

Wenn man diese Werte in Beziehung zu den Abb. 3 und 4 setzt, ergibt sich, daß wesentlich längere Speiseleitungen als der Durchschnittswert von 100 Fuß (30 Meter) erforderlich sind, um durch die Dämpfung in der Speiseleitung wegen eines bestehenden SWR soviel Leistung zu verlieren, daß dieser Verlust von der Gegenstation überhaupt wahrgenommen werden kann. Mit anderen Worten, ein tatsächlicher Verlust durch zusätzliche Dämpfung auf der Speiseleitung wegen eines bestimmten Stehwellenverhältnisses wird fast niemals vorhanden sein, und deshalb kann man ruhig jede Frequenz in den Amateurbändern verwenden, auch solche mit einem höheren Stehwellenverhältnis an den Bandenden, ohne daß dadurch ein irgendwie hörbarer Verlust eintritt.

5. Bei einem Stehwellenverhältnis von rund 4:1 wird der zusätzliche Verlust durch das Stehwellenverhältnis gerade so groß wie der unvermeidliche Verlust bei idealer Anpassung und einem Stehwellenverhältnis 1:1. In diesem Falle wird also der Verlust in der Speiseleitung gerade doppelt so groß wie er bei einem Stehwellenverhältnis 1:1 wäre. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen. Der Leistungsverlust in einer Leitung von 175 Fuß Länge (ca. 55 m) des Kabels RG-8/U oder 87 Fuß (ca. 30 m) des Kabels RG-59/U wird auf 4,0 MHz bei einem Stehwellenverhältnis von 4:1 einen gerade eben noch wahrnehmbaren Unterschied in der Lautstärke mit sich bringen, verglichen mit einem Kabel, das überhaupt keine Dämpfung hätte. Das beruht darauf, daß die beiden genannten Kabellängen eine Dämpfung von 0,5 dB für diese Länge aufweisen. Auch bei einem Stehwellenverhältnis 1:1 würden also 0,5 dB Abschwächung eintreten und für das Stehwellenverhältnis 4:1 nochmal 0,5 dB, zusammen also 1 dB. Erst bei Kabeln jeweils der doppelten Länge würde der zusätzliche Dämpfungsverlust durch das Stehwellenverhältnis 4:1 gegenüber einem Stehwellenverhältnis 1:1 diejenige Abschwächung bringen, die gerade auf der Empfangsseite noch wahrnehmbar wäre.

6. Um festzustellen, ob sich das Stehwellenverhältnis auf der Leitung innerhalb der Grenzen bewegt, wie sie vorstehend empfohlen wurden, kann ein SWR-Meßgerät zwischen dem Anpassungsgerät und dem Eingang der Leitung eingeschaltet werden. Aber seien Sie sich der Tatsache bewußt, daß das SWR auf der Leitung bestehen bleibt, auch nachdem Sie das Anpassungsgerät richtig abgestimmt haben!

Abb.3 Reflexionsverlust gegen SWR und den (unvermeidlichen) Verlust in der angepaßten Leitung. Die Gesamtdämpfung einer Leitung, die mit einem bestimmten Stehwellenverhältnis arbeitet, ist auf der dB-Skala an der rechten Seite der Abbildung aufgetragen. Die Werte der links aufgetragenen Skalen werden im Text erörtert. Die "a-Kurven" geben den Verlust einer angepaßten Leitung von einer bestimmten Länge und einer bestimmten Frequenz wieder. Als Beispiel sind folgende Längen der Leitung und Typen des Kabels angegeben, die die angegebenen Dämpfungsfaktoren aufweisen. Alle Beispiele sind für eine Frequenz von 4 MHz angegeben: a = 0,03 dB für 100 Fuß einer Lecherleitungausdraht-No.12(= 2mm); a = 0,064 dB für 20 Fuß des Kabels RG-8/U; a = 0,1 dB für 100 Fuß von Amphenol Doppeladerleitung No. 214-022; a = 0,2 dB für 62,5 Fuß des Kabels RG-8/U; a = 0,32 dB für 50 Fuß des Kabels RG-59/U oder 100 Fuß des Kabels RG-8/U oder 200 Fuß des Kabels RG-17/U; a = 0,5 dB für 87 Fuß des Kabels RG-59/U oder 175 Fuß des Kabels RG-8/U; a = 0,64 dB für 100 Fuß des Kabels RG-59/U oder 200 Fuß des Kabels RG-8/U; a = 1 dB für 119 Fuß des Kabels RG-58/U oder 350 Fuß des Kabels RG-8/U oder 700 Fuß des Kabels RG-17/U.

Speiseleitungen einer Länge von $\lambda/2$ ohne Reflektionen betreiben könne und daß man die Antenne nur auf ihrer Resonanzfrequenz betreiben dürfe, um einen perfekten 50-Ohm-Eingangswiderstand ohne Blindkomponente erhalten zu können. Dadurch sind wir im Endergebnis abgeschreckt worden, die tatsächliche Wirkung des Blindwiderstandes im Antennenscheinwiderstand zu verstehen und überhaupt zu lernen, wie eine Leitung jeden Abschlußscheinwiderstand, gleichviel welcher Art, in einer bestimmten und vorausberechenbaren Weise transformiert.

Weil wir uns so haben programmieren lassen, haben die meisten von uns vergessen, daß wir den gewünschten 50-Ohm-Wirkwiderstand am Eingang der Leitung aus dem durch die Leitung transformierten Antennenscheinwiderstand mit Hilfe einer einfachen Anpassungsschaltung am Anfang der Leitung in der Station erzielen können, häufig sogar viel einfacher, als dies am Fußpunkt der Antenne möglich ist. Tatsächlich ist es so, daß in einigen Sendern der Scheinwiderstand, der vom Sender am Eingang der Leitung gesehen wird, für Stehwellenverhältnisse von 2:1 oder höher allein durch Abstimmung des Sendertankkreises für eine optimale Leistungsabgabe angepaßt werden kann. Wenn ein Sender aber nicht ausreichenden Abstimmungsumfang für die Anpassung hat, kann ein getrenntes Gerät für die Anpassung der Speiseleitung zwischen Sender und Leitungsanfang geschaltet werden, das eine viel vernünftiger Einrichtung zur Anpassung darstellt, als wenn man an der Antenne selbst herumspielt. Wir werden sehen, warum es viele Situationen geben kann, in denen diese Art der Anpassung in Betracht gezogen werden sollte, falls die Fehlanpassung des Verbrauchers Werte von 5:1 und höher erreicht, wenn man sich von der Resonanzfrequenz der Antenne entfernt [5].

Ein weiteres Mißverständnis, das zu der nutzlosen und ungerechtfertigten Überzeugung für die $\lambda/2$ -Speiseleitung führte, besteht darin, daß diese den Antennenwirkwiderstand im Sender wiederholt. Diese Frage betrifft die Wirkung des Blindwiderstandes am Leitungseingang auf die Resonanz des Sendertankkreises, wenn eine Speiseleitung mit Reflexionen unmittelbar durch ein Pi-Filter gespeist wird. Zum Verständnis betrachte man einen Tankkreis, der zuerst mit einem Wirkwiderstand belastet ist und auf Resonanz abgestimmt wird. Wenn dann die Belastung geändert wird in eine solche, die Blindwiderstand enthält, kann durch Neuabstimmung des Tankkreises der reflektierte Blindwiderstand kompensiert werden, wenn die Abstimmelemente des Tankkreises einen ausreichenden Abstimmbereich haben, um den Kreis wieder auf Resonanz bei richtiger Belastung abzustimmen. Dann ist alles in Ordnung. Die Röhren sehen dann wieder eine ordnungsgemäße Belastung mit einem Wirkwiderstand. Das Mißverständnis über diesen Punkt ist dadurch entstanden, daß einige Autoren, die offensichtlich die Wirkung von Resonanzkreisen noch nicht verstanden haben, die Behauptung aufstellen, daß durch das Nachstimmen Blindwiderstand in den Anodenkreis hineingebracht würde, der den Kreis verstimmt und dadurch eine unrichtige Belastung verursacht, die dann den Anodenstrom und die Verlustleistung der Röhre erhöhen. Aber das stimmt einfach nicht! Weitere Einzelheiten über diesen Punkt werden in einem späteren Artikel folgen.

Niedriges SWR aus falschem Grund

Wir haben einen derartigen Fall des „niedrigen SWR aus falschem Grunde“ schon insoweit besprochen, als in der Praxis (oft ganz unbewußt) die vollständig angepasste Antenne nur auf der Frequenz der Eigenresonanz ihres Strahlers betrieben wird. Ein anderer falscher Grund für ein möglichst niedriges SWR besteht darin, daß das niedrige SWR der Speiseleitung als das einzige Kriterium für die Strahlungsqualität einer Antenne über einen größeren Frequenzbereich angesehen wird. Oder mit anderen Worten, daß man durch ein niedriges SWR glaubt, in den siebten Himmel gekommen zu sein, aber bei einem hohen SWR sich der Lächerlichkeit preisgibt.

Das ist eine eindeutig fehlerhafte Anwendung des SWR, weil es Fälle gibt, in denen es gerade umgekehrt ist, daß nämlich ein hohes SWR ein Zeichen für einen guten Wirkungsgrad der Antenne in einem bestimmten Frequenzband darstellt. Die Gründe dafür werden in Kürze dargestellt. Als Folge dieser Fehlanwendung des SWR werden häufig gute Antennen als schlecht abgelehnt, weil ein relativ hohes SWR auftritt, und umgekehrt werden schlechte Antennen als „gut“ eingestuft, nur weil das SWR verhältnismäßig niedrig bleibt.

In den meisten Fällen ist die alleinige Verwendung des SWR für die Beurteilung des Wirkungsgrades einer Antenne völlig verfehlt, weil das SWR lediglich den Grad der Fehlanpassung zum Ausdruck bringt, nicht aber ein Maß für die Wirksamkeit der Antenne als Strahler ist, m.a. W. nicht den Wirkungsgrad der Antenne anzeigt!

Jedoch werden wir sofort sehen, wie eine relative Änderung des SWR auf einen niedrigeren oder höheren Wert als den Ursprungswert der für die betreffende Antenne als korrekt anzusehen war, einen Hinweis dafür geben kann, daß irgendwie in dem Gesamtsystem eine Änderung stattgefunden hat. Diese Änderung könnte möglicherweise die Strahlungseigenschaft der Antenne beeinflussen.

Die übliche Vertikal-Antenne (ground plane) mit zwei bis vier Gegengewichten (übrigens eine unzureichende Anzahl für einen guten Wirkungsgrad der Antenne als Strahler!) oder gar nur mit einer vergrabenen Wasserleitung oder einer in den Boden geschlagenen Stange als Erdung ist z.B. einer der Fälle, bei denen ein SWR, das niedriger als normal über einen bestimmten Frequenzbereich bleibt, ein klares Anzeichen für einen schlechten Strahlungswirkungsgrad der Antenne bedeutet. Umgekehrt wird eine Verbesserung des Erdungssystems durch Hinzufügen einer ausreichenden Zahl von Gegengewichten davon begleitet sein, daß eine auffällige Erhöhung des SWR innerhalb desselben Frequenzbereiches zu verzeichnen ist, obwohl durch die Verbesserung des Erdungssystems der Strahlungswirkungsgrad der Antenne auf annähernd 100% gestiegen ist! Dieser -Anstieg des SWR wird nennenswert höher sein als normalerweise erwartet.

Mit einem ausreichenden Erdungssystem ist das SWR über den gesamten Frequenzbereich berechenbar, weil ein Verbraucher mit einem Scheinwiderstand $R + jX$ ein bestimmtes SWR verursacht für eine vorgegebene Antenne und weil wir ferner ungefähr die Größe des Antennenscheinwiderstandes für jede gewünschte Frequenz kennen. ([6], [7], [8] und [9], Seite 3-1).

Jedoch bleibt generell zu berücksichtigen, daß die niedrigere Dämpfung der Kabel mit größerem Durchmesser es gestatten, entweder bei einem größeren Frequenzabstand noch zu arbeiten oder ein längeres Kabel zu verwenden, unabhängig von der Fähigkeit des Kabels, eine größere Leistung aufzunehmen.

4. Die kleinste Änderung der Leistung, die gerade eben noch als eine Änderung des Empfangspegels bei der Empfangsstation festgestellt werden kann, beträgt 1,0 dB. Um daher dasjenige SWR zu finden, bei dem die ausgestrahlte Energie sich um 1,0 dB ändert, benutzen wir zuerst die Abb. 4, um die Dämpfung für 100 Fuß der verwendeten Speiseleitung auf der Arbeitsfrequenz zu ermitteln. Alsdann ist dieser Dämpfungswert auf die Länge des tatsächlich verwendeten Kabels umzurechnen. Dann geht man zu **Abb. 3** über und sucht dort diejenige Kurve mit dem Verlustwert, der der Dämpfung der eigenen Leitung entspricht. Man verfolgt diese a-Verlust-Kurve nach links bis zu dem Punkt, wo sie die Linie für das SWR von 1,0 schneidet. Alsdann geht man auf der Kurve weiter nach rechts bis zu demjenigen Wert, der 1 dB höher liegt als der Wert, den man eben vorher auf der Ordinate für das SWR 1:1 abgelesen hat. Damit hat man dann dasjenige Stehwellenverhältnis gefunden, bei dem die Senderleistung um einen solchen Betrag abgesunken ist, daß man den Unterschied bei der Empfangsstation überhaupt gerade eben noch wahrnehmen kann.

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen. Das verwendete Kabel sei RG-59 auf der Frequenz 28 MHz. Aus **Abb. 4** ergibt sich eine Dämpfung von 2,0 dB, die tatsächlich verwendete Länge des Kabels sei jedoch nur 50 Fuß lang. Die Dämpfung für dieses Kabel ist also nur 1,0 dB. Es muß also jetzt in der Abb. 3 die Kurve $a = 1,0$ dB aufgesucht werden. Es ist dies die ganz unten liegende Kurve. Sie schneidet die Ordinate für das SWR 1:1 (ganz links) bei dem Wert 1 dB der Skala an der rechten Seite des Diagramms. Jetzt verfolgt man die Kurve $a = 1$ dB nach rechts bis zu dem Punkt, in dem die Kurve die Abszisse für 2 dB schneidet. Wenn man diesen Schnittpunkt nach unten verfolgt, findet man, daß dies einem Stehwellenverhältnis von 4,6 zu 1 entspricht. Also erst wenn ich mit dem verwendeten Kabel von 50 Fuß Länge auf 28 MHz mit einem Stehwellenverhältnis von fast 5:1 arbeite, erhalte ich einen Leistungsverlust, der auf der Empfangsseite überhaupt erst wahrnehmbar ist. Damit die Abschwächung des Signals eine halbe S-Stufe betragen würde, könnte das Stehwellenverhältnis rund 15:1 betragen!

Exakte Werte werden später noch gegeben werden. Vorläufig sollen nur als Faustregel einige Stehwellenverhältnisse genannt werden, die an den Bandenden etwa zu erwarten sind, wenn die Eigenresonanzfrequenz des Dipols in die Mitte des Bandes gelegt wird:

Frequenz	Max.-SWR-Werte
3,5 - 4,0 MHz	5 bis 6 : 1
7 - 7,3 MHz	2,5: 1
14 - 14,35 MHz	2,0: 1
21 - 21,45 MHz	2,0: 1
28 - 30,0 MHz	3,0: 1