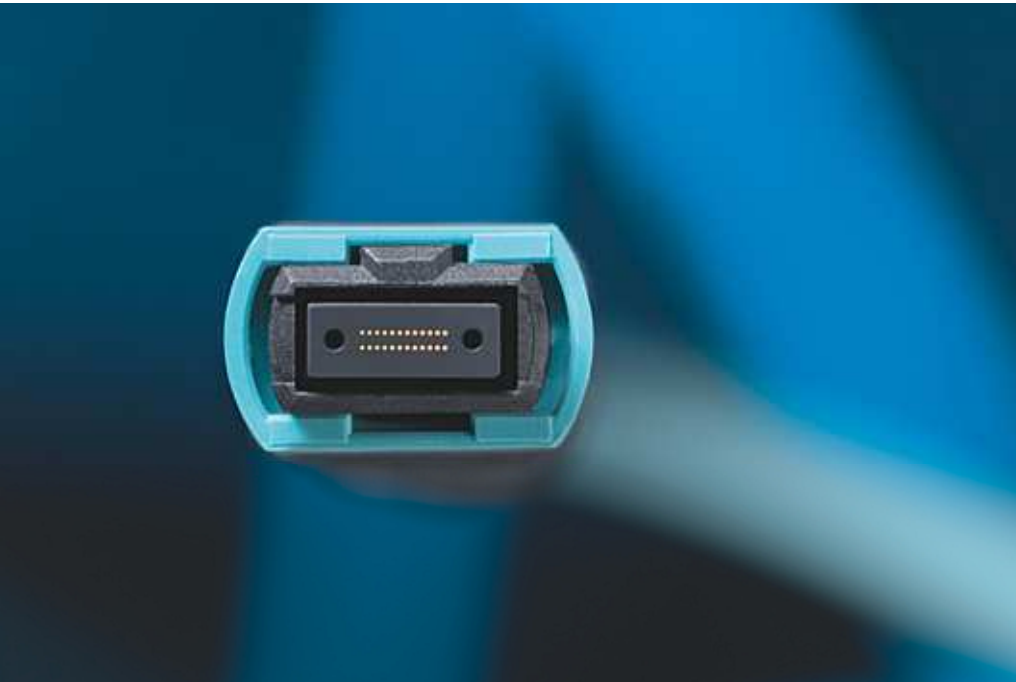


White Paper



MPO / MTP[®] – Einführung in die paralleloptische Verbindungstechnik



Convincing cabling solutions

MTO und MTP® – Einführung in die paralleloptische Verbindungstechnik

Inhalt

MTO und MTP® – Einführung in die paralleloptische Verbindungstechnik.....	1
MTO und MTP® – Einführung in die paralleloptische Verbindungstechnik.....	2
Inhalt.....	2
1. Das Data Center heute und morgen	4
1.1. Bandbreite – die treibende Kraft.....	4
1.2. 10 GbE – der Status Quo	5
1.3. 40/100 GbE – die nicht mehr ferne Zukunft	6
2. Komponenten und Lösungen für 40/100 GbE	7
2.1. OM3/OM4 – Laseroptimierte Multimode Lichtwellenleiter.....	7
2.2. Paralleloptische Verbindungen.....	8
2.3. MPO/MTP® – Mehrfaserstecker für hohe Portdichte.....	9
2.3.1. MPO-Stecker: Aufbau und Funktion.....	9
2.3.2. MTP®-Stecker mit Elite® Ferrulen von R&M.....	10
2.3.3. Trunk Kabel	14
3. Die Bausteine im System	16
4. Zusammenfassung	16

© Copyright 2011 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, es enthält den zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellen technischen Stand.

Mehrfaserstecker werden Standard

Im Data Center wächst die Zahl der Netzwerkanschlüsse. Die Verkabelung muss extrem verdichtet werden, damit sie sich überhaupt noch unterbringen lässt. Die Multimode-Glasfaser ist das Medium der Zukunft, um den zunehmenden Bedarf an Übertragungsgeschwindigkeit und Datenvolumen auf kurzen Distanzen befriedigen zu können. Führt man beide Trends zusammen – die Verdichtung der Verkabelung und die Anwendung der Glasfaser – so gelangt man zur paralleloptischen Verbindungstechnik. Sie erweist sich als geeignete Lösung für Hochleistungs-Datennetze im Data Center. Neuartige Mehrfaserstecker führen 12 bzw. 24 Fasern in einer Schnittstelle zusammen, die genauso kompakt ist wie eine RJ45-Steckverbindung. Die hochgradig parallelen Verbindungen stellen jedoch erhöhte Anforderungen an die Qualität, die Komponenten und die Handhabung der Steckverbinder. Die Multi Fiber Push-On (MPO) Technologie und besonders die MTP®-Verbinder des Herstellers US Conec in Verbindung mit Elite® Ferrulen haben sich als praktikable Lösung erwiesen. R&M hat die Technologie weiter vorangetrieben und insbesondere beim Finish der Faserenden neue Qualitätsmassstäbe verwirklicht, die weit über der Norm liegen und für eine nachhaltig sichere, hundertprozentige Übertragungsqualität sorgen. Somit sind alle Wege geebnet für eine breite Einführung der MPO-Technologie im Data Center, die in der Regel mit vorkonfektionierten Lösungen umgesetzt wird.

Dieses White Paper bietet einführende Informationen zur paralleloptischen Verbindungstechnik und MPO-Technologie. Es zeigt Performance- und Qualitätskriterien auf und soll Entscheidern eine erste Orientierung geben bei der Planung ihrer Glasfaserstrategie und Auswahl der Verbindungstechnik.

Anwendung:	Data Center Netzwerke, 10 und 40/100 Gigabit Ethernet
Technologie:	Multimode-Glasfaserverkabelung
Format:	White Paper
Themen:	Mehrfaser-Steckverbindungen, MPO/MTP® Verbinder, Elite® Ferrulen, Performance, Präzision der Faserenden, Core Dip, Fiber Protrusion, Plug & Play mit vor- konfektionierten Trunk-Kabeln, 10GBASE-SR, 40GBASE-SR4, 100GBASE-SR10, EIA/TIA 604-5, IEC 61754-7, EN 50377-15-1:2011
Ziel:	Einführung in MPO-Technologie, Information über Qualitäts- und Performancekriterien, Anwendung fortschrittlicher High Density Glas- fasertechnologien im Data Center, Informationen für Planung, Ein- kauf, Betrieb. R&M-Positionierung zu MPO/MTP®.
Zielgruppe:	Data Center, RZ-Planer, Installa- teure, Netzwerk-Verantwortliche
Autoren:	Pirmin Koller, Dr. Thomas Wellinger
Erschienen:	August 2011

1. Das Data Center heute und morgen

Der Bedarf nach immer höheren Bandbreiten ist ungebrochen. Data Center müssen darauf frühzeitig reagieren, ausreichend Kapazitäten vorhalten und für die kommenden Anforderungen planen. Dieses Kapitel erläutert die Gründe für den anhaltenden Bandbreitenzuwachs und beschreibt Lösungsmöglichkeiten.

1.1. Bandbreite – die treibende Kraft

Die weltweit übertragene Datenmenge steigt exponentiell, sie wird sich innerhalb der nächsten vier Jahre vervierfachen. Das geht aus einer im Juni 2011 veröffentlichten Prognose des Netzwerkausrüsters Cisco hervor. Demnach wird im Jahr 2015 knapp 1 Zettabyte (1.000.000.000.000.000.000 Byte) an Daten über IP-Netzwerke übertragen. Der weltweite IP-Datenverkehr durch Unternehmen wird sich in dem Zeitraum verdreifachen und 2015 monatlich 10,1 Exabyte erreichen. Die Wachstumsrate des IP-Datenverkehrs liegt derzeit bei 32% pro Jahr.

Die Gründe für den rasant ansteigenden Bandbreitenbedarf sind vielseitig. So nimmt zum einen natürlich die private Internetnutzung ständig zu: Allein in den Jahren 2001 bis 2010 stieg die Anzahl der Internet-Nutzer von 37% auf 72% und verdoppelte sich somit nahezu. Parallel dazu werden immer schnellere Zugänge gefordert: Flatrates, Internet-Telefonie, Cloud-Computing, Online-Navigation, mobiles Internet per Smartphone oder Tablet-Computer und Video-On-Demand treiben die Datenflut in ungeahnte Höhen. In gleicher Weise tragen im geschäftlichen Umfeld Cloud Computing Dienstleistungen, konzernweite Vernetzungen, Fernzugriffe auf Firmennetzwerke, Remote-Sitzungen und ganz besonders „datenhungrige“ Video-Konferenzen zur Bandbreiten-Rallye bei.

Lassen sich derzeit die geforderten Datenmengen im Bereich der Backbone-Verkabelung noch auf Basis von 10 Gigabit Ethernet (GbE) realisieren, fordern die prognostizierten Entwicklungen die Einführung der nächsten Technologien 40 GbE und 100 GbE (Abbildung 1).

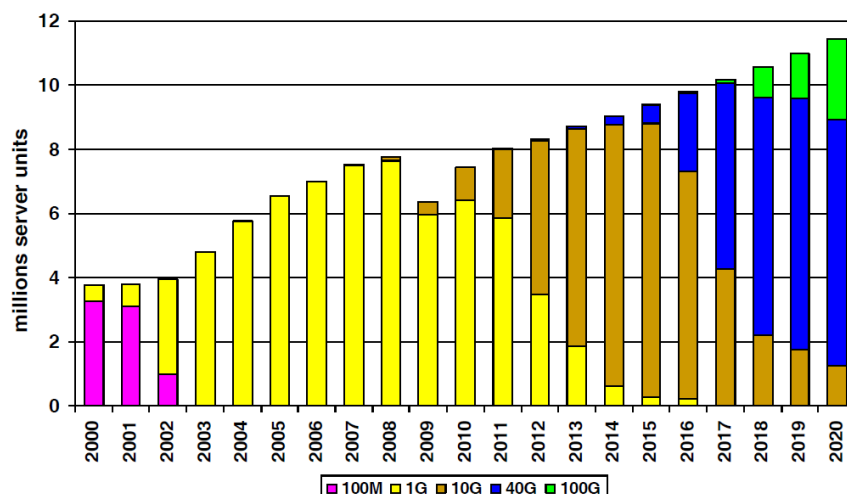


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der Ethernet-Technologien (Quelle: IEEE, 2011).

1.2. 10 GbE – der Status Quo

An der Migration hin zu 40 und 100 GbE führt kein Weg vorbei. Und wie Abbildung 1 zeigt, wird 40 GbE bereits in spätestens 5 Jahren breit eingeführt sein, 100 GbE folgt in weiteren 2 Jahren. Die Verantwortlichen in Data Centern müssen daher schon heute die Weichen stellen und ihre Infrastruktur den kommende Anforderungen anpassen. Stellt sich die Frage, wie die Verbindungstechnik hinsichtlich Performance und TCO (Total Cost of Ownership) gewählt werden muss. Hier zu kurz eine Bestandsaufnahme zu aktuellen Situation.

Die entscheidenden Kriterien zur Auswahl der geeigneten Verbindung sind die Kosten sowie das Bandbreiten-Längen-Produkt. Dieser Wert ist ein Produkt der Bandbreite und der Übertragungsdistanz, und veranschaulicht den Kompromiss zwischen der Bandbreite des Signals und der Linklänge über welche dieses übertragen werden kann. Aktuell finden sich in Data Centern ein Mix aus Kupferkabel und Lichtwellenleiter (LWL). Abhängig vom eingesetzten Kabeltyp (Kupfer/LWL) lassen sich Strecken von gerade mal 15 bis zu 550 Metern realisieren. Nachfolgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die bestehenden Übertragungstechniken, Kabeltypen und maximal erreichbaren Strecken. Grundlage für die Definitionen sind die Standards IEEE 802.3ak (Twinax) und 802.3an (Twisted-Pair) für Kupfer sowie 802.3ae für Lichtwellenleiter.

Übertragungstechnik	Kabeltyp		Max. Distanz
10GBASE-CX4	Kupfer, Twinax		15 m
10GBASE-T	Kupfer, Twisted-Pair	Cat. 5e	50 m
		Cat. 6a/7	100 m
10GBASE-LX4	LWL, 1310 nm	Multimode	300 m
		Singlemode	10 km
10GBASE-SR	LWL, 850 nm	Multimode OM1/OM2	33/82 m
		Multimode OM3	300 m
		Multimode OM4	550 m*
10GBASE-LR	LWL, 1310 nm	Singlemode	10 km
10GBASE-ER	LWL, 1550 nm	Singlemode	40 km
10GBASE-SW	LWL, 850 nm	Multimode OM1/OM2	33/82 m
		Multimode OM3	300 m
		Multimode OM4	550 m
10GBASE-LW	LWL, 1310 nm	Singlemode	10 km
10GBASE-EW	LWL, 1550 nm	Singlemode	40 km
* Die OM4 Lösung über 550 m ist nicht innerhalb der IEEE standardisiert.			

Tab.1: 10 GbE – Übertragungstechniken, Kabeltypen und maximal erreichbare Distanzen. Grau hinterlegt sind die Übertragungstechniken und Kabeltypen mit der grössten Bedeutung in Data Centern.

Da innerhalb von Data Centern nur Strecken von wenigen Metern bis zu einigen hundert Metern realisiert werden müssen und Singlemode-Lösungen in der Regel deutlich teurer sind als die Multimode-Varianten, kann die Tabelle auf die zwei Übertragungstechniken 10GBASE-CX4 und 10GBASE-T für Kupfer sowie 10GBASE-SR für Lichtwellenleiter reduziert werden.

1.3. 40/100 GbE – die nicht mehr ferne Zukunft

Mit dem Standard 802.3ba wurden im Juni 2010 die neuen Übertragungstechniken 40 GbE und 100 GbE verabschiedet. Um auch bei diesen hohen Bandbreiten praxisrelevante Längen zu erzielen, müssen mehrere der bestehenden Kupferkabel oder Lichtwellenleiter parallel betrieben werden. Wiederum gibt es in Abhängigkeit vom Kabeltyp unterschiedliche Übertragungstechniken und sich daraus ergebende Distanzen. Folgende Tabelle gibt einen Überblick:

Übertragungstechnik	Kabeltyp	Signalführung	Max. Distanz
40GBASE-KR4	Leiterplatte (Bus)	4 x 10 Gb/s	1 m
40GBASE-CR4	Kupfer, Twinax	4 x 10 Gb/s	7 m
40GBASE-SR4	Multimode, OM3	4 x 10 Gb/s	100 m
	Multimode, OM4		150 m
40GBASE-LR4	Singlemode	4 x 10 Gb/s (CWDM)	10 km
100GBASE-CR10	Kupfer, Twinax	10 x 10 Gb/s	7 m
100GBASE-SR10	Multimode, OM3	10 x 10 Gb/s	100 m
	Multimode, OM4		150 m
100GBASE-LR4	Singlemode	4 x 25 Gb/s (DWDM)	10 km
100GBASE-ER4	Singlemode	4 x 25 Gb/s (DWDM)	40 km

Tab.2: 40/100 GbE – Übertragungstechniken, Kabeltypen und maximal erreichbare Distanzen. Grau hinterlegt sind die Übertragungstechniken und Kabeltypen mit der grössten Bedeutung in Data Centern.

Schnell wird deutlich, dass der Einsatz von Kupferkabeln zur Übertragung von 40/100 GbE kritisch ist. Nicht nur die mit 7 Metern geringe Leitungslänge schafft Probleme, sondern ebenso die Führung der bis zehn parallelen Leitungen. Beengte Platzverhältnisse in den Kabelführung und die dadurch erschwerte Kühlung lassen den Einsatz von Kupfer fragwürdig erscheinen. Auch im Anschlussbereich benötigen Twinax-Kabel mehr Platz als die Mehrfaserstecker (MPO/MTP®, siehe Kapitel 2) bei Lichtwellenleitern. Technisch wie ökonomisch scheint daher der Einsatz von Kupferkabel – ob als Twinax oder Twisted-Pair Cat. 7 – aus heutiger Sicht nicht sinnvoll.

Angeht ihre deutlich längeren Übertragungsstrecken und des geringeren Platzbedarfs sind heute Lichtwellenleiter der Kategorien OM3 und OM4 die überzeugende Lösung für eine zukunftssichere Verkabelung in Data Centern. Mit einer Linklänge von 100 m bei OM3 werden – abhängig von Architektur und Grösse – ungefähr 85% aller Data-Center-Kanäle unterstützt; OM4-Fasern mit einer Linklänge von 150 m decken sogar fast 100% der benötigten Reichweite ab.

Anmerkung: Bei 10 GbE beträgt nach IEEE 802.3ae die Linklänge für OM3-Fasern 300 m. Die OM4-Faser ist zwar nicht standardisiert, kann aber Lösungen bis zu einer Länge von 550 m unterstützen. Obwohl bei 40 GbE bzw. 100 GbE durch die paralleloptische Architektur pro Faser ebenfalls nur 10 Gb/s übertragen werden, sind laut 802.3ba lediglich 100 m für OM3 und 150 m für OM4 definiert. Grund hierfür sind gelockerte Anforderungen an die aktiven Bauelemente. Sie wurden reduziert, um die Gesamtkosten der Strecke zu senken. Aufgrund der grösseren Toleranzen insbesondere beim Jitter musste die Linklänge verkürzt werden, um das zulässige Jitter-Gesamtbudget nicht zu überschreiten. Jitter ist das zeitliche Taktzittern bei der Übertragung von Bits, verursacht z.B. durch Rauschen in der Elektronik oder durch Dispersion in der Glasfaser.

2. Komponenten und Lösungen für 40/100 GbE

Kapitel 1 hat gezeigt, dass Data Center schon jetzt ihre passive Infrastruktur auf 40/100 GbE vorbereiten müssen. Dieses Kapitel beschreibt die hierfür notwendigen Komponenten.

2.1. OM3/OM4 – Laseroptimierte Multimode Lichtwellenleiter

Bei OM3 und OM4 handelt es sich um sogenannte laseroptimierte 50/125 μm multimode Lichtwellenleiter. Während OM1 und OM2-Fasern mit LEDs als Signalquellen betrieben werden, kommen bei Fasern der Kategorie OM3 und OM4 Laser zum Einsatz. In der Regel sind dies Laser vom Typ VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser), die bedeutend günstiger sind als beispielsweise Fabry-Perot oder Distributed Feedback-Laser. Laser haben den Vorteil, dass sie nicht wie LEDs auf eine maximale Frequenz von 622 Mb/s begrenzt sind und somit höhere Datenraten übertragen können. Laser koppeln gegenüber LEDs konzentrierter in den Faserkern ein, sodass sich Störungen dort deutlich stärker auf die Übertragungseigenschaften auswirken als bei LED-gespeisten Fasern.

Bei konventionellen Multimode-Fasern finden sich häufig Störungen des Brechzahlprofils im Faserzentrum. Hierzu gehören Abflachungen (Flat Tops) und Spitzen (Peaks), insbesondere aber Centerline Dips, die eine Kerbe im Brechzahlprofil darstellen. Da das Lasersignal einen grossen Teil der Gesamtleistung auf das Faserzentrum konzentriert, entstehen dadurch Verformungen des idealen Übertragungssignals, was zu einer höheren Bitfehlerrate führt. Eine schlechte Nettodatenrate bis hin zum Ausfall der Übertragung sind die Folgen. Bei laseroptimierten Fasern ist das Brechungsindexprofil gegenüber konventionellen Multimode-Fasern verbessert, sodass kein Einbruch an der Mittelachse vorkommt. Abbildung 2 zeigt die Zusammenhänge:

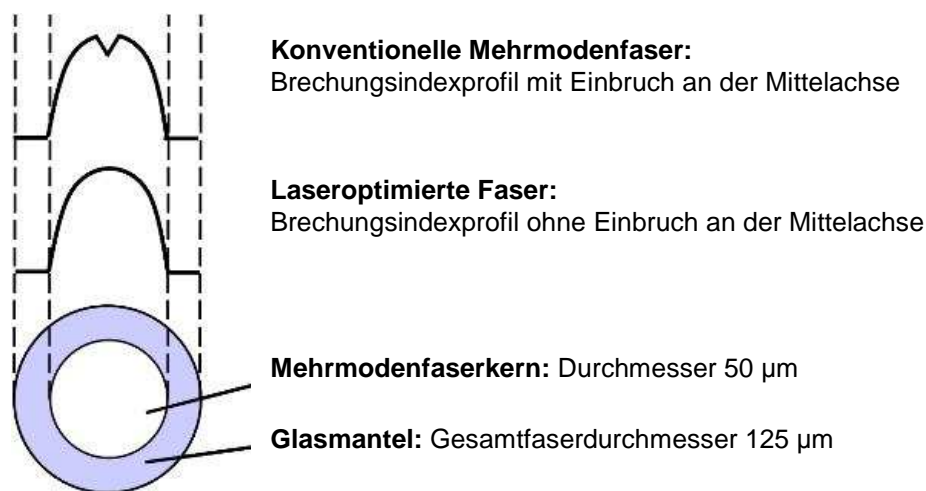


Abb. 2: Laseroptimierte Faser mit verbessertem Brechzahlindexprofil.

Die laseroptimierten Fasern der Kategorien OM3 und OM4 sind die Voraussetzung, um durch Einsatz von Lasern als Signalquelle ausreichend hohe Reichweiten zu erzielen. R&M bietet eine Vielzahl an laseroptimierten OM3- und OM4-Kabeln an, sowohl zur Installation als auch vorkonfektioniert. Dadurch sind maximale Distanzen und höchste Übertragungssicherheit garantiert.

2.2. Paralleloptische Verbindungen

Wie unter Punkt 1.3 gezeigt, definiert der Standard 802.3ba in 40GBASE-SR4 den parallelen Betrieb von vier OM3/OM4-Fasern für 40 GbE und in 100GBASE-SR10 den parallelen Betrieb von zehn OM3/OM4-Fasern für 100 GbE. Da es sich hierbei um Vollduplex-Betrieb handelt, also die zeitgleiche Übertragung in beide Richtungen, müssen pro Link jeweils zwei Fasern eingesetzt werden. Somit erhöht sich bei 40GBASE-SR4 die Faseranzahl auf acht, bei 100GBASE-SR10 auf 20.

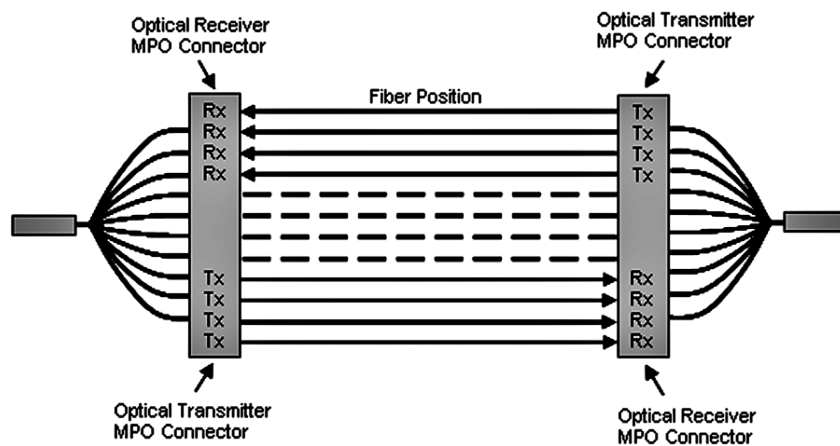


Abb. 3: Paralleloptische Verbindung für 40 GbE mit acht genutzten Fasern.

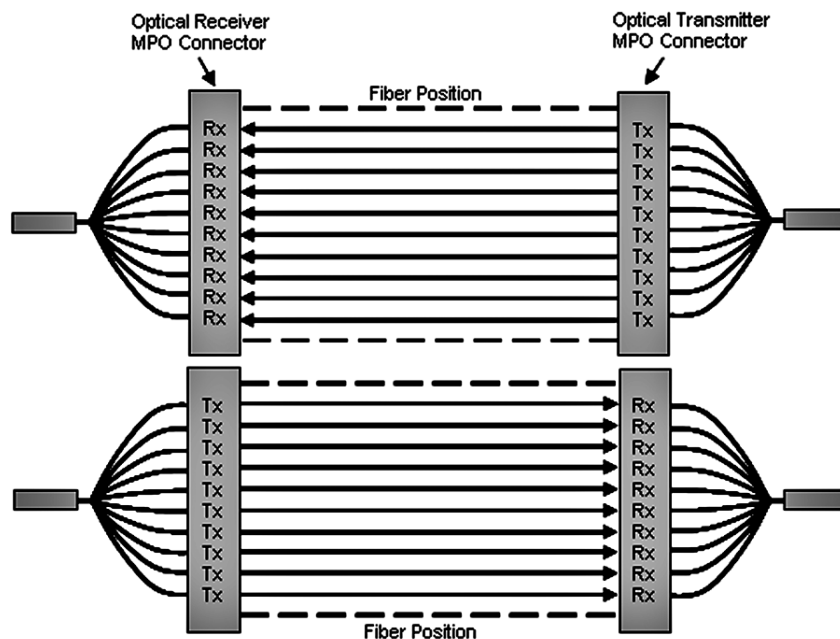


Abb. 4: Paralleloptische Verbindung für 100 GbE mit 20 genutzten Fasern.

Wie die Abbildungen 3 und 4 zeigen, bleiben in Verbindung mit 12- bzw. 24-fasrigen Kabeln und MPO/MTP®-Steckern (siehe Kapitel 2) jeweils vier Fasern unbeschaltet. Da bei der paralleloptischen Verbindung das Signal aufgetrennt, über separate Fasern übertragen und dann wieder zusammengeführt wird,

müssen die einzelnen Signale zeitgleich beim Empfänger eintreffen. Ein Versatz der Signalbestandteile – als Skew bezeichnet – muss innerhalb enger Toleranzen bleiben. Schon dadurch verbietet sich die Kombination von Einzelfasern für parallel optische Verbindung. Mit MPO/MTP®-Steckern vorkonfektionierte Trunk-Kabel sind daher die beste Wahl zur sicheren Übertragung. Beide Themen – MPO/MTP®-Stecker und Trunk-Kabel – werden in den folgenden Kapiteln ausführlich erläutert.

2.3. MPO/MTP® – Mehrfaserstecker für hohe Portdichte

Wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, dienen parallel optische Verbindungen mit mehrfasrigen multimode Lichtwellenleitern der Kategorien OM3 und OM4 zur Realisierung von 40 GbE und 100 GbE. Während die geringen Durchmesser der Lichtwellenleiter keine Probleme bei der Leitungsführung verursachen, müssen an den Ports plötzlich vier oder gar zehnmal so viele Steckverbindungen untergebracht werden. Diese hohe Steckeranzahl ist mit herkömmlichen Einzelsteckern nicht mehr zu schaffen. Daher wurde im Standard 802.3ba für 40GBASE-SR4 und 100GBASE-SR10 der Mehrfaserstecker MPO aufgenommen, der auf kleinstem Raum 12 oder 24 Fasern kontaktieren kann. Dieses Kapitel beschreibt diesen Steckertyp und erklärt die Unterschiede zum deutlich verbesserten MTP®-Stecker wie er von R&M angeboten wird.

2.3.1. MPO-Stecker: Aufbau und Funktion

Der MPO-Stecker (Multi Fiber Push-On, auch Multipath Push-On) ist ein nach IEC 61754-7 und TIA/EIA 604-5 definierter Mehrfaser-Stecker, der bis zu 72 Fasern auf kleinstem Raum – vergleichbar mit einem RJ45-Stecker – aufnehmen kann. In der Regel verwendet man MPO-Stecker mit 12 oder 24 Fasern (Abbildung 5).

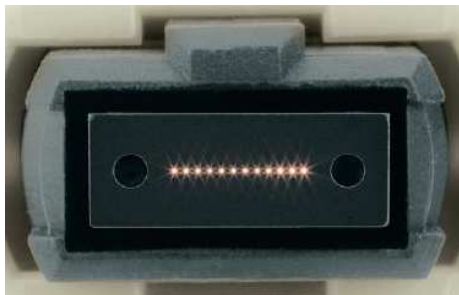


Abb. 5: MPO-Stecker zur Aufnahme von 12 Fasern.

Wie in Abschnitt 1.5 zur parallel optischen Verbindung erläutert, werden für 40 GbE acht Fasern benötigt, für 100 GbE 20 Fasern. Somit bleiben jeweils vier Kontakte unbeschaltet. Nachfolgende Grafiken (Abbildung 6) zeigen das Anschlussbild:



Abb. 6: Schematische Darstellung MPO-Stecker 12-fach (links) und 24-fach rechts. Farblich markiert sind jeweils die Fasern für Senden (rot) und Empfangen (grün).

Die Push-Pull-Verriegelung mit Schiebehülse und zwei Ausrichtungsstiften sollen bei mehr als 1.000 Steckzyklen den MPO-Stecker möglichst exakt positionieren. Wie bei jedem Steckverbinder so hängt auch beim MPO-Stecker die Qualität der Verbindung von der präzisen Kontaktierung ab – in diesem Fall jedoch gleich in 12- bzw. 24-facher Weise. Die hohen Ansprüche welche an den MPO gestellt werden, sind essentielle Gründe dafür, die optimale Stirnflächengeometrie für niedrige Einfügedämpfungen (Insertion Loss, IL) und Rückflusdämpfungen (Return Loss, RL) zu verstehen und kontrollieren zu können.

Üblicherweise wird die Faser in eine Bohrung des Steckerkörpers eingeklebt. Diese Bohrung muss grösser sein als die Faser selbst, um ein Einführen der Faser zu ermöglichen. Folglich hat diese immer ein gewisses Spiel in der Bohrung. Dies verursacht zwei für die Dämpfung entscheidende Fehler:

- **Winkelfehler (Schielwinkel):**
Die Faser liegt nicht exakt parallel in der Bohrung, sondern hat einen sogenannten „Schielwinkel“. Die Fasern treffen dadurch in der Steckverbindung schräg aufeinander und haben zusätzlich einen radialen Versatz. Auch werden die Fasern mechanisch stärker belastet.
- **Radialer Versatz (Konzentrität):**
Die beiden Fasern einer Steckverbindung treffen nicht deckungsgleich aufeinander, sondern haben einen geringen Versatz zueinander. Dies wird mit „Konzentrität“ bezeichnet. Hierzu wird das wahre Zylinderzentrum genommen und einmal um das Referenzzentrum rotiert. Somit entsteht ein neuer Zylinder, dessen Durchmesser als Wert der Konzentrität definiert ist. Gemäss EN 50377-15-1 darf die Konzentrität der Faserlöcher in der MPO-Ferrule maximal 5 µm betragen.
Im Zusammenhang mit dem radialen Versatz wird häufig auch von „Exzentrität“ gesprochen. Hierbei handelt es sich um einen Vektor, der den Abstand des wahren radialen Zylinderzentrums vom Referenzzentrum und die Abweichungsrichtung angibt. Da zur Bestimmung der Konzentrität das wahre Zylinderzentrum einmal um das Referenzzentrum rotiert wird, ist dieser Wert folglich doppelt so gross, wie jener der Exzentrität, enthält aber keine Information über die Abweichungsrichtung.

In beiden Fällen sind die Folgen höhere Einfügedämpfung und Rückflusdämpfung, da ein Teil des Lichts nicht übertragen sondern ausgekoppelt oder reflektiert wird.

Angesichts des mehrfasrigen, filigranen Aufbaus und der geringen zulässigen Toleranzen kann ein MPO-Stecker (wie auch der nachfolgend beschriebene MTP®-Stecker) nicht mehr selbstständig vor Ort konfektioniert werden. MPO/MTP®-Stecker werden daher bereits konfektioniert in Verbindung mit Trunk-Kabeln angeboten, was einerseits eine genaue Planung der Leitungslängen erfordert, andererseits höchste Qualität und kurze Installationszeiten garantiert. R&M bietet eine Vielzahl unterschiedlicher Kabeltypen fertig konfektioniert mit nochmals verbesserten MTP®-Steckern (siehe nächsten Abschnitt) an.

2.3.2. MTP®-Stecker mit Elite® Ferrulen von R&M

Da bei MPO-Steckern die Fasern direkt in den Kunststoffkörper des Steckers eingeklebt werden und eine spätere Nachbearbeitung erschwert möglich ist, sind der Fertigungsgenauigkeit Grenzen gesetzt. Winkelfehler und radialer Versatz lassen sich nur bis zu einem gewissen Grad minimieren.

Um geringere Toleranzen und bessere Dämpfungswerte zu erzielen, wurde vom amerikanischen Verbindungsspezialisten US Conec der MTP®-Stecker (Mechanical Transfer Push-On) entwickelt, der gegenüber MPO Verbesserungen hinsichtlich optischer und mechanischer Qualität aufweist. So besteht im Gegensatz zum MPO-Stecker ein MTP®-Stecker aus Gehäuse und separater MT Ferrule (Mechanical Transfer). Der MTP®-Stecker unterscheidet sich vom MPO u.a. durch die abgerundeten Pins und die oval geformte Druckfeder, welche sowohl Kratzer beim Stecken verhindern, als auch die Fasern beim Übergang vom Stecker ins Kabel schonen. Diese Konstruktion verleiht dem Stecker hohe mechanische Stabilität. Die MT Ferrule ist eine Mehrfaser-Ferrule, bei der die Faserausrichtung abhängig ist von Exzentrität und Positionierung der Faser sowie der Bohrungen der Zentrierstifte. Die Ausrichtung der Fasern wird dann beim Einfügeprozess durch die Zentrierstifte gesteuert.

Weil das Gehäuse abnehmbar ist, kann noch im Fertigungsprozess die Ferrule interferometrisch vermessen und nachträglich bearbeitet werden. Zudem lässt sich das Stecker-Geschlecht (männlich/weiblich) vor Ort noch kurzfristig ändern. Eine weitere Entwicklung von UC Conec ist die im Gehäuse in Längsrichtung bewegliche Ferrule, wodurch ein definierter Anpressdruck möglich wird.

Eine zusätzliche Verbesserung stellt die multimode (MM) MT Elite[®] Ferrule dar, die gegenüber der MM MT Standard Ferrule mit typischer 0,1 dB eine um 50% reduzierte Einfügedämpfung bei identischer Rückflussdämpfung aufweist. Engere Fertigungstoleranzen führen zu diesen besseren Werten.

Messreihen des R&M Labors bestätigen die Vorteile der Elite[®] Ferrule. Die Histogramme in Abbildung 7 und Tabelle 3 veranschaulichen die qualitativen Unterschiede der beiden Ferrulentypen. Die „random mated“-Messungen mit R&M MTP[®] Patchkabeln wurden nach IEC 61300-3-45 durchgeführt, je eine Gruppe mit Standard und eine mit Elite[®]-Ferrulen. Somit werden z.B. Steckverbindungen mit R&M MTP[®] Elite Steckern mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% Einfügedämpfungen von lediglich 0.06 dB oder weniger aufzeigen. Zu 95% werden diese Steckverbindungen optische Verluste mit 0.18 dB oder weniger erzeugen.

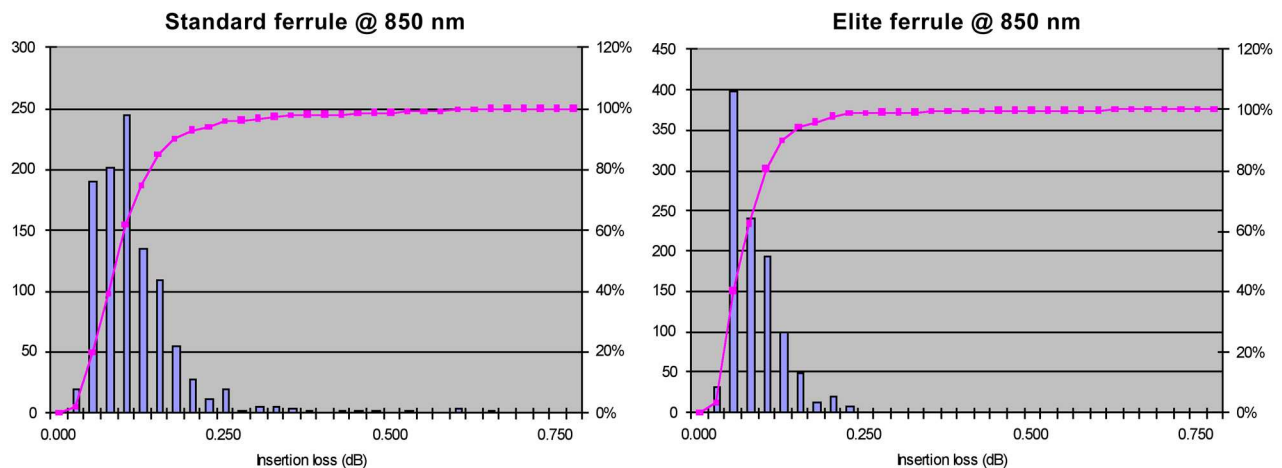


Abb. 7: Insertion Loss Charakteristik von Standard (links) und Elite Ferrulen (rechts) aus der R&M-Messreihe.

Ferrulen Typ	50%	95%
Standard	≤ 0.09 dB	≤ 0.25 dB
Elite [®]	≤ 0.06 dB	≤ 0.18 dB

Tab.3: 50% und 95% Werte von Standard und Elite[®] Ferrulen.

R&M setzt für seine MPO-Lösungen ausschliesslich MTP[®]-Stecker mit Elite[®]-Ferrulen ein, hat allerdings die ohnehin bereits guten Messwerte in einem eigens entwickelten Finishing-Prozess nochmals verbessert. So wurden nicht nur die durch die EN spezifizierten Toleranzen der Stirnflächengeometrie für MPO-Stecker verschärft, sondern darüber hinaus neue Parameter definiert. Das Finishing erfolgt in einer speziellen High End-Fertigungslinie.

Grundsätzlich legt R&M für jeden Verarbeitungsschritt und Parameter und für die statistischen Prozesse im Qualitätsmanagement strengere Kriterien an als die relevanten Normen, um den Anwendern höchstmögliche Betriebssicherheit garantieren zu können.

Zum einen müssen Fasern in MPO/MTP®-Steckern laut EN 50377-15-1 mindestens 1 µm aus der Ferrule herausragen und mit ihrem Gegenstück physikalischen Kontakt haben. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass die Ferrule eines MPO/MTP® eine sehr große Kontaktierfläche bietet. Diese große Fläche verteilt in jedem Stecker die Federkraft, die die Ferrulen zusammenpresst, gleichmäßig über alle Fasern hinweg. Wenn nun Fasern zu kurz sind, besteht die Gefahr, dass sich allein die Oberflächen der beiden zusammengesteckten Ferrulen berühren und damit den Kontakt zweier Fasern verhindern. Folglich ist die Faserhöhe ein kritischer Faktor für die Performance einer Steckverbindung.

Gleichwohl müssen alle Faserhöhen in einem MPO/MTP® Stecker auch innerhalb eines bestimmten Bereichs liegen. Dieser Bereich wird definiert als jener Abstand zwischen der kürzesten und der längsten Faser und muss selbstverständlich minimiert werden, um zu gewährleisten, dass sich alle Fasern in einer Steckverbindung berühren werden. Erschwerend kommt hinzu, dass es sich bei den Faserhöhen nicht um lineare Anordnungen handelt. Eine Variation der Faserhöhen entsteht beim Polieren der Faserenden und lässt sich nur durch eine besonders sorgfältige Arbeitsweise, hochwertige Polierapparate und geeignete Poliermittel verringern. Obwohl beim Polieren darauf geachtet werden sollte, dass sämtliche Fasern die gleiche Höhe erhalten, wird es doch nicht gänzlich möglich sein eine gewisse Abweichung im Sub-Mikrometer Bereich zu vermeiden. R&M konnte diesen Arbeitsschritt so optimieren, dass die engen Toleranzen der EN 50377-15-1 von 1 bis 3,5 µm nochmals verringert werden konnten (Abbildung 8).

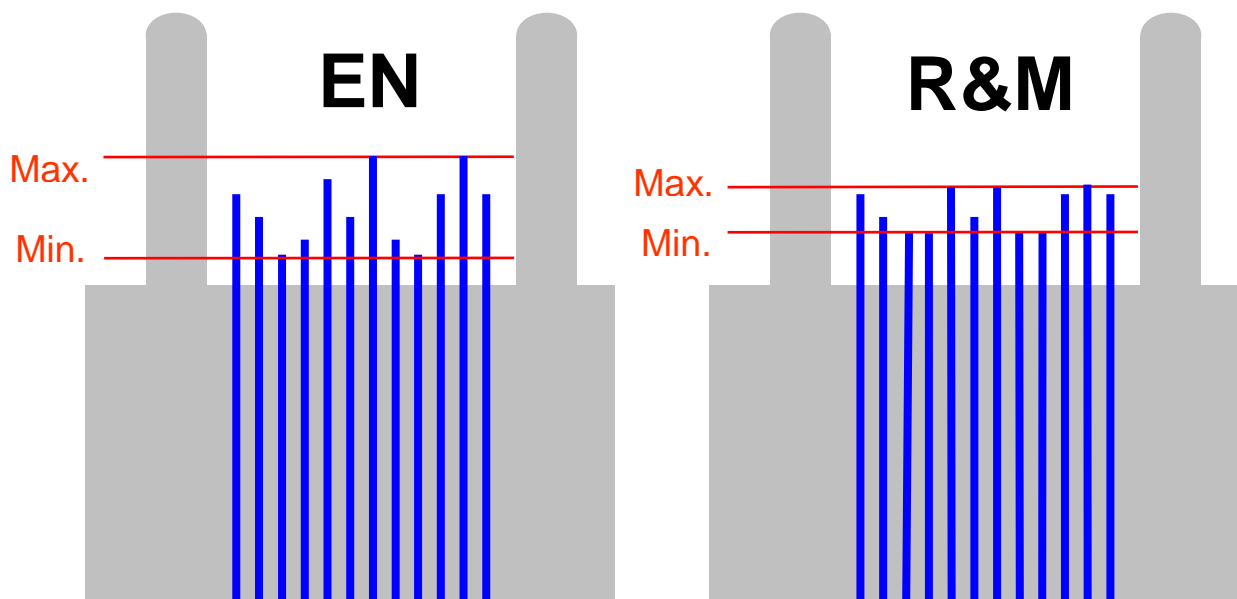


Abb. 8: Faser Protrusion – minimale und maximale Abweichungen nach EN 50377-15-1 und die deutlichen engeren Grenzen von R&M.

Aber nicht nur auf den Höhenunterschied zwischen allen 12 bzw. 24 Fasern, sondern auch auf jenen zweier benachbarter Fasern muss geachtet werden. Wie bereits erwähnt wird die Federkraft idealerweise gleichmäßig auf sämtliche Fasern verteilt. Gleichzeitig komprimieren sich Fasern, wenn sie Druck ausgesetzt werden. Wenn nun eine kurze Faser von zwei benachbarten höheren Fasern flankiert wird besteht die Möglichkeit, dass sie ihr Pendant im anderen Stecker nicht kontaktieren wird und somit zu grösseren Einfüge- und Rückflussdämpfungen führt.

Besonders grosse Sorgfalt muss dem sogenannten Core Dip gewidmet werden. Ist dies doch die Stelle, an der die Fasern in einer Steckverbindung aufeinander treffen und massgeblich die Einfüge- und Rückflussdämpfung bestimmt. Der Core Dip beschreibt eine „Delle“ im Faserkern, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Sie entsteht beim Polieren, da der Kern durch seine Dotierung etwas weicher als der Fasermantel ist. Die Tiefe des Core Dips darf nach EN 50377-15-1 maximal 100 nm betragen.

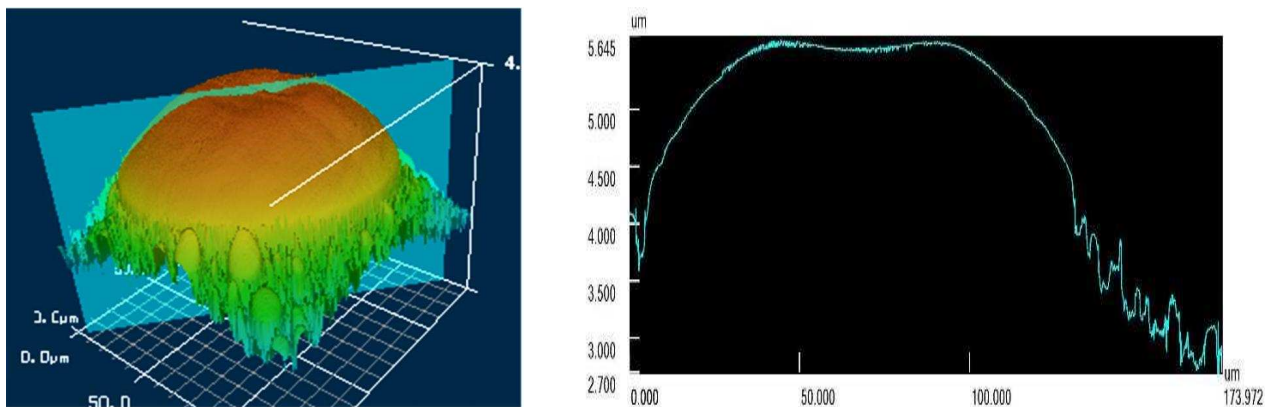


Abb. 9. (Links) 3D-Bild einer Faserstirnfläche, gemessen mittels eines Laser-Scanning Mikroskops. (Rechts) Profil der selben Faser.

Im Fall eines 24-fasrigen MPO/MTP® Steckers für 100GbE Anwendungen gewinnt das Problem der optimalen Geometrie noch an Komplexität, da hier gleich zwei Reihen mit jeweils zwölf Fasern poliert werden müssen. Die Optimierung der Stirnflächengeometrie ist die Voraussetzung für hohe Qualität der Stecker. Doch erst der 100%-Test im Herstellungsprozess ist der Garant dafür, dass diese Toleranzen auch eingehalten werden.

Weitere Parameter

Neben Faserhöhe und Core Dip gibt es noch weitere Parameter, die entscheidende Bedeutung für die Oberflächenqualität der Faserenden und somit für Übertragungseigenschaften sowie Lebenszeit eines Verbinders haben. Hierzu zählen beispielsweise Ferrulen- und Faserradius. Hierbei darf nicht ein Wert alleine betrachtet werden, sondern die Geometrie insgesamt muss im Rahmen der Fertigung und Qualitätssicherung untersucht werden.

Weitere ausführliche Informationen zu den Anforderungen an optische Steckverbinder und den hohen Massstäben bei R&M zur Herstellung und Qualitätskontrolle finden Sie im White Paper „Herstellerneutrale Güteklassen für Glasfaser-Steckverbinder“. Dieses White Paper erhalten Sie unter www.rdm.com, im Bereich „Service / Downloads“.

100% Test = 100% Qualität

Die engen, über die Vorgaben der EN 50377-15-1 hinausgehenden Toleranzen von R&M sind die Voraussetzung für höchste Qualität der Stecker. Doch erst der 100%-Test im Herstellungsprozess ist der Garant dafür, dass diese Toleranzen auch eingehalten werden. R&M unterzieht daher alle Steckendflächen einer **interferometrischen Inspektion** (Abbildung 10). Fehlerhafte Ferrulen werden nachbearbeitet, bis die vorgegebenen Toleranzen eingehalten werden.

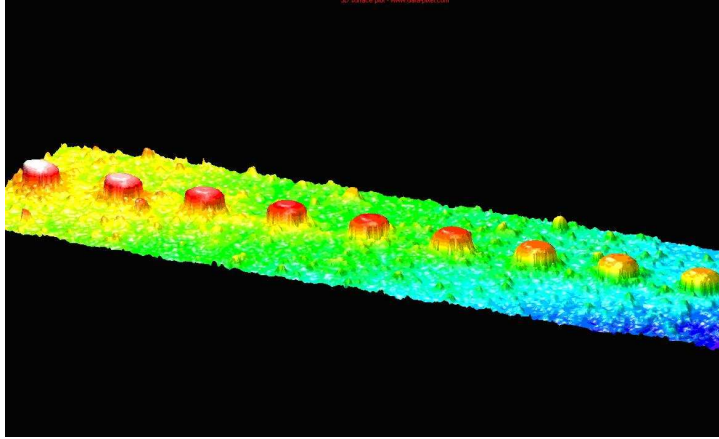


Abb. 10: Interferometrische Prüfung der Steckerendflächen.

Ebenso wird **Einfüge- und Rückflusssdämpfung** aller Stecker geprüft. Um die Einfügedämpfung von Steckverbindungen zu verringern, muss der Versatz zweier verbundener Fasern so klein wie möglich sein. Des Weiteren misst R&M in allen MPO/MTP®-Kabeln die interne **Polarität der Fasern**, um deren Korrektheit zu gewährleisten. Als Polarität bezeichnet man die Aufschaltung der Fasern, z.B. dass die Faser Tx1 (Sendekanal 1) zu Rx1 (Empfangskanal 1) führt, Tx2 zu Rx2, Tx3 zu Rx3, usw.

2.3.3. Trunk Kabel

Es ist naheliegend dass ein MPO/MTP®-Stecker mit 12, 24 oder gar bis zu 72 Fasern nicht mehr selbst vor Ort konfektioniert werden kann. Der Einsatz von MPO-Steckverbindern bedeutet somit immer auch den Einsatz von Trunk-Kabel (Abbildung 11), die bereits in der gewünschten Länge und komplett konfektioniert ausgeliefert werden.

Was einerseits mehr Sorgfalt bei der Planung verlangt, hat andererseits zahlreiche Vorteile:

- **Höhere Qualität:**
Durch Werkskonfektionierung und Einzelstückprüfung lässt sich in der Regel eine höhere Qualität erzielen. Ein werksseitig erstelltes Prüfzertifikat dient zudem der Langzeitdokumentation und somit der Qualitätssicherung.
- **Minimaler Skew:**
Ein entscheidender Faktor für das Gelingen einer paralleloptischen Verbindung ist ein möglichst geringer Signalversatz (Skew) zwischen den vier bzw. zehn parallelen Fasern. Nur dann kann die Information am Ziel wieder erfolgreich synchronisiert und zusammengesetzt werden. Mit werkskonfektionierten Trunk-Kabel kann der Skew gemessen und minimiert werden.
- **Kürzere Installationszeit:**
Nach dem Plug&Play-Prinzip können vorkonfektionierte MPO-Kabelsysteme eingezogen und sofort gesteckt werden. Das reduziert die Installationszeit enorm.
- **Besserer Schutz:**
Durch die komplette Konfektionierung im Werk bleiben Kabel und Stecker vollständig gegen Umwelteinflüsse geschützt. In Spleisskassetten offen liegende Lichtwellenleiter sind zumindest der Umgebungsluft ausgesetzt und können dadurch schneller altern.
- **Kleinere Kabelvolumen:**
Bei Fertigung der MPO-Verkabelung aus LWL-Bündeladern lassen sich geringere Durchmesser realisieren. Entsprechend kleinere Kabelvolumen, bessere Bedingungen für die Klimatisierung im Rechenzentrum und eine niedrigere Brandlast sind die Folgen.

- **Niedrigere Gesamtkosten:**

Bei Spleisslösungen treiben zahlreiche, nicht immer eindeutig vorhersehbare Faktoren die Gesamtkosten in die Höhe: zeit- und geräteintensives Spleissen, Bedarf an Fachkräften, Kabelmeterware, Pigtails, Spleisskassetten, Spleisschutz, Halter. Demgegenüber haben vorkonfektionierte Trunk-Kabel nicht nur technische Vorteile, sondern es entstehen meist auch niedrigere Gesamtkosten als mit Spleisslösungen.



Abb. 11: Eine vorkonfektionierte Verkabelung mit MPO-Trunk-Kabeln von R&M vereinfacht Ausbau, Erweiterung und Konsolidierung von Rechenzentren.

3. Die Bausteine im System

MPO/MTP®-Stecker und Trunk-Kabel sind zentraler Bestandteil einer paralleloptischen Verbindung. Dort entscheidet sich, ob die Einfügedämpfung das Dämpfungsbudget überschreitet und die Rückflusdämpfung gross genug ist. Doch erst wenn alle Komponenten einer paralleloptischen Verbindung höchsten Anforderungen genügen, wird am Ende die gewünschte Bandbreite erreicht – und das nicht nur kurz nach der Installation, sondern auch auf Jahre hinaus.

R&M liefert für die komplette Strecke hochwertige, aufeinander abgestimmte Komponenten, die minimale Einfüge- und maximale Rückflusdämpfung sowie komfortable Installationseigenschaften und Langlebigkeit miteinander verbinden.

Ausführlich Hinweise zum Aufbau einer paralleloptischen Verbindung mit Details zu den Komponenten, zur Planung der Struktur sowie zum Dämpfungsbudget finden Sie im White Paper „Anwendung der MPO-Technologie – Migration zu 40/100 Gigabit Ethernet“. Dieses White Paper erhalten Sie unter www.rdm.com, im Bereich „Service / Downloads“.

4. Zusammenfassung

Der Bandbreitenbedarf steigt weiter ungebremst und mit 40 GbE bzw. 100 GbE stehen die nächsten Technologien bereits vor der Türe. Auch wenn für kurze Strecken Kupferlösungen über parallele Twisted-Pair-Kabel durchaus ihre Berechtigung haben, wird der Lichtwellenleiter im Data Center auf breiter Front Einzug halten. Insbesondere wenn man in die Labors blickt, in denen bereits an 1000 GbE getüftelt wird.

Mit den derzeit verfügbaren Multimode Lichtwellenleitern der Kategorien OM3 und OM4 lassen sich die geforderten Bandbreiten nur über paralleloptische Verbindungen realisieren. Singlemode-LWL kommen aus wirtschaftlichen Gründen nur für grössere Strecken in Betracht. Die notwendigen passiven wie aktiven Komponenten stehen in grosser Auswahl zur Verfügung und mit der zunehmenden Installation werden die Marktpreise weiterhin fallen.

Angesichts der technischen wie ökonomischen Vorteile sollten daher die Verantwortlichen in den Data Centern frühzeitig damit beginnen, ihre Infrastruktur auf MPO/MTP®-basierte paralleloptische Systeme umzurüsten. Wer neu installiert oder sowieso aufrüsten wollte, wird ohnehin gleich diesen Weg einschlagen. Die Angst vor den fixen Längen konfektionierter Trunk-Kabel ist sicherlich nicht ganz unbegründet. Eine gute Planung mit dem Partner des Vertrauens sollte die Angst jedoch nehmen. Zudem haben Trunk-Kabel gegenüber Spleisslösungen deutliche Vorteile hinsichtlich Qualität und Kosten.

Mit R&M haben Sie einen solch vertrauensvollen Partner, der nicht nur alle Komponenten in höchster Qualität liefern kann, sondern Sie auch in allen Fragen der Planung, Installation und Wartung kompetent unterstützt.