

Grundlagen Netzwerktechnik (3)

Kabeltypen für die Gebäudevernetzung: Kupfer oder Glasfaser?

Wir möchten an dieser Stelle die Medien Lichtwellenleiter und Twisted-Pair unterscheiden und untersuchen, welche Verkabelungen üblicherweise in Gebäuden zum Einsatz kommen und welche Reichweiten und Bandbreiten möglich sind.

Twisted-Pair-Leitungen sind altbewährt, geraten immer wieder auf den Prüfstand und werden für Datenverbindungen in Gebäuden und Produktionsanlagen verwendet. Bei LWL ist die Nachfrage heute – 50 Jahre nach der Entwicklung der ersten LWL-Leitungen – so hoch wie nie zuvor, insbesondere bei langen Transportwegen. Welche Vor- und Nachteile haben TP und LWL?

Merkmale von Twisted-Pair-Leitungen

Bei CAT-7-Datenleitungen sind jeweils zwei Kupfer-Adern (für Hin- und Rückweg) miteinander verdreht (**Bild 1**). Das Datensignal wird elektromagnetisch weitergeleitet. Insgesamt gibt es vier Aderpaare. Die Verdrehung sorgt dafür, dass äußere magnetische Wechselfelder sich nicht nur auf eine einzelne Ader auswirken, sondern auf beide gemeinsam. Durch die Verdrehung wird ebenfalls eine Induktivität erreicht, die das kapazitive Verhalten der zwei nebeneinanderliegenden Adern aufhebt. Der Blindwiderstand wird kleiner ($X_L - X_C$). Vor allem wird das Übersprechen (Übertragung eines Datensignals auf ein anderes Aderpaar durch Induktion) auf benachbarte Aderpaare reduziert.

Neben dem Begriff »Verdrehung« kann auch »Verseilung« oder »Kreuzung« verwendet werden. Durch die unterschiedliche Lage der Adern im Kabel sind die Aderpaare unterschiedlich verseilt (**Bild 1**). Die Länge der Aderpaare ist damit auch unterschiedlich lang. Durch die Verdrehung sind die vier weißen Adern ihrem Partner eindeutig zuordenbar.

Je nach Einsatzbereich gibt es verschiedene Ausführungen für den Mantel und der Schutzschirmung. Der Gesamtschirm umgibt alle Aderpaare und schützt sie vor

äußeren elektromagnetischen Feldern. Der Aderpaarschirm liegt innerhalb und umhüllt ein Aderpaar. TP-Leitungen werden bis zu einer Strecke von 100 m verlegt.

Merkmale von LWL

LWL leiten das Signal über den optischen Weg weiter. Hauptsächlich geschieht dies mit Hilfe der Werkstoffe Glas oder Kunststoff. Ein Lichtstrahl wird dabei als Mode bezeichnet. Durch Reflektionen wird er innerhalb des Mediums gehalten. Damit dies funktioniert hat der Glasfaser-/Kunststoffkern einen anderen Brechungsindex als der der Glasfaser-/Kunststoffkern (auch Cladding genannt). Bei einer Totalreflexion ist der Eingangswinkel gleich dem Ausgangswinkel.



Autor:
Claus Strobel, Dozent IT/ET; Schwerpunkt Netzwerktechnik, am etz in Stuttgart

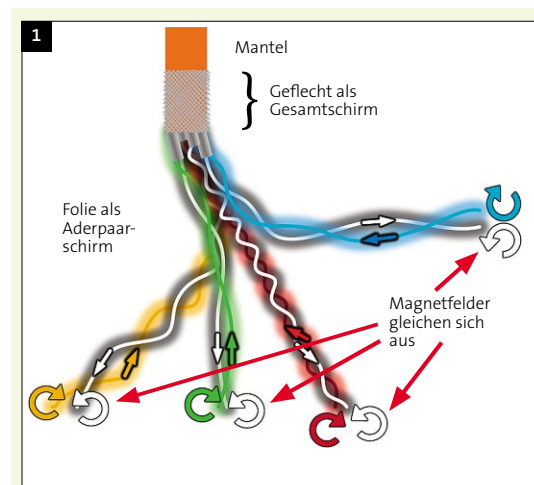
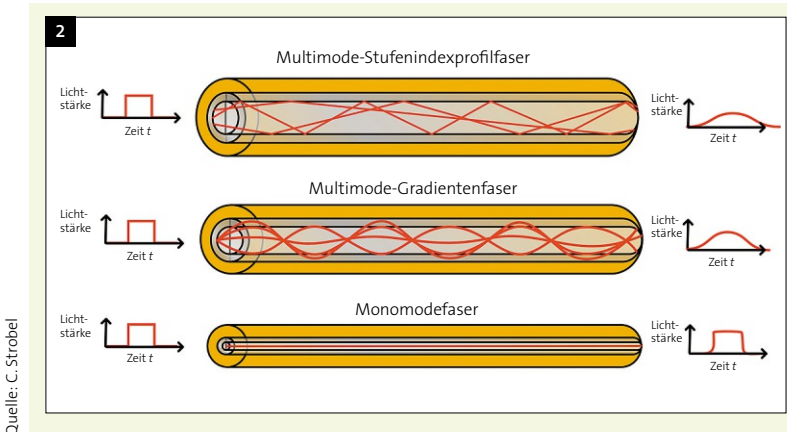


Bild 1:
Twisted-Pair – die Verseilung bewirkt u. a. eine Reduktion elektromagnetischer Störungen von außen und auf benachbarte Adern



Quelle: C. Strobel



Quelle: C. Strobel

Bild 2: Modendispersion bei verschiedenen Glasfasertypen

Bild 3: Ein Nachteil der LWL ist der zusätzliche Aufwand bei der Verarbeitung – zu sehen ist ein Spleißgerät zum Verbinden von Glasfaserenden

Dieses Phänomen kennen Sie auch aus dem Alltag, wenn es draußen dunkel ist und Sie bei eingeschaltetem Licht von innen durch die Fensterscheibe nach draußen blicken möchten, es aber nicht geht, weil die Scheibe das Licht wie ein Spiegel zurückwirft. Entscheidend dabei ist, in welchem Winkel das Licht auf das Fensterglas trifft. So wird der Großteil des Lichts im Rauminneren gehalten, während aber auch Licht nach außen geht.

Kern und Cladding werden mit einer Schutzschicht isoliert. Weitere Schutzmaßnahmen kommen hinzu. So können Adern in einer Hohlader lose verlegt sein. Füllmaterial kann als Knickschutz (in der Abbildung nicht zu sehen) hinzukommen. Die Beschaffenheit des Füllmaterials beim Kabelmantel kann variieren z. B. Schutz vor mechanischen Einflüssen, UV-/ Säuren- oder Laugen.

Zur Reflektion stellen wir uns die Frage: Ein Gebäude soll netzwerkseitig ausgestattet werden. Welche Vorteile bieten Ihnen Twisted-Pair und welche Vorzüge haben LWL in der Praxis?

Vorteile von TP in der Praxis

Kupfer ist ein weiches Material. Es lässt sich leicht bearbeiten. Bei der Fertigung von TP-Leitungen dienen Ziehsteine dazu, den Querschnitt der Adern auf den gewünschten Querschnitt zu reduzieren. Die Kupfer-Adern von CAT-7-Verle-

geleitungen eignen sich für das händische Auflegen auf einer Datendose, Patchfeld o. a. hervorragend. Klemm-, Schneid- oder Schraubenverbindungen sind für den Handwerker leicht anwendbar, Anschlüsse einfach zu konfektionieren.

Vorzüge von LWL in der Praxis

Die Ausbreitung von Licht ist gegenüber dem elektromagnetischen Weg ein wenig schneller. Licht hat eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von ca. 300 000 km/s. Zum Mond braucht es von der Erdoberfläche aus ungefähr 1 Sekunde. TP-Leitungen CAT7 haben im Vergleich dazu ca. 220 000 km/s.

Viel vorteilhafter ist die geringe Dämpfung. Das Glas bei LWL-Leitungen ist dermaßen rein, dass ein Repeater erst nach einer Strecke von 100 km erforderlich wird. Die Kabel-Hersteller geben den Dämpfungswert in dB/km an. Dies sagt einiges über die Dimension aus, in der sich die Dämpfungen bei Glasfasern bewegen.

Ein weiterer Vorteil ist die hohe Bandbreite. Unter der Bandbreite ist die Größe des Frequenzbandes zu verstehen. Je höher die Bandbreite, desto höher sind auch die Frequenzen, die sich über das Medium übertragen lassen. Je höher die Frequenzen, desto mehr virtuelle Kanäle können für die Kommunikation verwendet werden. Vergleichen lässt sich dies mit einer Autobahn. Je breiter die Autobahn ist, desto mehr Fahrspuren können eingerichtet werden und desto mehr Autos können gleichzeitig fahren. In diesem Zusammenhang lässt sich der Ausdruck »Kapazität« ebenfalls verwenden.

In Bild 2 ist zu sehen, wie verschiedene LWL-Leitungstypen das Eingangssignal verändern. Man bezeichnet diesen Vorgang als »Modendispersion«. Beim genaueren Hinsehen liegt ein Rechtecksignal an drei verschiedenen Glasfasern an. Der Signalverlauf am Eingang ist: Licht aus, Licht an, Licht aus. Änderungen lassen sich am Ausgang feststellen. Bei der Stufenindexprofilfaser ist der Impuls gestreckt und besitzt nicht mehr die gleiche Helligkeit wie am Eingang. Die Gradientenfaser hat eine geringere Modendispersion. Die Impulsdauer des Ausgangssignals ist etwas kürzer gegenüber dem Eingangssignal. Differenzen in der Lichtstärke sind geringer. Die Monomode-Faser hat von allen drei Fasern die besten Eigenschaften bezüglich des Signaltransports. Die Modendispersion ist minimal.

Woher kommen die Unterschiede? Der Durchmesser von Multimode-Glasfasern erlaubt, dass mehrere Lichtstrahlen in verschiedenen Einstrahlungswinkeln weitergeleitet werden. Bei der Monomode-Glasfaser gibt es nur einen Lichtstrahl, der sich im Glas ausbreitet. Dies wird durch einen viel geringeren Kerndurchmesser im Vergleich zur Multimode-Glasfaser erreicht. Moden (Lichtstrahlen), die in verschiedenen Winkeln durch die Glasfaser geführt werden, brauchen länger. Sie sind länger in der Leitung und verursachen Laufzeitunterschiede.

Zusammenfassen lässt sich das folgendermaßen:

- Je größer der Durchmesser einer Glasfaser, desto mehr Lichtstrahlen kommen durch, desto größer sind die Laufzeitunterschiede und damit die Modendispersion.
- Mit ansteigender Modendispersion sinkt die Bandbreite. Dieser Umstand lässt sich leicht erklären: Sehr schnelle

Wechsel von Licht ein/Licht aus verändern sich bei der Multimode in der Form, dass die Helligkeit des Lichts am Ausgang stärker und schwächer wird. Es gibt keine eindeutige Impulsdauer oder -pause mehr, nur noch pulsierendes Licht.

Der Rohstoff für die Glasfaser ist Siliciumdioxid. Es wird aus Sand gewonnen, der bekanntermaßen massenweise auf der Erde vorkommt und billig ist. Gegenüber den TP-Leitungen werden LWL durch Elektromagnetismus nicht beeinflusst. Damit sind sie auch störungsresistent und eignen sich für spezielle Anwendungen wie die Vernetzung von Zählerschränken oder industrieller Verbindungen von Schaltschränken.

LWL- und POF-Leitungen (Polymer-Optische-Fasern aus Kunststoff) lassen sich zu Lasten des Knickschutzes platzsparend verlegen. Auf diese Weise können Netzwerkverbindungen unauffällig unter dem Teppich, der Fußbodenleiste, Fassade oder Tapete liegen. Auch für EMV-kritische Bereiche (elektromagnetische Verträglichkeit) wie bei einer Offset-Parabolantenne auf dem Dach, verhindert die LWL-Verbindung, dass die Überspannung im Fall eines Blitzeinschlags nicht über die Koax-Leitung ins Haus gelangen kann. Der LWL sorgt für eine galvanische Trennung.

Nachteile bei der Verwendung von LWL

Sie wissen nun, wie wichtig LWL-Leitungen sein können. Was raten Sie nun Ihrer Kundin? Was spricht ggf. gegen den Einsatz von LWL? Wir erläutern einige Aspekte nachfolgend:

- Die **Herstellung** von Glasfaser-Leitungen ist trotz des billigen und unerschöpflichen Rohstoffs Sand sehr teuer. Das liegt daran, dass hohe Temperaturen von über 2200°C notwendig sind, um die Glasfaservorform lang und dünn zu ziehen.
 - Aber auch der **Materialeinsatz** bedeutet einen Mehraufwand, weil u.a. Medienkonverter zum Umwandeln der elektrischen in optische Impulse erforderlich sind. Besondere Leitungsführungssysteme wie Rohre, Spleißkassetten, Schutzmaßnahmen wie auch Werkzeuge zum Säubern, Verbinden (spleißen/ kleben) bedeuten zusätzliche Kosten (**Bild 3**). Fachlich ausgebildetes Personal für die Planung, Installation, Fehleranalyse und Überprüfung der optischen Verbindungen sind erforderlich.
 - Für den **Aufbau der LWL-Vernetzung** muss man daran denken, dass die aktiven Baugruppen separat mit Netzspannung versorgt werden. So benötigt ein LNB (Low Noise Block; rauscharmer Signalumsetzer) an der Offset-Parabolantenne neben dem LWL-Anschluss für die Signalleitung einen zusätzlichen Anschluss für die Netzversorgung. Bei Medienconvertern trifft dies ebenfalls zu.
- POF werden aus Kunststoff gefertigt und lassen sich gegenüber der Glasfaser leichter verlegen und verbinden. Leider besitzen sie nicht die immensen Vorteile von Glas wie Bandbreite und Reichweite. POF-Medienkonverter für 100MBit/s und 1000MBit/s-Ethernet sind aktuell am Markt erhältlich und haben standardmäßig eine Reichweite von 70m.

Wiederholung – Reflektion

Wann verlegen Sie TP-Leitungen und wann ziehen Sie LWL-Leitungen vor? Bewerten Sie für sich die fünf Fälle,

Tabelle: Twisted-Pair (TP) oder Glasfaser (LWL)?

1.	Ein Stromzähler erhält einen LAN-Anschluss.	TP ○ LWL ○
2.	Das Satellitensignal einer Offset-Parabolantenne in einem Hotel muss zu einem Multischalter in 500 m Entfernung geleitet werden.	TP ○ LWL ○
3.	Ein Privathaushalt wird mit Netzwerkleitungen ausgestattet.	TP ○ LWL ○
4.	Über die Steckdosenleiste im Wohnzimmer soll nachträglich ein 4k-fähiger SMART-Fernseher mit Netzwerk versorgt werden.	TP ○ LWL ○
5.	Eine PoE (Power-over-Ethernet)-fähige IP-Kamera überwacht den Empfangsbereich einer Bank.	TP ○ LWL ○

die in der **Tabelle** aufgeführt sind. Die Vorstellung und Besprechung sehen Sie hier:

- **Fall 1** – Möchten Sie für einen Stromzähler einen LAN-Anschluss nachrüsten, könnte dieser – wegen der Nähe von Energieleitungen – elektromagnetisch gestört werden. Eine LWL-Leitung ist die Lösung.
- **Fall 2** – Für Fernseh- und Rundfunkempfang über Satellit werden vier Koax-Leitungen benötigt, die vier Schalt-ebenen transportieren. Ein Hotel kann mehrere hundert Zimmer haben, die jeweils mit einem Fernseher ausgestattet sind. Der Platzbedarf für die Koax-Leitungen wie auch die große Signaldämpfung aufgrund der langen Installationsstrecken wird schnell zum K.o.-Kriterium. Eine LWL-Leitung ist imstande, alle Schaltebenen über eine Strecke von mehreren Kilometern mit wenig Dämpfung zu transportieren.
- **Fall 3** – Dieser Fall ist mit keinen Reglementierungen beschrieben. Hier kann davon ausgegangen werden, dass Switch und Endgeräte nicht weit auseinanderliegen und keinen Störungen ausgesetzt sind. Twisted Pair-Leitungen sollten hier genügen.
- **Fall 4** – Für unterbrechungsfreies 4k-Streaming reicht eine Bandbreite von 30 MBit/s aus. WLAN ist wegen seiner Störempfindlichkeit bedingt zu empfehlen. TP-Leitungen können durch die Energieleitungen, die ebenfalls in der Steckdosenleiste liegen, beeinflusst werden. Hinzukommt, dass der Platz für die Leitungsführung beim nachträglichen Verlegen oft nicht ausreicht. Platzsparende POF erlauben Bandbreiten bis 1000MBit/s und lassen sich hinter der Fußleiste, um den Türrahmen, unter dem Teppich oder hinter den Möbeln verstecken.
- **Fall 5** – Der Eingangsbereich sollte repräsentativ gestaltet sein. Zu viele Leitungen an der IP-Kamera verschönern nicht unbedingt die Optik der Fassade. Die Lage ist Störungen durch Unwetter oder Manipulation ausgesetzt. Einen höheren Aufwand für die Leitungsführung muss man ebenso einkalkulieren. Ein LWL-Leitung würde hier nicht helfen, weil immer noch eine energieführende Leitung erforderlich bleibt. Je nach PoE-Standard kann hier eine Spannung von 48 V und 90 W dem Endgerät zur Verfügung gestellt werden.

Im folgenden Beitrag betrachten wir Richtlinien zur Vernetzung von Datenleitungen und stellen Ihnen praxisnah die EN 50173 und EN 50174 vor.

(Fortsetzung folgt)