

Systemdesign für KW-Stationen

(oder warum eine PA mehr bringt als eine grosse Antenne)



Inhalt

1. Einleitung	2
2. Der Signal-Rausch-Abstand, das Mass aller Dinge	2
3. Antennengewinn: die überschätzte Grösse	6
4. Antennen für die Bänder 80m und 160m	14
5. Transceiver und PAs	15
6. Standort: die wichtigste Systemkomponente	17
7. Bilanz und Schlusswort	18

1. Einleitung

«Es ist immer wieder erstaunlich, mit wie wenig Aufwand für eine Kurzwellenstation man wie weit kommt!» Solche Aussagen kursieren oft, aber sie sind falsch oder wenigstens nicht korrekt. Denn wenn etwas öfters vorkommt, ist es nicht erstaunlich, sondern normal. Vielmehr müsste man sagen: «Es ist erstaunlich, wie wenig Verbesserung eine grosse KW-Antenne bringt!»

Zugegeben, die zweite Aussage ist provokant und braucht deshalb eine vertiefte Erläuterung. Und dazu muss man das Gesamtsystem betrachten, nicht nur die Antenne alleine.

Um es gleich klarzustellen: ich habe nichts gegen Monster-Yagis. Ich werde aber zeigen, dass man mit einer PA viel günstiger denselben Effekt erzielt und dass die Masthöhe wichtiger ist als die Anzahl der Antennenelemente. Und dass das QTH den grössten Beitrag zur Signalstärke liefert. Und ich werde zeigen, dass auch Inhaber einer mittelmässigen Station sich hohe Ziele setzen dürfen.

Wer grosse Antennenanlagen installieren möchte, muss wissen, ob sich die Investition lohnt. Das hängt ab von der Zielsetzung, Contester haben andere Kriterien als DX-Jäger oder Gelegenheitsfunker.

2. Der Signal-Rausch-Abstand, das Mass aller Dinge

Bild 1 zeigt das grundsätzliche Problem der Nachrichtenübertragung: am Empfängerausgang muss der Signal-Rausch-Abstand *genügend* gross sein. Das Empfangssignal muss nicht möglichst stark sein und der Signal-Rausch-Abstand muss ebenfalls nicht möglichst gross sein, sondern nur genügend gross. Wie viel es braucht, bestimmt die Anwendung: Musik braucht mehr als Sprache und diese mehr als CW und CW mehr als FT8.

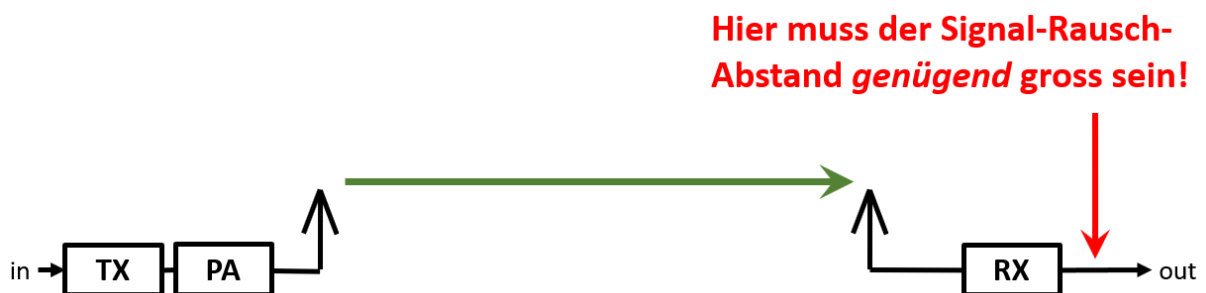


Bild 1: Bei der Nachrichtenübertragung geht es *immer* und *nur* darum, am Empfängerausgang den Signal-Rausch-Abstand *genügend* gross zu machen. Und dies natürlich mit möglichst wenig Aufwand.

Nochmals: Der Signal-Rauschabstand muss lediglich genügend gross sein. Das erfährt man z.B. in einem beliebigen Restaurant: um 18 Uhr kann ich im noch fast leeren Speisesaal mit den Tischnachbarn in Normallautstärke sprechen, um 20 Uhr muss ich wegen der anderen

Gespräche schreien und alle ändern tun dasselbe. Weil der Störpegel gestiegen ist, muss ich den Signalpegel ebenfalls erhöhen, um den Signal-Rausch-Abstand genügend gross zu halten. Mit andern Worten: man muss die PA einschalten, um das QRM zu übertönen.

Der Signal-Rausch-Abstand (Englisch: signal to noise ratio, SNR oder S/N) ist das Verhältnis zwischen der Leistung des erwünschten Signales zur Gesamtleistung aller unerwünschten Signale (QRM, QRN, Elektrosmog, Empfängerrauschen, Intermodulation usw.).

$$SNR = \frac{P_S}{P_N} = \frac{\text{Leistung des Nutzsignales}}{\text{Gesamtleistung aller unerwünschten Signale}} \quad (\text{Gleichung 1})$$

Und jetzt sind die Dezibel sehr nützlich. Wenn man die Leistungen in dBm (oder dBW, Hauptsache einheitlich) angibt und alle Leistungsänderungen (Verstärkungen, Antennengewinne, Dämpfungen) in dB, so kann man die Beiträge aller Systemkomponenten einfach addieren bzw. subtrahieren.

Die Leistung des Nutzsignales am Empfängereingang in dBm beträgt somit:

$$P_s = \text{Sendeleistung} + \text{Antennengewinne} - \text{Kabeldämpfungen} - \text{Kanaldämpfung}$$

Die S-Stufen sind wie die Dezibel ein logarithmisches Mass. Per Definition entspricht 1 S-Stufe einem Leistungszuwachs von 6 dB, also einer Vervierfachung. Eine Leistungsverdoppelung entspricht 3 dB bzw. 0,5 S-Stufen.

Zu den einzelnen Grössen lässt sich Folgendes anmerken:

- **Sendeleistung:** ein üblicher Trcv hat 100 W Ausgangsleistung, das sind 20 dBW bzw. 50 dBm. Mit einer PA kann man das um den Faktor 10 vergrössern, das sind 10 dB oder 1,7 S-Stufen.
- **Antennengewinne:** ein Beam mit 4 aktiven Elementen erzielt gegenüber einem Dipol einen Gewinn von ca. 7 dB oder ca. 1 S-Stufe. Haben Sende- und Empfangsstation je eine solche Monster-Antenne, so kriegt man 14 dB bzw. etwas mehr als 2 S-Stufen Systemverbesserung.
- **Kabeldämpfungen:** Es geht um die Antennenzuleitungen, meistens Koaxialkabel. Wegen des Skin-Effektes haben diese mit steigender Frequenz eine grössere Dämpfung. Im KW-Bereich kann man bei den üblichen Leitungslängen die Kabeldämpfung getrost vernachlässigen. Mehr dazu und auch zu Empfangsvorverstärkern folgt im Abschnitt 5.
- **Kanaldämpfung:** Diese ist riesig und extrem variabel (Ausbreitungsbedingungen). Wenn ein Signal von 1 kW bzw. 60 dBm (Ausgang der PA) am Eingang des Empfängers einen Nutzsignalpegel von 50 μ V an 50 Ω erzeugt (das entspricht einem Leistungspegel von -73 dBm, per Definition sind das S9), so wurde dieses Signal unterwegs um 133 dB abgeschwächt. Das ist ein Faktor von 20 Billionen! Der überwiegende Teil ist übrigens nicht Dämpfung, sondern Verdünnung: die elektromagnetische Energie wird nicht in Wärme umgesetzt, sondern verteilt sich und schlägt nicht an der Empfangsantenne auf.

- **QRM:** Das sind Störungen durch andere «Nutz»-Signale, d.h. von Aussendungen anderer Funkamateure. In einem pile up ist dies ein grosses Problem und wird mit Funkdisziplin und dem Split-Betrieb angegangen.
Eine Richtantenne beim Empfänger vergrössert das Nutzsignal und verringert dasjenige QRM, das von der Seite oder von hinten zur Antenne gelangt. RX-mässig verbessert die Antenne das SNR also zweifach. TX-mässig verstärkt sie das eigene Signal nur einfach.
- **QRN:** Damit waren früher die atmosphärischen und galaktischen Störungen gemeint. Erstere steigen mit sinkender Frequenz und sind auf den Bändern 160m und 80m ein Problem. Deshalb benötigt man dort für erfolgreichen DX-Betrieb separate Empfangsantennen (z.B. Beverages). Während Gewittern ist dieses QRN speziell stark. Das galaktische Rauschen wird im KW-Bereich übertönt durch das atmosphärische Rauschen und kann deshalb ignoriert werden.
Heutzutage kommt noch eine weitere Komponente dazu: der menschengemachte Elektrosmog macht uns das Leben schwer. Moderne Beleuchtungen, Schaltnetzgeräte, Photovoltaikanlagen usw. heben den Störpegel stark an. Gegenmassnahmen sind Entstörungen und Flucht in unbewohnte Gebiete, was den Remote-Betrieb attraktiv macht.
- **Empfängerrauschen:** Das unvermeidliche Eigenrauschen des Empfängers ist ein anderes Mass für dessen Empfindlichkeit. Seit Jahrzehnten sind die KW-Empfänger genügend empfindlich, d.h. das QRN übertönt das Empfängerrauschen. Letzteres können wir deshalb ebenfalls vernachlässigen. Bei höheren Frequenzen ist dies ganz anders, siehe Abschnitt 5.
- **Intermodulation:** Das ist selbstgemachtes QRM. Nichtlinearitäten im Empfänger erzeugen neue Signale, welche schwache DX-Signale sogar überdecken können. Auch das ist bei modernen Empfängern kein grosses Problem mehr, siehe Abschnitt 5.

Das SNR kann man verbessern, indem man den Wert des Zählers in Gleichung 1 vergrössert und/oder den Wert des Nenners verkleinert. Für die Wirkung am Empfangsort ist es völlig egal, wie eine Vergrösserung des SNR zustande kommt. Eine Anhebung der Sendeleistung von 500 W auf 1 kW (Zunahme um 3 dB) oder der Wechsel von einem Beam mit 4 Elementen auf ein Modell mit 6 Elementen (Zunahme des Antennengewinnes um 3 dB) haben exakt denselben Effekt bei der Gegenstation.

Nehmen wir als Referenz eine KW-Station mit 100 W Sendeleistung und einem Dipol als Antenne. Wie kann man am günstigsten die Systemleistung verbessern? Die für manche vielleicht erstaunliche Antwort lautet: mit einer PA. Hat diese 1 kW, so bewirkt sie eine Systemverbesserung um 10 dB oder 1,7 S-Stufen. Die gleiche Wirkung erzielt man auch mit der Installation eines Beams mit 6 aktiven Elementen. Das ist aber wesentlich teurer, denn es erfordert ja auch einen starken Mast und einen grossen Rotor, beide müssen mit diesem Ungetüm von Antenne umgehen können. Die XYL ebenfalls. Und die Baubehörden auch noch.

Ein Gegenargument ist allerdings, dass eine bessere Antenne auch empfangsmässig wirksam ist, eine PA aber nicht. Das ist korrekt, die Praxis zeigt aber meistens andere Anforderungen. Jeder weiss aus Erfahrung, dass man mit 100 W und Dipol alle Kontinente auf KW erreichen kann. Ob ich dort mit S9 oder S8 ankomme, ist ja egal. Anders sieht es aus bei der DX-Jagd. Ich

kann zwar oft die DX-Station hören, aber ich kann das pile up nicht knacken, weil das QRM im Split-Bereich zu gross ist. Dann braucht es die PA einzig dafür, um im QRM aufzufallen, d.h. die Konkurrenten im pile up zu übertönen. Und dann ist es egal, ob die 10 dB von der PA kommen oder von der Antenne. Nur mein Sendesignal muss verbessert werden, nicht der Empfang. Wer das Taschengeld für PA und Antenne hat, darf sich natürlich doppelt glücklich machen.

Um die Relationen zu wahren noch ein Zahlenvergleich: die Kanaldämpfung beträgt wie gesagt 133 dB oder noch mehr. Mit einer Monsterantenne stellt man dem 10 dB gegenüber, vergleichsweise wenig. Auch das ist Alltagserfahrung: mit der besten und teuersten Station am besten Standort muss man kapitulieren, wenn die Ionosphäre gerade keine Lust hat, zu kooperieren.

Auch wenn der Dipol im Prinzip reicht, hat er einen Nachteil: er ist schlecht drehbar. In der Theorie hat ein gestreckter Dipol eine 8 als Strahlungsdiagramm, darauf beziehen sich auch die Gewinnangaben der Richtantennen. In der Praxis trifft man aber meistens inverted-V an, diese strahlen steiler (schlecht für DX) und in alle Richtungen (gut für nicht drehbare Antennen). Deshalb rate ich, wenn immer möglich eine Yagi-Antenne für die Bänder 10m bis 20m zu benutzen. Als Vorgriff auf später: ich empfehle auch, es bei 2 aktiven Elementen pro Band bewenden zu lassen. Das ist zwar nicht die effektivste, aber die effizienteste Antenne. Und diese Antenne soll auf einem hohen Mast sein, 15 m oder sogar 20 m hoch. 2 Elemente in 20 m Höhe bringen klar bessere Resultate als 4 Elemente in 10 m Höhe. Oder nochmals anders: Yagi ja, aber das Geld soll hauptsächlich in den Mast fließen, nicht in die Antenne.

Es gibt noch einen anderen Weg, die Leistungsfähigkeit seiner KW-Station zu verbessern. Das Ziel ist ja immer, das SNR *genügend* gross zu machen. Statt das Sendesignal zu verbessern, kann man ja auch eine Betriebsart benutzen, für die bereits ein kleineres SNR gut genug ist. Die Rede ist von CW anstelle SSB oder sogar FT8 anstatt CW. Für die diversen Anwendungen gelten folgende Minimalwerte für das SNR:

- **Musik: 40 dB**
Es geht auch mit weniger, das macht dann aber keinen Spass mehr. Die CD bietet 90 dB.
- **Telefon: 30 dB**
Der «Abnehmer» ist wie bei der Musik das menschliche Ohr. Es geht aber um Sprache, wichtig ist nicht ein Hörgenuss, sondern die leichte Verständlichkeit des Inhaltes. Deshalb reichen bereits 30 dB.
- **SSB: 10 dB**
Da geht es ebenfalls um Sprache, aber sie darf schwieriger verständlich sein. Der Funker ist ja bereit, nötigenfalls die Ohren zu spitzen und mit grösster Konzentration zu hören. Man soll sich aber einer «Funkttersprache» bedienen und nicht einer «Schauspieler-sprache». Letztere soll interessant und abwechslungsreich tönen und variiert die Lautstärke. Das kann man sich bei lausigem SNR nicht leisten, Funker sprechen darum monoton, deutlich und prägnant, das erhöht die Verständlichkeit.
Genau diese 10 dB trifft man auch in den Datenblättern der Empfänger bei der Rubrik Empfindlichkeit an: beim IC-7300 z.B steht 0,16 μ V bei SSB und 10 dB S/N. Die Modulationsart braucht es als Angabe für die benutzte Bandbreite, ebenso braucht es die Angabe des mit der spezifizierten Antennenspannung erreichten SNR. Mit allen drei Angaben und der Impedanz des Antenneneinganges kann man die Eigenrauschleistung des Empfängers berechnen. Beim IC-7300 beträgt diese -132.9 dBm bei 2,7 kHz Bandbreite, das ergibt eine Rauschzahl $n = 4,74$ bzw. ein Rauschmass $F = 6,8$ dB.

- **CW: 0 dB**

Immer noch ist das menschliche Ohr der Abnehmer, aber das Verfahren ist digital und darum störresistenter und deshalb weniger anspruchsvoll gegenüber dem SNR. Die Information liegt im Rhythmus, es braucht keine wohlklingenden Töne, vielmehr reicht bereits eine rhythmische Änderung des Rauschens.

Es soll CW-OPs geben, die Signale mit -10 dB SNR aus dem Rauschen fischen können.

- **FT8: -10 dB**

Ich weiss, angezeigt werden bis -24 dB oder sogar -26 dB. Die bescheidenere Zahl -10 dB ist sogar noch zu hoch gegriffen (d.h. zu tief), fügt sich aber wunderbar in die Zehnerreihe ein. Die vom FT8-Programm angezeigten SNR-Zahlen lassen sich nicht direkt vergleichen mit denjenigen von SSB und CW. Der Grund ist, dass bei FT8 die Empfangsbandbreite grösser ist (gerechnet wird mit 2.5 kHz) als die Sendebandbreite von 50 Hz. Die Grundaussage bleibt aber, dass FT8 deutlich empfindlicher ist als CW. Diese unglaublich tiefe Anforderung an das SNR kommt zustande durch die digitale Übertragung, kombiniert mit einer geschickten Kanalcodierung. Diese fügt den Texten Redundanz zum Störschutz zu, mit hochstehenden mathematischen Verfahren kann der ursprüngliche Text aus einem Signalstrom extrahiert werden, auch wenn einzelne Symbole falsch detektiert wurden.

Nehmen wir wiederum eine Station im SSB-Betrieb mit 100 W und Dipol als Referenz. Der Wechsel auf CW erspart gegenüber SSB 10 dB, das entspricht der Wirkung einer PA mit 1 kW **oder** eines Beams mit 6 Elementen. Wechselt man von SSB auf FT8, so sinken die Anforderungen um 20 dB. Das entspricht der Wirkung einer PA **und** eines Beams mit 6 Elementen, kommt aber wesentlich günstiger.

Nach der Abschaffung des CW-Obligatoriums vor über 20 Jahren haben darum trotzdem etliche Funkamateure CW erlernt, um die Durchschlagskraft von CW zu nutzen. Seit der Einführung von FT8 vor bald 10 Jahren besteht kein Druck mehr dafür, FT8 kann es besser als CW. Trotzdem hoffe ich inständigst, dass CW langfristig überlebt und auch in Contests weiterhin rege benutzt wird.

3. Antennengewinn: die überschätzte Grösse

In diesem Kapitel geht es um die Antenne als Systemelement und nicht etwa um eine Marktübersicht, Bauanleitungen oder Empfehlungen.

Die Sendeantenne hat die Aufgabe, die geführte Welle vom Koaxialkabel zu übernehmen und abzustrahlen. Dabei sollen möglichst keine Reflexionen (SWR) und keine Verluste auftreten. Idealerweise gehen wir mal davon aus, dass die gesamte von der Antennenzuleitung angelieferte Leistung (Energie pro Sekunde) abgestrahlt wird.

Der sog. isotrope Strahler strahlt in sämtliche Richtungen des dreidimensionalen Raumes gleichmässig ab. Das Abstrahlendiagramm hat also Kugelform. Es handelt sich um eine punktförmige Antenne im Weltraum, d.h. ein rein hypothetisches Ding, das aber mathematisch einfach beschreibbar ist.

Eine Richtantenne bündelt die abgestrahlte Leistung räumlich (Azimuth **und** Elevation), sie strahlt aber insgesamt nicht mehr Leistung ab als der isotrope Strahler. Wenn also eine Richtung bevorzugt wird, müssen im Gegenzug andere Richtungen benachteiligt werden.

Der Antennengewinn ist die scheinbare Leistungserhöhung durch den Einsatz der Richtantenne. Beispiel: ich sende mit 100 W und einem Dipol zu einem Empfänger und messe dort den Pegel, der sei S7. Nun ersetze ich den Dipol durch die Richtantenne, alles andere bleibt unverändert. Nun messe ich am Empfänger S8 als Empfangsleistung. Das Empfangssignal ist um 1 S-Stufe stärker geworden, das entspricht 6 dB. Die Richtantenne hat somit 6 dB Gewinn gegenüber dem Dipol. Dasselbe gilt auch für Empfangsantennen.

Zweites Beispiel: ich wiederhole den Versuch, beginne aber mit der Richtantenne. Der Empfangspegel ist S8. Nun schalte ich auf den Dipol um, der Empfangspegel fällt auf S7. Jetzt erhöhe ich die Sendeleistung so lange, bis der Empfänger wieder S8 anzeigt und messe dann die Sendeleistung, die wird 400 W betragen. Der Anstieg von 100 W auf 400 W entspricht 6 dB und das ist der Antennengewinn.

Wenn man den Dipol als Referenzantenne benutzt, so bezeichnet man den Antennengewinn mit dBd. Nimmt man hingegen den isotropen Strahler als Referenz, dann lautet die Bezeichnung dBi.

Der Dipol hat gegenüber dem Dipol natürlich einen Gewinn von 0 dBd. Aber gegenüber dem isotropen Strahler hat er einen Gewinn von 2,15 dB, das kann man mit Feldtheorie berechnen oder einfach glauben. Der Dipol hat also einen Gewinn von 2,15 dBi bzw. 0 dBd, beide Antennen strahlen dabei ungestört, «sind also im Weltraum».

Ein Beam mit 4 aktiven Elementen hat einen Gewinn von ca. 7 dBd bzw. $7 + 2,15 \approx 9,2$ dBi. Antennenhersteller geben in ihren Katalogen darum gerne dBi an, weil das die höhere Zahl gibt als dBd. Irgendwo im Kleingedruckten oder in einer Fussnote steht natürlich schon, welche Referenz zugrunde liegt. Kunden, welche ohne Sachkenntnis einfach auf die höchste Zahl schauen, können aber irregeführt werden.

Es kommt noch besser! Normalerweise sind unsere Antennen nicht im Weltraum platziert, sondern ein paar Meter über dem leitfähigen Boden. Dies führt zum sog. ground gain, der dadurch zustande kommt, dass sowohl die direkte Welle auf die Antenne trifft als auch eine am Boden in der Umgebung reflektierte Welle, Bild 2.

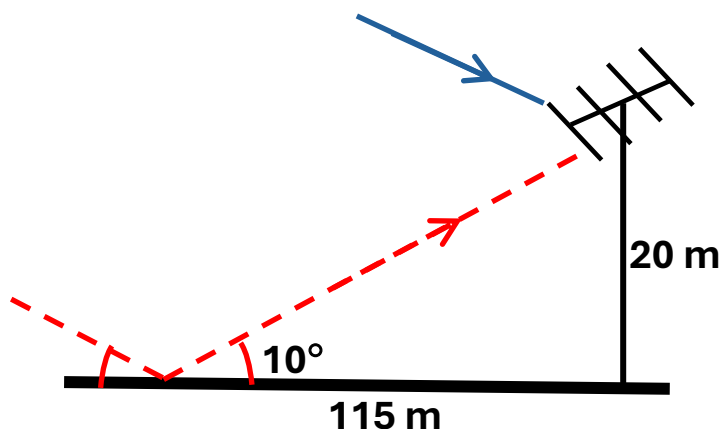


Bild 2: Direkte (blau) und reflektierte Welle (rot) treffen auf die Antenne

Die reflektierte Welle hat einen längeren Weg und somit eine Phasenverschiebung gegenüber der direkten Welle. Beträgt diese 360 Grad oder 720 Grad usw., so sind diese Wellen in Phase und die Leistungen addieren sich. Bei 180 Grad, 540 Grad usw. sind sie gegenphasig und subtrahieren sich. Eine komplette Auslöschung geschieht nur dann, wenn beide Wellen gleich stark sind, die reflektierte Welle ist aber wegen der nichtidealen Reflexion (Absorption und Streuung) schwächer.

Eine Richtantenne hat darum nicht nur ein horizontales Strahlungsdiagramm (Bild 3), sondern auch ein vertikales Strahlungsdiagramm (Bild 4).

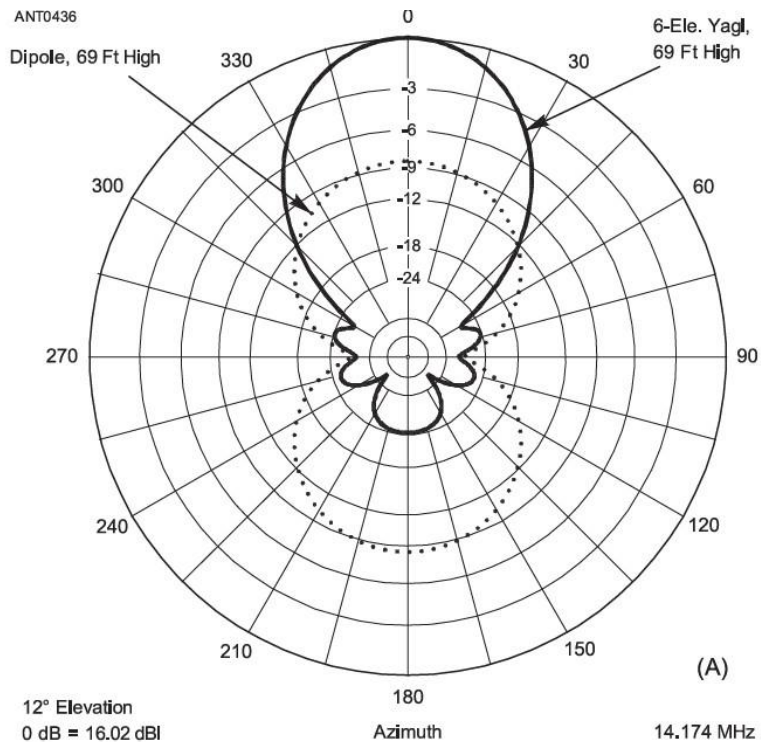


Bild 3: Horizontales (exakter: schräges) Strahlungsdiagramm einer Yagi mit 6 aktiven Elementen in 20 m Höhe (ausgezogene Linie) im Vergleich zum gestreckten Dipol in derselben Höhe (punktierte Linie).

In Bild 4 sieht man die Hauptkeule bei einer Elevation von ca. 15 ° und eine Nebenkeule bei ca. 40 °. Das sind die konstruktiven Interferenzen der beiden gleichphasigen Teilwellen, wogegen das Minimum bei ca. 30 ° eine destruktive Interferenz der genau gegenphasigen Teilwellen ist. Für Freunde der Physik: das ist dasselbe wie die Fresnel-Zonen.

Und jetzt kommt die erste schlechte Nachricht: der Elevationswinkel der Hauptkeule hängt ab von der Antennenhöhe. Je höher, desto tiefer liegt die Hauptkeule. Das ist genau das, was die DXer wollen. Zeigt die Hauptkeule mit 30 ° nach oben und kommt die direkte Welle mit 15 ° zur Antenne, so fällt diese Welle «unter der Antenne durch», d.h. der Gewinn ist gar nicht vorhanden, die Antenne «schießt» in der vertikalen Dimension. Das ist derselbe Effekt, wie wenn eine Welle wunderbar passend mit 30 ° Elevation eintrifft, die Antenne aber um 45 ° in der horizontalen Dimension verstellt ist. Dann fällt die Welle aus dem Diagramm in Bild 3.

Das «horizontale» Diagramm in Bild 3 ist darum in Tat und Wahrheit ein «Schrägdiagramm» mit der Elevation 12° (so angegeben in Bild 3), das ist die Elevation mit dem maximalen Gewinn laut Bild 4.

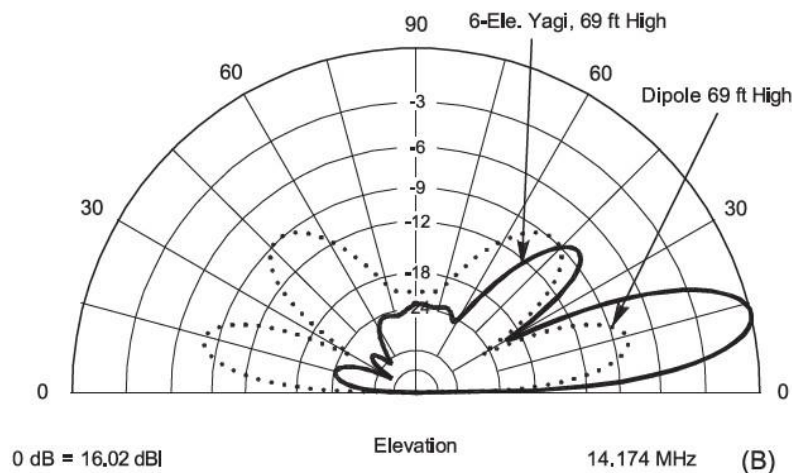


Bild 4: vertikales Strahlungsdiagramm der Yagi aus Bild 3.

(Quelle für die Bilder 3 und 4: ARRL Antenna Book, 25. Aufl., Kap. 13.2)

Je höher die Antenne, desto tiefer zeigt die Hauptkeule. Die Antenne kann aber auch zu hoch sein, dann gibt es zahlreichere Keulen im Vertikaldiagramm und das ist auch unerwünscht. Die optimale Höhe der Antenne liegt im Bereich $1,5\lambda$, mit 1λ kann man auch gut leben. Für die Bänder 10m bis 20m sind das 15 m bis 20 m Höhe. Und daher kommt das griffige Rezept «lieber 2 Elemente in 20 m Höhe als 4 Elemente in 10 m Höhe».

Jetzt die zweite schlechte Nachricht: in Bild 2 sieht man, dass bei einem Elevationswinkel von 10° der Reflexionspunkt 115 m vom Mast entfernt ist. Dies unter der Annahme einer geometrisch perfekten Reflexion, d.h. schön ebenem Grund mit hoher Leitfähigkeit. In bebauten Gebieten trifft dies kaum zu, weshalb die reflektierte Welle gestreut und abgeschattet wird und die konstruktive Interferenz nicht mehr so toll ausfällt.

Jeder Angabe über den ground gain liegen also Annahmen über Antennenhöhe, Topographie und Bodenbeschaffenheit zugrunde. Im Klartext: es sind Phantasiezahlen! Meistens rechnen die Verfasser von Antennenprospekten mit einem ground gain von 5 dB bei einer Antennenhöhe von 20m und einer ebenen, unbebauten Umgebung bei guter Bodenleitfähigkeit. Das ist eine Zahlenangabe basierend auf meistens unrealistischen Annahmen. Wenn diese Annahmen offen gelegt sind, ist es natürlich nicht gelogen, nur schöngefärbt.

Früher habe ich erwähnt, dass eine Yagi mit 6 aktiven Elementen einen Gewinn von knapp 10 dBd hat. Das ist auch aus Bild 3 ersichtlich. Diese 10 dBd kann man verschönern auf 12,15 dBi. Und wenn man noch einen ground gain von 5 dB dazuschlägt, lässt sich der Antennengewinn auf sagenhafte 17,15 dBi aufblasen. Drei unterschiedliche Gewinnangaben für ein- und dieselbe Antenne!

Antenna Response Versus Height 14 MHz, Boston to Europe

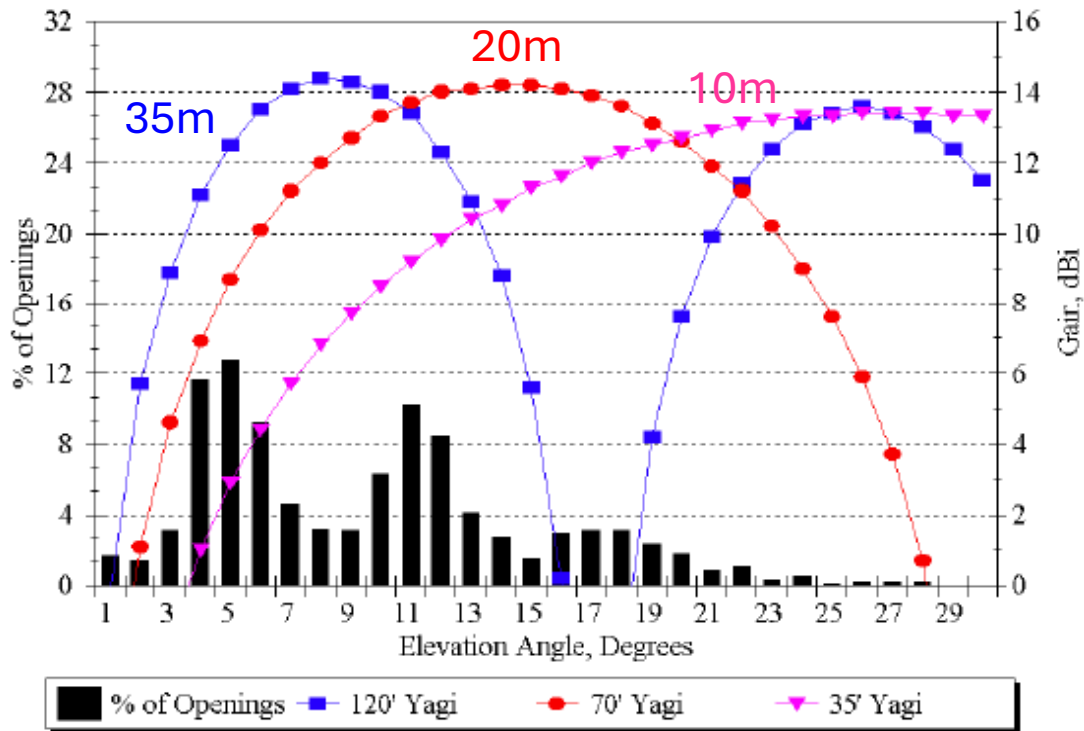


Bild 5: Einfluss der Antennenhöhe auf den Gewinn
(Bildquelle: <https://www.arrl.org/files/file/antplnr.pdf>)

Für Leidgewohnte habe ich noch eine dritte schlechte Nachricht: Bild 5 zeigt eine Statistik (Häufigkeit) der Elevationswinkel von Signalen von der US-Ostküste nach Europa (schwarze Balken). Farblich eingezeichnet sind die Elevationsdiagramme gemäss Bild 4 für eine Yagi mit 6 aktiven Elementen in unterschiedlichen Höhen. Die blaue Kurve gilt für die meistens unrealistische Höhe von 35 m. Man sieht die beiden Keulen und man sieht ebenfalls, dass diese Höhe in den meisten Fällen ideal ist. In Rot sind die Verhältnisse bei 20 m Höhe gezeigt, dass entspricht genau Bild 4. Die zweite Keule in Bild 4 fällt rechts aus dem Bild 5 hinaus. Das Maximum liegt wie bereits bekannt bei ca. 15 ° und das Minimum bei ca. 30 °. Signale, die mit 5 ° ankommen, erfahren durch die geringere Höhe einen Verlust von über 3 dB. Dagegen hört diese Antenne auch Signale, die mit Elevationen im Bereich 17 ° eintreffen. Schlimm sieht es aber für die Antenne in 10 m Höhe aus, die kann ihren Gewinn gar nie richtig ausspielen. Darum mein Credo, Mantra oder Ceterum censeo: «Lieber 2 Elemente in 20 m Höhe als 4 Elemente in 10 m Höhe.»

Zu Beginn und am Ende einer Bandöffnung sind die Elevationswinkel tief. Das lässt sich auf den Bändern gut feststellen: Superstationen machen schon QSOs, bevor die Normalsterblichen überhaupt etwas hören und auch dann noch, wenn andere bereits nichts mehr hören. Dazwischen kommen aber auch die höheren Elevationswinkel zum Zug (Anstieg der MUF), das ist wenigstens mal eine gute Nachricht.

Nun ein Blick in die Antennenprospekte. Tabelle 1 zeigt die technischen Daten von drei Antennentypen.

Tabelle 1: Gewinnangaben für das 20m - Band von Optibeam-Antennen

Typ	Anzahl aktive Elemente	Gain mit ground gain [dBi]	Gain gegenüber Dipol [dBd]	Gewicht [kg]	Boom-Länge [m]	Preis [EUR]
OB9-5	2	11,7	4,3	30	5,1	1559
OB11-5	3	12,7	5,3	45	6	2209
OB16-5	4	14,5	7,1	75	10,1	3519

Die Firma Optibeam gibt es leider nicht mehr, WIMO hat die Produktion und den Vertrieb von einigen Optibeam-Antennen übernommen. Die Preisangaben in Tabelle 1 sind also veraltet, dienen aber trotzdem als Grössenvorstellung.

Zwischen den Gewinnangaben in dBi (inklusive 5 dB ground gain) und denjenigen in dBd (mit oder ohne ground gain, dieser ist für beide Antennen ja identisch) liegt jeweils eine Differenz von 7,4 dB. Da dies systematisch ist, ist die Angabe von zwei Gewinnzahlen schlicht überraschungs- und informationslos. Aber immerhin sind die zugrunde liegenden Annahmen schön offengelegt.

- Mit 2 Elementen erzielt man gegenüber dem gestreckten Dipol einen Gewinn von 4,3 dBd, das sind 0,7 S-Stufen. Denselben Effekt bringt eine Leistungserhöhung von 100 W auf 270 W.
- 3 Elemente bringen 5,3 dBd bzw. 0,9 S-Stufen. Gegenüber 2 Elementen ist das lediglich eine Zunahme von 1 dB bzw. 0,16 S-Stufen. Das ist schlicht unmerklich für die Gegenstation. 340 W statt 100 W an einem Dipol tun dasselbe.
- Mit 4 Elementen steigt der Gewinn auf 7,1 dBd, das sind 1,2 S-Stufen gegenüber dem Dipol. Aber nur 3 dB bzw. 0,5 S-Stufen gegenüber 2 Elementen, dies aber mit mehr als doppeltem Gewicht, doppelter Boomlänge (das wären auch 3 dB!) und mehr als doppeltem Preis für die Antenne. Hinzu kommen noch Kosten für den stärkeren Mast und den grösseren Rotor. 510 W statt 100 W an einem Dipol tun dasselbe.

Wieder eine gute Nachricht: Wer «nur» einen Beam mit 2 Elementen hat, darf sich demnach schamlos rühmen, konkurrenzfähig zu sein.

Als Vergleich in Tabelle 2 die Daten für SteppIR-Antennen. Auch diese Firma gibt es nicht mehr, dafür gibt es die Ultra-Beam-Antennen, die nach dem gleichen Prinzip arbeiten und auch von WIMO vertrieben werden.

Tabelle 2: Daten von SteppIR-Antennen. Auch hier sind die Preisangaben veraltet.

Anzahl aktive Elemente	Gain ohne ground gain [dBi]	Gewicht [kg]	Boom-Länge [m]	Preis [USD]
2	6,6	14	1,5	1500
3	7,4	23	4,9	2000
4	9,5	45	9,8	3000

Der Gewinn ist ohne ground gain in dBi angegeben. Zieht man davon jeweils 2,15 dB ab, so erhält man den Gewinn in dBd und etwa dieselben Zahlen wie in der vierten Spalte von Tabelle 1.

Schlicht umwerfend finde ich die Antenne mit 2 Elementen, die mit einer Boomlänge von lediglich 1,5 m und einem Gewicht von nur 14 kg alle sechs Bänder von 6m bis 20m abdeckt. Prinzipbedingter Nachteil ist, dass diese Antennen Schrittmotoren benutzen, um das Band einzustellen. Das ist fehleranfälliger als eine rein statische Konstruktion und schmerzt dann, wenn im Reparaturfall für die Demontage ein Helikopter angefordert werden muss. Bild 6 zeigt die Wirksamkeit dieser Antenne. Eine OB9-5 hat keine Schrittmotoren, dafür aber 9 Elemente, von denen jeweils 2 pro Band aktiv sind. Das führt zu einem deutlich längeren Boom von 5,1 m und einem höheren Gewicht. Ich weiss von Clubs, die ihre Antennenanlage reduziert haben und jetzt eine OB9-5 benutzen. Begründung: die hält wenigstens die Winterstürme aus, das ist wichtiger als ein dB mehr Gewinn.

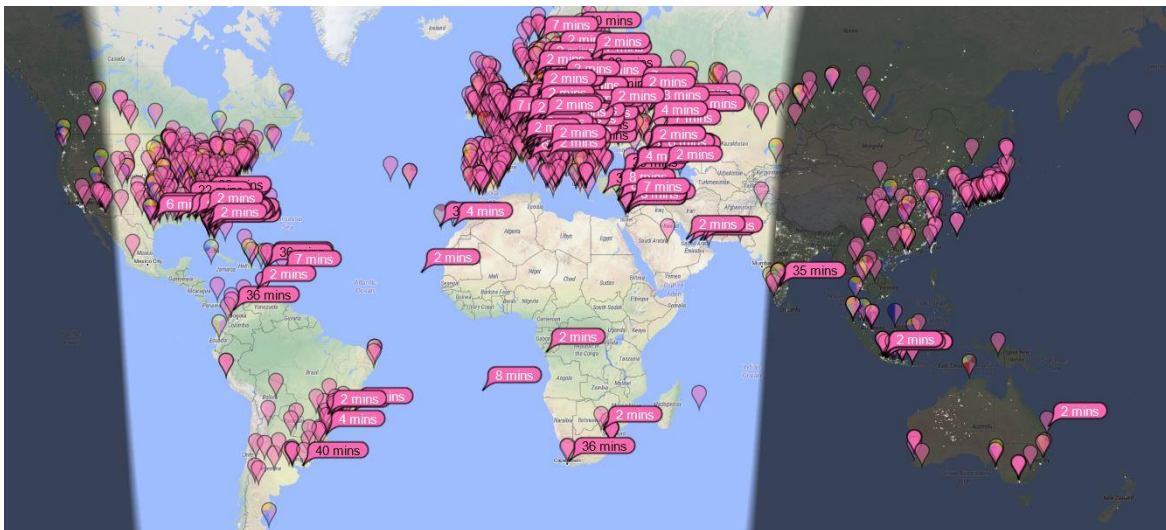


Bild 6: Mit dem PSK-Reporter lässt sich die Reichweite des eigenen Signals überprüfen. Hier eine Ausstrahlung von mir ab Heim-QTH auf dem 10m Band in FT8 mit 50 W und einer Stepp-IR mit 2 Elementen in 10 m (1 λ) Höhe. Die Antenne stand fix in Richtung Nordosten für diese Aufnahme.

Die Gewinne der Yagi-Antennen verschiedener Hersteller unterscheiden sich in den Komma-Stellen. Das ist zu erwarten, denn für alle gilt die gleiche Physik und alle arbeiten mit rechnergestützten Optimierungsverfahren, um ein gutes Design zu finden.

Die folgenden Hinweise sind für jene, die noch weitere Überzeugungsargumente brauchen:

DXpeditionen arbeiten häufig erfolgreich mit kleinen Antennenanlagen. Erwähnt seien die «Radio in a box» – Aktivitäten von AA7JV mit PA und GPs sowie die Rebel DX Group, die nur mit 100 W und GPs arbeitet, dies aber praktisch nur in FT8. Oft benutzen Expeditionäre einen handlichen Hexbeam oder Spiderbeam mit 2 aktiven Elementen pro Band in bescheidener Höhe. DXpeditionen haben aber den Vorteil, dass sie oft in un bebautem Gebiet tätig sind und kein pile up knacken müssen.

Ich bin in der privilegierten Situation, Mitglied eines DX-Clubs zu sein. Wir betreiben eine Station an Top-Lage auf einem unbewohnten Hügel und hatten jahrzehntelang Monoband-Antennen mit 6 Elementen für 20m und je 5 Elementen auf 15m und 10m in 20 bis 35 m Höhe. Auf einem Versatower von 19 m Höhe thront zudem ein Tribander mit 2 aktiven Elementen pro Band. Den brauchen wir nur für Contests und der Versatower ist normalerweise eingefahren auf 7 m. Es ist jeweils frustrierend zu sehen, wie gross der Unterschied ist zwischen den Monobändern und

dem Tribander bei eingefahrenem Versatower. Und es ist frustrierend zu sehen, wie klein der Unterschied ist bei ausgefahrenem Versatower. Mittlerweile haben wir die in die Jahre gekommenen Monobander ersetzt durch einen Tribander mit 12 Elementen, je 4 pro Band und separater Einspeisung. Gefühlter Unterschied: Null. Dafür aber eine Gewichtseinsparung und dank der Verkürzung des längsten Booms von 15 m auf 10 m eine Reduktion des Drehmoments, das freut den Rotor.

Tabelle 3 zeigt die Gewinne von Yagis mit 1 (Rotary-Dipol) bis 6 aktiven Elementen. Vergrössert man die Antenne elementweise, so ist die Gewinnzunahme mit Abstand am deutlichsten bei der Yagi mit 2 Elementen. Danach steigt der Gewinn nur noch marginal an, die Gesamtkosten (inklusive Mast und Rotor) aber exponentiell. Deswegen lobe ich immer wieder die 2 Element-Yagi. Wer etwas Grösseres will, darf das natürlich haben, solange er nicht an Wunder glaubt. Die letzte Zeile in Tabelle 3 stellt die Antennengewinne dem PA-Gewinn gegenüber.

Tabelle 3: Gegenüberstellung von Antennengewinnen in Abhängigkeit der Elementzahl

Anzahl aktive Elemente	Gewinn gegenüber Dipol [dBd]	Gewinn gegenüber Dipol [S-Stufen]	Zuwachs von Element zu Element [S-Stufen]
1	0	0	--
2	4,3	0,7	0,7
3	5,3	0,9	0,2
4	7,1	1,2	0,3
5	8,8	1,4	0,2
6	9,6	1,6	0,2
PA mit 1 kW	10	1,7	--

Die dBd-Zahlen in Tabelle 3 gelten für den gestreckten Dipol. In der Praxis sind diese Zahlen sogar etwas besser, weil dort der Vergleich zur inverted-V erhalten muss.

Beim 6m – Band und darüber sieht die Sache ganz anders aus. Es ist immer noch dieselbe Physik, aber die Antennen sind kleiner, leichter und preisgünstiger. Und der Mast muss auch nicht so hoch sein. Da kann man getrost die Elementzahl vergrössern.

Bei einer grösseren Antenne ist der Gewinn wichtig (deswegen kauft man sie ja), aber auch verkraftbare Sendeleistung, Gewicht, Boomlänge (→ Drehmoment), Stabilität, Korrosionsfestigkeit und Preis. Weitere elektrische Kenngrössen wie das Vor-/Rückverhältnis sind irrelevant, auch wenn sie oft angegeben werden. Ein grosses Vor-/Rückverhältnis hilft ja nur dann, wenn ein Störer direkt aus der Gegenrichtung einstrahlt, das ist selten der Fall.

Dreht man eine Antenne in die korrekte Richtung, so erfreut man sich an einem enormen Signalanstieg. Das ist aber nicht etwa der hörbar gemachte Gewinn, sondern das Vor-Rück-Verhältnis oder das Vor-Seiten-Verhältnis. Diese sind deutlich grösser als der Gewinn, beim OB9-5 z.B. 18 dB gegenüber 4,3 dBd. Das zeigt aber doch, dass sich eine drehbare Richtantenne lohnt.

Für die Bänder 30m und 40m ist ein Rotary-Dipol wegen der flacheren Abstrahlung und der Drehbarkeit klar besser als eine fix aufgehängte inverted-V. Für die Bänder 10m bis 20m ist ein Rotary-Dipol hingegen eine Notlösung, meist aus optischen Gründen. Der Zusatzaufwand für eine Yagi mit 2 Elementen ist auf diesen Bändern so klein, dass man sich das unbedingt leisten sollte angesichts des Gewinns von 4,3 dBd.

Noch unerwähnt blieben die Groundplane-Antennen. Diese sind günstig und platzsparend aufbaubar, vor allem aber strahlen sie flach. In freier Umgebung installiert sind dies ausgezeichnete Antennen, die einen Beam an ungünstiger Lage locker ausstechen.

4. Antennen für die Bänder 80m und 160m

Die optimale Höhe eines Dipols oder einer Yagi ist ca. $1,5 \lambda$. Je tiefer das Band, desto höher muss demnach die Antenne sein. Ein Dipol für das 160m Band in respektablen 20 m Höhe hat das gleiche Strahlungsdiagramm wie ein Dipol für das 10m Band in 1,25 m Höhe. Mit anderen Worten: low band – Dipole hängen tief und strahlen deshalb steil, das ist schlecht für DX-Betrieb.

Wesentlich besser sind Groundplane-Antennen wegen ihrer Flachstrahlung. Sie sind aber hoch (20 m für 3,5 MHz bzw. 40 m für 1,8 MHz). Verkürzte GPs lassen sich mit Top Loads und Verlängerungsspulen am Antennenfuss anpassen.

GPs sind Rundstrahler, d.h. sie nehmen das atmosphärische Rauschen aus allen Richtungen auf. Und dieses Rauschen ist auf 80m und 160m viel stärker als auf den oberen Bändern. Man kann auch auf diesen Bändern eine Richtwirkung (d.h. Antennengewinn) erzielen, nämlich mit einer 4-Square. Das sind 4 über Phasenleitungen gekoppelte GPs. Die Wirkung ist erstaunlich, der Aufwand auch.

Eine andere Abhilfe ist der Einsatz von speziellen Empfangsantennen auf den low bands. Die Rede ist von Beverages, K9AY-Loops, RX-Arrays usw. Der Leser kann sich mit einer kleinen Internet-Recherche rasch informieren über diese Antennen.

Jetzt ist der Zeitpunkt gekommen, mit einem weiteren, weit verbreiteten Irrtum aufzuräumen: «Passive Antennen sind reziprok, d.h. ihre Daten sind im Sendefall identisch wie im Empfangsfall.» Diese Aussage ist zwar korrekt, trifft aber nicht die Situation.

- Die Aufgabe der Sende-Antenne ist es, möglichst viel Leistung in die gewünschte Richtung abzustrahlen. Das Mass dafür ist der Antennengewinn in dBd oder dBi.
- Die Aufgabe der Empfangs-Antenne ist hingegen, das Signal aus der gewünschten Richtung mit möglichst grossem Signal-Rausch-Abstand an den Empfänger zu liefern. Spezifiziert wird dies mit dem sog. receiving directivity factor RDF in dB.

Erläuterung zum zweiten Punkt: Eine hervorragende Empfangsantenne ist die Beverage-Antenne. Diese hat einen schlechten Wirkungsgrad, als Sendeantenne ist sie darum ungeeignet. Der schlechte Wirkungsgrad dämpft auch das gewünschte Empfangssignal. Diese Antenne hat darum keinen Gewinn, sondern sogar einen Verlust. Aber sie hat eine starke Richtwirkung: sie nimmt nur Signale aus einer Richtung auf, die zudem noch flach einfallen müssen. Das ist perfekt für DX. Das atmosphärische Rauschen kommt aus allen Richtungen auf die Antenne zu, wird aber (idealisiert) nur aus einer Richtung aufgenommen. Und das QRM aus Europa fällt steil ein und wird ebenfalls abgeschwächt. Wenn das DX-Signal um 10 dB abgeschwächt wird (das kann man nötigenfalls mit einem Vorverstärker locker kompensieren), das Rauschen und das QRM aber um 20 dB, dann verbessert sich der Signal-Rauschabstand um satte 10 dB. Die

Gegenstation müsste für den gleichen Effekt die Sendeleistung verzehnfachen. Das kann sie aber normalerweise nicht, weil sie bereits eine PA benutzt.

1 dB mehr RDF gibt 1,5 bis 2 dB mehr SNR. Gute (200 m bis 300 m lange) Beverages haben auf dem 160m-Band ein RDF von 10 bis 12 dB, das ist eine gewaltige Empfangsverbesserung.

Während man auf den oberen Bändern durchaus auch ohne PA schöne DX-QSOs fahren kann, ist das auf den low bands schlecht möglich. Die oberen Bänder sind nämlich beugungsbegrenzt: wenn die Ionisierung der F-Schichten zu gering ist und darum kein Skip vorhanden ist, helfen auch 10 kW oder 20 kW nicht. Die low bands sind hingegen dämpfungsbegrenzt: ein Skip ist tagsüber wegen der Dämpfung der D-Schicht nicht möglich. Nachts entfällt diese, jedoch ist das Rauschen zu stark. In beiden Fällen hilft mehr Leistung, allerdings gibt es regulatorische Schranken.

Rundfunksender im KW-Bereich arbeiten mit riesigen Vorhangantennen und Sendeleistungen von ein paar hundert kW. Das ist eine ganz andere Liga als die, in der die Funkamateure spielen. Allerdings sind auch die Anforderungen ganz anders: Mit Rundfunksendern möchte man billige Empfänger mit schlechten Antennen (geräteinterne Ferritantennen oder ein paar Meter Draht in der Wohnung) erreichen und überdies ein deutlich grösseres SNR als 10 dB produzieren.

Zurück zur Beverage. Diese Empfangsantenne überrascht bei der erstmaligen Inbetriebnahme. Nach dem Bau (tagsüber) möchte man sofort die Antenne austesten und ist frustriert: man hört so gut wie nichts. Dann misst man zur Kontrolle das SWR der Antenne (nur mit kleiner Leistung, sonst verheizt man den Endwiderstand!). Resultat: tiefes und flaches SWR, keine Resonanzerscheinungen, exakt wie im Lehrbuch. Dann erinnert man sich daran, dass die low bands ja erst nachts öffnen und macht dann nochmals einen Empfangsversuch. Und man wird wieder frustriert: auf dem Sende-Dipol sind die Signale viel stärker und genauso gut verständlich. Jetzt muss man sich daran erinnern, dass die Beverage ja ihre Stärke erst bei flach einstrahlenden Signalen entfaltet. Also muss man gezielt nach DX hören und dann eröffnet sich eine ganz neue Welt. Ich habe viele QSOs auf 80m und 160m gemacht, bei denen ich auf der GP rein gar nichts von der DX-Station hörte.

Auf den low bands ist FT8 mit der tiefen Anforderung an das SNR eine gute Alternative für jene, die nicht über den Platz für Beverages verfügen.

Auf den oberen Bändern ist das atmosphärische Rauschen kein Thema und separate Empfangsantennen sind unnötig. Dort darf man demnach behaupten, dass das, was besser sendet auch besser empfängt.

5. Transceiver und PAs

Punkto Empfindlichkeit (Eigenrauschen) genügen KW-Radios seit Jahrzehnten allen vernünftigen Anforderungen. Wegen des auf KW hohen atmosphärischen Rauschpegels ist das auch keine grosse Kunst.

Das Hauptthema war lange Zeit die Grosssignalfestigkeit (Dynamikbereich, IP3), weil starke Signale in Frequenznachbarschaft die Empfänger taub machten («Zustopfen»). Heikel sind die

Mischprodukte 3. Ordnung, weil diese in der Nähe der Empfangsfrequenz liegen und schwache Empfangssignale sogar überdecken können. Das ist also selbstgemachtes QRM. Mit einem passiven Attenuator vor der ersten aktiven Stufe senkt man dann alle Signale um z.B. 10 dB ab, die Intermodulationsprodukte 3. Ordnung werden dadurch um 30 dB abgeschwächt. Der Signal-Störabstand wird somit verbessert und das schwache und sogar noch weiter abgeschwächte Signal wird plötzlich hörbar. Das ist ziemlich paradox: schwache Signale macht man mit einem Abschwächer hörbar.

Mitte 2007 kam der Elecraft K3 auf den Markt, wegen seines grossen Dynamikbereiches ein richtiger Game-Changer. Das war mit Abstand der beste Empfänger und ging deshalb massenhaft über den Ladentisch. Elecraft liess verlauten, dass es niemals einen K4 geben wird, weil der K3 nicht zu übertreffen sei. Mittlerweile haben die anderen Hersteller aufgeholt, die Dynamik ist wie die Empfindlichkeit kein Thema mehr und es gibt einen K4 zu kaufen.

Digitale Empfänger werden bei grosser Aussteuerung nicht allmählich nichtlinear wie ihre analogen Vorgänger, aber sie reagieren hochallergisch auf Übersteuerung des AD-Wandlers. Filter und geregelte Pegelanpassungen im HF-Frontend verhindern dies.

Vorverstärker vor der Antennenbuchse des Radios oder sogar auf dem Mast bringen im KW-Bereich gar nichts. Sie verstärken ja sowohl Nutz- als auch Störsignale um den gleichen Faktor, verbessern somit den Signal-Störabstand überhaupt nicht. Theoretisch verschlechtern sie sogar das SNR durch ihr Eigenrauschen, im KW-Bereich ist das aber viel kleiner als das atmosphärische Rauschen und darum vernachlässigbar. Vorverstärker können Sinn machen in Kombination mit speziellen Empfangsantennen, um die kleinen Pegel etwas anzuheben. Meistens reicht dazu der geräteinterne Preamp.

Ganz anders sind die Verhältnisse auf den höheren Frequenzen (2m und höher). Dort fallen wegen des Skin-Effektes die Kabeldämpfungen ins Gewicht. Wenn die Antenne ein mickriges Signal aufnimmt, so wird dieses durch das Antennenkabel weiter geschwächt und es kann im Eigenrauschen des Empfängers verschwinden, das SNR hat sich um die Kabeldämpfung verschlechtert. Deswegen braucht es einen Empfangsvorverstärker direkt bei der Antenne. Zweitens ist das atmosphärische Rauschen nur noch schwach, darum ist das Empfänger-rauschen dominant und muss minimiert werden. Bei einer Kaskade von Verstärkern ist es so, dass die erste Stufe das Gesamttrauschen bestimmt. Deswegen muss der Preamp bei der Antenne auf Rauscharm hochgezüchtet sein. Bei extremen Anwendungen wie der Radioastronomie werden die Vorverstärker sogar gekühlt bis hinunter auf wenige Grad Kelvin.

Für KW-Empfänger gilt somit etwas salopp gesagt:

- Die Empfindlichkeit ist gut genug. Der interne Preamp kann nützlich sein auf den Bändern 6m, 10m und 12m. Auf den mittleren Bändern bringt er ziemlich nichts und auf den low bands schadet er nur.
- Die Dynamik ist bei modernen Geräten ebenfalls gut genug. Den Attenuator braucht es allenfalls auf den Bändern 40m und tiefer und den RF-Gain-Regler braucht es kaum mehr.

Die Schwachstelle bei den KW-Transceivern liegt heute nicht mehr in den Empfängern, sondern in den Sendern, konkret im Phasenrauschen der Oszillatoren. Dies führt zu unsauberen Signalen mit unnötig verbreiterten Spektren. Das merkt man ja selber nicht, deshalb ist das Phasenrauschen noch nicht bei allen Herstellern im Fokus. Genau deswegen hat die ARRL die «Clean Signal Initiative» lanciert mit dem Ziel, die Gerätehersteller dazu zu motivieren, Geräte mit

sauberen Sendesignalen zu produzieren. Entsprechend werden in den neuen ARRL-Testberichten die dazu relevanten Messdaten gezielt ausgewiesen.

Dramatisieren muss man aber auch nicht, denn was man heute für sein Geld kriegt, ist im Vergleich zu früher nicht ausserirdisch, sondern aussergalaktisch.

Und hier noch ein Tipp zu den PAs:

- Gegenüber einem TX mit 100 W bringt eine PA mit 500 W eine Verbesserung um 7 dB bzw. 1,2 S-Stufen. Das entspricht dem Gewinn eines Beams mit 4 aktiven Elementen.
- Eine PA mit 1 kW bringt 10 dB bzw. 1,7 S-Stufen. Das entspricht dem Gewinn eines Beams mit 6 aktiven Elementen.

Die Verbesserung um 1,2 S-Stufen merkt man, die zusätzliche Verbesserung um 0,5 S-Stufen aber kaum. Ich würde darum primär die PA mit den besseren Schutzschaltungen kaufen und nicht reflexartig diejenige mit mehr Leistung. Aber ich würde eine kaufen.

6. Standort: die wichtigste Systemkomponente

Leider kommt nochmals eine schlechte Nachricht! Viel wichtiger als eine grosse Antenne und eine PA ist eine Antenne an einem guten Standort. Gut heisst:

- Geographie: Stationen in Südeuropa sind im Vorteil gegenüber jenen in Nordeuropa, v.a. auf den höheren Bändern.
- Topographie: der Horizont soll rundum tief sein, das Gelände flach oder sogar allseitig leicht abschüssig und die Bodenleitfähigkeit soll hoch sein (ground gain!).
- Viel Platz für Empfangsantennen. Leider funktionieren Beverage-Antennen bei schlechter Bodenleitfähigkeit besser, aber man kann ja nicht alles haben.
- Möglichst wenig Elektrosmog.

Mit einer PA kriegt man eine Systemverbesserung von 10 dB hin. Mit einer genügend hoch montierten Yagi mit 6 aktiven Elementen nochmals 10 dB. Total erreicht man also durch aufwändige technische Massnahmen eine Verbesserung um 20 dB, das sind etwas über 3 S-Stufen. Alleine mit dem QTH bringt man nochmals so viel hin. An einem guten QTH ist man also auch mit mittelmässiger Ausrüstung bereits sehr erfolgreich.

Mit unserer Conteststation merken wir das regelmässig. Neben den Beams benutzen wir auch selbstgebaute GPs, um Multiplikatoren neben der Strahlungskeule des Beams zu hören. Es kam schon mehrfach vor, dass wir von Stationen aus dem Pazifikraum angerufen wurden, die wir auf dem Beam wegen seiner falschen Richtung gar nicht hörten. Die GPs waren gut genug für solche Weitverbindungen, wir mussten den Beam gar nicht drehen.

Mit Hilfe des PSK-Reporters oder des Reverse Beacon Networks (RBN) kann man seine Signalstärke in anderen Kontinenten messen (Bild 6). Zu Vergleichszwecken kann ein Funkfreund in der Region dies mit derselben Sendeleistung gleichzeitig tun. Damit vergleicht man demnach in erster Linie die Schlagkraft der QTHs und nicht etwa diejenige der Antennen.

7. Bilanz und Schlusswort

Für ein starkes Signal auf Kurzwelle sind in abnehmender Priorität die Punkte nach Tabelle 4 massgebend. Beim QTH und der Masthöhe sind es Erfahrungswerte, die genauen Zahlen lassen sich kaum berechnen. Die Gewinne bei der Antenne sind gegenüber dem Dipol gerechnet.

Tabelle 4: Systemverbesserungen bei unterschiedlichen Massnahmen

	Gewinn in dB	Gewinn in S-Stufen
1. QTH	12 .. 18	2 bis 3
2. PA mit 1 kW	10	1.7
3. Masthöhe	3 .. 10	0.5 .. 1.7
4. Antenne mit 2 El. bzw. 4 El. bzw. 6 Elementen	4 .. 7 .. 9.6	0.7 .. 1.2 .. 1.6

Viele Funkamateure können keinen Einfluss nehmen auf die Punkte 1 und 3. Wohl deshalb überschätzen viele die Wirkung der Antenne und unterschätzen die Wirkung von QTH und Masthöhe.

Mit einer Station mit PA, einer Yagi mit 2 aktiven Elementen und einem Mast von 15 m Höhe hat man bereits eine sehr gute Station. Mit einer grösseren Antenne wächst der Systemwert nur um 1 S-Stufe an, dies aber zu einem hohen Preis.

Mit einer Top-Station ist es fleissigen DXern möglich, in 2 Jahren auf 300 «DXCC-Länder» zu kommen. Für den Rest dauert es dann aber knapp zwei Sonnenfleckenzyklen. Man muss nämlich unendlich lange auf DXpeditionen in rare Gebiete warten. Mit einer mittelmässigen Station dauert es einen Sonnenfleckenzyklus für 300 Länder und einen zweiten für den Rest, gesamthaft also gleich lange. Es ist dabei nicht so schlimm, wenn man mal eine Stunde oder noch länger oder sogar auch am Folgetag sich mit dem pile up herumschlägt. Hauptsache, man schafft es irgendwann ins Log. Darum gilt die schöne Botschaft, dass für die Honor Roll (mehr als 330 der total 340 DXCC-Länder sind bestätigt) letztlich nicht die Station entscheidend ist, sondern die Leidenschaft des Funkers.

Contester sehen das anders. Die wollen nämlich nicht möglichst laut sein, sondern lediglich lauter als die Konkurrenz. Also doch möglichst laut. Damit können sie eine Run-Frequenz behaupten und Multiplikatoren auf Anhieb arbeiten. Darum zählt für die Contester jedes dB Systemverbesserung und eine Yagi mit 2 Elementen ist viel zu klein. Hochambitionierte Contester stocken sogar Yagis und können wählen, ob sie mit der oberen Yagi arbeiten oder mit der unteren oder mit beiden. Ziel dabei ist nicht eine Erhöhung des Antennengewinnes (das tut man auf 2m und höher), sondern die Variation des Elevationswinkels.

Dies führt zu einer wichtigen Aussage: zuerst muss man die Zielsetzung eines Stationsbetriebs festlegen, erst dann kann man entscheiden, wie man sein Geld investiert.

Wer nun immer noch glaubt, seine Station sei nur ein Notbehelf, dem sei das nahegelegt, was in allen Notsituationen gilt: Mach das, was du kannst, dort wo du bist, mit dem, was du hast! Es ist nämlich immer wieder erstaunlich, mit wie wenig Aufwand für eine Kurzwellenstation man wie weit kommt!