

Logarithmisch-periodische Kurzwellenantennen werden neuerdings für Nennleistungen bis 1000 kW benötigt. Rohde & Schwarz baut sie als Dipolantennen in Drahtkonstruktion und als V-Antennen in freitragender Rohrkonstruktion. Der Aufsatz\* gibt einen Überblick über die Strom- und Spannungsverteilung sowie über kritische Leistungen und stellt abschließend ein Ausführungsbeispiel vor.

## Logarithmisch-periodische Kurzwellen- antennen für hohe Senderleistungen

Die Theorie logarithmisch-periodischer Antennen wird in der Literatur ausführlich behandelt; man findet dort auch ausführliche Angaben über die Dimensionierung der Antennen. Die praktische Ausführung ist jedoch ohne eingehendes Studium der inneren elektrischen Vorgänge nicht möglich. Insbesondere für logarithmisch-periodische Antennen hoher Senderleistung ist die Kenntnis der Strom- und Spannungsverteilung innerhalb der Antenne

wichtig, weil diese Größen bei der Wahl der Leiterdurchmesser und Leiterabstände berücksichtigt werden müssen.

Im Kurzwellenbereich haben die Antennen darüber hinaus so große Abmessungen, daß man sich die Herstellung eines Antennenmodells im Maßstab 1:1 gewöhnlich nicht leisten kann. Änderungen an der fertiggestellten, montierten Antenne sind andererseits praktisch auch nicht möglich, da sie mit einem hohen Aufwand verbunden sind. Bei der Auswertung von Modellversuchen hat man schließlich zu berücksichtigen, daß die Beeinflussung der Antenneneigenschaften durch den Erdboden dem Modellgesetz nicht streng gehorcht.

\* Nach einem Vortrag auf der Fachtagung „Antennen und elektromagnetische Felder“ der NTG/U.R.S.I. vom 17. bis 20. Oktober 1967 in Darmstadt.

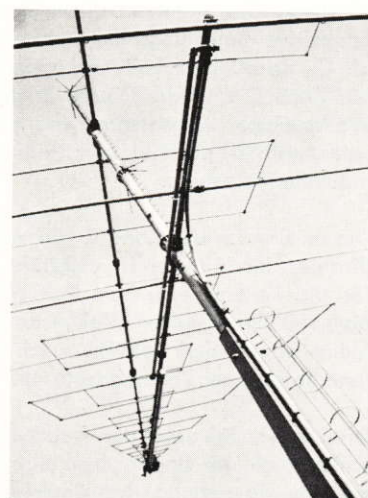
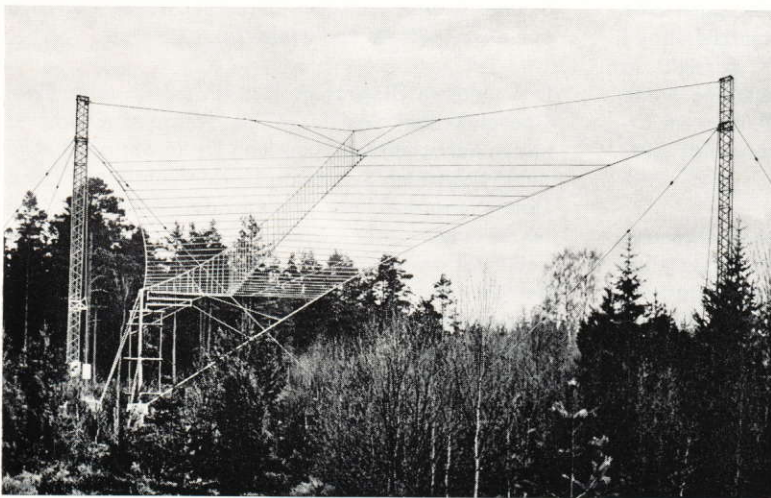


Bild 1 Links: Logarithmisch-periodische Dipolantenne in Drahtkonstruktion für den Frequenzbereich 4 bis 30 MHz. Rechts: Logarithmisch-periodische V-Antenne in freitragender Stahlrohrkonstruktion für 5 bis 30 MHz.  
Foto: 14 334/Schlagbauer

## Leistungsbedarf und Antennenformen

Während die kommerziellen Dienste über Sendeleistungen von 100 kW nicht wesentlich hinausgehen, werden Kurzwellen-Rundfunksender mit noch wesentlich höheren Leistungen betrieben. Legt man beispielsweise eine Trägerleistung von 500 kW zugrunde, so ergeben sich bei 100% A3-Modulation etwa 750 kW. Wenn der Sender außerdem bei einzelnen Frequenzen bis 20% über seine Nennleistung abzugeben vermag, so müssen die zugehörigen Antennen bis 1000 kW aufnehmen können.

Für den Kurzwelleneinsatz haben sich im wesentlichen zwei Ausführungsformen logarithmisch-periodischer Antennen herausgebildet (Bild 1): Die logarithmisch-periodische Dipolantenne, oft in Drahtkonstruktion hergestellt, wird zwischen den Tragmasten meist mit einer Neigung zum Erdboden montiert. Sie läßt sich für Frequenzen herab bis 2 oder auch 1,5 MHz anfertigen. Die andere Ausführungsform ist die logarithmisch-periodische V-Antenne in freitragender Stahlrohrkonstruktion. Diese Antenne wird von 4,5 MHz aufwärts hergestellt und unter Verwendung eines zentralen Tragmastes drehbar ausgeführt.

Beide Antennen sind in ihrer Wirkungsweise ähnlich. Die elektrischen Vorgänge lassen sich aber an der Dipolantenne besser übersehen.

## Spannungs- und Stromverhältnisse

Bild 2 zeigt schematisch die logarithmisch-periodische Dipolantenne mit ihren drei elektrischen Wirkzonen B, C und D. Die Energie läuft, von der Leitung A kommend, durch die Zone B. Die Dipole sind kürzer als  $\lambda/2$  und abwechselnd gegenphasig an die durch die Antennenmitte verlaufende Leitung angeschlossen. Sie bilden in dieser Zone lediglich eine kapazitive Belastung, die sich im Ersatzschaltbild als  $C_A$  parallel zur Leitungskapazität C darstellt. In der Zone D sind die Dipole länger als eine halbe Wellenlänge; dementsprechend erhält man im Ersatzschaltbild parallel zur Leitungskapazität eine induktive Belastung.

Die im Bereich der Zone C (aktive Zone) liegenden Strahler, ihr längster ist ungefähr  $\lambda/2$  lang, stellen für die Leitung eine zum Teil ohmsche Belastung dar; sie führen daher Wirkleistung. Die in die Antenne eingespeiste Leistung wird fast ausschließlich innerhalb dieser Zone abgestrahlt.

Die Diagramme unter den Ersatzschaltbildern geben schematisch die Spannungs- und Stromverhältnisse an, wie sie entlang der Antenne auftreten (siehe Bild 2). Die an der symmetrischen Leitung liegende Spannung  $U_L$  nimmt im Bereich der aktiven Zone nach den längeren Strahlern hin bereits stark ab. Bei

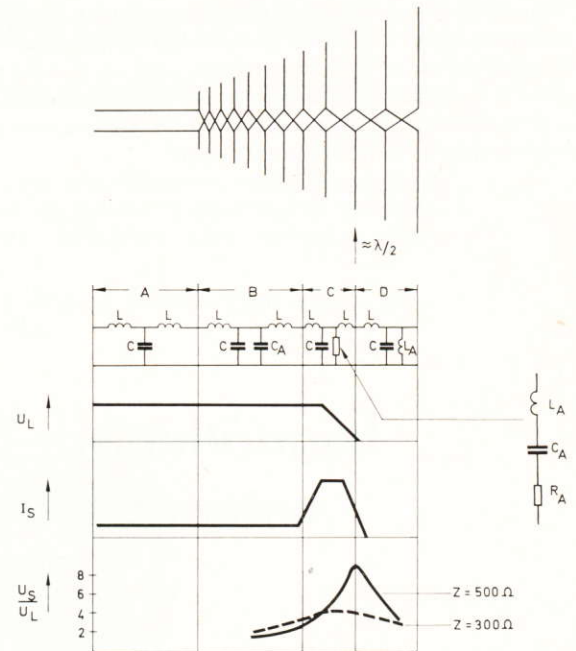


Bild 2 Schema der logarithmisch-periodischen Dipolantenne mit den Ersatzschaltbildern für die einzelnen Wirkzonen, dem zugehörigen Spannungs- ( $U_L$ ) und Stromverlauf ( $I_S$ ) sowie dem Verhältnis der Spannung an den Strahlenden ( $U_S$ ) zur Spannung am Leitungsspeisepunkt ( $U_L$ ).

einer ausgeführten Antenne wurde beispielsweise am Speisepunkt des  $\lambda/2$ -Strahlers eine um mehr als 10 dB geringere Spannung gemessen als beim vorangehenden, nächst kürzeren Strahler. Die auf den Strahlern fließenden Ströme haben innerhalb der aktiven Zone Maximalwerte, die sich von den Strahlerströmen in den Zonen B und D erheblich unterscheiden. Insbesondere in der Zone D fallen die Strahlerströme nach den längeren Strahlern zu rasch um etwa  $-30$  dB und mehr ab.

Das unterste Diagramm gibt schließlich noch einen Überblick über das Verhältnis der an den Strahlenden herrschenden Spannung  $U_S$  zu der am Speisepunkt liegenden Spannung  $U_L$ . Man entnimmt dieser Darstellung, daß hohe Wellenwiderstände der Strahler zu einer großen Spannungsüberhöhung führen, und zwar besonders bei einer Strahlerlänge von  $\lambda/2$ , bei der die Kurve ein Maximum hat. Andererseits zeigt das Diagramm auch, daß die Speisepunktspeisepunktspannung in Höhe des  $\lambda/2$ -Dipols bereits stark abgesunken ist, so daß an den Dipolenden eine niedrigere Spannung auftritt als man zunächst erwarten würde.

Mit steigender Frequenz wandert die aktive Zone immer mehr zur Spitze der Antenne, und bei genauer Einhaltung des logarithmisch-periodischen Prinzips müssen die Abmessungen der Antenne, einschließlich der symmetrischen Speiseleitung, sich in gleicher



Weise vermindern: Die Leiterdurchmesser und Leiterabstände werden immer kleiner; die der Antenne maximal zuführbare Leistung vermindert sich zwangsläufig ebenfalls. Bei entsprechender Verkleinerung sämtlicher Antennenabmessungen sinkt die durch maximale Erwärmung gegebene Leistung mit etwa  $1/f^{5/2}$  und die durch die Spannungsfestigkeit gegebene Leistung mit  $1/f^n$ , wobei n etwa Werte zwischen 5/3 und 2 annimmt.

### Kritische Leistung

Die Leistung geht demnach bei Frequenzerhöhung infolge Strombelastung schneller zurück als durch Spannungsbelastung. Das erklärt sich grob folgendermaßen: Das Absinken der Maximalleistung mit  $1/f^2$ , das bei gleichbleibendem Verlustwiderstand durch die konstante Erwärmung der Oberfläche gegeben wäre, wird noch verstärkt durch das Ansteigen des Verlustwiderstandes mit  $1/f$ . Andererseits wird bei einer Leistungsbegrenzung durch Korona-Einsatz das Absinken der Leistungskurve mit  $1/f^2$ , das durch eine konstante maximale Feldstärke in der Antenne gegeben wäre, dadurch angehoben, daß sich mit kleiner werdendem Durchmesser der kritische Spannungsgradient vergrößert.

Will man sich einen Überblick über die Abhängigkeit der kritischen Leistung von der Frequenz verschaffen, so betrachtet man hierzu eine symmetrische Leitung, deren auf die Wellenlänge bezogene Abmessungen konstant sind. Wird der Mittelpunkt-

abstand der Leiter  $\lambda/10$  gewählt, das entspricht bei gängigen Antennenausführungen ungefähr dem Abstand zwischen zwei benachbarten Strahlern, so ergibt sich für den Leiterdurchmesser bei einem Wellenwiderstand von  $300 \Omega$  rund  $\lambda/60$  und bei  $150 \Omega$  rund  $\lambda/20$  (Bild 3). Die Belastungsgrenze für logarithmisch-periodische Antennen liegt durch zusätzliche Blindleistungsbelastung noch einige dB tiefer.

Bei den ausgezogenen Kurven, die eine Begrenzung infolge Erwärmung darstellen, wurde pro  $\text{cm}^2$  Oberfläche eine Verlustleistung von  $0,1 \text{ W}$  zugrunde gelegt. Dies führt bei Aufstellung im Freien, bei schwach bewegter Luft und ohne Sonneneinstrahlung zu einer Übertemperatur von ungefähr  $100^\circ\text{C}$ . Hierbei ist nicht berücksichtigt, daß die Verlustleistung und damit die Erwärmung, von der Dipolmitte ausgehend, nach außen rasch abnimmt und bei kurzen Strahlern ein Temperaturausgleich im Strahler leichter möglich ist als bei langen Strahlern. Es zeigt sich, daß die kritischen Leistungen im Kurzwellenbereich über  $1000 \text{ kW}$  liegen.

### Strahlerdurchmesser

Bei der Entwicklung einer Kurzwellenantenne wird man darauf achten, daß die Strahlerdurchmesser nicht größer gewählt werden als erforderlich, weil große Strahlerdurchmesser hohe Windlasten, ein hohes Gewicht und dadurch schließlich auch hohe Kosten zur Folge haben. Da außerdem die kritischen Belastungen an der oberen Frequenzbereichsgrenze auftreten, wird man die Frage stellen, wie weit bei

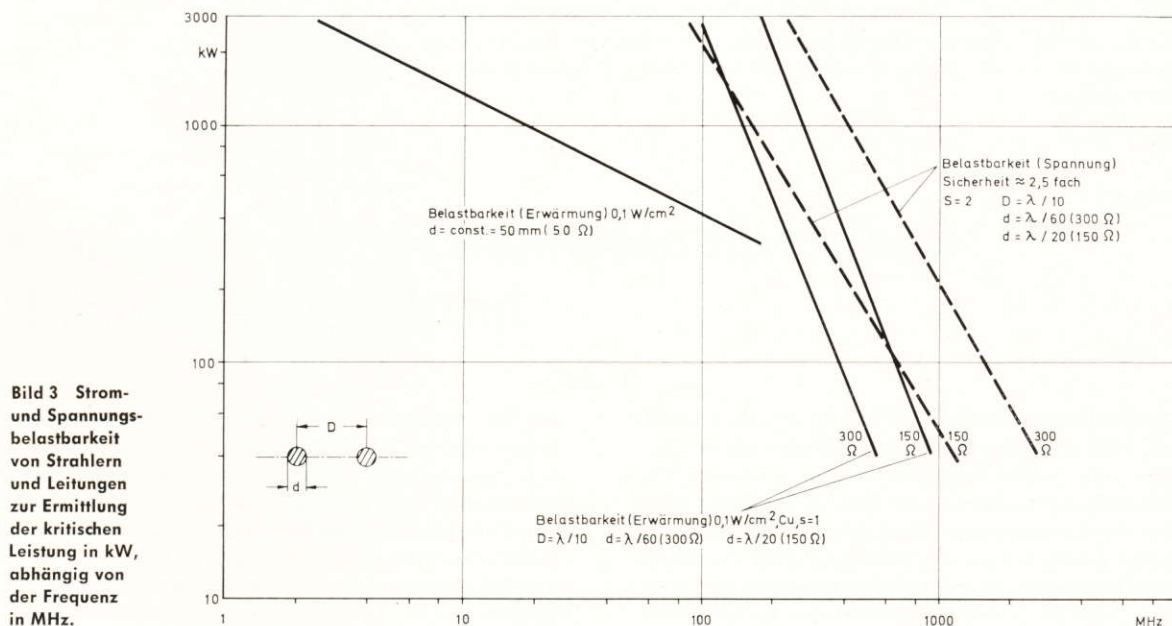




Bild 4 Speiseleitung für den unteren Fächer einer logarithmisch-periodischen Dipolantenne für 5 bis 30 MHz mit einigen Hundert kW Nennleistung.  
Foto 17 406

der Wahl der Dipoldurchmesser vom Ähnlichkeitsgesetz abgewichen werden darf, ohne das Funktionieren der Antenne zu beeinträchtigen.

Wählt man für alle Strahler den gleichen Durchmesser, so ist auch hier der längste elektrisch noch überdimensioniert, wie die Kurve in Bild 3 links zeigt. Die Beibehaltung eines konstanten Durchmessers für alle Dipole innerhalb einer Antenne, deren Frequenzbereich etwa 1:10 betragen soll, macht sich jedoch bereits im Wellenverlauf nachteilig bemerkbar. Die Verwendung eines konstanten Strahlerdurchmessers von 50 mm bei 1000 kW ergibt immer noch eine Spannungssicherheit von rund 10 dB.

Bei den logarithmisch-periodischen V-Antennen in freitragender Ausführung staffelt man aus Gründen der mechanischen Festigkeit ohnehin die Durchmesser in einer Art, die dem Ähnlichkeitsgesetz weitgehend entspricht.

### Ausführungsbeispiel

Abschließend sei eine nach vorstehenden Überlegungen von Rohde & Schwarz hergestellte logarithmisch-periodische Kurzwellenantenne für einige Hundert kW Leistung vorgestellt. Die beiden Antennenfächer der V-Antenne werden über eine Parallelleitung mit Stützisolatoren gespeist (Bild 4 und Titelfoto).

F. Scheuerecker