Anpassungs-Kennwerte unter der Lupe

Einfluss der Anpassung auf die Basisstationsabdeckung

Mit aktuellem Bezug auf Basisstationen von Mobilfunk-Netzwerken versucht dieser Artikel, den Einfluss der Anpassung innerhalb der Antennenanlage auf die Reichweite deutlich zu machen.

Beim Aufbau von zellularer Infrastruktur strebt man – wie in der Funktechnik üblich – die Maximierung der HF-Leistung auf die Antenne an. Als Voraussetzung dafür wird Anpassung innerhalb des Antennensystems angesehen. Anpassung meint in der Regel Leistungsanpassung; diese lässt sich durch ineinander umrechenbare Kennwerte wie Rückflussdämpfung (Return Loss) oder Stehwellenverhältnis (SWR) ausdrücken. (Anmerkung: Das V für Voltage bei VSWR ist verzichtbar, da dies auch für den Strom gilt, ebenso ist das :1 verzichtbar.)

Anpassung und Wirkungsgrad – Bekanntes und weniger Bekanntes

Betreibt man eine Signalquelle (Sender) leistungsangepasst, muss man einen Wirkungsgrad von 50% in Kauf nehmen. Das Ersatzschaltbild einer Quelle besteht aus einer theoretischen Urspannungsquelle (Innenwiderstand null) und dazu in Reihe dem Innenwiderstand der eigentlichen praktischen Quelle. Bei Leistungsanpassung teilt sich die Leistung der Urspannungsquelle 1:1 auf Innenwiderstand und Lastwiderstand auf.

Es wird manchmal übersehen, dass der schlechte Wirkungsgrad vermeidbar ist, ohne sich weitere Nachteile einzuhandeln. Dazu muss man einen Sender mit möglichst geringem Innenwiderstand bauen oder auch extern herabtransformieren. Man rückt dann von der Leistungsanpassung in Richtung Spannungsanpassung ab. Man kann jetzt zwar nicht die maximal mögliche Leistung aus dem Sender schöpfen, wird aber mit besserer Effizienz belohnt.

Ein theoretischer Wirkungsgrad wird praktisch durch verschiedene Einflüsse vermindert. Fasst man den Begriff „Wirkungsgrad“ recht weit und definiert ihn auf Basis von abgestrahlter und in der Senderendstufe in Wärme umgesetzter HF-Leistung, so sind hier in erster Linie die Kabeldämpfung, die Dämpfung von Steckverbindern und der Antennenwirkungsgrad zu nennen.

Oft wird angenommen, dass Reflexionen infolge von Fehlanpassung auf dem Antennensystem den Wirkungsgrad drücken. Dies muss aber nicht so sein. Bei Reflexionen kann es ebenso zu einer Verbesserung des Wirkungsgrads kommen. Entscheidend ist hier die Phasendifferenz zwischen hinlaufender und rückreflektierter Welle am Senderausgang. Ist diese bei der Spannung gleich, geht alle rückreflektierte Leistung in die Urspannungsquelle, entlastet diese also (Wirkungsgrad-Verbesserung). Sind jedoch die Spannungen in der invers zueiander (180° Versatz), geht alle rückreflektierte Leistung in den Sender-Innenwiderstand und drückt damit den Wirkungsgrad, näher erklärt in [1]. Da die Phasenverhältnisse am Senderausgang von Antennenimpedanz wie auch elektrischer Leitungslänge und somit Signalfrequenz abhängen, nimmt man – auch wenn man zu den Fachleuten gehört, die das Problem kennen – die Dinge in der Regel so wie sie kommen. 0° und 180° Versatz sind ja Extremfälle, in der Praxis werden sich höchstwahrscheinlich weniger extreme Verhältnisse einstellen.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Systemen mit leistungsangepasstem und nicht leistungsangepasstem Sender besteht übrigens darin, dass im ersten Fall alle reflektierte Leistung im Sender „verschwindet“, während es im zweiten Fall zur Rückreflexion eines Teils der reflektierten Leistung am Senderausgang kommt. In diesem Fall ist also reflektierte Leistung nicht vollständig „verlorene“ Leistung. Da die reflektierte Leistung bei guter Praxis jedoch recht gering ist, hat dies lediglich theoretische Bedeutung.

SWR, Return Loss & Reflexionskoeffizient

Das SWR lässt nicht direkt auf die reflektierte Leistung schließen. Ein SWR von 2 oder 3 bedeutet lediglich 11 % oder 25 % reflektierte Leistung. Das SWR ist das Verhältnis des größeren zum kleineren Widerstand. Etwa bei einer „Stoßstelle“ 75 Ohm auf 50 Ohm beträgt es also 1,5.

Da jedoch die Rückflussdämpfung (Return Loss) in dB angegeben wird, informiert auch sie nicht direkt über die reflektierte Leistung. Diese ist um den der dB-Angabe entsprechenden Faktor geringer als die ankommende Leistung. Ein gängiges Mindestmaß im gesamten Arbeitsfrequenzbereich ist 18 dB. Das bedeutet 1/64 reflektierte Leistung. Stellt sich die Frage, ob weniger als 2 % reflektierte Leistung irgendeinen praktisch relevanten Einfluss auf die Performance haben. Man sollte sich also vor „Return-Loss-Fetischismus“ hüten! Mit 12 dB entsprechend rund 6 % lässt es

sich möglicherweise auch noch ganz gut leben.

Zu möglichen Irritationen beim Return Loss trägt beispielsweise auch [2] bei, indem unnötigerweise ein „Power Lost due to reflection (dB)“ errechnet wird. Dieser folgt natürlich nicht der bei dem praktisch interessierenden „% Power Lost“ geltenden Regel „3 dB = doppelte bzw. halbe Leistung“, und man könnte sich sparen, ausführlich darauf hinzuweisen.

Kritisch zu erwähnen wären hier auch noch Anpasstransformatoren für 50- auf 75-Ohm-Systeme. Es errechnet sich, um einen dritten Anpassungsparameter ins Spiel zu bringen, ein Reflexionskoeffizient (bescheidener: Reflexionsfaktor) von

r = (75 Ohm - 50 Ohm)/(75 Ohm + 50 Ohm) = 0,2.

Das ist nicht weit von 0 entfernt, und damit ist dieser Koeffizient ein guter praktischer Wegweiser. Besser noch: Quadriert man ihn, erhält man den Faktor, um den die hingeschickte Leistung größer ist als die reflektierte. $0{,}2^2$ = 0,04, also 4% reflektierte Leistung. Das entspricht auch einem SWR von 1,5 (= 75 Ohm/50 Ohm) bzw. einem Return Loss von 14 dB (s. Tabelle 1). Jedoch haben diese Transformatoren einen Wirkungsgrad um 90 %, wandeln also schon etwa 10 % der HF-Leistung unvermeidlich in Wärme...

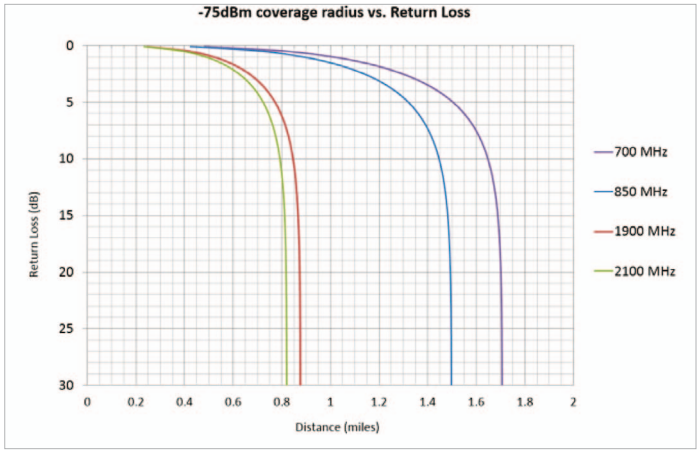

Bild 1: Anhand von Eckdaten aus dem Mobilfunkbereich wird hier anschaulich gemacht, dass ein Retun Loss über etwa 15 dB kaum mehr eine Systemverbesserung bewirkt (Quelle: [2])

Typische Mobilfunk-Situation

In [2] findet sich folgende Formel für den „Ausbreitungsverlust“:

Propagation Loss (L_P) = -27,56 + 20 $\log_{10}$(f) + n x 10 $\log_{10}$(d)

f ... Frequenz in MHz

n = 3 für Großstadtverhältnisse

d = Reichweite (Distanz in m)

Dahinter steckt im Grunde die grundlegende Formel für die Freiraumdämpfung. Warum diese frequenzabhängig ist, wird z.B. in [3] näher erläutert. Mit Kenntnis der Empfängerempfindlichkeit lässt sich so die sichere Distanz d ermitteln bei einem gegebenen ausgesendeten Signalleistungs-Level.

Angenommen werden:

- Sendeleistung (Transmitted Power, PT) = 20 W = 43 dBm
- Frequenzen = 700, 850, 1900, 2100 MHz
- Feed-System-Dämpfung (Loss) durch Absorption (LA) = 2,5 dB
- Feed-System-Verlust durch Reflektion (LR) variabel
- Antennengewinn (G) = 17 dBi
- gewünschter Leistungs-Level am Empfänger (PR) = -75 dBm

Durch Einbringen des Antennengewinns wird aus der Freiraumdämpfung allerdings die Streckendämpfung [3]. Es gilt nun:

$P_R = P_T - L_A - L_R + G - L_P$

Die beim Empfänger ankommende Leistung wird also durch LA, LR und den Propagation Loss (L_P) gemindert und um Sendeleistung (P_T) und Gewinn der Antenne (G) quasi verstärkt. Ein aktuelles Link-Budget könnte noch andere Variablen mit einbeziehen, um die Vorhersage zu verbessern. Durch Einsetzungen und nach d umgestellt, ergibt sich folgende Form:

$d = 10^{((P_T - P_R - L_A + 10 \log_{10}(1 - 10^{(-RL/10)}) + G + 27{,}56 - 20 \log_{10}(f))/(n \times 10)}$

Damit lässt sich der Zellenradius als eine Funktion von Frequenz und Return Loss darstellen.

Für die oben genannten Frequenzen als Parameter kann man auf dieser Basis einen Plot erstellen, der die Distanz in Abhängigkeit vom Return Loss für -75 dBm Signalpegel auf der Empfangsantenne angibt, siehe Bild 1. Alle vier Kurven fallen ab einem Return Loss über 15 dB fast senkrecht. Dies zeigt anschaulich, dass Bemühungen um höhere Return-Loss-Werte nicht sinnvoll sind. (Dennoch halbiert natürlich der Sprung von z.B. 15 auf 18 dB die reflektierte Leistung.)

Return Loss verbessern – to do & not to do

Eine gute Methode, die Return-Loss-Performance zu verbessern, könnte eine Distance-to-Fault-Messung (DTF) sein [2]. Etwa mit einem präzisen Abschlusswiderstand sorgt man für bestmögliche Anpassung, misst dann die Leistung und kehrt zum relaen System zurück, wo man ebenfalls die Leistung misst. Lose oder bewusst gelockerte HF-Steckverbinder sind immer zu vermeiden. Ebenso ist es ein schlechtes Vorgehen, Jumper-Kabel-Längen zu erhöhen. Falls wie oft die Antenne die bedeutendste Quelle von Reflexionen ist, so wird zwar ein hinzugefügtes Kabel mit 0,5 dB Verlust eine Verbesserung beim Return Loss von 1 herbeiführen. Jedoch ist dies trotzdem keine gute Idee, denn der Abdeckungs-Radius wird nun verkleinert. Wenn man auf diese Weise beim Return Loss von 17 auf 18 dB kommt, so wird in [2] gezeigt, ergibt sich eine signifikante Reduktion der Funk-Abdeckung. „Adding loss is never a good way to improve site performance!” ***FS***

Quellen

[1] F. Sichla: HF-Leitungen verstehen und nutzen, DARC Verlag Baunatal 2012

[2] White Paper “The Impact of Return Loss on Base Station Coverage in Mobile Networks”, 11410-00974, 2018 Anritsu Company

[3] F. Sichla: Kosmische Kommunikation, beam Verlag Marburg 2018

Return Loss in dB	SWR	Reflexionskoeffizient	reflektierte Leistung in %
4	4,42	0,63	40
5	3,57	0,56	32
6	3,01	0,5	25
7	2,61	0,45	20
8	2,32	0,4	16
9	2,1	0,35	13
10	1,92	0,32	10
11	1,78	0,28	7,9
12	1,67	0,25	6,3
13	1,58	0,22	5
14	1,5	0,2	4
15	1,43	0,18	3,2
16	1,38	0,16	2,5
17	1,33	0,14	2
18	1,29	0,13	1,6

Tabelle 1: SWR, Reflexionskoeffizient und reflektierter Leistungsanteil bei 4 bis 18 dB Return Loss, gerundet