



REFERENZHANDBUCH GLASFASER-VERKABELUNG

Technik E-Book-Serie – Nr. 1 von 4

- Einleitung
- Überblick über die Grundlagen der Glasfaser-Übertragung

FLUKE
networks®

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Überblick über die Grundlagen der Glasfaser-Übertragung	5
Aufbau	5
Reflexion und Brechung	6
Signalisierung	8
Anforderungen für eine zuverlässige Übertragung	9
Bandbreite	17
Glasfaserarten	18
In Kürze verfügbar	20
Lösungen von Fluke Networks für Glasfaser-Messung und -Fehlersuche.....	21
Online-Ressourcen	22

Einleitung

Glasfaser ist eine faszinierende und doch etwas rätselhafte Technik. Der Bedarf nach höherer Leistung bei der Datenübertragung wächst weiter, da auch die Applikationen für das Netzwerk immer mehr zunehmen. Diese höheren Übertragungs-Geschwindigkeiten erfordern eine Verkabelung mit höherer Bandbreite, und Glasfaser-Infrastruktur wird hier zunehmend bevorzugt.

Das vorliegende E-Book soll einen praktischen Einblick in die Technologie bieten. Es ist ein Versuch, ein hoch technisches Thema auf möglichst einfache und intuitive Weise zu präsentieren.

Das E-Book richtet sich an alle, die in diesem Feld neu sind oder die den scheinbar unvermeidlichen technischen Fachjargon nicht verstehen. Es bietet eine Einführung in die grundlegenden Konzepte der Glasfaser-Technik und vermittelt dem Leser ein gutes Gefühl dafür, wie die Technologie wirklich funktioniert, anstatt langweilige Gleichungen zu zitieren.

Glasfaser ist ein zuverlässiges und kostengünstiges Übertragungsmedium, da die sehr kleinen Fasern präzise ausgerichtet werden müssen, können Probleme auftreten, die von Verunreinigung der Endflächen bis hin zu Schäden an der Verkabelungsstrecke reichen. Unabhängig von den Gründen ist die Eingrenzung der Fehlerquelle oft eine zeitaufwendige und ressourcenintensive Aufgabe.

Aus diesem Grund hat Fluke Networks auch ein speziell auf Unternehmen ausgerichtetes E-Book für Glasfaser-Messungen und -Fehlersuche erstellt, das in folgenden Bereichen hilfreich sein kann: 1) zuverlässige Beurteilung der Qualität der Kabelinstallation und 2) effiziente Fehlerbehebung, damit die Ursache des Problems schneller ermittelt und Korrekturmaßnahmen schneller ergriffen werden können. Dieses E-Book **können** Sie ebenfalls von der Website von Fluke Networks herunterladen.



FI-3000
FiberInspector™ Ultra

Überblick über die Grundlagen der Glasfaser-Übertragung

Aufbau

Glasfaserkabel besteht aus extrem dünnen Fasern aus ultrareinem Glas, das für die Übertragung von Lichtsignalen entwickelt wurde. **Abbildung 1** zeigt den Aufbau einer Hohlader, der Grundkomponente vieler Glasfaserkabel. Das Zentrum einer einzelnen Faser wird als „Kern“ bezeichnet. Im Kern (Core) erfolgt die eigentliche Übertragung der Lichtsignale. Der Kern wird von einer Glasschicht, dem sogenannten „Mantel“, umgeben. Der Mantel (Cladding) sorgt dafür, dass das Licht im Kern bleibt. Der äußere Bereich der Glasfaser ist die Beschichtung (Coating) oder der „Füllung“. Die Füllung (Buffer), in der Regel ein Kunststoffmaterial, bietet Schutz und erhält die Festigkeit der Glasfaser.

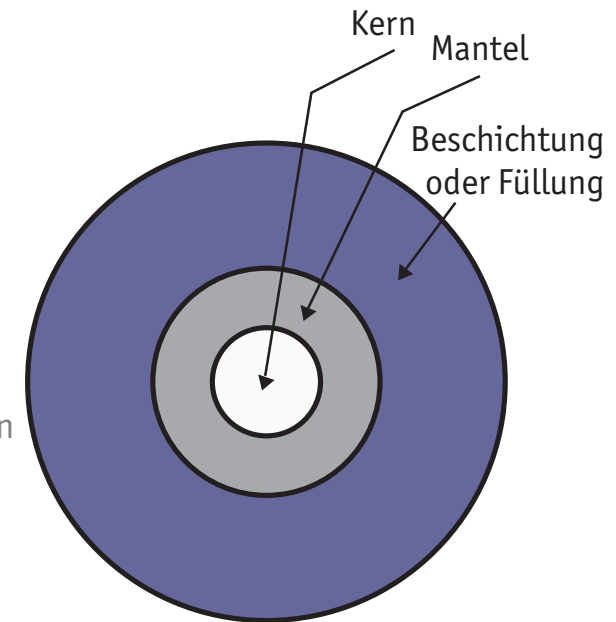


Abbildung 1: Querschnitt einer Glasfaser.

Ein verbreiteter Außendurchmesser für den Mantel beträgt 125 Mikrometer (μm) oder 0,125 mm. Der Durchmesser des Kerns bei einem Glasfaserkabel, welches häufig für die Infrastruktur von Gebäuden verwendet wird, beträgt 62,5 μm , 50 μm oder 9 μm . Bei den größeren Durchmessern, 62,5 μm und 50 μm , handelt es sich um Multimode-Faser, während Singlemode-Fasern den kleineren Durchmesser mit einem Nennwert von 9 μm haben.

Reflexion und Brechung

Die Glasfaser-Technik basiert auf dem Prinzip der Totalreflexion. **Abbildung 2** veranschaulicht dieses Prinzip am Beispiel von Licht, das von Luft in Wasser strahlt. Wenn Licht in einem Einfallswinkel θ_i auf die Wasseroberfläche trifft, der kleiner als der kritische Winkel θ_{kritisch} ist, scheint es in das Wasser, ändert aber an der Grenze zwischen Luft und Wasser die Richtung (Brechung). Wenn ein Lichtstrahl in einem Winkel auf die Wasseroberfläche trifft, der größer als der kritische Winkel ist, wird das Licht von der Wasseroberfläche reflektiert. Jedes Material hat einen charakteristischen Brechungsindex, der durch das Symbol n repräsentiert wird. Dieser Brechungsindex ist das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (c) zu seiner Geschwindigkeit in einem bestimmten Medium (v).

$$n = c/v$$

Der Brechungsindex im Vakuum (Weltraum) beträgt 1 ($v = c$). Der Brechungsindex für Luft (n_1) beträgt 1,003, liegt also etwas höher als im Vakuum, während der Brechungsindex für Wasser 1,333 beträgt. Ein höherer Wert des Brechungsindex n für ein Material lässt erkennen, dass sich das Licht in diesem Material langsamer fortbewegt. Das Licht durchdringt Luft schneller als Wasser. Der Kern einer Glasfaser hat einen höheren Brechungsindex als der Mantel. Das

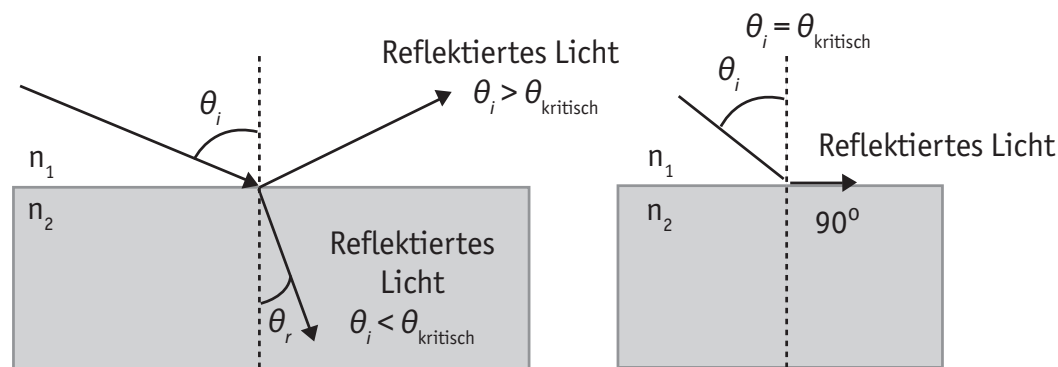


Abbildung 2: Prinzip der Totalreflexion. Die Lichtmenge, die abgelenkt wird, ergibt sich aus: $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$ (Snell'sches Gesetz).

Licht, das in einem Einfallswinkel auf die Grenze zwischen Kern und Mantel trifft, der größer ist als der kritische Winkel, wird reflektiert und bewegt sich innerhalb des Kerns weiter. Dieses Prinzip der Totalreflexion bildet die Grundlage für die Glasfaser-Technik. Der kritische Winkel ist eine Funktion des Brechungsindex der beiden Medien, in diesem Fall des Glasmaterials im Kern und des Glasmaterials im Mantel. Der Brechungsindex für den Kern liegt typischerweise bei ca. 1,47, der Brechungsindex für den Mantel bei ca. 1,45.

Numerische Apertur

Aufgrund dieses Prinzips können wir einen imaginären Kegel mit einem Winkel α_i beschreiben, der mit dem kritischen Winkel zusammenhängt (siehe **Abbildung 3**). Wenn das Licht von innerhalb dieses Kegels in das Faserende eintritt, wird es vollständig reflektiert und bewegt sich durch den Kern. Dieser imaginäre Kegel hängt mit dem Begriff „numerische Apertur“ (NA) zusammen, der Fähigkeit der Faser Licht aufzunehmen. Licht, das von außerhalb dieses Kegels in das Faserende gelangt, wird in den Mantel abgelenkt, wenn es die Grenze zwischen Kern und Mantel erreicht; es verbleibt also nicht innerhalb der Faser.

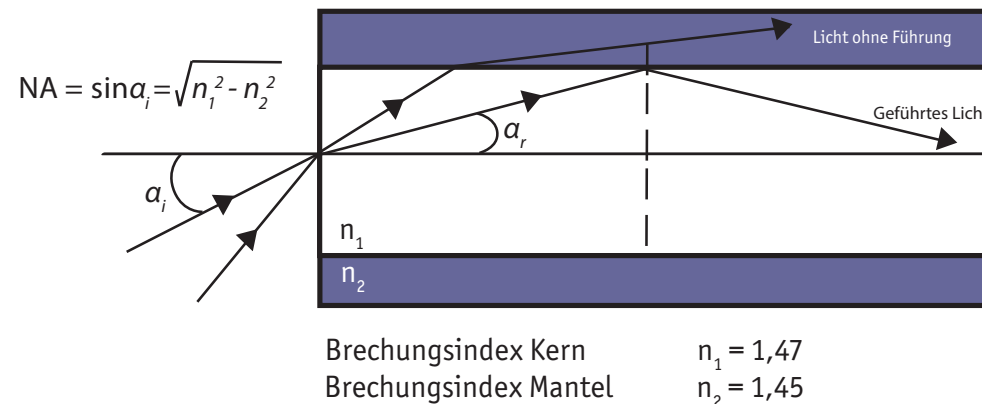


Abbildung 3: Numerische Apertur und Totalreflexion: Licht, das mit einem Winkel α_i , der kleiner ist als der kritische Winkel, in die Glasfaser eintritt, bewegt sich durch den Kern.

Signalisierung

Local Area Networks (LAN) wie Ethernet und Fibre Channel übertragen Impulse, die digitale Informationen darstellen. Das Bit (kurz für engl. „Binary Digit“, also binäre Ziffer) ist die Grundeinheit digitaler Informationen. Diese Einheit kann nur einen von zwei Werten annehmen: 0 oder 1. Zahlenwerte werden in Binärzahlen umgewandelt. Andere Daten, wie z. B. Buchstaben, werden in einer Bitzeichenfolge codiert. Elektronisch wird der Wert eines Bits mit dem Zustand „Ein“ oder „Aus“ dargestellt. Digitale Informationen werden entsprechend als serielle Folge von Lichtimpulsen über die Glasfaserverbindung übertragen. Der Zustand „Ein“ steht für ein Bit mit dem Wert 1 und der Zustand „Aus“ für ein Bit mit dem Wert 0. **Abbildung 4** stellt ein Beispiel für solche digitalen Informationen dar, die über ein Glasfaserkabel übertragen werden.

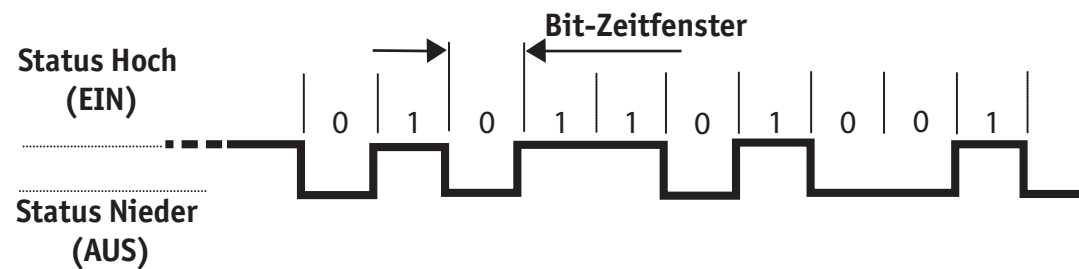


Abbildung 4: Eine typische Impulsfolge zur Darstellung digitaler Daten.

Die Darstellung der Impulse in **Abbildung 4** ist „idealisiert“. In der Realität haben Impulse begrenzte Anstiegs- und Abfallzeiten. **Abbildung 5** beschreibt die Hauptmerkmale eines Impulses. Die Anstiegszeit gibt die Zeit an, die erforderlich ist, um das Licht in den Zustand „Ein“ zu schalten. Sie ist in der Regel durch die Zeit gekennzeichnet, die zum Übergang von 10 % auf 90 % der Amplitude benötigt wird. Die Abfallzeit ist das Gegenstück zur Anstiegszeit und steht für die Dauer, die nötig ist, um das Licht von „Ein“ auf „Aus“ zu schalten. Anstiegs- und Abfallzeit sind kritische Parameter. Sie bestimmen die Obergrenze für die Rate, mit der das System Impulse erzeugen und übertragen kann.

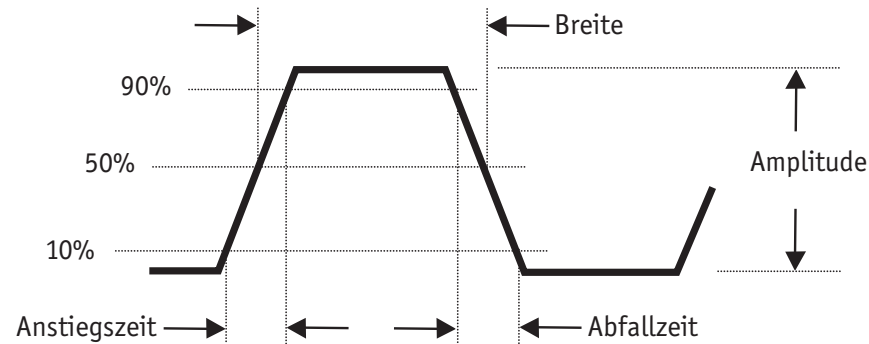


Abbildung 5: Analyse eines Impulses.

Bei einer Übertragung von einer Milliarde oder mehr Bit pro Sekunde (Datenrate von 1 Gbit/s oder höher) können LED-Lichtquellen aufgrund ihrer Anstiegs- und Abfallzeit nicht mehr verwendet werden. Solche Systeme mit höherer Geschwindigkeit verwenden ausschließlich Laser-Lichtquellen. Eine sehr gängige Lichtquelle in Gebäude-Netzwerken ist der VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser), der Licht mit einer Wellenlänge von 850 nm überträgt.

Anforderungen für eine zuverlässige Übertragung

Wenn die Lichtquelle im Sendegerät eine Impulsfolge wie in **Abbildung 4** erzeugt, muss der Glasfaserverbindung diese Impulsfolge mit ausreichender Signalgenauigkeit übertragen, damit der Detektor am Empfangsgerät alle einzelnen Impulse mit ihrem wahren Wert („Ein“ oder „Aus“) erkennen kann.

Mindestens zwei Dinge sind erforderlich, um die Zuverlässigkeit von Empfang und Übertragung zu gewährleisten:

Kanal-Einfügungsdämpfung: Der maximale Signalverlust (die maximale Signaldämpfung), der über das Übertragungsmedium vom Sendegerät zum Empfangsgerät zugelassen ist. Der Begriff „Kanal“ (Channel) definiert das Übertragungsmedium zwischen dem Sender am einen und dem Empfänger am anderen Ende. Die Signaldämpfung besteht aus den kumulativen Verlusten des Glasfaserkabels, jeder Verbindung und jedem Spleiß.

Signal-Dispersion: Wie wir besprechen werden, haben Lichtimpulse auf Grund der Dispersion die Tendenz sich zu auszubreiten, während sie sich entlang der Glasfaserstrecke bewegen. Diese Ausbreitung (Dispersion) muss begrenzt werden, um zu verhindern, dass die Impulse am Ende des Empfängers „zusammenlaufen“ oder sich überlappen. Beide Parameter – Kanal-Dämpfung und Signal-Dispersion – spielen eine entscheidende Rolle für eine zuverlässige und fehlerfreie Übertragung. Die Dispersion kann im Feld nicht gemessen werden. Die Netzwerkstandards definieren eine maximale Kanallänge für einen Glasfaserkanal; die maximale Länge ist eine Funktion der Datenrate und der Einstufung der Bandbreite einer Glasfaser. Die Einstufung der Bandbreite wiederum basiert auf Labormessungen zur Charakterisierung der modalen Dispersion in Multimode-Glasfasern.

Dämpfung

Verlust oder Dämpfung ist ein fest etablierter Leistungsparameter innerhalb der Standards für Verkabelung und Netzwerk-Applikationen. Das Signal muss am Ende der Glasfaserverbindung – dem Eingang zum Detektor am Empfangsgerät – mit ausreichender Stärke ankommen, um richtig erkannt und decodiert zu werden. Wenn der Detektor das Signal nicht deutlich „erkennen“ kann, ist die Übertragung offensichtlich fehlgeschlagen.

Dämpfung oder Signalverlust in Glasfasern wird durch mehrere Faktoren innerhalb (intrinsische) und außerhalb (extrinsisch) der Faser verursacht. Zwei intrinsische Faktoren sind Streuung und Absorption. Die häufigste Form der Streuung, die „Rayleigh-Streuung“, wird durch mikroskopische Unregelmäßigkeiten in der Glasfaser verursacht. Diese Unregelmäßigkeiten führen dazu, dass Lichtstrahlen teilweise gestreut werden, wenn sie sich entlang des Glasfaserkerns bewegen, wodurch etwas Lichtenergie verloren geht. Die Rayleigh-Streuung ist für etwa 90 % der intrinsischen Dämpfung moderner Glasfasern verantwortlich. Sie hat einen größeren Einfluss, wenn die Größe der Verunreinigungen im Glas mit der Wellenlänge des Lichts vergleichbar ist. Längere Wellenlängen sind daher weniger betroffen als kürzere Wellenlängen, und längere Wellenlängen werden weniger gedämpft als die kürzeren Wellenlängen.

Zu den Ursachen für extrinsische Dämpfung gehören Beanspruchungen, die bei der Fertigung der Kabel entstehen und Biegungen in der Glasfaser. Biegungen (Bends) können in zwei Kategorien unterteilt werden: Mikrokrümmung (Microbending) und Makrokrümmung (Macrobending). Mikrokrümmung wird durch mikroskopische Mängel in der Geometrie der Faser verursacht, die durch den Fertigungsprozess entstehen, wie z. B. Rotationsasymmetrie, geringfügige Änderungen des Kerndurchmessers oder ein ungenauer Übergang zwischen Kern und Mantel. Mechanische Belastung, Spannung, Druck oder Verdrehung der Faser können ebenfalls Mikrokrümmungen verursachen. Abbildung 6 zeigt eine Mikrokrümmung in einer Faser und deren Auswirkung auf den Lichtweg.

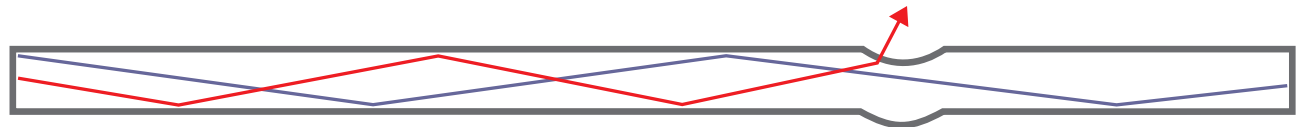


Abbildung 6: Eine Mikrokrümmung in einer Glasfaser führt dazu, dass etwas Licht aus dem Kern austritt, was zum Signalverlust beiträgt.

Die Hauptursache für Makrokrümmungen ist eine Biegung mit einem kleinen Radius. Die geltenden Normen legen Grenzwerte für den Biegeradius fest. So müssen Kabel mit vier oder weniger Fasern für das Verkabelungs-Subsystem 1 (horizontale oder zentrale Verkabelung) einen Biegeradius von 25 mm unterstützen, wenn sie keiner Zugbelastung ausgesetzt sind. Kabel mit vier oder weniger Fasern, die während der Installation durch Kabelführungen gezogen werden sollen, müssen einen Biegeradius von 50 mm bei einer Zuglast von 220 N unterstützen. Alle anderen Glasfaserkabel müssen einen Biegeradius unterstützen, der dem 10-fachen Kabelaußendurchmesser entspricht, wenn sie keiner Zugbelastung ausgesetzt sind, und dem 20-fachen Kabelaußendurchmesser, wenn sie einer Zugbelastung bis zur Nenngrenze des Kabels unterliegen.

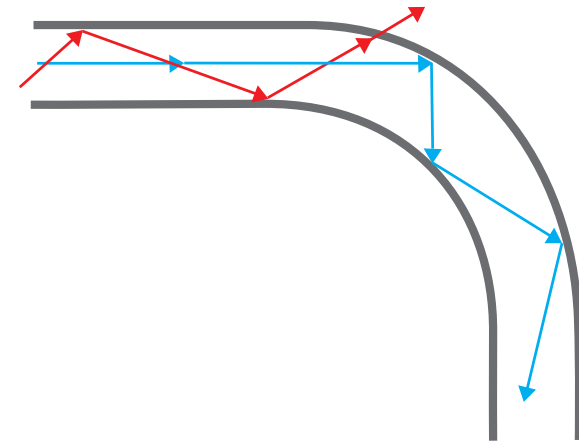


Abbildung 7: Eine Makrokrümmung oder eine Biegung mit einem engen Radius führt bei höheren Moden dazu, dass Licht aus dem Multimode-Kern austritt, und verursacht so Verluste.

Abbildung 7 zeigt den Effekt einer Biegung mit einem kleineren Radius auf den Pfad des Lichts in der Faser. Ein Teil des Lichts in den höheren Modengruppen wird nicht mehr reflektiert und im Kern gehalten.

Der Grad der Dämpfung hängt in erster Linie von der Länge der Faser und der Wellenlänge des Lichts ab. Die Dämpfung in einem installierten Glasfaser-Link setzt sich aus den Verlusten in der Faser sowie den Verlusten in den Spleißen zusammen. Die Verluste bei Verbindungen und Spleißen stellen den Großteil der Dämpfung bei kürzeren Glasfaserverbindungen dar, die typisch

für Gebäude-Netzwerke sind. Mit einem Fehlersuchgerät wie einem optischen Reflexionsmessgerät (OTDR) können Sie den Verlust an allen Verbindungen oder Spleißen messen und prüfen.

Dispersion

Dispersion beschreibt die Ausbreitung der Lichtimpulse auf ihrem Weg entlang der Glasfaser. Dispersion begrenzt die Bandbreite der Faser und reduziert damit die Menge der Daten, die über die Faser übertragen werden kann. Wir beschränken die Diskussion der Dispersion auf die modale Dispersion in Multimode-Glasfasern.

Der Begriff „Multimode“ bezieht sich auf die Tatsache, dass zahlreiche Moden des Lichtstrahls gleichzeitig durch den Kern laufen. **Abbildung 8** zeigt, wie das Prinzip der internen Totalreflexion auf Multimode-Stufenindex-Fasern angewendet wird. Der Begriff „Stufenindex“ bezieht sich auf die Tatsache, dass der Brechungsindex des Kerns über dem Index des Mantels liegt. Wenn das Licht in die Faser tritt, trennt es sich in verschiedene Pfade, die als „Moden“ bezeichnet werden. Das oben beschriebene und in **Abbildung 3** gezeigte Prinzip der internen Totalreflexion leitet alle Pfade

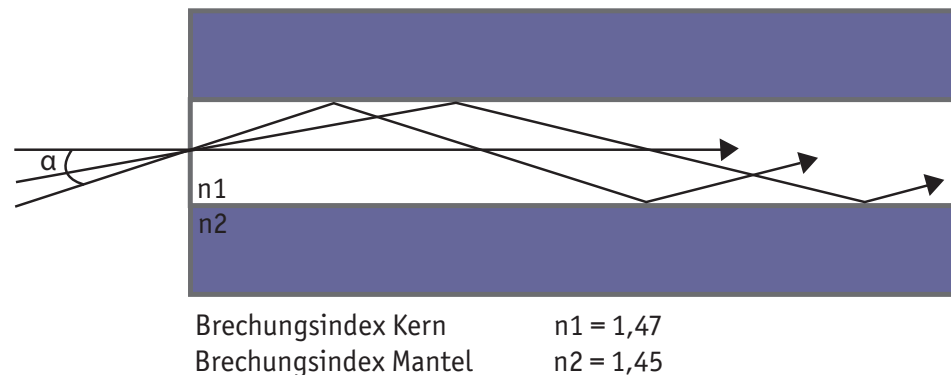


Abbildung 8: Die Glasfaser sammelt das gesamte Licht, das innerhalb des durch die numerische Apertur bestimmten Winkels eintritt. Das Licht wird an der Grenze zwischen Kern und Mantel reflektiert und bewegt sich entlang verschiedener Wege. Ein Weg wird auch als Mode bezeichnet. Multimode-Glasfaser leitet das Licht entlang mehrerer Wege oder Moden. Das Licht, das im größeren Winkel einfällt, prallt häufiger ab und legt einen längeren Weg zurück. Es repräsentiert die Moden höherer Ordnung.

oder Moden durch den Faserkern. Ein Mode bewegt sich gerade in der Mitte der Faser. Andere Moden prallen aufgrund der internen Reflexion in verschiedenen Winkeln ab. Die Moden, die am stärksten abprallen, werden als „Moden höherer Ordnung“ bezeichnet. Die Moden, die sehr wenig abprallen, sind die „Moden niedrigerer Ordnung“. Der kürzeste Weg ist die gerade Linie. Alle anderen Wege (Moden), die das Licht nimmt, sind länger als die gerade Linie – je steiler der Winkel, desto öfter prallt das Licht ab und desto länger ist die zurückgelegte Strecke. Mit der Strecke variiert auch die Zeit, die das Licht bis zum Ende der Glasfaserverbindung braucht. Die Diskrepanz zwischen den Ankunftszeiten der verschiedenen Lichtstrahlen, auch als „Differential Mode Delay“ (DMD, Modenlaufzeitdifferenz) bezeichnet, ist der Grund für die Dispersion oder Verteilung des Lichtimpulses auf seinem Weg entlang der Glasfaserverbindung.

Der Dispersions-Effekt, siehe **Abbildung 9**, nimmt mit der Länge der Glasfaserverbindung zu. Je länger der Weg, den der Impuls zurücklegt, desto höher der Unterschied in der Weglänge; daher nimmt die Differenz in den Ankunftszeiten und damit auch Spreizung der Impulse weiter zu. Das führt dazu, dass die Lichtimpulse, die am Ende eines längeren Glasfaser-Links ankommen, einander überlappen und dass der Empfänger sie nicht mehr unterscheiden, geschweige denn ihren Zustand (Wert) decodieren kann. Höhere Datenraten werden erreicht, indem kürzere Impulse in schneller Folge gesendet werden. Die Dispersion begrenzt die Rate, mit der Impulse übertragen werden können. Mit anderen Worten: Dispersion begrenzt die Bandbreite der Verkabelung.



Abbildung 9: Der Nettoeffekt der Dispersion führt dazu, dass sich die übertragenen Impulse überlagern und am Ende der Glasfaser-Verkabelung überlappen (Eingang zum Detektor). Der Detektor kann den Zustand einzelner Impulse nicht mehr erkennen und decodieren.

Um die Streuung in Multimode-Stufenindexfasern auszugleichen, wurde eine Multimode-Gradientenindexfaser entwickelt. „Gradientenindex“ bezieht sich auf die Tatsache, dass der Brechungsindex des Kerns mit zunehmender Entfernung von der Mitte des Kerns allmählich abnimmt. Das Glas in der Mitte des Kerns hat den höchsten Brechungsindex, wodurch sich das Licht in der Mitte des Kerns mit der langsamsten Geschwindigkeit bewegt. Das Licht, das den kürzeren Weg durch die Faser nimmt, bewegt sich langsamer. Diese Kernkonstruktion ermöglicht es, dass alle Lichtstrahlen das Ende des Empfängers etwa zur gleichen Zeit erreichen, wodurch die modale Dispersion in der Faser reduziert wird. Wie in **Abbildung 10** dargestellt, bewegt sich das Licht in Gradientenindex-Multimode-Fasern nicht mehr in geraden Linien von Rand zu Rand, sondern folgt einer Spiralbahn; es wird durch den kontinuierlich fallenden Brechungsindex des Glases im Kern allmählich zurück in Richtung der Mitte des Kerns reflektiert.

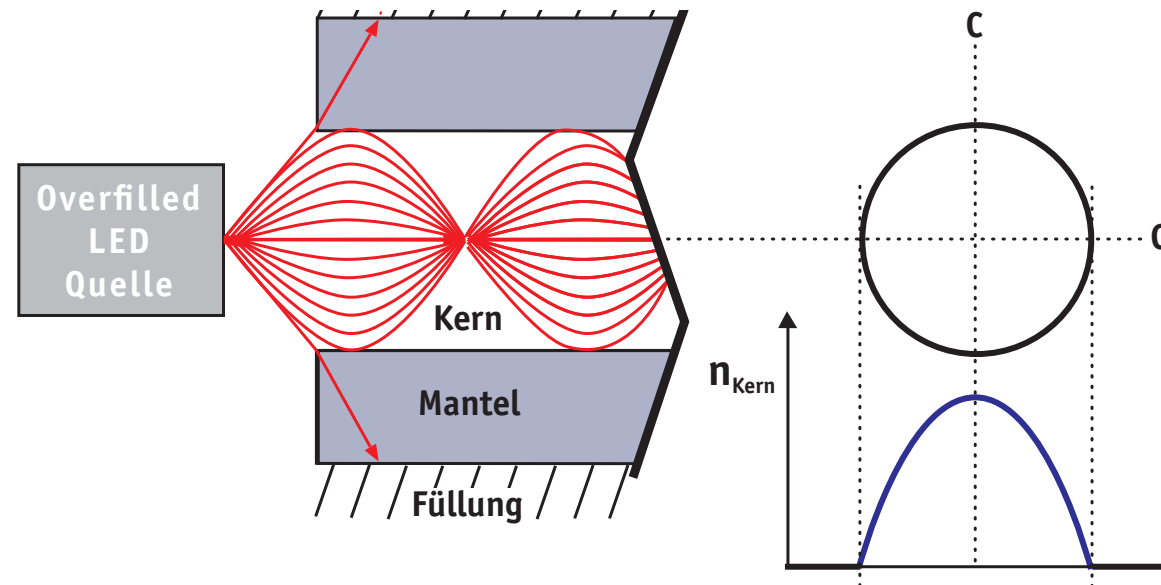


Abbildung 10: Lichtwege (Moden) folgen einer Spiralbahn, wie im linken Teil dieser Abbildung gezeigt. In Gradientenindex-Multimode-Fasern ändert sich der Brechungsindex des Kerns durch den Kern hindurch. In der Mitte ist er am höchsten und zum Rand und Mantel hin nimmt er allmählich ab. Das Licht der niedrigeren Moden (Mitte des Kerns) bewegt sich am langsamsten fort, während die Moden in den äußeren Regionen die längeren Strecken schneller zurücklegen und somit die zusätzliche Zeit kompensieren, die für den längeren Weg benötigt würde. Gradientenindex-Multimode-Fasern bietet daher eine bessere Bandbreite.

Laseroptimierte Multimode-Fasern, die für neuere Hochgeschwindigkeits-Netzwerke genutzt werden soll (Datenraten im Bereich von Gigabit pro Sekunde), haben den Aufbau einer Gradientenindex-Multimode-Glasfaser. Diese laseroptimierte Multimode-Faser verwendet außerdem den kleineren Kerndurchmesser von 50 μm . Der kleinere Kerndurchmesser verringert auch den Dispersions-Effekt in der Faser, indem die Anzahl der Moden begrenzt wird.

Wie der Name schon sagt, erlaubt „Singlemode“-Faser bei Wellenlängen, die länger sind als die Grenzwellenlänge¹⁾ die Ausbreitung nur einer Mode. Die Wellenlänge 1310 nm, die von den meisten Netzwerk-Applikationen über Singlemode-Fasern (9 μm Kerndurchmesser) verwendet wird, liegt weit über der Grenzwellenlänge, die zwischen 1150 nm und 1200 nm beträgt. Singlemode-Fasern, die längere Wellenlängen verwenden, behalten die Genauigkeit jedes Lichtimpulses über längere Entfernungen bei, da sie keine modale Dispersion aufweisen (die bei Multimode verursacht wird). Somit können mehr Informationen pro Zeiteinheit über längere Distanzen übertragen werden (die intrinsische Dämpfung ist bei höheren Wellenlängen geringer). Dadurch haben Singlemode-Fasern eine höhere Bandbreite im Vergleich zu Multimode-Fasern.

Auch das Singlemode-Faserdesign hat sich im Laufe der Zeit weiterentwickelt. Es gibt noch weitere Dispersion-Mechanismen und Nichtlinearitäten, die hier nicht besprochen werden, da sie bei der Glasfaserapplikation in Gebäude-Netzwerken eine weitaus geringere Rolle spielen. Singlemode-Fasern haben einige Nachteile. Durch den kleineren Kerndurchmesser wird die Kopplung von Licht in den Kern erschwert. Die Toleranzen für Singlemode-Steckverbinder und -Spleiße sind anspruchsvoller, wenn eine gute Ausrichtung am kleineren Kern erreicht werden soll. Darüber hinaus sind Laserlichtquellen mit längerer Wellenlänge teurer als VCSEL mit 850 nm.

¹⁾ **Grenzwellenlänge:** Die Wellenlänge, unter der die Übertragung in einer Singlemode-Glasfaser nicht mehr in einem einzigen Mode stattfindet.

Bandbreite

Eine wichtige Leistungsgröße bei Glasfaser ist die Bandbreite bzw. Informationskapazität der Glasfaser. In digitaler Sichtweise wird die Bandbreite als eine Bitrate ausgedrückt, mit der Signale über eine bestimmte Entfernung gesendet werden können, ohne dass ein Bit das Bit vor oder nach ihm stört. Die Bandbreite wird in MHz•km angegeben. Die Interferenz tritt aufgrund des oben beschriebenen Dispersion-Phänomens auf.

Die Bandbreite kann auf verschiedene Arten definiert und gemessen werden. Die drei standardisierten Bandbreiten-Spezifikationen und anwendbaren Messwerte sind Bandbreite bei vollständiger Anregung (Overfilled Bandwidth, OFL), eingeschränkte modale Bandbreite und Laserbandbreite oder Effektive Modale Bandbreite (Effective Modal Bandwidth, EMB). Der Grund für diese verschiedenen Methoden liegt in den unterschiedlichen Eigenschaften der Lichtquellen, die zur Übertragung von Informationen verwendet werden.

Die herkömmliche Lichtquelle für 10 Mbit/s- und 100 Mbit/s-Ethernet war die Leuchtdiode (LED), eine ausgezeichnete Option für Applikationen mit Geschwindigkeiten von bis zu 622 Mbit/s. LEDs erzeugen eine gleichmäßige Lichtleistung, die den gesamten Kern der Glasfaser füllt und alle Moden anregt. Um die Bandbreite konventioneller Multimode-Fasern bei Verwendung mit LED-Lichtquellen optimal vorherzusagen, verwendet die Branche eine Methode namens Overfilled Bandwidth (OFL) (Voll-Angeregte Bandbreite) und Messungen unter Verwendung der EF-Anregungsbedingungen (Encircled Flux). EF reduziert die Unsicherheit bei der Dämpfungsmessung und wird im dritten Abschnitt dieses E-Books näher erläutert.

Wie bereits erwähnt, können LEDs nicht schnell genug moduliert werden, um die eine Milliarde oder mehr Impulse pro Sekunde zu übertragen, die für Gbit/s-Datenraten erforderlich sind. Eine gebräuchliche Lichtquelle zur Unterstützung der Gigabit-Übertragungsgeschwindigkeiten in

Applikationen für Gebäudenetzwerken ist VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) mit einer Wellenlänge von 850 µm. Im Gegensatz zu einer LED ist die Lichtleistung eines VCSEL nicht einheitlich und daher nicht für den Einsatz in Messgeräten geeignet. Sie variiert von VCSEL zu VCSEL über die Endfläche der Glasfaser. Daher erregen Laser nicht alle Moden in Multimode-Glasfaser, sondern eine eingeschränkte Modenauswahl. Und was noch wichtiger sein kann: Jeder Laser füllt einen anderen Satz von Moden in der Faser, und das jeweils mit unterschiedlichen Leistungswerten pro Mode.

Eine überlegene Methode zur Sicherstellung der Bandbreite in Glasfaserverbindungen für die Unterstützung von Gigabit-Geschwindigkeiten ist die Messung von DMD (Differential Mode Delay, differentieller Moden-Laufzeitunterschied – siehe die Diskussion zur Dispersion weiter oben). Dieses Messverfahren ist die einzige Bandbreitenspezifikation, die in den Standards für Datenraten von 10 Gbit/s genannt wird. Die Laserbandbreite oder EMB wird mathematisch aus den DMD-Messungen abgeleitet.

Glasfaserarten

Die Norm ISO/IEC 11801 definiert verschiedene Glasfaserarten, um verschiedene Anwendungsklassen für Gebäudenetzwerke zu unterstützen. ISO/IEC 11801 definiert fünf Multimode-Glasfasertypen (OM1, OM2, OM3, OM4 und OM5) und zwei Singlemode-Typen (OS1 und OS2). Diese Typenbezeichnungen werden auch auf dem nordamerikanischen Markt verwendet und sind im Dokument ANSI/TIA-568.3-D aufgeführt²⁾. Die folgende Tabelle bietet einen kurzen Überblick über die wichtigsten Eigenschaften dieser Glasfasertypen.

²⁾ Telecommunications Industry Association (TIA) TIA repräsentiert zusammen mit der Electronic Industries Association die Telekommunikationsbranche. TIA wird vom American National Standards Institute (ANSI) als wesentlicher Mitgestalter an freiwilligen Normen bestätigt. Die Norm ANSI/EIA/TIA 568 „Commercial Building Telecommunications Cabling“ ist der primäre Standard für strukturierte Verkabelungssysteme in Nordamerika.

		Kabeldämpfungs- Koeffizient (dB/km)		Minimale Modalbandbreite (MHz•km)		
				Voll-Angeregt		Laser
Wellenlänge (nm)		850	1300	850	1300	850
Glas- fasertyp	Kern- durchmesser (µm)					
OM1	62.5	3.5	1.5	200	500	n/a
OM2	50	3.5	1.5	500	500	n/a
OM3	50	3.5	1.5	1,500	500	2,000
OM4	50	3.0	1.5	3,500	500	4,700
OM5	50	3.0	1.5	3,500	500	4,700

Tabelle 1: Multimode-Glasfasertypen (ISO-Bezeichnungen).

Beachten Sie, dass ältere oder veraltete Multimode-Glasfasern mit einer Bandbreite bei Voll-Anregung von weniger als 200 MHz•km in dieser Tabelle nicht enthalten sind und bei der Entwicklung neuer Anlagen nicht mehr empfohlen werden. Die Bezeichnung „OM3“ beschreibt die laseroptimierte Multimode-Glasfaser mit hoher Bandbreite. Zu den verschiedenen auf Glasfaser-Technik basierenden Übertragungsstandards für 10 Gbit/s-Ethernet ist 10GBA-SE-SR (die serielle Übertragung von 10 Gigabit pro Sekunde mit der kurzen Wellenlänge VCSEL [850 nm]) die wirtschaftlichste Implementierung dieser Hochgeschwindigkeits-Netzwerkapplikation im Gebäude-LAN, im Rechenzentrum oder im Storage Area Network. Für diese Anwendung ist OM3 der bevorzugte Glasfasertyp.

Hersteller von Glasfaser-Technik haben laseroptimierte Multimode-Glasfasern mit modalen Bandbreiteneigenschaften entwickelt, die besser als die Spezifikationen des OM3-Typs sind. Das hat zur Einführung der Einstufungen OM4 und OM5 geführt, die eine effektive Laserbandbreite von 4.700 MHz•km haben.

In Kürze verfügbar

Die folgenden E-Books werden in Kürze verfügbar:

Nr. 2: Messtheorie – Leistung von Glasfaserkabeln

Industriestandard für die Übertragungsleistung
Standards für Netzwerk-Applikationen

Nr. 3: Zertifizierung für Glasfaserkabel

Auswahl des Leistungsstandards
Zertifizierung – Handhabung und Geräteanforderungen
Maßeinheiten
Referenzeinstellung – Handhabung
Bedingungen für die Einkopplung

Nr. 4: Glasfaserzertifizierung mit einem OLTS in der Praxis
Zusammenfassung

Lösungen von Fluke Networks für Glasfaser-Messung und -Fehlersuche

Endflächen auf Verunreinigungen
oder Beschädigungen prüfen

Endflächen inspizieren

Port-Beleuchtung

Automatisierter Fokus

Verunreinigungen entfernen

Verbindung prüfen

Polarität prüfen

Dämpfung über den gesamten
Link prüfen, um ein Überschreiten
des Dämpfungsbudgets
auszuschließen

Dämpfungsmessung für
Duplex-Glasfaser Verbindungen

Singlemode-Zertifizierung nach
Tier 1

Multimode Encircled
Flux-kompatible Zertifizierung
nach Tier 1

Zeigt Fehlerstelle

Zertifizierung nach Tier 2

Pass-/Fail-Ergebnisse

Messergebnisse dokumentieren

Unterstützte Glasfasern

Lichtquelle

	Inspektion und Reinigung				MPO-Prüfung	Dämpfungs-/Längen-Messung (Zertifizierung nach Tier 1)		Charakterisierung von Glasfaseranlagen und Fehlersuche (Zertifizierung nach Tier 2)			
											
	FI-500 FiberInspector™ Micro	FI-7000 FiberInspector™ Pro	FI-3000 FiberInspector™ Ultra	Glasfaser- Reinigungs- Kits	MultiFiber™ Pro MPO Tester	CertiFiber® Pro Optical Loss Test Set	SimpliFiber® Pro Power Tester und Fiber Test Kits	VisiFault™ Visual Fault Locator	FIBER QuickMap™	OptiFiber® Pro OTDR	OptiFiber® Pro PON/FTTx HDR OTDR
Endflächen auf Verunreinigungen oder Beschädigungen prüfen	✓	✓	✓				✓			✓	✓
Endflächen inspizieren		✓	✓				✓			✓	✓
Port-Beleuchtung	✓		✓								
Automatisierter Fokus	✓		✓								
Verunreinigungen entfernen				✓							
Verbindung prüfen					✓	✓	✓	✓		✓	✓
Polarität prüfen					✓	✓	✓	✓			
Dämpfung über den gesamten Link prüfen, um ein Überschreiten des Dämpfungsbudgets auszuschließen					✓	✓	✓				
Dämpfungsmessung für Duplex-Glasfaser Verbindungen						✓				✓	✓
Singlemode-Zertifizierung nach Tier 1					✓	✓	✓				
Multimode Encircled Flux-kompatible Zertifizierung nach Tier 1					EF-kompatibel am Geräte- Adapter	mit EF TRCs	✓				
Zeigt Fehlerstelle								✓	✓	✓	✓
Zertifizierung nach Tier 2										✓	✓
Pass-/Fail-Ergebnisse		✓	✓			✓			✓	✓	✓
Messergebnisse dokumentieren		✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓
Unterstützte Glasfasern	Multimode Singlemode	MPO, Multimode Singlemode	MPO	MPO, Multimode Singlemode	MPO, Multimode Singlemode	Multimode Singlemode	Multimode Singlemode	Multimode Singlemode	Multimode	Multimode Singlemode	Singlemode (1310, 1550, 1490 und 1625 nm)
Lichtquelle					LED, FP-Laser	LED, FP-Laser	LED, FP-Laser	Laser	Laser	LED, FP-Laser	Laser

Weitere gute technische Ressourcen

Laden Sie das „Fiber Test & Troubleshooting“ Ebook herunter:

www.flukenetworks.com/request/fiber-test-troubleshooting-ebook

Laden Sie das „Messungen der Symmetrie bei Twisted Pair“ Ebook herunter:

www.flukenetworks.com/request/free-e-book-balance-measurements-handbook

Wenn Sie mit einem Experten sprechen möchten, finden Sie Ihre lokalen Kontaktnummer unter:

www.flukenetworks.com/contact

Online Training Videos

Diese Videos bieten Grundlagen Schulungen für die gesamte Versiv™ Cabling Certification System. Eine Serie mit Videos für jedes Produkt, beinhaltet folgende Themen:

- Unboxing – was wird mit dem Produkt geliefert und was wird damit gemacht
- Eine Messung konfigurieren
- Eine Messung durchführen
- Messergebnisse abspeichern und verwalten (mit LinkWare™ PC und LinkWare™ Live)

www.youtube.com/FlukeNetworksVideo

Blog „Cabling Chronicles“

Finden Sie heraus, was es in der Welt der Messungen und Normen Neues gibt – mit Artikeln, die von den Experten von Fluke Networks verfasst wurden.

www.flukenetworks.com/blog/cabling-chronicles

Wissensdatenbank

Nutzen Sie Ihre Investition in Fluke Networks optimal – mit Tipps und Tricks sowie Produkt-Updates von unserem Support-Expertenteam.

www.flukenetworks.com/knowledge-base

P.O. Box 777, Everett, WA USA 98206-0777

Fluke Networks verfügt über Niederlassungen in mehr als 50 Ländern auf der ganzen Welt. Kontaktinformationen für eine Niederlassung in Ihrer Nähe finden Sie unter www.flukenetworks.com/contact.

©2020 Fluke Corporation. Alle Rechte vorbehalten.
11/2020 19086-RL