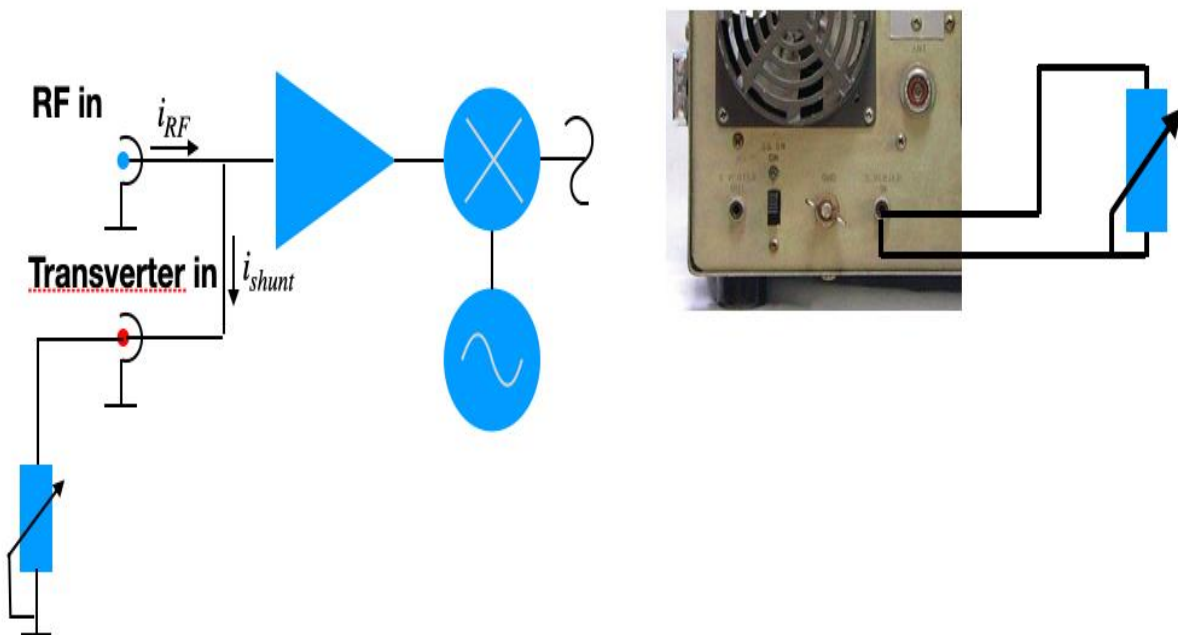


Rauschzahl von HF-Empfängern? Irrelevant!

Zu den Parametern, an denen wir uns Funkamateure gern orientieren, zählt die Empfängerempfindlichkeit. Der TS-520, den ich mir als ersten Kurzwellen-Transceiver leistete, hatte zum Beispiel eine Empfängerempfindlichkeit von $0,25 \text{ } (\mu\text{V})$ für einen Signal-Rauschabstand von 10 dB, in einer Bandbreite von 2,7 kHz. HF-Ingeneure denken da lieber in Rauschzahlen. Die Daten des TS-520 entsprechen einer Rauschzahl von 10,6 dB.

Kleine Anmerkung: im Deutschen ist für die Rauschzahl in dB der Begriff Rauschmaß üblich. Ich verwende den Begriff nicht gern, denn international ist die noise measure etwas ganz anderes, nämlich die Kettenrauschzahl einer unendlichen Kette identischer Verstärker.

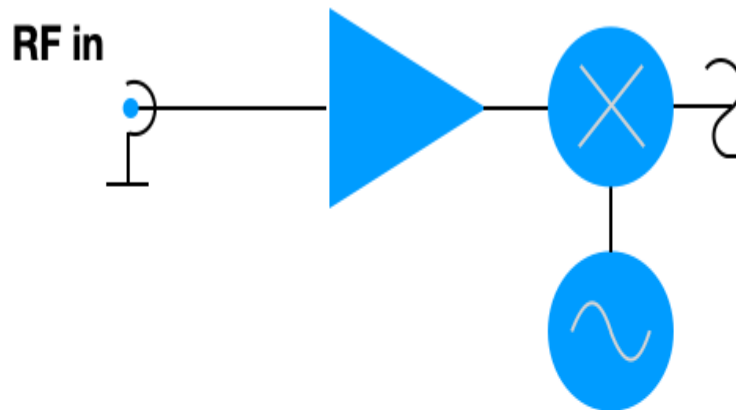
Dass die Kenwood-Ingeneure da nicht an der richtigen optimiert hatten, bemerkte ich, als ich den Empfänger erstmals nachts auf 40 m und 80 m erprobte: ein einziges Gebrodel, in dem nur stärkste Stationen eine Chance hatten. Damals dachte ich zunächst - das muss so sein. Dann aber las ich irgendwo von einer merkwürdigen Modifikation, die in einem sehr viel saubereren Empfangssignal resultieren sollte: einfach am Transverter-Eingang des TS-520 ein Poti einbauen und dann den Widerstandswert reduzieren, bis das Brodeln verschwindet.



Gesagt, getan – es funktioniert! Aber warum? Dazu betrachten wir das oben gezeigte Bild. Das Poti stellt einen Nebenschluss am Empfängereingang dar und leitet einen Teil des Antennenstroms nach Masse ab. Der S-Meter-Wert der Nutzsignale sank zwar dramatisch, aber die Störungen waren viel geringer geworden.

Die Entwickler hatten, um die Empfängerempfindlichkeit zu steigern, dem rauscharmen Vorverstärker (LNA - low noise amplifier) eine hohe Verstärkung verpasst. Dass dies der Empfängerrauschzahl sehr gut tut, sieht man an der Kettenrauschzahl, deren Berechnung in der nachstehenden Grafik zeigt. Die Rauschzahlen und Verstärkungen sind übrigens als lineares

Maß, nicht in dB einzusetzen.



Rauschzahl:

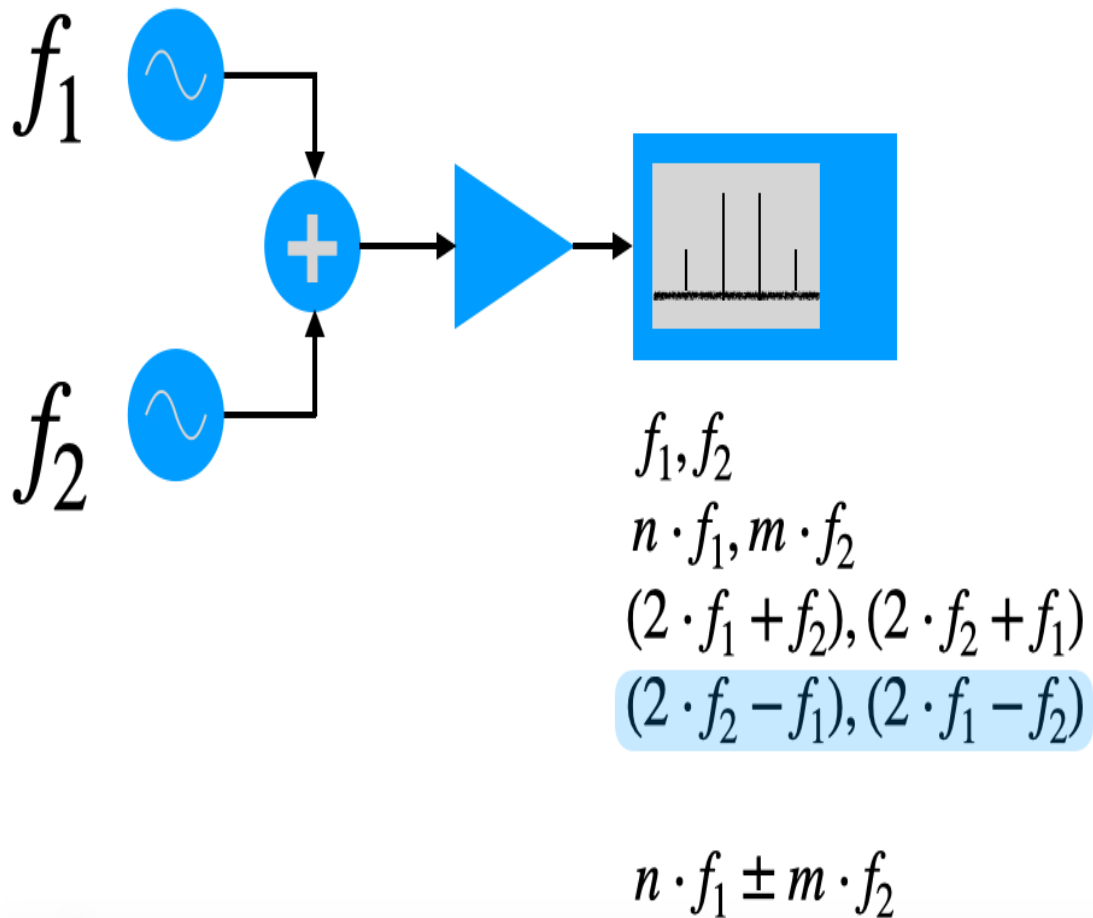
$$F = F_{LNA} + \frac{F_{mixer} - 1}{G_{LNA}} + \frac{F_2 - 1}{G_{LNA}G_{mixer}}$$

Hier hat der Vorverstärker eine Rauschzahl (F_{LNA}) und eine Verstärkung (G_{LNA}) , der Mischer Rauschzahl und Verstärkung (F_{mixer}, G_{mixer}) und der Rest des Empfängers eine Rauschzahl (F_2) .

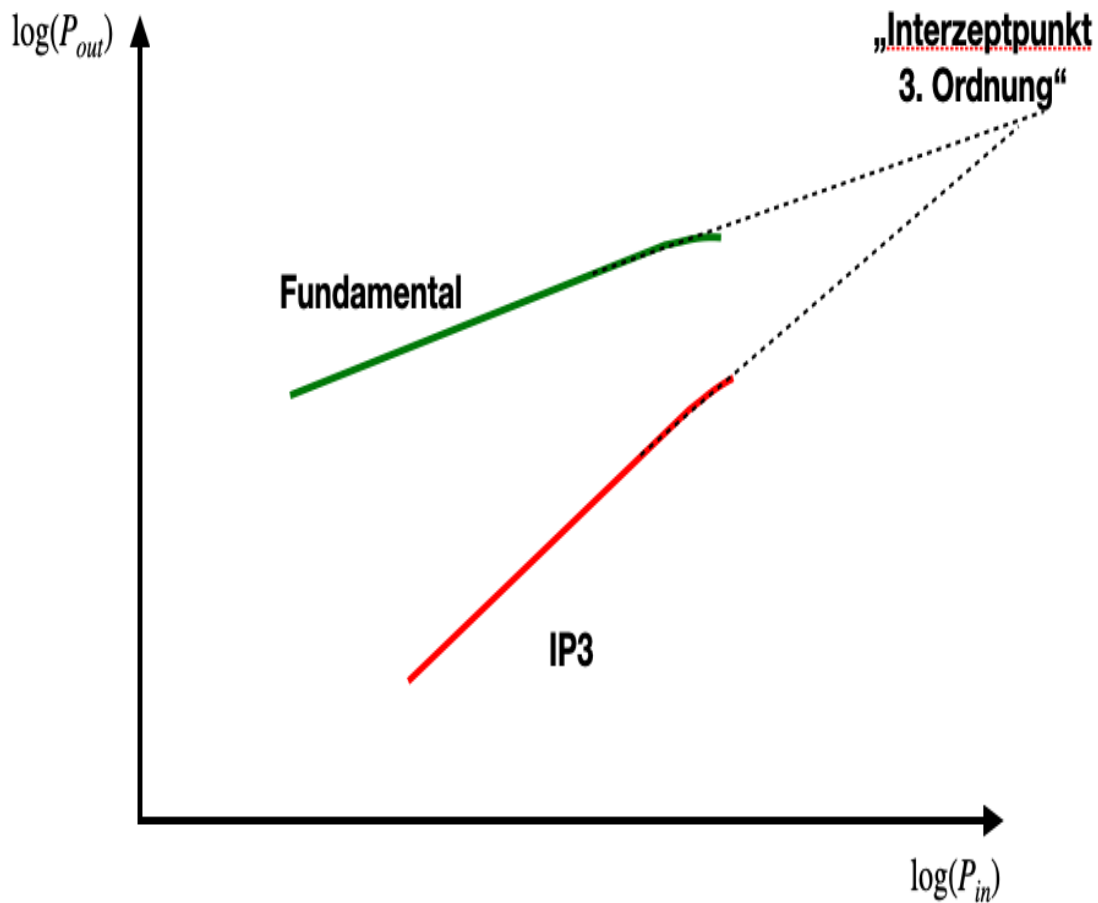
Wenn also die Verstärkung nur hoch genug ist, dann spielt die (meist hohe) Rauschzahl des Mixers und die Rauschzahl des restlichen Verstärkers keine Rolle mehr.

Das Problem ist nun, dass durch die hohe Verstärkung vorn die nachfolgenden Stufen übersteuert werden können: es entstehen Intermodulationsprodukte, ausgelöst durch starke Signale am Empfängereingang. Das war das Brodeln, das ich hörte.

Das Intermodulationsverhalten kann man im einfachsten Fall mit einer Zweiton-Messung bestimmen. Des Messaufbau ist als nächstes gezeigt.



Die beiden Signale am Eingang erzeugen in einer nichtlinearen Stufe durch Mischung weitere Spektralkomponenten, wie in der Abbildung dargestellt. Von diesen Komponenten sind zwei Intermodulationsprodukte dritter Ordnung besonders gefährlich (in der Abbildung farblich hinterlegt): sie liegen in unmittelbarer Nähe der Nutzfrequenzen!



Die oben stehende Grafik zeigt, wie sich die Spektralkomponenten der fundamentalen Signale und der Intermodulationsprodukte (IP3) verhalten: Bei Erhöhung der Eingangsleistung wachsen die Fundamentalkomponenten linear an, aber die Intermodulationsprodukte in der dritten Potenz (dies ist eine doppel-logarithmische Darstellung). Bei sehr hohen Leistungen allerdings sättigen beide Signalleistungen.

Verlängern wir die beiden Signalverläufe in den linearen Bereich (in der doppellogarithmischen Darstellung), dann schneiden sich die Geraden im sogenannten Interzeptpunkt dritter Ordnung, der es uns erlaubt, die Linearität von Komponenten und Systemen zu beschreiben.

In der doppellogarithmischen Darstellung ist die Steigung der Fundamentalkomponenten 1, die der IP3-Komponenten 3 – wenn ich mich also um 10 dB unter den Interzeptpunkt bewege, wächst der Abstand zwischen Nutzsignal und Intermodulationsprodukt um 20 dB. Genauso funktioniert der besprochene Trick: ich dämpfe zwar das Nutzsignal, aber die Intermodulationsprodukte sinken dreimal so stark (in dB)!

In den siebziger Jahren kam ein Amateurtransceiver auf den Markt, der viel geringere Probleme mit der Intermodulation hatte: der Atlas 210. Der verzichtete einfach auf den Vorverstärker und legte den Antennenanschluss (über schaltbare Bandpassfilter) direkt an den Mischer, der deshalb längst nicht so hohe Signale zu verkraften hatte.

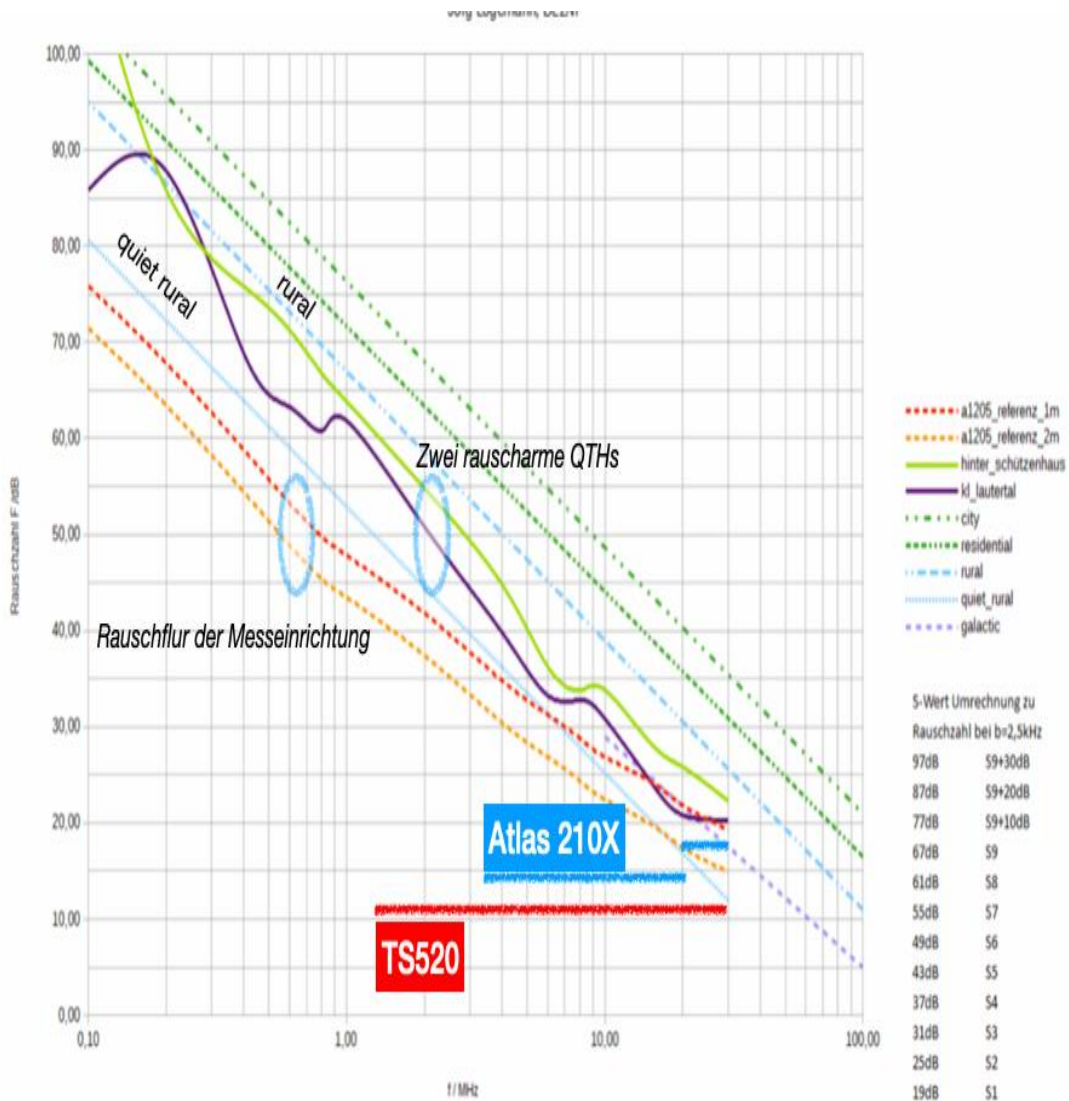
Aber ist die Rauschzahl dann nicht viel schlechter? Klar. Der Atlas hatte eine Rauschzahl von 14 dB, auf 10m sogar etwa 18 dB.

Aber, und das ist der wichtigste Befund: im Kurzwellenbereich spielt die Rauschzahl des Empfängers überhaupt keine Rolle. [Das kann man höchst amtlich der Empfehlung ITU R-P.372-](#)

12 Radio Noise entnehmen. Bei niedrigen Frequenzen ist sogar an ruhigen Standorten, bedingt durch die Ionosphäre, der Rauschpegel so hoch, dass das im Empfänger erzeugte Rauschen keine Rolle spielt. In der ITU-Empfehlung finden sich Grafiken, die in Abhängigkeit von der Frequenz das Umgebungsrauschen angeben.

Danach könnte bei 160 m ein Empfänger eine Rauschzahl von 48 dB haben, damit das Empfängerrauschen dem Umgebungsrauschen entspricht. Bei 80 m sind das noch 37 dB, bei 40 m 30 dB, bei 20 m 20 dB. Bei 10 m sind es noch 12 dB - vielleicht haben sich die Kenwood-Ingenieure ja davon leiten lassen.

Dass das alles auch in der Praxis so ist, hat Jörg Logemann, DL2NI durch Messungen gezeigt, deren Ergebnisse ich hier, mit seiner freundlichen Erlaubnis, abschließend zeige.



In die Messungen von DL2NI, an rauscharmen Standorten, habe ich die Rauschzahlen von TS-520 und Atlas 210 eingetragen. Es ist klar ersichtlich, dass selbst in einer extrem ruhigen ländlichen Lage (quiet rural) die bessere Rauschzahl des TS-520 mit Ausnahme vielleicht des 10 m-Bandes keinerlei Vorteil bringt.

Die Empfängerrauschzahl ist bei KW-Empfängern wirklich irrelevant und kein gutes Entwurfskriterium.