

Zusammenfassend können wir daher als Ergebnis unserer Erörterung über die Bedeutung des Stehwellenverhältnisses und der Reflexionen auf Speiseleitungen festhalten, daß der Amateur kein niedriges SWR braucht. Er braucht es nicht:

- a) Um zu verhindern, daß die reflektierte Leistung im Sender als Wärme verbraucht wird, weil bei geeigneter Anpassung keine Leistung im Sender „verbraten“ wird, gleichgültig wie hoch das SWR ist.
- b) Um zu verhindern, daß die Speiseleitung selbst strahlt oder TVI macht, weil auch eine fehlangepaßte Leitung nicht strahlt oder TVI erzeugt.
- c) Um eine richtige Ankopplung des Senders zu erreichen; denn wir können die richtige Ankopplung und Anpassung am Anfang der Leitung vornehmen, gleichgültig welches SWR vorliegt.

Bei nochmaliger Betrachtung der Abbildungen 3 und 4 wird eindeutig klar, daß wir kein SWR niedriger als 2:1 nötig haben, um bei jeder beliebigen Speiseleitung einen ins Gewicht fallenden Verlust zu vermeiden. Wir brauchen selbst wesentlich höhere Stehwellenverhältnisse nicht zu fürchten, wenn wir eine Speiseleitung mit geringer Dämpfung verwenden. Es wird damit erkennbar, daß es überhaupt nur sehr wenige Gründe gibt, die beim Amateurfunk auf den Kurzwellenbändern ein niedriges SWR erforderlich machen (vgl. Teil I, S. 40 und Teil II, Feststellung 11 bis 17). (Anmerkung: Es folgt eine Untersuchung über die praktischen Grenzen des SWR, die auch von Amateuren eingehalten werden sollten. Dieser Teil wird im nächsten Heft wiedergegeben.)

Nachdem nunmehr klar gezeigt worden ist, daß die erforderliche Anpassung stets am Eingang der Speiseleitung vorgenommen werden kann, statt am Antennenfußpunkt, gibt es für den Amateur auch keine Einengung der Bandbreite mehr, in der die Antenne verwendet werden darf. Die hierfür häufig angegebene Grenze eines SWR von 2:1 ist falsch, weil eine Grenze nur durch die Dämpfung der Speiseleitung gegeben wird, die man verwendet, und den Betrag der Dämpfung, den man noch in Kauf nehmen will. Die eingebaute Grenze eines Stehwellenverhältnisses bei 2:1 ist dadurch entstanden, daß der Anpassungsbereich der meisten kommerziellen Amateursender von der Konstruktion her auf 2:1 beschränkt wurde, und zwar aus Gründen der Billigkeit in der Herstellung, nicht aber vom Standpunkt der Vielseitigkeit der Verwendung her. Aber schon mit ganz einfachen Anpassungsgeräten kann der ursprünglich vorhandene Anpassungsbereich des Senders weit über die Grenze hinaus erweitert werden, die wegen der Konstruktion durch ein SWR von 2:1 gegeben ist. Nur aus Kosten- und Raumgründen werden solche Anpassungsgeräte nicht in den Sender selbst hineingebaut, obwohl wir dadurch die Möglichkeit zur Anpassung in einem viel größeren Bereich erhalten würden, wie dies früher bei der induktiven Ankopplung mit beweglicher Antennenspule der Fall war. Wir waren uns nämlich der Tatsache des Stehwellenverhältnisses noch gar nicht bewußt geworden, bis die Pi-Filter-Ankopplung aufkam; denn damals wurde die „Kompensation der Blindkomponenten“ am Eingang der Leitung einfach dadurch hergestellt, daß man den Grad der Ankopplung etwas veränderte und den Kondensator des Sendertankkreises etwas nachstimmte, um den reflektierten Blindwiderstand zum Verschwinden zu bringen. Als wir noch diese Technik verwendeten, haben wir unsere Sender an Speiseleitungen mit einem sehr hohen

Weg des Gegengewichtes erreichen. Deshalb haben wir mit einer großen Anzahl von Gegengewichten ein fast ideales Erdungssystem, das nur einen vernachlässigbar kleinen Betrag an zusätzlichem Wirkwiderstand zu dem Antennenscheinwiderstand hinzufügt, der zwischen dem Fußpunkt des Strahlers und dem Erdungspunkt besteht ([3], [10], [11] und [12], Seite 115 bis 124). Aus diesen Betrachtungen erkennen wir, warum ein Erdungssystem nach Art der Blitzableitererdung, obgleich sehr häufig im Gebrauch, völlig unzureichend für ein Antennensystem ist, das Hochfrequenz abstrahlen soll ([12], Seite 82).

Wir wollen mit dieser Feststellung nun nicht die Behauptung aufstellen, daß man Ground-Plane-Antennen mit einem schlechten Erdungssystem überhaupt nicht gebrauchen sollte oder daß mit ihnen nicht auch brauchbare Ergebnisse erzielt werden können. Aber der Unterschied zwischen einer Antenne mit überhaupt keinem Gegengewicht oder drei bis vier Stück verglichen mit einer solchen mit hundert Gegengewichten kann mehr als 3 dB ausmachen. Das ist aber wesentlich mehr, als an Verlusten durch ein Stehwellenverhältnis von 4:1 oder 5:1 auf der üblichen Koax-Speiseleitung, wie sie die Amateure benutzen, entsteht. Durch diese Betrachtung soll vielmehr herausgestellt werden, daß bei einem Erdungssystem mit zu wenig Gegengewichten der Erdungswiderstand unbekannt und nicht vorausberechenbar ist. Dieser Umstand wiederum hat zur Folge, daß die zu erwartenden Werte des SWR nicht berechenbar und deshalb unbrauchbar für den Zweck der Beurteilung der Qualität des Antennensystems im Ganzen ist. Das wäre nur anders, wenn die Möglichkeit bestände, die Änderung des SWR zu messen, indem man den Erdwiderstand ein- und ausschalten könnte.

Für Amateurantennen genügt es in der Praxis, um den Erdungswiderstand auf einen ausreichend niedrigen Wert zu bringen, wenn man 40 bis 50 Gegengewichte für eine Ground-Plane-Antenne verwendet; denn der Gewinn durch Hinzufügen von weiteren 50 Gegengewichten bei einer Ground-Plane-Antenne ist nur noch gering und wird deshalb wahrscheinlich nicht die zusätzlichen Kosten und Mühen rechtfertigen. Wenn man aber verkürzte Vertikal-Antennen verwendet (von $1/8$ der Wellenlänge und weniger), muß man berücksichtigen, daß der Strahlungswiderstand und damit der Fußpunktswiderstand immer weiter abnimmt, je kürzer der Strahler wird. Dadurch wird der Erdungswiderstand einen immer größeren Teil des Gesamtwiderstandes ausmachen und dadurch den Wirkungsgrad der Antenne als Strahler herabsetzen. Deshalb muß in diesen Fällen der Erdungswiderstand so niedrig wie möglich gehalten werden, um die auch in einer kurzen Antenne steckenden Möglichkeiten voll auszunutzen ([11], [13], [12], Seite 18 bis 29); denn es besteht praktisch kaum ein Unterschied in der Strahlungsfähigkeit einer Ground-Plane-Antenne oder eines Vertikal-Strahlers von $\lambda/8$ oder kürzer, mit Ausnahme des steigenden Anteils der Erdverluste und des Verlustwiderstandes der Spule, die benötigt wird, um den kapazitiven Blindwiderstand am Fußpunkt der verkürzten Antenne zu kompensieren. Die Literatur darüber ist fast unübersehbar, weshalb auf folgende Nummern des Literatur-Verzeichnisses verwiesen sei: [3], [5], [14] und [15].

In diesem Kapitel soll gezeigt werden, wie jeder beliebige zusätzliche Wirkwiderstand, der sich vom echten Antennenscheinwiderstand trennen läßt, das Stehwellenverhältnis beeinflusst. Unter abtrennbar seien hier solche Verluste betrachtet wie Erdungsverlust, oxydierte Kontakte oder ähnliche schlechte Verbindungen, kalte Lötstellen usw. Alle diese Dinge tragen zum Verlustwiderstand bei. Aber wir können sie kontrollieren und verringern. Im Gegensatz dazu geht die Wirkwiderstandskomponente des Antennenfußpunkt-widerstandes, die beides enthält, nämlich den Strahlungswiderstand und die im Strahler selbst entstehenden Widerstandsverluste. In den meisten Fällen ist der Widerstandsverlust des Strahlers selbst vernachlässigbar, es sei denn bei sehr geringen Drahtstärken.

Es gibt einige sehr nützliche Beziehungen zwischen dem Scheinwiderstand des Verbrauchers $Z = R + jX$, dem Scheinwiderstand der Speiseleitung Z_c und dem Stehwellenverhältnis SWR; z.B. ist es allgemein bekannt, daß dann, wenn der Scheinwiderstand des Verbrauchers ein reiner Wirkwiderstand R ist und die gleiche Größe wie der Scheinwiderstand der Leitung besitzt, der Reflektionsfaktor gleich Null ist, und das Stehwellenverhältnis deshalb 1:1 wird. Aber die Reflexion bleibt nicht Null, und das SWR wird gleich dem Verhältnis von R/Z_c , sobald der Verbraucherwiderstand größer als Z_c , oder das Verhältnis wird Z_c/R , sobald der Verbraucherwiderstand kleiner als Z_c wird. Es ist außerdem allgemein bekannt, daß p und das SWR ansteigen, wenn zu dem Verbraucher-Scheinwiderstand eine Blindkomponente hinzutritt, wodurch der Gesamtscheinwiderstand ansteigt, gleichgültig wie groß der Wirkwiderstand ist. Wie schon früher festgestellt, bedingt jede Kombination von $R + jX$ einen ganz bestimmten Wert des SWR, wenn eine Speiseleitung mit vorgegebenem Widerstand Z_c damit abgeschlossen wird. Wir wissen weiter, daß die Blindkomponente X im Scheinwiderstand des Antennenspeisepunktes um so mehr zu einem Ansteigen des SWR führt, je weiter die Frequenz von der Eigenresonanzfrequenz der Antenne abweicht.

Diese Änderung des Stehwellenverhältnisses durch die Blindkomponente ist größer als die Änderung durch eine Änderung des Wirkwiderstandes am Endpunkt der Speiseleitung. Dies beruht darauf, daß der Blindwiderstand sich wesentlich schneller mit der Frequenz ändert als der Wirkwiderstand ([9], Seite 3-1). Es besteht aber eine weitere, im allgemeinen kaum bekannte Beziehung zwischen dem Wirkwiderstand und der Blindkomponente des Scheinwiderstandes eines Verbrauchers. Diese Beziehung beleuchtet nicht nur, wie diese beiden Komponenten die Reflexion bei Fehlanpassung und das Stehwellenverhältnis beeinflussen, sondern sie erklärt gleichzeitig, warum der unbekannte Erdungswiderstand und die anderen oben erwähnten Verlustwiderständen Nutzen einschränken, den wir aus den Werten des Stehwellenverhältnisses ziehen können. Sobald Blindwiderstand im Gesamtwiderstand des Verbrauchers enthalten ist, wird das niedrigste Stehwellenverhältnis erreicht, wenn der Wirkwiderstand R größer als Z_c ist. Der Wert des Wirkwiderstandes, der das geringste SWR zur Anzeige bringt bei der Kombination mit einem bestimmten Blindwiderstand des Verbrauchers, ist alleine abhängig von dem vorhandenen Blindwiderstand.

Also im Gegensatz zu den Feststellungen in zahlreichen Aufsätzen, die uns das Gegenteil einreden wollen, läßt sich beim besten Willen keine ins Gewicht fallende Verbesserung auf den Kurzwellenbändern erzielen, indem man die Anpassung zwischen der Speiseleitung und der Mobilantenne verbessert, wenn schon eine verlustarme Verlängerungsspule verwendet wird. Die Anpassung kann nämlich genauso gut am Eingang der Speiseleitung hergestellt werden, entweder durch den Sendertankkreis selbst, oder durch ein Abstimmgerät, wenn der Sendertankkreis keinen genügenden Abstimmbereich aufweist. Wie schon in der Einleitung von Teil V betont, ist daher auch jetzt wieder die wichtigste Feststellung, daß wir eine weitgefächerte Skala für die Konstruktion unserer Antennen haben.

Ob man aber die Anpassung, die zur Übertragung der Leistung vom Sender in die Leitung erforderlich ist, am Anfang oder am Ende der Leitung vornimmt, ist dem Geschmack des einzelnen OM überlassen. Er sollte sich danach richten, was für ihn bequemer herzustellen und zu bedienen ist, und nicht auf ein eingebildetes, möglichst niedriges SWR Rücksicht nehmen, das uns ein König aufzwingen will, der von dieser Sache selbst nichts versteht. Aber an welcher Stelle auch immer man die Anpassung vornimmt, es wird diejenige Antenne das kräftigste Signal abstrahlen, deren Verlängerungsspule das höchste SWR auf der Eigenresonanz der Antenne ergibt, wenn am Fußpunkt der Antenne keine Anpassung vorgesehen ist.

Zum Schluß noch eine Überlegung, die beim Abstimmen von Mobilantennen bedeutsam ist. Die Verwendung des Griddipper zur Feststellung der Resonanzfrequenz der Antenne einschließlich Verlängerungsspule kann nennenswerte Fehler mit sich bringen, wenn man die Speiseleitung abklemmt, um die Messung vorzunehmen, oder wenn man am Eingang der Leitung mißt. Ein SWR-Meßgerät, das direkt am Eingang der Leitung eingeschaltet wird, kann eine genaue Anzeige der Resonanzfrequenz ergeben, sofern ein zuverlässiges und einwandfrei für den Wellenwiderstand der Leitung geeichtes Instrument verwendet wird, weil das niedrigste SWR für einen bestimmten Wert der Belastung am Ende der Leitung dann eintritt, wenn die Antenne in Resonanz ist, gleichgültig, wie lang die Leitung selbst ist (vgl. Teil II, Feststellung 24 und in Teil V das Kapitel über den „Minimum-SWR-Widerstand“).

Niedriges SWR aus dem richtigen Grunde

Zum Abschluß unserer Betrachtung über „niedriges SWR aus falschem Grund“ dürfte es von Interesse sein, daß beim Fernsehrundfunk auf UKW, wo lange Speiseleitungen erforderlich sind, um die Antenne auf einem hohen Sendeturm zu erreichen, ein niedriges SWR ein absolutes „Muß“ darstellt. Aber der Grund liegt auf einem ganz anderen Gebiet. Es dient hier zur Vermeidung von Geisterbildern, die durch Reflexionen auf der Speiseleitung des Senders entstehen würden. Aus einem ähnlichen Grund ist ein niedriges SWR bei FM-Stereo-Sendungen unbedingt notwendig, um ein Übersprechen zwischen den einzelnen Niederfrequenz-Kanälen zu vermeiden. Aber beim Amateurfunk haben wir dieses Problem nicht und brauchen darauf keine Rücksicht zu nehmen.