

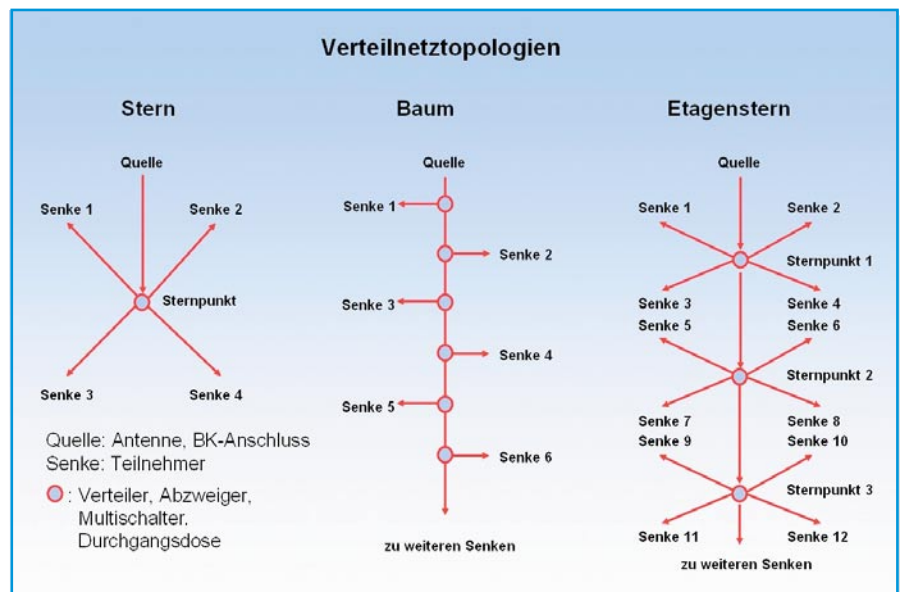


# Satellitenempfang Teil 6

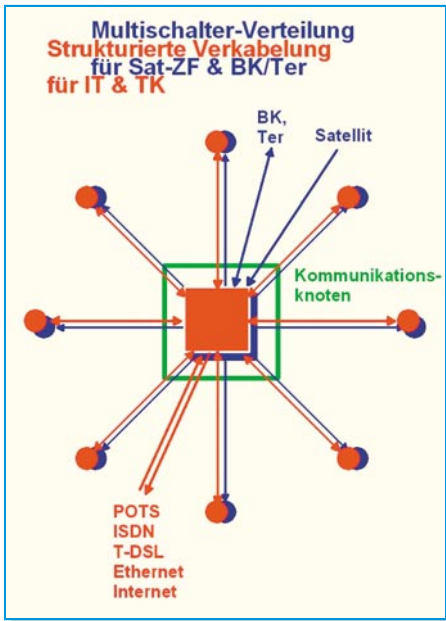
**Zwischen der Satellitenantenne und dem Receiver des Teilnehmers liegt das Verteilsystem für die 1. Sat-ZF. Je nach Anzahl der Teilnehmer kann es nur aus einem einzigen, durchgehenden Koaxial-Kabel oder einer komplexen Multischalterstruktur bestehen. Die überschlägige Berechnung der darin entstehenden Übertragungsverluste ist notwendig, um am Eingang des Sat-Receiver ein qualitativ einwandfreies Signal sicherstellen zu können.**

## Topologie der Verteilanlage

Grundsätzlich verfügt ein Signalverteilsystem über eine (oder mehrere) Einspeisung(en), die man in der Nachrichtentechnik als Quelle(n) bezeichnet und eine (oder mehrere) Ausleitung(en) zu den signalverarbeitenden Einrichtungen, die man auch als Senke(n) bezeichnet. Die Grundstruktur des Verteilnetzes (Topologie) kann einem Stern mit strahlenförmigen Ausläufern, einem Baum mit Verzweigungen oder einer Mischung aus beidem entsprechen (Abbildung 1). Aus vielfältigen Gründen gehört der sternförmigen Struktur die Zukunft. Sie ist übersichtlicher, in Verbindung mit Multischaltern breitbandiger und wird auch bei der modernen Datenvernetzung verwendet. Durch den letztgenannten Aspekt lassen sich äußerst kostengünstig deckungsgleiche Koaxial-Netze für die hochfrequenten Rundfunksignale und Twisted-Pair-Netze



**Bild 1: Die topologischen Grundformen von Verteilnetzen sind der Stern, der Baum und Mischformen aus Stern und Baum.**



**Bild 2: Verteilanlagen mit zwei deckungsgleichen Sternnetzen für die Hochfrequenz- und Datenverteilung gehört die Zukunft.**

(TP-Netz) für die Datenübertragung auf den gleichen Verlegepfaden erstellen (Abbildung 2).

Im Sternpunkt des Koaxial-Netzes befindet sich als zentrales Verteilelement der Multischalter, im Sternpunkt des TP-Netzes ein Hub oder Switch. Teilnehmerseitig an den Netzausläufern werden die jeweils erforderlichen Anschlussdosen für die Rundfunkempfangsgeräte (TV, Radio, Sat-Modems) und RJ-45-Dosen für Daten- oder andere Kommunikationszwecke (PC, Drucker, Telefon, Steuerungen etc.) installiert. Ideal sind Dosen, die beides konstruktiv vereinen (Abbildung 3). Sie sind Anschlusspunkt für eine Vielzahl von Endgeräten, mit denen sich nahezu alle modernen multimedialen Kommunikationsanforderungen erfüllen lassen (Abbildung 4).

An dieser Stelle wollen wir uns auf die Beschreibung des koaxialen Netzes beschränken.

### Wenn es gar nicht anders geht!

Als es vor vielen Jahren nur den terrestrischen Rundfunk – Radio und Fernsehen – gab, war dessen Verteilung von der Antenne zu den Antennensteckdosen über baumstrukturierte Koaxial-Netze üblich. Deren Bandbreite erstreckte sich von 47 bis 860 MHz, was die Verteilung der 1. Sat-ZF



**Bild 3: Multimediale Dose für Rundfunk und Daten**

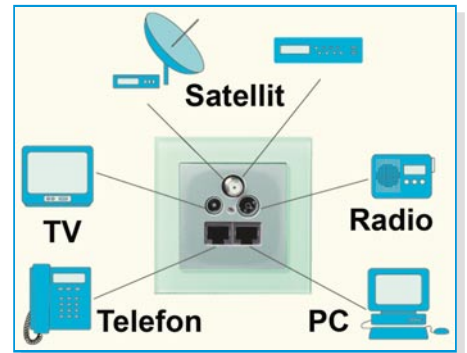
im Bereich von 950 bis 2150 MHz eigentlich ausschließt. Die Umgestaltung solcher Baumnetze zu Sternstrukturen ist häufig nur mit erheblichem Aufwand möglich: Schlitz klopfen, neue Kabel verlegen, verputzen und tapezieren – ein Horrorszenario für alle Beteiligten. So entstand in der Anfangszeit des Satellitenempfangs die Idee, auf das alte terrestrische Baum-Verteilnetz auch noch die Satellitensignale aufzusetzen. Technisch gesehen ist das ein fragwürdiger Kompromiss, gegen den die hohe Kabeldämpfung, die schlechten Abschirmungseigenschaften gegen Ein- und Abstrahlungen und das stark eingeschränkte Programmangebot sprechen. Dennoch werden solche Anlagen heute noch gebaut! Bei vielen Architekten und Elektroplanern besteht auf dem Gebiet der Wohnungsausstattung mit Kommunikationsinfrastrukturen ein erheblicher Wissens-Nachholbedarf.

Aber: So zweifelhaft Baumstrukturen auch sein mögen, man kann viel daran lernen!

### Am Anfang etwas Pegelrechnung

Der Pegel ist ein dimensionsloses logarithmisches Maß für die auf eine Bezugsgröße normierte Hochfrequenzspannung oder -leistung, die an einem Punkt der Antennenanlage gemessen wird. Dafür muss die Messstelle mit einem Widerstand abgeschlossen (belastet) sein, der gleich dem Wellenwiderstand des Antennensystems ist. Diese so genannte Systemimpedanz beträgt bei koaxialen HF-Verteilanlagen 75 Ω. Jedes Antennenmessgerät hat einen 75-Ω-Eingangswiderstand, andernfalls müsste ein Korrekturwert zum Messwert addiert oder subtrahiert werden. Der große Vorteil der Rechnung mit Pegeln liegt darin, dass die Multiplikation linearer Werte in eine Addition der logarithmierten Werte überführt wird. Außerdem werden weite lineare Wertespannen zu „handlicheren“ Pegelintervallen „gestaucht“.

Die Definition für den Pegel einer Spannung  $U_L$  ist dem grün unterlegten Teil von



**Bild 4: All das und noch manches mehr lässt sich an einer modernen Multimediadose anschließen.**

Abbildung 5 zu entnehmen. Vor allem im angelsächsischen Raum betrachtet man anstelle der Spannung  $U_L$  an einem Messpunkt oft die Leistung  $P_L$ :

$$\frac{P}{dBW} = 10 \cdot \lg \frac{P_L}{1W}$$

$$\frac{P}{dBm} = 10 \cdot \lg \frac{P_L}{1mW}$$

Die Umrechnung von Spannungs- und Leistungspegel ist einfach über die Leistungsdefinition und das ohmsche Gesetz herzuleiten:

$$P_L = U_L \cdot I_L = \frac{U_L^2}{R_L}$$

Setzt man diesen Ausdruck in die Rechenvorschrift für den Leistungspegel ein, ergibt sich:

$$\begin{aligned} \frac{P}{dBW} &= 10 \cdot \lg \left[ \frac{\left( \frac{U_L}{V} \right)^2}{\frac{R_L}{\Omega}} \right] = \\ &= 20 \cdot \lg \frac{U_L}{V} - 10 \cdot \lg \frac{R_L}{\Omega} \end{aligned}$$

Für  $R_L = 75 \Omega$  folgt:

$$\frac{P}{dBW} = \frac{P}{dBV} - 18,75$$

**Spannungspegel:**

$$\frac{P}{dB\mu V} = 20 \lg \frac{U_L}{1\mu V}$$

$$\frac{P}{dBmV} = 20 \lg \frac{U_L}{1mV}$$

$$\frac{P}{dBV} = 20 \lg \frac{U_L}{1V}$$

**Leistungspegel:**

$$\frac{P}{dBW} = \frac{P}{dBV} - 18,75 = \frac{P}{dBmV} - 78,75 = \frac{P}{dB\mu V} - 138,75$$

$$\frac{P}{dBm} = \frac{P}{dBV} + 11,25 = \frac{P}{dBmV} - 48,75 = \frac{P}{dB\mu V} - 108,75$$

**Bild 5: Definitions- und Umrechnungsgleichungen für Spannungs- und Leistungspegel**

Weiter gilt:

$$\frac{p}{dBm} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_L}{mW}\right) =$$

$$10 \cdot \lg\left(\frac{P_L}{10^{-3}W}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_L}{W}\right) + 30 =$$

$$\frac{p}{dBW} + 30$$

Typischerweise wird der Pegel in dBmW in der Praxis als Pegel in dBm bezeichnet. Die Zusammenhänge zwischen Spannungs- und Leistungspegeln am 75-Ω-Widerstand zeigt der rot unterlegte Teil von Abbildung 5. Aus den Formeln lassen sich alle denkbaren Umrechnungen vornehmen. Dies führt zu den Tabellen 1.1 und 1.2 auf Seite 60 und 61, die auch eine Spalte für die Messimpedanz von 50 Ω enthalten.

Einige Kontrollfragen:

1. Wie viel dBmV entsprechen 3 dBm? Antwort:

$$\frac{p}{dBmV} = \frac{p}{dBm} + 48,75 = 3 + 48,75 = 51,75$$

2. Wie viel dBW entsprechen 6,3 dBμV? Antwort:

$$\frac{p}{dBW} = \frac{p}{dBμV} - 138,75 =$$

$$= 6,3 - 138,75 = -132,45$$

3. Neben der Antennenbuchse eines Satellitenreceivers steht die Angabe für den zulässigen Eingangspegel „Input level: -60 ... -25 dBm“. Welchem Eingangspegel in dBμV entspricht dies? Antwort:

$$\frac{p}{dBμV} = \frac{p}{dBm} + 108,75$$

$$\frac{p}{dBm} = -60 \rightarrow \frac{p}{dBμV} = -60 + 108,75 = 48,75$$

$$\frac{p}{dBm} = -25 \rightarrow \frac{p}{dBμV} = -25 + 108,75 = 83,75$$

Der zulässige Eingangspegelbereich geht also von 48,75 dBμV bis 83,75 dBμV, was im linearen Maßstab einer Antenneneingangsspannung von 0,274 mV bis 15,4 mV entspricht. Alle Werte in den Beispielen lassen sich auch den Tabellen 1.1 und 1.2 entnehmen.

### Die Komponenten des Verteilnetzes

Jedes koaxiale Verteilnetz enthält Komponenten, die Stärke und Qualität des zu übertragenden Hochfrequenzsignals beeinflussen. Um sicherzustellen, dass an der Teilnehmerdose ein einwandfreies Signal ansteht, muss man sich über die Einflüsse auf dem Weg durch das Transportnetz im Klaren sein. Im Wesentlichen sind bei passiven Komponenten wie Koaxial-Kabeln, Verteilern, Abzweigern, Dämpfungsgliedern, Entzerrern, Antennendosen etc. deren fre-

quenzabhängige Dämpfungen durch Subtraktion vom Eingangspegel zu berücksichtigen, um den Ausgangspegel zu erhalten. Bei aktiven Komponenten wie Verstärkern und Umsetzern kommen weitere, nichtlineare Effekte (Klirren, Übersteuerung, Intermodulationen etc.) hinzu.

### Koaxial-Kabel

Das Koaxial-Kabel hat die Aufgabe, Hochfrequenzenergie von einem Punkt zum anderen zu leiten. Diese Aufgabe kann es leider nur mit Verlusten erfüllen, die von Länge und Frequenz abhängen. Das wird klar, wenn man sich den Aufbau des Kabels und sein Ersatzschaltbild näher anschaut (Abbildung 6).

Die Mitte eines Koaxial-Kabels ist ein Innenleiter – meist aus Kupfer, den man oft auch als Seele des Kabels bezeichnet. Darauf ist als konzentrischer Zylinder ein Kunststoffmaterial (Dielektrikum) aufgebracht, das den Innenleiter vom Außenleiter isoliert. Das Dielektrikum ist aus Verlustgründen in der Regel nicht massiv, sondern besteht aus stickstoffgeschäumtem Polyäthylen. Der Außenleiter – auch Abschirmung genannt – ist im einfachsten Fall ein Geflecht feiner Kupferdrähtchen, die zudem häufig versilbert sind. Für eine bessere Abschirmwirkung wird der Außenleiter mehrschichtig ausgeführt, meist in der Reihenfolge Aluminiumfolie-Kreuzgeflecht-Aluminiumfolie. Im Wesentlichen werden die elektrischen Eigenschaften des Kabels von seinen Abmessungen und der relativen Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$  beschrieben. Ein gutes Verständnis des Dämpfungsverhaltens erhält man, wenn man sich das Ersatzschaltbild eines kurzen Kabelabschnitts betrachtet (Abbildung 7).

Der kurze Kabelabschnitt ist ein Spannungssteiler aus einem Serieninduktivitätsbelag in Längsrichtung  $L'_s$  (Spule), dessen Verluste der Serienwiderstandsbelag  $R'_s$  repräsentiert, und einem Kapazitätsbelag  $C'_p$  in Querrichtung. Er rührt von den metallischen Flächen von Innen- und Außenleiter (Kondensator) her. Die Ableitungsverluste des Dielektrikums stellt  $R'_p$  dar.

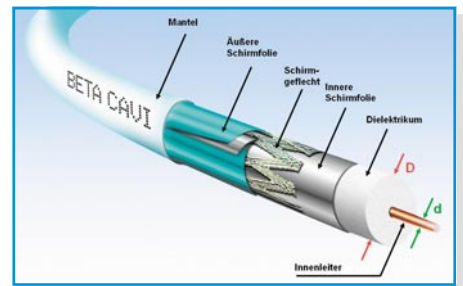


Bild 6: Das Koaxial-Kabel ist konzentrisch um einen Innenleiter aufgebaut.

Die auf das ganze Kabel bezogenen Werte ergeben sich, indem man die entsprechenden Beläge über seine Länge aufintegriert. Das Ersatzschaltbild macht die Frequenzabhängigkeit des Koaxial-Kabels klar. Während im Gleichstromfall nur der Serienwiderstand und der Ableitungswiderstand eine Rolle spielen, nehmen die Einflüsse von Serieninduktivität und Ableitungskondensator mit steigender Frequenz zu. Bei sehr hohen Frequenzen bildet die Spule eine Unterbrechung und der Kondensator einen Kurzschluss. Es ist klar, dass dann am Kabelausgang nichts mehr von der einseitig eingespeisten Energie ankommt.

Es ist interessant, sich die Formeln für die kapazitiven und induktiven Beläge, den Wellenwiderstand  $Z_w$  und die relative Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_r$  der HF-Energie gegenüber der Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c_0$  anzuschauen:

$$\frac{L'_s}{mH/km} = 0,461 \cdot \lg \frac{D}{d} \quad \text{Induktivitätsbelag}$$

$$\frac{C'_p}{\mu F/km} = 0,02415 \cdot \epsilon_r \cdot \lg \frac{D}{d} \quad \text{Kapazitätsbelag}$$

$$Z_w = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \lg \frac{D}{d} \quad \text{Wellenwiderstand}$$

$$v_r = \frac{v_{Kabel}}{c_0} = \frac{l_{Kabel}}{l_0} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{Verkürzungsfaktor}$$

Es fällt der Term  $\log(D/d)$  auf, der in allen drei genannten Gleichungen auftritt. Er ist das logarithmierte Verhältnis von

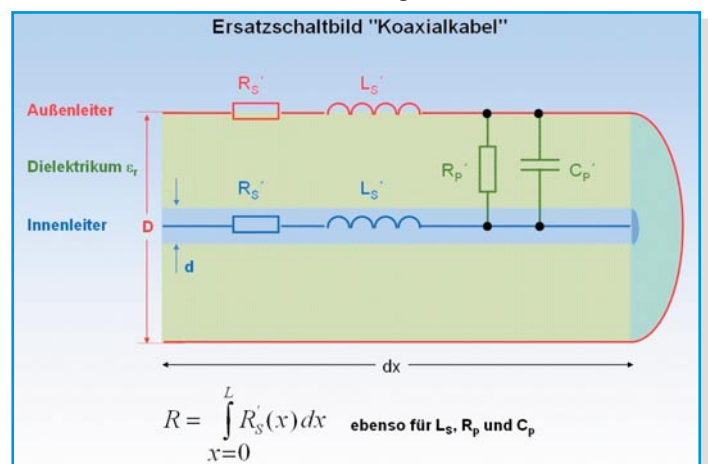
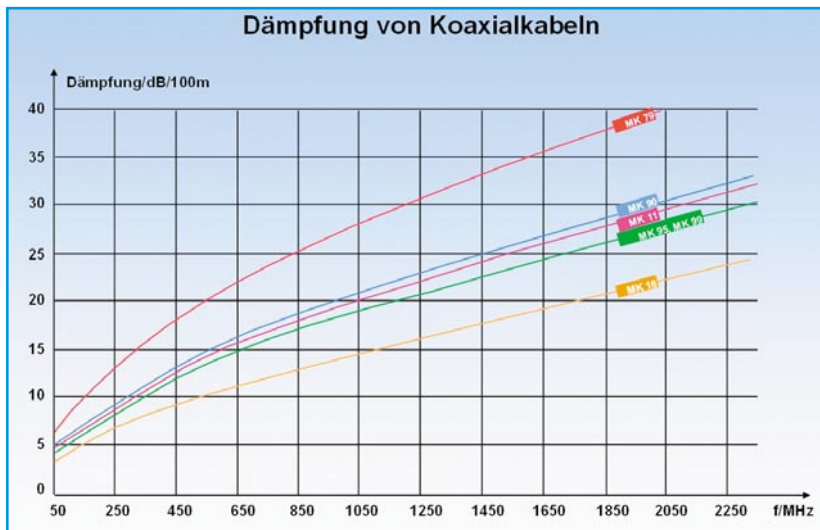


Bild 7: Das Ersatzschaltbild des Koaxial-Kabels erklärt sein Tiefpassverhalten.



**Bild 8: Dämpfungsverlauf verschiedener Kabeltypen des Herstellers WISI**

Außen- zu Innenleiterdurchmesser. Gemeinsam mit der relativen Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$  bestimmt er den Wellenwiderstand (Impedanz) des Kabels. Eine Materialkonstante des Dielektrikums und die geometrischen Dimensionen der Kabelleiter legen somit auch den Induktivitäts- und Kapazitätsbelag fest. Die Tatsache der gegenüber Vakuum langsameren Ausbreitungsgeschwindigkeit beschreibt der „Verkürzungsfaktor“  $v_r$ . Sein Name hängt mit der verkürzten Wegstrecke – verglichen mit einer Vakuumausbreitung – zusammen, welche die HF-Energie im gleichen Zeitabschnitt durch das Kabel zurücklegt. Für die Dämpfung eines Koaxial-Kabels als Funktion der Frequenz gibt es keine handhabbare geschlossene Formel. Deshalb wird sie vom Hersteller messtechnisch ermittelt und als Diagramm (Abbildung 8) oder in Tabellenform veröffentlicht. Typisch ist eine auf 100 m bezogene Dämpfung von etwa 5 dB bei 5 MHz, die auf knapp 20 dB am unteren Ende des SatZF-Bereichs (950 MHz) und etwa 30 dB an seinem oberen Ende (2150 MHz) ansteigt.

Die frequenzabhängigen Dämpfungsver-

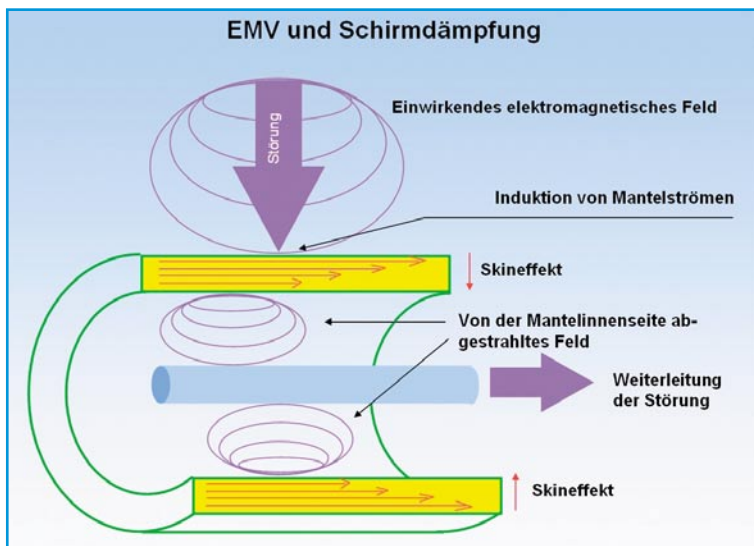
**Bild 10: Schirmungs-dämpfungen und Normen**

Schirmungsmaß			
Gerätegruppe	Frequenzbereich	Norm	Grenzwert (alt)
Passive Geräte <b>KLASSE A</b> CLASS	30 – 300 MHz	EN 50083 – 2 + /A1	85 dB (75 dB)
	300 – 470 MHz	EN 50083 – 2 + /A1	80 dB (75 dB)
	470 – 1000 MHz	EN 50083 – 2 + /A1	75 dB (65 dB)
	1000 – 3000 MHz	EN 50083 – 2 + /A1	55 dB (55 dB)
Koaxialkabel	30 – 1000 MHz	EN 50117 – 2	75 dB
	1000 – 2150 MHz	EN 50117 – 6	65 dB
Empfänger-an-schlußkabel	30 – 1000 MHz	EN 60966 – 2 – 4	75 dB
	1000 – 3000 MHz	EN 50966 – 2 – 4	55 dB

zerrungen führen am Ende der Koaxial-Leitung zu einer „Schief- oder Schräglage“ eines am Eingang „waagrecht“ Spektrums. Es ist die Aufgabe eines Entzerrers, eine übermäßige Schräglage auszugleichen. Wir werden dies später an einem Berechnungsbeispiel demonstrieren.

In den letzten Jahren hat das Schirmungsverhalten des Koaxial-Kabels an Bedeu-

tung gewonnen. Idealerweise sollte das Kabel keine Einstrahlung aufnehmen und damit auch umgekehrt keine Hochfrequenzenergie abstrahlen. Im Zeitalter der elektromagnetischen Verschmutzung – Stichwort Elektromog – ist dies von besonderer Wichtigkeit, um Fremd- und Eigenstörungen auszuschließen. In Deutschland überwacht dies die Bundesbehörde RegTP (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post). Das Schirmungsmaß (screening factor) hochwertiger Kabel liegt bei 450 MHz typisch bei 90 dB und mehr. Höhere Schirmwerte werden durch eine Mehrfachschirmung erzielt. Der Schirmungsmechanismus beruht auf dem Skin-Effekt (die hochfrequente Stromdichte ist an der Oberfläche des Leiters maximal und nimmt mit wachsender Eindringtiefe ab) und wird in Abbildung 9 qualitativ erläutert.



**Bild 9: Für eine gute elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) sind hohe Schirm-dämpfungs-werte erforderlich.**

Um eine lückenlose Schirmdämpfung der gesamten Anlage zu erzielen, müssen alle Elemente und ihre Verbindungen ein hohes Schirmmaß aufweisen. So kann z. B. ein schlecht geschirmtes Empfängeranschlusskabel die hochwertigen Schirmeigenschaften aller anderen Systemkomponenten zunichte machen. Die Schirmeigenschaften und die zugrunde liegenden Normen sind in Abbildung 10 zusammengefasst. Als Qualitätskriterium hinsichtlich Schirmdämpfung hat sich das Klasse-A-Logo durchgesetzt, das auf einer freiwilligen Selbstverpflichtung der Antennenindustrie beruht.

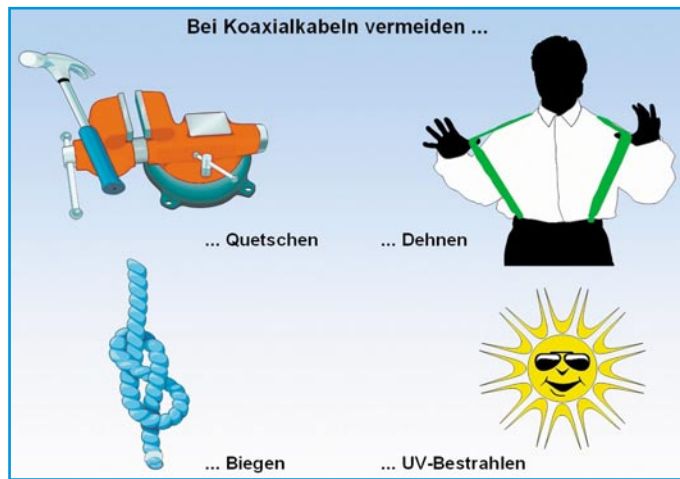
Ein weiteres Charakteristikum des Kabels ist sein Gleichstrom-Schleifenwiderstand. Er hängt von Material und Querschnitt des Außen- und Innenleiters ab und liegt in der Größenordnung von 20 bis 70  $\Omega$ /km. Er ist zu berücksichtigen, wenn das Kabel auch der Energieversorgung eines Verbrauchers dient (z. B. eines LNBS). Entsprechend seines Strombedarfs gibt es einen Spannungsabfall längs des Kabels, der einen bestimmten Wert nicht überschreiten sollte. Wenn z. B. in einer Multischalteranlage der LNB und der Multischalter vom Recci-

Pegelumrechnung			50 Ω			75 Ω		
Spannungspegel		Spannung	Leistung	Leistungspegel		Leistung	Leistungspegel	
130 dBμV	70 dBmV	3,16 V	200 mW	23 dBm	113,0 dBpW	133 mW	21,25 dBm	111,25 dBpW
129 dBμV	69 dBmV	2,82 V	159 mW	22 dBm	112,0 dBpW	106 mW	20,25 dBm	110,25 dBpW
128 dBμV	68 dBmV	2,51 V	126 mW	21 dBm	111,0 dBpW	84,1 mW	19,25 dBm	109,25 dBpW
127 dBμV	67 dBmV	2,24 V	100 mW	20 dBm	110,0 dBpW	66,8 mW	18,25 dBm	108,25 dBpW
126 dBμV	66 dBmV	2,00 V	79,6 mW	19 dBm	109,0 dBpW	53,1 mW	17,25 dBm	107,25 dBpW
125 dBμV	65 dBmV	1,78 V	63,2 mW	18 dBm	108,0 dBpW	42,2 mW	16,25 dBm	106,25 dBpW
124 dBμV	64 dBmV	1,58 V	50,2 mW	17 dBm	107,0 dBpW	33,5 mW	15,25 dBm	105,25 dBpW
123 dBμV	63 dBmV	1,41 V	39,9 mW	16 dBm	106,0 dBpW	26,6 mW	14,25 dBm	104,25 dBpW
122 dBμV	62 dBmV	1,26 V	31,7 mW	15 dBm	105,0 dBpW	21,1 mW	13,25 dBm	103,25 dBpW
121 dBμV	61 dBmV	1,12 V	25,2 mW	14 dBm	104,0 dBpW	16,8 mW	12,25 dBm	102,25 dBpW
120 dBμV	60 dBmV	1,00 V	20,0 mW	13 dBm	103,0 dBpW	13,3 mW	11,25 dBm	101,25 dBpW
119 dBμV	59 dBmV	891 mV	15,9 mW	12 dBm	102,0 dBpW	10,6 mW	10,25 dBm	100,25 dBpW
118 dBμV	58 dBmV	794 mV	12,6 mW	11 dBm	101,0 dBpW	8,41 mW	9,25 dBm	99,25 dBpW
117 dBμV	57 dBmV	708 mV	10,0 mW	10 dBm	100,0 dBpW	6,68 mW	8,25 dBm	98,25 dBpW
116 dBμV	56 dBmV	631 mV	7,96 mW	9 dBm	99,0 dBpW	5,31 mW	7,25 dBm	97,25 dBpW
115 dBμV	55 dBmV	562 mV	6,32 mW	8 dBm	98,0 dBpW	4,22 mW	6,25 dBm	96,25 dBpW
114 dBμV	54 dBmV	501 mV	5,02 mW	7 dBm	97,0 dBpW	3,35 mW	5,25 dBm	95,25 dBpW
113 dBμV	53 dBmV	447 mV	3,99 mW	6 dBm	96,0 dBpW	2,66 mW	4,25 dBm	94,25 dBpW
112 dBμV	52 dBmV	398 mV	3,17 mW	5 dBm	95,0 dBpW	2,11 mW	3,25 dBm	93,25 dBpW
111 dBμV	51 dBmV	355 mV	2,52 mW	4 dBm	94,0 dBpW	1,68 mW	2,25 dBm	92,25 dBpW
110 dBμV	50 dBmV	316 mV	2,00 mW	3 dBm	93,0 dBpW	1,33 mW	1,25 dBm	91,25 dBpW
109 dBμV	49 dBmV	282 mV	1,59 mW	2 dBm	92,0 dBpW	1,06 mW	0,25 dBm	90,25 dBpW
108 dBμV	48 dBmV	251 mV	1,26 mW	1 dBm	91,0 dBpW	841 μW	-0,75 dBm	89,25 dBpW
107 dBμV	47 dBmV	224 mV	1,00 mW	0 dBm	90,0 dBpW	668 μW	-1,75 dBm	88,25 dBpW
106 dBμV	46 dBmV	200 mV	796 μW	-1 dBm	89,0 dBpW	531 μW	-2,75 dBm	87,25 dBpW
105 dBμV	45 dBmV	178 mV	632 μW	-2 dBm	88,0 dBpW	422 μW	-3,75 dBm	86,25 dBpW
104 dBμV	44 dBmV	158 mV	502 μW	-3 dBm	87,0 dBpW	335 μW	-4,75 dBm	85,25 dBpW
103 dBμV	43 dBmV	141 mV	399 μW	-4 dBm	86,0 dBpW	266 μW	-5,75 dBm	84,25 dBpW
102 dBμV	42 dBmV	126 mV	317 μW	-5 dBm	85,0 dBpW	211 μW	-6,75 dBm	83,25 dBpW
101 dBμV	41 dBmV	112 mV	252 μW	-6 dBm	84,0 dBpW	168 μW	-7,75 dBm	82,25 dBpW
100 dBμV	40 dBmV	100 mV	200 μW	-7 dBm	83,0 dBpW	133 μW	-8,75 dBm	81,25 dBpW
99 dBμV	39 dBmV	89,1 mV	159 μW	-8 dBm	82,0 dBpW	106 μW	-9,75 dBm	80,25 dBpW
98 dBμV	38 dBmV	79,4 mV	126 μW	-9 dBm	81,0 dBpW	84,1 μW	-10,75 dBm	79,25 dBpW
97 dBμV	37 dBmV	70,8 mV	100 μW	-10 dBm	80,0 dBpW	66,8 μW	-11,75 dBm	78,25 dBpW
96 dBμV	36 dBmV	63,1 mV	79,6 μW	-11 dBm	79,0 dBpW	53,1 μW	-12,75 dBm	77,25 dBpW
95 dBμV	35 dBmV	56,2 mV	63,2 μW	-12 dBm	78,0 dBpW	42,2 μW	-13,75 dBm	76,25 dBpW
94 dBμV	34 dBmV	50,1 mV	50,2 μW	-13 dBm	77,0 dBpW	33,5 μW	-14,75 dBm	75,25 dBpW
93 dBμV	33 dBmV	44,7 mV	39,9 μW	-14 dBm	76,0 dBpW	26,6 μW	-15,75 dBm	74,25 dBpW
92 dBμV	32 dBmV	39,8 mV	31,7 μW	-15 dBm	75,0 dBpW	21,1 μW	-16,75 dBm	73,25 dBpW
91 dBμV	31 dBmV	35,5 mV	25,2 μW	-16 dBm	74,0 dBpW	16,8 μW	-17,75 dBm	72,25 dBpW
90 dBμV	30 dBmV	31,6 mV	20,0 μW	-17 dBm	73,0 dBpW	13,3 μW	-18,75 dBm	71,25 dBpW
89 dBμV	29 dBmV	28,2 mV	15,9 μW	-18 dBm	72,0 dBpW	10,6 μW	-19,75 dBm	70,25 dBpW
88 dBμV	28 dBmV	25,1 mV	12,6 μW	-19 dBm	71,0 dBpW	8,41 μW	-20,75 dBm	69,25 dBpW
87 dBμV	27 dBmV	22,4 mV	10,0 μW	-20 dBm	70,0 dBpW	6,68 μW	-21,75 dBm	68,25 dBpW
86 dBμV	26 dBmV	20,0 mV	7,96 μW	-21 dBm	69,0 dBpW	5,31 μW	-22,75 dBm	67,25 dBpW
85 dBμV	25 dBmV	17,8 mV	6,32 μW	-22 dBm	68,0 dBpW	4,22 μW	-23,75 dBm	66,25 dBpW
84 dBμV	24 dBmV	15,8 mV	5,02 μW	-23 dBm	67,0 dBpW	3,35 μW	-24,75 dBm	65,25 dBpW
83 dBμV	23 dBmV	14,1 mV	3,99 μW	-24 dBm	66,0 dBpW	2,66 μW	-25,75 dBm	64,25 dBpW
82 dBμV	22 dBmV	12,6 mV	3,17 μW	-25 dBm	65,0 dBpW	2,11 μW	-26,75 dBm	63,25 dBpW
81 dBμV	21 dBmV	11,2 mV	2,52 μW	-26 dBm	64,0 dBpW	1,68 μW	-27,75 dBm	62,25 dBpW
80 dBμV	20 dBmV	10,0 mV	2,00 μW	-27 dBm	63,0 dBpW	1,33 μW	-28,75 dBm	61,25 dBpW
79 dBμV	19 dBmV	8,91 mV	1,59 μW	-28 dBm	62,0 dBpW	1,06 μW	-29,75 dBm	60,25 dBpW
78 dBμV	18 dBmV	7,94 mV	1,26 μW	-29 dBm	61,0 dBpW	841 nW	-30,75 dBm	59,25 dBpW
77 dBμV	17 dBmV	7,08 mV	1,00 μW	-30 dBm	60,0 dBpW	668 nW	-31,75 dBm	58,25 dBpW
76 dBμV	16 dBmV	6,31 mV	796 nW	-31 dBm	59,0 dBpW	531 nW	-32,75 dBm	57,25 dBpW
75 dBμV	15 dBmV	5,62 mV	632 nW	-32 dBm	58,0 dBpW	422 nW	-33,75 dBm	56,25 dBpW
74 dBμV	14 dBmV	5,01 mV	502 nW	-33 dBm	57,0 dBpW	335 nW	-34,75 dBm	55,25 dBpW
73 dBμV	13 dBmV	4,47 mV	399 nW	-34 dBm	56,0 dBpW	266 nW	-35,75 dBm	54,25 dBpW
72 dBμV	12 dBmV	3,98 mV	317 nW	-35 dBm	55,0 dBpW	211 nW	-36,75 dBm	53,25 dBpW
71 dBμV	11 dBmV	3,55 mV	252 nW	-36 dBm	54,0 dBpW	168 nW	-37,75 dBm	52,25 dBpW
70 dBμV	10 dBmV	3,16 mV	200 nW	-37 dBm	53,0 dBpW	133 nW	-38,75 dBm	51,25 dBpW
69 dBμV	9 dBmV	2,82 mV	159 nW	-38 dBm	52,0 dBpW	106 nW	-39,75 dBm	50,25 dBpW
68 dBμV	8 dBmV	2,51 mV	126 nW	-39 dBm	51,0 dBpW	84,1 nW	-40,75 dBm	49,25 dBpW
67 dBμV	7 dBmV	2,24 mV	100 nW	-40 dBm	50,0 dBpW	66,8 nW	-41,75 dBm	48,25 dBpW
66 dBμV	6 dBmV	2,00 mV	79,6 nW	-41 dBm	49,0 dBpW	53,1 nW	-42,75 dBm	47,25 dBpW
65 dBμV	5 dBmV	1,78 mV	63,2 nW	-42 dBm	48,0 dBpW	42,2 nW	-43,75 dBm	46,25 dBpW

Tabelle 1.1: Der Zusammenhang zwischen Spannungs- und Leistungspegel am Bezugswiderstand 50 Ω und 75 Ω (130 bis 65 dBμV)

Pegelumrechnung			50 Ω			75 Ω		
Spannungspegel		Spannung	Leistung	Leistungspegel		Leistung	Leistungspegel	
64 dBμV	4 dBmV	1,58 mV	50,2 nW	-43 dBm	47,0 dBpW	33,5 nW	-44,75 dBm	45,25 dBpW
63 dBμV	3 dBmV	1,41 mV	39,9 nW	-44 dBm	46,0 dBpW	26,6 nW	-45,75 dBm	44,25 dBpW
62 dBμV	2 dBmV	1,26 mV	31,7 nW	-45 dBm	45,0 dBpW	21,1 nW	-46,75 dBm	43,25 dBpW
61 dBμV	1 dBmV	1,12 mV	25,2 nW	-46 dBm	44,0 dBpW	16,8 nW	-47,75 dBm	42,25 dBpW
60 dBμV	0 dBmV	1,00 mV	20,0 nW	-47 dBm	43,0 dBpW	13,3 nW	-48,75 dBm	41,25 dBpW
59 dBμV	-1 dBmV	891 μV	15,9 nW	-48 dBm	42,0 dBpW	10,6 nW	-49,75 dBm	40,25 dBpW
58 dBμV	-2 dBmV	794 μV	12,6 nW	-49 dBm	41,0 dBpW	8,41 nW	-50,75 dBm	39,25 dBpW
57 dBμV	-3 dBmV	708 μV	10,0 nW	-50 dBm	40,0 dBpW	6,68 nW	-51,75 dBm	38,25 dBpW
56 dBμV	-4 dBmV	631 μV	7,96 nW	-51 dBm	39,0 dBpW	5,31 nW	-52,75 dBm	37,25 dBpW
55 dBμV	-5 dBmV	562 μV	6,32 nW	-52 dBm	38,0 dBpW	4,22 nW	-53,75 dBm	36,25 dBpW
54 dBμV	-6 dBmV	501 μV	5,02 nW	-53 dBm	37,0 dBpW	3,35 nW	-54,75 dBm	35,25 dBpW
53 dBμV	-7 dBmV	447 μV	3,99 nW	-54 dBm	36,0 dBpW	2,66 nW	-55,75 dBm	34,25 dBpW
52 dBμV	-8 dBmV	398 μV	3,17 nW	-55 dBm	35,0 dBpW	2,11 nW	-56,75 dBm	33,25 dBpW
51 dBμV	-9 dBmV	355 μV	2,52 nW	-56 dBm	34,0 dBpW	1,68 nW	-57,75 dBm	32,25 dBpW
50 dBμV	-10 dBmV	316 μV	2,00 nW	-57 dBm	33,0 dBpW	1,33 nW	-58,75 dBm	31,25 dBpW
49 dBμV	-11 dBmV	282 μV	1,59 nW	-58 dBm	32,0 dBpW	1,06 nW	-59,75 dBm	30,25 dBpW
48 dBμV	-12 dBmV	251 μV	1,26 nW	-59 dBm	31,0 dBpW	841 pW	-60,75 dBm	29,25 dBpW
47 dBμV	-13 dBmV	224 μV	1,00 nW	-60 dBm	30,0 dBpW	668 pW	-61,75 dBm	28,25 dBpW
46 dBμV	-14 dBmV	200 μV	796 pW	-61 dBm	29,0 dBpW	531 pW	-62,75 dBm	27,25 dBpW
45 dBμV	-15 dBmV	178 μV	632 pW	-62 dBm	28,0 dBpW	422 pW	-63,75 dBm	26,25 dBpW
44 dBμV	-16 dBmV	158 μV	502 pW	-63 dBm	27,0 dBpW	335 pW	-64,75 dBm	25,25 dBpW
43 dBμV	-17 dBmV	141 μV	399 pW	-64 dBm	26,0 dBpW	266 pW	-65,75 dBm	24,25 dBpW
42 dBμV	-18 dBmV	126 μV	317 pW	-65 dBm	25,0 dBpW	211 pW	-66,75 dBm	23,25 dBpW
41 dBμV	-19 dBmV	112 μV	252 pW	-66 dBm	24,0 dBpW	168 pW	-67,75 dBm	22,25 dBpW
40 dBμV	-20 dBmV	100 μV	200 pW	-67 dBm	23,0 dBpW	133 pW	-68,75 dBm	21,25 dBpW
39 dBμV	-21 dBmV	89,1 μV	159 pW	-68 dBm	22,0 dBpW	106 pW	-69,75 dBm	20,25 dBpW
38 dBμV	-22 dBmV	79,4 μV	126 pW	-69 dBm	21,0 dBpW	84,1 pW	-70,75 dBm	19,25 dBpW
37 dBμV	-23 dBmV	70,8 μV	100 pW	-70 dBm	20,0 dBpW	66,8 pW	-71,75 dBm	18,25 dBpW
36 dBμV	-24 dBmV	63,1 μV	79,6 pW	-71 dBm	19,0 dBpW	53,1 pW	-72,75 dBm	17,25 dBpW
35 dBμV	-25 dBmV	56,2 μV	63,2 pW	-72 dBm	18,0 dBpW	42,2 pW	-73,75 dBm	16,25 dBpW
34 dBμV	-26 dBmV	50,1 μV	50,2 pW	-73 dBm	17,0 dBpW	33,5 pW	-74,75 dBm	15,25 dBpW
33 dBμV	-27 dBmV	44,7 μV	39,9 pW	-74 dBm	16,0 dBpW	26,6 pW	-75,75 dBm	14,25 dBpW
32 dBμV	-28 dBmV	39,8 μV	31,7 pW	-75 dBm	15,0 dBpW	21,1 pW	-76,75 dBm	13,25 dBpW
31 dBμV	-29 dBmV	35,5 μV	25,2 pW	-76 dBm	14,0 dBpW	16,8 pW	-77,75 dBm	12,25 dBpW
30 dBμV	-30 dBmV	31,6 μV	20,0 pW	-77 dBm	13,0 dBpW	13,3 pW	-78,75 dBm	11,25 dBpW
29 dBμV	-31 dBmV	28,2 μV	15,9 pW	-78 dBm	12,0 dBpW	10,6 pW	-79,75 dBm	10,25 dBpW
28 dBμV	-32 dBmV	25,1 μV	12,6 pW	-79 dBm	11,0 dBpW	8,41 pW	-80,75 dBm	9,25 dBpW
27 dBμV	-33 dBmV	22,4 μV	10,0 pW	-80 dBm	10,0 dBpW	6,68 pW	-81,75 dBm	8,25 dBpW
26 dBμV	-34 dBmV	20,0 μV	7,96 pW	-81 dBm	9,0 dBpW	5,31 pW	-82,75 dBm	7,25 dBpW
25 dBμV	-35 dBmV	17,8 μV	6,32 pW	-82 dBm	8,0 dBpW	4,22 pW	-83,75 dBm	6,25 dBpW
24 dBμV	-36 dBmV	15,8 μV	5,02 pW	-83 dBm	7,0 dBpW	3,35 pW	-84,75 dBm	5,25 dBpW
23 dBμV	-37 dBmV	14,1 μV	3,99 pW	-84 dBm	6,0 dBpW	2,66 pW	-85,75 dBm	4,25 dBpW
22 dBμV	-38 dBmV	12,6 μV	3,17 pW	-85 dBm	5,0 dBpW	2,11 pW	-86,75 dBm	3,25 dBpW
21 dBμV	-39 dBmV	11,2 μV	2,52 pW	-86 dBm	4,0 dBpW	1,68 pW	-87,75 dBm	2,25 dBpW
20 dBμV	-40 dBmV	10,0 μV	2,00 pW	-87 dBm	3,0 dBpW	1,33 pW	-88,75 dBm	1,25 dBpW
19 dBμV	-41 dBmV	8,91 μV	1,59 pW	-88 dBm	2,0 dBpW	1,06 pW	-89,75 dBm	0,25 dBpW
18 dBμV	-42 dBmV	7,94 μV	1,26 pW	-89 dBm	1,0 dBpW	841 fW	-90,75 dBm	-0,75 dBpW
17 dBμV	-43 dBmV	7,08 μV	1,00 pW	-90 dBm	0,0 dBpW	668 fW	-91,75 dBm	-1,75 dBpW
16 dBμV	-44 dBmV	6,31 μV	796 fW	-91 dBm	-1,0 dBpW	531 fW	-92,75 dBm	-2,75 dBpW
15 dBμV	-45 dBmV	5,62 μV	632 fW	-92 dBm	-2,0 dBpW	422 fW	-93,75 dBm	-3,75 dBpW
14 dBμV	-46 dBmV	5,01 μV	502 fW	-93 dBm	-3,0 dBpW	335 fW	-94,75 dBm	-4,75 dBpW
13 dBμV	-47 dBmV	4,47 μV	399 fW	-94 dBm	-4,0 dBpW	266 fW	-95,75 dBm	-5,75 dBpW
12 dBμV	-48 dBmV	3,98 μV	317 fW	-95 dBm	-5,0 dBpW	211 fW	-96,75 dBm	-6,75 dBpW
11 dBμV	-49 dBmV	3,55 μV	252 fW	-96 dBm	-6,0 dBpW	168 fW	-97,75 dBm	-7,75 dBpW
10 dBμV	-50 dBmV	3,16 μV	200 fW	-97 dBm	-7,0 dBpW	133 fW	-98,75 dBm	-8,75 dBpW
9 dBμV	-51 dBmV	2,82 μV	159 fW	-98 dBm	-8,0 dBpW	106 fW	-99,75 dBm	-9,75 dBpW
8 dBμV	-52 dBmV	2,51 μV	126 fW	-99 dBm	-9,0 dBpW	84,1 fW	-100,75 dBm	-10,75 dBpW
7 dBμV	-53 dBmV	2,24 μV	100 fW	-100 dBm	-10,0 dBpW	66,8 fW	-101,75 dBm	-11,75 dBpW
6 dBμV	-54 dBmV	2,00 μV	79,6 fW	-101 dBm	-11,0 dBpW	53,1 fW	-102,75 dBm	-12,75 dBpW
5 dBμV	-55 dBmV	1,78 μV	63,2 fW	-102 dBm	-12,0 dBpW	42,2 fW	-103,75 dBm	-13,75 dBpW
4 dBμV	-56 dBmV	1,58 μV	50,2 fW	-103 dBm	-13,0 dBpW	33,5 fW	-104,75 dBm	-14,75 dBpW
3 dBμV	-57 dBmV	1,41 μV	39,9 fW	-104 dBm	-14,0 dBpW	26,6 fW	-105,75 dBm	-15,75 dBpW
2 dBμV	-58 dBmV	1,26 μV	31,7 fW	-105 dBm	-15,0 dBpW	21,1 fW	-106,75 dBm	-16,75 dBpW
1 dBμV	-59 dBmV	1,12 μV	25,2 fW	-106 dBm	-16,0 dBpW	16,8 fW	-107,75 dBm	-17,75 dBpW
0 dBμV	-60 dBmV	1,00 μV	20,0 fW	-107 dBm	-17,0 dBpW	13,3 fW	-108,75 dBm	-18,75 dBpW

Tabelle 1.2: Der Zusammenhang zwischen Spannungs- und Leistungspegel am Bezugswiderstand 50 Ω und 75 Ω (64 bis 0 dBμV)



**Bild 11:** Das sollte man einem Koaxial-Kabel nicht zumuten.

ver eines Teilnehmers mit Betriebsstrom versorgt werden, bewirkt dieser (300–400 mA) einen Gleichspannungsabfall. Bei einem Strom von 0,3 A sowie einem angenommenen Gleichstrom-Schleifenwiderstand von 40 Ω/km und 50 m Länge ergibt sich ein Spannungsabfall ΔU von:

$$\Delta U = 0,05 \text{ km} \cdot 40 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,3 \text{ A} = 0,6 \text{ V}$$

Dies genügt bei ungünstigem Aufeinandertreffen von Toleranzen, um die Schaltschwelle eines Multischalters zum Umschalten auf die horizontale Polarisations Ebene nicht zu erreichen. Abhilfe schafft die Stromversorgung des Multischalters und LNBs über ein eigenes Netzteil. Dann fließt vom Empfänger zum Multischalter nur ein kleiner Steuerstrom von wenigen mA zum Anwählen der horizontalen Polarisations Ebene und der resultierende Spannungsabfall ist zu vernachlässigen.

**Pfleglicher Umgang erwünscht!**

Für gleichmäßige elektrische Eigenschaften während des gesamten Kabelverlaufs ist es erforderlich, gewisse Regeln im Umgang mit dem Kabel einzuhalten. Insbesondere Quetschungen, Dehnungen und enge Biegeradien sind wegen den damit verbundenen Impedanzänderungen und

gen Komponenten mit einem Wellenwiderstand von 75 Ω eingesetzt.

So ist Anpassung, also die optimale Energieübertragung unter allen Anlagenteilen gewährleistet. An Stellen im Übertragungssystem mit abweichender Impedanz entstehen Reflexionen, d. h. ein Teil der Hochfrequenzenergie wird zur Quelle zurückgeworfen. Dadurch wird das Nutzsignal in Ausbreitungsrichtung geschwächt. Bei analogen TV-Signalen entstehen nachlaufende „Geister“, d. h. versetzte schwache Bilder einige Millimeter rechts vom Original.

Bei digitalen Signalen verschlechtern Reflexionen die Bitfehlerraten im Receiver, was einer Minderung der System-

Rückflussdämpfung a <sub>r</sub> /dB	Reflexionsfaktor r	Anpassungsfaktor m	Reflektierte Leistung P <sub>r</sub> /P / %	Rückflussdämpfung a <sub>r</sub> /dB	Reflexionsfaktor r	Anpassungsfaktor m	Reflektierte Leistung P <sub>r</sub> /P / %
0	1,000	0,000	100,0000	30	0,032	0,939	0,1000
2	0,794	0,115	63,0957	32	0,025	0,951	0,0631
4	0,631	0,226	39,8107	34	0,020	0,961	0,0398
6	0,501	0,332	25,1189	36	0,016	0,969	0,0251
8	0,398	0,431	15,8489	38	0,013	0,975	0,0158
10	0,316	0,519	10,0000	40	0,010	0,980	0,0100
12	0,251	0,598	6,3096	42	0,008	0,984	0,0063
14	0,200	0,667	3,9811	44	0,006	0,987	0,0040
16	0,158	0,726	2,5119	46	0,005	0,990	0,0025
18	0,126	0,776	1,5849	48	0,004	0,992	0,0016
20	0,100	0,818	1,0000	50	0,003	0,994	0,0010
22	0,079	0,853	0,6310	52	0,003	0,995	0,0006
24	0,063	0,881	0,3981	54	0,002	0,996	0,0004
26	0,050	0,905	0,2512	56	0,002	0,997	0,0003
28	0,040	0,923	0,1585	58	0,001	0,997	0,0002
30	0,032	0,939	0,1000	60	0,001	0,998	0,0001

**Bild 13:** Tabelle zur Umwandlung von Rückflussdämpfung, Reflexions- und Anpassungsfaktor sowie reflektierte Leistung

daraus resultierenden Mikroreflexionen zu vermeiden. Als Schutz gegen Versprödung ist das Kabel z. B. durch Verlegung in einem lichtdichten Schlauch vor intensiver Ultraviolettbestrahlung zu schützen. Das Altern des Kabels wird dadurch merklich verzögert. Alle Umgangsregeln sind symbolisch in Abbildung 11 dargestellt.

**Reflexionen durch inhomogene Impedanzverläufe**

Generell werden in heutigen Verteilanla-

reserven entspricht.

Die Zusammenhänge zwischen weiter- und rücklaufender (reflektierter) Leistung zeigt Abbildung 12.

Das Reflexionsverhalten an Impedanzsprüngen ist durch die folgenden Beziehungen gekennzeichnet:

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad \text{Reflexionsfaktor}$$

$$a_r = -20 \cdot \lg|r| \quad \text{Reflexionsdämpfung}$$

$$m = \frac{1-r}{1+r} \quad \text{Anpassungsfaktor}$$

$$P_{\text{rück}} = r^2 \cdot P_{\text{vor}} \quad \text{Reflektierte Leistung}$$

$$P_{\text{weiter}} = (1-r^2) \cdot P_{\text{vor}} \quad \text{Weiterlaufende Leistung}$$

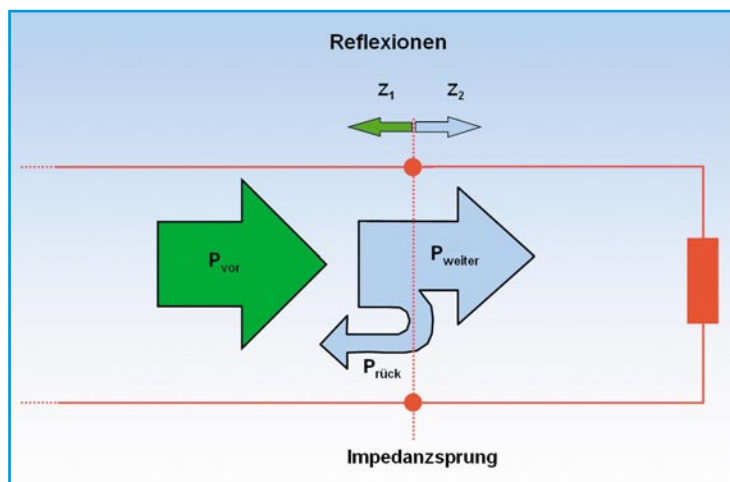
Liegen keine Reflexionen vor (Z<sub>2</sub>=Z<sub>1</sub>), ist der Reflexionsfaktor r = 0.

Man spricht dann von Anpassung (m = 1). Dabei ist die Reflexionsdämpfung a<sub>r</sub> = ∞.

Beim Leerlauf (Z<sub>2</sub>=∞) ist der Reflexionsfaktor r = 1, der Anpassungsfaktor m = 0 und die Reflexionsdämpfung a<sub>r</sub> = 0. Bei einem Kurzschluss (Z<sub>2</sub>= 0) ist r = -1.

In der Praxis ist die Rückflussdämpfung (return loss) das gebräuchlichste Maß für den Anpassungsgrad.

Wie sie sich in den anderen Größen ausdrückt, zeigt Abbildung 13. **ELV**



**Bild 12:** An Unstetigkeitsstellen der Impedanz wird Leistung reflektiert.