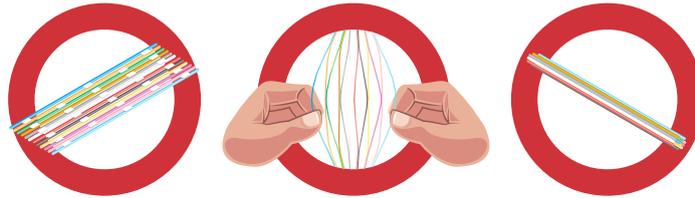


Rollable Ribbon Fiber Optic Cable

EASY ACCESS, EFFICIENT SPLICING, ENHANCED DENSIFICATION



Looking to take your network to the next level?
Then look to OFS rollable ribbon fiber optic cables.

OFS designs combine the benefits of loose tube (easy access),
rollable ribbon (efficient splicing) and now with 200 μm optical fiber (enhanced densification)
for both outside plant and indoor applications.



Contact OFS Today to Learn More About our Latest Ribbon Designs
www.ofsoptics.com



Interpretation der Datenblätter von Lichtwellenleitern

1 Einleitung

Die Lichtwellenleiter-Faser bzw. das Lichtwellenleiter-Kabel sind eine sehr langfristige Investition. Man geht von einer Lebensdauer von mindestens 30 Jahren aus.

Der Lichtwellenleiter erlebt zwei bis vier System-Upgrades während seiner Einsatzdauer. Bei der Spezifikation der Lichtwellenleiter sollte man deshalb die besten Parameter fordern, um für zukünftige Anforderungen gewappnet zu sein.

Beim Standard-Singlemode-LWL ist das beispielsweise die Erschließung des gesamten Wellenlängenbereiches (1260 nm bis 1675 nm) und ein kleiner [PMD](#)-Koeffizient.

Die Anforderungen in den Normen an die Parameter der Fasern sind teilweise schwach spezifiziert (Dämpfungskoeffizienten, PMD-Koeffizient, Biegeempfindlichkeit, Toleranzen der geometrischen Parameter). Namhafte Faserhersteller übertreffen mitunter die Anforderungen der Norm deutlich.

Um beste Fasern zu spezifizieren bzw. auszuwählen ist es wichtig, die Angaben in den Datenblättern (und in den Normen) richtig zu verstehen. Es werden optische, geometrische, mechanische und thermische Parameter im Folgenden besprochen.

2 Optische Parameter

Der [Dämpfungskoeffizient](#) ist der wichtigste Parameter des Lichtwellenleiters. Er steht für die auf die Länge bezogene Dämpfung. Die Dämpfungskoeffizienten von Multimode-LWL werden gewöhnlich für 850 nm und 1300 nm (erstes und zweites optisches Fenster) und von Singlemode-LWL für 1310 nm, 1550 nm und 1625 nm (zweites, drittes und viertes optisches Fenster) spezifiziert.

Bei den so genannten [Low-Water-Peak](#)-Lichtwellenleitern (Singlemode) wird auch der Dämpfungskoeffizient bei 1383 nm angegeben. Dieser muss gleich oder kleiner dem bei 1310 nm sein. Ein derartiger Lichtwellenleiter ermöglicht, den gesamten Wellenlängenbereich zwischen dem zweiten und dritten optischen Fenster zu nutzen, zum Beispiel um [Grobes Wellenlängenmultiplex \(CWDM\)](#) zu realisieren.

Bei modernen Singlemode-Lichtwellenleitern wird auch der Dämpfungskoeffizient für 1490 nm spezifiziert. Diese Wellenlänge wird in [FTTH/FTTB](#)-Netzen genutzt.

Die **effektive Gruppenbrechzahl des LWL-Kernes** ist bei einem bestimmten Fasertyp und einer bestimmten Wellenlänge determiniert und variiert nur wenig von Hersteller zu Hersteller. Die richtige Einstellung am [OTDR](#) ist notwendig, um die Faserlänge exakt zu ermitteln.

Beispiel: Standard-Singlemode-LWL

Draka EMF (Datenblatt von 2009): $n = 1,467$ bei 1310 nm; $n = 1,468$ bei 1550 nm

Corning SMF-28e+ LL (2014): $n = 1,4676$ bei 1310 nm; $n = 1,4682$ bei 1550 nm

Die relative Abweichung und damit ein möglicher Längenfehler liegt deutlich unter 1%.

Der [Rayleigh-Rückstreukoeffizient](#) ist ein Maß für die Stärke der Rayleighstreuung in der Faser. Er hängt von der Wellenlänge und vom Fasertyp ab. Die Spezifikation in den Datenblättern kann unterschiedlich erfolgen: Streuung bezogen auf eine Mikrosekunde bzw. eine Nanosekunde Impulsbreite. Die entsprechenden Rückstreukoeffizienten unterscheiden sich um 30 dB.

Nicht alle Hersteller spezifizieren diesen Parameter. Ist der Rayleigh-Rückstreukoeffizient nicht bekannt, nutzt man die im optischen Rückstreumessgerät voreingestellten Werte. Die richtige Einstellung des Rayleigh-Rückstreukoeffizienten ist notwendig, um die Reflexionsdämpfungen exakt zu ermitteln.

Der Multimode-Lichtwellenleiter wird durch das [Bandbreite-Längen-Produkt](#) charakterisiert. Dieses ist ein Maß dafür, wie viel Bandbreite über eine bestimmte Streckenlänge übertragen werden kann. Es wird begrenzt durch die Modendispersion im Lichtwellenleiter.

Man unterscheidet Fasern mit optimiertem Bandbreite-Längen-Produkt im ersten optischen Fenster ([OM3](#), [OM4](#)), im zweiten optischen Fenster ([OM2](#)) und optimiert für einen größeren Wellenlängenbereich ([OM5](#): Übertragungswellenlängen 850 nm, 880 nm, 910 nm, 940 nm).

Im Singlemode-LWL gibt es keine Modendispersion, weil sich nur noch eine einzige Mode im Lichtwellenleiter ausbreitet. Die Impulsverbreiterung geschieht jetzt durch die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der verschiedenen Farbanteile des Impulses: [chromatische Dispersion](#).

Die chromatische Dispersion ist determiniert. Es gibt keine guten oder schlechten Fasern bezüglich chromatischer Dispersion. Gleiche Faserkategorie bei gleicher Wellenlänge hat unabhängig vom Hersteller annähernd den gleichen Koeffizient der chromatischen Dispersion D_{CD} .

Der [Koeffizient der chromatischen Dispersion](#) charakterisiert die Impulsverbreiterung in ps bezogen auf die spektrale Halbwertsbreite des Senders in nm und die Streckenlänge in km.

Beispiel: Standard-Singlemode-LWL entsprechend ITU-T G.652:
 $D_{CD} \approx 0$ ps/(nm·km) bei 1310 nm; $D_{CD} \approx 17$ ps/(nm·km) bei 1550 nm

Bei einer bestimmten Wellenlänge wird $D_{CD}(\lambda_0) = 0$ (λ_0 : [Nulldispersionswellenlänge](#)). Die Nulldispersionswellenlänge liegt bei der G.652- und G.657-Faser im zweiten und bei der G.653-Faser im dritten optischen Fenster.

Darüber hinaus wird noch der **Anstieg des Koeffizienten der chromatischen Dispersion bei der Nulldispersionswellenlänge** S_0 spezifiziert.

Die [Polarisationsmodendispersion](#) ist ein sehr kleiner Effekt, der nur im Singlemode-LWL eine Rolle spielen kann. Sie wird durch den [PMD-Koeffizient](#) charakterisiert. Das ist der PMD-Wert bezogen auf die Wurzel aus der Streckenlänge. Der PMD-Wert ist die über die Zeit und Wellenlänge gemittelte Impulsverbreiterung durch Polarisationsmodendispersion.

Der PMD-Koeffizient wird für einen einzelnen Faserabschnitt hinreichender Länge (PMD-Koeffizient erster Ordnung: PMD_1) sowie für eine lange Strecke, die sich aus vielen einzelnen hinreichend langen Faserabschnitten zusammensetzt (PMD-Konstruktionswert: PMD_Q) spezifiziert.

Aus Gründen der Statistik ist der PMD-Konstruktionswert deutlich geringer als der PMD-Koeffizient erster Ordnung. Es kann bei langen Strecken mit deutlich günstigeren Werten geplant werden.

Beispiel: $\text{PMD}_1 \leq 0,1 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ $\text{PMD}_Q \leq 0,04 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$

Die **Grenzwellenlänge** (Cutoff Wavelength) steht für die Wellenlänge unterhalb der, der Singlemode-LWL multimodig wird. Sie darf nicht unterschritten werden.

Beispiel: Grenzwellenlänge des Kabels mit G.652-LWL: $\lambda_{cc} \leq 1260 \text{ nm}$

Die **Biegeempfindlichkeit** ist ein Maß für die Dämpfung, die ein Lichtwellenleiter erleidet, wenn er mit einem bestimmten Radius und einer bestimmten Anzahl von Windungen gebogen wird.

Herkömmliche Multimode-LWL werden spezifiziert bei 850 nm und 1300 nm

- für einen Biegeradius 37,5 mm, 100 Windungen
- für einen Biegeradius 15 mm, 2 Windungen

Biegeunempfindliche Multimode-LWL werden darüber hinaus noch für einen Biegeradius 7,5 mm und zwei Windungen spezifiziert.

Herkömmliche Singlemode-LWL werden spezifiziert bei 1550 nm und 1625 nm für einen Biegeradius 30 mm und 100 Windungen.

Biegeunempfindliche Singlemode-LWL werden spezifiziert bei 1550 nm und 1625 nm je nach Kategorie

- für einen Biegeradius 15 mm, 10 mm, 7,5 mm, 5 mm
- und 10, 1 Windungen.

3 Geometrische Parameter

Der **Kerndurchmesser** ist der Durchmesser des lichtführenden Kerns. Dieser unterscheidet sich vom Mantel durch die stärkere Dotierung.

Beispiel Multimode-LWL: $50 \mu\text{m} \pm 2,5 \mu\text{m}$. **G50/125** μm bedeutet: **G**radientenprofil, **50** μm Kerndurchmesser, **125** μm Manteldurchmesser.

Bei stufenförmigem Brechzahlprofil kann man auch für den Singlemode-LWL einen Kerndurchmesser angeben.

Beispiel Standard-Singlemode-LWL: $8,3 \mu\text{m}$.

Bei kompliziertem Brechzahlprofil ist die Angabe eines Kerndurchmessers nicht mehr möglich. Bild 1 veranschaulicht den Verlauf des Brechzahlprofils. In Bild 1 (a) ist die Kerndurchmesser eindeutig. In Bild (b) jedoch nicht. Deshalb wird der Kerndurchmesser d im Singlemode-LWL nur in Ausnahmefällen spezifiziert.

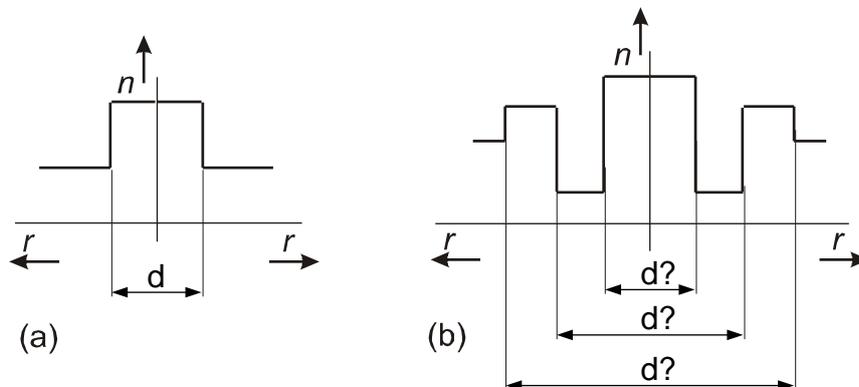


Bild 1: Unterschiedliche Brechzahlprofile des Singlemode-LWL

Unabhängig vom Verlauf des Brechzahlprofils breitet sich das Licht einer Mode durch die Faser aus. Deren Gestalt kann als gaußförmig angenähert werden. Die Breite dieser Verteilung wird als Modenfelddurchmesser $2w$ bezeichnet (Bild 2).

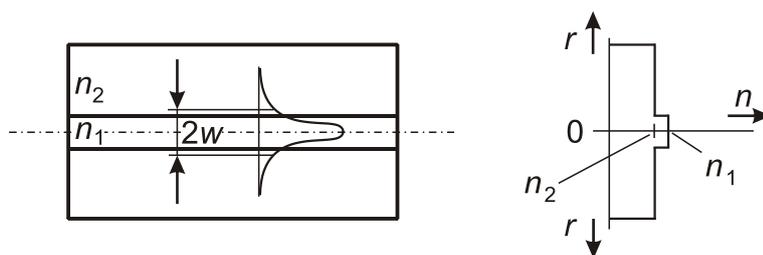


Bild 2: Brechzahlprofil (rechts) und Intensitätsverteilung im Singlemode-LWL (links)

Der Modenfelddurchmesser wird generell für Singlemode-Fasern spezifiziert, meist bei den Wellenlängen 1310 nm und 1550 nm.

Beispiel für Standard-Singlemode-LWL:

$2w = (9,2 \pm 0,4) \mu\text{m}$ bei 1310 nm; $2w = (10,4 \pm 0,5) \mu\text{m}$ bei 1550 nm. **E9/125** μm bedeutet: Einmodenfaser, **9** μm Modenfelddurchmesser (und nicht Kerndurchmesser!) bei 1310 nm, **125** μm Manteldurchmesser.

Der **Manteldurchmesser** wird meist mit $125 \mu\text{m} \pm 0,7 \mu\text{m}$ spezifiziert und steht für den Durchmesser des Glases.

Die Kern-Mantel-Exzentrizität kennzeichnet den Abstand zwischen Kernmitte und Mantelmitte und wird meist mit $\leq 0,5 \mu\text{m}$ angegeben.

Der **Coatingdurchmesser** liegt knapp unter $250 \mu\text{m}$. Es gibt mittlerweile aber auch Fasern mit einem Coatingdurchmesser von $200 \mu\text{m}$.

4 Mechanische Parameter

Die Faser durchläuft in der Fertigung einen Durchlaufstest (Proof-Test). Dabei wird die Faser kurzzeitig typisch einer mechanischen Spannung von 100 KPSI = 0,69 GPa ausgesetzt. Das entspricht eine Faserdehnung von ca. 1 %. Frühausfälle werden erkannt. Die Gefahr einer möglichen Schädigung der gesunden Faser ist gering, da die Faser erst bei etwa der siebenfachen Spannung bricht.

Sowohl Multimode-, Singlemode-LWL, als auch biegeunempfindliche Lichtwellenleiter werden der Proofspannung von 100 KPSI ausgesetzt. Die Fasern haben alle die gleiche mechanische Festigkeit. Die biegeunempfindliche Faser muss genauso sorgfältig, wie die herkömmliche Faser behandelt werden!

In Ausnahmefällen (zum Beispiel militärische Anwendungen) kann ein Proofstest mit 200 KPSI erfolgen: Es werden einige seltene Schäden erkannt, aber die gesunde Faser wird stärker beansprucht.

5 Thermische Parameter

Als maximale Betriebstemperatur werden 85 °C angegeben. Diese Grenze wird nicht durch die Eigenschaften des Glases, sondern des Coatings bestimmt. Bei Telekommunikationsfasern kommt in Allgemeinen Acrylat-Coating zum Einsatz. Erhöhte Temperaturen bewirken einen Masseverlust des Coating, der ein Maß für die Alterung ist. Das Coating kann porös werden und reißen. So kann das Glas nicht mehr vor Umwelteinflüssen geschützt werden.

Wird die Faser dauerhaft einer erhöhten Temperatur ausgesetzt, Beispiel bei Temperatursensoren, ist ein anderes Coating-Material zu wählen:

- Hochtemperatur-Coating bis 200 °C
- Polyimid-Coating bis 300 °C

6 Vergleich der Parameter Multimode-LWL mit Singlemode-LWL

Multimode- bzw. Singlemode-LWL werden teilweise durch unterschiedliche Parameter spezifiziert (Tabelle 1):

Multimode-LWL	Singlemode-LWL
Kerndurchmesser	Modenfelddurchmesser
Bandbreite-Längen-Produkt	Koeffizient der chromatischen Dispersion Nulldispersionswellenlänge Anstieg des Koeffizienten der chromatischen Dispersion bei der Nulldispersionswellenlänge
	PMD-Koeffizient
	Grenzwellenlänge

Tabelle 1: Unterschiedliche Parameter Multimode- und Singlemode-LWL

7 Zusammenfassung

Die Bedeutung der Parameter des Lichtwellenleiters wurde erläutert. Deren genaue Kenntnis ist wichtig, um für den jeweiligen Anwendungsfall den richtigen Lichtwellenleiter, der auch für zukünftige Anforderungen geeignet ist, zu spezifizieren.

Dr. Dieter Eberlein, Lichtwellenleiter-Technik
D-01219 Dresden, Barlachstraße 11
Tel.: +49-351-3129945, Fax: +49-351-3129947
E-Mail: LWLTechnik@t-online.de, Internet: www.LWLTechnik.de
Dresden 19. Februar 2020