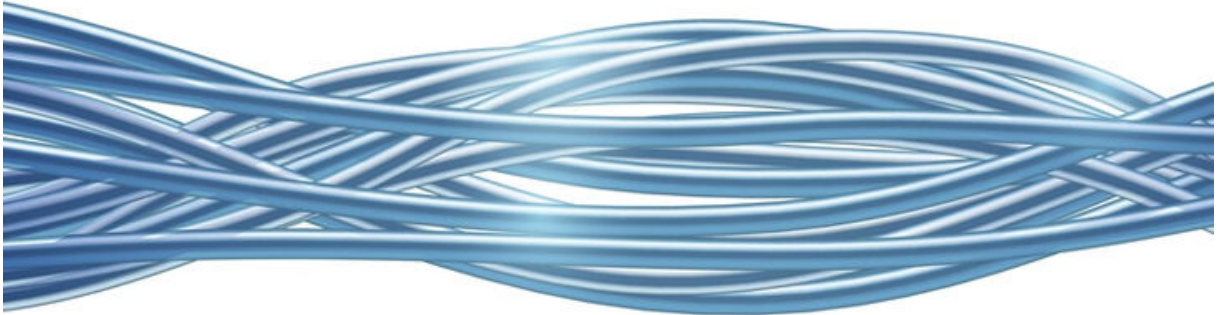


Rückstreuungsmessung an Lichtwellenleitern

12.02.2014, 07:45 Uhr

Kommentare: 0

Sicher arbeiten



Lichtwellenleiter bzw. Glasfaser sind aus der heutigen Datenübertragungstechnik nicht mehr wegzudenken. (Bildquelle: Batareykin/iStock/Getty Images)

Durch die hohe Übertragungskapazität der Glasfaser steigt die Nachfrage nach dieser Technologie im Bereich von Computernetzwerken und in der Telekommunikation kontinuierlich.

Zur Übergabe eines neu installierten LWL-Kabelnetzes ist es heutzutage unumgänglich, Abnahmemessungen und die dazu geforderte Dokumentation durch Rückstreudiagramme und deren Auswertung mithilfe einer geeigneten Software zu erstellen.

Die optische Zeitbereichsreflektometrie oder Rückstreuungsmessung (Optical Time Domain Reflectometry) ist ein universelles Verfahren zum Messen und Testen von Lichtwellenleitern. Mit dem OTDR-Verfahren können Defekte in LWL-Kabeln sehr genau erkannt und lokalisiert, aber auch übertragungstechnische Parameter gemessen und analysiert werden.

Trotz sehr bedienerfreundlicher Messgeräte ist ein intensives fachliches Know-how der prinzipiellen Wirkungsweise der Lichtwellenleiter sowie deren Messverfahren erforderlich, um die Testergebnisse auch richtig interpretieren zu können.

Lichtwellenleitertechnologie

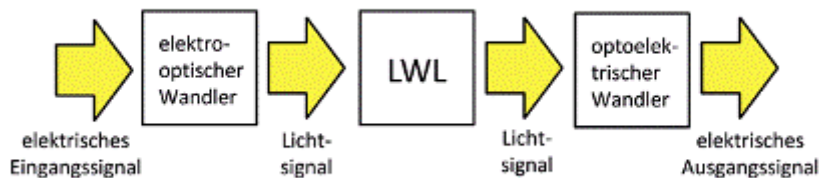
Das Prinzip der optischen Informationsübertragung

Ein elektrisches Signal moduliert in einem Sendemodul einen optischen Träger und erzeugt damit ein optisches Signal. Die Modulation kann analog oder digital erfolgen.

Als Sender kommen Lumineszenz- oder Laserdioden zum Einsatz. Das optische Signal der Senderdioden wird in den Lichtwellenleiter eingekoppelt, wobei auf eine hohe Qualität der Einkopplung zu achten ist, um die Einkoppelverluste möglichst minimal zu halten.

Der Lichtwellenleiter kann für geringe Anforderungen ein Multimode-Stufenprofil-LWL sein. Für höhere Anforderungen kommt der Gradientenprofil-LWL zum Einsatz. Bei höchsten Anforderungen bezüglich Dämpfung und Dispersion kommen nur Singlemode-LWL infrage.

Am Ende der Übertragungsstrecke wird das optische Signal mithilfe des Empfängermoduls in ein elektrisches Signal gewandelt und gegebenenfalls verstärkt und demoduliert. Die optisch-elektrische Wandlung übernimmt eine PIN- bzw. Lawinen-Fotodiode.



Optische Informationsübertragung

Das Übertragungssystem kann dämpfungsbegrenzt bzw. dispersionsbegrenzt sein.

Dämpfungsbegrenzung heißt, dass die maximal realisierbare Streckenlänge durch die Dämpfung im System begrenzt ist. Das heißt, die am Empfänger gemessene Leistung darf einen bestimmten Wert nicht unterschreiten, damit das Signal noch fehlerfrei oder mit einer noch zulässigen Fehlerrate detektiert werden kann.

Dispersionsbegrenzung heißt, dass die maximal realisierbare Streckenlänge durch die Dispersion im System begrenzt wird. Dabei versteht man unter Dispersion eine Impulsverbreiterung während der Ausbreitung entlang des Lichtwellenleiters.

Signalausbreitung im Lichtwellenleiter

Lichtstrahlen und ihre geometrische Optik

Der einfachste Weg, die Fortbewegung von Licht in Glasfaser-Systemen zu beschreiben, ist die Strahlentheorie. Licht wird wie ein einfacher Strahl behandelt, in Form einer Linie. Ein Pfeil auf der Linie gibt die Ausbreitungsrichtung an. Die Reise des Lichts durch Glasfaser-Systeme kann dann mittels simpler Geometrie analysiert werden. Auf diese Art und Weise wird die ganze Thematik einfach und verständlich.

Der Lichtwellenleiter besteht aus einem Kern (Core) und einem Mantel (Cladding) aus hochreinem Quarzglas. Unmittelbar nach dem Ziehen des LWL wird eine Schutzschicht aus weichem Kunststoff auf den Mantel aufgebracht. Dieses sogenannte Primärcoating soll vor allem das Eindringen von Feuchtigkeit verhindern, die Glasfaser vor mechanischer Einwirkung schützen und ihr Biegsamkeit verleihen.

Das Grundprinzip der Signalausbreitung im Lichtwellenleiter beruht auf der Totalreflexion.

Fällt ein Lichtstrahl auf eine Grenzfläche zwischen einem optisch dichteren und einem optisch dünneren Medium, so wird dieser Strahl in Abhängigkeit von seinem Einfallswinkel gebrochen oder totalreflektiert. Die Totalreflexion wird im LWL realisiert, indem man auf das optisch dichtere Kernmaterial einen optisch dünneren Mantel aufbringt. Das heißt, der

Brechungsindex des Kerns ist stets höher als der des Mantels. Der Brechungsindex drückt das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit zur Geschwindigkeit der Lichtstrahlen in einem anderen Material aus. Die Lichtgeschwindigkeit ist genau genommen die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Energie in Vakuum und hat einen Betrag von 300.000 km/s. In anderen Materialien (z.B. Glas) besitzt Licht eine geringere Geschwindigkeit. Wie stark der Lichtstrahl gebrochen wird, hängt von den Brechungsindizes der beiden Materialien ab.

Die Vorgänge der Brechung und Reflexion von „Lichtstrahlen“ werden ausgenutzt, um Lichtsignale in Lichtwellenleiter einzukoppeln und darin zu führen. Die Beschreibung als Strahlen ist grundsätzlich vereinfachend, da es sich bei Licht um elektromagnetische Wellen handelt.

Lichtwellenleiter-Typen

Multimode-Stufenindex

Der Brechungsindex ändert sich beim Übergang zwischen Faserkern und Mantel stufenartig, daher der Name Stufenindex. Bei dieser Art der Glasfaser breiten sich sehr viele Moden im Kern aus (Multimode = mehrere Moden). Die Moden werden am Kern-Mantel-Übergang totalreflektiert. Dabei gibt es Moden, die sehr steil sehr viele Moden im Kern aus (Multimode = mehrere Moden). Die Moden werden am Kern-Mantel-Übergang totalreflektiert. Dabei gibt es Moden, die sehr steil verlaufen und daher sehr oft auf ihrem Weg durch den Kern reflektiert werden (Moden höherer Ordnung) und Moden, die sehr flach verlaufen und nur selten (oder idealerweise gar nicht) reflektiert werden (Moden niedriger Ordnung). Die Ausbreitungsgeschwindigkeit aller Moden ist gleich, da der Brechungsindex des Kerns sich bei der Stufenindex-Glasfaser nicht ändert. Daher kommen die Moden niedriger Ordnung eher am Ziel (Empfänger) an als die Moden höherer Ordnung, da diese durch die häufigere Reflexion und dem damit verbundenen Zickzack-Kurs eine längere Wegstrecke zurücklegen. Diese Laufzeitunterschiede führen zu einer Signalverbreiterung. Diesen Effekt nennt man Modendispersion und er begrenzt die Bandbreite der Stufenindex-Multimode-Glasfaser so stark, dass diese Art der Glasfaser im Bereich der Telekommunikations-Verkabelung eine sehr geringe Bedeutung hat.

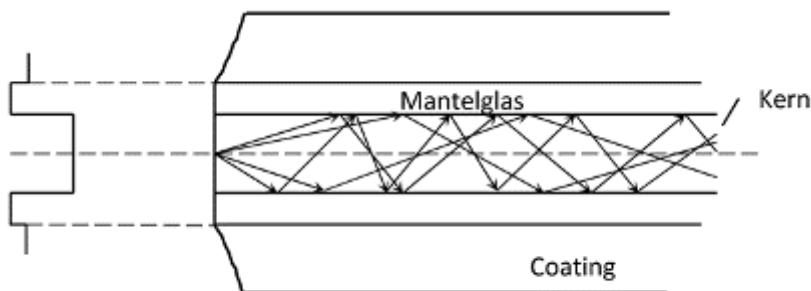
Tipp der Redaktion



Das Nachschlagewerk für die Elektrofachkraft

Organisation, Durchführung und Dokumentation elektrotechnischer Prüfungen – „Elektrosicherheit in der Praxis“ unterstützt Sie bei der Umsetzung der Elektrosicherheit in Ihrem Unternehmen.

[Jetzt testen!](#)



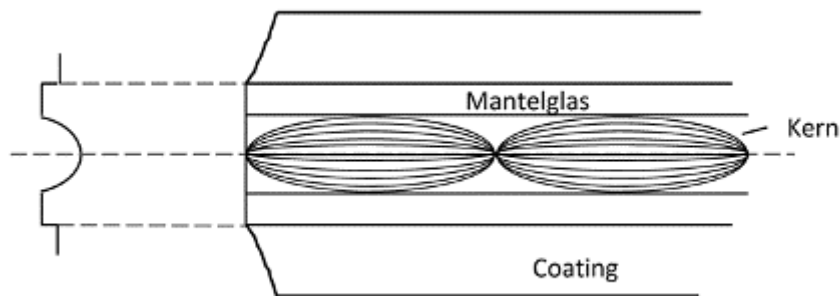
Multimode-Stufenindex-Faser

Multimode-Gradientenindex

Bei Gradientenindex-Glasfasern nimmt der Brechungsindex des Kerns von der Kernmitte zum Mantelglas hin ab. Dadurch existiert kein „harter“ Übergang zwischen Kern und Mantelglas. Der Kern besteht aus vielen einzelnen „Glasringen“ (wie Jahresringe eines Baums), jeder mit einem gering unterschiedlichen Brechungsindex. Durch diese allmähliche Abnahme des Kern-Brechungsindex werden die Moden nicht reflektiert, sondern gebeugt bzw. gebrochen. Die Geschwindigkeit der einzelnen Moden ist im Gegensatz zur Stufenindex-Faser nicht gleich, da der Brechungsindex im Kern – bedingt durch den Gradientenaufbau – nicht konstant ist. Je niedriger der Brechungsindex, desto größer die Geschwindigkeit der Moden.

Moden höherer Ordnung verlaufen nahe am Mantelglas. Dort ist der Brechungsindex niedriger als in der Kernmitte. Daher sind die Moden höherer Ordnung schneller als die Moden niedriger Ordnung. Dies führt dazu, dass die Moden höherer Ordnung zur gleichen Zeit am Ziel ankommen wie die Moden niedriger Ordnung, obwohl diese einen kürzeren Weg zurücklegen. Die Laufzeitunterschiede (die Modendispersion) sind bei dieser Art von Glasfaser sehr viel geringer als bei der Stufenindex-Faser. Sie hat daher eine deutlich

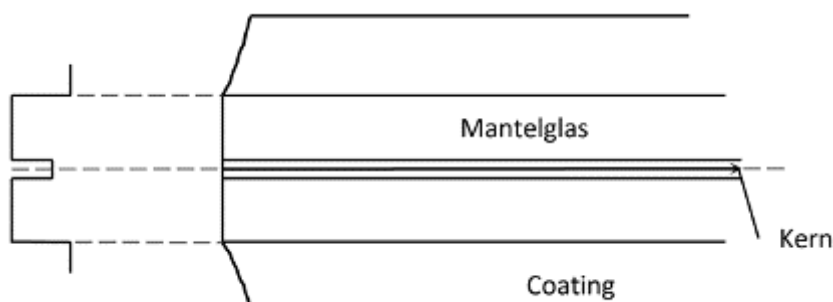
höhere Bandbreite und ist bei Telekommunikations-Verkabelungen mit Multimode-Kabel (mit einem Kerndurchmesser von 50 µm oder 62,5 µm) erste Wahl.



Multimode-Gradientenindex-Glasfaser

Singlemode-Stufenindex

Ein weiterer Weg, die Modendispersion zu reduzieren, ist die Verkleinerung des Kerndurchmessers (9 µm), sodass nur eine Mode (Singlemode) effizient transportiert wird. Dadurch existiert bei Singlemode-Glasfasern keine Modendispersion, was in einer sehr hohen Bandbreite resultiert. Die gängige Singlemode-Glasfaser gehört zur Familie der Stufenindex-Fasern und wird vor allem bei Langstrecken oder für sehr hohe Bandbreiten eingesetzt.



Singlemode-Stufenindex-Glasfaser

Optische Dämpfung der Glasfaser

Unter dem Begriff optische Dämpfung versteht man den Verlust der Lichtenergie in der zurückgelegten Glasfaser-Strecke, d.h. am Empfänger ist die ankommende Lichtenergie geringer als die vom Sender in die Glasfaser eingespeiste. Die Dämpfung wird, wie in der Nachrichtentechnik üblich, in Dezibel (dB) angegeben und nach folgender Formel berechnet:

$$D \text{ (in dB)} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{ein}}}{P_{\text{aus}}} \right)$$

mit P_{ein} als Sendeleistung und P_{aus} als Empfangsleistung. Die Dämpfung steigt mit der Länge, daher wird aus Gründen der einheitlichen Betrachtung von Glasfasern der Dämpfungswert bezogen auf einen Kilometer angegeben (dB/km).

Die auftretende Dämpfung begrenzt die Leistungsfähigkeit der optischen Nachrichtenübertragungssysteme und wird durch drei Effekte verursacht: die

Streuungsverluste, die Absorption und die Krümmungsverluste.

Dämpfungsursache 1: Lichtstreuung

Werkstoff-Unreinheiten bzw. Unregelmäßigkeiten innerhalb der molekularen Struktur des Quarzglas streuen den Lichtstrahl bei dessen Aufprall in alle Richtungen, d.h. der Lichtstrahl verliert seine ursprüngliche Richtung, was zu einer Dämpfung in Ausbreitungsrichtung führt. Diese Lichtstreuung (Rayleigh-Streuung) ist abhängig von der Wellenlänge. Mit zunehmender Wellenlänge nimmt die Rayleigh-Streuung ab.

Die Rayleigh-Streuung ist der Grund für z.B. das Abendrot. Die kürzeren Wellenlängen des blauen Lichts werden gestreut bzw. absorbiert, die längeren Wellenlängen des roten Lichts werden sehr viel weniger gestreut und erreichen unser Auge. Das Ergebnis ist ein roter Sonnenuntergang.

Die Dämpfung ist somit abhängig von der Wellenlänge der Moden (Lichtstrahlen), die sich im Faserkern fortbewegen.

Dämpfungsursache 2: Lichtabsorption

Absorption im Bereich der nachrichtentechnisch genutzten Wellenlängen entsteht durch Verunreinigungen des Quarzglas durch OH- und Schwermetallionen (Kupfer, Eisen, Nickel, Chrom, Vanadium und Kobalt). Diese Verunreinigungen wandeln die optische Energie in Wärme um. Bei der Glasfaserherstellung wird angestrebt, diese Verunreinigungen im Quarzglas so gering wie möglich zu halten. Besondere Beachtung finden hierbei die Hydroxyl-Ionen, die immer im Glas vorhanden sind. Diese Ionen bewirken sehr hohe Dämpfungsmaxima im Dämpfungsverlauf des Glases.

Durch Streuung und Absorption bilden sich in Lichtwellenleitern Wellenlängenbereiche aus, in denen die Dämpfung geringer ist als in anderen Bereichen. Diese Bereiche nennt man optische Fenster und liegen bei 850 nm, 1.300 nm und 1.550 nm.

Für die Übertragung in optische Netze hat die internationale Fernmeldeunion (ITU) insgesamt sechs Wellenlängenbereiche im zweiten und dritten optischen Fenster definiert. Das O-Band liegt danach im zweiten optischen Fenster. Das E-Band, S-Band, C-Band, L-Band und U-Band liegen im dritten optischen Fenster.

Für die Übertragung in lokalen Netzen wird oftmals der untere Wellenlängenbereich bei 850 nm (F1) in Multimode-Fasern benutzt.

Dämpfungsursache 3: Krümmungen

Die dritte Ursache für die Dämpfung stellen Krümmungen (Bending) in der Faser dar. Dabei muss zwischen mikroskopischen Krümmungen (Microbending) und makroskopischen Krümmungen (Macrobending) unterschieden werden.

Mikroskopische Krümmungen ergeben sich aufgrund von mikroskopischen Ungenauigkeiten in der Fasergeometrie, wie Asymmetrie der Faser, Schwankungen im Kerndurchmesser und welligen Begrenzungen zwischen Faserkern und Mantel, oder aufgrund des Fertigungsprozesses durch mechanische Spannungen, hervorgerufen durch Druck, Spannung oder Verwindung.

Faserkrümmungen mit Krümmungsradien in der Größenordnung von Zentimetern werden als makroskopische Krümmungen bezeichnet. In diesem Fall ergeben sich die Verluste aufgrund der unvollständigen Totalreflexionen des Lichts an den gekrümmten

Grenzflächen zwischen Kern und Mantel. In Monomode-Fasern wird durch diesen Effekt ein Teil der geführten Fundamentalmoden in Strahlungsmoden umgewandelt und im Mantel der Faser absorbiert.

Vorbereitung der Lichtwellenleiter zum Messen

1. Vor dem Arbeiten an LWL-Fasern sind alle Strahlungsquellen auszuschalten und gegen unbefugtes Wiedereinschalten zu sichern.

Achtung

Niemals mit bloßem Auge in die Faser schauen! Unbedingt Laserschutzbrille tragen!

2. Coating (Primärbeschichtung) von den Faserenden mit einer Millerzange ca. 50 mm entfernen.



Millerzange

3. Faser mit einem fusselfreien Tuch und hochreinem Alkohol (Isopropyl-Alkohol > 99 %) säubern.

4. Brechgerät verwenden, das reproduzierbar einen Brechwinkel von $90^\circ \pm 1^\circ$ erzeugt.

5. Brechlänge am Faserbrechgerät auf 10 mm einstellen oder Skalierung am Brechgerät beachten.

6. LWL-Faser, wie im Handbuch des Herstellers beschrieben, brechen.

Wichtiger Hinweis

Nach dem Brechen der LWL-Faser diese nicht mehr reinigen und nirgendwo berühren.

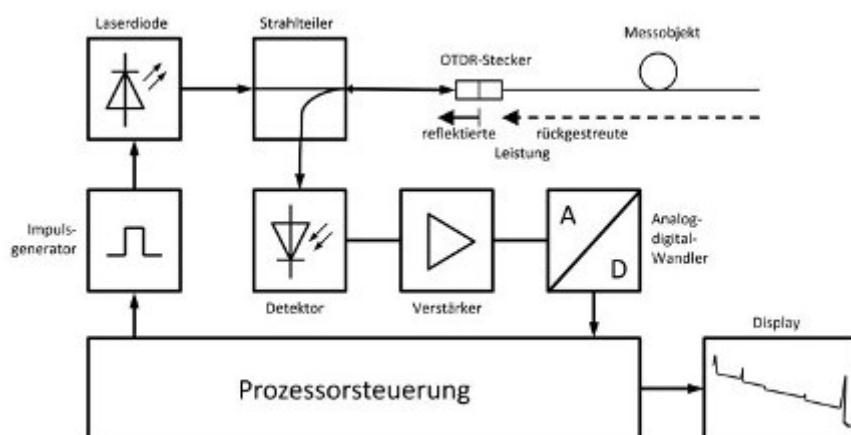


Einfaches LWL-Trenngerät

Messverfahren

Das Funktionsprinzip der Rückstreuungsmessung ist aus der Abbildung ersichtlich. Bei diesem Messverfahren wird ein kurzer, leistungsstarker Laserimpuls (10–100 ns; 100–500 mW) einer bestimmten Länge, über einen Strahlteiler und Gerätestecker an einem Ende in den zu messenden Lichtwellenleiter eingekoppelt. Der Lichtwellenleiter bewirkt aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften den Rückfluss eines geringen Anteils der eingekoppelten Lichtleistung (Rückstreulicht).

Das Rückstreuungsmessgerät misst die Lichtleistung und die Zeit für Hin- und Rücklauf die nach einem Sendeimpuls bis zu dessen Echo entsteht (Laufzeit). Das Echo des Impulses erscheint nach der doppelten Zeit, die das Signal bis zur messenden Stelle im LWL braucht, wieder am Detektor des Messgeräts.



Das Grundprinzip der Rückstreuungsmessung

Die an den Grenzschichten (z.B. Glas-Luft) entstehenden Reflexionssignale weisen, im Vergleich zu den Streusignalen, sehr hohe Pegel auf. Diese Spitzen verursachen eine Übersteuerung des Empfängers, vergleichbar einer Blendung des menschlichen Auges. Dies ist die Ursache der „Totzonen“, die die minimale Faserlänge bzw. den minimal messbaren Abstand zwischen zwei Reflexionsstellen festlegen. Bei Messungen ist zu beachten, dass der Anfangspunkt der Totzone maßgeblich ist, da er den Entstehungsort

der Reflexion darstellt.

Autor:

[Udo Mathiae](#)

Leiter für elektrische Instandhaltung



Udo Mathiae ist Leiter für elektrische Instandhaltung bei einem internationalen Elektrotechnik-Unternehmen (Glasfaserproduktion) in Augsburg.

Autor:

[Lic. jur./Wiss. Dok. Ernst Schneider](#)

Inhaber eines Fachredaktionsbüros



Ernst Schneider ist Mitglied in der Sektorgruppe Elektrotechnik (ANP-SGE) und in der Themengruppe Produktkonformität (ANP-TGP) des Ausschusses Normenpraxis im DIN e.V.

Er veröffentlichte bereits eine Vielzahl von Büchern, Fachzeitschriften und elektronischen Informationsdiensten. Seit 2004 ist er außerdem Unternehmensberater für technologieorientierte Unternehmen.