

## Gewinnoptimierte Antennengruppen

Olaf Oberrender, Y2 3RD

Für einige Betriebsarten im VHF/UHF-Bereich werden hohe Anforderungen an die Qualität und den Gewinn einer Antennenanlage gestellt.

Ein einzelner Längsstrahler, wie z.B. eine Yagi-Uda-Antenne würde dann eine mechanisch kaum noch beherrschbare Länge annehmen. Für das 2m-Amateurfunkband dürfte die zumutbare Grenze bei einer Boomlänge von 10m liegen (z.B. M<sup>2</sup> von K6 MYC). Einige Funkamateure haben auch schon längere gebaut.  $5\lambda$  entsprechen einem Gewinn von etwa 15 dB

Parabolspiegel-Antennen werden bis auf wenige Ausnahmen erst für die höheren Bänder mit Erfolg eingesetzt. Mit einem Spiegeldurchmesser von 13m kann man bei 144 MHz einen Gewinn von etwa 22 dB<sub>d</sub> erwarten (Spiegelwirkungsgrad 0.6). Das ist viel, aber alles wiegt mit Gegengewicht um eine Tonne und ist windanfälliger als eine Antennengruppe mit dem gleichen Gewinn. Dagegen wird die Speisung einfach und verlustarm und mit dem Primärstrahler läßt sich auch die Polarisations Ebene unkompliziert drehen. Der Antennenverstärker kann gleich mit dem Einstrahlungszentrum integriert werden. Das sind alles Gesichtspunkte, die für die höheren Bänder Vorteile bieten. Hinzu kommt die Möglichkeit der Mehrbandnutzung durch Wechsel nur der Primärstrahler Einheit und bei gleichem Spiegeldurchmesser ergibt jede Verdreifachung der Arbeitsfrequenz einen Gewinnzuwachs von knapp 10 dB. Dafür wächst bei EME die Streckendämpfung auch um den gleichen Betrag an.

Ober Antennen ist schon viel veröffentlicht worden. Für einige Funkamateure ist es dennoch ein Mysterium geblieben. Das bietet einen großen Freiraum für Spekulanten, der auch kommerziell genutzt wird.

"Die Fläche bringt den Gewinn" schrieb 1958 K2 GAL in der QST. Gemeint war die "Wirkfläche" (Fangfläche), die man sich bei einem Längsstrahler quer zur abgestrahlten Wellenfront vorstellen muß. Bei Querstrahlern (Spiegel, Dipolwände) ist sie dagegen sofort augenfällig. Schon vor knapp 50 Jahren waren große, mit Dipolen belegte ebene Flächen, die Grundlage von Antennen mit großer Richtschärfe ("Freya-Radar", "Knickebein"-Leitstrahlantennen)

Die Wirkfläche einer Antenne ist proportional dem numerischen Gewinn. Sie wächst mit dem Quadrat der Wellenlänge an.

$$A_w = \frac{G_d \cdot \lambda^2}{4 \pi} \quad (1)$$

$G_i$  ist der numerische, auf den Kugelstrahler bezogene Gewinn. Man erkennt, daß auch der isotrope Punktstrahler schon eine Wirkfläche besitzt. Bei  $\lambda = 2\text{m}$  dann z.B.  $\frac{1}{\pi}$ , also etwa  $1/3 \text{ m}^2$ . Bei 14 MHz wären es schon  $32 \text{ m}^2$ . Ein 10m langer Dipol für diese Frequenz hätte dann schon eine Wirkfläche von etwa  $50\text{m}^2$ . Die äußere Begrenzung kann man nur vermuten. Sie wird etwas über die Endpunkte des Dipols hinausgehen und in der Mitte ausgebaucht<sup>sein</sup>. Vielleicht eine langgestreckte Ellipse mit weit auseinander gezogenen Brennpunkten.

Bei jeder phasenrichtig zusammen geschalteten, optimierten, Konfiguration von mehreren Antennen zu einer Gruppe, addieren sich auch deren Wirkflächen. Ist der Gewinn bekannt, ergibt sich daraus die Wirkfläche. Diese soll nicht durch metallisch leitende Teile mehr als nötig verbaut werden. Die größten Beeinträchtigungen ergeben sich durch Rohre, Stützen, Ausleger, Verstrebrungen und Seile in größerer Ausdehnung der Antennen-Polarisationsebene und je näher am Strahlungszentrum der Antennen um so mehr. Messungen von DL6 WU an 70cm-Antennen ergaben: Ein einseitig im mechanischen Schwerpunkt einer  $12...14 \text{ dB}_c$  antenne seitlich angeflanshtes Rohrstück in der Ebene der Elemente (z.B. ein metallischer Ausleger zur seitlichen Befestigung der Antenne an einem Mast) vermindert den Gewinn um etwa 1 dB. Das gilt auch für das seitliche Herausführen einer Energieleitung aus der Strahlungszone einer Antenne. Wird das Rohr beidseitig wirksam, so sind es etwa 2 dB. Das ist viel! Nimmt doch nach Messungen von DL6 WU ~~der Gewinn~~ bei einer Verdoppelung der Länge nur um 2.35 dB zu. Nur messen macht klug! Nicht erwartet wurde, daß ein zur Halterung benutztes Rohr von  $50\text{mm } \varnothing$  ( $\lambda/14$ ), wenn es einseitig neben dem Antennenträger, quer zur Polarisationsebene hindurchgeführt wurde, ohne meßbaren Einfluß auf den Gewinn blieb. Das ist jedoch kein Grund leichtfertig zu verfahren. Bis heute offen ist die Frage der gegenseitigen Beeinflussung ineinander verschachtelter Antennen für mehrere Frequenzbänder. Auch wie es sich z.B. bei einer Kurzwellen-3-Band-Cubical-Quad auswirkt, hat noch Niemand gemessen. Es ist auch sehr schwierig.

Der Funkamateurl ist fast immer gezwungen Kompromisse einzugehen, jedenfalls trifft das für seine Antennenanlagen zu und besonders innerhalb von Großstädten. So bleibt ihm für den VHF-Bereich (144 MHz) praktisch nur die Möglichkeit meh/rere Längsstrahler (Yagi-Uda-Antennen) zu einer Gruppe zusammen zu fassen. Für EME muß außer der azimutalen Einstellung noch die Möglichkeit der Elevation vorgesehen werden. "Moonset-stns" oder solche mit einer festen Elevation (Y2 4QO, 4X1 IF), machen auch ihre EME-Verbindungen. Sie sind jedoch in ihrer Betriebszeit stark eingeschränkt oder fangen sich in einer

Großstadt bei tangentialen Antennenstellungen einen zusätzlichen Rauschpegel ein, der bei 144 MHz durchaus 5...8 dB betragen kann. Das entspricht etwa dem normalen Sonnenrauschen, das eine 20 dB<sub>d</sub>-Antenne registrieren würde. Einen VW mit  $F \leq 1$  dB vorausgesetzt (BF981)

Viele Gespräche mit Funkamateuren lassen immer wieder gravierende Unkenntnisse der Antennentechnik erkennen und meistens scheitern sie dann an einfachen Problemen. Das gilt für Kurzwellen-Funkamateure genauso. Gute Fachbücher, wie z.B. "Meinke-Gundlach", "Hütte IV B" oder "RINT", vermitteln dem Funkamateur nicht die Zusammenhänge in einer für ihn verständlichen Form. Die Mehrzahl sind keine Wissenschaftler auf diesem Gebiet und keine Physiker und auch diese müßten mehr dafür tun als da nur einen kurzen Blick hinein zu werfen.

Zwei Fragen werden immer wieder gestellt und lassen Unsicherheiten erkennen: Mit welchen Abständen müssen Antennen in einer Gruppe angeordnet werden und wie muß man sie zusammenschalten? Die Begriffe "Transformation" und "Reflexion" üben häufig eine geradezu lähmende Wirkung aus.

Voraussetzung für jede Planung ist die Wahl eines optimierten Grundtyps mit zuverlässigen Gewinnangaben. Es gibt erstaunlichen Unfug auf diesem Gebiet und der Funkamateur soll sich vor Modeerscheinungen hüten und sich nicht von Werbemanipulationen und Verkaufsargumenten beeinflussen lassen. Man sieht einer Antenne den Gewinn nicht an, wohl aber bei einigen Typen, daß mit den Angaben stark übertrieben wurde. Es kann keine Wunder geben, weil die Physik noch stimmt! Wenn eine Antennenanlage erst einmal installiert ist, kann man schlecht Vergleiche anstellen oder Versäumtes nachholen. Der Glaube macht dann zwar viel aus, aber für einen befriedigenden EME-Betrieb zählt letztlich nur der Antennengewinn. Von einigen Zufallstreffern einmal abgesehen.

Jede Antenne und jede Konfiguration einer Antennengruppe bezieht den Gewinn einzig und allein aus ihrer Richtcharakteristik. Mit brauchbarer Annäherung ist der Zusammenhang durch die "Kraus-Formel" gegeben:

$$G_1 = \frac{4 \pi}{\alpha_E \cdot \alpha_H} \quad (2)$$

$\alpha_E$  und  $\alpha_H$  sind die 3-dB-Öffnungswinkel im Bogenmaß. Dabei vorausgesetzt sind idealisierte Diagrammformen (keine Nebenzipfel, völlige Rückdämpfung). Das ist in der Praxis keineswegs der Fall. Es gibt Diagramme, die zwar einen relativ kleinen Öffnungswinkel aufweisen, aber an der Wurzel sehr breit und ausgebaucht sind. Das passiert häufig bei der Überschreitung des Arbeitsbereiches nach oben oder un-

ten. Man kann auch sagen, die Antenne ist für den Arbeitsbereich nicht genügend optimiert oder sie wird durch äußere Beeinflussungen (Umgebung, Strahlungsverkopplungen innerhalb der Gruppe oder mit Metallteilen) gestört. Feldinhomogenitäten im Umfeld einer Antennengruppe können dazu führen, daß manchmal eine Einzelantenne mehr leistet als eine Gruppe. Häufig sind es gerade die Vertikalinhomogenitäten, die nur durch einen geeigneten Standort (hoher Aufbau über Grund) gemindert werden können. Eine vierfach gestockte Relais-Antenne, zu ebener Erde montiert, war z.B. nicht besser als die  $\lambda/4$ - Antenne am Handfunksprecher.

Die Krausformel zeigt, daß der lineare Gewinn umgekehrt proportional zum Öffnungswinkel der elektrischen (E) Ebene oder der magnetischen (H) oder zu deren Produkt ist. Eine Antenne mit gleichzeitig großen Öffnungswinkeln und einem hohen Gewinn kann es daher nicht geben.

Auch für eine Antennengruppe gilt: Größere Gewinne nur durch Verringerung der Öffnungswinkel des Systems und das mit Antennen, deren Einzeldiagramme größere Öffnungswinkel aufweisen. Dafür ist sogar der nur in der Theorie existierende Isotropstrahler geeignet, also eine Antenne, die über keinerlei Richtwirkung verfügt, weil sie kugelförmig nach allen Richtungen gleichmäßig strahlt oder empfängt.

Von einer guten Antenne kennt man die Richtdiagramme beider Ebenen. Alles andere kann daraus abgeleitet und errechnet werden und ist im Zeitalter der Computer keine Fleißarbeit mehr. Einige Hersteller machen auch Angaben über den Aufbau von Gruppen, aber meistens nur für 2 oder vier Antennen. EME-Antennengruppen umfassen als Standard für 144 MHz den Bereich bis 8 Antennen und bei den "Big Guns" dann darüber hinaus (12...24, eventuell auch mit Polarisationsdrehung, wie VE7 BQH). Der Antennen-Gigantismus findet die momentane Grenze bei W5 UN in Texas, wo 48 Antennen von je 10m Länge um einen Zentralmast herumgeföhren werden. Er könnte sein eigenes Mondecho noch mit der Leistung eines modernen Handfunksprechers ( $> 3$  W) empfangen. Dennoch gehen bei dem Öffnungswinkel von etwa  $5^\circ$  noch mindestens 99% seiner abgestrahlten Leistung am Mond vorbei und sind für die Reflexion verloren. Um den Mond nicht zu überstrahlen ( $0.5^\circ$ ) müßte eine Spiegelantenne einen Durchmesser von 300m haben. Diese gibt es allerdings in Puerto Rico (Arecibo) auch.

Solche Überlegungen unterstreichen die erforderliche Qualität für diese Betriebsart und man spart dabei mit den Zehntel dB's.

"Mindestwerte an Stabilität und Einstellgenauigkeit von Frequenz und Antennenrichtung müssen gegeben sein, wenngleich sie sich auch teilweise durch Geduld und Erfahrung ersetzen lassen. Absolute Grenzwerte existieren jedoch für die Empfindlichkeit der Anlage, d.h. ihre Fähigkeit Signale vom Rauschen zu unterscheiden. Das hängt nur von zwei Faktoren ab, dem Antennengewinn und dem Empfängerrauschen" ( DL6 WU, UKW-Berichte 4/79).

Die für gebräuchlichere Winkelmaße umgestellte Krausformel

$$G_i = \alpha \frac{41 \ 256}{E \cdot \alpha_H} \quad \text{bzw.} \quad G_d = \alpha \frac{25 \ 156}{E \cdot \alpha_H}$$

erleichtert die Anwendung für den Funkamateurl.  $G_i$  ist der Gewinn bezogen auf den Kugelstrahler (isotrop),  $G_d$  ist bezogen auf den  $\lambda/2$ -Dipol. Will man den Gewinn im logarithmischen Maßstab darstellen, dann ergibt er sich aus  $10 \log$  der obigen Werte.

Der Aufbau von zwei Antennen ergibt eine Verdoppelung der Wirkfläche; vier Antennen eine Vervielfachung, entsprechend einem Gewinnzuwachs von 3, bzw. 6 dB oder allgemein  $10 \log n$ , wobei  $n$  die Anzahl der Strahlungsquellen darstellt. Diese Werte werden auch nahezu erreicht. Voraussetzung ist, daß sich die Wirkflächen nicht überschneiden. Da diese proportional mit dem Gewinn zunehmen, müssen dann auch die Abstände zwischen den Strahlungsquellen größer werden. Weitere Voraussetzungen sind die gleichphasige Erregung und daß alle Antennen auch in die gleiche Richtung zeigen. Verluste durch Speisung, Anpassung und Transformation sind, wie auch bei den weiteren Betrachtungen, dabei immer vernachlässigt. In der Größenordnung optimaler Abstände ist die Strahlungsverkopplung der Antennen untereinander dann auch so gering, daß sie für den Funkamateurl keine Bedeutung erlangt.

Um es anschaulich darzustellen kann man sich zwei Antennen vorstellen, deren Stockungsabstand kontinuierlich vergrößert wird. Von  $a = 0$ , wo praktisch beide Wirkflächen deckungsgleich übereinander liegen, erfolgt eine stetige Gewinnzunahme bis der Grenzwert 3 dB erreicht ist. Computersimulationen lassen erkennen, daß bei einer deutlichen Überschreitung des Optimalabstandes der Gewinn auch wieder abnehmen kann oder einen wellenförmigen Verlauf annimmt.

Bei der Speisung einer Antennengruppe mit gleicher Phase und Amplitude lassen sich zusätzliche Nebenzipfel nicht vermeiden. Bei Antennenzeilen oder Spalten kann man sie durch gezielte Maßnahmen unterdrücken (binomiale Speisung). Für den Funkamateurl entfällt ein solcher Aufwand.

Die physikalischen Grundlagen für die Konstruktion von Antennengruppen werden mit dem Gesetz der "Superposition" begründet (Oberlagerungsgesetz, amer. auch "pattern multiplication"). Gruppenanordnungen werden zum Beispiel auch für bestimmte Ausleuchtungsdiagramme konstruiert.

Man errechnet zuerst von einer gegebenen oder angenommenen Konfiguration von Isotropstrahlern das sich dabei ergebende Strahlungsdiagramm und erhält eine normierte Gruppencharakteristik mit dem Größtwert 1.0. Besetzt man die geometrischen Örter der Isotropstrahler durch andere Strahlungsquellen mit bekannter, ebenfalls normierter, Richtcharakteristik, so kann man daraus das resultierende Diagramm einer Antennengruppe durch Multiplikation gewinnen. Wie die Strahlungsquellen beschaffen sind oder wie sie aussehen ist ohne Bedeutung. Jede Strahlungsquelle für sich kann durchaus auch schon eine Antennengruppe sein. Dere Richtdiagramme und das Phasenzentrum müssen allerdings bekannt sein und man kann nicht verschiedene Antennen in einer Gruppe unterbringen- jedenfalls nicht der Funkamateuer.

Dieser Rechenvorgang erfolgt getrennt für die E- und H-Ebene (Zeile und Spalte), denn auch für eine große Antennengruppe sind die Charakteristika beider Ebenen von Bedeutung und man kann durch eine Integration über die Diagramme auch den Gewinn errechnen. Häufig wird der Nebenzipfelentwicklung in den H-Ebenen zu wenig bedeutung beigemessen. Aber gerade im H-Diagramm erkennt man die Grenzen des Arbeitsbereiches einer Antenne bereits wenn die E-Diagramme noch sauber sind. Viele Hersteller von Antennen geben die H-Diagramme ihrer Antennen gar nicht an. Sie wissen, daß der normalerweise "horizontalpolarisierte" Funkamateuer Mängel im H-Diagramm nicht erkennen kann. Bei einer gut optimierten Yagi-Uda-Antenne wird die Strahlungskeule mit zunehmender Länge der Antenne immer rotationssymmetrischer. Eine Antenne ab  $2\lambda$  Länge muß auch ohne Reflektor noch ein VRV von mindestens 10 dB aufweisen. Je länger eine Antenne wird um so weniger trägt der Reflektor oder die Reflektoren zu einer Gewinnsteigerung bei. Bei  $5\lambda$ -Antennen kann das VRV schon 20 dB betragen. Mit einem Reflektor gewinnt man nur 1/100 von dem was nach vorn abgestrahlt wird dazu. Dennoch sind es nur 3 1/2 S-Stufen Unterschied. Ein größeres VRV als 23 dB hat nur eine Bedeutung für Meßantennen. Der Funkamateuer hat keinen Nutzen davon.

Nach der Multiplikation des Gruppendiagramms mit dem Einzeldiagramm erscheinen alle 0-Stellen beider Diagramme im resultierenden Antennendiagramm wieder und auch an den gleichen Stellen, weil die Multiplikation mit 0 auch wieder 0 ergibt.

Man kann mit Antennengruppen daher auch gezielt O-Stellen erzeugen. Bei zwei gleich gespeisten Strahlungsquellen im Abstand  $\lambda$  ergeben sich immer O-Stellen bei  $\pm 30^\circ$  nach vorn und hinten. Die Anzahl nimmt bei weiterer Abstandsvergrößerung zu und die ersten bewegen sich zunehmend symmetrisch zur Achse nach vorn und hinten. Als guter Richtwert kann dienen, daß man zwei Antennen so stockt, daß die ersten O-Stellen bei den -3dB-Punkten der Einzelantennen liegen. Damit werden die Nebenzipfel im Gesamtdiagramm eine Größe von etwa 13 dB unter dem Maximalwert einnehmen.

Die Gruppendiagramme aus Isotropstrahlern lassen sich für die verschiedensten Konfigurationen berechnen und solche Programme für beliebig viele 3-dimensional im Raum verteilte Strahlungsquellen, die auch alle noch mit unterschiedlicher Phase und Amplitude gespeist werden können, sind das Rüstzeug der Konstrukteure, die große Antennenanlagen entwerfen.

$$M(\alpha) = \frac{\sin \left[ \left( n \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \sin \alpha \right) 180^\circ \right]}{n \cdot \sin \left[ \left( \frac{a}{\lambda} \cdot \sin \alpha \right) 180^\circ \right]} = \frac{\sin (nx)}{n \sin x} \quad [1]$$

stellt eine vereinfachte Formel für Gruppendiagramme dar, bei der alle Strahlerquellen in einer Ebene liegen und mit gleicher Amplitude und Phase gespeist sind. Der Abstand  $a$  der Strahler ( in der Dimension wie  $\lambda$  ; ist frei wählbar, dann aber für die gesamte Zeile oder Spalte gleich. Das genügt auch und trifft auf die praktischen Verhältnisse beim Funkamateure zu. Ein Taschenrechner mit Winkelfunktionen genügt. Ein HC macht das spielend und stellt auch gleich die Diagramme grafisch dar. M erhält man als Skalar (die Vorzeichen können wechseln) und für die Ergebnisse, wo der Wert der Gleichung  $\frac{0}{0}$  annimmt, ist 1.0 dafür einzusetzen. Der Winkel  $\alpha$  ist die Hauptstrahlrichtung. Zwei Quadranten genügen ( $0 \dots 180^\circ$ ), die anderen sind gespiegelt, es sei denn die Strahler selbst weisen größere Unsymmetrien in ihren Diagrammen auf.

Die Zusammenhänge sollen an einem Beispiel verständlich gemacht werden. Grundlage ist eine Gruppenkonfiguration von  $\lambda/2$ -Dipolen mit Reflektor oder einer gemeinsamen Reflektorwand, damit kein Zweiseitenstrahler entsteht und 3 dB durch Rückstrahlung verloren gehen. Konzipiert werden 6 Zeilen mit jeweils 6 Strahlungsquellen. Es ergeben sich daher auch 6 Spalten. Die Abstände der Phasenzentren werden in der Zeile mit  $a = \lambda$  und in der Spalte mit  $a = \lambda/2$  gewählt. Warum die Abstände verschieden sind ergibt sich aus den weiteren Betrachtungen.

Mit  $n=32$  Antennen ergibt sich zum Grundgewinn Dipol-Reflektor von etwas mehr als  $3 \text{ dB}_d$  (max.  $4 \text{ dB}$ ) ein Gewinnzuwachs von  $10 \log 32 = 15.6 \text{ dB}$ , sodaß man mit einem Gesamtgewinn von etwa  $19 \text{ dB}_d$  rechnen kann.

Die Wirkfläche der Antennengruppe wird die belegte Fläche von  $5 \text{ m} \times 11 \text{ m}$  nach allen Seiten hin etwas überragen und in der Größenordnung von  $6 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 72 \text{ m}^2$  liegen. Nach Formel (1) würde sich dafür ein Antennengewinn von  $23.5 \text{ dB}_d$  oder durch Abzug von  $2.15 \text{ dB}$  ein auf den  $\lambda/2$ -Dipol bezogenen Gewinn von  $21.3 \text{ dB}_d$  ergeben. Das ist immerhin ein Unterschied von mehr als  $2 \text{ dB}$  und sehr viel. Einfache Faustformeln haben auch ihre Grenzen für die Anwendung. Man muß nach einer Erklärung suchen und den Gewinn aus der Richtcharakteristik ermitteln, denn nur von dort her kann ihn die Antennengruppe beziehen.

Aus der Gleichung (4) werden die normierten Gruppencharakteristika für die Zeile und die Spalte errechnet. Für die gewählten Abstände ergeben sich daraus die Diagramme I für die Zeile und II für die Spalte.

Das normierte Richtdiagramm der E-Ebene eines  $\lambda/2$ -Dipols (bei Funkamateuren häufig als Horizontaldiagramm bezeichnet) ergibt sich zu:

$$M(\alpha) = \frac{\cos(90^\circ \cdot \sin \alpha)}{\cos \alpha}$$

$0^\circ$  ist wieder die Hauptstrahlrichtung. Für den Dipol allein wäre das H-Diagramm ein Kreis. Aber auch mit einem Reflektor bleiben bei  $\pm 90^\circ$  noch erhebliche Anteile der Strahlung erhalten (ca.  $U_{\max}/2$ ). Um alles einfach zu halten wird weiterhin mit einem Kreisdiagramm gerechnet. Das Gruppendiagramm II der Spalte, multipliziert mit dem Kreisdiagramm des Dipols ergibt bei allen Winkeln dann auch wieder das Gruppendiagramm, denn es ist bei allen Winkeln mit 1.0 multipliziert worden. In der Praxis würde es eine etwas günstigere Gestalt mit einem geringfügig kleineren Öffnungswinkel als  $\alpha_H = 18^\circ$  annehmen.

Das Gruppendiagramm der Zeile I hat bereits einen kleineren Öffnungswinkel  $\alpha_E = 9^\circ$ , weil die Abstände doppelt so groß gewählt wurden. Bei  $\pm 90^\circ$  haben sich jedoch gewaltige Strahlungslappen entwickelt, die auf den ersten Blick erschrecken. Bei der Multiplikation von I mit dem E-Diagramm des Dipols III ergibt sich daraus das E-Diagramm der Antennengruppe IV. Da der Dipol bei  $\pm 90^\circ$  Nullstellen aufweist, bleiben von den großen Seitenlappen nur noch die kleinen schraffierten Flächen in IV übrig. Hätte man die Abstände in der Spalte auch zu  $a=\lambda$  gewählt, dann wären sie im H-Diagramm (vertikal) der Antennengruppe voll erhalten geblieben und eine solche Gruppe würde einen erheblichen Teil der Leistung in den Himmel und den Erdboden strahlen. Die Nebenzipfel liegen für beide Ebenen bei etwa  $-12 \text{ dB}$  unter  $U_{\max}$ , ein Wert, der noch akzeptabel ist



Setzt man die aus den errechneten Diagrammen der Antennengruppe ermittelten Öffnungswinkel  $\alpha_E \sim 9^\circ$  und  $\alpha_H \sim 18^\circ$  in die Kraus-Formel (3) ein, so erhält man einen Gewinn von knapp 22 dB<sub>d</sub>, der mit der Wirkflächenanalyse schon weitaus besser übereinstimmt. Noch genauer, weil auch die Nebenzipfel und die Rückwärtskeule damit erfaßt werden, wäre eine Integration über den Raumwinkel, die auch grafisch durch Flächenplanimetrierung durchgeführt werden kann. In der Praxis erhält man je nach Aufwand zuverlässige Gewinnaussagen für ein System mit einer Genauigkeit von besser als 0,5 dB.

Für das gewählte Beispiel wurden einige physikalisch gerade noch vertretbare Vereinfachungen zugelassen, um das Prinzip zu erläutern und nicht um eine neue Antenne für EME vorzustellen. Immerhin beweist es auch, daß die vor 50 Jahren entwickelten Antennengruppen so schlecht auch nicht waren.

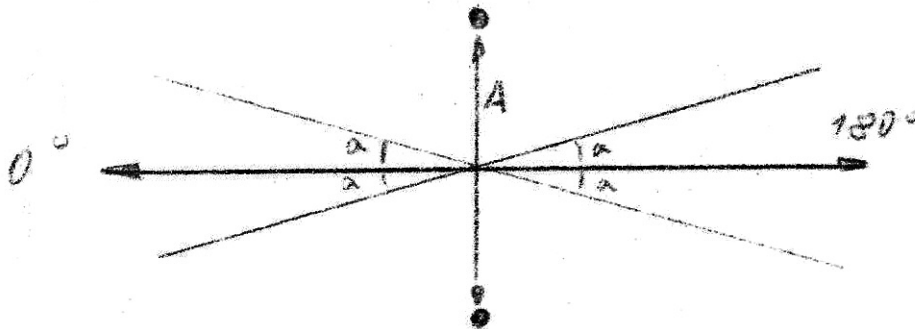
Gesichert ist, daß eine gleichmäßig mit vielen Stromelementen belegte Fläche in der Gewinnbilanz günstiger liegt als einige punktförmig über die gleiche Fläche verteilte Strahlerquellen mit größerem Eigengewinn. Das ist ähnlich wie bei einem horizontal-polarisierten Rundstrahler. Je mehr Stromelemente am Umfang angeordnet werden, umso mehr erfolgt die Annäherung an ein Kreisdiagramm.

Untersucht man den Monumentalaufbau der W5 UN-Antenne (4 Zeilen mit je 12 Antennen), dann erkennt man zumindest für die Zeile, daß der  $\alpha_E$ -Öffnungswinkel seiner Antennengruppe von  $< 5^\circ$  seine Begründung im Gruppendiagramm findet und weit weniger in der Verwendung von 15 dB<sub>d</sub>-Hochleistungsantenne mit etwa  $\alpha_E \sim \alpha_H \sim 25^\circ$ . Auf das H-Diagramm (vertikal 4 Antennen) haben diese schon einen größeren Einfluß. Natürlich unterdrückt eine gut optimierte Hochleistungsantenne die in den Gruppendiagrammen enthaltenen Nebenzipfel besser und auch das VRV ist mit  $> 20$  dB nicht zu vergleichen mit dem der Strahler-Reflektor-Anordnung (ca. 8 dB). Die Speisung ist zumindest für Funkamateure einfacher, obwohl man in der Praxis für solche Antennenwände Ganzwellendipole verwenden würde, die hochohmig sind und sich über offene Speiseleitungen relativ verlustarm parallelschalten lassen. Der Arbeitsbereich (Bandbreite) ist bei derartigen Antennen weitaus größer als bei Längsstrahlern mit großem Gewinn und ~~ist~~ kann durch Kompensation noch vergrößert werden. Das rechtfertigt auch heute noch den Einsatz für kommerzielle Funkdienste.

[ 1 ] Rothe/ Spindler, Antennenpraxis, 4. Auflage, VEB Verlag Technik Berlin

Zeuthen 1.5.1990

*Oleg Obermüller*



Sollen die Nullstellen bei einem Winkel  $\alpha$  liegen, so muß der Abstand von zwei Antennen

$$A = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin \alpha} \quad \text{werden.}$$

Es treten die Nullstellen immer symmetrisch zur Hauptstrahlrichtung und zur Rückstrahlrichtung auf. A ergibt sich in der gleichen Dimension, wie  $\lambda$  eingesetzt wird.  $\alpha$  ist der halbe Öffnungswinkel der Antenne.

Bei Anordnung von mehr als zwei Antennen in einer Zeile oder Spalte ergibt sich der Winkel  $\alpha$  auch, aber es treten dann noch weitere Nullstellen auf, die vor diesem Winkel liegen. Dadurch kann man den Abstand der Antennen etwas größer wählen ohne daß die Nebenzipfel zu stark anwachsen.

