 alle drei Kurven fast bei 3 dB NF treffen.

Tabelle 2: Sinnvolle S-Stufung für EME auf 23 cm

(S+N)/N	CW-Rapport	SSB-Rapport
2,5 dB		T
3,0 dB	3-3-9	M
3,5 dB	4-3-9	O
4,0 dB	4-4-9	
4,5 dB	5-4-9	
5,0 dB	5-5-9	
6,0 dB	5-6-9	4-4
7,0 dB	5-7-9	5-4
8,0 dB	5-8-9	5-5

Anders sieht das auf den höheren Frequenzen aus. Der Nullpunkt läßt sich nun nicht mehr mit einem Meßsender einstellen, weil nach dem Anschluß der Antenne sowohl das terrestrische als auch das Himmelsrauschen deutlich darunter liegen. Dadurch ergeben sich, ausgehend vom o.g. subjektiven Empfinden, völlig andere S-Stufensprünge. Als extremes Beispiel ist in Tabelle 2 die Situation auf 23 cm bei CW mit einer Ohrbandbreite von etwa 200 Hz und einem Empfangssystem mit NF 0,5 dB bei EME aufgeführt, wo eine S-Stufe etwa 1 dB (S+N)/N entspricht. Dies läßt sich recht einfach mit einem Breitband-Meßsystem zwischen dem kalten Himmel bzw. dem bekannten Rauschen des Empfangssystems und der Sonne als Referenz-Rauschquelle nachweisen.

### ■ Fazit

Wer wirklich zuverlässige S-Werte angeben möchte, muß sein S-Meter an seiner fest installierten Anlage für jedes Band und jeden Zweck mit einer eigenen Skala versehen. Das dürfte wohl nur in Einzelfällen zur Ausführung kommen, vgl. auch [8]. Freuen wir uns deshalb, wenn sich der S-Meterzeiger überhaupt bewegt. Auch relative Anzeigen können manchmal für Vergleiche noch gut erhalten. Alle Ausführungen in den Tabellen und Bild 3 beziehen sich auf angepaßte 50-Ω-Systeme.

### Literatur

- [1] Reckemeyer, H. F., DJ9YW: EME QSO bei Sonnenfinsternis. FUNKAMATEUR 48 (1999) H. 10, S. 1185
- [2] Dobričić, D., YU1AW: Bestimmen der Parameter eines Empfangssystems durch Messen kosmischer Rauschquellen. UKW-Berichte 23 (1983) H. 2, S. 89-104
- [3] McArthur, D.A., VK3UM: EME-Planner V. 8.12 [www.nitehawk.com/rasmit/eme812.zip](http://www.nitehawk.com/rasmit/eme812.zip)
- [4] Reckemeyer, H. F., DJ9YW: Antennenvorverstärker in SSB-/CW-Empfangsanlagen. CQ DL 66 (1995) H. 10, S. 740-741; überarbeitete Fassung unter [www.qsl.net/dj9yw](http://www.qsl.net/dj9yw)
- [5] Fuchs, J.; Fasching, J.: Signalbuch für den Kurzwellenverkehr. Ausgabe Nr. 5, Buch- und Kunstdruckerei Fasching, Wien 1941
- [6] IARU Region 1, Committee C 5 (Hrsg.): VHF MANAGERS HANDBOOK. Genf 1990
- [7] Schubert, K.-H., DM2AXE (Hrsg.): Amateurfunk, Ein Handbuch für den Funkamateure. 5. Auflage, MV, Berlin 1978
- [8] Hegewald, W., DL2RD: Akkurates S-Meter für FT & Co. FUNKAMATEUR 49 (2000) H. 12, S. 1357