

Der Wirkungsgrad von Antennen

Viel HF abstrahlen

Arno Weidemann, DL9AH

Jede Antenne hat gewisse Anforderungen zu erfüllen. Insbesondere solche für Mobilbetrieb sollen einerseits effektiv, andererseits platzsparend sein. Lesen Sie im Folgenden Betrachtungen zur optimalen Anordnung von Antennenkomponenten.

In [1] und [2] hatte der Verfasser die besondere Leistungsfähigkeit und den hohen Wirkungsgrad der Gelsenkirchener Mobilantenne (**Bild 1**) vorgestellt und erläutert. Auf der kurzen Welle,

und besonders auf den unteren Bändern, ist es in der Tat ein nicht zu unterschätzendes Problem, die vom Sender angelieferte Sendeenergie möglichst vollständig abzustrahlen.

Die über Jahrzehnte geführten Feldversuche, immer im Vergleich mit anderen Mobilantennen, führten zu dem ungewöhnlichen Ergebnis, dass es bei der Optimierung von Mobilantennen für den Kurzwelleneinsatz darauf ankommt, mehrere Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Das Pflichtenheft

- Zunächst sollte der Strahler oberhalb der Verlängerungsspule so lang und so frei wie möglich sein.
- Das führt dazu, dass die Spule so niedrig wie möglich angebracht werden muss; allerdings nicht zu niedrig, damit die metallische Umgebung nicht zu viel Streufeldverluste verursacht.
- Die verwendete Verlängerungsspule soll so wenig Eigenverluste wie möglich haben. Das bedeutet, dass die Leerlaufgüte möglichst über 1000 liegen sollte. Wegen der geringen parallelen Raumkapazität von nur ca. 25 pF bei ei-

nem nur ca. 2,7 m langen Strahler soll die Wickelkapazität möglichst klein sein.

Nach der Auffassung des Verfassers ist Theorie nichts anderes als abstrakte Praxis. Wenn, wie geschehen, die Praxis nicht immer zur Theorie passt, dann kann nicht die Praxis falsch sein, sondern nur die Theorie. In der Tat werden in der Theorie häufig Zusammenhänge nicht beachtet, die für die Praxis aber ganz wesentlich sein können.

So wird in der Literatur immer wieder behauptet, der Wirkungsgrad einer Mobilantenne läge nur bei etwa 1 %. Des Weiteren sei eine Mobilantenne eine gegen Erde erregte Antenne. Zum Dritten würde der in der Antenne fließende Strom durch sein elektromagnetisches Wechselfeld die elektromagnetischen Wellen erzeugen.

Dieser letzte Punkt hat dazu geführt, dass man glaubte, es sei daher richtig die Verlängerungsspule mechanisch möglichst

hoch zu setzen, damit der Teil mit dem höchsten Stromfluss unterhalb der Spule möglichst lang wird. Bezeichnet wurde diese irriige Auffassung als „Top-Loading-System“. Irrig deshalb, weil bei den vielen Vergleichstesten im Zusammenhang mit der Entwicklung der Gelsenkirchener Mobilantenne genau das Gegenteil herauskam.

Frage der Wirkungsgrade

Wirkungsgrade von ca. 1 % kommen immer nur dann zu Stande, wenn man eine relativ kurze Antenne nicht in Resonanz bringt. Darauf basierende mathematische Formeln in der Fachliteratur sind abzulehnen, denn jeder halbwegs vorgebildete Sendetechniker oder Funkamateurler weiß, dass nichtresonante Antennen nicht gut funktionieren. Warum das so ist, ist bereits in [2] erläutert worden.

Bei einem Wirkungsgrad von 1 % bei Mobilantennen müssten ja 99 % in

Wärme umgesetzt werden. Das ist aber selbst bei einer weniger guten Mobilantenne nicht zu beobachten. Die Anhänger dieser Betrachtungsweise argumentieren dann regelmäßig in ihrer Beweisnot mit dem Argument, die Mobilantenne sei ja ein gegen Erde erregtes System und im Erdreich würden die 99 % der zugeführten Leistung „verheizt“. Und wo bleiben die 99 %, wenn man die gleiche Mobilantenne in ein Flugzeug einbaut und sich damit von der Erde entfernt? Es erscheint daher notwendig, zunächst zu den Grundlagen zurückzukehren.

In der gesamten Technik, und eben auch hier in der Elektrotechnik, gilt der Grundsatz, dass der Wirkungsgrad einer Anlage, das Verhältnis von abgegebener Nutzleistung zur zugeführten, insgesamt aufgewandten Leistung ist.

$$\eta = P_{ab}/P_{zu} \quad (1)$$

(η (eta) = Wirkungsgrad, P_{ab} = Nutzleistung, P_{zu} = zugeführte Leistung)

Dipol im freien Raum

(1) gilt auch für Antennen. Betrachten wir zunächst einen in Resonanz befindlichen Dipol im freien Raum. Der Wirkungsgrad hängt nur noch von den Verlusten im Antennensystem ab. Bei einem gestreckten $\lambda/2$ -Dipol erbringt ein dünner z.B. Stahldraht hohe Verluste und damit einen Wirkungsgrad von bis unter 10 %, und ein dicker Kupfer- oder Silberdraht so wenig Verluste, dass Wirkungsgrade von nahezu 100 % möglich sind. Wird z.B. einer Antenne 100 W Sendeleistung zugeführt, und werden davon 95 W abgestrahlt, ist der Wirkungsgrad dieser Antenne 95 %!

Verlagern wir nun unseren Dipol in eine mittlere Höhe von ca. 2 m über Grund, so wie das bei Mobilstationen zwangsläufig der Fall ist, so sind einige Dinge zusätzlich zu sehen.

Zunächst bleibt bei dieser Antenne der Antennenwirkungsgrad 95 %. Das ist einleuchtend, denn die Antenne selbst hat sich ja nicht verändert. Der Wirkungsgrad der Antenne ist der Wirkungsgrad der Antenne selbst. Der Antennenwirkungsgrad hat nichts damit zu tun, was mit der bereits abgestrahlten Leistung geschieht. Ob die abgestrahlte Leistung vollständig in den freien Raum abgestrahlt wird, oder ob sie per Kabelsatzresonanz durch einen in der Nähe befindlichen, verrosteten Gartenzaun zu einem großen Teil absorbiert und in Wärme umgesetzt wird, berührt grundsätzlich den Wirkungsgrad der Antenne nicht!

Vergleich angestellt

Dabei ist das Mobilantennensystem durchaus vergleichbar mit einem, allerdings stark unsymmetrischen und dazu noch abgewinkelten „Dipolgebilde“. Es besteht aus dem metallischen Fahr-

zeug, der Verlängerungsspule und dem Strahler. Aufgrund der großen Oberfläche des Fahrzeuges ist die resonante Spannungsaufschaukelung hier sehr gering – aber vorhanden, während sie auf dem Strahler oberhalb der Spule wegen der geringen Länge und Oberfläche sehr hoch ist, was man in der Praxis sehr leicht kontrollieren kann.

$$U = Q/C \quad (2)$$

(U = Spannung, Q = Ladung (= Elektronenmenge), C = Kapazität)

Es handelt sich insgesamt um ein selbstständiges System, das notwendigerweise in der Nähe der Erde betrieben werden muss. Vernachlässigt man die geringen Verluste durch Übergangswiderstände, Dielektrizitätsverluste des Lackes usw., so hängt der Wirkungsgrad einer Mobilantenne im Wesentlichen von der Leerlaufgüte der Spule,

und der, von der abgestrahlten Leistung bestimmten Betriebsgüte ab. Der Verfasser hat dazu eine vereinfachte Formel entwickelt:

$$\eta = \left(1 - \frac{G_B}{G_B + G_L}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

(η = Wirkungsgrad in %, G_B = Betriebsgüte, G_L = Leerlaufgüte der „Verlängerungsspule“)

Aus dieser einfachen Formel, die sich grundsätzlich auf alle Antennenformen bezieht, geht zunächst hervor, dass sich der Wirkungsgrad immer weiter steigert, je größer die Leerlaufgüte ist.

Wird durch Verlängern des Strahlers oder durch Anbringen einer Dachkapazität, also durch das Vergrößern der Wirkfläche oberhalb der Spule bei Mobilantennen, die Betriebsgüte gesenkt, so ergeben sich gleich zwei positive Effekte. Zum einen wird für die gleiche Resonanzfrequenz die notwendige Verlängerungsindukti-

vität kleiner, was bei gleichem Spulenvolumen und Formfaktor zu einer weiteren Erhöhung der Leerlaufgüte führt. Zum anderen geht aus der Formel hervor, dass eine Verringerung der Betriebsgüte, verursacht durch eine verbesserte Abstrahlung, ebenfalls zu einer Wirkungsgradsteigerung führt.

Aspekte des Wirkungsgrades

Abschließend soll natürlich nicht verschwiegen werden, dass sich der Gesamtwirkungsgrad aus dem Wirkungsgrad der Antenne und den Absorptionen aus der Umgebung zusammensetzen. So führen bei niedrig aufgebauten Antennen oder bei Mobilantennen die durch die Umgebung bedingten Abschattungen und der direkte Energieentzug zu einer Minderung der Feldstärke, die letztendlich den Empfänger der Gegenstation erreicht.

Bei Mobilantennen (**Bild 2**) hat man aber die Umgebung nicht in der Hand, nur den Wirkungsgrad der Antenne,

und den sollte man so groß wie möglich machen. Insofern sollte man beim Bau oder beim Kauf von Mobilantennen darauf achten, dass der Strahler oberhalb (!) der Spule möglichst lang und dick ist (Bild 1), und die Spulenqualität entsprechend hoch ist.

Für den näher interessierten Leser sei noch einmal auf [1] und besonders auf [2] verwiesen.

[1] Arno Weidemann, DL9AH: „QRV mit der Gelsenkirchener Mobilantenne“, CQ DL 5/04, S. 350 ff.

[2] Arno Weidemann, DL9AH: „Die Theorie der Gelsenkirchener Mobilantenne“, CQ DL 6/04, S. 418 ff.