

# Optimierung von UHF/SHF-Empfängern

## Teil 1

Leider widmen sich viele Amateure sich eher der HF-Störstrahlungsproduktion mit dem PC als der Erzeugung und dem Empfang von Nutzsignalen. Gerade die UKW-Bänder bieten aber viele Herausforderungen, sei es die Technik oder die verschiedenen interessanten Ausbreitungsphänomene. Je besser der technische Standard einer Anlage ist, desto besser kann man auch diese Phänomene nutzen.

Der erste und zweite Teil widmen sich der Theorie, der dritte Teil der Praxis. Gute Ergebnisse lassen sich nur mit einem Minimum an theoretischem Wissen erzielen, daher empfehle ich, die ersten beiden Teile nicht zu überspringen.

### 1. Auswirkungen, Ziel und Grenzen der Verbesserung

Das Ziel ist es immer, beim Empfänger ein möglichst gutes, also ein möglichst leicht zu dekodierendes Signal zu produzieren. Oft ist aber die Signalstärke am Empfänger so gering, daß eine auch nur kleine Verschlechterung das Signal unlesbar macht. Zur Verbesserung gibt es zwei Möglichkeiten:

- Erhöhung der effektiven Strahlungsleistung (erp: effective radiated power) des Senders, also dem Faktor Sendeleistung mal Antennengewinn.
- Verbesserung des Empfangssystems durch Vergrößerung der Antenne und/oder Steigerung der Empfindlichkeit des Empfängers

Einschränkung: Meteor Scatter, wo eine allzu stark bündelnde Sende- oder Empfangsantenne u. U. Nachteile bringt.

Was bedeutet „gut lesbar“?

Diese Frage ist nicht ganz leicht zu beantworten. Ein starkes Signal bedeutet nämlich nicht, daß es leicht dekodierbar ist. „Starke“ Signale täuschen auch Vorverstärker Marke „S-Meterschleuder“ vor, die zwar üppige S-Meterausschläge bewirken, die Lesbarkeit aber nicht verbessern. Anzustreben ist ein immer ein möglichst großes Signal/Rausch-Verhältnis. Äußere Einflüsse, also Störungen jeder Art, z.B. Störstrahlungen von Computern, atmosphärische Störungen usw. lassen sich in der Regel kaum oder gar nicht reduzieren.

Verbesserungen lassen sich einerseits bis zu einer „moralisch-technischen“ Grenze, andererseits bis zur physikalischen Grenze durchführen. Das also ist etwa die Größe der Antenne (das Haus als Sockel der großen Antenne ist meist weder bei der eigenen Familie, noch bei den Nachbarn beliebt), das Leistungslimit laut Lizenzbestimmungen oder TVI in der Nachbarschaft. Interessanter ist die physikalische Grenze, an die man sich möglichst anzunähern sollte. Ihr werden wir uns im Folgenden noch eingehender widmen.

### 2. Das Rauschen

Rauschen tritt in verschiedenen Erscheinungsformen auf, z.B. als gleichmäßiges Zischen im Lautsprecher. Aber auch ein Fernsehbild kann verrauscht sein („Schnee“ im Bild). Weißes Licht ist ebenfalls Rauschen.

Man kann Rauschen so erklären, daß auf jeder beliebigen Frequenz gleichzeitig ein Signal vorhanden ist. Daher läßt sich bekanntlich weißes Licht mit einem Prisma oder einem Beugungsgitter in einzelne Farben (=Wellenlängen) zerlegen. Mißt man die Rauschleistung (P) einer solchen Quelle, ist die Leistung proportional zur Bandbreite (B) des Meßgerätes (Empfänger), zur Temperatur (T, die Rauschtemperatur, gemessen in Kelvin, also in Graden über dem absoluten Nullpunkt, der bei  $-273^{\circ}\text{C}$  liegt) der Quelle. Sichtbar wird das durch eine von einem Dimmer abgeregelte Glühlampe. Sie ist kühler und strahlt weniger hell als eine Glühlampe, die mit der vollen Netzspannung betrieben wird.

Die Stärke (Leistung) des Rauschen kann daher durch die Formel  $P = k \cdot T \cdot B$  ( $k$  ist eine Konstante) ausgedrückt werden (thermisches Rauschen).

Wie bereits erwähnt, ist ein möglichst großes Signal (S)/Rausch-(N-noise)-Verhältnis anzustreben. Meist wird das Verhältnis  $(S+N)/N$  gemessen, also innerhalb der gegebenen Filterbandbreite einmal die Gesamtleistung mit und einmal ohne anliegendem Signal.

Um eine Rechengröße zu bekommen, wird für jede Rauschquelle eine äquivalente Rauschtemperatur errechnet. Man nimmt an, daß die Rauschquelle, z.B. der Empfangsvorverstärker, selbst nicht rauscht. Statt dessen wird an den Eingang des nachfolgenden Verstärkers ein fiktiver erwärmter Widerstand angelegt, dessen thermisches Rauschen dem Eigenrauschen des Verstärkers entspricht.

### 3. Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit eines Empfängers bedeutet also, wie groß das S/N-Verhältnis bei einem bestimmten Signal, z.B.  $1\mu\text{V}$ , ist. Es gibt 2 Möglichkeiten, sie zu steigern:

- Verringerung der Bandbreite des Empfängers
- Reduktion der Rauschtemperatur

Die Bandbreite läßt sich nicht beliebig verkleinern. Bei SSB sind etwa 1,8kHz erforderlich, um die Verständlichkeit nicht zu beeinträchtigen. Bei Telegraphie kann sie bis unter 100Hz reduziert werden, ohne das Signal zu verschmieren. (Anmerkung: Das bedeutet also einen kostenlosen Gewinn von über 12dB, nur weil das Sendesignal nicht, wie bei SSB, auf 2kHz Bandbreite verteilt wird. Schon deshalb ist Telegraphie nicht zu schlagen, auch wenn diese Betriebsart immer wieder für tot oder zumindest für aussterbend erklärt wird. Sollte man nicht die cw-Prüfung für UKW einführen und, wenn es unbedingt sein muß, für Kurzwelle abschaffen?)

Schwieriger ist die Reduktion der Rauschtemperatur. Erst muß festgestellt werden, was die eigentlichen Rauschquellen sind, nämlich alle Komponenten des Empfängers und das Umfeld der Antenne. Auch Kabelverluste bedeuten ein zusätzliches Rauschen, da sie ja das S/N-Verhältnis reduzieren.

- Äußere Einflüsse  
Dazu zählen alle externe Störquellen. Natürliche Quellen sind etwa das thermische Rauschen der Erdoberfläche, die ja (Gott sei Dank) wärmer als der absolute Nullpunkt ist, die Sonne und andere Quellen im dem Weltraum. Nicht natürliche Quellen sind z.B. Computerstörstrahlungen.
- Antenne  
Jede Antenne hat innere Verluste. Dazu zählen etwa Verluste durch den elektrischen Widerstand der Elemente bei Yagi-Antennen, die durch den Skineffekt noch erhöht werden.
- Kabelverluste zwischen der Antenne und dem 1. Vorverstärker  
GaAs-FET-Vorverstärker haben, wenn sie auf minimales Rauschen abgestimmt werden (Rauschanpassung), eine sehr schlechte Eingangsanpassung. Daher kann sich der in den Datenblättern der Koaxialkabel angegebene Verlust durch den erhöhten Skineffekt und größere Verluste im Dielektrikum durchaus verdoppeln. Auch Koaxialrelais zur Sende/Empfangsumschaltung haben u.U. merkbare Verluste.
- Empfangsvorverstärker  
Jeder Verstärker reduziert das am Eingang gebotene S/N-Verhältnis! Diese Verschlechterung ist die wichtigste Kenngröße des Vorverstärkers, nicht die Verstärkung. Angaben wie „mit eingebautem 20dB-Vorverstärker“ sind daher zumindest unseriös. Bei sehr guten Vorverstärkern besonders im U/S/EHF-Bereich ist auch die Qualität des nachfolgenden 2. Verstärkers wichtig.
- Empfänger  
Wie erwähnt, kann man durch Reduktion der Empfängerbandbreite ein besseres S/N-Verhältnis erzielen. Sofern die Vorverstärkung groß genug ist, was im Normalfall gegeben ist, spielt sein Eigenrauschen keine Rolle. Probleme können allerdings durch mangelnde Spiegelfrequenzunterdrückung, besonders bei der Verwendung von Transvertern, auftreten.

#### 4. Verstärker

Wie erwähnt, gibt es keinen idealen Verstärker, der nicht rauscht. Es ist daher notwendig, sein Eigenrauschen zu quantifizieren. Dazu bestimmt man das S/N-Verhältnis am Eingang und am Ausgang. Der Quotient

$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{IN}}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{OUT}}}$$

wird als Rauschfaktor bezeichnet und ist immer größer oder gleich 1.  $F=2$  bedeutet, daß am Ausgang nur mehr das halbe S/N-Verhältnis zur Verfügung steht.

Um das Rechnen zu erleichtern, wird  $F$  im Allgemeinen logarithmiert, man erhält die Rauschzahl  $f$  in Dezibel (dB):

$$f = 10 \cdot \log F \quad (\text{es wird der dekadische Logarithmus verwendet})$$

In unserem Beispiel ergibt sich mit  $F=2$  eine Rauschzahl von ca. 3dB.

Das Rauschmaß und die Rauschzahl kann man in die äquivalente Rauschtemperatur umrechnen:

$$T = 290 \cdot (F - 1)$$

bzw.

$$T = \left(10^{f/10} - 1\right) \cdot 290$$

Auch die Verstärkung  $g$  wird in dB angegeben und bezieht sich auf die Leistungsverstärkung.  $G$  ist der Verstärkungsfaktor:

$$G = \frac{\text{Eingangsleistung}(P_{\text{IN}})}{\text{Ausgangsleistung}(P_{\text{OUT}})}$$

Die Verstärkung ist dann  $g = 10 \cdot \log G$  oder umgekehrt der Verstärkungsfaktor  $G = 10^{g/10}$

Was bewirkt nun das Hintereinanderschalten von Verstärkern? Von besonderem Interesse ist, wie sich eine nicht besonders gute Rauschzahl des 2. Verstärkers hinter einem guten Vorverstärker auf die gesamte Rauschtemperatur auswirkt. Dieser 2. Verstärker kann entweder ein Pufferverstärker direkt hinter dem rauscharmen Vorverstärker sein (auf dem 70cm-Band und höherfrequenten Bändern praktisch unumgänglich!), oder ein Transverter bzw. ein Transceiver. Die gesamte Rauschtemperatur ergibt sich aus der Formel

$$T_{\text{GES}} = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 \cdot G_2} + \dots$$

Wenn die 1. Stufe sehr wenig rauscht und ihre Verstärkung nicht besonders groß ist, kann die 2. Stufe die gesamte Rauschtemperatur noch merkbar erhöhen.

## 5. Leitungsverluste

Von entscheidender Bedeutung ist die Leitungsverbindung zwischen der Antenne und dem Vorverstärker, meist inklusive eines Koaxialrelais zur Sende/Empfangsumschaltung und eventuell eines Symmetriewandlers (Balun). Das muß nicht unbedingt ein Koaxialkabel sein. Besonders auf 70cm kommen wegen der äußerst geringen Verluste auch Paralleldrahtleitungen zum Einsatz.

Es wirken dabei 2 Effekte: Erstens dämpft das Kabel das Eingangssignal, zweitens rauscht es selbst. Wäre das Kabel unendlich lang, würde es wie ein Abschlußwiderstand (Dummy Load) wirken, dessen Rauschtemperatur der physikalischen (wirklichen) Temperatur des Kabels entspricht. Der Rauschtemperaturanteil  $T_K$  der Leitung kann mit der Formel

$$T_K = (290 + T_{RX}) \cdot (L - 1)$$

berechnet werden. In dieser Formel wird, wie wir bereits bei anderen Formeln gesehen haben, eine Umgebungstemperatur von 290°K (Kelvin), entsprechend ca. +17°C (Celsius), angenommen. Bei stark abweichenden Temperaturen ist der entsprechende Wert einzusetzen. Weiters ist  $T_{RX}$  die Rauschtemperatur des hinter der Leitung folgenden Empfängers (Vorverstärker) und  $L$  der Verlustfaktor der Leitung. Leitungsverluste werden normalerweise in dB (Dämpfung, l) angegeben, die Umrechnung erfolgt analog zum Verstärker:

$$L = \frac{P_{IN}}{P_{OUT}} = 10^{l/10}$$

# Optimierung von UHF/SHF-Empfängern

## Teil 2

### 6. Die Antenne

Auch die Antenne liefert ein Rauschen, wodurch das S/N-Verhältnis des Nutzsignals reduziert wird. Wie bereits erwähnt, hat jede Antenne „innere“ Verluste, hauptsächlich ohmsche Verluste der Elemente bei den weit verbreiteten Yagi-Antennen, die durch den Skineffekt (der Strom fließt nur in einer sehr dünnen Schicht an der Oberfläche) weit größer als bei Gleichstrom sind. Dazu kommen noch Verluste in der Anpaßschaltung (T-Match, Balun, etc.). Diese Verluste können durch geeignete Maßnahmen reduziert werden, z.B. dickere Elemente aus gut leitendem Material. Dazu nimmt die Antenne Störstrahlung auf. Wir betrachten nur die natürlichen Quellen: Rauschquellen im Weltraum, besonders die Sonne und die Milchstraße, und das thermische Rauschen des „warmen“ Erdbodens.

Für nicht-terrestrische Anwendungen, das sind im Amateurfunk Satellitenfunk und Erde-Mond-Erde (EME), ist daher das Antennendesign entscheidend. Neben einem ausreichenden Gewinn muß darauf Wert gelegt werden, daß die Antenne nicht zuviel Rauschen des Bodens aufnimmt („sauberes“ Richtdiagramm). Dazu benützt man eine Kenngröße, das G/T-Verhältnis. Es sollte möglichst hoch sein, was man einerseits durch hohen Antennengewinn (G), andererseits durch geringe Antennentemperatur (T, die auf eine fiktive Temperatur umgerechneten inneren Verluste und die von der Antenne aufgenommene Störstrahlung des warmen Erdbodens; für Vergleiche werden 30 Grad Antennenelevation angenommen) erreichen kann. Aufwendige Computersimulationen zur Optimierung von Yagi-Antennendesigns wurden durchgeführt.

Nicht beeinflussen läßt sich jenes Rauschen, das direkt aus der Hauptstrahlungsrichtung der Antenne empfangen wird (Hintergrundstrahlung). Auf 144MHz entspricht diese Strahlung einer Temperatur von mindestens etwa 200°K, auf 432MHz mindestens ca. 15°K und auf 1296MHz mindestens ca. 5°K. Diese Minimaltemperaturen werden als Temperaturen des „kalten Himmels“ bezeichnet. Auf 50 MHz

sind es etwa 1000°K, was bedeutet, daß auf besonders rauscharme Empfangssysteme verzichtet werden kann.

Bei terrestrischen Verbindungen, also bei annähernd 0 Grad Antennenelevation, „sieht“ die Antenne teilweise den Boden und teilweise den Himmel. Daher ist der von der Antenne gelieferte Rauschanteil wesentlich höher als bei nicht-terrestrischen Verbindungen. Das gilt aber nur für die Bänder ab 70cm, da auf 2m auch der Hintergrund im Weltraum, wie erwähnt, schon mit den 200°K rauscht. Auf den U/S/EHF-Bändern ist das bei terrestrischen Verbindungen und freiem Horizont je nach Bodenbeschaffenheit (Reflexionsfähigkeit) ein Wert zwischen 100 und 200°K, der sich aus dem Mittel des von der Antenne „gesehenen“ kalten Himmels und des Erdbodens ergibt.

## 7. Die Systemtemperatur

Die angeführten Formeln liefern uns jetzt das Werkzeug, die Gesamttemperatur des Systems und damit seine Qualität zu bestimmen. Ferner lassen sich damit auch Auswirkungen von Verbesserungen der einzelnen Systemkomponenten quantitativ erfassen.

Die Systemrauschtemperatur ergibt sich durch Addition der einzelnen Rauschanteile:

$$T_{\text{GES}} = T_{\text{ANT}} + T_{\text{K}} + T_{\text{RX}}$$

oder, wenn man die oben angeführte Formel für  $T_{\text{K}}$  in die Gleichung einsetzt:

$$T_{\text{GES}} = T_{\text{ANT}} + (290 + T_{\text{RX}}) \cdot (L - 1) + T_{\text{RX}}$$

Da die Rauschleistung nach der zu Beginn angeführten Formel  $P = k \cdot T \cdot B$  proportional zur Temperatur proportional ist, kann man Veränderungen der Systemrauschtemperatur direkt in die gebräuchlichen Dezibel umrechnen:

$$V = \frac{P_2}{P_1} = \frac{k \cdot T_2 \cdot B}{k \cdot T_1 \cdot B} = \frac{T_2}{T_1}$$

und in Dezibel (dB)

$$v = 10 \cdot \log V = 10 \cdot \log \frac{T_2}{T_1}$$

$T_1$  ist die Temperatur vor,  $T_2$  nach der Veränderung,  $v$  die Veränderung in Dezibel.

## 8. Grenzen der Optimierung

Der technische Fortschritt in der Herstellung von Halbleitern ermöglicht es heute, mit relativ geringem finanziellen Aufwand UHF-Anlagen bis in die Nähe des physikalischen Limits zu optimieren. Bei kleineren Wellenlängen, also etwa unter 13cm, wird aber (immer noch) ein erheblicher Beitrag des Empfängerrauschens vom 1. Vorverstärker geliefert.

Bei EME-Anlagen gibt es zusätzlich ein Problem, wenn Parabolspiegel eingesetzt werden:

Der im Brennpunkt des Spiegels befestigte Erreger, die eigentliche Antenne, strahlt im Sendefall nicht nur den Spiegel an, sondern auch etwas über seinen Rand hinaus. Es ist im Empfangsfall sehr kritisch, wieviel der Erreger dadurch vom Rauschen des Erdbodens hinter/unter dem Spiegel aufnimmt. Wenn man den Erreger so baut, daß der Spiegelrand überhaupt nicht mehr angestrahlt wird, sinkt aber der

Antennengewinn stark ab. Es muß also daß System Erreger/Parabolreflektor genau aufeinander abgestimmt sein, um das optimale G/T zu finden.

## 9. Vergleich von Empfangsanlagen

Vergleichen wir nun verschiedene Systeme in verschiedenen Situationen, um die Auswirkungen von Veränderungen zu bestimmen. Die in der Tabelle angegebenen Dämpfungswerte für die Verbindung von der Antenne zum Vorverstärker (Kabel/offene Leitung, Leistungsteiler zum Stocken von 2 oder mehr Antennen, Koaxialrelais) müssen, wie bereits in Abschnitt 5 erwähnt, wegen der schlechten Eingangsanpassung von GaAs-FET-Vorverstärkern bei Rauschanpassung verdoppelt werden.

Die Antennentemperatur ergibt sich aus dem Rauschen, das von der Antenne empfangen wird, und den inneren Verlusten (Skineffekt, Balun), die bei Yagis mit Aluminiumentelementen etwa 5-15°Kelvin, bei Stahlelementen (Fa. Flexa!) 25°K und mehr ausmachen. Ein so hohes zusätzliches Rauschen ist für nichtterrestrische Anwendungen ab 70cm völlig inakzeptabel, wie wir sehen werden. Schwieriger läßt sich das Rauschen, das von der Antenne empfangen wird, quantifizieren. Bei 0 Grad Antennenelevation „sieht“ die Antenne einerseits den Erdboden, andererseits den Himmel. Das empfangene Rauschen entspricht daher einer Temperatur, die zwischen der des Himmels und der des Erdbodens liegt, abhängig auch von der Reflexionsfähigkeit des Bodens. Auf 144MHz sind dabei bestenfalls etwa 240°K Rauschtemperatur zu erwarten, weil die „kältesten“ Stellen am Himmel mit etwa 200°K rauschen. Auf 432MHz ist der Himmel oft wesentlich „kälter“, im Minimum etwa 15°K. Daher kann man bei 0 Grad Elevation im besten Fall mit etwa 140°K rechnen.

Beim Vorverstärker wird davon ausgegangen, daß seine Verstärkung groß genug ist und nachfolgende Stufen oder dämpfende Kabel keinen Einfluß auf die Gesamttemperatur haben.

Die Antennentemperaturen in der Tabelle beinhalten auch die inneren Verluste, die mit 5°K angenommen werden, und das Rauschen, das über „Nebenzipfel“ vom Boden aufgenommen wird.

Für die Berechnungen wird die Formel für  $T_{GES}$  aus Abschnitt 9 verwendet.

	Anwendung	$T_{ANT}$	Leitung	Dämpfung Leitung	Dämpfung Teiler/Balun/Relais	Rauschzahl Vorverst.	Gesamt	Änderung
1	2m terrestrisch	250°K	5m „aircom“	0.25dB	0.2dB	1dB	409°K	
2	2m terrestrisch	250°K	5m „aircom“	0.25dB	0.2dB	0.25dB	338°K	+0.8dB
3	2m terrestrisch	250°K	5m offene L.	0.05dB	0.1dB	1dB	351°K	+0.7dB
4	2m terrestrisch	250°K	5m offene L.	0.05dB	0.1dB	0.25dB	290°K	+1.5dB

5	2m Sat./EME	200°K	5m „aircom“	0.25dB	0.2dB	1dB	359°K	
6	2m Sat./EME	200°K	5m „aircom“	0.25dB	0.2dB	0.25dB	289°K	+0.9dB
7	2m Sat./EME	200°K	5m offene L.	0.05dB	0.1dB	0.25dB	240°K	+1.7dB

	Anwendung	$T_{ANT}$	Leitung	Dämpfung Leitung	Dämpfung Teiler/Balun/Relais	Rauschzahl Vorverst.	Gesamt	Änderung
1	70cm terrestrisch	150°K	4m „aircom“	0.3dB	0.3dB	1dB	341°K	
2	70cm terrestrisch	150°K	4m „aircom“	0.3dB	0.3dB	0.3dB	270°K	+1dB
3	70cm terrestrisch	150°K	4m offene L.	0.05dB	0.15dB	1dB	260°K	+1.2dB
4	70cm terrestrisch	150°K	4m offene L.	0.05dB	0.15dB	1dB	193°K	+2.5dB

5	70cm Sat./EME	25°K	4m „aircom“	0.3dB	0.3dB	1dB	216°K	
6	70cm Sat./EME	25°K	4m „aircom“	0.3dB	0.3dB	0.25dB	145°K	+1.7dB
7	70cm Sat./EME	25°K	4m offene L.	0.05dB	0.1dB	0.25dB	68°K	+5dB

Daraus kann man erkennen, daß auf 144MHz die aufwendigsten Verbesserungen weder bei terrestrischem, noch bei nichtterrestrischem Betrieb, gravierende Änderungen bringen. Der Aufwand,

auf 2m einen 0.25dB-Vorverstärker zu bauen, ist sehr groß und seine mechanischen Abmessungen werden unhandlich (Topfkreis, ca. 40cm lang). Außerdem haben die GaAs-FETs, die dabei verwendet werden müssen, extrem schlechte Großsignaleigenschaften. Starke VHF-TV-Sender können ihn total „zustopfen“. Man sieht aber auch, daß die dämpfungsarme Verbindung zwischen Antenne und Vorverstärker den größten Einfluß hat.

Natürlich man kann über 1.5-1.7dB Verbesserung diskutieren. Sie liegt aber nur knapp über der Wahrnehmbarkeitssgrenze.

Auf 70cm und bei kürzeren Wellenlängen sieht die Situation gänzlich anders aus. Hier zeigt der Vergleich von System 1 und 4 bei terrestrischen Anwendungen schon einen Unterschied von etwa 2.5dB, also eine Steigerung der Empfindlichkeit auf fast das Doppelte. Noch größer ist der Unterschied bei nichtterrestrischen Anwendungen. Für EME und Satellitenbetrieb sind 5 „verschenkte“ Dezibel untragbar. Um es anschaulich zu machen: nimmt man an, System 7 benützt 2 Yagiantennen, dann hört man mit dieser relativ bescheidenen Anlage praktisch genauso gut wie mit System 5, wenn dort 8 Yagis verwendet werden! Besonders augenscheinlich wird beim Vergleich von System 6 und 7 die Bedeutung einer extrem verlustarmen Verbindung zwischen Antenne und Vorverstärker.

## 10. Messungen

In der Praxis sind die in Abschnitt 11 angeführten Änderungen oft schwierig zu messen, besonders auf 144MHz und bei rein terrestrischem Betrieb. Das Hauptproblem ist, wie wir gesehen haben, die schwierige Erfassung der Rauschtemperatur des Bodens. Man kann etwa das S/N-Verhältnis eines Bakensignals vor und nach einer Veränderung messen. Leider sind diese Signale nie ganz stabil, auch nicht im Nahbereich.

Leichter sind Messungen bei elevierbaren Antennen. Am Himmel befinden sich viele Rauschquellen, deren Stärke genau bekannt ist. Die stärkste Quelle ist die Sonne, die allerdings leider nicht konstant ist. Man kann aber mit Hilfe des 10cm-Flusses einen Anhaltspunkt über die Stärke des Rauschens auch auf 70cm erhalten.

Bis auf die Milchstraße sind alle Quellen fast Punktquellen. Daher steigt ihre Signalstärke bei gleichbleibender Systemtemperatur mit dem Antennengewinn an. Die Position dieser Quellen läßt sich mit verschiedenen Programmen ermitteln, z.B. dem „EME-Planner“ von VK3UM, mit diversen Astronomieprogrammen oder einfach mit einer drehbaren Sternkarte<sup>1</sup>.

EME-Operator geben aus diesem Grund immer das Verhältnis der Stärke einer Rauschquelle zum kaltem Himmel und die verwendete Antenne an. Damit lassen sich Systeme gut vergleichen. Bringt z.B. ein gutes System auf 70cm mit 4 Yagis á 6m Boomlänge ein Verhältnis Sonne/kalter Himmel 13,8dB bei einem Flux von 120, so sollte eine andere Station mit 2 gleichartigen Yagis ca. 11dB messen.

Die Ermittlung der absoluten Systemtemperatur ist schwieriger. Man kann versuchen, da Antenne auf eine absorbierende Fläche zu richten, also mit negativer Elevation z.B. gegen Bäume, damit die Hauptkeule der Antenne nur diese Fläche „sieht“. Anschließend dreht man die Antenne gegen einen kalten Punkt am Himmel. Im theoretisch besten Fall, also mit einer Systemtemperatur von 0°K und einer idealen Antenne ohne Nebenzipfel, erhält man auf 70cm den Wert

$$Y = 10 \cdot \log \frac{T_{\text{BODEN}}}{T_{\text{HIMMEL}}} = 10 \cdot \log \frac{290}{15} \approx 12.9\text{dB}$$

In der Praxis muß man die Systemtemperatur  $T_{\text{SYS}}$  addieren, die sich aber umgekehrt aus dem gemessenen Verhältnis Y ermitteln läßt:

---

<sup>1</sup>erhältlich im Buchhandel, ca. €15,-. Im Vergleich zum PC extrem billig, schnell, stört nicht und läßt sich vielseitig verwenden, z.B. für Meteor Scatter

$$Y = 10 \cdot \log \frac{(T_{\text{BODEN}} + T_{\text{SYS}})}{(T_{\text{HIMMEL}} + T_{\text{SYS}})}$$

Leider gibt es keine idealen Antennen. Reale Antennen „sehen“ mit den Nebenzipfeln bei negativer Elevation den kalten Himmel bzw. bei positiver Elevation den warmen Boden. Daher muß man auch  $T_{\text{BODEN}}$  mit weniger als 290°K und  $T_{\text{HIMMEL}}$  mit mehr als 15°K annehmen. Die obige Formel stellt deshalb nur einen oberen Grenzwert für den Y-Faktor dar.  $T_{\text{SYS}}$  ist dabei  $T_{\text{GES}} - T_{\text{HIMMEL}}$  bzw.  $T_{\text{GES}} - T_{\text{BODEN}}$ . Von der Antennentemperatur wird also das von der Antenne aufgenommene Hintergrundrauschen subtrahiert.

Gute UHF-Empfänger haben eine Systemtemperatur von weniger als 60°K, woraus sich ein Y von mehr als 6dB ergibt. Das bedeutet, daß ab 70cm EME- und Satellitenverbindungen schwierig werden, wenn die Hauptkeule bei geringer Antennenelevation noch Rauschen vom Boden aufnimmt .

## Optimierung von UHF/SHF-Empfängern Teil 3

### 11. Antennenkonstruktion

Die bisherigen Abschnitte enthielten eher theoretische Beschreibungen und Erläuterungen. Es folgen einige Tips, wie man gute Empfangssysteme baut. Zahlreiche Experimente in den vergangenen Jahren brachten gute Ergebnissen mit relativ einfachen Mitteln. Die folgenden Abschnitte konzentrieren sich auf das 432MHz-Band, weil Verbesserungen außer einer Vergrößerung der Antenne oder ein Austausch gegen eine Antenne mit einem besseren Design auf den niederfrequenteren Bändern wenig bringen.

Es gibt zahlreiche Antennensimulationsprogramme, die teilweise auch über Packet Radio von diversen Mailboxen bezogen werden können. Die meisten dieser Programme sind allerdings für lange UHF-Yagis unbrauchbar. Wir haben bereits gesehen, was bei UHF-Yagis entscheidend ist: Gewinn, „sauberes“ Diagramm und geringe innere Verluste. Von gewisser Bedeutung ist auch die Bandbreite, innerhalb der sich die angeführten Eigenschaften nicht wesentlich verschlechtern, weil die Antenne ja etwa durch Regen verstimmt wird. Erstens ist die Handhabung eines Programmes, das alle diese Parameter berücksichtigt, nicht einfach. Zweitens arbeiten die meisten dieser Programme mit Vereinfachungen, die bei 3- oder 4-elementigen Kurzwellenantennen zulässig sind, nicht aber im UKW-Bereich.

Schon vor fast 10 Jahren wurden derartige Berechnungen durchgeführt und im Magazin „DUBUS“, Ausgabe 2/1991, veröffentlicht. Mittlerweile soll es sogar noch geringfügig verbesserte Designs geben, die dort beschriebenen 70cm-Antennen sind aber weit verbreitet und liefern sehr gute Ergebnisse. Ein ähnlich gutes Design wurde auch von K1FO entwickelt. Kommerzielle Antennen sind oft weitaus schlechter und sehr kritisch gegenüber Feuchtigkeit oder haben hohe innere Verluste (Flexa-Yagis, Tonna 21-Element).

Im Folgenden einige Tips zum Bau solcher Antennen geben.

Die Elemente werden isoliert durch den Boom geführt, um Kontaktprobleme zu vermeiden. Wenn die Kontakte der Elemente mit dem Boom durch Korrosion schlecht werden, ist das entsprechende Element total verstimmt. Diese Probleme treten z.B. oft bei Tonna-Antennen (2m, 70cm) auf. Eine bewährte Konstruktion des DJ9BV-Design (DUBUS) sieht so aus:

- Die Elemente sind 4mm dicke Aluminiumstäbe. Im Autozubehör gibt es billigen PVC-Schlauch mit einem Innendurchmesser von 4mm und einem Außendurchmesser von 7mm. Ein Stück

abschneiden, das etwas länger als der Boombdurchmesser ist und auf die Mitte des Elementes schieben. In den Boom 7mm große Löcher bohren und das Element durchstecken. Das Element mit Sprühlack z.B. „Felgenlack klar“, der an der Durchführung aufgetragen wird, fixieren (Abbildung 1).

- Speiseelement: Entscheidend ist seine Position und die Anpassung an die Speiseleitung, nicht aber die mechanische Ausführung (Länge, Dicke)! Ein T-Match kann leicht auf optimales SWR abgestimmt werden (Abbildung 2).

Das ist bei Verwendung von offenen Speiseleitungen nicht so wichtig, weil dabei für die Symmetrie der Anlage in erster Linie die gleiche Impedanz entscheidend ist. Das SWR muß nur halbwegs akzeptabel sein. Bei Verwendung eines Koax-Baluns und eines Koaxkabels als Speiseleitung sollte das SWR jedoch sehr gut sein, weil es sonst keine Abstimmöglichkeiten gibt.

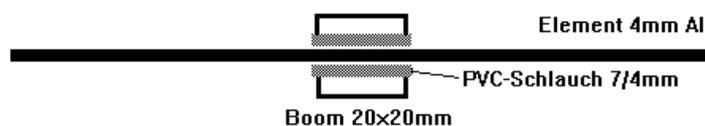


Abbildung 2

Der Dipol (Alurohr außen 8mm, innen beliebig, 320mm lang) wird isoliert durch den Boom geführt und von Teflonplatten gehalten, die mit M3-Schrauben am Boom befestigt sind. Diese Teflonplatten halten auch die zum Dipol parallelen Anpaßelemente. Sie bestehen jeweils aus einem 5mm dicken und ca. 110mm langen Alustab. Sie werden, durch eine 0.5mm starke Teflonfolie isoliert, in ein Alurohr (außen 8mm, innen 6mm Durchmesser, Länge 95mm) geführt. Dadurch wird ein sehr verlustarmer konzentrischer Kondensator gebildet. Das 8mm-Alurohr wird mit dem Speisedipol durch Aluplatten verbunden. Die Abstimmung auf bestes SWR erfolgt durch Verschieben der Aluplatten und der 8mm-Rohrstücke. Dabei muß auf Symmetrie der beiden Anpaßelemente geachtet werden.

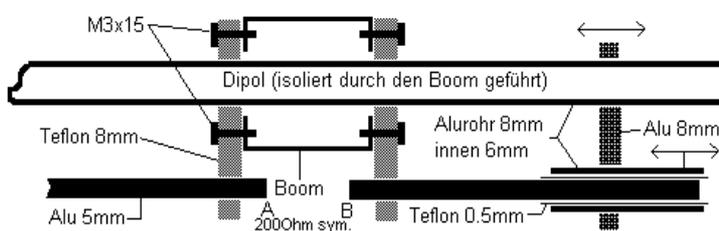


Abbildung 1

Die Speisung erfolgt an den Stellen A und B. Dort kann entweder eine offene Leitung mit einer Impedanz von  $200\Omega$  (siehe weiter unten) oder ein 4:1-Balun mit einem guten Koaxialkabel (z.B. Sat-TV, Semi Rigid; Verkürzungsfaktor beachten!) angeschlossen werden. Die Anpaßelemente müssen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit gut geschützt werden. Man kann dazu Kappen verwenden, die in Baumärkten erhältlich sind.

- Die Antenne werden etwa an ihrem mechanischen Schwerpunkt montiert. Dabei müssen 70cm- und besonders 23cm-Antennen so an den Enden eines H-Rahmens oder von Auslegern montiert werden, daß die Befestigungsrohre nicht durch die Elementebene gehen. Die Antennen werden also auf bzw. unter die Rohrenden aufgesetzt. Längere Antennen können z.B. mit Überzügen aus dünnen Stahlseilen gegen Durchbiegen versehen werden.
- Die Elementlängen und -Abstände und sonstige Hinweise sind in dem erwähnten DUBUS-Artikel beschrieben.

## 12. Speisung der Antenne

- Koaxialkabel

An den Punkten A-B (Abbildung 2) kann man ein 4:1 Balun mit einem Koaxkabel einfügen. Diese Methode wurde schon vor mehr als 30 Jahren im bekannten „Rothammel-Antennenbuch“ beschrieben. Statt des Baluns kann man auch ein Gamma-Match verwenden: man baut nur eine Hälfte des T-Match und schließt den Innenleiter des Kabels direkt an Punkt A oder B an und legt den Außenleiter an Masse (Boom).

Das Kabel bietet eine unkomplizierte Lösung, die besonders für lange Einzelantennen- möglich sind mehr als 10m Boomlänge auf 70cm- und terrestrische Anwendung geeignet ist. Das Kabel ist gegen Feuchtigkeit unempfindlich und leicht zu montieren. Allerdings sind die Verluste auch bei kurzen Verbindungen, also z.B. mehr als 1m „aircom“-Kabel zwischen Antenne und Vorverstärker auf 432MHz für nicht-terrestrische Verbindungen zu groß.

- Offene Speiseleitung

Für EME und Satellitenbetrieb bietet sich die offene Speiseleitung als beste Lösung an. Ihre Nachteile sind die Anfälligkeit gegen Feuchtigkeit. Bei Regen kann sich das SWR drastisch verschlechtern. Die Vorteile sind die extrem geringe Dämpfung und die sehr geringen Kosten, weil weder teure Koaxialstecker noch Kabel benötigt werden. Man braucht auch keinen Leistungsteiler zum Zusammenschalten (Stocken) von mehreren Antenne und nur einen zentralen Symmetriewandler, der gleichzeitig auch fast beliebig transformieren kann. Er sollte direkt an das Koaxialrelais geschraubt werden. Das Schema für die Zusammenschaltung von 2 Antennen zeigt Abbildung 3. Für 4 oder mehr Antennen ist eine ähnlich Schaltung möglich.

Die Leitung wird mit Teflonspreizern, die etwa alle 30cm angebracht werden und wieder mit etwas „Felgenlack klar“ gegen Verrutschen gesichert werden, stabilisiert. Die Verbindung mit den Punkten A und B kann man einfach mit Blockklemmen herstellen, die von der Kunststoffisolation befreit werden und an einem Ende quer durchbohrt werden. Für die Verbindung der Leitungen von Antenne 1 und 2 und der gemeinsamen Leitung zum Symmetriewandler haben sich 1,5mm starke Messingplättchen bewährt, die beidseitig der Alustäbe angebracht und mit M3-Schrauben, die Alustäbe also zwischen ihnen, zusammengeklemt werden. Damit ist auch eine gewisse Flexibilität garantiert, die bei starkem Wind wichtig ist. Alle Verbindungsstellen sollten zum Schutz gegen Korrosion gut mit Polklemmenfett (Autozubehörhandel) verschmiert werden, das wasserabweisend ist und nicht verdampft.

Abbildung 4 zeigt die Berechnung der offenen Speiseleitung. Ihre Impedanz Z ermittelt man mit der Formel

$$Z_T = 276 \cdot \log \frac{2D}{d},$$

die für Impedanzen ab ca. 200Ω ausreichend genau ist.

Auch der Symmetriewandler ist einfach zu bauen. Gut eignet sich ein „Viertelwellensperrtopf“ aus versilbertes Messing, das wegen der geringeren Wärmeleitfähigkeit besser als Kupfer zu löten ist (Abbildung 5). Da er gleichzeitig ein Transformator ist, muß seine Impedanz

$$Z_T = \sqrt{Z_{IN} \cdot Z_{OUT}}$$

betragen. Wenn  $Z_{IN}$  100Ω (symmetrisch) und  $Z_{OUT}$  50Ω (unsymmetrisch) ist, ergibt sich daraus ein  $Z_T$  von 70,7 Ohm. Die mechanischen Maße berechnet man mit der Formel

$$Z_T = 138 \cdot \log \frac{D(\text{Innenleiter 2})}{d(\text{Innenleiter 1})}$$

D: Innendurchmesser des Innenleiters 2

d: Außendurchmesser des Innenleiters 1

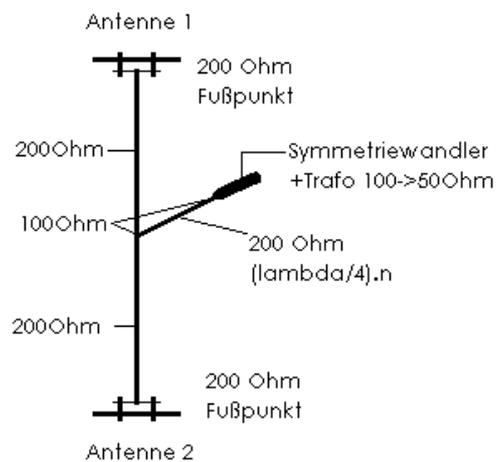


Abbildung 3

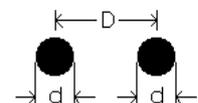


Abbildung 4

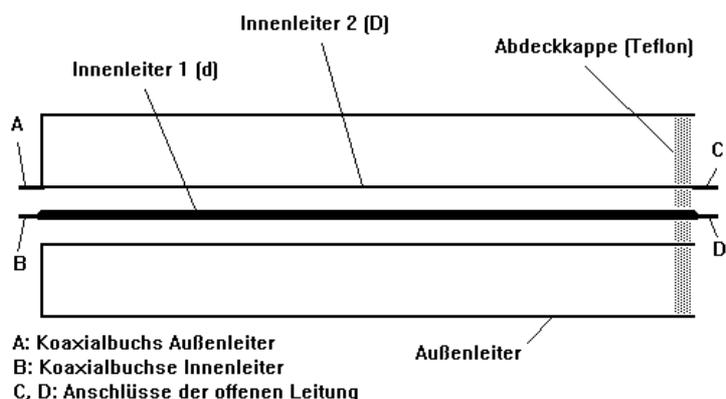


Abbildung 5

Der Außenleiter hat etwa den 3-4-fachen Durchmesser des Innenleiters 2. Die Länge des Topfes beträgt ungefähr 95% einer Viertelwellenlänge. Der Topf ist sehr breitbandig, daher ist seine Länge nicht besonders kritisch. Es ist darauf zu achten, daß kein Wasser eindringt, das dann besonders entlang des Innenleiters bis zum Koaxrelais durchsickern kann. Kondenswasserbildung kann man verhindern, in dem man an der Unterseite des Sperrtopfs ein oder zwei kleine Löcher in den Außenleiter und den Innenleiter 2 bohrt- 4mm Durchmesser reichen aus.

Oft ist trotz aller Bemühungen das SWR nach der Zusammenschaltung nicht besonders gut. Das ist keine Tragödie. Wenn man im letzten Stück vor dem Symmetriewandler zwei 150mm lange Teflonstücke zwischen die beiden Alustäbe der offenen Leitung einklemmt, kann man durch Verschieben das SWR optimieren. Es muß nur auf Symmetrie, d.h. gleiche Leitungslänge zu allen Antennen, geachtet werden.

Ein gutes SWR heißt aber noch nicht, daß das System optimal arbeitet. Das Strahlungsdiagramm der Antenne muß symmetrisch sein. Die ersten Nebenmaxima sollten dabei bei in der jeweiligen Stockungsebene 10-13dB unterdrückt und symmetrisch neben dem Hauptmaximum liegen. Andernfalls sind die einzelnen Antennen unterschiedlich abgestimmt, die Speiseleitung zu wenig sorgfältig aufgebaut oder zu nahe an einem anderen Konstruktionsteil (Koaxkabel, Drahtseile, Abspannungen usw.).

### 13. Vorverstärker

Die Preise von GaAs-FETs sind in den letzten Jahren auf einen Bruchteil gefallen, während zugleich ihre Qualität laufend verbessert wurden. Vor 15 Jahren konnten auf 10GHz Rauschzahlen unter 1dB nur mit extrem aufwendigen (=teuren) parametrischen Verstärkern erreicht werden. Heute werden solche Werte mit Printplattenaufbau in jedem besseren TV-Satellitenempfänger realisiert. Leider sind die Transistoren in Europa immer noch ziemlich teuer, etwa € 15,- pro Stück (in Japan € 4,- oder weniger).

Aus diesem Grund sollte man darauf achten, den GaAs-FET vor der „Hinrichtung“ durch HF beim Senden oder durch induzierte Spannungsspitzen bei Gewittern zu schützen. Normalerweise ist es auch nicht besonders lustig, den Verstärker vom Mast zu holen, zu zerlegen, den Transistor zu tauschen und dann am Mast wieder neu abzustimmen, besonders in der kalten Jahreszeit. Ein wirksamer Schutz sind getrennte Leitungen ins Shack, eine mit einem guten Kabel vom Sender direkt zum (einzigen) Koaxialrelais am Mast, eine vom Vorverstärkerausgang zum Empfängereingang. Dazu ist manchmal ein kleiner Eingriff in kommerzielle Transceiver notwendig, die keinen solchen Empfängereingang besitzen<sup>2</sup>. HEMT-FETs sind noch wesentlich empfindlicher gegen HF und statische Spannungen am Gate als normale GaAs-FETs. Daher habe ich eine kleine Schaltung entwickelt:

Das Problem ist, daß ich praktischen Gründen nicht von dem Grundsatz „1 Draht pro Band auf den Mast“ abgehen wollte. Beim Empfang wird dabei +12V für Relais und Vorverstärker geliefert, beim Senden liegt keine Spannung an. Das hat den Vorteil, daß man bei einer Unterbrechung dieser 12V-Leitung zwar nichts mehr hört, aber nicht in das Koaxrelais in der falschen Stellung senden kann. Außerdem liegt die Antenne am normalerweise gegen statische Spannungen relativ unempfindlichen Ausgang der Senderendstufe. Am Gate des HEMT-FETs sollte aber immer eine negative Spannung bezogen auf den Sourceanschluß anliegen. Sie wird mit zwei CMOS-ICs erzeugt, die im Empfangsfall nicht arbeiten. Beim Senden werden ca. 6 Minuten lang (wer quatscht länger in einem Durchgang?) -2V ans Gate gelegt, wobei der Stromverbrauch der Schaltung bei 1mA liegt. Danach deaktiviert sich die Schaltung von selbst, der Verbrauch sinkt auf 0. Das ist der Fall, wenn man z.B. die Station komplett abschaltet. Deshalb reicht zur Versorgung der Schaltung eine kleine 9V-Blockbatterie am Mast aus. Sie hält bei mir schon über ein Jahr und zeigt noch keine merkliche Ermüdung. Die Schaltung macht den GaAs-FET auch weniger anfällig gegen mangelnde Übersprechdämpfung des Koaxialrelais.

---

<sup>2</sup> zum Kauf angebotene gebrauchte Geräte „garantiert unverbastelt“ sind für mich verdächtig. Wahrscheinlich sind sie dermaßen schlecht, daß man sie auch mit großem Aufwand nicht an die Erfordernisse der Praxis anpassen kann und daher möglichst rasch wieder verkauft werden

## 14. Abstimmung des Vorverstärkers

Wie wir im Vorangegangenen gesehen haben, ist der Vorverstärker um so wichtiger, je höher die Frequenz ist. Ab 70cm kommt man mit einem 1-stufigen Vorverstärker normalerweise nicht aus, weil die Verstärkung zu gering ist, um den Einfluß des Empfängerkabels und des Empfängers vernachlässigbar zu machen. Ein weiteres Problem ist manchmal die mangelnde Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers.

Die Empfangsfrequenz wird auf eine niedrige Frequenz konvertiert. Dazu verwendet man einen Mischer, der einerseits mit einem Signal aus einem Lokaloszillator  $f_{LO}$ , andererseits mit dem empfangenen Signal  $f_{RX}$  gespeist wird. Am Mischerausgang wird das Zwischenfrequenzsignal  $f_{ZF}$  ausgefiltert. Dabei gilt folgende Formel:

$$f_{RX} = f_{LO} \pm f_{ZF}$$

Wenn man beispielsweise einen Transverter verwendet, der 432MHz auf 28MHz mischt, hat der Lokaloszillator eine Frequenz von 404MHz. Es wird also die Frequenz  $404\text{MHz} + 28\text{MHz} = 432\text{MHz}$  empfangen, aber auch  $404\text{MHz} - 28\text{MHz} = 376\text{MHz}$  (Spiegelfrequenz). Auf dieser Frequenz hat aber der Vorverstärker und die nachfolgenden Stufen eine äußerst schlechte Rauschzahl, daher muß man unbedingt darauf achten, die Spiegelfrequenz möglichst stark zu unterdrücken. Das selbe gilt natürlich auch für kommerzielle Empfänger, z.B. ein 2m-Gerät mit einer Zwischenfrequenz von 10,7MHz.

Ich habe den Empfänger folgendermaßen abgestimmt:

1. Den Empfänger mit (eventuell auf maximale Verstärkung) vorabgestimmtem Vorverstärker in Position FM auf ein Bakensignal stellen, das nicht ganz rauschfrei ist. Dabei beachten, daß das Signal in der Mitte des FM-Filters ist.
2. Ein analoges Wechselspannungsvoltmeter, das auch kleine Spannungen messen kann, an den Lautsprecherausgang anschließen. Mit einem Digitalvoltmeter läßt sich die Abstimmung nicht durchführen, da es zu langsam auf Änderungen reagiert.
3. Den Transverter (Empfänger) auf minimales Rauschen abstimmen. Wenn die Verstärkung des Vorverstärkers groß genug ist, spielt eine Änderung der Verstärkung der Stufen des Empfängers durch die Abstimmung auf beste Spiegelfrequenzunterdrückung keine Rolle. Man darf keinesfalls auf Signalmaximum abstimmen!

Jetzt kann der Vorverstärker abgestimmt werden. Entweder man hat einen Rauschmeßplatz oder wendet eine Methode an, die bei mir exzellente Ergebnisse brachte.

Ein Rauschmeßplatz ist teuer und nicht unproblematisch. Im Prinzip wird eine Rauschquelle an den Verstärkereingang angeschlossen, die ein- und ausgeschaltet wird. Wenn der Verstärker selbst nicht rauscht, also bei einem idealen Verstärker, wird das Verhältnis der Rauschleistung der Rauschquelle im ein- und ausgeschaltetem Zustand am Verstärker Ein- und Ausgang gleich sein. Leider ergeben sich in der Praxis eine Reihe Problemen:

- Die Rauschleistung der Rauschquelle hängt vom Eingangs-SWR des Vorverstärkers ab. Beim Abstimmen ändert sich das SWR und führt daher zu unbrauchbaren Ergebnissen. Lösungsmöglichkeit: Abschwächer zwischen Rauschquelle und Meßobjekt.
- Störsignale (z.B. von einem PC) auf der Meßfrequenz machen ein Abstimmen unmöglich.
- Meist wird die Meßfrequenz auf eine Zwischenfrequenz z.B. 28MHz, konvertiert. Hier muß man die oben angeführten Probleme (Spiegelfrequenz!) beachten. Außerdem sollte ein schmalbandiges ZF-Filter, das genau auf 28MHz abgestimmt ist, verwendet werden.

Man kann als Rauschquelle auch 2 50Ω-Widerstände verwenden, von denen einer Raumtemperatur hat und der andere etwa mit flüssigem Stickstoff auf eine sehr tiefe Temperatur gekühlt wird, verwenden.

Eine absolute Messung der Rauschzahl oder -Temperatur ist sehr schwierig. Bei kommerziellen Rauschmeßgeräten wird sie zwar angezeigt, ist aber oft mit großen Fehlern behaftet. In der

Radioastronomie wird sie gemessen, in dem der Unterschied zwischen 2 Rauschquellen, deren Temperatur bekannt ist, bestimmt wird. Damit kann man die Gesamttemperatur „herausrechnen“.

Ich verwende eine andere sehr einfache Methode zur Rauschoptimierung des Vorverstärkers. Dazu muß man eine NF-Leitung auf den Mast legen oder man nimmt einen Empfänger mit. Jetzt richtet man die Antenne auf einen kalten Punkt am Himmel (z.B. Sternbild Löwe oder Wassermann; Azimuth- und Elevationswerte kann man mit dem Computer berechnen oder aus einer „drehbaren Sternkarte“ ablesen) und achtet darauf, daß ein Bakensignal mit einigem Rauschanteil über einen „Nebenzipfel“ der Antenne empfangen werden kann. Da diese Nebenzipfel sehr schmal sind, sollte man sich einen windstillen Tag aussuchen, weil eine schwankende Antenne die Messung unmöglich macht. Am Mast wiederholt man nun die bei der Abstimmung zur Spiegelfrequenzunterdrückung angeführten 3 Schritte. Das ist zwar etwas ungemütlich, aber brachte bei mir hervorragende Ergebnisse, weil der Vorverstärker optimal an die Speiseleitung und die Antenne angepaßt wird. Alle Probleme des Rauschmeßgerätes werden umgangen und- billiger geht es nicht! Verwendet man 2-stufige Verstärker, sollte man die erste und zweite Stufe ein paar Mal vertauschen und jeweils auf Rauschminimum abstimmen. Einem optimalen Vorverstärker mit einer Rauschzahl von weniger als 0,3dB auf 432MHz muß eine 2. Stufe mit einer Rauschzahl von weniger als 1dB folgen!

## 15. Ergebnisse

Die Optimierung meiner 70cm-Anlage brachte folgende Ergebnisse:

- Mit 4 (Eigenbau-)Yagis á 5,4m Boom, also geringfügig länger als die weit verbreitete Tonna 21-Element-Antenne, und 200W Sendeleistung kann man bei halbwegs guten Bedingungen Echos vom Mond empfangen.  
Die Entfernung zum Mond beträgt ungefähr 400000km, bei 300000km/s Lichtgeschwindigkeit ergibt sich daraus eine Laufzeit von ca. 2,7 Sekunden.
- Mit einer derartigen Anlage lassen sich relativ problemlos dutzende Stationen über EME arbeiten. Selbst mit nur 2 Antennen kann man einige Stationen erreichen.
- Man kann mit dieser Anlage in kleinem Maßstab auch Radioastronomie betreiben. Nicht nur das Sonnenrauschen und dessen Schwankungen lassen sich messen, auch das Rauschen der Galaxis und der verschiedenen darin eingebetteten Radioquellen sollte problemlos empfangen werden können. Der Unterschied zwischen kaltem Hintergrund (15°K) und „durchschnittlicher“ Galaxis (40°K) ist mit einem einigermaßen optimierten Empfangssystem deutlich festzustellen.
- Auf 70cm ist der Rauschanteil des (guten) Vorverstärkers vielleicht ein Drittel des gesamten Empfängerrauschens. Daher erfordert seine Abstimmung nach der oben beschriebenen Methode Geduld: das angezeigte Minimum ist relativ flach. Außerdem sollte man sich kritisch überlegen, welche Komponenten des Empfangssystem den größten Rauschanteil liefern, bevor man einen neuen Vorverstärker konstruiert.
- 4 Antennen auf 70cm sind sicher nicht größer als ein Kurzwellenbeam! Daher braucht man auch keine besonders kräftigen Rotoren. Problematisch ist aber die meistens geringe Anzeigegenauigkeit für die Antennenrichtung bei kommerziellen Rotoren, weil gestockte UHF-Antennen oder Parabolspiegel ziemlich scharf bündeln. Als Elevationsrotor benütze ich eine simple Konstruktion, die sehr stabil ist und eine sehr genaue Antennenausrichtung ermöglicht. Sie besteht aus einem billigen Stellmotor für TV-Satellitenspiegel und einem Up/Down-Zähler.
- Wie sonst in kaum einem anderen Bereich ist hier Eigenbau gefragt! Verschiedenen Komponenten, z.B. offene Speiseleitungen oder hochwertige Empfangsvorverstärker, kann man nicht fertig kaufen. Der Anlagenbau auf hohen Frequenzen bietet sicher eine große Herausforderung und daher auch schöne Erfolgserlebnisse, z.B. wenn man mit selbstgebauten Antennen, Eigenbau-Vorverstärker und -Endstufe eigene Radioechos vom Mond empfängt.
- Kommerzielle UKW-Transceiver haben meist nicht die Features, die bei Kurzwellengeräten Standard sind. Das sind besonders schmalbandige Filter, „pass band tuning“ und Großsignalfestigkeit. Sie sind aber besonders für den Contestbetrieb, aber auch für den Empfang

sehr schwacher Signale unumgänglich. Gut bestückte UKW-Geräte sind sehr teuer. Wenn ein guter Kurzwellentransceiver vorhanden ist, kann man für den Bruchteil des Preises eines UKW-Transceivers einen Transverter nachschalten. Für 13cm und kürzere Wellenlängen sind keine Transceiver erhältlich.

Für weitere Informationen stehe ich gerne zur Verfügung.

Packet Radio-Mailbox: OE1XAB

e-Mail: oe3jpc@aon.at

Viel Erfolg beim (Um-)Bau der UKW-Station!

#### 16. Literatur:

- (1) Rainer Bertelsmeier, DJ9BV: High Gain Yagis for 432MHz; DUBUS 2/1991
- (2) Rainer Bertelsmeier, DJ9BV, and F6HYE: Performance Evaluation for EME-Systems; DUBUS 3/1992
- (3) Rainer Bertelsmeier, DJ9BV: Open Feed Systems for 432MHz Yagi Arrays; DUBUS 3/1993
- (4) Tools of Radio Astronomy, Springer Verlag
- (5) R. Müller: Halbleiter-Elektronik 15 - Rauschen; Springer Verlag
- (6) Rainer Bertelsmeier, DJ9BV: Ultrarauscharme GaAs-FET Empfangsvorverstärker für EME (Skriptum zum Weinheim-Treffen 1987)
- (7) The Real Meaning of Noise Figure; ham radio March 1969
- (8) Michael Martin, DJ7VY: Extrem rauscharme Vorverstärker erfordern dämpfungsarmes Antennenkabel!; UKW-Berichte 1/83
- (9) Peter Cerveny, EA6/DF5JJ: 1296MHz-EME und 1296MHz-Cavity-LNA mit FHX35
- (10) *als Kuriosum*: Wolfram Püschner, DF7KB: Das Rauschverhalten von Verstärkern; UKW-Berichte 2/85 (zeigt, was geschieht, wenn man einen Rauschmeßplatz falsch einsetzt!)