

# Radialsysteme unter Vertikalantennen

Karl M. Hille, DL1VU, Goethestraße 3,8172 Lenggries  
aus der cqDL 3/92 Seite 159/160

Die Groundplane-Antenne ist jedermann geläufig. Sie gilt als problemloser Strahler mit guten DX-Eigenschaften, der sich ohne weiteres an ein 50-Ohm-Kabel anpassen läßt.

Besondere Anforderungen muß eine Rundfunkantenne erfüllen, denn da geht es nicht um 100 oder 750 Watt, sondern um die tausendfache Leistung, die entsprechend teuer bezahlt werden muß. Der Rundfunkmann hat also ein natürliches Interesse an der Leistungsfähigkeit seiner Antenne.

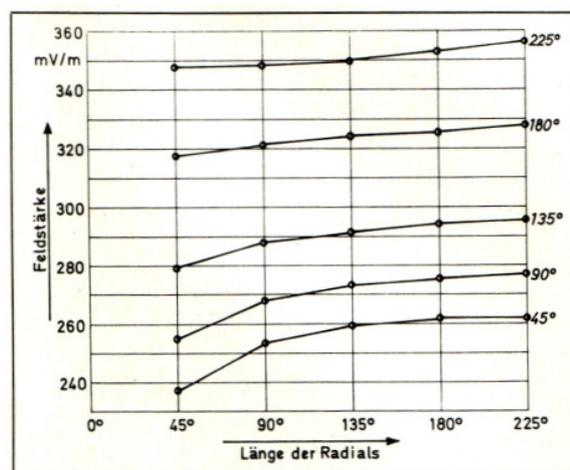
Um ihm darin beizustehen, untersuchten die Ingenieure AI Christman vom Grove City College und Roger Radcliff von der Ohio University die Auswirkungen von Radialsystemen auf die Abstrahlung von vertikalen Monopolantennen und veröffentlichten ihre Ergebnisse in den IEEE Transactions on Broadcasting [1].

Bei der Errichtung einer Rundfunkantenne bemüht man sich, ein Optimum herauszuholen, was zu drei Fragen führt: Welches ist die optimale Höhe der Vertikalantenne? Wie lang sollen die Radiais sein? Wie wird die Antenne am besten gespeist?

Es gibt dafür eine Reihe von Standardantworten, die aber das Dunkel nicht aufhellen, wie sich gleich zeigen wird. Der Fragenkomplex läßt sich auf zwei Wegen beantworten: durch Aufbau und Messung entsprechender Antennen oder durch Berechnung. Christman und Radcliff beschritten den zweiten Weg und wählten als Werkzeug die Doppel-Präzisions-Rechnung der Momentenmethode mit dem Programm NEC-GS [2].

Um einen Vergleichs-Standard zu haben, berechneten sie zunächst den seriengespeisten Monopol mit 120 eingegrabenen, 15 cm tiefen Radiais. Der Strahler war aus Aluminium, die Radiais aus Kupfer, beide von 3 mm Durchmesser. Der Erdboden hatte eine Leitfähigkeit von 4 Millisiemens pro Meter und eine Dielektrizitätskonstante von 15. Als Arbeitsfrequenz wählte man 1 MHz.

Die Höhe des Strahlers sowie die Länge der Radiais veränderte man in 45-Grad-Schritten von 45 Grad bis 225 Grad. Dies entspricht Lambda-Achtel-Schritten.

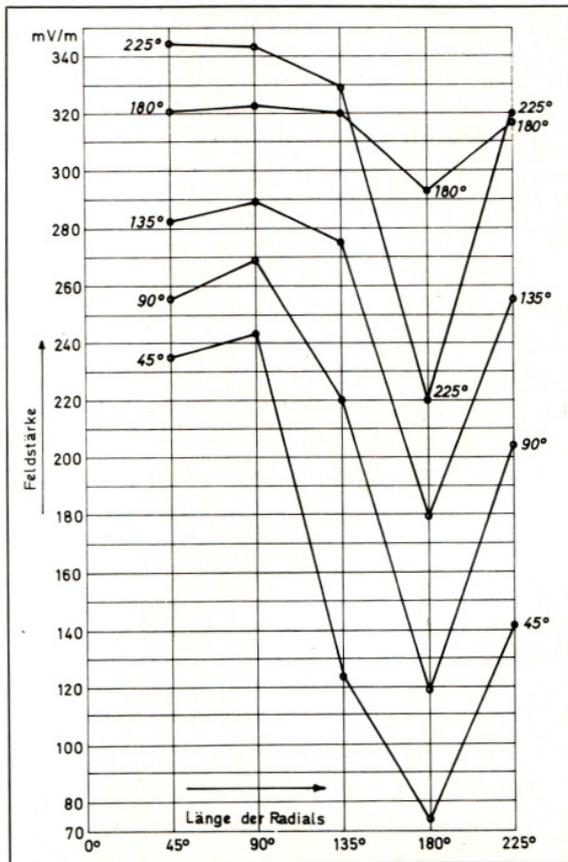


**Abb.1: Die Feldstärken von Vertikalmonopolen in Abhängigkeit von der Länge der eingegrabenen 120 Radiais. Rechts kursiv: Antennenhöhe in Grad.**

Die untersuchten Groundplane-Antennen hatten ihre Abmessungen wie vorher, jedoch als Groundplane nur vier isolierte Radiais. Davon wurden zwei Modelle analysiert: Einmal war die Radialebene in 5 m Höhe verspannt (Lambda/60) und einmal in 10 m Höhe (Lambda/30). Die isolierten Radiais waren in 15 m Abstand (Lambda/ 20) von Stahlstäben getragen.

Der Fußpunkt der Antenne stand isoliert auf einem Stahlstab, der 2 m tief in der Erde steckte. Die Speisung erfolgte auf zwei Arten. Indirekte Speisung: antennentragender Stahlstab und Radiais sind voneinander isoliert, gespeist wird der Vertikalstrahler gegen die vier Radiais. Direkte Speisung: Wie vorher, doch sind antennentragender Stahlstab und die vier Radiais miteinander galvanisch verbunden. Die direkte Speisung ergab in fast allen Fällen schlechtere Ergebnisse als die indirekte. Deswegen sind

hier nur die Resultate der indirekten Speisung angegeben.



**Abb.2: Die Feldstärken von Monopolen über einer Groundplane aus vier 5 m hohen, isolierten Radiais in Abhängigkeit von Radiallänge (unten) und Antennenhöhe (rechts).**

Ein Blitzschutz der isolierten Radiais läßt sich leicht durch eine Funkenstrecke [3] erzielen. Die Überspannung der isolierten Radiais wird damit abgeleitet.

Beginnen wir mit dem Vergleichs-Standard von Monopolantennen über 120 eingegrabenen Radiais. Dies ist übrigens der Standard von MW-Rundfunkantennen in den USA. Ist die Erdungsanlage schlechter, so rührt die FCC keinen Finger, um die Station zu lizenzieren.

Die "zahl"reichen numerischen Ergebnisse der Originalarbeit sind hier in einem Schaubild der Abb. 1 zusammengefaßt. Links ist senkrecht die jeweils errechnete vertikale Feldstärke in 1 km Entfernung von der Antenne, die mit 1 kW erregt wird, angeführt, wenn die Meßempfangsantenne (z. B. Ferritstab) eine Höhe von 1,27 m über dem Boden hat. Unten ist die Länge der Radiais in Lambda/8-Schritten waagrecht

abgetragen, also 45 Grad = Lambda/8; 90 Grad = Lambda/4; 135 Grad = 3 x Lambda/8; 180 Grad = Lambda/2 und 225 Grad = 5 x Lambda/8. In Kursivschrift ist als Parameter die Höhe des Vertikalstrahlers am rechten Bildrand angegeben.

Die Ergebnisse sind alle mit dorfüblicher Logik zu erklären, kurz gesagt: je länger, je besser. Das Optimum ist mit einem 225-Grad-Vertikalstrahler und 225 Grad langen Radiais zu erzielen. Bemerkenswert ist jedoch, daß ein 45-Grad-Vertikalstrahler mit 90 Grad langen Radiais einem 90-Grad-Strahler mit 45 Grad langen Radiais fast ebenbürtig ist. Für das 3,5 MHz-Band bedeutet dies: Ein 10-m-Mast mit 20-m-Radiais liefert etwa dieselbe Feldstärke wie ein 20-m-Mast mit 10-m-Radiais. Obschon das Verlegen von 120 Radiais mühevoll ist, unterscheiden sich beide Anordnungen beträchtlich in ihrem Preis.

Die Verhältnisse ändern sich grundlegend, wenn nur noch vier isolierte, waagerechte Radiais als Gegengewicht oder Groundplane verwendet werden, die 5 m hoch (Lambda/60) über dem Erdboden verspannt sind. Abb. 2 zeigt die überraschenden Ergebnisse. Am schlechtesten schneiden die 180-Grad-Radiais ab, während die 90-Grad-Radiais mit einer Ausnahme maximale Feldstärken liefern. Die Ausnahme bildet der 225-Grad-Strahler, der am kräftigsten mit 45-Grad-Radiais strahlt. Bei hohen Strahlern (135 Grad, 180 Grad, 225 Grad) kommt man mit 45-Grad-Radiais aus, bei niedrigen Strahlern sind 90-Grad-Radiais optimal. Längere als 90-Grad-Radiais sind der Feldstärke abträglich.

Abb. 3 zeigt die Ergebnisse für vier 10 m (Lambda/30) hoch waagrecht verspannte Radiais als Groundplane. Auch hier wird das Maximum mit 90-Grad-Radiais erzielt. Längere Radiais rentieren sich in gar keinem Fall. Bei Vertikalstrahlern von 180 Grad und 225 Grad Höhe sind Radiais von 45 Grad, 90 Grad und 180 Grad Länge nahezu gleichwertig.

Vergleichen wir Abb. 2 mit Abb. 3, so erkennen wir, eine Groundplane aus 90-Grad-Radiais von Lambda/30 Höhe ist der von Lambda/60 Höhe immer überlegen mit Ausnahme des 225 Grad hohen Strahlers.

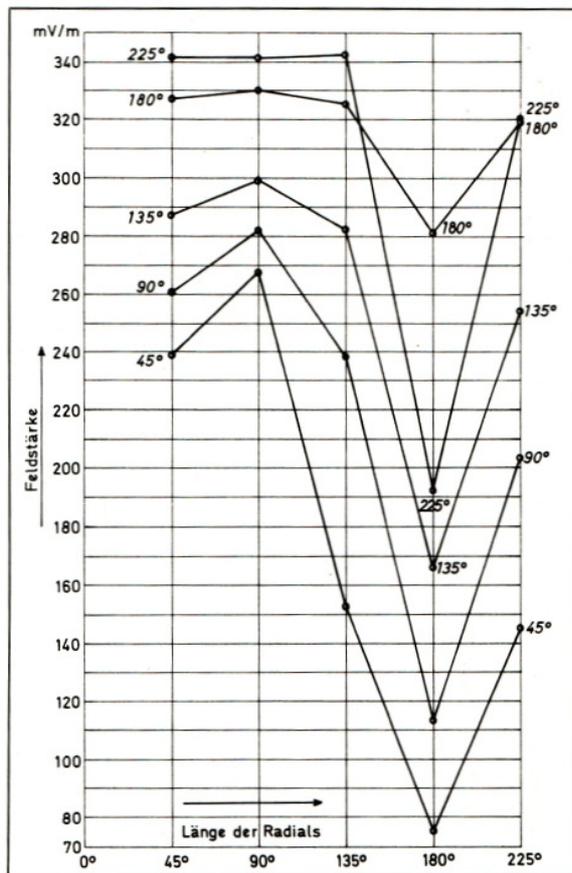


Abb.3: Die Feldstärken von Monopolen über einer Groundplane aus vier 10 m hohen, isolierten Radiais in Abhängigkeit von Radiallänge (unten) und Antennenhöhe (rechts).

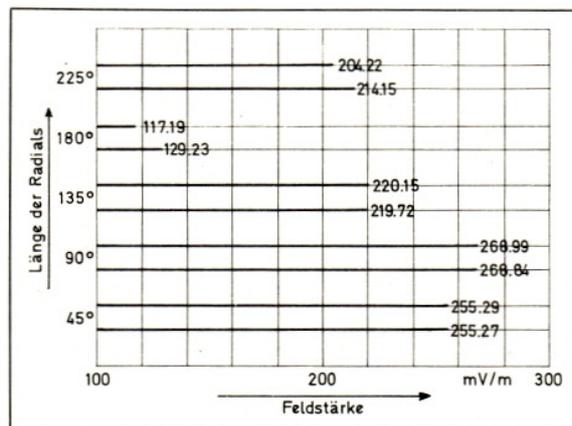


Abb.4: Die Feldstärken eines Viertelwellen-Monopols längs eines Radiais (oben) und längs der Winkelhalbierenden zwischen zwei Radiais (unten) in Abhängigkeit von der Länge der Radiais. Höhe der Groundplane 5 m.

Um eine Begründung der enttäuschenden Ergebnisse für 180-Grad-Radials braucht man nicht lange zu suchen. Die  $\lambda/2$  langen Radiais wirken wie horizontale Dipole, die senkrecht zum Draht strahlen, also die Energie in nutzlose Steilstrahlung

umsetzen. Dies gilt nur für frei verspannte, isolierte Radiais; vergrabene Radiais strahlen nicht wie Dipole, auch wenn sie eine halbe Wellenlänge lang sind, weil ihre Güte sehr gering ist.

Im Verlaufe der Berechnungen stellte man sich die Frage, ob die Groundplane-Antenne mit vier Radiais wirklich rund strahlt oder ob Feldstärkeunterschiede in den Richtungen längs eines Radiais oder in der Winkelhalbierenden zwischen zwei Radiais auftreten. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 für die Groundplanehöhe 5 m =  $\lambda/60$  und in Abb. 5 für die Groundplanehöhe 10 m =  $\lambda/30$  samt den Feldstärkewerten zu sehen.

Der Monopol ist stets  $\lambda/4$  hoch, die vier Radiais sind isoliert. Der Koordinatenursprung für die Feldstärke liegt bei 100 mV/m. Der obere Balken stellt die Feldstärke in Radialrichtung, der untere Balken die Feldstärke in der Mitte zwischen zwei Radiais, also in 45 Grad Ablage vom Radial dar; die Feldstärkewerte sind dort in Zahlen angegeben.

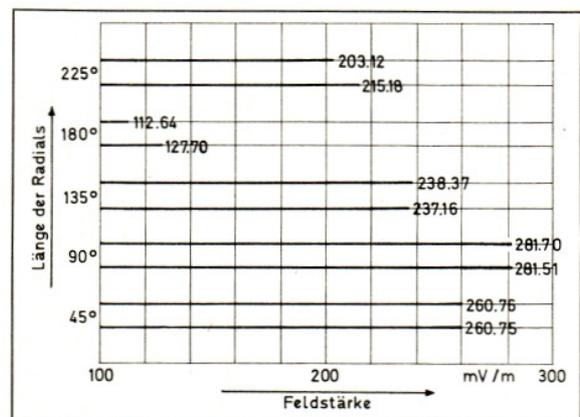


Abb.5: Die Feldstärken eines Viertelwellen-Monopols längs eines Radiais (oben) und längs der Winkelhalbierenden zwischen zwei Radiais (unten) in Abhängigkeit von der Länge der Radiais. Höhe der Groundplane 10 m.

Die Unterschiede in der Feldstärke sind minimal. Bei einer Groundplanehöhe von 5 m betragen sie für 225-Grad-Radials 0,41 dB, für die ohnehin ungünstigen 180-Grad-Radials 0,85 dB. Bei der Groundplanehöhe von 10 m sind es bei 225-Grad-Radials 0,50 dB und bei 180-Grad-Radials 1,09 dB. Damit ist die Annahme von HB90P, daß die Triple-Leg-Antenne, eine Groundplane-Antenne mit drei Radiais, in der Winkelhalbierenden bevorzugt abstrahle, zwar theoretisch völlig

richtig, praktisch aber belanglos, zumal dort 90-Grad-Radials verwendet werden [4].

Christman und Radcliff haben ihre Berechnung für die Rundfunkfrequenz 1 MHz angestellt. Eine Übertragung auf die niederen Bänder des Amateurfunks hat mit Sicherheit geringfügig abweichende Ergebnisse zur Folge; an den grundlegenden Tatsachen ändert sich aber nichts.

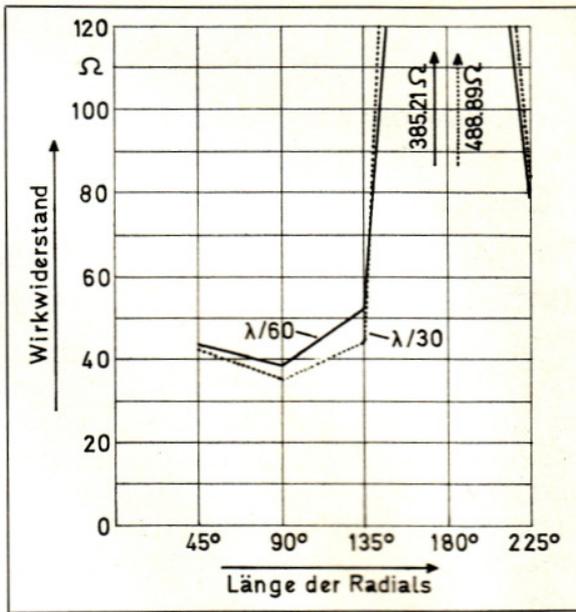


Abb.6: Der Wirkwiderstand einer Viertelwellen-Mono-poi-antenne über einer Groundplane aus vier isolierten Radiais von Lambda/60 Höhe (ausgezogen) bzw. Lambda/30 Höhe (punktiert) in Abhängigkeit von der Länge der Radiais.

Der Verlauf der Impedanz am Fußpunkt des Vertikalstrahlers ist für die Speisung mit 50-Ohm-Kabel in seiner Abhängigkeit von der Länge der vier isolierten Radiais von großer Wichtigkeit. Abb. 6 zeigt den Verlauf des Wirkwiderstandes eines Lambda/4 hohen Monopols. Bei Radiallängen von 45 Grad bis 135 Grad liegt der Wirkwiderstand im günstigen Bereich von 36 Ohm bis 52 Ohm, wobei die Höhe der Groundplane über der Erde nur eine geringe Rolle spielt. Bei Radiais von 180 Grad Länge steigt der Wirkwiderstand auf die ungeahnte Höhe von 385 Ohm bzw. 489 Ohm. Bei 225 Grad langen Radiais sinkt er zwar auf rund 80 Ohm, so daß man mit einem 75-Ohm- oder 90-Ohm-Kabel speisen könnte, aber nie mit einem 50-Ohm-Kabel. Wer es mit 180 Grad langen Radiais besonders gut meint, bekommt eine grobe Fehlanpassung an das Kabel, und die Welligkeit schnellst empor.

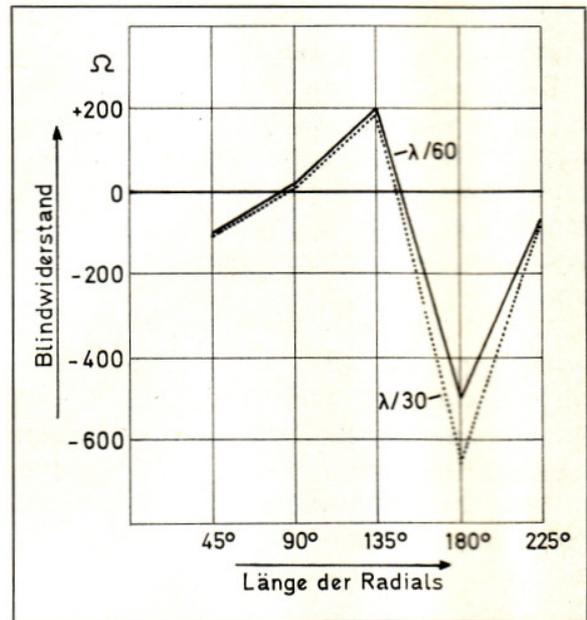


Abb. 7: Der Blindwiderstand einer Viertelwellen-Monopolantenne über einer Groundplane aus vier isolierten Radiais von Lambda/60 Höhe (ausgezogen) bzw. Lambda/30 Höhe (punktiert) in Abhängigkeit von der Länge der Radiais.

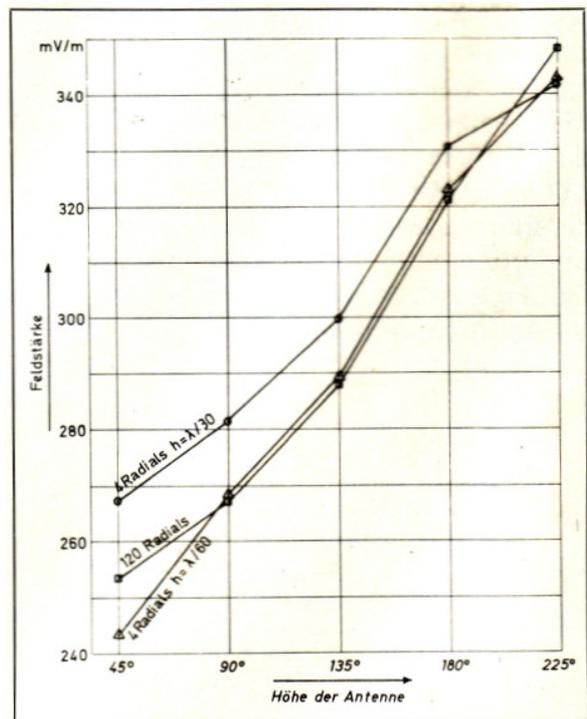


Abb.8: Drei Radialsysteme im Vergleich: Die Feldstärken von verschiedenen hohen Monopolantennen über unterschiedlichen Groundplanes. Quadrate: 120 Radiais, Lambda/4 lang, 15 cm tief vergraben; Dreiecke: 4 Radiais, Lambda/4 lang, Lambda/60 über Boden; Kreise: 4 Radiais, Lambda/4 lang, Lambda/30 über Boden.

Der Verlauf des Blindwiderstandes ist in Abb. 7 dargestellt. Es gibt zwei resonanznahe Stellen, bei denen der Blindwiderstand nahezu Null wird: bei 90-Grad-Radials und bei Radiais von etwa 150 Grad Länge. Ein dritter Resonanzpunkt dürfte bei etwa 240 Grad langen Radiais auftreten. Dies sind Schätzungen, weil man bei der Berechnung nur in 45-Grad-Schritten vorgegangen ist.

Nimmt man die Verbindungslinien zwischen den Meßpunkten als tatsächliche Impedanzkurven an, so ergibt sich für die Lambda/30 hohe Groundplane ein Verkürzungsfaktor der Radiais von 97,5 Prozent und bei der Lambda/60 hohen Groundplane ein Verkürzungsfaktor von 94,7 Prozent, bedingt durch die größere Nähe der Erdoberfläche. Beide Werte erscheinen realistisch.

Abschließend lassen wir die drei Groundplane-Modelle zu je Lambda/4 Radiallänge zu einem Wettbewerb antreten, welche als Sieger wohl die höchsten Feldstärken liefert. Abb. 8 zeigt das Ergebnis in Abhängigkeit von der Antennenhöhe.

Bis zu einer Antennenhöhe von 180 Grad erbringen die Lambda/30 hohen vier Radials die höchste Feldstärke.

Die Lambda/60 hohen Radiais bleiben dahinter zurück mit einem Nachteil der Feldstärke von etwa 0,5 bis 0,3 dB. Die allgemein als Optimum angenommenen 120 vergrabenen Radiais sind erst bei einer Antennenhöhe von 225 Grad von Vorteil.

Ich habe in meinem Garten 48 Radiais zu je 21,5 m vergraben, die für 3,5 MHz Lambda/4 lang sind und nach dieser Untersuchung schlechter als 4 Radiais in 85 m/30 = 2,83 m Höhe: Ich habe umsonst gebuddelt.

Literatur:

[1] A. Christman und R. Radcliff: Elevated Monopole Antennas. Effect of Changes in Radiator Height and Radial Length. IEEE Transactions on Broadcasting, Dez. 1990 (ISSN 0018-9316).

[2] G. J. Burke und A. J. Poggio: NEC-Methods of Moments. Naval Ocean Systems Center, San Diego, CA, Jan. 1980.

[3] K. H. Hille und A. Krischke: Das Antennenlexikon. VTH-Verlag, Baden-Baden (ISBN 3-88180-304-1).

[4] K. Rothammel: Antennenbuch. Franck, Stuttgart, 9. Auflage, Seite 322 (ISBN 3-440-05853-0).

Von DF1BT gescannt und in Word eingefügt.

\*\*\*\*\*

Radials Abgleich nach Rothammel

DL6DO stellte umfassende Angaben über die Methodik der nachträglichen Längenkorrektur einer Groundplane zur Verfügung. Man benötigt dazu ein Antennascope und ein Dip-Meter.

Sämtliche Radials vom zentralen Befestigungspunkt (Basis) trennen; 2 sich gegenüberliegende Viertelwellenradials durch Zwischenschalten des Antennascopes zu einem Halbwellendipol zusammenfassen. Da der Eingangswiderstand eines Halbwellendipols etwa 70 Ohm beträgt, muß auch der Drehwiderstand des Antennascopes auf einen Wert von 70 Ohm, eingestellt werden. Speist man nun das Antennascope mit einem Dip-Meter, so wird man in den meisten Fällen feststellen, daß die Resonanzfrequenz mehr oder weniger weit außerhalb des vorgesehenen Frequenzbereiches liegt. Dann muß man die Länge der beiden untersuchten Radiais entsprechend korrigieren. Danach werden die nächsten beiden Radiais in gleicher Weise untersucht und korrigiert, ohne daß die vorher abgeglichenen Viertelwellenstücke an die Basis angeklemt werden. Erst wenn alle vorhandenen Radialpaare in der beschriebenen Art abgeglichen worden sind, wird die Verbindung zum zentralen Punkt wiederhergestellt. Damit ist der Grobabgleich der Radiais durchgeführt.

Zum nun folgenden Feinabgleich wird jeweils ein Radial von der Basis abgeklemmt und über das Antennascope wieder mit dieser verbunden. Die übrigen Radiais bleiben dabei am zentralen Verbindungspunkt. Mit dem Griddipper stellt man erneut die Resonanzlänge fest und verlängert oder verkürzt das Viertelwellenstück, bis die Betriebsfrequenz erreicht ist. Ebenso verfährt man

nacheinander mit den übrigen Radiais, wobei man die bereits abgeglichenen Elemente immer wieder mit der Basis verbinden muß. Bei jeder Messung sind demnach alle Radiais mit der Basis verbunden, mit Ausnahme des zu messenden Viertelwellenstückes. Das exakte Minimum am Antennascope wird nun nicht mehr bei der Stellung 70 Ohm, sondern zwischen 30 und 60 Ohm. auftreten. Nach einwandfreiem Abgleich ist das gesamte System der Radiais in Resonanz, und der vertikale Viertelwellenstrahler kann nun ebenfalls auf die Betriebswellenlänge abgestimmt werden. Auch in diesem Fall leistet die beschriebene Meßanordnung mit Antennascope und Dip-Meter gute Hilfe.

Der gesamte Abgleich erscheint etwas umständlich; dafür kann aber auch mit großer Sicherheit angenommen werden, daß eine in dieser Art abgestimmte Groundplane ihren Erbauer nicht enttäuschen wird.

\*\*\*\*\*

Wichtig: (von DL2NBU)

Bei Elevated Radials müssen ALLE Radials gleich lang sein, da sonst die Stromverteilung auf den Radials ungleich ist, im ungünstigsten Fall wirkt nur ein Radial!

Wer die Möglichkeit hat, soll den Radialstrom mit einem HF-Strommesser kontrollieren, z. B.:

