

Resonanzfrequenz SWR von 3,5:1 (bei niedrigen Verlustwiderständen) bis herunter zu 1,1:1 im Falle hoher Spulen und Erdungsverluste.

Das Ergebnis dieser Betrachtung für die Mobilantenne ist also, so seltsam dies im ersten Augenblick auch anmuten mag, daß eine solche Antenne um so mehr Leistung abstrahlt, je höher das Stehwellenverhältnis bei Resonanz der Antenne ist (immer gerechnet für ein und dieselbe vom Sender an die Leitung abgegebene Leistung). Jedoch wird uns das Ergebnis nicht mehr so seltsam erscheinen, sobald wir in Betracht ziehen, daß der niedrige Strahlungswiderstand von ungefähr nur einem Ohm der einzige Teil des Gesamtwiderstandes ist, der zur Strahlung beiträgt, und dieser Widerstand ist konstant, bedingt durch die Länge des Strahlers. Auf diese Weise wird, wenn man den Verlustwiderstand durch die Verwendung einer Spule hoher Güte niedrig hält, weniger Leistung in Wärme umgesetzt, wodurch mehr Leistung übrig bleibt, die abgestrahlt werden kann. Umgekehrt, wenn man Spulen mit niedriger Güte verwendet, einfach aus dem Grunde, um ein niedriges SWR zu erhalten, wird zwangsläufig weniger Leistung abgestrahlt, weil ein größerer Anteil der Leistung lediglich zum Aufheizen der Spule vergeudet wird.

Viele Amateure verwenden aus Unkenntnis Spulen von geringer Güte nur aus dem Grunde, weil sie das niedrigste SWR ergeben. Jedoch sobald man Spulen mit hoher Güte und entsprechend geringen Verlusten gebraucht, steigt der Anteil an abgestrahlter Leistung im selben Verhältnis, wie sich der Gesamtwiderstand erniedrigt, obwohl ein größeres Stehwellenverhältnis damit zwangsläufig verbunden ist. Aber der zusätzliche Verlust durch das höhere Stehwellenverhältnis ist so minimal, daß er völlig vernachlässigt werden kann, weil die Leitungsdämpfung bei kurzen Speiseleitungen, wie sie beim Mobilbetrieb überhaupt nur vorkommen, extrem niedrig ist. Denn es sei hier daran erinnert, daß die Leitungsdämpfung die alleinige Ursache für Leistungsverlust in einer Speiseleitung ist, gleichgültig wie hoch das Stehwellenverhältnis auch sein mag.

In Abb. 3 stellt die Kurve $a = 0,064$ dB die charakteristischen Verluste für eine übliche Mobilantenne dar (20 Fuß des Kabels RG-8/U auf 4,0 MHz). Die Kurve zeigt bei optimaler Anpassung 0,064 dB Dämpfung plus eines zusätzlichen Verlustes von 0,056 dB bei einem Stehwellenverhältnis von 3,5 entsprechend einem Gesamtverlust von 0,12 dB. Wenn man weiter ein Verhältnis des Strahlungswiderstandes zum Gesamtwiderstand von 1:14 ansetzt und der Sender eine Leistung von 100 Watt abgibt, wird der Unterschied an abgestrahlter Energie weniger als 0,1 Watt betragen beim Vergleich zwischen einer Anpassung der Antenne an deren Fußpunkt (also durch Fernbedienung im Kofferraum) und der Anpassung am Senderausgang.

Es ist auch von Interesse zu beachten, daß bei niedrigen Verlustwiderständen (1 Ohm zu 140 Ohm) der Strahlungswirkungsgrad 7,14% beträgt oder 11,46 dB unter der vom Sender abgegebenen Energie, jedoch bei einem Widerstandsverhältnis von 1 Ohm Strahlungswiderstand zu 44 Ohm Verlustwiderstand (bei hohen Spulenverlusten und schlechtem Erdwiderstand) der Strahlungswirkungsgrad der Antenne nur noch 2,22% oder 16,53 dB unter der vom Sender abgegebenen Leistung liegt. Auf diese Weise haben wir also einen Verlust von 5,07 dB an Wirkungsgrad, obwohl wir das Stehwellenverhältnis von 3,5:1 auf 1,1:1 erniedrigt haben!

(Dieser Wert soll im folgenden als „Minimum-SWR-Wirkwiderstand“ bezeichnet werden.) Dieser Wert ergibt sich aus der Beziehung:

$$r = \sqrt{x^2 + 1} \quad (1)$$

In dieser Gleichung sind r der Minimum-SWR-Wirkwiderstand und x der Blindwiderstand am Verbraucher, wobei beide Werte in bezug auf den Wellenwiderstand der Leitung normalisiert sind. Es kann aus der vorstehenden Gleichung (1) erkannt werden, daß, wenn x Null wird, $r = 1$ wird für ein SWR von 1:1. Aber es ist von großem Interesse zu erkennen, daß das sich ergebende SWR immer genau übereinstimmt mit der arithmetischen Summe aus Minimum-SWR-Wirkwiderstand r und dem Wert des Blindwiderstandes x . Diese letztere Beziehung wird uns helfen zu verstehen, wieso ungewünschte Verlustwiderstände, die vom eigentlichen Antennenscheinwiderstand getrennt werden können, das Stehwellenverhältnis beeinflussen. Diese nicht vorausberechenbaren Verluste verändern das SWR von einem vorausberechenbaren Wert, der sich aufgrund bekannter Daten für Antennenscheinwiderstände ergibt, in einen unvorherberechenbaren Wert, der gewöhnlich niedriger liegt ([12], Seite 82).

Wenn die Wirkwiderstandskomponente des echten Scheinwiderstandes der Belastung (z. B. Antenne) niedriger ist als der „Minimum-SWR-Wirkwiderstand“, wie er sich für eine beliebige Blindkomponente des echten Scheinwiderstandes der Belastung ergibt, wird ein zusätzlicher Wirkwiderstand (z.B. Verluste im Erdschleif, der zu der Belastung hinzukommt, das SWR kleiner werden lassen als der Wert, der sich mit der Belastung allein ergibt. Diese Feststellung gilt solange, bis der gesamte Wirkwiderstand (z.B. bestehend aus den unvermeidlichen Ohmschen Verlusten der Antenne und den vermeidbaren Verlusten des Erdwiderstandes) gleich dem „Minimum-SWR-Wirkwiderstand“ wird. Wird dann noch mehr Wirkwiderstand hinzugefügt, wird das SWR wieder anfangen zu steigen.

Diese Feststellung gilt insbesondere für Vertikal-Antennen von einer Viertel-Wellenlänge und kürzer. Mit dem Vorstehenden ist der Beweis erbracht, warum der „Erdwiderstand“ solcher Antennen, der den Wirkungsgrad der Antenne verschlechtert, gleichzeitig das SWR verkleinert und damit nach der landläufigen Auffassung eine Verbesserung anzeigt! Dies kommt also daher, weil der Anteil des Wirkwiderstandes einer solchen Antenne im allgemeinen kleiner als der Wellenwiderstand der üblichen Speiseleitungen (Koax-Kabel von 50-75 Ohm) ist, während der „Minimum-SWR-Wirkwiderstand“ immer gleich Z_c oder größer als Z_c ist.

Das Vorhandensein von Blindwiderstand im Antennenscheinwiderstand bringt einen weiteren Punkt von Bedeutung ans Tageslicht, um die Beziehung zwischen SWR und Antennenwirkungsgrad richtig zu verstehen. Wie schon früher festgestellt, hängt die Schnelligkeit, mit der das SWR steigt, wenn die Arbeitsfrequenz sich von der Eigenresonanzfrequenz der Antenne entfernt, von der Änderung des Antennenscheinwiderstandes im Speisepunkt der Antenne ab. Diese Änderung des Scheinwiderstandes im Speisepunkt hängt wiederum von der Güte Q der Antenne ab. Den größten Einfluß auf das Q der Antenne hat wiederum die Größe der Kapazität zwischen den beiden Dipolhälften

(obwohl die Ground-Plane-Antenne im allgemeinen als „Monopol“ bezeichnet wird, kann sie elektrisch wie ein Dipol betrachtet werden, weil die untere Hälfte des Dipols nur das Spiegelbild der oberen Hälfte ist, jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen). Diese Kapazität des Dipols wird bestimmt durch das Verhältnis der Strahlerlänge L zum Durchmesser D .

Das Verhältnis L/D [9] bei den üblichen Drahtantennen ist sehr hoch mit der Folge einer niedrigen Kapazität des Dipols und somit einer hohen Güte Q , die ihrerseits eine außerordentlich schnelle Änderung des Scheinwiderstandes der Antenne verursacht, wenn die Arbeitsfrequenz sich von der Eigenresonanz der Antenne entfernt. Das ist der Grund, warum ein Dipol aus einem einzelnen Draht eine schmalbandige Antenne darstellt. Jedoch kann man Maßnahmen treffen, um die Antenne breitbandig zu machen, indem man ihre Kapazität erhöht, dadurch das Q mindert und damit die Schnelligkeit der Änderung des SWR herabsetzt. Eine dieser Maßnahmen besteht z.B. darin, daß man das L/D -Verhältnis durch Verwendung einer Reuse, bestehend aus vielen einzelnen Drähten, herabdrückt oder daß man vom Speisungspunkt aus viele Drähte fächerförmig ausgehen läßt. SWR-Werte im Verhältnis zur Frequenz können deshalb nur dann wertvolle Hinweise geben, wenn sie unter Berücksichtigung der Bandbreite von verschiedenen Strahlern gemessen wurden. Auch muß dabei jeder zusätzliche Verlust durch (Ohmsche) Wirkwiderstände ausgeschaltet oder auf ein Minimum beschränkt werden, um keine unbekannten Variablen einzuführen. Macht man dies nämlich nicht, können diese unbekannten Variablen verschiedenartige Fehler bei den Werten des SWR für die verschiedenen Versuchsanordnungen herbeiführen. Dadurch können die verschiedenen Ergebnisse der Versuchsreihe wertlos werden. Wenn man verschiedene Dipole mit etwa gleichgroßem Q mißt, darf sich die Schnelligkeit, mit der sich das SWR im Verhältnis zur Frequenz ändert, nicht nennenswert unterscheiden, solange nicht wirkliche Schritte unternommen wurden, um eine Antenne breitbandig und damit die Güte Q niedrig zu machen! Das gilt auch für sogenannte „Inverted V“-Antennen. Sobald sich daher ein auffallender Unterschied im Stehwellenverhältnis zeigt, ohne daß echte Schritte unternommen wurden, um die Bandbreite der Antenne zu erhöhen, ist dies mit Sicherheit ein Hinweis auf eine Fehlerquelle, die gesucht werden muß! Die Ursache kann z.B. in einem ungewollten Ohmschen Verlustwiderstand liegen, der beseitigt werden muß.

Der Verfasser hat wiederholt Publikationen über das SWR von verhältnismäßig einfachen Antennen gelesen, bei denen es einfach unmöglich war, daß ein so niedriges SWR für den beschriebenen Frequenzbereich vorhanden sein konnte. Das Q der beschriebenen Antenne war einfach zu hoch und mußte deshalb zu einem höheren SWR an den Enden des Frequenzbereiches führen. Es gibt zwei mögliche Erklärungen für diesen Widerspruch. Entweder wurden die Messungen mit einem falsch anzeigenden SWR-Meter vorgenommen (viele dieser Instrumente zeigen zu geringe Werte an ([16], [17])), oder aber es bestanden, wie vorstehend für die Ground-Plane-Antenne gezeigt, unbekannte Fehler irgendwo in dem Antennensystem, weil zusätzliche, aber vermeidbare Verlustwiderstände vorhanden waren, die den Gütefaktor der Antenne herabsetzten.

Aber diese Artikel wurden veröffentlicht, weil die beschriebenen Antennen den Eindruck erweckten, daß sie ein „verbessertes Stehwellenverhältnis“ aufwiesen. Wie häufig preisen Amateure ihre neue Antenne mit der einzigen Begründung,

Erdungswiderstand, der nicht vernachlässigt werden darf, unbewußt und fehlerhafterweise als ein Teil des Strahlungswiderstandes in die Formel für Wirkungsgrad einbezogen, obwohl es sich um einen echten, Ohmschen Verlustwiderstand handelt.

Dieser Umstand wäre nicht übersehen worden, wenn eine Untersuchung darüber angestellt worden wäre, woher die 7 Ohm an zusätzlichem Widerstand kamen, wenn man von dem gemessenen Fußpunktswiderstand von 14 Ohm die 6 Ohm für Spulenwiderstand und 1 Ohm für Strahlungswiderstand abzog. Bei weiterem Studium des Cowan-Textes wird klar, daß jener Verfasser einen höheren Strahlungswiderstand aufgrund der eingeschalteten Spule angenommen und für möglich gehalten hat. Aber was auch immer der Grund gewesen sein mag, es sind dadurch unrealistisch hohe Werte für den Strahlungswiderstand (nämlich 8 Ohm) und für den Wirkungsgrad der Antenne ($8/14 = 57\%$) angegeben worden, die für eine mittelpunktgespeiste Mobilantenne einfach unmöglich sind, und dadurch sind die wahren Verhältnisse verdunkelt worden. Mit anderen Worten, ein großer Teil der Energie, die nach dem Mobil-Handbuch von Cowan als abgestrahlt behandelt wurde, ist tatsächlich als Wärme im Erdboden verbraucht worden. Nur Beirose zeigt eine richtige Behandlung der Sache, und seine Werte sind durch Messungen des Verfassers bestätigt worden.

Nun soll gezeigt werden, warum es praktisch unmöglich ist, eine so große Fehlanpassung überhaupt zu erhalten, die es erforderlich machen würde, daß man irgendwelche Anpassungseinrichtung zwischen Speiseleitung und eine richtig abgestimmte, übliche, mittelpunktgespeiste Mobilantenne legen muß, um dadurch einen ins Gewicht fallenden Teil von Leistung einzusparen. Das wiederum bedeutet, daß die vielen ferngesteuerten Abstimmeinrichtungen im Kofferraum des Autos, die angeblich zur Anpassung erforderlich sein sollen, in Wirklichkeit überflüssig sind.

Der Verlustwiderstand von Belastungsspulen liegt bei etwa 8 Ohm für die besseren im Handel befindlichen Spulen und reicht bis 31 Ohm, wie bei schlechteren Spulen gemessen wurde. Er hängt von der Güte und der Eigenresonanzfrequenz der Spule ab. Der Verlust durch den Erdungswiderstand bei den üblichen Mobilantennen für die niedrigen Kurzwellenbänder beläuft sich auf 5 Ohm für nassen Untergrund bis etwa 12 Ohm für besonders trockenen Untergrund. Als Durchschnittswert können 7 Ohm angenommen werden. Der Erdungsverlust einer solchen Mobilantenne ist geringer als bei einer Antenne von $1/4$ Wellenlänge ohne Gegengewichte, weil der Radius des Kreises, innerhalb dessen die Verschiebungsströme von der Antenne zum Erdboden zurückkehren, kleiner ist bei kurzen Antennen und deshalb der Strom nur eine kürzere Distanz durch den verlustbehafteten Erdboden zu fließen braucht. (Vgl. Teil V, Abb. 1, cq-DL 1 /76, Seite 5). Übrigens wird die Art des Stromflusses bei einer Mobilantenne ebenfalls bei Beirose beschrieben.

Aus den angegebenen Zahlen ergibt sich, daß der Fußpunktswiderstand einer kurzen Mobilantenne niemals ein Ohm ist, sondern in der Größenordnung eines absoluten Minimums von etwa 14 Ohm für Belastungsspulen mit hoher Güte bis zu 45 Ohm, wenn zu hohen Erdungsverlusten auch noch hohe Verluste in der Spule wegen deren geringer Güte hinzukommen. Wenn man diese Werte in Beziehung zu einer 50-Ohm-Speiseleitung setzt, ergeben sich für die