

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 45 (1967)

**Heft:** 2

**Artikel:** Rauscharme Vorverstärker für Richtfunk- und Satelliten-Empfänger

**Autor:** Pivitt, Erich

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874851>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 14.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Jede Nachricht wird bei der Übertragung über einen elektrischen Nachrichtenkanal gestört. Ein Mass für die Güte eines Nachrichtenkanals ist das am Ende einer Übertragungstrecke auftretende Verhältnis von Signalleistung (S) zu Störleistung (N) (Störabstand S/N). Die Störungen können von aussen in den Nachrichtenkanal eindringen oder in den Übertragungsgeräten selbst entstehen<sup>1</sup>. Der überwiegende Anteil dieser Störungen zeigt eine statistische Verteilung nach Frequenz und Amplitude – und gleicht daher einer thermischen Rauschleistung. Bekanntlich entsteht in jedem ohmschen Widerstand durch die Wärmebewegung der Elektronen eine Rauschleistung N, die der absoluten Temperatur t des Widerstandes proportional ist.

$$N = B \cdot K \cdot t$$

K = Boltzmann-Konstante

B = Bandbreite

Man denkt sich daher die Störungen durch die äquivalente thermische Rauschleistung eines Widerstandes ersetzt und misst die Grösse der Störungen durch die Temperatur, auf der sich dieser Widerstand befinden müsste, um die gleiche Störleistung zu erzeugen.

## Störungen, die von aussen in den Nachrichtenkanal eindringen

Bei der Richtfunk- und Satellitenübertragung erfolgt die Nachrichtenausbreitung in der Atmosphäre und im freien Weltraum. Die Antenne nimmt dabei nicht nur das ausgestrahlte Signal auf, sondern auch Störungen, die aus der Atmosphäre oder dem Kosmos kommen. *Figur 1* zeigt die Störleistung von Antennen – ausgedrückt durch die äquivalente Rauschtemperatur – als Funktion der Frequenz und des Erhebungswinkels der Antenne. Für Frequenzen oberhalb von 1 GHz wird das kosmische Rauschen sehr klein, und das atmosphärische Rauschen zeigt ein Minimum unterhalb von 10 GHz. Dieser Frequenzbereich von 1...10 GHz wird daher vorzugsweise für Richtstrahl- und Satellitenverbindungen benutzt, da man hier mit den geringsten äusseren Störungen rechnen kann.

*Figur 1* zeigt unter anderem, dass die Rauschtemperatur vom Elevationswinkel der Antenne abhängig ist. Beim Elevationswinkel 0° ist die Nachrichtenausbreitung tangential zur Erdoberfläche und verläuft zu einem grossen Teil in der Atmosphäre. Entsprechend ist der atmosphärische Rauschanteil etwa 200° K. Dieser Fall tritt bei den normalen Richtstrahlverbindungen auf, bei denen die Antennen in optischer Sicht stehen und fast tangential zur Erdoberfläche ausgerichtet sind. Hinzu kommt noch ein zusätzlicher Rausch-

anteil, der von der Strahlung der Erdoberfläche herrührt. Die Erdoberfläche verhält sich für Mikrowellen wie ein schwarzer Körper und strahlt entsprechend ihrer Temperatur von 300° K (absolute Temperatur) eine proportionale Rauschleistung ab. Für Richtstrahlverbindungen liegt ein Teil der Erdoberfläche in der Strahlungskeule der Antenne und erhöht das Antennenrauschen bis auf 300° K. *Antennenrauschen von Richtstrahlverbindungen (in die Atmosphäre): t = 200...300° K.*

Wird die Antenne unter 90° zum Zenit gerichtet, wird nur der verhältnismässig kleine Teil der Atmosphäre über der Antenne durchlaufen – entsprechend ist der Rauschanteil mit etwa 4° K gering. Bei Satellitenverbindungen werden meist Elevationswinkel > 15° verwendet, und die Antennenrauschtemperatur liegt für diese Verbindungen unter 20° K. *Antennenrauschen von Satellitenverbindungen: t = 4...20° K.*

## Störungen, die im Nachrichtenkanal selbst entstehen

Die in den Nachrichtengeräten entstehende Störleistung hat zwei Ursachen:

1. Das schon eingangs erwähnte Wärmerauschen von Widerständen und
2. das Stromrauschen der in den Geräten verwendeten Röhren, Transistoren und Dioden.

Da beispielsweise in einem Verstärker viele dieser Bauelemente zusammenwirken und am Ausgang des Verstärkers eine Gesamtstörleistung N ergeben, verzichtet man auf eine genaue Aufschlüsselung der Störanteile und denkt

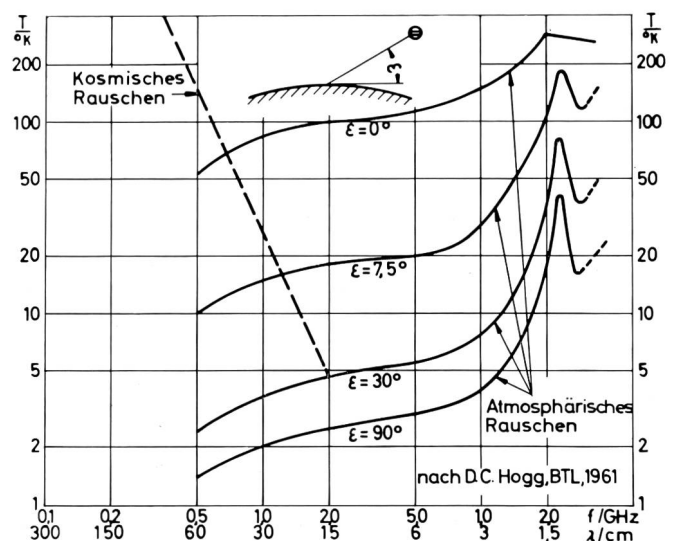


Fig. 1 Rauschtemperatur des Himmels als Funktion der Frequenz und der Elevation

<sup>1</sup> Vergl. K. Pfyffer, Geräusch und Geräuschmessung auf Nachrichtenübertragungsanlagen. Techn. Mitt. PTT Nr. 12/1966, Seiten 396... 402.

sich den rauschenden Verstärker ersetzt durch einen idealen, rauschfreien Verstärker, an dessen Eingang ein rauschender Widerstand auf der Temperatur  $t$  liegt, wobei  $t$  derart gewählt wird, dass am Ausgang wieder die Störleistung  $N$  auftritt. Diese Temperatur  $t$  ist dann die kennzeichnende Rauschtemperatur des Verstärkers.

Am Eingang eines Empfängers addieren sich die Rauschleistung der Antenne und die auf den Eingang bezogene Eigenrauschleistung des Empfängers zu der Gesamtstörleistung  $N$ . Wird bei einer Nachrichtenübertragung nun eine bestimmte Qualität, das heisst ein bestimmter Störabstand  $S/N$  gefordert, so bestimmt der Störabstand und die Störleistung  $N$  die erforderliche Signalleistung  $S$  am Eingang des Empfängers.

Besonders im Falle des Satellitenempfanges und der Streustrahl-Richtfunkverbindungen ist die am Empfänger eintreffende Signalenergie  $S$  durch die zur Verfügung stehende Sendeleistung und die noch verwirklichtbare Antennengrösse beschränkt. Um in diesen Fällen noch eine ausreichende Qualität der Nachrichtenübertragung sicherzustellen, muss die Störleistung am Empfangsort verkleinert werden.

Für den hier interessierenden Frequenzbereich von 1...10 GHz liegt die Rauschtemperatur normaler Diodenüberlagerungsempfänger etwa zwischen  $1000...3000^\circ \text{ K}$ . Das heisst, bei Verwendung eines solchen Empfängers wird die Störleistung fast ausschliesslich vom Eigenrauschen des Empfängers bestimmt, da das Antennenrauschen von  $4...300^\circ \text{ K}$  um Grössenordnungen kleiner ist. Man versucht daher, durch die Vorschaltung rauscharmer Vorverstärker vor den Empfänger, die Rauschtemperatur des Empfängers zu senken. Eine natürliche Grenze ist dabei durch das An-

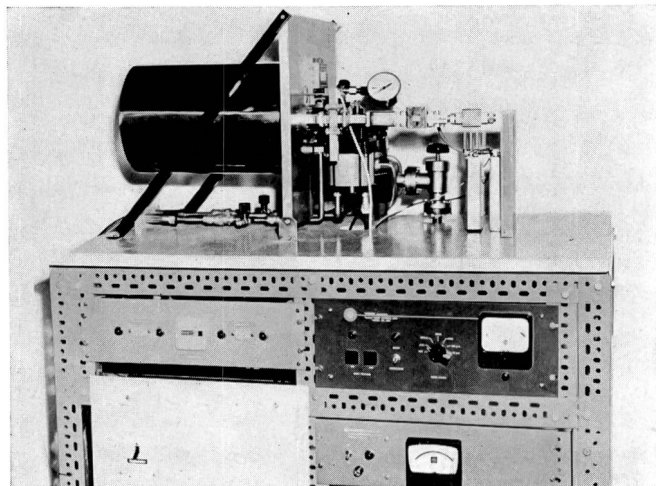
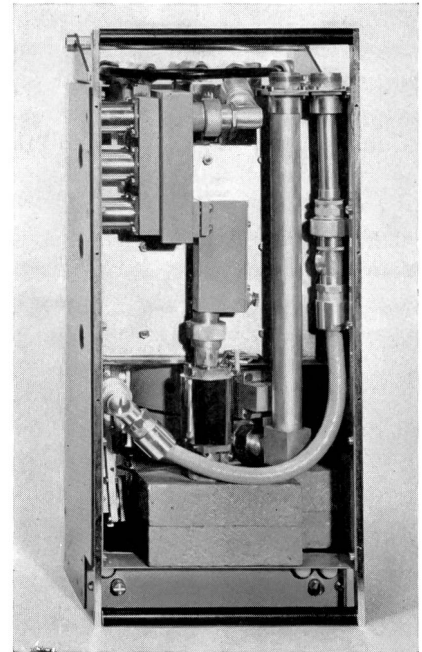


Fig. 2  
Gekühlter parametrischer Verstärker

Fig. 3  
Parametrischer Verstärker für 2 GHz für den Einsatz in Richtfunkstrecken



tennenrauschen gegeben, das sich nicht umgehen lässt und selbst bei einem völlig rauschfreien Verstärker den Störabstand begrenzt.

Ein guter Kompromiss zwischen dem Wunsch nach möglichst kleiner Störleistung und Aufwand im Verstärker liegt darin, die Eigenrauschtemperatur der Empfänger ungefähr gleich der Antennenrauschtemperatur zu machen. Der Störabstand ist dann nur um den Faktor 2 schlechter als im Idealfall des völlig rauschfreien Empfängers.

*Rauschtemperatur eines Erdefunkstellenempfängers für Nachrichtenübertragung über Satelliten:  $t \leq 20^\circ \text{ K}$ .*

*Rauschtemperatur eines Richtstrahlempfängers mit parametrischem Vorverstärker:  $t \leq 300^\circ \text{ K}$ .*

### Rauscharme Vorverstärker

Als rauscharme Vorverstärker eignen sich der Maser und der parametrische Verstärker.

Der Maser enthält als verstärkendes Element einen mit magnetischen Ionen dotierten Kristall, zum Beispiel  $\text{Cr}^{+++}$  in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Rubin). Durch eine von aussen zugeführte Hochfrequenzenergie wird eine Umbesetzung der Energieniveaus in dem Kristall bewirkt. Die höheren Energieniveaus zeigen eine grössere Besetzungszahl als die niedrigeren. Durch stimulierte Emission, wie sie beispielsweise eine durch den Kristall hindurchwandernde Signalwelle verursacht, werden Quantensprünge vom höheren zum tieferen Niveau angeregt und die Energiedifferenz an die Welle abgegeben. Die Welle wird damit verstärkt.

Da diese Prozesse nur bei sehr tiefen Temperaturen  $\leq 5^\circ \text{ K}$  möglich sind, ist für den Maser eine Kühlung mit flüssigem Helium erforderlich. Die Rauschtemperatur eines Masers ist daher mit  $\leq 5^\circ \text{ K}$  auch sehr niedrig. Nachteilig ist die verhältnismässig geringe Bandbreite (von maximal 100 MHz). Für den Einsatz in Bodenstationen für Nachrichten-satellitenübertragung wird deshalb der parametrische Verstärker bevorzugt, der grössere Bandbreiten (bis zu 500 MHz) ermöglicht.

Der parametrische Verstärker enthält als verstärkendes Element in Sperrichtung vorgespannte Halbleiterdioden, deren Sperrschichtkapazität durch eine Wechsellspannung gesteuert wird. Im Gegensatz zum Röhren- oder Transistorverstärker fliesst im parametrischen Verstärker kein Gleichstrom, der ein hohes Stromrauschen erzeugt. Als einzige Rauschquelle tritt das thermische Widerstandsrauschen der Verlustwiderstände der Schwingkreise und des Diodenverlustwiderstandes auf. Da die Ursache für dieses Rauschen thermischer Natur ist, lässt es sich durch Kühlung des Verstärkers fast proportional zur Betriebstemperatur verringern. Wird ein ungekühlter parametrischer Verstärker bei Zimmertemperatur betrieben ( $300^\circ \text{ K}$ ), beträgt das Eigenrauschen etwa  $100 \dots 200^\circ \text{ K}$ . Bei Abkühlung des Verstärkers auf eine Betriebstemperatur von  $-253^\circ \text{ C}$  ( $20^\circ \text{ K}$ ) beträgt die Rauschtemperatur etwa  $15^\circ \text{ K}$ . Für den Streustrahl(Scatter)-Richtstrahlempfang wird man also ungekühlte Verstärker verwenden, während für den Satellitenempfang die Verstärker bis nahe an den absoluten Nullpunkt herabgekühlt werden müssen.

Die Zusammenschaltung eines Empfängers mit der Rauschtemperatur  $t_e$  und eines Vorverstärkers mit der Rauschtemperatur  $t_v$  und dem Gewinn  $G$  (Leistungsverstärkungsfaktor) ergibt ein neues Empfangssystem mit der Rauschtemperatur  $t_o$ .

$t_o$  setzt sich dabei wie folgt zusammen:

$$t_o = t_v + \frac{t_e}{G}$$

Die Rauschleistung des ursprünglichen Empfängers geht um den Leistungsverstärkungsfaktor kleiner in die Gesamtrauschzahl ein. Bei einer Verstärkung von 30 dB, entsprechend  $G = 1000$ , ergibt zum Beispiel ein Empfänger mit  $3000^\circ \text{ K}$  nur noch  $3^\circ \text{ K}$  Beitrag zur neuen Rauschtemperatur mit Vorverstärker. Von grösstem Einfluss ist die Rauschtemperatur des Vorverstärkers, da diese voll in die neue Rauschtemperatur eingeht.

Den rauscharmen Vorverstärkern kommt bei den modernen Bodenstationen zur Nachrichtenübertragung über Satelliten eine entscheidende Bedeutung zu. Die bisher in den USA und Europa erstellten Stationen, die in den letzten Jahren in Betrieb genommen wurden, sind noch überwiegend mit einem Maser ausgerüstet. Bei künftigen Projekten von Bodenstationen wird im Blick auf die grössere Verkehrsdichte, das heisst die grössere Zahl von zu übertragenden Gesprächen, eine grössere Bandbreite gefordert, wofür der tiefgekühlte parametrische Verstärker eine unerlässliche Voraussetzung ist.

Adresse des Autors: Dr. E. Pivik, c/o Telefunken AG, D-7150 Backnang.