

White Paper



Gigabit Ethernet über Lichtwellenleiter



Convincing cabling solutions

Inhalt

Gigabit Ethernet über Lichtwellenleiter

	Seite
1. LAN-Verkabelung und der Schritt zu 10 Gigabit Ethernet	3
2. Standardisierte Gigabit- und 10 Gigabit Ethernet-Applikationen über LWL.....	4
3. Strukturierte Gebäudeverkabelung nach ISO/IEC 11801 und EN 50173-1.....	5
3.1. Die Definition des optischen Channels.....	5
3.2. Multimode-Faser-Kategorien	6
3.3. Singlemode-Faser-Kategorien	6
3.4. Steckverbindungen.....	7
3.5. Fusionsspleisse	8
4. Verbesserte Fasern für Gigabit- und 10 Gigabit Ethernet-Anwendungen	8
4.1. Erhöhung der Bandbreite durch MM-Fasern der Kategorie OM3	8
4.2. SM-Fasertypen und deren Einsatz für Gigabit- und 10 Gigabit Ethernet.....	10
5. Gigabit- und 10 Gigabit Ethernet-Anwendungen in ISO/IEC 11801 und EN50173-1.....	11
6. Zusammenhang zwischen Channel, Klasse, Bandbreite und Dämpfung	12
Fazit für R&M.....	13
6.1. Steckverbinder.....	13
6.2. Faserdämpfung	13
6.3. Faserbandbreite	13
6.4. Rechenbeispiele	14
7. Ausblick	15
8. Anhang: Weitere standardisierte MM-Fasertypen.....	16

© Copyright 2004 Reichle & De-Massari AG (R&M). Alle Rechte vorbehalten.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind, zu welchem Zweck und in welcher Form auch immer, ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch Reichle & De-Massari AG nicht gestattet. In dieser Publikation enthaltene Informationen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die Erstellung dieses Dokuments erfolgte mit grösstmöglicher Sorgfalt und enthält den zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellen technischen Stand. Technische Änderungen vorbehalten.

Ethernet wird immer schneller und reicht immer weiter. Die gängige LAN-Protokollfamilie kann mit 10 Gigabit Ethernet erfolgreich gegen herkömmliche Weitverkehrs-Übertragungstechniken antreten. Als Übertragungsmedium sind Lichtwellenleiter prädestiniert. Mit der hohen Übertragungsbandbreite halten umgekehrt die Lichtwellenleiter Einzug in den LAN-Bereich. Die neuen Normen für strukturierte Gebäudeverkabelungen, ISO/IEC 11801 und EN 50173-1, beziehen 10 Gigabit Ethernet-Applikationen über Lichtwellenleiter ein. Verwirrend sind die Normen, die Definitionen, die Vielzahl der Faser- und Steckertypen. Welche Parameter sind jetzt wichtig, welche in Zukunft? Genauer gesagt: Worein soll man heute investieren, um für die Zukunft gerüstet zu sein? Das vorliegende White Paper informiert über die technischen Hintergründe und gibt Hilfen für die Entscheidung.

Anwendung:	Enterprise Cabling
Technologie:	Optical Fiber
Format:	White Paper
Themen:	Normen, Fasertypen, Bandbreiten und Reichweiten, Channel-Definition und Steckertypen
Ziel:	Erläuterung von Faserklassen und Faserkategorien in LWL-Anwendungen
Zielgruppe:	Entscheidungsträger, Planer, R&M-Vertrieb
Autor:	Hannelore Hirscher, Thomas Richner
Erschienen:	März 2004

1. LAN-Verkabelung und der Schritt zu 10 Gigabit Ethernet

Alle zwölf Monate verdoppelt sich der Bandbreitenbedarf in Unternehmen. Alle sechs bis zwölf Monate verdoppelt sich der Datenverkehr in Nah- und Weitverkehrsnetzen. Demgegenüber erscheint die Nutzungsdauer von LAN-(Lokal Area Network) Verkabelungen wie eine Ewigkeit: Sie liegt heute bei ca. 20 Jahren. Während dieser Zeit werden im Durchschnitt das aktive Netzwerk zweimal, die PCs viermal gewechselt; die Software erfährt fünf Updates.

Aus dieser Diskrepanz entsteht eine hohe Anforderung an die Verkabelung. Sie muss heutigen Anwendungen gerecht werden und zugleich einen Investitionsschutz in der Zukunft garantieren.

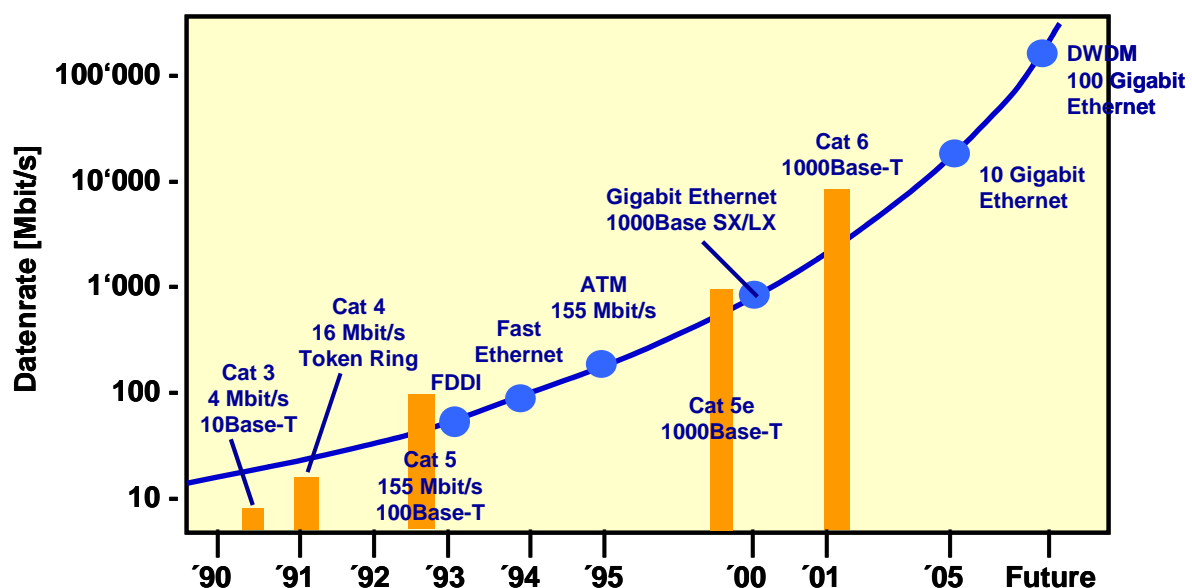


Bild 1: Zunahme der Übertragungsgeschwindigkeiten und zugehörige Standards

Ethernet dominiert heute in LAN-Applikationen und dringt mit Gigabit Ethernet (GbE) und 10 Gigabit Ethernet (10GbE) in Hochgeschwindigkeitsbereiche vor. GbE ist in IEEE 802.3 (2002) und 10GbE in Amendment IEEE 802.3ae (2002) standardisiert und international anerkannt.

Ethernet hat bereits 30 Jahre Entwicklung hinter sich, und sein Ende scheint noch lange nicht erreicht zu sein. Heute ist Ethernet nicht mehr der probabilistische CSMA/CD-Bus mit den Nachteilen der Kollisionen und der zeitlichen Unbestimmtheit, der er Mitte der 80er Jahre war. Der neue Medium Access Control Layer, verbunden mit Vollduplex-Betrieb (nur noch ein Sender und ein Empfänger auf einer Leitung), basiert auf der Switch-Technologie, welche die Zugriffsregelung vornimmt. Das Full Duplex Ethernet erlaubt die Ausnutzung der physikalischen Bandbreite einer Verbindung zu fast 100 %.

Ethernet ist aber kein reines LAN-Protokoll mehr. Seit im Juni 2002 die Übertragungsrate auf 10 Gbit/s erweitert wurde, dringen die Anwendungen auch räumlich in den Weitverkehrsbereich (WAN, Wide Area Network) vor. Zulässig sind dabei nur noch Vollduplex-Varianten mit Übertragung über optische Fasern. Generell hat Ethernet den Vorteil einer kosteneffizienten, leichten Implementierung. Die durchgängige Technologie ohne Protokollwechsel spricht dafür, Ethernet im Zugangs-(Access-) oder Stadtnetz (MAN, Metropolitan Area Network) und dann auch im WAN einzusetzen.

Dem MAN kommt dabei grosse Bedeutung zu, da es Hochgeschwindigkeits-LANs untereinander verbinden sowie die Anbindung von LANs an das globale WAN übernehmen muss. Es darf also nicht als Flaschenhals wirken. 10GbE in MANs schafft genügend Bandbreite – mehr als mit ADSL auf den Anschlussleitungen in naher Zukunft zu erreichen ist. Die im Access/MAN-Bereich bisher dominierende ATM-Technik hat zwar den Vorteil, dass sie – technologisch bedingt – eine bestimmte Quality of Service garantiert. Bei Ethernet geht man einfach davon aus, dass die Dienstqualität durch ausreichende Bandbreite gewährleistet ist. Diese Bandbreite wird mit optischen Netzen erreicht.

2. Standardisierte Gigabit- und 10 Gigabit Ethernet-Applikationen über LWL

IEEE 802.3 und Amendment IEEE 802.3ae definieren verschiedene Ethernet-Schnittstellen, je nach maximal erreichbarer Länge und nach Kodierverfahren. Bei GbE ist die Grundbezeichnung 1000BASE und bei 10GbE 10GBASE. Die erweiterte Namensgebung zur näheren Spezifizierung der Schnittstellen erfolgt nach dem Schema -wk(n).

Der erste Buchstabe w gibt die Wellenlänge an: „S“ für short = 850 nm; „L“ für long = 1310 nm; „E“ für extra long = 1550 nm), und der zweite Buchstabe k spezifiziert die Kodierung. Dabei unterscheidet man die LAN-Techniken mit der bewährten 8B/10B-Kodierung „X“ sowie der neuen Blockkodierung 64B/66B „R“ und die WAN-Technik mit SONET/SDH-Rahmen „W“. Die optional folgende Ziffer n weist auf die Anzahl der für das Wellenlängen-Multiplexverfahren (WDM, Wavelength Division Multiplex) verwendeten Wellenlängen hin. Fehlt die Zahl, so wird nur eine Wellenlänge benutzt.

	1000BASE	10GBASE		
Kodierung	LAN 8B/10B	LAN 8B/10B	LAN 64B/66B	WAN SONET
Short 850 nm	1000BASE-SX OM1 62.5 µm 275 m OM2 50 µm 550 m		10GBASE-SR OM1 62.5 µm 33 m OM2 50 µm 82 m OM3 50 µm 300 m	10GBASE-SW OM1 62.5 µm 33 m OM2 50 µm 82 m OM3 50 µm 300 m
Long 1300/1310 nm	1000BASE-LX OM1 62.5 µm 550 m OM2 50 µm 550 m OS1 9 µm 2 km	10GBASE-LX4 MM 62.5 µm 300 m MM 50 µm 300 m OS1 9 µm 10 km	10GBASE-LR OS1 9 µm 10 km	10GBASE-LW OS1 9 µm 10 km
Extra long 1550 nm			10GBASE-ER OS1 9 µm 40 km	10GBASE-EW OS1 9 µm 40 km

Tabelle 1: Applikation/Wellenlänge, Reichweite und Fasertypen für GbE und 10GbE. Erläuterung OM1, OM2 und OM3 siehe Kapitel 3

3. Strukturierte Gebäudeverkabelung nach ISO/IEC 11801 und EN 50173-1

Massgebend für strukturierte Gebäudeverkabelung sind die beiden im Jahr 2002 neu aufgelegten Normen ISO/IEC 11801 (Information technology – Generic cabling for customer premises) und EN 50173-1 (Information technology – Generic cabling systems Part 1: General requirements and office areas). Sie erschienen kurz nach der Standardisierung von 10GbE und beziehen 10GbE-Applikationen über optische Verkabelung ein.

3.1. Die Definition des optischen Channels

Ein Fiber Optic Channel ist definiert vom Ausgang des aktiven Sendegeräts (EQP, Equipment) im Gebäudeverteiler (BD, Building Distributor) bis zum Eingang des aktiven Endgeräts (TE, Terminal Equipment). Die jeweiligen Steckverbindungen an diesen Aus- und Eingängen zählen nicht zum Channel. Ob sich dazwischen ein Stockwerkverteiler (FD, Floor Distributor) mit gepatchten oder gespleissten Verbindungen befindet oder die Verkabelung direkt vom Gebäudeverteiler (BD) auf das Endgerät geht, hat auf die Definition eines Channels keinen Einfluss. Lediglich die Anzahl der Verbindungen innerhalb des Channels muss in die Berechnung des Dämpfungsbudgets einbezogen werden.

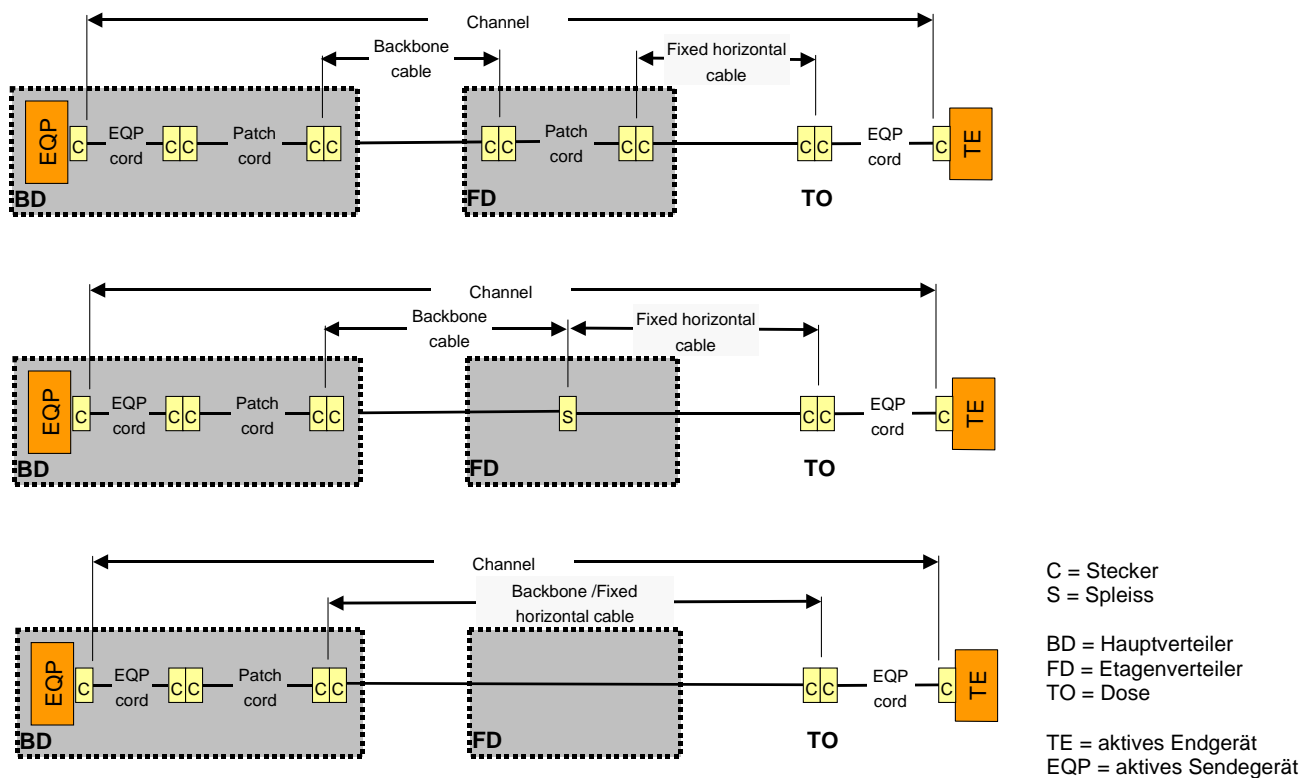


Bild 2: Mögliche Channel-Strukturen

Grundsätzlich sind drei Längenklassen für Fiber Optic Channels definiert: OF-300 für mindestens 300 m, OF-500 für mindestens 500 m sowie OF-2000 für mindestens 2000 m Reichweite. Für diese drei Längenklassen sind folgende maximale Dämpfungen zugelassen:

	Maximale Channel-Dämpfung [dB]			
	MM		SM	
Klasse	850 nm	1300 nm	1310 nm	1550 nm
OF-300	2.55	1.95	1.80	1.80
OF-500	3.25	2.25	2.00	2.00
OF-2000	8.50	4.50	3.50	3.50

Tabelle 2: Channel-Dämpfung nach ISO/IEC 11801 und EN 50173-1

Die Werte setzen sich aus 1.5 dB für Verbindungen und der maximalen Kabeldämpfung (siehe Tabelle 3) der entsprechenden Länge zusammen.

Beispiel für OF-500 mit MM-Faser bei 850 nm: 1.5 dB Verbindung + 500 m x 3.5 dB/1000 m = 3.25 dB

3.2. Multimode-Faser-Kategorien

Für strukturierte Gebäudeverkabelung spezifizierte Multimode-(MM-)Fasern sind GI 50/125 µm oder GI 62.5/125 µm gemäss A1a oder A1b in IEC 60753-2-10 (GI steht für Gradientenindex). Dahinter verbirgt sich eine Vielzahl von Fasertypen (siehe Anhang). Sie sind in die drei Kategorien OM1, OM2 und OM3 eingeteilt und unterscheiden sich nur in ihren Bandbreiteigenschaften:

	Maximale Kabeldämpfung [dB/km]		Minimale modale Bandbreite [MHz x km]		
			overfilled launch		effective Laser launch
	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	850 nm
OM1 (50 oder 62.5µm)	3.5	1.5	200	500	na
OM2 (50 oder 62.5µm)	3.5	1.5	500	500	na
OM3 (50µm)	3.5	1.5	1500	500	2000

Tabelle 3: MM-Faser-Kategorien nach ISO/IEC 11801 und EN 50173-1

3.3. Singlemode-Faser-Kategorien

Kategorie OS1, die zurzeit einzige Singlemode-(SM-)Kategorie für strukturierte Gebäudeverkabelungen, enthält Fasern vom Typ ITU-T G.652 bzw. vom Typ B1 der IEC 60793-2-50 und ist wie folgt spezifiziert:

	Maximale Kabeldämpfung [dB/km]		Cut-off-Wellenlänge
	1310 nm	1550 nm	
OS1 (9µm)	1.0	1.0	<1260 nm

Tabelle 4: SM-Faser-Kategorie nach ISO/IEC 11801 und EN 50173-1

In naher Zukunft wird es vermutlich noch eine zweite SM-Kategorie OS2 geben. Bei den Entwurfsarbeiten in ISO/IEC 24702 „Generic Cabling for Industrial Premises“ stehen hochbitratige Applikationen zur Diskussion, welche mit Längen von 5.000 und 10.000 m über die in ISO/IEC 11801 definierten 2.000 m hinaus gehen

sollen. Passend dazu ist eine Kategorie vorgeschlagen, welche im Prinzip die sog. Low-Water-Peak Faser vom Typ B1.3 der IEC 60793-2-50 beschreibt:

Wellenlänge [nm]	maximale Kabeldämpfung [dB/km]	PMD [ps/km]
1310	0.4	
1383-1385	0.4	
1550	0.4	0.4
1625	noch zu bestimmen	

Tabelle 5: Mögliche SM-Fasern der Kategorie OS2. Erläuterung PMD siehe Kapitel 4

3.4. Steckverbindungen

Der Anschluss im Arbeitsbereich sollte eine SC-Duplex-Steckverbindung (SC-D) gemäss IEC60874-19-1 sein. In allen weiteren Bereichen kann ebenfalls eine SC-Steckverbindung oder aber eine beliebige nach IEC spezifizierte Steckverbindung eingesetzt werden. Small Form Factor (SFF) Stecker können im Verteiler eingesetzt werden. Folgende Parameter sind wichtig:

Einfügedämpfung (IL, Insertion Loss)

≤ 0.75 dB für 100% der Steckverbindungen

≤ 0.5 dB für 95% der Steckverbindungen

Diese beiden Werte ergeben sich aus einer Gaussverteilung mit dem Mittelwert von 0.35 dB, „random mated“, d.h. bei zufälliger Kombination von Steckerpaare und Buchse. Die Werte gelten für SM und MM.

Rückflussdämpfung (RL, Return Loss)

≥ 20 dB für MM

≥ 35 dB für SM

Weitere Details über mechanische und klimatische Performance sind definiert, aber hier nicht separat aufgeführt.

Farbkodierung

beige oder schwarz für MM 50 und 62.5 µm

blau für SM PC (Physical Contact, sphärischer Schliff)

grün für SM APC (Angled Physical Contact, Schrägschliff)

Dieses Schema gilt für Stecker und Adapter gemäss IEC60874-19-1 (SC Duplex) und IEC60874-14 (SC Simplex). Zusätzlich soll bei Duplex-Steckern eine mechanische Kodierung dafür sorgen, dass im System eine konsistente Polarität gewährleistet ist. Es wird deshalb empfohlen, dass Patch Cords und Equipment Cords mit Duplex-Steckverbindungen terminiert sind. Dabei muss Position A des einen Endes mit Position B des anderen Endes verbunden sein.



Bild 3: Duplex Patch Cord

Die verwendete Faser innerhalb eines Channels sollte in allen Teilabschnitten (Backbone, Permanent Link, Patch Cord, Pigtail) die gleichen geometrischen Eigenschaften haben und aus derselben Kategorie sein.

3.5. Fusionsspleisse

Einfügedämpfung (IL, Insertion Loss)

≤ 0.3 dB für SM und MM

4. Verbesserte Fasern für Gigabit- und 10 Gigabit Ethernet-Anwendungen

4.1. Erhöhung der Bandbreite durch MM-Fasern der Kategorie OM3

Grundsätzlich ist eine Faser der Kategorie OM3 eine MM-Faser mit hoher Bandbreite, welche für hochbitratige Übertragung entwickelt wurde. Treibend für diese Entwicklung war die Tatsache, dass SM-Installationen im LAN zu teuer sind ("Overkill") und herkömmliche MM-Fasern zu wenig Reichweite erbringen. Erst mit dieser Neuentwicklung wurde die Übertragung von 10 Gbit/s über MM-Fasern realistisch.

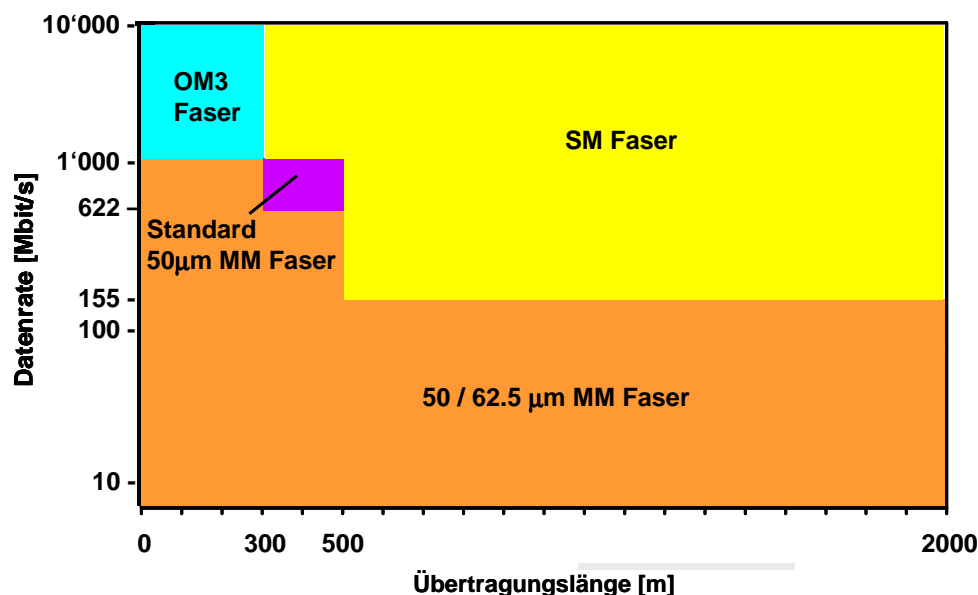


Bild 4: Reichweiten und Datenraten verschiedener Fasertypen

Die Bandbreite bei hochbitratigen Übertragungen ist nicht durch die Dämpfung, sondern durch die Dispersion begrenzt. Bei MM-Fasern ist es primär die Modale Dispersion, bei SM-Fasern die Chromatische (CD) und Polarisationsmoden-Dispersion (PMD).

Durch die Dispersion verbreitern sich die einzelnen Lichtimpulse während der Fortpflanzung entlang der Faser und werden flacher. Je länger die Strecke ist, umso grösser wird diese Impulsverbreiterung, was schliesslich dazu führt, dass der Empfänger die einzelnen Impulse nicht mehr trennen und erkennen kann. Das System ist dann dispersionsbegrenzt. Je höher die Datenrate, umso kürzer ist die Übertragungslänge, bevor eine Dispersionsbegrenzung eintritt. Die Datenrate oder Bandbreite B verhält sich zur möglichen Übertragungslänge L umgekehrt proportional, d.h. dass das Bandbreiten-Längen-Produkt ($B \times L$) einer Faser annähernd konstant ist.

Kennzeichnende Grösse für MM-Fasern ist deshalb die sog. modale Bandbreite, angegeben in MHz x km. Sie sagt aus, wie weit eine Übertragung mit entsprechender Datenrate stattfinden kann, bis eine spezifizierte

Bitfehlerhäufigkeit (BER, Bit Error Rate) erreicht ist. Die klassische Bestimmung dieser Bandbreite findet bei einer Lichteinkopplung mittels LED statt; die Messmethode ist in IEC 60793-1-41 beschrieben. Bei dieser Art von Einkopplung werden in einer MM-Faser alle Moden angeregt, was mit Over Filled Launch (OFL) bezeichnet wird. Durch unterschiedliche Laufzeiten der Moden, ausgedrückt in Differential Mode Delay (DMD), sind Übertragungsrate und Übertragungslänge beschränkt.

Bei Anwendungen ab 1 Gbit/s kann nicht mehr mit LEDs gearbeitet werden, da deren Frequenzgrenze überschritten wird. LEDs finden sich deshalb im Weitverkehr nur für Anwendungen bis 622 Mbit/s. Es wird demnach der Einsatz von Lasern notwendig. Theoretisch wird die Bandbreite einer MM-Faser besser bei Lasereinkopplung, die zu einem Underfilled Launch (UFL) führt. Dies gilt jedoch nur bei idealem Brechzahlprofil.

Bei herkömmlichen MM-Fasern ist im zentrumsnahen Bereich jedoch das ideale Gradientenprofil durch sog. Dips, Peaks und Flat Tops gestört. Diese Unstetigkeiten verursachen eine verstärkte Signalverformung und erhöhen die Bitfehlerhäufigkeit (BER) umso mehr, je weniger Moden angeregt werden.

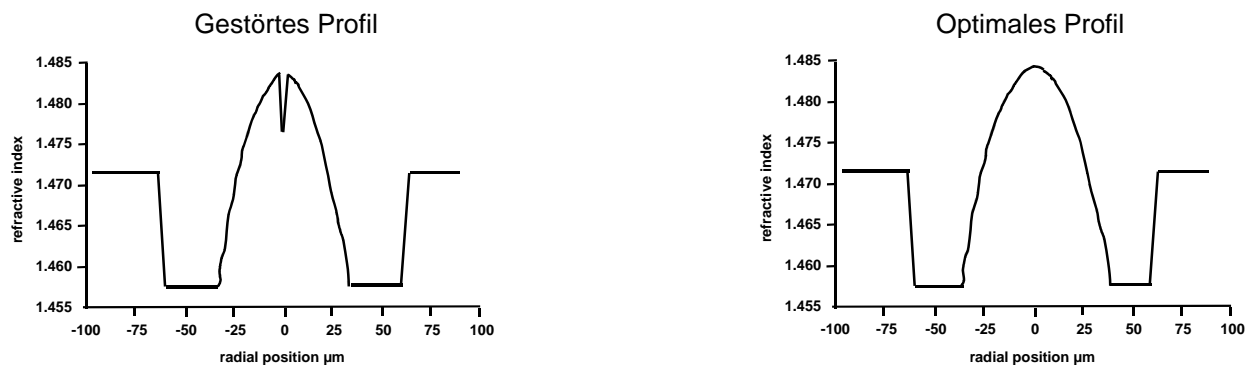


Bild 5: Gradientenindexprofil einer MM-Faser der Kategorie OM3

Eine Methode, um diesen Effekt zu umgehen, ist das sog. Offset Launch mit Mode Conditioning Cords, bei welcher die Lichteinspeisung zwischen Laser und MM-Faser über ein Stück SM-Faser nicht ins Zentrum, sondern in einen Aussenbereich des MM-Kerns geführt wird. Bei 10GBase-LX4 (MM bei 1300 nm) mit Wellenlängen-Multiplexverfahren (WDM) beispielsweise ist diese Launch-Methode notwendig.

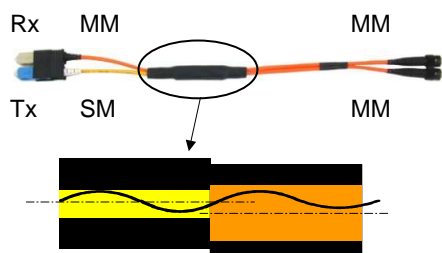


Bild 6: Mode Conditioning

Die elegantere Lösung, diesen Effekt zu umgehen, bieten die OM3-Fasern mit einem optimierten Indexprofil im zentrumsnahen Bereich. OM3-Fasern sind auf das 1. optische Fenster bei 850 nm ausgerichtet. Dort arbeiten auch die VCSELs (Vertical Cavity Surface Emitting Laser). Beide zusammen ergeben also eine optimale Kombination für LANs. VCSELs sind kostengünstige Halbleiterlaser, Strahlfläche und Strahlaufweitung sind signifikant kleiner als bei LEDs, aber etwas grösser als bei den teureren schmalbandigen Lasern, z.B. Fabry-Perot- oder DFB-Lasern für SM-Fasern. VCSELs regen nur zentrumsnahe Moden an.

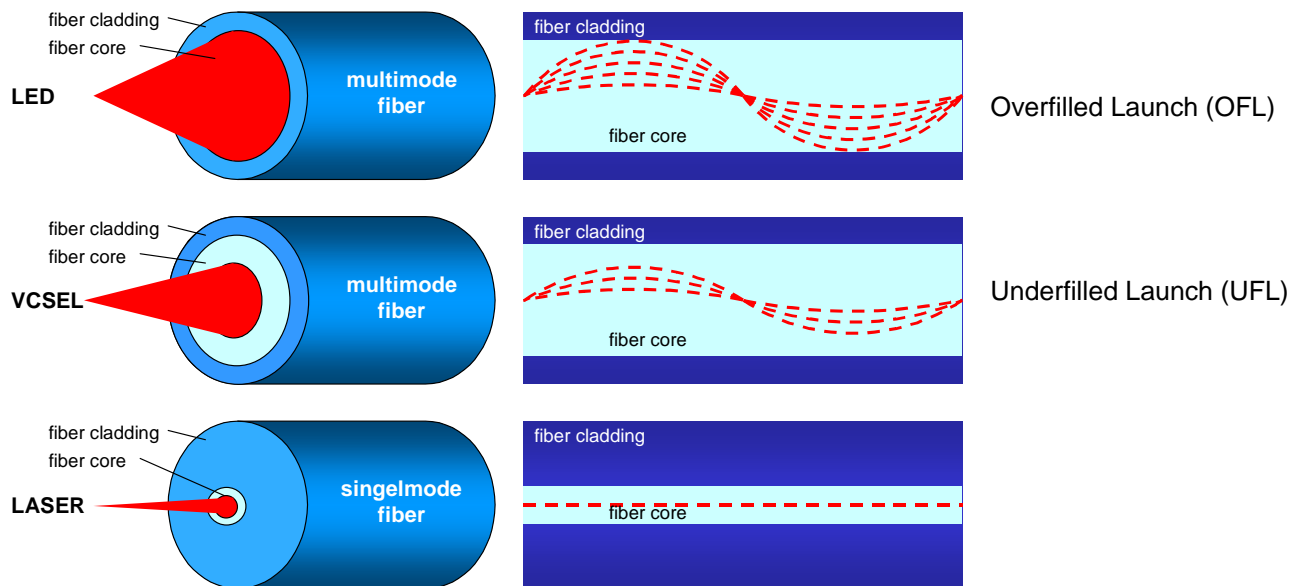


Bild 7: Einkopplung von Licht in MM- und SM-Fasern

Die Kombination VCSEL und OM3 stellt also für 10GbE über 300 m die kostengünstigste Systemvariante dar, günstiger als SM-Systeme und günstiger als WDM-Systeme mit herkömmlichen MM-Fasern. Ein grossflächiger Einsatz von WDM oder sogar DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) im LAN ist deshalb mittel- und langfristig nicht zu erwarten. Folglich ist bei der Planung von Neuinstallationen auf jeden Fall die OM3-Faser zu berücksichtigen.

Bei OM3-Fasern bestimmt man die effektive Bandbreite durch eine Messung mit sechs selektiv angeregten Modengruppen; man misst das sog. High Resolution Differential Mode Delay. Dabei ist die Worst-Case-Dispersion in einem 10-Gigabit-MM-System berücksichtigt.

Im Vergleich zu Standard-MM-Fasern muss der Spleissvorgang nur geringfügig angepasst werden; eine Umstellung auf OM3-Fasern lässt sich praktisch problemlos bewerkstelligen.

OM3-Fasern sind rückwärtskompatibel. Sie erlauben das heutige Arbeiten mit LEDs bei 100 Mbit/s (Fast Ethernet oder Token Ring) sowie einen problemlosen, kosteneffektiven Wechsel auf zukünftige 1 Gbit/s und 10 Gbit/s, d.h. die Investition behält ihren Wert.

4.2. SM-Fasertypen und deren Einsatz für Gigabit- und 10 Gigabit Ethernet

Die SM-Applikationen mit 10GbE in IEEE 802.3ae gehen von Standard-SM-Fasern nach G.652 aus (siehe Tabelle 7). Die Anforderungen für 10GbE werden von ihnen in vollem Umfang erfüllt.

Fasern nach G.655 bieten zusätzliche Vorteile, die aber für 10GbE prinzipiell nicht erforderlich sind. Sie werden in IEEE 802.3ae mit folgendem Wortlaut kurz erwähnt: „It is believed that for 10BASE-E type B4 (NZDSF) fiber with positive dispersion may be substituted for B1.1 or B1.3.“.

Fasern nach G.654 haben keine Anwendung bei GbE / 10GbE.

Bei 1310 nm Übertragung degradiert die Faserdämpfung das Signal und begrenzt damit die Reichweite, so dass die Effekte der chromatischen Dispersion (CD) kaum zum Tragen kommen. Bei 10GbE mit 1310 nm über G.652-Fasern ist die CD ebenfalls kein begrenzendes Problem. Erst bei 1550 nm und G.652-Fasern wird die erhöhte Dispersion zum begrenzenden Faktor; typischerweise ist eine 10GbE-Übertragung auf 40 km begrenzt.

G.652- und G.655-Fasern, die nach heutigem Stand der Normierung spezifiziert sind, erlauben bzgl. PMD eine 10GbE-WAN-Applikation. Fasern, welche jedoch vor den 90er Jahren installiert wurden, können sehr schlechte PMD-Eigenschaften haben. Zudem setzen sich Strecken in Weitverkehrsnetzen historisch gewachsen aus unterschiedlichen Fasertypen und Steckern zusammen. Vor der Inbetriebnahme mit 10GbE sind deshalb CD- und PMD-Messungen zwingend notwendig. Sollten in ferner Zukunft Ultra-High-Speed-Anwendungen mit 40 oder 100 Gbit/s spruchreif werden, so muss der PMD erhöhte Beachtung geschenkt werden.

ITU-T	IEC 60793-2	Beschreibung / Eigenschaften	ISO/IEC 11801 EN 50173-1
G.652	B1.1	Standard-SM-Faser; optimaler Einsatz bei 1310 nm, kann aber auch bei 1550 nm verwendet werden. Bei 1550 nm hohe Dispersion, was bei hohen Bitraten und/oder grossen Längen eine Dispersionskompensation erfordert.	OS1
	B1.3	Low-Water-Peak-Faser: Hat Dispersionseigenschaften wie B1.1, aber eine stark reduzierte Dämpfung bei 1383 nm im sog. Extended Band, also zwischen dem 2. und 3. opt. Fenster. Die Faser kann demnach bei xWDM in einem breiteren Wellenlängenspektrum arbeiten.	OS1
G.653	B2	Dispersionsverschobene Faser: Null Dispersion bei 1550 nm, was bei DWDM zu starker Vierwellenmischung führt. Kein kommerzieller Einsatz.	-
G.654	B1.2	Cut-off-Shifted Fiber; nur für 1550 nm geeignet; Einsatzgebiet: Seekabel	-
G.655	B4	NZDSF zur Reduktion/Eliminierung der Vierwellenmischung in DWDM-Systemen bei 1550 nm mittels definiert kleinem Dispersionskoeffizienten, der zwischen 1530 und 1565 nm stets ungleich Null ist. NZDSF kann daneben sowohl bei 1625 nm als auch in entsprechend konzipierten Systemen bei 1310 nm betrieben werden.	-

Tabelle 6: Überblick über Fasertypen und ihre unterschiedliche Bezeichnung in den Standards

5. Gigabit- und 10 Gigabit Ethernet-Anwendungen in ISO/IEC 11801 und EN50173-1

Tabelle 7 gibt einen Überblick, welche Applikationen mit welcher Faser welche Reichweite erzielen:

Netzwerk Applikation	von ISO/IEC 11801 und EN50173-1 Channel unterstützt							
	OM1		OM2		OM3		OS1	
	850nm	1300nm	850nm	1300nm	850nm	1300nm	1310nm	1550nm
1000BASE-SX	*		OF-500		OF-500			
1000BASE-LX		OF-500		OF-500		OF-500	OF-2000	
10GBASE-LX4		OF-300		OF-300		OF-300	OF-2000	
10GBASE-ER/-EW								OF-2000
10GBASE-SR/-SW					OF-300			
10GBASE-LR/-LW							OF-2000	

* 50µm Faser: 550m (=OF-500); 62.5µm Faser: 275m (keine OF Klasse)

Tabelle 7: Applikation nach IEEE 802.3 und IEEE 802.3ae

6. Zusammenhang zwischen Channel, Klasse, Bandbreite und Dämpfung

Alle in den Tabellen 3, 4, 5 und 7 angegebenen Werte sind Worst-Case-Werte. Das gilt auch für die Parameter, die zu diesen führen, also die maximal zulässige Channel-Dämpfung, die geforderte maximale Kabeldämpfung oder die minimale Bandbreite sowie der für Steckverbindungen maximale Dämpfungswert von 0.75 dB. Sie stecken also Eckpunkte eines Bereichs ab, innerhalb dessen man sich bewegen kann, ohne dass das einwandfreie Funktionieren der Applikation in Gefahr kommt. Bringt man nun diese Eckpunkte zusammen, so erhält man für das Anwendungsbeispiel 1000BASE-SX mit OM2-Faser folgendes Diagramm:

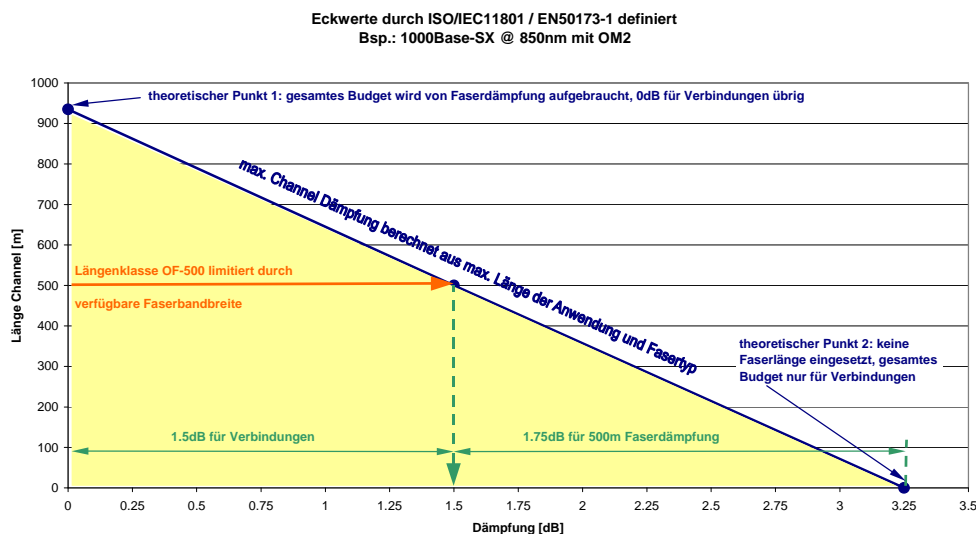


Bild 8

Hat man nun beispielsweise bei diesem Anwendungsfall eine Installation mit einer Channel-Länge von nur 355 m, so ergibt sich eine Dämpfungsreserve von 0.5 dB, welche z.B. mit einem zusätzlichen Steckverbinder aufgebraucht werden kann. Bild 9 zeigt, wie diese Reserve zustande kommt:

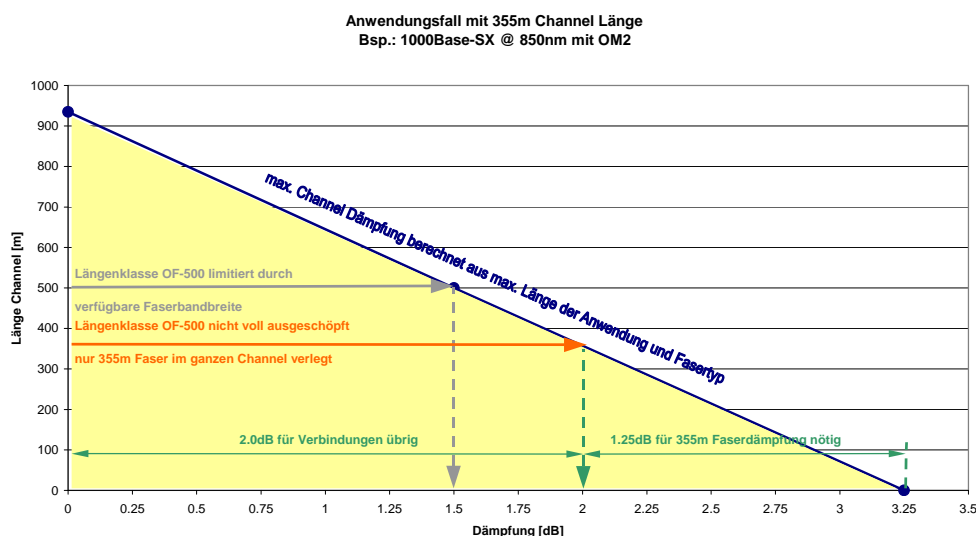


Bild 9

Fazit für R&M

6.1. Steckverbinder

Ein Stecker zeichnet sich nicht allein dadurch aus, dass er die in ISO/IEC 11801 und EN 50173-1 aufgeführten Mindestanforderungen erfüllt. Zu einer zuverlässigen Steckverbindung gehört beispielsweise die genaue Einhaltung von Parametern, welche an der Steckerstirnfläche den Übergang von Faser zu Faser garantieren. Dazu zählen der Radius der sphärisch polierten Faserendfläche, der Faservor- oder Rückstand (Spherical Fiber Height) bezogen auf die Faserendhülse (Ferrule) sowie die Exzentrizität des höchsten Punktes, bezogen auf die Fasermittelachse (Apex Offset). Denn eine geringe Übergangsdämpfung erreicht man nur mit einem physikalischen Kontakt der Fasern in Fasermitte. Alle diese Parameter prüft R&M mit einem Interferometer.

Ein weiteres Qualitätsmerkmal ist die Anzahl und Grösse von Kratzern auf der Faserendfläche. Auch dabei folgt R&M strengsten Richtlinien, um Qualitätseinbussen auszuschliessen und langlebige, zuverlässige Produkte zu liefern.

R&M hat sowohl den SC-Duplex-Stecker als auch die SFF-Variante SC-RJ im Programm. Die in der Norm verlangte mechanische und farbliche Kodierung sind bei beiden gewährleistet.

Darüber hinaus verfügt der SC-RJ-Stecker über ein zusätzliches Sicherheitssystem. Verwechslungen beim Einstecken vermeidet eine erweiterte Farbkodierung, die zu einer eindeutigen Zuordnung zum richtigen Anschluss beiträgt. Unbeabsichtigtes oder unberechtigtes Ausstecken vermeidet der mechanisch verriegelte Ausziehschutz, der nur mit einem Spezialschlüssel und nur durch autorisiertes Fachpersonal gelöst werden kann. Beides – Ein- und Aussteckschutz – lassen sich an einem Steckverbinder kombinieren.



Bild 10: Sicherheitsystem. Links Farbkodierung für eindeutiges Einstecken, Ausziehschutz gegen unabsichtliches oder unberechtigtes Ausstecken. Rechts farbige Clips – sie werden einfach auf die Stecker aufgeschnappt.

R&M Steckverbinder übertreffen die in den Normen geforderten optischen Parameter teils bei Weitem. Das sorgt in dem gesamten System für Reserven, die für zusätzliche Verbindungen oder grössere Reichweiten genutzt werden können.

6.2. Faserdämpfung

Kabel bzw. Fasern haben ebenfalls meist bessere Dämpfungseigenschaften als die Norm vorgibt. Dies ergibt nochmals Reserven für weitere Verbindungen.

6.3. Faserbandbreite

Auch die Bandbreite ist bei allen Fasertypen besser, als die Normen zu Grunde legen. Dadurch können die minimalen Channel-Längen übertroffen werden, sofern die Channel-Dämpfung eingehalten wird.

Bei heutigen Neuinstallationen oder Netzwerkrenovierungen ist im Hinblick auf steigende Datenraten den 50 µm-Fasern der Vorrang gegenüber 62.5 µm-Fasern zu geben – bzw. derjenigen Faser, welche die höchste Bandbreite aufweist, so dass für zukünftige Anwendungen noch Reserve vorhanden ist. Den besten Investitionsschutz bieten in den meisten Fällen OM3-Fasern. Sie eignen sich sowohl für die heutigen Protokolle mit LED-basierter Übertragung als auch für GbE und 10GbE mit Laser-basierte Übertragung und können dabei die Channel-Längen aus IEEE 802.3ae noch überschreiten.

Ob alle Teilstrecken eines Netzwerks, d.h. auch die kurzen Patch Cords vom Typ OM3 sein sollen, darüber herrschen unterschiedliche Meinungen. Generell ist es immer am besten, innerhalb eines Netzwerks denselben Fasertyp evtl. sogar vom selben Hersteller einzusetzen. Andererseits spielt die Dispersion in Teilstücken von ca. 3 m eine untergeordnete Rolle, so dass sich das Patch Cord auf die Bandbreite des Gesamtsystems nicht kritisch auswirkt.

6.4. Rechenbeispiele

	Norm	Anwendungsbsp. 1	Anwendungsbsp. 2	Anwendungsbsp. 3	Anwendungsbsp. 4
1000Base-SX: OF-500 mit OM2 Faser	Eckwerte	Channel weniger	eff. Faserdämpfung	bessere	alle drei Faktoren
	worst case	lang	geringer	Steckverbinder	zusammen
Budget [dB]	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
Länge [m]	500	355	500	500	355
Faserdämpfung [dB/km] bei 850nm	3.5	3.5	2.8	3.5	2.8
Anzahl Steckverbinder pro Channel	3	3	3	3	3
Dämpfung pro Steckverbinder [dB]	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30
Anzahl Spleisse	0	0	0	0	0
Dämpfung pro Spleiss [dB]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Dämpfung für Faser [dB]	1.75	1.24	1.40	1.75	0.99
Dämpfung für Verbindungen [dB]	1.50	1.50	1.50	0.90	0.90
Rest bis Budget ausgeschöpft [dB]	0.00	0.51	0.35	0.60	1.36
Fazit	worst case voll ausgeschöpft	z.B. ein Steckverbinder mehr möglich!	z.B. ein Spleiss mehr möglich!	z.B. zwei Spleisse mehr möglich!	z.B. Reserve für Systemerweiterungen in Zukunft!

Tabelle 8

7. Ausblick

Der Einsatz von Ethernet im MAN zeigt stark wachsende Tendenz. Auf Grund von Marktuntersuchungen geht R&M davon aus, dass Metro-Ethernet-Ausrüstungen bis 2006 um über 100 % zunehmen werden. Ethernet eröffnet Service Providern die Möglichkeit, flexible und zuverlässige Dienste mit hoher Bandbreite über ein kosteneffektives Medium zur Verfügung zu stellen. Somit gelangt 10GbE in absehbarer Zeit in den Weitverkehrsbereich. Dazu wird zuerst der Accessbereich, die sog. First oder Last Mile erobert. Vorteil einer durchgängigen Technologie von LAN über MAN hin zu WAN ist, dass elektro-optische Signal- oder Protokollumwandlungen entfallen, welche die Hauptgründe für Latenzzeiten - vor allem bei hohen Geschwindigkeiten - und für hohe Kosten sind. Im WAN haben dann Carrier die Möglichkeit, 10GbE in Kombination mit DWDM einzusetzen. Dort ist eine friedliche Koexistenz von Ethernet, ATM, Fiber Channel und anderen Technologien auf einem Faserpaar ohne weiteres möglich.

Den SM-Fasern gehört also die Zukunft im Langstreckenbereich (>300 m). Standard-SM-Fasern nach G.652 bieten ausreichende Performance im City-/Access-Bereich, also in der First/Last Mile.

IEEE geht einen konkreten Schritt in diese Richtung: Die Working Group IEEE 802.3ah, angeführt von der EFM-Allianz, soll Ethernet in the First Mile (EFM) standardisieren. Zwei Lösungen stehen bei der Arbeit im Vordergrund:

P2P – Punkt-zu-Punkt-Zugang über Glasfasern

für grössere Reichweiten und geringere Faserzahl:

100/1000Base-LX10: 2 Fasern; 10 km;

100/1000Base-BX10 1 Faser mit Wellenlängen-Multiplex; 10 km (Senden/Empfangen mit 1310/1490 nm)

Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ermöglichen die Überbrückung grosser Entfernungen bis zu 40 km.
Proprietäre Lösungen schaffen bis 150 km.

P2MP – Punkt-zu-Mehrpunkt-Zugang über Glasfasern

für Ethernet Passiv Optical Network (EPON);

Broadcasting; 1 Faser mit Wellenlängen-Multiplex (Down-/Upstream über 1270/1360 nm),
Upstream über Zeitschlitz für jeden Teilnehmer,
Verteilung auf Häuser über Splitter.

1000Base-PX10 bis 10 km

1000Base-PX20 bis 20 km

40 oder gar 100 Gbit/s werden noch längere Zeit keine Realität sein, da hierfür zuerst bei den Halbleiterbausteinen noch einige Hürden zu nehmen sind.

8. Anhang: Weitere standardisierte MM-Fasertypen

In den Verkabelungsnormen ISO/IEC 11801 und EN 50173-1 sind die GbE-/10GbE-Anwendungen über die Fasertypen A1a (50 µm) und A1b (62,5 µm) definiert. In IEC 60793-2-10 sind dazu je sechs bzgl. Ihrer Bandbreite verschiedene Gradientenindex-Fasern standardisiert. Zusätzlich wird es einen neuen Fasertyp A1a.2 geben (siehe Draft IEC 60793-2-10 CDV). Einige dieser Fasern können je nach ihren modalen Bandbreite-Eigenschaften folgendermassen in die Kategorien OM1, OM2 und OM3 eingeteilt werden:

Fasertyp nach IEC 60793-2-10	Min. modale Bandbreite bei OFL @ 850 nm [MHz x km]	Min. modale Bandbreite bei OFL @ 1300 nm [MHz x km]	Kategorie	Möglicher Einsatzbereich
A1a.1	200	400	–	low bit rate/short distance/patch cords
A1a.1	400	600	OM1	medium bit rate / medium distance
A1a.1	500	500	OM2	medium bit rate / medium distance
A1a.1	400	800	OM1	medium bit rate / medium distance
A1a.1	800	800	OM2	high bit rate / long distance
A1a.1	600	1200	OM2	high bit rate / long distance
A1a.2	1500 over filled launch 2000 eff. mod. bandw.	500	OM3	very high bit rate (10 Gbit/s) / long distance / 850 nm optimised
A1b	100	200	–	low bit rate / short distance / patch cords
A1b	160	300	–	low bit rate / short distance
A1b	160 or 200	500	(OM1)	medium bit rate / medium distance
A1b	200	600	OM1	medium bit rate / medium distance
A1b	200	800	OM1	high bit rate / long distance
A1b	800	200	–	high bit rate / long distance 850nm optimised

Tabelle 9