

Kommunikationskabelnetze

**30. ITG-Fachtagung mit Ausstellung
Köln, Maternushaus**

Physikalische Eigenschaften der verschiedenen Einmodenfasern (Zoo?)
und die Verträglichkeit (Interoperabilität) zwischen den jeweiligen
Einmodenfaserpaaren

Carsten Engelke
(ANGA - Der Breitbandverband e.V.)
Dr. Hans-Detlef Leppert
(LEPPERT Sachverständige Beratung GmbH)

Vortragsübersicht

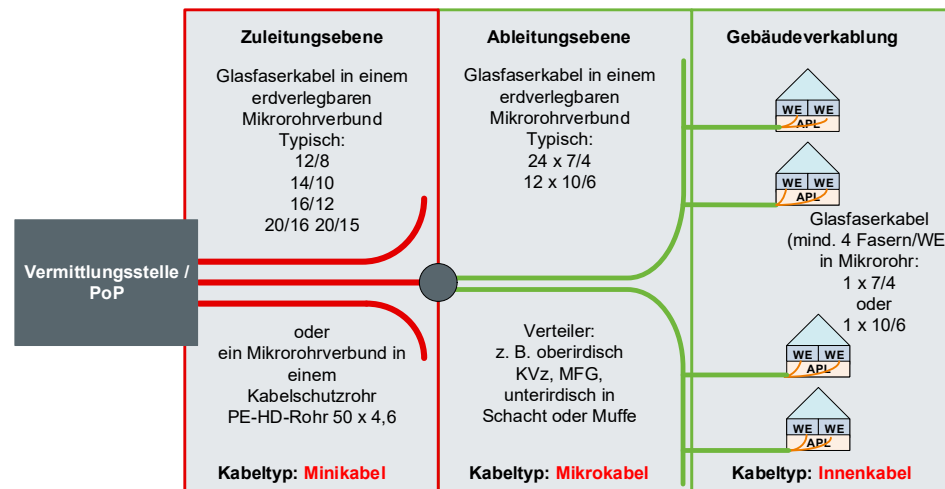
- Der Glasfasermarkt benötigt Interoperabilität
- Übersicht über optische Fasern
 - Aufbau der optischen Fasern und Prinzip der Lichtleitung durch Totalreflexion
 - Gradienten-Faser
 - Einmoden-Faser
- Charakterisierung der optischen Fasern
 - Strahlprofile
 - Dämpfung
 - Felddurchmesser $2W_0$
 - Dispersion
 - Chromatische Dispersion
 - Materialdispersion
 - Wellenleiterdispersion
 - PMD – Polarisation Moden Dispersion
 - Dispersionskompensierende Fasern
- Krümmungsempfindlichkeit
- Einmodenfasern - IEC Standards und ITU-T Recommendations
- Empfehlungen zur Faserspezifikationsauswahl

Der Glasfasermarkt benötigt eine Interoperabilität

- Der Ausbau des Glasfasernetzes soll bis 2030 finalisiert sein
- Immer mehr greifen Kooperationen zwischen den Anbietern, wie z.B. OpenAccess und andere Möglichkeiten der gemeinsamen Nutzung (auch Nutzung der Dark Fiber)
- Verschiedene Stadtwerke legen im Rahmen der Mitnutzung Glasfasern, die durch die TK-Unternehmen genutzt werden können
- Es werden im Markt verschiedene Systeme zusammengeschaltet
- Der Inhouse Bereich FTTH wird in den kommenden Jahren immer mehr in den Fokus rücken
- Dort eingesetzte Fasern müssen zueinander passen, um die Dienste problemlos übertragen zu können
- Entsprechende SLAs zwischen den Marktpartnern werden in einem überprüfbar Verfahren gemessen
- Die zusammengeschalteten Fasern müssen eine entsprechende Systemperformance erbringen
- Die bereits verlegten Glasfasern müssen in ihren Werten eine bekannte Performance erbringen
- Der Betrieb eines Glasfasernetzes basiert auf berechneten Performance Parametern
- Für die Planung einer Glasfaserinfrastruktur sind verlässlich Werte der Leistungsfähigkeit einer Faser wichtig
- Es sind einheitliche, transparente Bewertungskriterien der Glasfasern notwendig
- Es muss eine einheitliche, einfache Faserauswahl möglich sein
- Spezifikationen für die Planung müssen einheitlich sein, um Kooperationsmärkte zu erschließen

Der Glasfasermarkt benötigt eine Interoperabilität

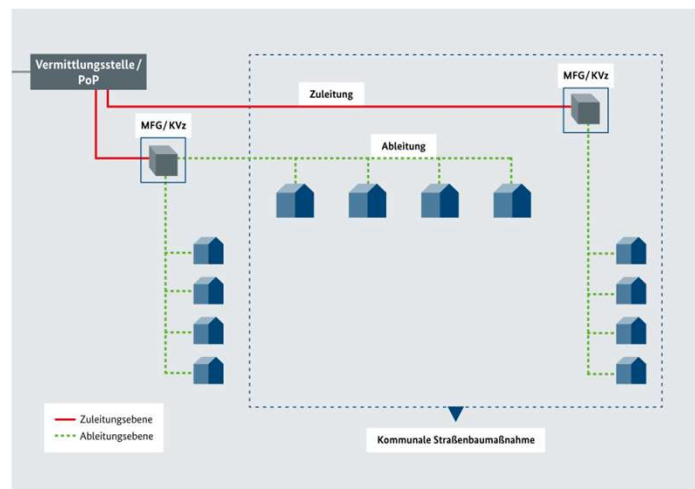
- Im Inhouse Bereich werden vier Fasern pro WE empfohlen. (Quelle: BMDV „Handreichung für ein Materialkonzept zur Umsetzung des § 77i Abs. 7 TKG“ vom August 2018 (modifiziert))
- Diese Fasern müssen in den Anschlussbereichen performant nutzbar sein.
- Darstellung der Bezugskette:



Quelle: ANGA Der Breitbandverband e.V

Der Glasfasermarkt benötigt eine Interoperabilität

- Die aktuelle Diskussion um Homes passed und Homes Connected gibt die Anforderungen gut wieder
- Wenn der Glasfaserbetreiber ein Anschluss der Wohnungen vornehmen muss, in Gebäuden, in denen schon eine Glasfaserstruktur vorhanden ist, müssen die Parameter genau berechnet werden, um die Wohnungen zu aktivieren
- Der Ausbau der Gebäudeinfrastrukturen wird ein „enabler“ für die Interoperabilität sein.
- Ebenfalls die gemeinsame Leitungsnutzung in der Zu- und Ableitungsebene

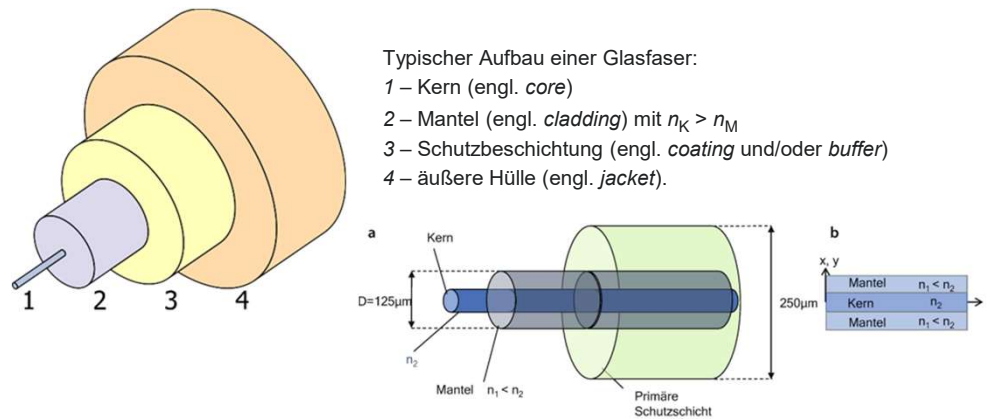


Quelle: Gigabitbüro des Bundes

Der Glasfasermarkt benötigt eine Interoperabilität

- Die BMDV „Handreichung für ein Materialkonzept zur Umsetzung des § 77i Abs. 7 TKG“ vom August 2018 (modifiziert) verweist z.B. auf den Fakt:
Die G.657.A1- und G.657.A2-Standards sind rückwärtskompatibel zum G.652.D-Standard (Low-Water-Peak-Standard).

Übersicht über optische Fasern

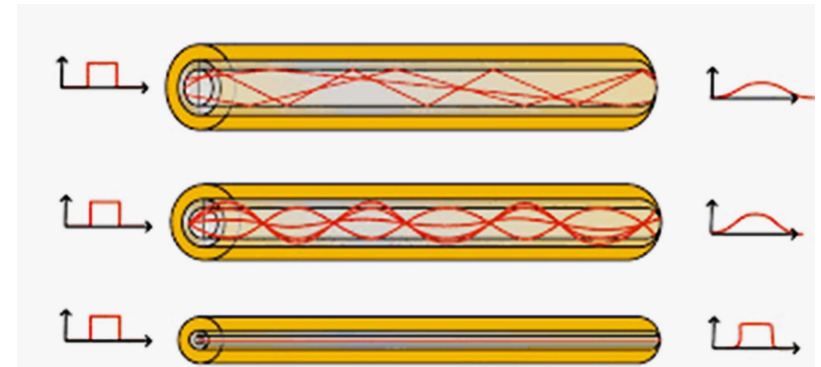


Gradienten-Faser

Kerndurchmesser: $2a = 50 \mu\text{m}$
 Außendurchmesser Quarz: $2d = 125 \mu\text{m}$
 Coating-Außendurchmesser: $2D = 245 \mu\text{m}$

Einmoden-Faser

Kerndurchmesser: $2a = 9 \mu\text{m}$
 Außendurchmesser Quarz: $2d = 125 \mu\text{m}$
 Coating-Außendurchmesser: $2D = 245 \mu\text{m}$



Lichtleitung über Totalreflexion

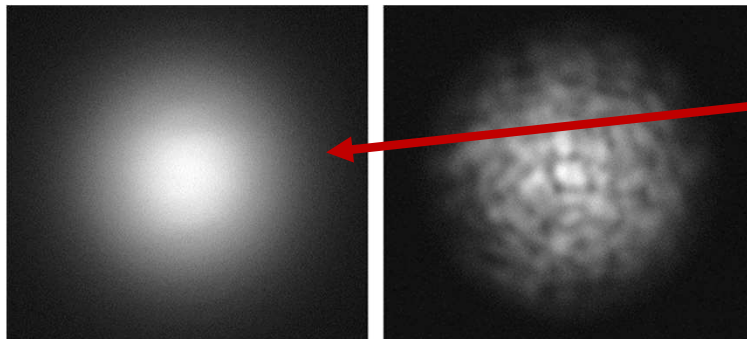
Anzahl der Moden

- Gradienten-Faser $\gg 100$
- Einmoden-Faser $= 1$

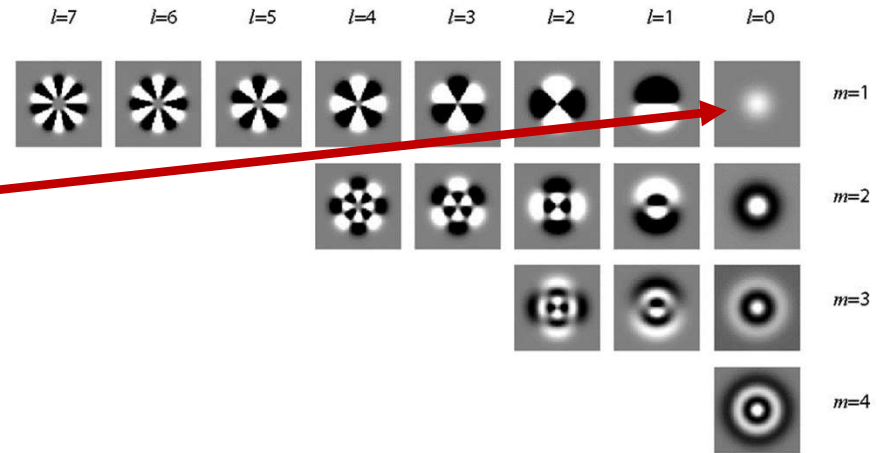
Verbindungstechnik (Erhaltungssatz der Schwierigkeit)

- Gradienten-Faser einfach (Versatz $3 \mu\text{m} > 6\%$)
- Einmoden – Faser schwierig (Versatz $3 \mu\text{m} > 33\%$)

Strahlprofile



Einmoden-Faser LP₀₁-Mode Gradienten-Faser

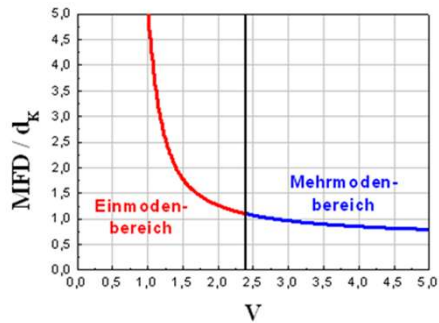


LP_{l,m}-Moden in Lichtwellenleitern

Die Indizes charakterisieren die Struktur der Intensitätsverteilung:

m Nullstellen in radialer Richtung (vertikale Bildreihe),
 l Nullstellen bei 360°-Umlauf der Winkelkoordinate (l Knotenpaare; horizontale Bildreihe).

Schwarz sind Bereiche negativer Feldstärke; die zum Quadrat der Feldstärke proportionale Intensität (Helligkeit) ist dort ebenso groß wie in den weißen Bereichen. Nur an den Übergängen geht die Intensität auf null (Nullstelle der Feldstärke).



Modenfelddurchmesser normiert auf Kerndurchmesser als Funktion der normierten Frequenz V . Näherung für die Ausbreitung der LP₀₁-Grundmode in einer Stufenindexfaser

Dämpfung - α Wellenlänge λ

An den Rändern sind die Ausläufer der Absorptionsbanden im UV (überlagert von Verlusten durch Rayleigh-Streuung) und IR-Bereich zu sehen.

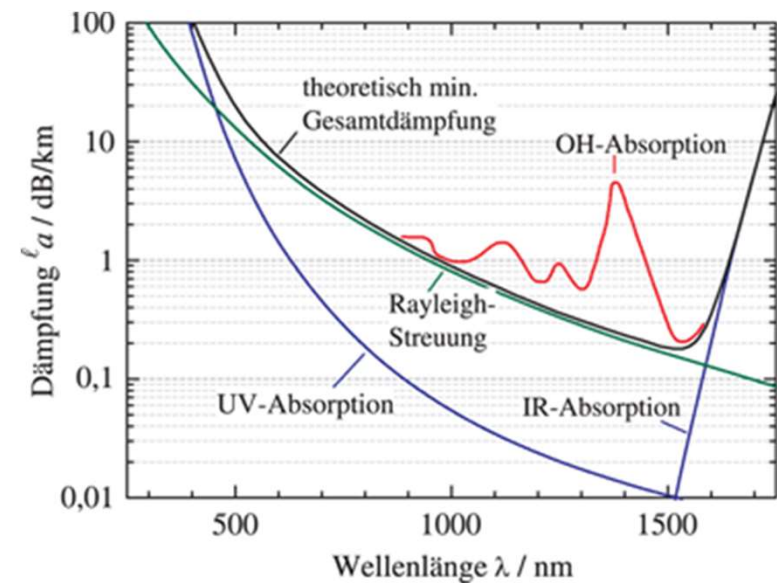
Die **UV-Absorption** beruht auf elektronischen Übergängen in der komplexen Bandstruktur des Glases.

Im **infraroten Spektralbereich** kommt es durch Materialresonanzen zu Absorptionsbanden (Molekülschwingungen der Si-O-, Ge-O- und P-O-Bindungen).

Die einzelnen Beiträge zum Energieverlust ergeben einen wellenlängenabhängigen Gesamtverlust, wie er in der Abbildung 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) und *Zero-Water-Peak-Fasern*, deren Dämpfung im Wellenlängenbereich zwischen 1260 nm und 1625 nm stark reduziert ist



Dispersion

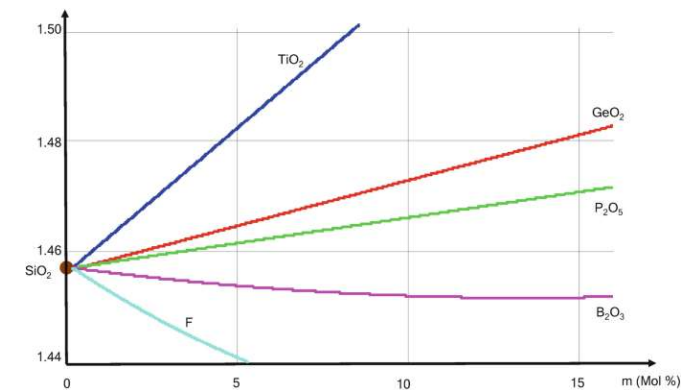
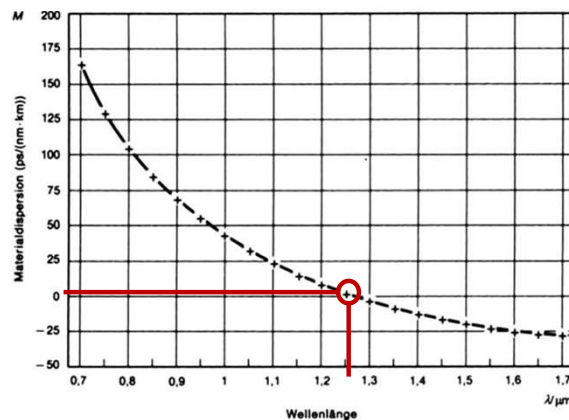
Die Gesamtdispersion ist die Summe aus Material-, Wellenleiter- und Polarisationsdispersion (PMD)

- **Materialdispersion in reinem Quarzglas (SiO_2).**

Der Dispersionskoeffizient M stellt die Laufzeitverbreiterung Δt der Pulse bezogen auf Wellenlängenintervall $\Delta\lambda$ und Faserlänge l als Funktion der Wellenlänge dar.

Die Pulsverbreiterung aufgrund der Materialeigenschaften verschwindet (annähernd) bei $\lambda = 1,27 \mu\text{m}$ und wird für größere Wellenlängen negativ, d.h. die Pulse größerer Wellenlänge laufen langsamer.

Die Dotierung des Quarzglases mit den entsprechenden Dotierungen (Titan, Germanium, Phosphor, Bor und Fluor) verändern – wunschgemäß die – Brechzahl als auch über die Wellenleiterdispersion die Gesamtdispersion.



Wellenleiterdispersion

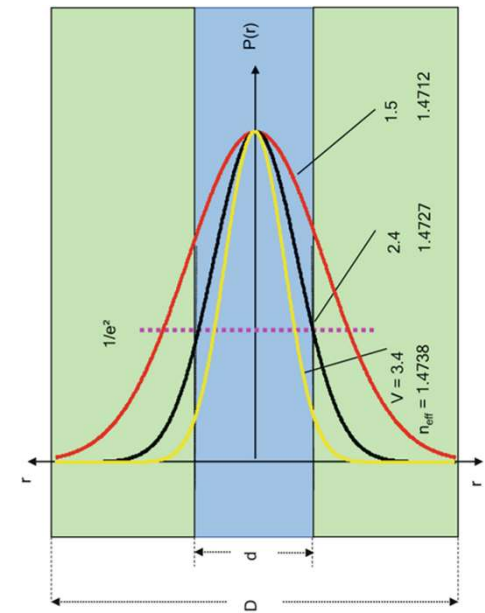
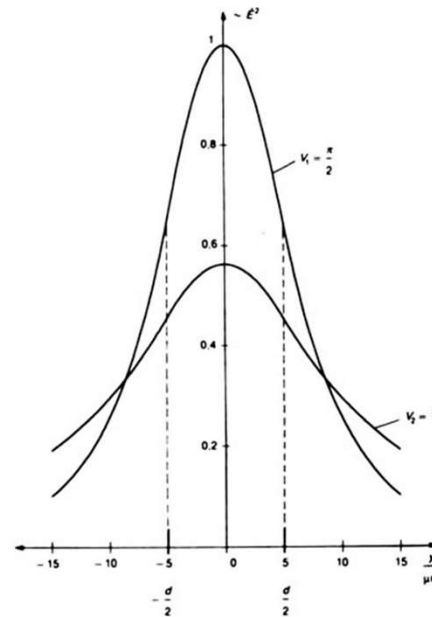
Verlauf von E^2

E^2 von Monomodefasern mit $V_1 = \pi/2$ und $V_2 = 1$ (für $\Delta n = \text{konstant}$ ist dann $\lambda_2 = 2 \lambda_1 * \pi/2$).

Die transportierte Energie ist in beiden Fällen gleich.

Die Mode mit $V_2 = 1$ breitet sich überwiegend im Mantel aus und ein kleineres ‚Confinement‘ im Vergleich zur Mode mit $V_1 = \pi/2$.

Hierdurch sehen die beiden Moden im Mantelbereich geänderte Brechungsindices und damit verbunden eine geänderte Wellenleiterdispersion und



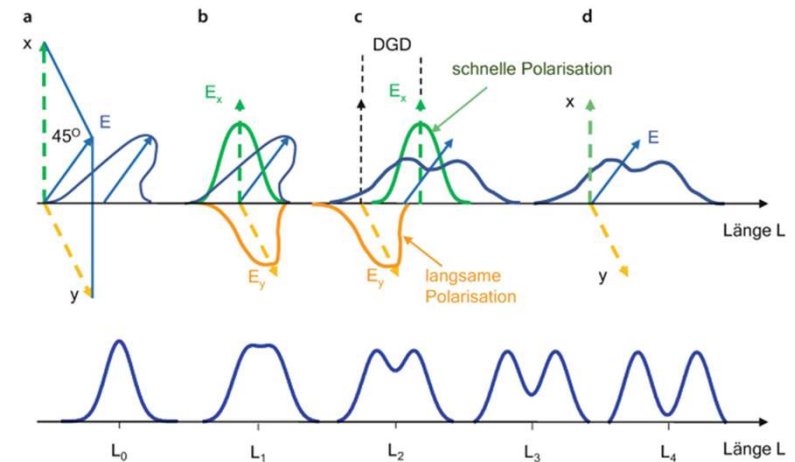
▪ Polarisationsmodendispersion - PMD

Die PMD ergibt sich aus der Tatsache, dass eine linear polarisierte Welle zusammengesetzt ist aus zwei orthogonal aufeinander ‚stehenden‘ Zirkularwellen, die unterschiedliche Brechungsindices sehen und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ‚unterwegs‘ sind.

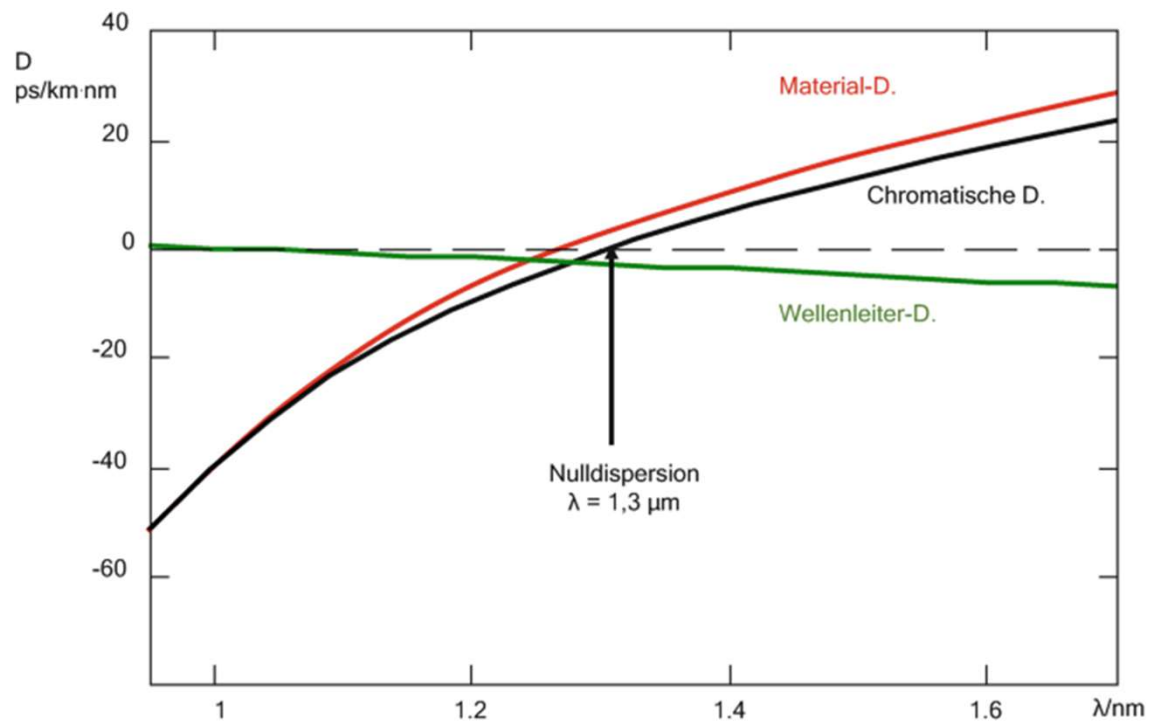
Die im Bereich höheren Brechungsindices ‚läuft‘ langsamer und vice versa mit dem Resultat von Laufzeitunterschieden und einem ‚Verwischen‘ der Pulsform.

Die PMD ist – im Gegensatz zu den anderen Faserparameter ein statistischer Wert und ist nur definiert, wenn die Laufzeitunterschiede Maxwell-verteilt sind.

Angegeben wird der Koeffizient



➤ Gesamtdispersion



- **Krümmungsverluste krümmungsunempfindliche Fasern**

Teile der transportierten Leistung erstreckt sich auch in den Mantelbereich.

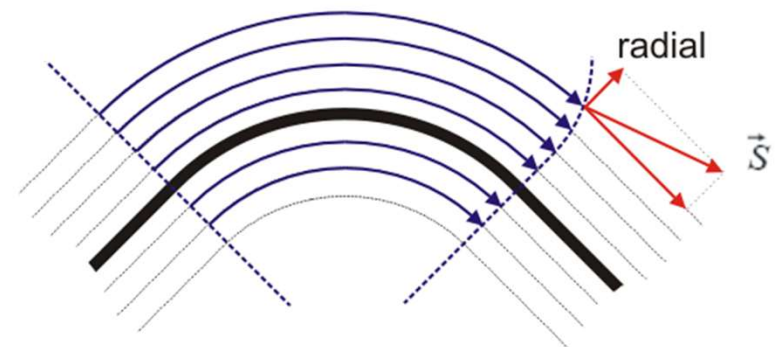
Der Modenfelddurchmesser ist immer größer als der Kerndurchmesser und nimmt mit der Wellenlänge zu.

Im äußeren Bereich der Biegestelle kommt es mit zunehmendem Abstand vom Kern zu einer Wegverlängerung, die ein Zurückbleiben der Phasenfronten verursacht, da die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit im Mantel nicht überschritten werden kann.

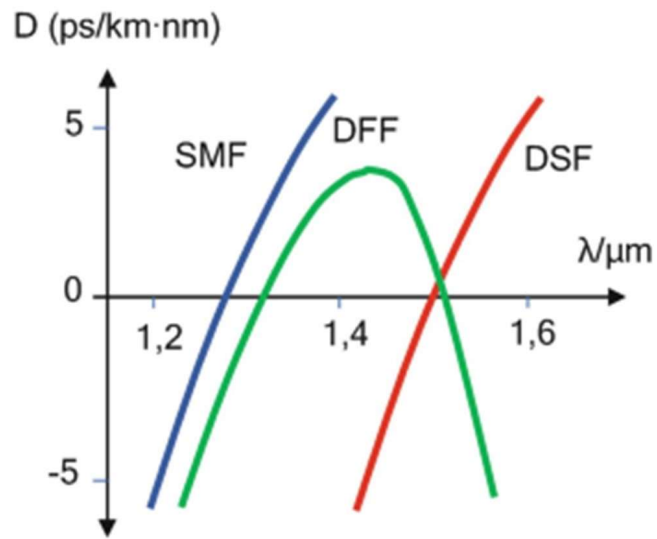
Durch die nicht mehr ebene Wellenfront kommt es zu einer radialen Komponente des Poynting-Vektors, welche eine Abstrahlung von Energie zur Folge hat. Die beschriebenen Effekte machen sich in Form einer Dämpfungserhöhung bemerkbar.

Dies kann teilweise durch die Modifizierung des Brechzahlprofils kompensiert werden krümmungsunempfindliche Einmodenfasern.

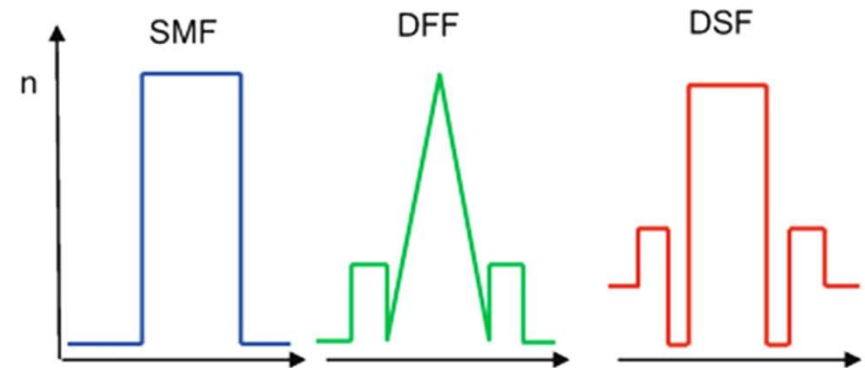
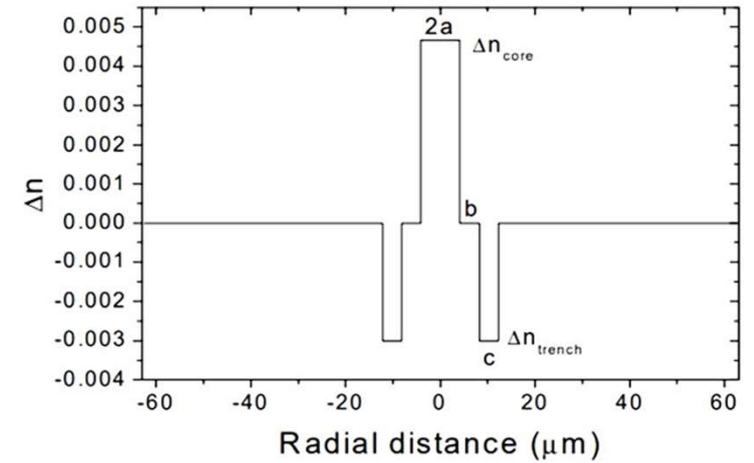
Achtung: Die Krümmungsunempfindlichkeit bezieht sich rein auf die Optik und nicht die Zerreißfestigkeit der Fasern.



▪ Krümmungsunempfindliche Fasern - Brechzahlprofile



SMF Single Mode Fibre
 DDF Non Zero Dispersion Fibre
 DSF Dispersion shifted Fibre

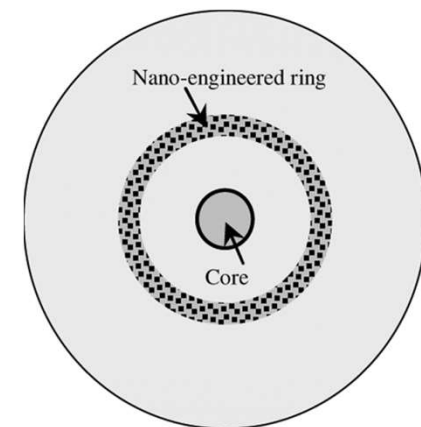
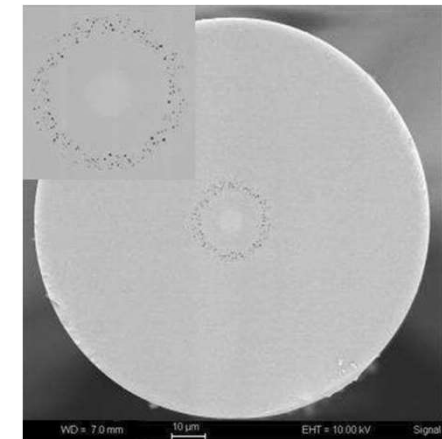
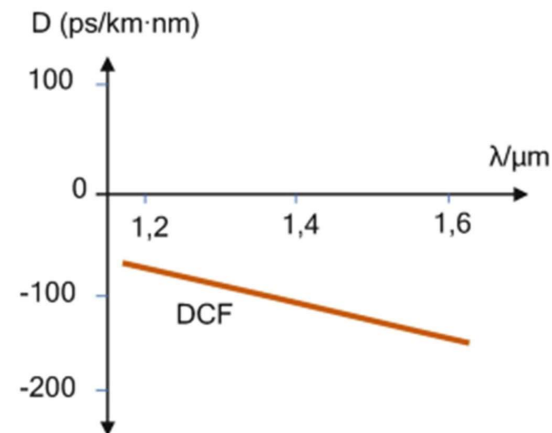


▪ Dispersionskompensationsfaser - DCF

Die DCF-Faser ist eine solche Dispersionskompensationsfaser. Sie hat eine negative Dispersion von -16 ps/nm/km , mit der die positive Dispersion einer konventionellen Faser mit 100 ps/nm/km im Längenverhältnis von 1:6 bis 1:7 kompensiert werden kann.

Durch den Einsatz der DCF-Faser können auch konventionelle Fasern über längere Strecken eingesetzt werden.

Zur Dispersionskompensation wird eine DCF-Faser mit einer normalen Glasfaser verbunden. Der negative Dispersionswert der DCF-Faser kompensiert so die Dispersion der normalen Faser. Nachteilig ist, dass die DCF-Faser einen schmalen Kerndurchmesser hat, das zu einer größeren Dämpfung führt.



- **Zusammenstellung der wesentlichen Faserparameter**

- Faseraußendurchmesser
- Kerndurchmesser
- Felddurchmesser $2W_0$
- Cutoff-Wellenlänge λ_c
- Dispersion
- Dämpfung
- PMD-Koeffizient

Diese Parameter sind in den IEC-Standards und ITU-T Recommendations spezifiziert in einem ‚größeren‘ Rahmen spezifiziert, den der Anwender / Kunde nach seinen Bedürfnissen noch detaillierter spezifizieren sollte.

Eine Faser nach z.B. ITU-T 655 ist nicht in allen Belangen spezifiziert.

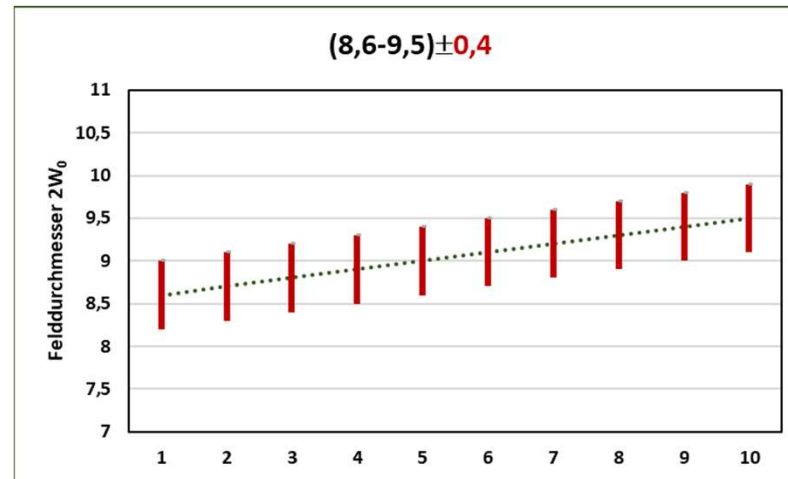
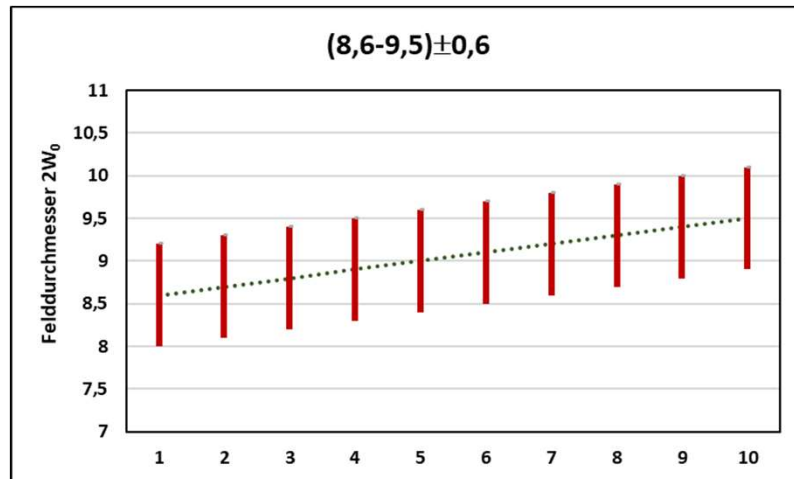
Der Faser – ‚ZOO‘

	Macrobend										Chromatic Dispersion				Attenuation Coefficient / dB/km			PMD Coefficient			α / dB/km	α _{max} / dB/km	α _{min} / dB/km
	λ / nm	2W ₀ / μm	cladding / μm	coreprop / μm	G n on / %	λ _c / nm	Radius / mm	No turns	max @ 1625 / db	minimum / GPa	S ₁₆₂₅ / nm	λ _{zero} / nm	S _{zero} / ps/(nm ² km)	S _{zero} / ps/(nm ² km)	1310 nm	1550 nm	1625 nm	M	Q	Max PMD / ps/km ^{0.5}			
G.652.B	1310	(8.6-9.5) ± 0.6	125.0 ± 1	0.6	1	1260	30	100	0.1	0.69	1300	1324	0.092		0.4	0.35	0.4	20	0.01	0.20			
G.652.D	1310	(8.6-9.5) ± 0.4	125.0 ± 0.7	0.6	1	1260	30	100	0.1	0.69	1300	1324	0.092		0.4	0.35	0.4	20	0.01	0.20			
											1460 - 1525 nm	1525 - 1625 nm	1460 - 1575 nm	1575 - 1625 nm									
G.651.A	1550	(7.8-8.5) ± 0.6	125.0 ± 1	0.6	1	1270	30	100	0.1	0.69	0.085*(λ-1570)-3.5	3.5/75*(λ-1600)	3.5/75*(λ-1500)	0.085*(λ-1570)-3.5				20	0.01	0.2	0.35		
											D ₁₆₂₅₋₁₆₅₀ / ps/(nm.km)	D ₁₆₅₀₋₁₆₇₅ / ps/(nm.km)	S ₁₆₂₅₋₁₆₅₀ / ps/(nm ² .km)	S ₁₆₅₀₋₁₆₇₅ / ps/(nm ² .km)									
G.654.A	1550	(9.5-10.5) ± 0.7	125.0 ± 1	0.8	2	1530	30	100	0.50	0.69	20	0.070					20	0.01	0.5				
G.654.B	1550	(9.5-13.0) ± 0.7	125.0 ± 1	0.8	2.0	1530	30	100	0.50	0.69	22	0.07					20	0.01	0.2	0.22			
G.654.C	1550	(9.5-10.5) ± 0.7	125.0 ± 1	0.8	2.0	1530	30	100	0.50	0.69	20	0.07					20	0.01	0.20	0.22			
G.654.D	1550	(11.5 - 15) ± 0.7	125.0 ± 1	0.8	2.0	1530	30	100	0.50	0.69	23	0.070					20	0.01	0.2	0.20			
G.654.E	1550	(11.5 - 15) ± 0.7	125.0 ± 1	0.8	2.0	1530	30	100	0.10	0.69	23	0.070	0.050				20	0.01	0.2	0.23	0.25	TBD	
											D ₁₅₅₀₋₁₆₀₀ / ps/(nm.km)	D ₁₆₀₀₋₁₆₅₀ / ps/(nm.km)	D ₁₆₅₀₋₁₇₀₀ / ps/(nm.km)	D ₁₇₀₀₋₁₇₅₀ / ps/(nm.km)									
G.655.C	1550	(8 - 11) ± 0.7	125.0 ± 1	0.8	2.0	1490	30	100	0.50	0.69	1530nm - 1565nm	1.0 ps / nm.km	30.0 ps / nm.km	5.5 ps/nm.km									
											D ₁₅₅₀ (λ)	D ₁₅₅₀ (λ)	D ₁₅₅₀ (λ)	D ₁₅₅₀ (λ)									
G.655.D	1550	(8 - 11) ± 0.6	125.0 ± 1	0.6	1.0	1490	30	100	0.10	0.69	1460 - 1550 nm	1550 - 1625 nm	1460 - 1650 nm	1550 - 1675 nm			0.35	0.4	20	0.01	0.20		
G.655.E	1550	(8 - 11) ± 0.6	125.0 ± 1	0.6	1.0	1490	30	100	0.10	0.69	17.00/90*(λ-1460)+2	12.77/75*(λ-1500)+2	12.91/90*(λ-1460)+2.20	15.06/75*(λ-1550)+2			0.35	0.4	20	0.01	0.20		
											15.43/90*(λ-1460)+6.6	13.30/75*(λ-1500)+6.6	4.65/90*(λ-1460)+4.66	6.13/75*(λ-1550)+3.3									
G.656	1550	(7 - 11) ± 0.7	125.0 ± 1	0.8	2.0	1490	0.05	100	0.50	0.69	2.60/90*(λ-1460)+1.00	0.89/75*(λ-1500)+3.60	4.68/90*(λ-1460)+4.60	4.72/75*(λ-1500)+8.20			0.4	0.35	0.4	20	0.01	0.20	
											M _{max} / dB				M _{min} / dB			M _{collinear} / dB					
G.657.B	1310	(8.6-9.2) ± 0.7	125.0 ± 1	0.5	1.0	1490	0.05	100	0.50	0.69	2.60/90*(λ-1460)+1.00	0.89/75*(λ-1500)+3.60	4.68/90*(λ-1460)+4.60	4.72/75*(λ-1500)+8.20	0.40	0.40	0.30	20	0.01	0.20			
											M _{max} / dB				M _{min} / dB			M _{collinear} / dB					
G.657.B2						Radius/mm	15	10	7.5														
						Number of turns	10	1	1														
						M _{max} / dB	0.03	0.1	0.5														
						M _{min} / dB	0.1	0.2	1.0														
G.657.B3						Radius/mm	10	7.5	5														
						Number of turns	1	1	1														
						M _{max} / dB	0.03	0.08	0.15														
						M _{min} / dB	0.1	0.25	0.45														

Felddurchmesser $2W_0$

$(8,6-9,5)\pm 0,6$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5
	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9
	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10	10,1

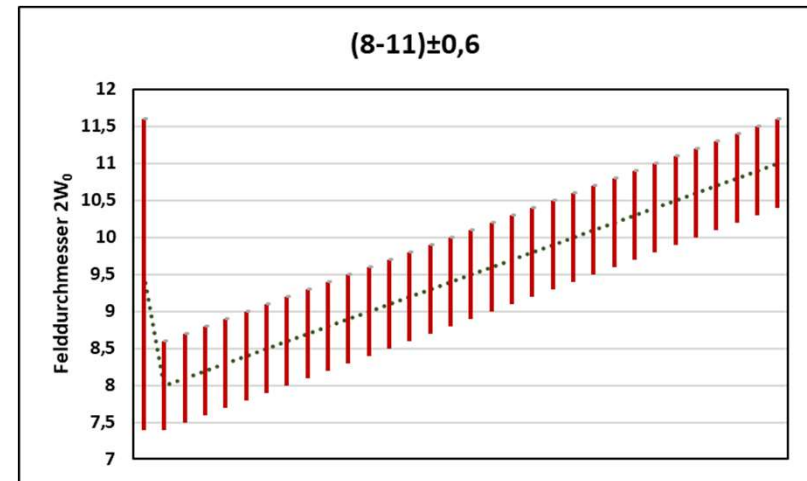
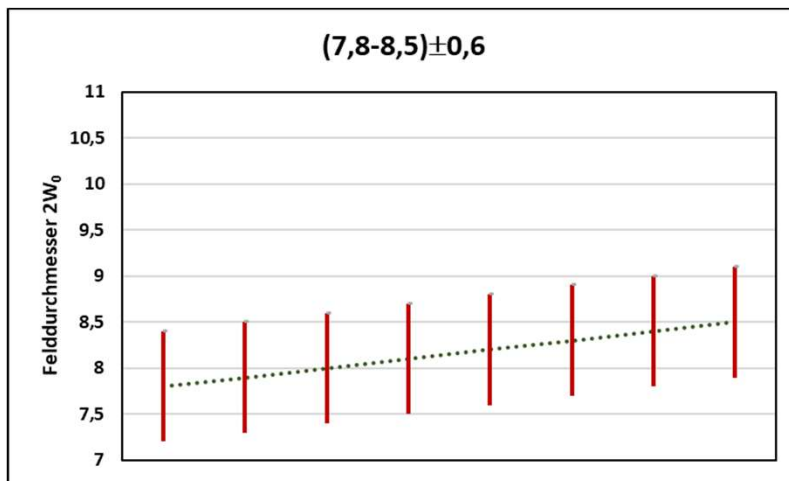
$(8,6-9,5)\pm 0,4$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5
	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1
	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9



Felddurchmesser 2W₀

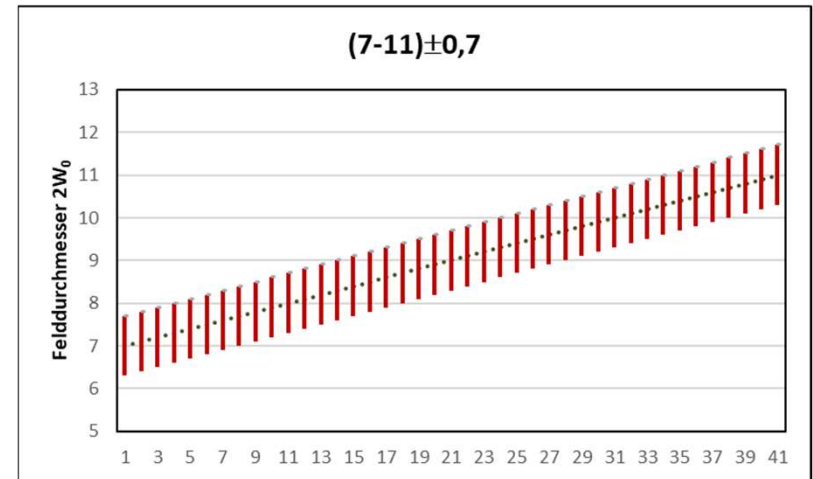
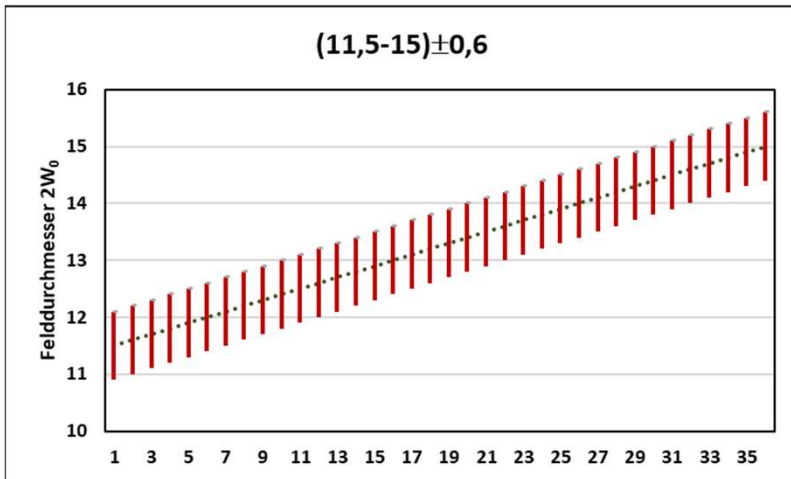
(7,8-8,5)±0,6	1	2	3	4	5	6	7	8
	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5
	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9
	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1

(8-11)±0,6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	9,5	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8
	7,4	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10	10,1	10,2
	11,6	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9	11	11,1	11,2	11,3	11,4

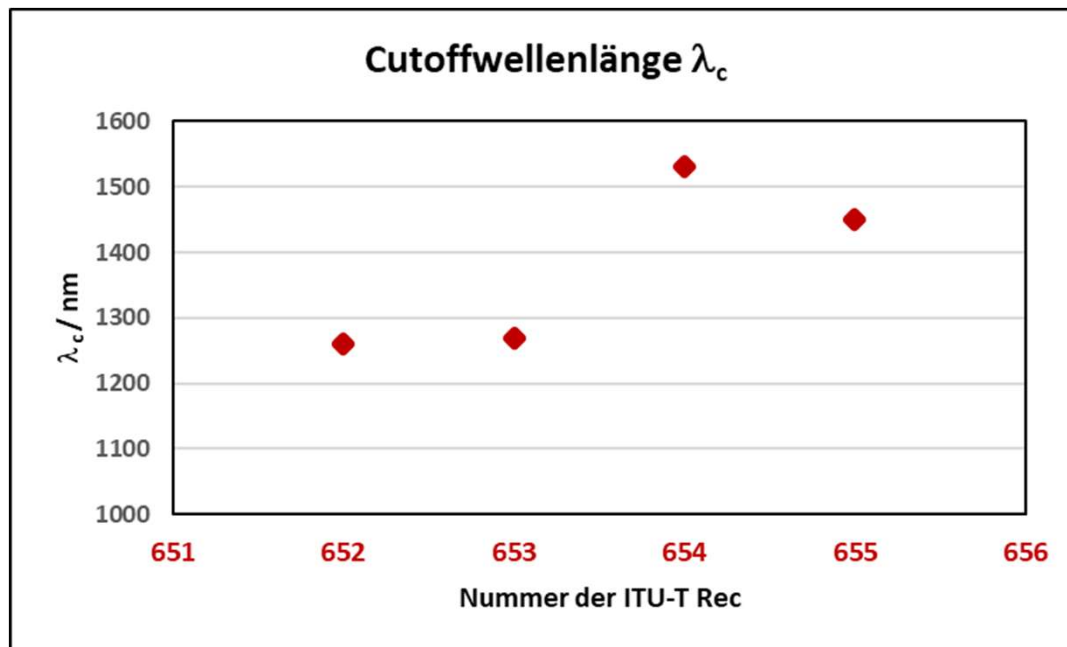


(11,5-15)±0,6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
	11,5	11,6	11,7	11,8	11,9	12	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8
	10,9	11	11,1	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6	11,7	11,8	11,9	12	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14	14,1	14,2
	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9	15	15,1	15,2	15,3	15,4

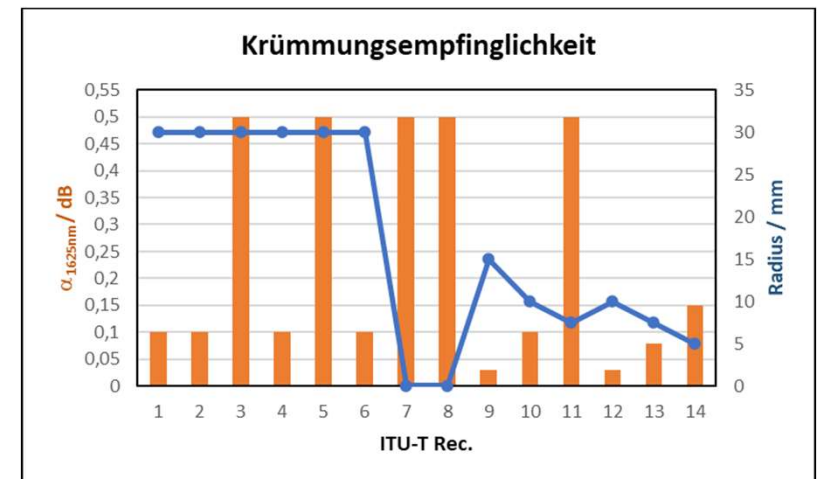
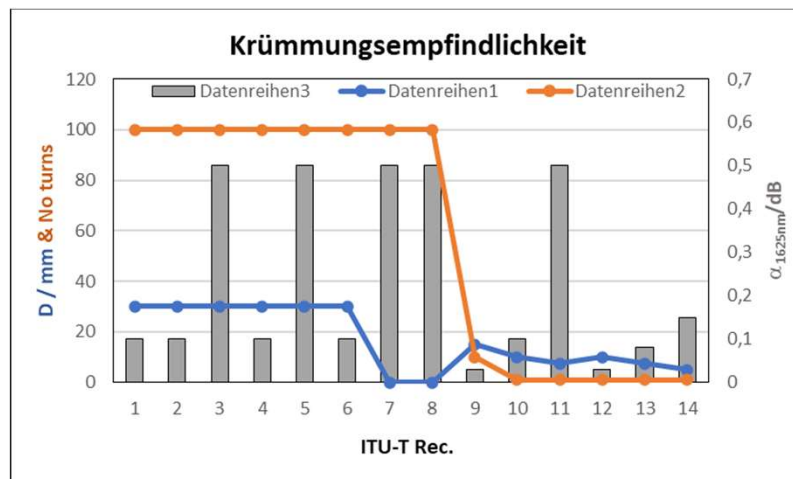
(7-11)±0,7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9
	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10		
	7,7	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9	11	11,1	11,2	11,3	11,4		



Cutoff-Wellenlänge λ_c / nm

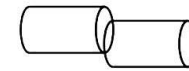
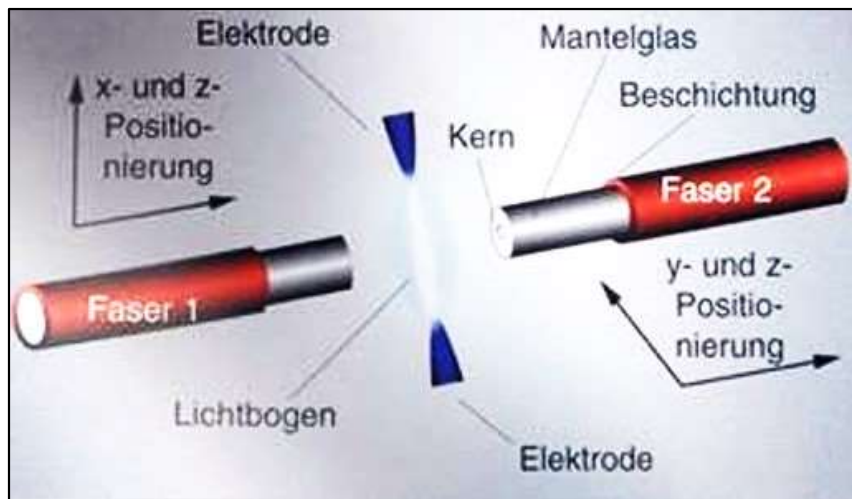


Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ITU-T	652.B	653.A	654	654.E	655.C	655,5/E	656	657.B	657.B2-1	657.B2-2	657.B2-3	657.B3-1	657.B3-2	657.B3-3
D / mm	30	30	30	30	30	30	0,05	0,05	15	10	7,5	10	7,5	5
No turns	100	100	100	100	100	100	100	100	10	1	1	1	1	1
α_{1625nm} / dB	0,1	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,5	0,03	0,1	0,5	0,03	0,08	0,15



Spleissverluste auf Grund von

- falsche Ausrichtung der beiden Einmodenfasern
- Winkelversatz zwischen den beiden Faserflächen
- Unterschiede im Kerndurchmesser (2a)
- Unterschiede in der Kern-Mantel-Exzentrizität
- Unterschiede in den Felddurchmessern $2W_0$



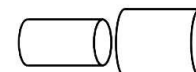
Zwei Faserkerne sind falsch ausgerichtet



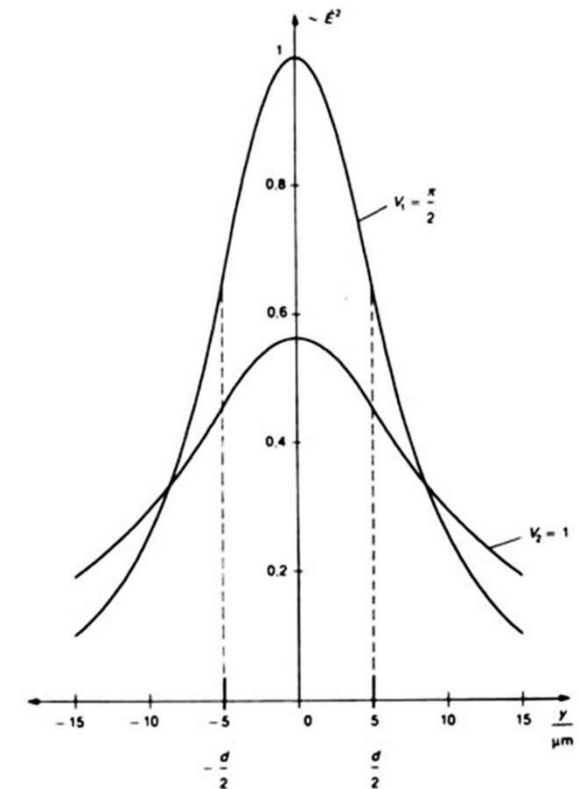
Luftspalt zwischen den Fasern



Faserenden sind nicht sauber oder beschädigt



Größe oder Kerne passen nicht optimal zusammen



Spleißdämpfung - Koppelverluste

Namhafte Spleißgerätehersteller geben folgende typische Spleißdämpfungen an:

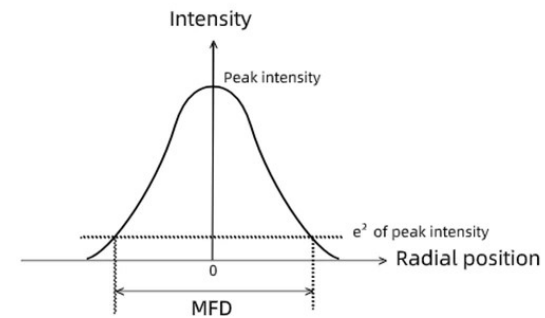
0,01 dB	G.651 (Multimode)
0,02 dB	G.652 (Standard-Singlemode)
0,04 dB	G.653 (dispersionsverschoben Singlemode)
0,04 dB	G.655 (NZDS Singlemode)
0,02 dB	G.657 (biegeunempfindlich Singlemode)

Koppelverlust bei unterschiedlichen Felddurchmessern.

$$a = 20 \lg \left(\frac{w_1^2 + w_2^2}{2w_1 \cdot w_2} \right) \text{ in dB}$$

Toleranz	w ₁	w ₂	a
±0,1 μm	10,3 μm	10,5 μm	0,002 dB
±0,2 μm	10,2 μm	10,6 μm	0,006 dB
±0,3 μm	10,1 μm	10,7 μm	0,014 dB
±0,4 μm	10,0 μm	10,8 μm	0,026 dB
±0,5 μm	9,9 μm	10,9 μm	0,040 dB

Koppelverluste a/dB für 2W₀=10,4mm



➤ Resümee

Bei der Faserbeschaffung und/oder Spezifizierung ist darauf zu achten, dass die Fasern gemäß der einzelnen Norm und/oder ITU-T Recommendations noch näher spezifiziert werden sollten

- In Anlehnung an die ITU-T G.NNN
- Geometrie (2a, Kern-Mantelexzentrizität)
- Brechzahlerhöhung im Faserkern Δn^+
- Dämpfung $\alpha_{1550\text{nm}}$
- Felddurchmesser-Intervall $2W_0$
- Belastungs- / Screeningkraft im Durchlaufstest
- PMD-Wert

Darüber hinaus ist zu beachten, dass

- eine krümmungsunempfindliche Faser dies optisch und nicht mechanisch ist
- Fasern nach einer ITU-T Rec nicht identisch sind
- Spleisstests sind nur aussagekräftig bei identischen (Teile einer gebrochenen) Fasern

- Viel Spass beim Spezifizieren!!!!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Fragen ???????