

# Lichtwellenleiter

## optische Fenster

- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| 1. optisches Fenster | Multimode-LWL (850nm)   |
| 2. optisches Fenster | Multimode-LWL (1300nm)  |
|                      | Singlemode-LWL (1310nm) |
| 3. optisches Fenster | Singlemode-LWL (1550nm) |
| 4. optisches Fenster | Singlemode-LWL (1625nm) |

## Kennzeichen:

### Multimode

#### *Bandbreitenlängenprodukt (BLP)*

Das BLP ist immer auf 1km angegeben, das heißt ein BLP von 500MHz\*km bedeutet, dass bei einem km Länge eine Bandbreite von 500MHz erreicht werden kann, bei 2km Länge aber nur noch 250MHz, bei 500m aber 1000MHz.

### Singlemode

#### *Koeffizient der chromatischen Dispersion (D<sub>CD</sub>)*

$$D_{CD} = D_{MAT} + D_{WEL}$$

Koeffizient der chromatischen Dispersion = Koeffizient der Materialdispersion + Koeffizient der Wellenleiterdispersion

#### PMD (Polarisationsmodendispersion)

## Krümmungsradius

Der Krümmungsradius bei Standard Singlemode LWL darf 30mm (3cm) nicht unterschreiten.

## Effekte, die die Lebensdauer der Glasfaser herabsetzen

- Faserdehnungen
- Krümmungen der Faser
- dauerhaftes Einwirken von Wasser oder Feuchte
- extreme Hitze (>85°C)
- kombinierte Einwirkung hoher Temperaturen und hoher Luftfeuchte
- ungeschützte Faseroberflächen an Spleißstellen

## Typen von Lichtwellenleitern

Typ	Kerndurchmesser	Manteldurchmesser	Einsatzgebiet
PCF (Polycarbonat-Glasfaser) (HCS)	200µm	230-500µm	Industrie, Automation
POF (Kunststoff-LWL)	980µm	1000µm	Home Office, PKW (bis 50m)
Gradienten-Index-LWL	50µm +/-3	125µm +/-2	Multimode LWL / Inhouse
Gradienten-Index-LWL	62,5µm +/-3	125µm +/-2	Multimode LWL / Inhouse
Singlemode LWL	9µm	125µm	Weitverkehr

**Einsatzgebiete**

<b>Entfernung</b>	bis 100m	bis 3000m	bis 100km
<b>Einsatzbereich</b>	Prozesstechnik	LAN Bereich	Telekommunikation
<b>LWL-Typ</b>	Kunststoff LWL	Gradientenindex LWL	Singlemode LWL
<b>Sendebauaelement</b>	LED	LED	LD (Laser Diode)
<b>Empfangsbauaelement</b>	PIN (Photodiode)	PIN (Photodiode)	APD (Avalanche PD)
<b>Wellenlänge</b>	530nm - 850nm	850nm/1300nm	1310nm/1550nm/1625nm

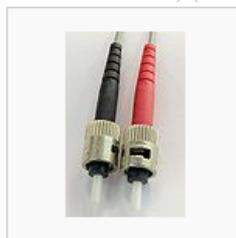
**Steckertypen**



F-SMA-Stecker (SMA 905)



FC/PC-Stecker



ST-Stecker



SC-Stecker



E2000-Stecker



ESCON-Stecker



MIC(FDDI)-Stecker



LC-Stecker



MTRJ-Stecker

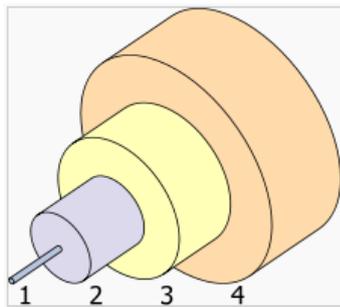


TOSLINK-Stecker

**Faserkategorien**

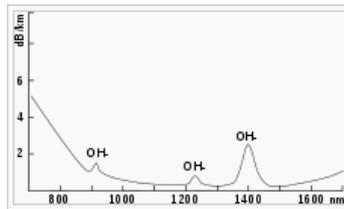
Kategorie	Farbcode	Fasertyp	Dämpfung				minimale modale Bandbreite		
			850 nm	1310 nm	1383 nm	1550 nm	OFL* in MHz·km		EMB** in MHz·km
							850 nm	1310 nm	
Multimodfasern									
OM1	Orange	G62,5/125	3,5 dB	1,5 dB	n.a.	n.a.	200	500	n.a.
OM2	Orange	G50/125	3,5 dB	1,5 dB	n.a.	n.a.	500	500	n.a.
OM3	Aqua	G50/125	3,5 dB	1,5 dB	n.a.	n.a.	1500	500	2000
OM4	Aqua	G50/125	3,5 dB	1,5 dB	n.a.	n.a.	3500	500	4700
Monomodefaseren (Singlemode-Fasern)									
OS1	Gelb	E9/125	n.a.	1,0 dB	n.a.	1,0 dB	n.a.		
OS2	Gelb	E9/125	n.a.	0,4 dB	0,4 dB	0,4 dB	n.a.		

## Typischer Aufbau einer Glasfaser



Typischer Aufbau einer Glasfaser:

1 – Kern (engl. *core*)  
 2 – Mantel (engl. *cladding*) mit  $n_K > n_M$   
 3 – Schutzbeschichtung (engl. *coating* und/oder *buffer*) und 4 – äußere Hülle (engl. *jacket*). Für die Größenverhältnisse der einzelnen Bereiche siehe Tabelle im Text.



Lichtdämpfung in Abhängigkeit von der Wellenlänge durch fundamentale Materialeigenschaften und Verunreinigungen. Im linken und rechten Rand sind die Ausläufer der Absorptionsbanden im ultravioletten (überlagert von Verlusten durch Rayleigh-Streuung) bzw. infraroten Spektralbereich zu erkennen, welche noch zusätzlich von den sogenannten *Water-Peaks* bei 950 nm, 1240 nm und 1380 nm überlagert werden.

## Verluste durch fundamentale Materialeigenschaften

Lichtdämpfung in Abhängigkeit von der Wellenlänge durch fundamentale Materialeigenschaften und Verunreinigungen. Im linken und rechten Rand sind die Ausläufer der Absorptionsbanden im ultravioletten (überlagert von Verlusten durch Rayleigh-Streuung) bzw. infraroten Spektralbereich zu erkennen, welche noch zusätzlich von den sogenannten *Water-Peaks* bei 950 nm, 1240 nm und 1380 nm überlagert werden.

Die während der Lichtleitung in Glasfasern entstehenden intrinsischen Verluste sind auf fundamentale Materialeigenschaften und unerwünschte Verunreinigungen des verwendeten Glases zurückzuführen.

Es gibt materialspezifische Absorptionsbanden im ultravioletten und infraroten Spektralbereich. Die Ausläufer erstrecken sich jeweils bis in den dazwischen liegenden Bereich der optischen Datenübertragung (nahes Infrarot, NIR), und würden unter Vernachlässigung der weiter unten beschriebenen zusätzlich auftretenden Verlustmechanismen ein theoretisches Dämpfungsminimum bei ca. 1500 nm ergeben.

- Die UV-Absorption beruht auf elektronischen Übergängen in der komplexen Bandstruktur des Glases, welche durch die variierenden Bindungslängen und Bindungswinkel im unregelmäßigen Siliziumdioxid-Gefüge ( $\text{SiO}_2$ ) gegeben ist. Die Bandübergänge werden durch die Anregung von Phononen und Exzitonen, und deren mögliche Interaktion untereinander verursacht. Die UV-Absorption amorpher Materialien wie Glas zeigt ein typisches exponentielles Abklingverhalten mit zunehmender Wellenlänge, welche als Urbach-Ausläufer (engl. Urbach tail) bezeichnet werden.
- Im infraroten Spektralbereich kommt es durch Materialresonanzen zu Absorptionsbanden, die hauptsächlich auf Molekülschwingungen der Si-O-, Ge-O- und P-O-Bindungen zurückzuführen sind.

Die UV-Absorption wird zusätzlich noch überlagert von der Rayleigh-Streuung, welche durch die statistische amorphe Struktur des Glases verursacht wird und mit  $1/\lambda^4$  zu längeren Wellenlängen hin abnimmt. Sie überwiegt im nahen infraroten Spektralbereich bis ca. 1500 nm und trägt entscheidender zur Gesamtdämpfung bei als die Ausläufer der UV-Absorption. Die im Glasfasern ebenfalls auftretende Brillouin- und Raman-Streuung kann bei den meisten Anwendungen typischerweise vernachlässigt werden, da deren Beitrag zur Dämpfung sehr gering ist. Mögliche Beeinflussungen durch nichtlineare Effekte treten bei diesen Streuprozessen erst beim Einsatz hoher optischer Leistungen auf (stimulierte Brillouin- bzw. Raman-Streuung).

Weitere Ursachen sind Verunreinigungen des Fasermaterials, hauptsächlich während des Herstellungsprozesses absorbiertes Wasser oder des Ausgangsmaterials. Höhere Harmonische der Molekülschwingungen der O-H-Bindungen (Fundamentale um etwa 2800 nm) erzeugen zusätzliche Absorptionsmaxima bei 950 nm, 1240 nm und 1380 nm, Wasserbanden welche auch als *water peaks* (engl.) bezeichnet werden. Die einzelnen Beiträge zum Energieverlust ergeben einen wellenlängenabhängigen Gesamtverlust, wie er im Bild links dargestellt ist. Einfache Fasern werden deshalb in den um die Minima liegenden Spektralbereichen um 850 nm, 1310 nm (O-Band) oder 1550 nm (C-Band) betrieben.

Eine Weiterentwicklung der Standard-Singlemode-Faser (SSMF) sind die sogenannten Low-Water-Peak-Fasern (ITU-T G.652.C und G.652.D[14]) und Zero-Water-Peak-Fasern. Im Gegensatz zur SSMF werden diese Faser durch verbesserte Herstellungsprozesse und Ausgangsmaterialien (nahezu) wasserfrei hergestellt, wodurch die Dämpfung im

Wellenlängenbereich zwischen 1260 nm und 1625 nm stark reduziert werden kann. Mit diesen Fasern wird das sogenannte E-Band (engl. extended band) für die Datenübertragung geöffnet. Dieser Bereich wird überwiegend mit der CWDM-Technologie (engl. coarse wavelength division multiplex, dt. „grobes Wellenlängenmultiplexing“) erschlossen, die es ermöglicht aufgrund der großen Kanalabstände auf sehr kostengünstige, ungekühlte Laser für die Übertragung zurückzugreifen. (Quelle: wikipedia)

### Spleißen von Glasfasern

Glasfasern (Lichtwellenleiter) werden mit einem speziellen Lichtbogenspleißgerät gespleißt, wobei Verlegekabel an ihren Enden mit jeweiligen „Pigtails“ - kurze Einzelfasern mit LWL-Steckverbindern an einem Ende - verbunden werden. Das Spleißgerät justiert die lichtleitenden Kerne der beiden Enden der zu spleißenden Glasfasern punktgenau aufeinander. Das Justieren geschieht bei modernen Geräten vollautomatisch, bei älteren Modellen manuell mittels Mikrometerschrauben und Mikroskop. Ein geübter Spleißer kann damit die Faserenden innerhalb weniger Sekunden präzise positionieren. Anschließend werden die Fasern mit einem Lichtbogen miteinander verschmolzen (verschweißt). Abhängig von der Qualität des Spleißvorgangs werden an den Spleißstellen Dämpfungswerte um 0,3 dB, bei guten Spleißen auch unter 0,02 dB erreicht. Bei Geräten der neueren Generation wird die Ausrichtung automatisch durch Motoren vorgenommen. Hierbei unterscheidet man die Kern- und die Mantelzentrierung. Bei der Kernzentrierung (in der Regel bei Monomode-Fasern) werden die Faserkerne mittels elektronischer Bildverarbeitung vor dem Spleiß aufeinander justiert. Ein eventueller Kernversatz der Fasern wird korrigiert. Bei der Mantelzentrierung (in der Regel bei Multimode-Fasern) werden die Fasern mittels elektronischer Bildverarbeitung vor dem Spleiß aufeinander justiert. Ein eventueller Mantelversatz wird korrigiert.

Beim Arbeiten mit guten Geräten liegt der Dämpfungswert erfahrungsgemäß bei max. 0,1 dB. Messungen werden mittels spezieller Messgeräte, u. a. optische Zeitbereichsreflektometrie (Optical Time Domain Reflectometry - OTDR), durchgeführt. Eine gute Spleißverbindung sollte eine Dämpfung < 0,3 dB auf der gesamten Strecke aufweisen. Fertige Glasfaserspleiße werden in Spleißboxen untergebracht.

### Messungen der Glasfasern

#### Optische Zeitbereichsreflektometrie

Die **optische Zeitbereichsreflektometrie**, auch bekannt unter der englischen Bezeichnung Optical-Time-Domain-Reflectometry kurz OTDR, ist ein Verfahren zur Ermittlung und Analyse von Laufzeiten und Reflexionscharakteristika von elektromagnetischen Wellen und Signalen im Wellenbereich des Lichts.

In der Praxis spielt der Bereich der optischen Zeitbereichsreflektometrie vor allem in der Netzwerktechnik und Telekommunikation eine immer wichtigere Rolle. Die OTDR ist eine direkte Weiterentwicklung der Zeitbereichsreflektometrie, die ihre Wurzeln im Anfang der Radartechnik in den 1930er Jahren hat.

#### Das Verfahren

Bei der optischen Zeitbereichsreflektometrie wird ein Laserpuls der Dauer von 3ns bis 20µs in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt und das Rückstreulicht über der Zeit gemessen. Aus der logarithmisch aufgetragenen Rückstreuintensität können dann die Verluste von Spleißen auf der Strecke und Reflexionen von Steckern wie auch die Dämpfung der Glasfaser (in dB/km) bestimmt werden. Das gemessene Signal besitzt eine Zeitabhängigkeit, die über die Gruppengeschwindigkeit  $v_g$  in eine Ortsabhängigkeit umgerechnet werden kann. Somit kann eine orts aufgelöste Dämpfungsmessung realisiert werden. Bei variierenden Fangfaktoren  $S$  und sich ändernden Streukoeffizienten  $\alpha$  kann es zu einer Fehlinterpretation des gemessenen Signals kommen. Diese kann durch eine zweite Messung am anderen Ende der Faser und über die Mittelung der beiden gemessenen Ergebnisse kompensiert werden. (Quelle: wikipedia)