

Sicherheit bei Arbeiten mit Lichtwellenleitern

Teil 4: Fasertypen und Verbindungstechnik

In weiten Kreisen der Elektropraktiker besteht eine gewisse Unkenntnis darüber, dass bei Arbeiten an Verbindungs- und Betriebseinheiten der Lichtwellenleiter-Kommunikationstechnik Gefährdungen bestehen. Diese Beitragsreihe informiert über die sicherheitsrelevanten Grundlagen der Lichtwellenleitertechnik.

Prinzip des Lichtwellenleiters

Lichtwellenleiter (LWL) sind im Allgemeinen ähnlich wie Koaxialleitungen aufgebaut, d. h. im Inneren befindet sich eine Glasfaser oder eine Polymer-Faser, die von einem Mantel mit anderen optischen Eigenschaften umgeben ist. Bild ① zeigt den typischen Aufbau eines Lichtwellenleiters und das Prinzip der Führung des Lichtstrahls.

Lichtwellenleiter

Die Glasfaser besteht aus einem Kern und einem Mantel mit anderen optischen Eigenschaften (einem kleineren Brechungsindex). Die in den Lichtwellenleiter eingekoppelten Lichtstrahlen werden beim Auftreffen auf die Grenzschicht zwischen

Kern und Mantel in den Kern total reflektiert. Bei stumpferen Auftreffwinkeln auf die Grenzschicht kann es zu einer Brechung des Strahls in den Mantel hinein kommen. Dies ist z. B. bei sehr kleinen Biegeradien der Faser der Fall und führt zu höheren Transportverlusten (Dämpfung) bis hin zum Strahlaustritt.

Daher ist für Lichtwellenleiter – meist noch abhängig von der Wellenlänge – ein Mindestradius für die Verlegung festgeschrieben.

Die Glasfaser ist von einer Primärbeschichtung umgeben, die zum Schutz vor mechanischen und optischen Einflüssen dient und meist aus einem Kunststoffmaterial besteht. Insbesondere für die Verlegung als Kabel sind die Lichtwellenleiter mit weiteren Schutzhüllen z. B. für den Feuchtigkeitsschutz umgeben (Bild ②).

Gütekriterien

Die mit Lichtwellenleitern übertragbaren Bandbreiten und die überbrückbaren Strecken werden in erster Linie durch

- Dämpfung und
- Dispersion bestimmt.

Dämpfung erfolgt durch Eigenschaften des Lichtwellenleiters, z. B. Absorption, Streuung, Verluste in Steckverbindern und Spleißen.

Dispersion entsteht dadurch, dass die Brechzahl des Lichtwellenleiters wellenlängenabhängig ist und dadurch eine Pulsverbreiterung entsteht, wodurch die übertragbare Bandbreite und die Zahl der Informationseinheiten abgesenkt werden.

Fasertypen

Bei Lichtwellenleitern werden diverse Fasertypen unterschieden.

Einmoden-Fasern

Einmoden-Fasern haben einen sehr kleinen Kerndurchmesser (im Bereich von 10 µm), der bewirkt, dass nur eine Mode (der Grundmode) geführt wird. Es gibt verschiedene Typen von Einmoden-Fasern, die sich in ihren Eigenschaften bzgl. der Dispersion unterscheiden. Einmoden-Fasern haben typischerweise eine Dämpfung von 0,5 dB/km bei 1310 nm bzw. 0,3 dB/km bei 1550 nm.

Mehrmoden-Fasern

In Mehrmoden-Fasern sind mehrere Moden ausbreitungsfähig, was zu einer Modendispersion mit entsprechender Pulsverbreiterung und damit zu einer Bandbreitenbegrenzung führt.

Gradientenindex-Faser

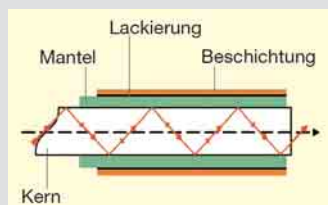
Die Gradientenindex-Faser hat einen entgegengesetzten Verlauf des Kern-Brechungsindex, wodurch Laufzeitunterschiede der einzelnen Moden weitgehend kompensiert werden. Verglichen mit der Einmoden-Faser ist die Bandbreite jedoch geringer und die Dämpfung höher. Der Kerndurchmesser beträgt 50 µm oder 62,5 µm. Die Dämpfung liegt typischerweise bei 3,5 dB/km bei 850 nm und 0,6 dB/km bei 1300 nm.

Stufenindex-Faser

Die Stufenindex-Faser hat ein stufenförmiges Brechzahl-Profil. Der Kerndurchmesser ist wesentlich größer als bei der Einmoden-Faser (im Bereich von 50 µm bis 200 µm). Die Übertragung wird begrenzt durch die hohe Dispersion (geringe Basisbandbreite und Bitrate) und hohe Dämpfung auf kurzen Strecken. Die Stufenindex-Faser hat eine Dämpfung von 5 bis 12 dB/km bei 850 nm.

Polymerfasern

Polymerfasern, gebräuchlich ist auch die Abkürzung POF, werden im Regelfall für



① Prinzipieller Aufbau eines Lichtwellenleiters und Führung des Lichtstrahls in der Faser

② Querschnitt durch einen Lichtwellenleiter

Die Primärbeschichtung der Glasfaser, meist aus Kunststoff, bietet Schutz vor mechanischen und optischen Einflüssen. Insbesondere für die Verlegung als Kabel sind die Lichtwellenleiter mit weiteren Schutzhüllen z. B. für den Feuchtigkeitsschutz umgeben.



Kurzstreckenübertragungen z. B. in Kraftfahrzeugen und Flugzeugen, der Unterhaltungselektronik, auf Rechnerplatinen oder in Gebäudenetzen eingesetzt.

Bei diesen Fasern ist ein Kern aus PMMA (Polymethylmethacrylat) mit einem Durchmesser von 1 mm von einem dünnen Mantel (10 μm) aus Polymer umgeben. Durch Totalreflexion wird das Licht im Kern geführt. Die Polymerfaser ist eine Mehrmoden-Faser, die mit verschiedenen Brechzahlprofilen hergestellt wird:

- Stufenindex-Profil,
- Doppel-Stufenindex-Profil,
- Multi-Stufenindex-Profil,
- Multi-Kern-Profil,
- Gradienten-Index-Profil.

Wie bei anderen Mehrmoden-Fasern auch kommt es durch unterschiedliche Laufzeiten verschiedener Lichtstrahlen (die Modendispersion) zu einer Pulsverbreiterung, so dass die möglichen Bitraten auf etwa 100 MBit/s über 100 m beschränkt sind. Gegenüber der Glasfaser hat die Polymerfaser wesentlich höhere Dämpfungswerte.



③ Stecker für LAN-Neuinstallationen

Das rechteckige Design kann für Multimode- und Monomode-Glasfaser verwendet werden. Die mittlere Einfügedämpfung liegt bei 0,2 dB, die maximale bei 0,4 dB. Der Vorteil solcher Stecker liegt in der Push-Pull-Technik – d. h. der Stecker verriegelt sich automatisch beim Einstecken und entriegelt sich beim Abziehen. Damit lassen sich auch Duplexstecker erstellen (zwei Stecker, verbunden durch einen Duplex-Clip) und Duplex-Verbindungen.

Verbindungstechnik

Lichtwellenkommunikationssysteme installierende oder instandsetzende Personen werden in erster Linie beim Anschluss von Endgeräten (z. B. Sender, Verstärker, Verteiler und Empfänger) eingesetzt werden. Desweiteren beschäftigen sie sich mit dem Aufbau von Netzen, also von fertig konstruierten, durchgehenden Systemen zur Erzeugung, Übertragung und zum Empfang von optischer Strahlung aus Lasern, LED oder optischen Verstärkern, in der die Übertragung durch Lichtwellenleiter für Kommunikations- oder Steuerungszwecke geschieht. Dabei finden vorwiegend folgende drei Verbindungstechniken Anwendung:

1. Optische Steckverbinder

Bei einer optischen Steckverbindung (Bild ③ und ④) müssen die Steckerstirnflächen senkrecht zur Faserachse verlaufen und sauber sein, damit die Steckerstirnflächen beim Verbinden ohne störenden Luftspalt aufeinander gepresst werden können. Daneben ist für eine verlustarme Verbindung eine exakte Justierung der beiden Faserkerne erforderlich, was mit Hilfe einer Präzisionshülse im Steckeradapter geschieht. Optische Steckverbinder sind empfindlich gegenüber äußeren Einflüssen, wie Verschmutzung oder mechanischer Belastung. Die Dämpfung einer Steckverbindung beträgt im Regelfall 0,5 dB.

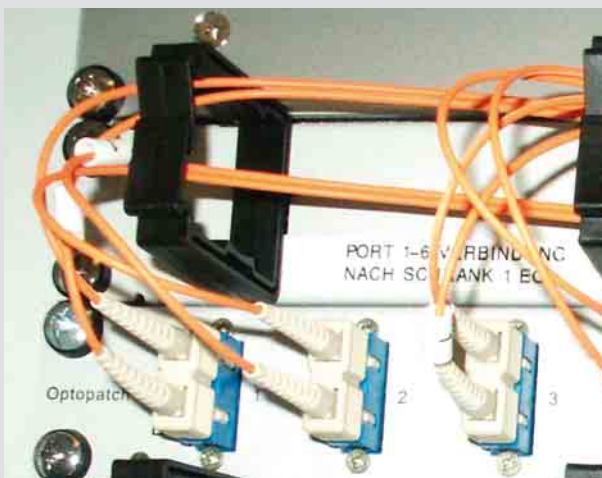
Eine Verschmutzung der Steckerstirnfläche kann bei hoher Laserleistung dazu führen, dass die Glasfaser zerstört wird. Der Staub wird durch die hohe Leistung verdampft, wobei eine so hohe Temperatur entsteht, dass auch die Glasfaser an der Stirnfläche schmilzt. Tafel ① zeigt einige Beispiele für optische Steckver-

binder und die zugehörigen Kupplungen (Adapter).

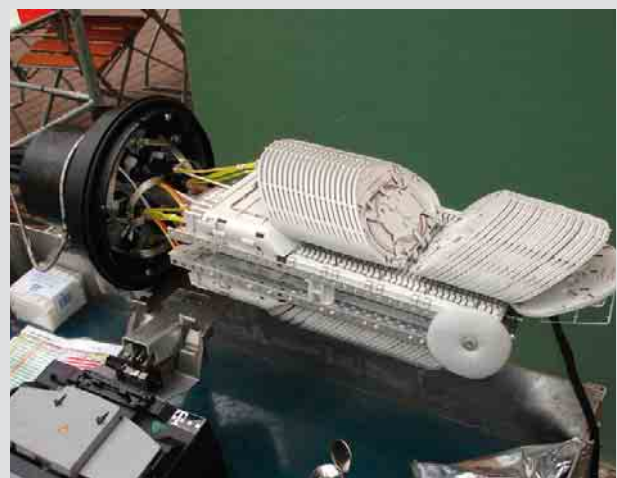
2. Spleißverbindungen

Spleißverbindungen bilden eine nicht lösbare Verbindung zwischen zwei Lichtwellenleitern, die sich durch geringste Dämpfungswerte auszeichnen. Spleißverbindungen können mechanisch (z. B. in einer V-Nut oder in einem eng tolerierten Röhrchen, Crimp-Spleiß), durch Kleben oder durch Schmelzen mittels eines Lichtbogens (Fusions-Spleiß) hergestellt werden. Ziel ist es dabei, die Stirnflächen beider Faserkerne möglichst präzise und dauerhaft voreinander zu fixieren.

Generell werden bei der Schmelz-Spleißtechnik (Fusions-Spleiß) zwei Faserenden mittels eines Lichtbogens miteinander verschweißt. Bevor ein Spleiß ausgeführt werden kann, muss die Beschichtung, die aus Primär- und Sekundärbeschichtung besteht, vom Lichtwellenleiter entfernt werden. Anschließend werden die Faserenden planparallel geschnitten und für den Spleiß axial justiert. Das eigentliche Verschmelzen der beiden Fasern erfolgt durch einen Lichtbogen, der zwischen zwei Elektroden erzeugt wird. Der Fusions-Spleiß zeichnet sich durch niedrige Dämpfungswerte von 0,05 dB (SMF) bzw. 0,1 dB (MMF) aus und hat eine hohe Langzeitstabilität. Diese großen Vorteile der Spleißtechnik erfordern andererseits ein großes Fachwissen und einen relativ hohen Aufwand an Gerät und Arbeitszeit. Die im Bild ⑤ dargestellte Glasfasermuffe enthält mehrere Spleißverbindungen und verbindet mehrere Kabel mit jeweils mehreren Fasern bzw. Lichtwellenleitern miteinander. Hierfür müssen die Glasfaserkabel einzeln gestrippt, verspleißt und in Kasnetten



④ LWLK-Verteilung mit 5/125 μm Multimode-Kabel mit SC-Duplex-Steckern



⑤ Spleißverbindung

Tafel 1 Häufig verwendete optische Steckverbinder und zugehörige Kupplungen

Stecker Typ	Steckverbinder	Kupplung
SC-Stecker (subscriber connector)		
LC-Stecker		
FC/PC-Stecker		
LSH-Stecker (DIN 47256)		
LSH-Stecker (E2000)		
F3000-Stecker		

WEITERFÜHRENDE LITERATUR**BG Vorschriften, Regeln und Informationen**

- Unfallverhütungsvorschrift „Grundsätze der Prävention“ (BGV A1)
- Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B2)
- Unfallverhütungsvorschrift „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz“ (BGV A8)
- BG-Regel „Grundsätze der Prävention“ (BGR A1)
- „Explosionsschutz-Regeln EX-RL“ (BGR 104)
- BG-Information „Sicherheit durch Betriebsanweisungen“ (BGI 578)
- BG-Information „Betrieb von Laser-Einrichtungen“ (BGI 832)
- BG-Information „Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen“ (In Vorbereitung).
- BG-Information „Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWKS)“ (BGI 5031)

Normen

- DIN EN 207 „Persönlicher Augenschutz, Filter und Augenschutz gegen Laserstrahlung (Laser-Schutzbrillen)“
- DIN EN 208 „Persönlicher Augenschutz, Brillen für Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justierbrillen)“
- DIN EN 12254 „Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung“
- DIN EN 60825-1 (VDE 0837 Teil 1) „Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien“
- DIN EN 60825-2 (VDE 0837 Teil 2) – ; „Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen“.

eingelegt werden. Durch diese Kassetten wird erreicht, dass bei Störungen einer Faser die übrigen Fasern unbeeinflusst bleiben. Da Muffen mehr als 200 einzelne Fasern aufnehmen können, muss im Interesse eines zuverlässigen Betriebes das Spleissen von erfahrenen Fachkräften (Befähigte Person) sorgfältig durchgeführt werden. Das kann längere Zeit – auch mehrere Tage – erfordern.

3. Steckbuchsen – Receptacles

Neuere optische Sende- und Empfangsbauteile (Transceiver) sind in einem Gehäuse mit Steckbuchsen („receptacle“) integriert, sodass diese Bauteile keine Glasfasern mit Stecker mehr als Anschluss enthalten. Stattdessen werden die Verbindungskabel des LWLKS zur Übertragungsstrecke oder zum Lichtwellenleiterverteiler direkt in die Steckbuchsen des sog. Transceivers gesteckt. Diese kann man sich wie ein halbe Stecker-Kupplung vorstellen.

Die Dämpfung vom Sender zur Glasfaser oder von der Glasfaser zum Empfänger kann dabei höher sein als bei einer Steckverbindung mit zwei optischen Steckern und einer Kupplung, da oft der freie Strahl aus dem Sender in den Stecker der Glasfaser eingekoppelt wird.

Die Arbeitsstellen sind von allen einspeisenden Übertragungssystemen ähnlich wie bei der Freischaltung elektrischer Anlagen an den zugehörigen Lichtwellenleiter-Verteilern abzutrennen. Dieser

Grundsatz ist auch bei ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen wenn immer möglich zu beachten.

Gefährdungen durch Laserstrahlung

In Anhang 4 der BGI 5031 werden in allgemeiner Form die möglichen Gefährdungen durch Laserstrahlung aus LWLKS beschrieben. Danach werden die Wirkungen der Laserstrahlung auf den Menschen in primäre (unmittelbare, direkte) und sekundäre (mittelbare, indirekte) Wirkungen aufgeteilt.

Primäre Wirkung

Eine primäre Wirkung tritt ein, wenn ein Laserstrahl direkt, gespiegelt oder bei hohen Leistungsdichten auch gestreut auf menschliches Gewebe trifft. Die Wirkung ist sowohl abhängig

- von den Parametern des Laserstrahls, wie Bestrahlungsstärke, Bestrahlungsdauer und Impulswiederholfrequenz, als auch
- von den optischen Eigenschaften des Gewebes (wie Absorption, Reflexion und Streuung).

Dies kann zu starken Temperaturerhöhungen führen, die mit Gewebe-Koagulationen (biochemische Umwandlung von Proteineiweißen) bis hin zum Auftreten von Mikropfasern verbunden sind. Die Wirkungen bei unterschiedlichen Wellenlängen

gebieten wurden bereits in allgemeiner Form in Lernen und Können 01–09, S. 10, Tafel 1 dargestellt.

In der Telekommunikation wird hauptsächlich der Bereich zwischen 700 und 1650 nm genutzt. Dabei tritt der Strahl in der Haut allenfalls wenige Millimeter tief in das Gewebe ein und wird gut absorbiert.

Das Auge ist gegenüber der Strahlung besonders empfindlich, da es optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm auf die Netzhaut fokussieren kann. Durch die Augenlinse kann parallel einfallende Strahlung auf der Netzhaut zu einem Brennpunkt mit einem Durchmesser von etwa 10 µm gebündelt werden. Dadurch kann die vorhandene Bestrahlungsstärke bis auf das 500 000fache vergrößert werden.

Bei unsichtbarer Infrarotstrahlung (> 700 nm) werden keinerlei optische Warnreize wahrgenommen, und beim Erkennen einer Gefährdung kann es bereits zu spät sein.

Sekundäre Wirkung

Unter einer sekundären Wirkung wird das Gefahrenpotential verstanden, das erst durch Einwirkung des Laserstrahls auf Stoffe aller Art entsteht, wenn z. B. ein Laserstrahl zur Zündquelle für explosionsfähige Atmosphären oder brennbare Stoffe wird oder durch die entstehenden hohen Temperaturen toxische Stoffe freigesetzt werden.

H. H. Egyptien