

Die Stehwellen-Saga

ein modernes Märchen (Folge 377)

von einem, der's genau wissen wollte.

Stewellenverhältnis, Reflexion, Wellenwiderstand, diese Begriffe und noch einige mehr, sind Bestandteil unseres alltäglichen Amateurfunk-Daseins. Begriffe, die allerdings nicht jeder begreift, stehen sie doch mehr oder weniger als Synonym für irgendwelche Vorgänge auf elektrischen Leitungen. Über Stehwellen-Messgeräte wurde schon viel geschrieben, aber eigenartigerweise findet man gerade in unseren Afu-Märchenbüchern entweder gar nichts (ausser vielleicht den üblichen nichtssagenden Floskeln) oder es wird nur kurz auf deren Existenz hingewiesen und mit Bauanleitungen abgerundet. Wahrscheinlich erschienen deshalb so viele Artikel in den div. Zeitschriften, wobei aber ein Verdacht nicht von der Hand zu weisen ist, dass hier einer vom andern abschreibt, ohne sich mit dem Inhalt auseinander gesetzt zu haben.

Was Stehwellen sind, dürfte inzwischen hinreichend bekannt sein. Die Beschreibung wiederholt sich deswegen auch in allen Veröffentlichungen. Aber wie können diese bzw. das sogenannte Stehwellen-Verhältnis (SWV, SWR) gemessen werden? Was hat es mit den geheimnisvollen Koppelschleifen auf sich, die in der Lage sein sollen, vor- und rücklaufende Leistung zu trennen und deren Wert auszugeben? Fragen, auf die man scheinbar keine Antwort findet.

1. wie können '**Reflexionen**' in einer Leitung entstehen, wenn sie mit einem rein ohmschen Widerstand abgeschlossen ist, wenn er vom Wellenwiderstand abweicht und
2. wie ist es möglich, '**stehende Wellen**' an nur einem Punkt auf der Leitung nachzuweisen, bzw. deren Amplitude zu messen.

Nach meinem technischen Verständnis gibt es nur zwei von einander abhängige Größen, die wir messen können: **Spannung** und **Strom**. Beide sind eindeutig durch ihre **Amplitude**, **Frequenz** und **Phase** bestimmt. Man kann es drehen und wenden, wie man will, aber an einem Leiter liegt nun mal nur eine Spannung an und es fließt nur ein Strom, und zwar die Summe aller Teilströme, die hinein bzw. heraus fließen. Doch wie will man diese im Leiter getrennt erfassen. Selbst bei unterschiedlich eingefärbten Strömen kenne ich keine Methode, um z.B. den 'gelben' Anteil getrennt zu erfassen. Spass beiseite, ab und zu glaubt man, der Lösung nahe gekommen zu sein, wenn man zwischen den Zeilen lesen kann und die Gedankengänge der Verfassers ahnt. Diese Vorgänge sind allerdings sehr komplex, aber auch wiederum so trivial, dass deren Beschreibung nicht

gerade einfach wird.

Nach diesen emotionellen Ergüssen wollen wir uns jetzt auf den Boden der Tatsachen begeben und das Phänomen SWR etwas näher betrachten. Beim Energietransport auf Leitung können besagte 'stehende Wellen' entstehen, die sich zwar mathematisch genau beschreiben lassen, aber nur wenigen von uns ist es dann vorbehalten, diese Vorgänge auch zu begreifen. Damit auch wir einen gewissen Einblick in den Ablauf des Energietransportes bekommen, wollen wir uns erst einmal mit dem Ladungsträgertransport in einer elektrischen Leitung ein bisschen ausführlicher beschäftigen, denn hier liegt der Schlüssel zum Verständnis der erwähnten Effekte.

Auf die Lösung von Vierpl- bzw. Differentialgleichungen wird hier (wie in den üblichen Veröffentlichungen) nicht eingegangen, dies würde den Rahmen dieses Vortrages sprengen. Allerdings kann man, wenn auch vereinfacht, die Vorgänge auf einer Leitung auch graphisch darstellen.

Zusätzliche hellblau eingerahmte Kästen liefern an den betreffenden Stellen zusätzliche Hintergrundinformationen. Sie dienen an sich nur als Hinweis oder sollen eventuell vorhandenes Wissen wieder auffrischen. Sie sind für die Beschreibung sehr sinnvoll aber an sich nicht unbedingt notwendig.

1. Die Leitung

Aufgabe einer Leitung ist, Information oder Energie (in Form von Strom) vom Erzeuger (Generator, Sender) zum Verbraucher (Motor, Antenne) zu transportieren (leiten). Die Menge der zu transportierenden Energie hängt einerseits davon ab, wieviel der Generator liefern kann, andererseits wird nur die Energie transportiert werden, wie der Verbraucher letztlich aufnehmen kann. Die elektrische Leitung lässt sich so mit einer Wasserleitung oder einer Autobahn vergleichen. Mehr als der Wasserhahn liefern kann, wird nie fließen und es werden nie mehr Autos fahren, als die Auffahrt zulässt. Ist allerdings die Düse am Ende des Schlauches zu klein oder befindet sich auf der Autobahn eine Geschwindigkeitsbeschränkung, dann kommt es zum STAU. Es entsteht ein Rückstau, der sich je nach Höhe und Länge der Begrenzung in die Gegenrichtung ausbreitet, bis sich diese Wellenform auf ein stabiles Muster einstellt, der sogenannte Ziehharmonika-Effekt. In einem Kanal wird die abgebremste Wassermenge auch einen Rückstau erzeugen, der wiederum eine Wellenfront in Gegenrichtung erzeugt, die sich den ankommenden Wellen überlagert.

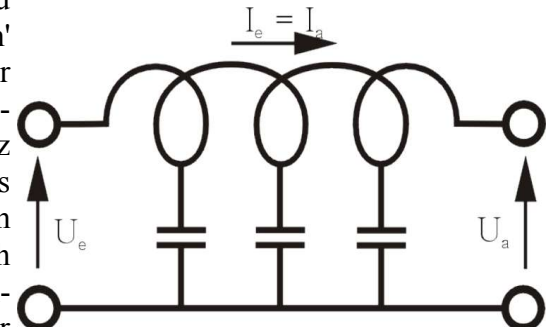
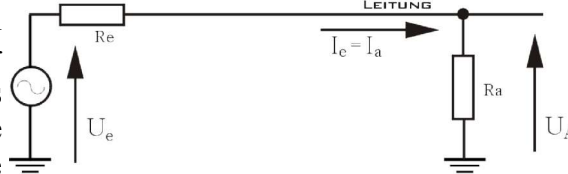
Ähnlich können wir uns diesen Vorgang auch auf einer elektrischen Leitung vorstellen, wenn die vom Generator erzeugte

Energie in Form des durchfließenden Stromes, aus welchen Gründen auch immer, vom Verbraucher R_a nicht oder nur teilweise aufgenommen werden kann. Solange der Generator-Innenwiderstand R_e , der Last-

widerstand R_a und die Leitung nur aus realen Widerständen bestehen, wird grundsätzlich kein Rückstau und somit keine Reflexion entstehen. Erst wenn Blindkomponenten mit ihren Speichereigenschaften ins Spiel kommen, kann es zu diesem 'Phänomen' kommen. Ein komplexer Widerstand, auch Scheinwiderstand bzw. Impedanz genannt, besteht aus einem realen und einem imaginären Teil, wodurch sich zwischen dem durchfließenden Strom und der anliegenden Spannung eine Phasenverschiebung einstellt.

Beim induktiven Scheinwiderstand eilt der Strom nach ($\cos \varphi < 90^\circ$), beim kapazitiven eilt er voraus ($\cos \varphi > 90^\circ$). In der Regel haben wir es immer mit Scheinwiderständen zu tun, also mit Widerständen, die aus einer Kombination von realem Widerstand und einer Induktivität und/oder Kapazität besteht. In der Starkstromtechnik sind es

fast ausschliesslich Verbraucher wie Motoren, Drosseln (Leuchtstoffröhren) usw., die einen Blindstrom erzeugen, im Hochfrequenzbereich ist es u.a. die Antenne. Leitungsinduktivität und -kapazität, die im Ersatzschaltbild einer Leitung gezeigt werden, spielen bei 50Hz ($\lambda = 6000\text{m}$) unter normalen Bedingungen noch eine untergeordnete Rolle. Bei sehr hohen Spannungen bzw. Strömen machen sich Erscheinungen wie Korona- und Skineneffekt bemerkbar. Mit zunehmender Frequenz spielen sie aber bereits im Kurzwellenbereich bei geringen Leistungen eine wesentliche Rolle.



Eine beliebig lange Leitung lässt sich als eine Aneinanderreihung vieler kleine Leitungsstücke darstellen. Jede Einheit besteht aus einem Serienwiderstand, einer Serieninduktivität und einer Parallelkapazität. Der Widerstand der Leitung hat nur einen unwesentlichen Einfluss auf den Stromverlauf, da er nur die realen (ohm'schen) Leitungsverluste darstellt. Er wird deshalb nur dort berücksichtigt, wo sein Einfluss relevant ist.