

Eine andere Betrachtungsweise über Reflexionen auf Speiseleitungen. Niedriges SWR aus falschem Grund

Von M. Walter Maxwell, W 2 DU/W 8 KHK

Übersetzung aus QST, Dezember 1974, S. 11ff. von Walther Kawan, DL 1 UU, Cranachstr. 81, 2000 Hamburg 52

5. Teil (Schluß aus cq-DL 7/76, Seite 240)

Lassen Sie uns nun den Versuch machen, in kurzer Form die Grenzen abzuleiten, die für ein realistisches SWR im Verhältnis zur Dämpfung sich für die in der Praxis verwendeten Speiseleitungen ergibt. Hier gibt es ein paar Faustregeln, die sich als Richtlinien im Laufe der Zeit bewährt haben.

1. Wenn man einen Dipol in der Nähe seiner Eigenresonanz betreibt, können 50- oder 75-Ohm-Speiseleitungen gleich gut Verwendung finden. Je nach Höhe der Antenne über dem Erdboden, wird sich am Speisungspunkt der Antenne ein Widerstand zwischen 50 und 80 Ohm ergeben. Als Folge davon wird die Fehlanpassung bei jeder der beiden Leitungen so geringfügig sein, daß man sich um ihn nicht zu kümmern braucht. Anders werden nur diejenigen denken, die nach wie vor unter der „Niedrigst-SWR-Seuche“ leiden. Um jedoch mit einem SWR-Meßgerät richtige Werte zu bekommen, muß der Scheinwiderstand des Gerätes mit dem Wellenwiderstand der Leitung übereinstimmen, für die es Verwendung findet.

2. Ein Gerät zur Kompensation der Blindkomponente, das irgendwo auf der Leitung zwischen der fehlangepaßten Antenne und dem Sender eingeschaltet wird, kompensiert die Fehlanpassung der Antenne mit der Wirkung, daß nunmehr überall auf der Leitung die Blindkomponente verschwinden ist. Mit anderen Worten, wenn eine fehlangepaßte Belastung $Z_L = R + jX$ irgendwo auf der Leitung durch Wegstimmen der Blindkomponente angepaßt worden ist, wird die dadurch erzeugte Reflexion den Scheinwiderstand, der am Ende der Leitung auftritt, von Z_c umgewandelt in $Z = R - jX$.

3. Nun wollen wir uns den Vorteil der vergrößerten Bandbreite zu Nutze machen, den wir allein aus der Erkenntnis ziehen können, daß weder eine magische Wirkung noch ein Wunder dadurch zustande gebracht wird, wenn man das SWR auf 1:1 herunterbringt. Wenn ein im Mittelpunkt gespeister Dipol mit einem Koax-Kabel gespeist wird, wird diese Antenne gewöhnlich nur für ein Amateurband verwendet. Aber wir haben jetzt die Möglichkeit, nicht nur in einem kleinen Teil, sondern im gesamten Amateurband zu arbeiten. Dabei mag das SWR auf beachtlich hohe Werte steigen, sofern diese Werte nur innerhalb eines bestimmten Rahmens bleiben, den wir jetzt abstecken wollen.

Um das SWR innerhalb des gesamten Amateurbandes nicht zu hoch werden zu lassen, ist es zweckmäßig, die Resonanzfrequenz der Antenne etwa in die Mitte des Amateurbandes zu legen und die Länge des Dipols entsprechend zu bemessen. Im 75- bis 80-m-Band, in dem die prozentuale Abweichung von der Resonanzfrequenz an den Bandenden am größten ist, wird die Fehlanpassung etwas niedriger mit 75-Ohm-Kabel gegenüber 50-Ohm-Kabel. Von den kleineren Kabeln ist RG-59/U dem Kabel RG-58/U vorzuziehen, weil die Kombination von etwas geringerem Stehwellenverhältnis und der etwas niedrigeren Dämpfung beim Kabel RG-59/U es gestattet, entweder eine größere Frequenzabweichung von der Eigenresonanz der Antenne zu benutzen oder aber eine längere Speiseleitung bei gleichen Verlusten zu verwenden.

Von den Kabeln mit größerem Durchmesser ergeben das Kabel RG-8/U oder RG-11/U annähernd gleiche Resultate, weil die Dämpfung des Kabels RG-11/U etwas höher ist als beim Kabel RG-8/U, wodurch die Verbesserung gerade ausgeglichen wird, die durch das etwas niedrigere SWR erzielt wird. 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 festge-

stellt 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:

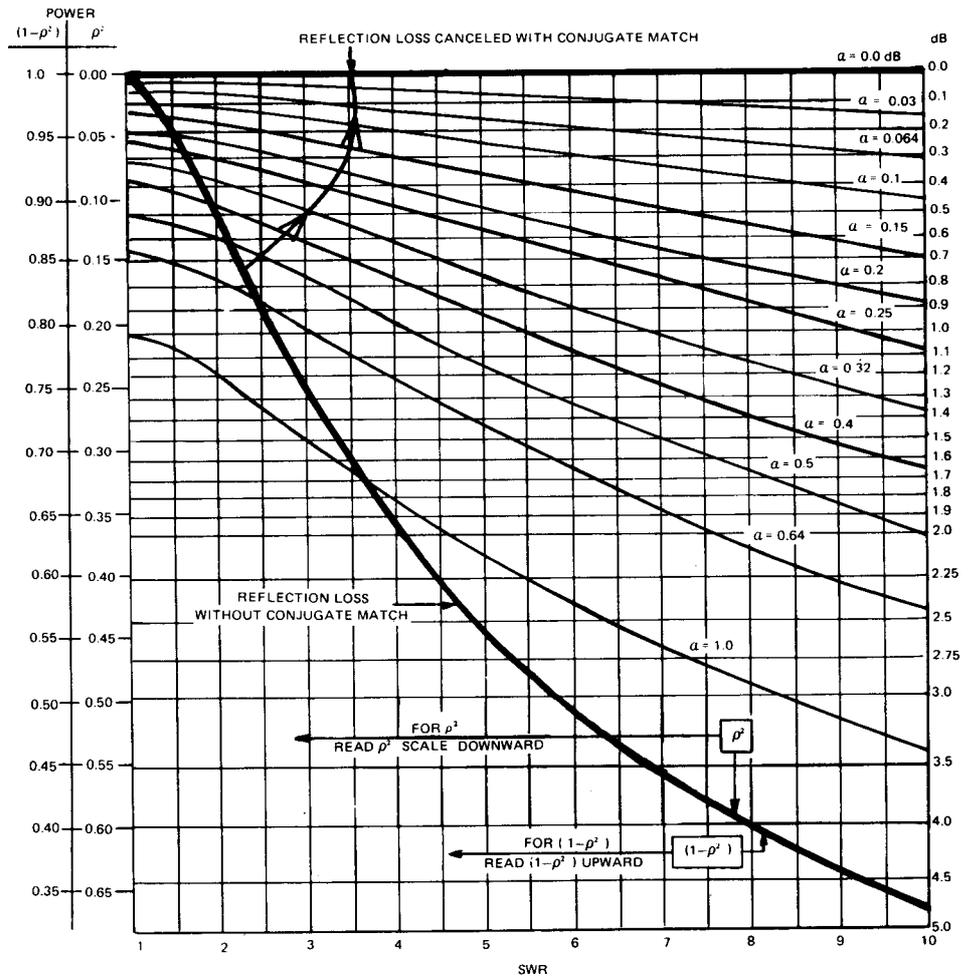
Frequenz	Max.-SWR-Werte
3,5– 4,0 MHz	5 bis 6 : 1
7 – 7,3 MHz	2,5 : 1
14 –14,35 MHz	2,0 : 1
21 –21,45 MHz	2,0 : 1
28 –30,0 MHz	3,0 : 1

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

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 aufgetreten. 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 Lecherleitung aus Draht-No. 12 (= 2 mm); $a = 0,064$ 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. Die Kurven stellen die graphische Darstellung der folgenden Ausdrücke dar:

- Vorwärtsfließende Leistung (multipliziert mit abgegebener Senderleistung)
- Leistung am Anpassungsgerät
- Leistung am Antennenfußpunkt
- Reflektierte Leistung
- Verbrauchte Leistung



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!

Die Anpassung zwischen dem Sender und dem Anpassungsgerät kann ebenfalls mit dem Stehwellenmeßgerät kontrolliert werden, indem es zwischen Sender und Anpassungsgerät eingeschaltet wird. Das Anpassungsgerät ist richtig abgestimmt, wenn die vorwärtsfließende Leistung ein Maximum und die rückwärtsfließende Leistung Null ist. Wenn die Anzeige für die vorwärtsfließende Leistung die gleiche ist, wie sie mit einer künstlichen Antenne gemessen wird, und wenn die reflektierte Leistung in beiden Fällen gleich Null ist, dann bedeutet dies, daß der Scheinwiderstand des Anpaßgerätes den gleichen Wert hat wie der Scheinwiderstand der künstlichen Antenne. Falls das SWR-Meßgerät anzeigt, daß etwas Leistung vom Anpassungsgerät zum Sender hin reflektiert wird, so ist auch das unwichtig,

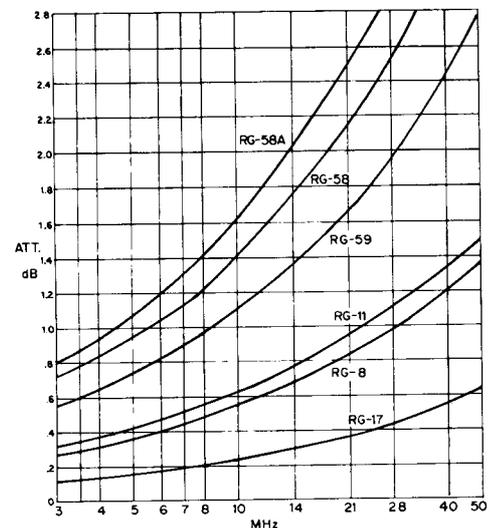


Abb. 4. Dämpfung in dB bei 100 Fuß für verschiedene Koaxkabel

solange der Sender noch bis zur vollen Leistungsaufnahme belastet werden kann. Denn diese Anzeige von reflektierter Leistung bedeutet nicht ein Stehwellenverhältnis, „sondern lediglich einen gewissen Grad von Fehlanpassung am Eingang des Anpaßgerätes.“

Falls sich mit dem Anpassungsgerät allein eine ungenügende „TVI-Unterdrückung“ zeigen sollte, muß ein gebräuchliches TVI-Filter zwischen Sender und Anpaßgerät eingeschaltet werden. Die dadurch erzielte Wirkung ist genauso groß, wie wenn das Filter zwischen Sender und Leitung eingeschaltet wäre und die Anpassung am Ende der Leitung vorgenommen würde.