

Koaxiales Verteilungssystem

Teil 1: Verteilnetztopologie und Koaxialkabel

Trotz neuer Zugangsformen zum TV-System (z. B. über WLAN, Twisted-Pair- oder Glasfaser-Kabel) wird der größte Teil neuer Anlagen als klassisches koaxiales Verteilungssystem aufgebaut. Die verwendeten Komponenten werden in dieser Beitragsfolge umfassend beschrieben.

seitigen Wellenwiderstand von 75Ω eingesetzt. So ist Anpassung – also die optimale Energieübertragung von einem Glied der Übertragungskette zum nächsten – gewährleistet und die Addition der dB-Werte ihrer Dämpfungen oder Verstärkungen statthaft.

Verteilnetztopologien

Grundsätzlich verfügt ein Signalverteilsystem über mindestens eine Einspeisung, die man in der Nachrichtentechnik als Quelle bezeichnet und mindestens eine Ausleitung zu den signalverarbeitenden Einrichtungen, die man auch als Senke bezeichnet. Die Grundstruktur des Verteilnetzes (Topologie) kann Folgendem entsprechen (Bild 1):

- Stern mit strahlenförmigen Ausläufern,
- Baum mit Verästelungen oder
- Mischung aus beiden.

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 deckungsgleiche Koaxialnetze für die hochfrequenten Rundfunksignale und Twisted-Pair-Netze (TP-Netz) für die Datenübertragung auf den gleichen Verlegepfaden erstellen (Bild 2). Dies ist die Grundlage zukünftiger Multimedia-Heimnetze.

Verteilungssystem

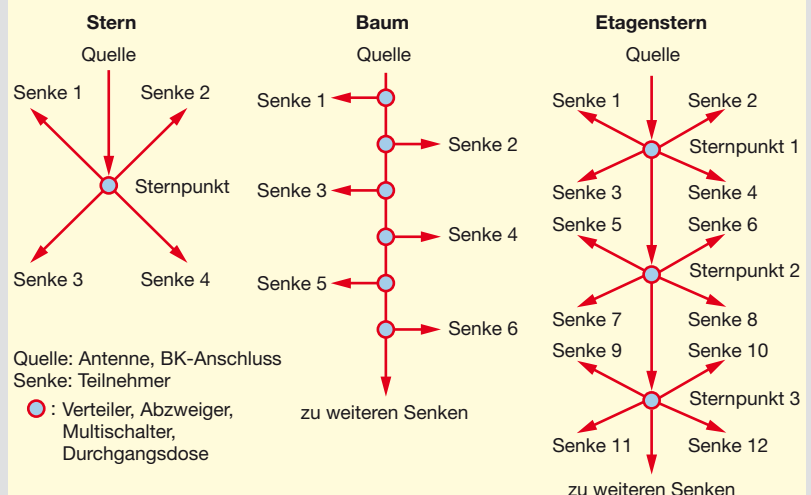
Das Ausgangssignal des Low Noise Block Converters (LNC) durchläuft auf seinem Weg zum Receiver ein Verteilsystem. Dieses enthält **passive Komponenten** wie

- Kabel,
- Verteiler,
- Abzweiger,
- Steckdosen,
- Entzerrer,
- Filter,
- Dämpfungsglieder usw.,

die das Signal wegen ihrer Passivität (frequenzabhängig) dämpfen.

Aktive Komponenten wie Verstärker und Frequenzumsetzer heben den Signalpegel an, erzeugen aber auch nichtlineare Effekte wie Klirren, Übersteuerung und Intermodulationen. Generell werden in Empfangs- und Verteilanlagen Komponenten mit einem eingangs- und ausgangs-

Verteilnetztopologien



1 Alle Netztopologien beruhen auf Baum-, Stern- und Mischformen

Im Sternpunkt des Koaxialnetzes befindet sich bei Satellitenempfangsanlagen 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, ...) installiert. Ideal sind Dosen, die beides konstruktiv vereinen. Sie sind Anschlusspunkt für eine Vielzahl von Endgeräten, mit denen sich nahezu alle modernen multimedialen Kommunikationsanforderungen erfüllen lassen (Bild 3). Im weiteren Beitrag wird sich auf die Beschreibung des koaxialen Netzes beschränkt.

Koaxialkabel

Das Koaxialkabel hat die Aufgabe, Hochfrequenzenergie von einem Punkt zum anderen zu leiten. Diese Aufgabe kann es nur mit Verlusten erfüllen, die von Länge und Frequenz abhängen. Das wird klar, wenn man sich den Aufbau des Kabels (Bild 4) und sein daraus abgeleitetes Ersatzschaltbild näher anschaut.

In der Mitte eines Koaxialkabels verläuft 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 Schirm oder Abschirmung genannt – besteht im einfachsten Fall aus einem 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 ϵ_r beschrieben. Ein gutes Verständnis des Dämpfungsverhaltens erhält man, wenn man sich das Ersatzschaltbild eines kurzen Kabelabschnitts betrachtet (Bild 5). Der kurze Kabelabschnitt ist ein Spannungsteiler 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. Die auf das ganze Kabel bezogenen Werte ergeben sich, indem man die entsprechenden Beläge über seine Länge summiert. Das Ersatzschaltbild macht die Frequenzabhängigkeit des Koaxialkabels klar. Während im Gleichstromfall nur der Serienwiderstand und der Ableitungswiderstand eine Rolle spielen, nimmt der Einfluss der Serieninduktivität und des Ableitungskondensators 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 eingangsseitig 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 (auch Verkürzungsfaktor genannt) anzuschauen:

Induktivitätsbelag

$$\frac{L'_s}{\text{mH/km}} = 0,461 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right)$$

Kapazitätsbelag

$$\frac{C'_p}{\mu\text{F/km}} = \frac{0,02415 \cdot \epsilon_r}{\log\left(\frac{D}{d}\right)}$$

Wellenwiderstand

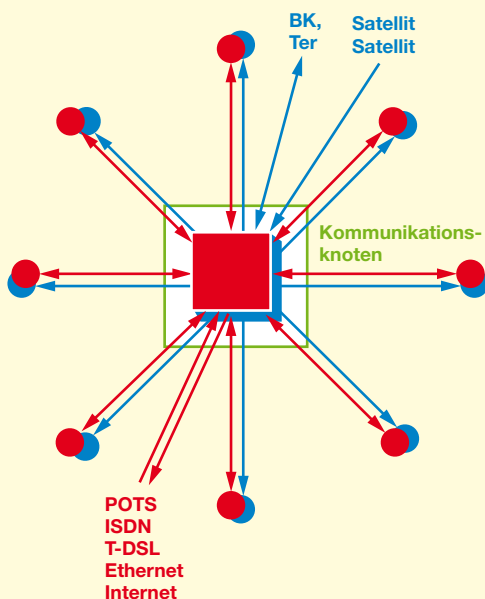
$$\frac{Z_w}{\Omega} = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right)$$

Verkürzungsfaktor

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

In den ersten drei Gleichungen fällt der Term $\log(D/d)$ auf. Mit $\log$ ist der Logarithmus zur Basis 10 gemeint. Oft wird auch der Logarithmus verwendet, der die Eulersche Zahl $e = 2,7183$ zur Basis hat und mit $\ln$ bezeichnet wird. Er ist um den festen Faktor 2,3026 größer als der 10er-Logarithmus. Der Term $\log(D/d)$ ist das logarithmierte Verhältnis von Außen- zu Innenleiterdurchmesser. Gemeinsam mit der relativen Dielektrizitätskonstante ϵ_r

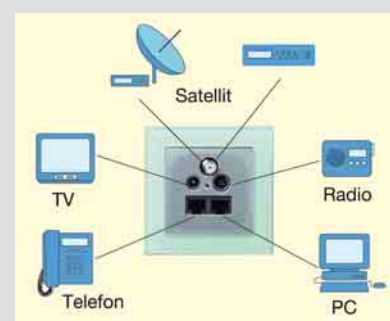
Multischalterverteilung für Sat-ZF und BK/Ter
strukturierte Verkabelung für IT und TK

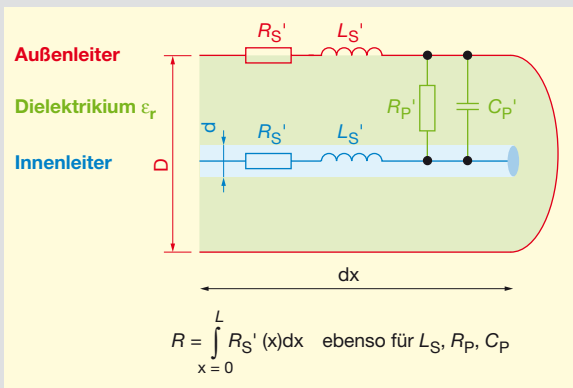


② Die Sterntopologie ist die Grundlage multimedialer Netze

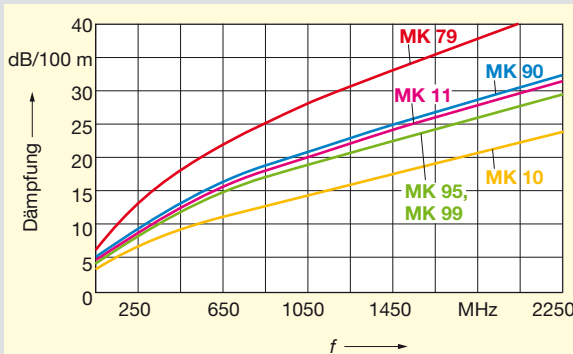
③ An den Ausläufern des Multimedialnetzes sind Multifunktionsdosen erforderlich

④ Aufbau eines Koaxialkabels für häusliche Empfangs- und Verteilanlagen





⑤ Am Ersatzschaltbild eines Koaxialkabel lassen sich wichtige Erkenntnisse über sein frequenzabhängiges Dämpfungsverhalten gewinnen



⑥ Dämpfung eines Koaxialkabels abhängig von der Länge und Dicke

Tafel ① Schirmungsklassen nach DIN EN 50117– Koaxialkabel in Neuanlagen sollten mindestens die Schirmungsklasse A einhalten

Schirmungsklasse	5–30 MHz	30–1000 MHz	1000–2000 MHz	2000–3000 MHz
C	50 mΩ/m	75 dB	65 dB	55 dB
B	15 mΩ/m	75 dB	65 dB	55 dB
A	5 mΩ/m	85 dB	75 dB	65 dB
A+	2,5 mΩ/m	95 dB	85 dB	75 dB
A++	0,9 mΩ/m	105 dB	95 dB	85 dB

des Dielektrikums (auch als relative Permittivität bezeichnet) bestimmt er den Wellenwiderstand (Impedanz) des Kabels. Die geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle im Kabel gegenüber der im Vakuum ($c_0 = 300\,000\text{ km/s}$) 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.

Dämpfung

Für die Dämpfung eines Koaxialkabels als Funktion der Frequenz gibt es keine handhabbare geschlossene Formel. Deshalb wird sie vom Hersteller messtechnisch ermittelt und als Diagramm (Bild ⑥) oder in Tabellenform veröffentlicht. Typisch ist eine Dämpfung von etwa 5 dB bei 5 MHz, die auf knapp 20 dB am unteren Ende des Sat-ZF-Bereichs (950 MHz) und etwa 30 dB an seinem oberen Ende (2150 MHz) ansteigt. Allgemein kann man festhalten: Je dicker das Kabel, desto geringer seine Dämpfung.

Schräglage

Die frequenzabhängigen Dämpfungsverzerrungen führen am Ende der Koaxialleitung zu einer „Schief- oder Schräglage“ eines am Eingang „waagrechten“ Spektrums. So ist beim Sat-ZF-Bereich zwischen 905 MHz und 2150 MHz eine Schräglage von etwa 10 dB zu verzeichnen. Es ist die Aufgabe eines Entzerrers (engl. equalizer), eine übermäßige Schräglage auszugleichen.

Schirmung

In den letzten Jahren hat das Schirmungsverhalten des Koaxialkabels an Bedeutung gewonnen – Stichwort „elektromagnetischer Smog“. Idealerweise sollte das Kabel keine Einstrahlung aufnehmen und damit auch umgekehrt keine Hochfrequenzenergie abstrahlen, also weder als Empfangs- noch als Sendeantenne fungieren. Dies ist 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 erreicht.

Um eine lückenlose Schirmdämpfung der gesamten Anlage zu erzielen, müssen alle Elemente und ihre Verbindungen lückenlos ein hohes Schirmmaß aufweisen. So kann z. B. ein schlecht geschirmtes Empfängeranschlusskabel oder ein unsachgemäß montierter Stecker die hochwertigen Schirmeigenschaften aller anderen Systemkomponenten zunichte machen. Die Schirmeigenschaften werden in der Norm DIN EN 50117 definiert und sind in Tafel ① zusammengefasst. Als mindestens einzuhaltendes Qualitätskriterium hinsichtlich Schirmdämpfung hat sich das Klasse-A-Logo durchgesetzt, das auf einer freiwilligen Selbstverpflichtung der Antennenindustrie beruht. Es ist zwischenzeitlich durch normative Ergänzungen in den Klassen A+ und A++ verschärft worden. Man beachte, dass aus physikalischen Gründen bei Frequenzen unter 30 MHz das Schirmverhalten nicht mehr durch die Schirmdämpfung in dB, sondern in Form der so genannten Transferimpedanz in mΩ/m beschrieben wird.

Gleichstromwiderstand

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 – 70 Ohm/km. Er ist zu berücksichtigen, wenn das Kabel auch der Energieversorgung eines Verbrauchers dient (z. B. eines LNBs) und entsprechende Ströme führt. Proportional zu seinem Strombedarf entsteht ein Spannungsabfall längs des Kabels, der einen bestimmten Wert nicht überschreiten sollte. Wenn beispielsweise in einer Multischalteranlage der LNB und der Multischalter eines Teilnehmers aus dem Sat-Receiver mit Betriebsstrom versorgt werden, bewirkt dieser einen Gleichspannungsabfall. Angenommen es fließt ein Strom von 0,3 A, es liegt ein Gleichstrom-Schleifenwiderstand von 40 Ohm/km vor und die Länge des Koaxkabels zwischen Receiver und Multischalter beträgt 50 m, so ergibt sich ein Spannungsabfall gemäß:

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

Dies genügt bei ungünstigem Aufeinandertreffen von Toleranzen, um die Schalt-



schwelle eines Multischalters zum Umschalten auf die horizontale Polarisations-ebene nicht zu erreichen. Abhilfe schafft die Stromversorgung von Multischalter und LNB 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

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 der damit verbundenen Impedanzänderungen und daraus resultierender Mikroreflexionen zu vermeiden. Als Schutz gegen Versprödung des Mantels ist das Kabel z. B. durch Verlegen in einem lichtdichten Schlauch vor Ultraviolettbestrahlung zu schützen. Der Alterungsprozess wird dadurch nachhaltig verzögert. Alle Umgangsregeln sind symbolisch in Bild **7** dargestellt.

K. Jungk