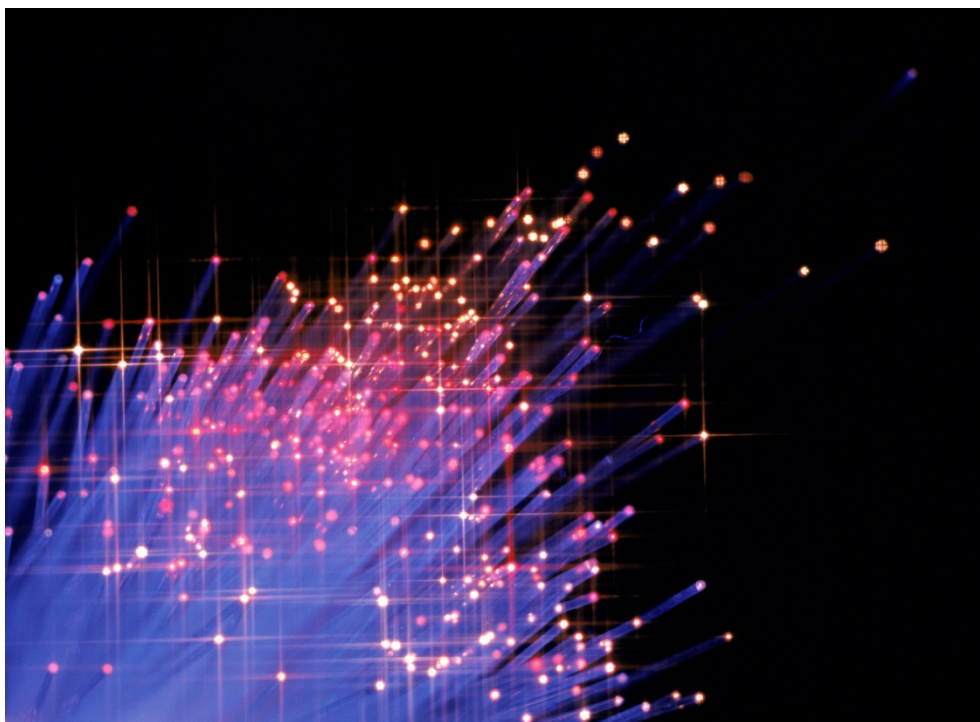


White Paper



PON – Die Evolution geht weiter



Convincing cabling solutions

Inhalt

1.	Aufrüstung bestehender Anschlussnetze	4
2.	Einsatz von Glasfasern bis Anschlussdose	5
3.	Entwicklung passiver optischer Netze (PON)	6
4.	Problem: Splitverhältnisse.....	7
5.	Neue technische Parameter.....	8
6.	Ein Blick in die Zukunft.....	9
7.	TCO und weitere Kostenaspekte	10
8.	Praktische Auswirkungen auf Layer 1	11
9.	Produzieren, justieren und „tunen“	12
10.	Fazit.....	13
11.	Weitere Informationen	14



Convincing cabling solutions

Die Evolution geht weiter

Der Blick auf die Standardisierung glasfaserbasierter Anschlussnetze in ITU-T und IEC eröffnet neue Perspektiven für die nahe und weitere Zukunft. Denn was in Standardisierungsgremien heute spezifiziert wird, findet sich morgen in passiven optischen Netzen wieder (PON: Passive Optical Networks).

FTTH-Betreiber profitieren dabei von höheren Sendeleistungen, steigenden Bitraten, höheren Dämpfungsbudgets und der Einführung neuer Übertragungstechnologien im Anschlussnetz wie WDM.

Glasfaserbasierte Verkabelungslösungen wie das R&Mfoxs bringen einen zusätzlichen Mehrwert. Er wird erbracht durch eine zukunftsichere und flexible Systemarchitektur, präzise gefertigte Hochleistungs-Glasfaser-Steckverbinder mit tiefer Dämpfung, garantierte Biegeradien, eine für alle Netzkomponenten standardisierte Installation mit nur wenigen Werkzeugen und vieles mehr.

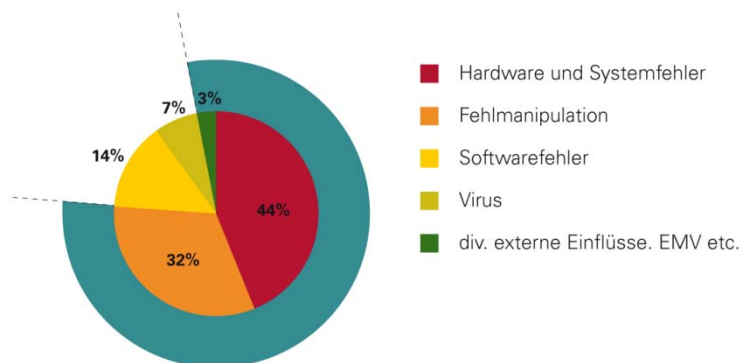
1. Aufrüstung bestehender Anschlussnetze

Dank des vermehrten Einsatzes von Glasfaserkabeln wird die breitbandige Erschliessung von Geschäftsvierteln und Wohnquartieren Realität. Damit wird dem immer noch steigenden Bandbreitenbedarf seitens der Kunden mit leistungsfähigen Netzen unter grösstmöglichem Investitionsschutz begegnet. Die Vorgehensweise der Netzbetreiber in den Anschlussnetzen erfolgt dabei fast immer zweigleisig. Neben den Kabelnetzbetreibern (Glas/Koaxial) verwenden auch die traditionellen Festnetzbetreiber Hybridtechniken (Glas/Kupfer).

Die Glasfaserkabel werden möglichst nahe an das jeweilige Gebäude bis zu einem Quartierverteiler geführt. Von dort aus wird das bestehende Kupferkabelanschlussnetz weiter verwendet. Je kürzer dieser Abschnitt ist, desto höher sind die erzielbaren Übertragungsraten. Besonders vielversprechend ist FTTS (Fiber To The Street, Glasfaser bis vor das Haus), auch „Giga-DSL“ genannt. Statt in der Zentrale wird ein aktiver Quartierverteiler (DSLAM) im Mannschacht (Manhole) in der Nähe des Hauses platziert (max. 200m). Das ITU-T (International Telecommunication Union, Telecommunication Standardisation Sector) arbeitet am zugehörigen Standard G.fast.

2. Einsatz von Glasfasern bis Anschlussdose

Neue Übertragungsverfahren holen zwar deutlich mehr aus den vorhandenen Kupfer- oder Koaxialanschlussleitungen. Gleichwohl sind den Geschwindigkeitssteigerungen physikalische Grenzen gesetzt. Glasfaseranschlusssnetze bieten eine wesentliche höhere Qualität und Sicherheit. Darum beginnt sich **FTTH** (Fiber To The Home, Glasfaser bis in die Wohnung) auf breiter Ebene durchzusetzen.



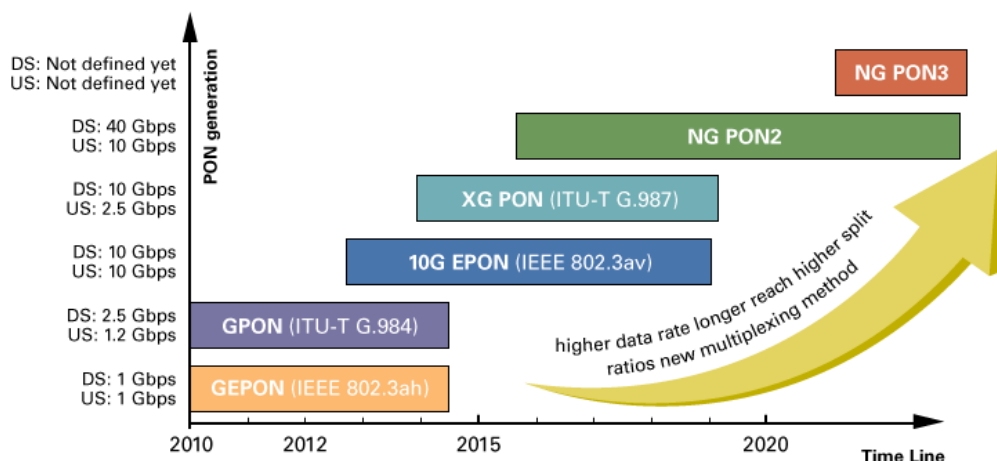
Ein Glasfasernetz ist in jedem Fall eine langfristige Investition. Die Nutzungsdauer beträgt mindestens 30, in der Praxis aber eher 40 Jahre. Glasfaseranschlusssnetze bilden darum auf Jahrzehnte hinaus das Kommunikationsrückgrat der Netzbetreiber. Langfristige Investitionen bedürfen darum einer sauberen Planung und einer qualitativ hochstehenden Realisierung mit hochwertigen Komponenten. Untersuchungen haben gezeigt, dass nur 21% der Störungen auf Schicht 1 ausserhalb der eigentlichen Kabeldomäne auftreten. Die restlichen 79% hingegen finden ihre Ursache innerhalb der Verkabelung, etwa Hardware- oder Systemfehler (44%) oder menschliche Ursachen (32%). Daher haben qualitativ schlecht gefertigte FTTH-Komponenten oder fehlerhaft verlegte Glasfaserkabel im Betrieb spürbare Kostenfolgen (häufigere Ausfälle, aufwändige Fehlersuche etc.).

3. Entwicklung passiver optischer Netze (PON)

PONs haben in den letzten Jahren auch seitens der Standardisierungsgremien eine hohe Aufmerksamkeit erhalten. Primär sind wiederum das ITU-T sowie das IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) zu nennen.

Letzteres hatte bereits 2004 das GEPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) im Standard IEEE 802.3ah¹ definiert. Er ist als „Ethernet in the First Mile“ (EFM) gut bekannt und etabliert. Bei EFM wird ein symmetrisches Übertragungsverfahren verwendet. Es weist sowohl im Downstream (von der Zentrale zum Teilnehmer) als auch im Upstream (in umgekehrter Richtung) identische Übertragungsgeschwindigkeiten von 1,25 GBit/s auf. Um den Vielfachzugriff zu steuern, wird ein Zeitschlitz-Verfahren (Time Division Multiplexing, kurz TDM) verwendet. Zur Sicherheit werden die Datenströme der Teilnehmer verschlüsselt. Der Standard nutzt P2P-Verbindungen (Point-to-Point) und ist im Prinzip eine Variante von GPON mit Reichweiten von rund 10 km. GEPONs sind seit Jahren hauptsächlich im asiatischen Raum im Einsatz.

Technology Evolution



Weltweit am häufigsten installiert ist das „Broadband Passive Optical Network“ (BPON). Es ist jedoch nur bedingt für die Übertragung hoch aufgelöster Videobilder wie HDTV geeignet. Diese Anforderung erfüllt hingegen das neuere „Gigabit-capable Passive Optical Network“ (GPON), standardisiert in ITU-T G.983 und G.984². Der Marktanteil von neu installierten optischen Netzen wird weltweit auf rund 80% GPON geschätzt, während sich die restlichen ca. 20% auf 10G EPON und XG PON aufteilen (Tendenz zunehmend). 10G EPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network) ist eine Variante von „Ethernet in the First Mile“ und im Standard IEEE 802.3av definiert. Das analog dazu vom ITU-T entwickelte XG PON wurde unter dem Titel „10-Gigabit-capable Passive Optical Network“ (10G-PON) zunächst im Januar 2010 und in der bisher dritten Version im Juni 2012 unter der Bezeichnung ITU-T G.987³ veröffentlicht.

¹ IEEE-Standards 802.3xx: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.3.html>

² ITU-T G.984.1 Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General Characteristics (März 2008), <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1>

³ ITU-T G.987 10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON) Systems: Definitions, Abbreviations and Acronyms (Juni 2012), <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.987>

4. Problem: Splitverhältnisse

In den ersten im asiatischen Raum aufgebauten FTTH-Netzen wurden noch aktive Splitter verwendet. Wegen der hohen Portkosten und beträchtlichen Folgekosten für den Netzbetreiber etwa bei Umbauten dominieren heute weltweit PONs.

Deren zentrale Vorteile sind unter anderem die rein optisch arbeitenden Splitter ohne aktive Komponenten wie eine Stromversorgung oder alterungsempfindlicher Elektronik. Dort wird das Licht aus der Eingangsfasern auf mehrere Ausgangsfasern aufgeteilt. Für den Rückweg wird das Licht aus den von den Teilnehmern kommenden Einzelfasern einfach wieder vereint. Ein weiterer Vorteil: Hin- und Rückkanal liegen in derselben Glasfaser. Die Kanaltrennung erfolgt durch Nutzung verschiedener Lichtfrequenzen (oder Lichtfarben/-wellenlängen) für beide Richtungen. Zu den Nachteilen gehört etwa der Signalstärkeverlust durch das Splitten.

Daher wird bei dem in Europa favorisierten GPON bei einem Splitverhältnis von 1:64 (ein Port in der Vermittlungsstelle führt zu 64 Anschlüssen) die Reichweite auf etwa 20 km limitiert. In der Praxis wird sogar nur ein Splitverhältnis von maximal 1:32 empfohlen. Daraus ergeben sich Signalreserven für Dämpfungen oder (eher selten) für weitere Splitter. Anders ausgedrückt werden die so genannten „Power Budgets“ (die Sendeleistungsreserve) durch höhere Splitverhältnisse schneller aufgebraucht, da Splitter und Spleissstellen das Signal dämpfen.

5. Neue technische Parameter

Bereits in der heutigen Entwicklung fallen die sich verändernden technischen Parameter auf. Tendenziell kann man höhere Datenraten, höhere Reichweiten, höhere Splitverhältnisse sowie neue Multiplexingmethoden verzeichnen. Wie schon beim GPON erfolgt die Datenkommunikation beim 10G EPON symmetrisch, während das 10G-PON nur auf dem Downstream eine Bitrate von 10 GBit/s ermöglicht. Der Upstream hingegen erreicht lediglich max. 2,5 GBit/s. Gegenüber dem ITU-T-Standard G.984 für GPON (2,5 bzw. 1,25 GBit/s) ist dies jedoch bereits eine Vervielfachung (Downstream) oder Verdopplung (Upstream) der maximal erzielbaren Bitraten.

Auch die Sendeleistung der eingesetzten Laser (Transmission Power) wurde gesteigert. Sie ist beim 10G-PON 14-mal (!) höher als noch beim GPON und reflektiert die erzielten Fortschritte bei der Hardware. Die Reichweite der Laser bzw. die Distanz zwischen Anschlusszentrale und Teilnehmer hat sich von 20 auf 40 km verdoppelt. Selbst das verfügbare „Power Budget“ konnte von 30 auf 35 dB leicht erhöht werden, was das Gesamtsystem unempfindlicher gegenüber den beinahe unvermeidlichen Dämpfungen werden lässt. Lediglich das Splitverhältnis (1:32) sowie das TDM-Übertragungsverfahren blieben identisch.

Technology Evolution in Detail

	GEAPON	GPON	10G EPON	XG PON	NG PON2
Data Rate US / DS [Gbps]	1 / 1	2.5 / 1.2	10 / 10	10 / 2.5	40 / 10
Power Budget [dB]	26	30	30.5	35	?
Transmitter Power US / DS [mW]	0.8 / 1.6	1.6 / 2.0	2.5 / 3.2	1.6 / 28.2	? / ?
Physical Reach (typ.) [km]	20	20	20	40	?
Max Split Ratio	>1:16	Typ.1 : 32 Max.1 : 64	≥ 1 : 32	≥1 : 32	≥1:64
Multiplexing Method	TDM	TDM	TDM	TDM	TDM / WDM

6. Ein Blick in die Zukunft

Für PONs werden weitere Fortschritte erwartet. Die entsprechenden ITU-T- und IEEE-Standards für die „Next Generation (NG) PON 2/PON 3“ befinden sich noch in der Entwicklung. Für NG PON2 werden nochmals höhere Übertragungsgeschwindigkeiten von 40 GBit/s im Downstream und 10 GBit/s im Upstream anvisiert. Für das NG PON2 wird ein Splitverhältnis von 1:64 empfohlen, wobei es noch nicht final standardisiert ist. Aufgrund des schnellen technischen Fortschritts sind durchaus auch Splitverhältnisse von 1:128 denkbar. Doch die eigentliche optische Evolution findet im Bereich des Multiplexingverfahrens statt.

Um die Jahrtausendwende bereits in optischen Weitverkehrsnetzen eingeführt, zieht mit WDM (Wavelength Division Multiplexing) ein bewährtes Multiplexingverfahren in die optischen Anschlussnetze der 2. und 3. Generation ein. Statt durch Aufteilung der Signalstärke erfolgt bei WDM die Trennung einfach durch unterschiedliche Lichtfarben. Vorteil der WDM-basierten PONs: Die Signalstärke bleibt – abgesehen von unvermeidbaren Verlusten – praktisch unverändert. Bei Verwendung dieser passiven WDM-Komponenten steigt die mögliche Reichweite deutlich. Auch ist das Medium nicht mehr unter den Nutzern geteilt (geshared). Da jedem Anschluss eine eigene Farbe mit fest definierter Wellenlänge zugeordnet wird, kann jeder Link die volle Bitrate nutzen.

Nachteilig sind beim WDM-PON der höhere Aufwand bei den Splittern und in der Anschlusszentrale: Statt eines Senders und Empfängers für alle 64 Anschlüsse an einem PON-Baum werden nun je ein Sender und Empfänger pro Lichtfarbe bzw. pro Anschluss benötigt. Damit enthält WDM-PON auf Seite der Telekommunikationsanbieter ähnlich viele aktive Elemente wie die um die Jahrtausendwende begonnenen FTTH-Installationen im asiatischen Raum, die ebenfalls zahlreiche optische Komponenten nutzen. Im Gegensatz dazu wird bei den neuen WDM-PON die gesamte aktive Technik des FTTH-Anbieters in der Anschlusszentrale konzentriert und ist nicht mehr über das gesamte Anschlussgebiet verteilt.

7. TCO und weitere Kostenaspekte

Oftmals wird in den Diskussionen um die „Total Cost Of Ownership“ (TCO) verdrängt, dass es sich beim Bau von FTTH um eine sehr langfristige Investition handelt. Die bestehenden Kupferanschlussnetze sind teilweise bis zu 100 Jahre alt. Solche Betriebsdauern werden für FTTH zwar nicht erwartet. Gleichwohl zeigt sich häufig, dass kurzfristig anfallende Capex (Capital Expendure, Investitionskosten) gegenüber den Opex (Operational Expendures, Betriebskosten) als wichtiger eingestuft werden.

In der Praxis tendieren FTTH-Netze mit tieferen Capex – sprich PONs mit tieferer Qualität der verwendeten Fasern, Splitter und Stecker oder schlecht ausgeführten Spleissstellen – oft zu höheren Opex. Derartig ausgeführte Glasfaseranschlussnetze fallen durch häufiger auftretende Fehler, höhere Dämpfungen mit schnellerer Ausschöpfung des „Power Budgets“ und damit – endkundenseitig äussert wichtig – durch tiefere Bitraten auf. Das Potential für eine tiefere Kundenzufriedenheit scheint da vorprogrammiert.

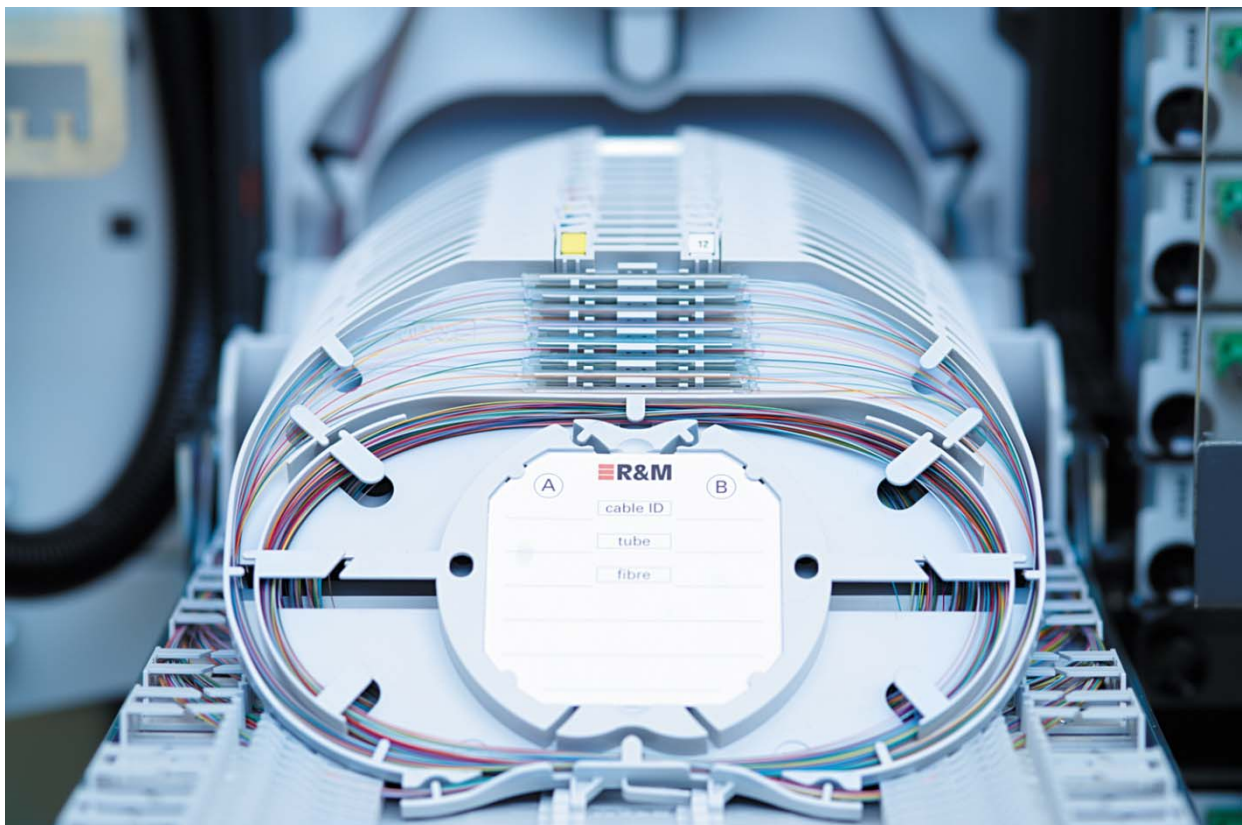
Neben den Opex- und Capex-Betrachtungen wird auch das Thema „Life Cycle Costing“ (LCC) immer wichtiger. Das LCC wird durch eine von Anfang an im PON und dessen Komponenten vorgesehene Modularität und Flexibilität spürbar gesenkt. Auf diese Weise lassen sich zum Beispiel neue optische Übertragungsverfahren durch einfachen Tausch einzelner Komponenten schnell und unkompliziert im PON realisieren. Dies gilt es bei der Planung und Projektierung von FTTH zu bedenken – gerade auch bei der Kalkulation von Opex und Capex.

8. Praktische Auswirkungen auf Layer 1

Bei der Installation und im späteren Betrieb eines PON zeigt sich oftmals erst nach Jahren, wie gut – oder im ungünstigen Fall wie schlecht – das Netz konzipiert und gebaut wurde. Signaldämpfungen auf dem Weg von der Anschlusszentrale bis zum Glasfaseranschluss beim Kunden sind unvermeidbar. Zur Planung eines exakt definierten Dämpfungsbudgets sind Güteklassen (Quality Grades nach IEC 61753) sehr hilfreich. Die damit ermittelten Dämpfungswerte vermeiden sowohl zu teure PONs mit zu hoher Dämpfungsreserve als auch minderwertige PONs mit zu hohen Dämpfungen ⁴.

Bei der Erstellung optischer Verbindungen, seien sie nun dauerhaft gespleisst oder gesteckt, ist eine hohe Installationsqualität mit dauerhaften Verbindungen anzustreben. PONs von R&M nutzen z.B. grosse Biegeradien (40 mm), was das Handling erleichtert und die Sicherheit erhöht. Grössere Kassettengehäuse mit klaren Beschriftungen und eindeutiger Teilnehmeridentifikation sorgen für mehr Übersicht im Betrieb, insbesondere bei Änderungen des Teilnehmeranschlusses.

Innerhalb des Single Circuit Managements (SCM) von R&M sind die PON-Komponenten zudem als Baukastenmodule konzipiert. Sie folgen bei der Installation auf verschiedenen Plattformen stets dem gleichen Grundprinzip. Wurden die Monteure einmal auf der R&M-Plattform geschult, können sie praktisch alle Module des Gesamtsystems problemlos und fehlerfrei installieren. Dazu ist kein Spezialwerkzeug nötig – ein weiterer Vorteil.



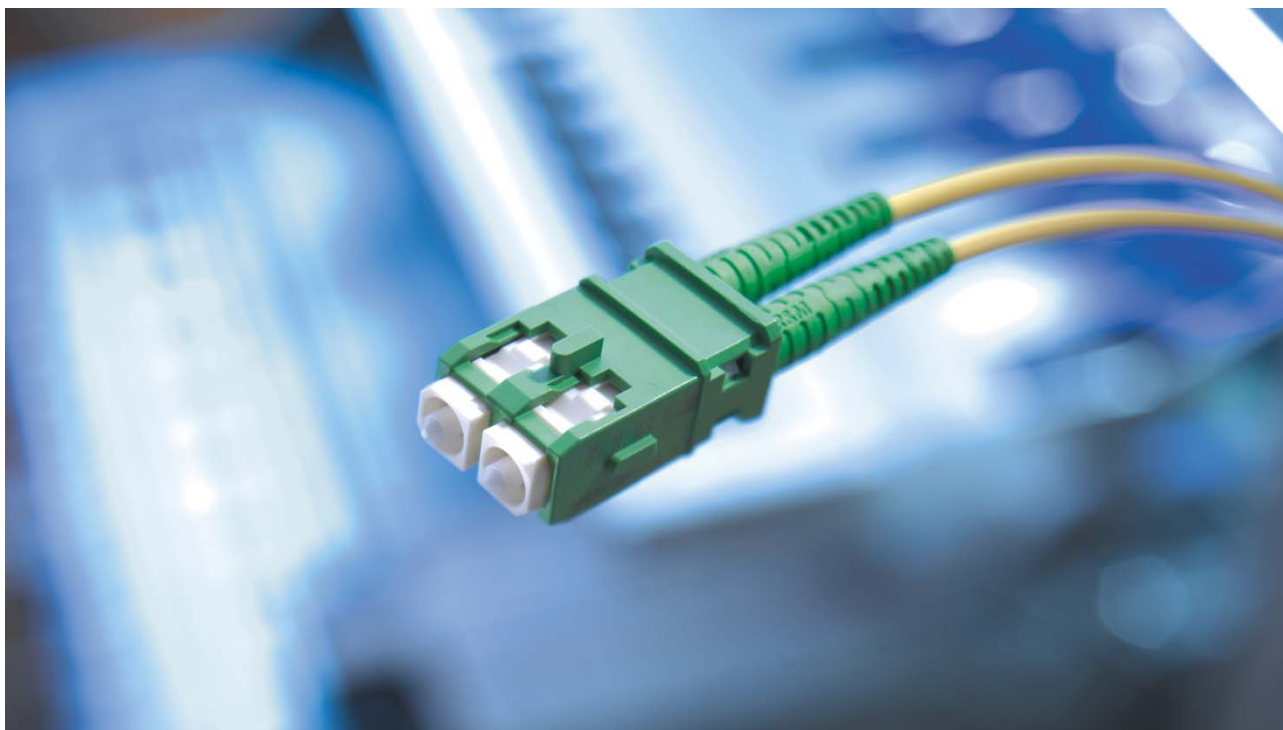
⁴ White Paper „Herstellerneutrale Güteklassen für Glasfaser-Steckverbinder“ und weitere White Papers unter: <http://www.rdm.com/de/co/service/downloads/white-paper.aspx>

9. Produzieren, justieren und „tunen“

Bei der Installation und im späteren Betrieb eines PON Präzisionsarbeit, erstklassige Materialien und eine lückenlose Qualitätskontrolle sind die Voraussetzungen für die Herstellung zuverlässiger Hochleistungs-Glasfaser-Steckverbinder. Die Belastungen, denen die winzigen Komponenten eines Glasfaser-Steckverbinders ausgesetzt sind, könnten kaum anspruchsvoller sein. Bei Produkten von R&M sind sie zum Beispiel für eine Betriebsdauer von 200'000 bis 250'000 Stunden bzw. 25 Jahre ausgelegt. Beim Patchen müssen die Stecker zudem hohe Scherkräfte aushalten und sollten 500 bis 1000 Steckzyklen problemlos überstehen.

Die so genannten Ferrulen (Faserendhülsen), in denen später die Fasern sitzen, durchlaufen schon vor dem Fertigungsprozess eine strenge Eingangskontrolle. Die eigentliche Herstellung beginnt damit, dass Ferrulen und Federn in den Alberino (das Steckerinnengehäuse) eingesetzt und die Ferrulen mit Kleber befestigt werden.

Einer sehr wichtiger Arbeitsschritt ist das Justieren der Glasfaser-Steckverbinder, auch „Tunen“ genannt. Gemäss IEC 61755-3 müssen alle Verbinder der Güteklasse Grade C und höher justiert werden. Um die durch extrinsische Verluste bedingte Dämpfung zu minimieren, muss die resultierende Konzentrität in der Ferrule in den durch die Norm definierten Sektor gedreht werden. Durch den Justiervorgang wird die Faser in der Ferrule nicht verändert und liegt ohne störende Krafteinwirkung darin. Dabei wird der Ferrulenhalter im Stecker gedreht und die Ferrule so in die richtige Position gebracht. Durch dieses „Tunen“ werden der Fasersersatz und der Schielwinkel (die Abweichung der Strahlachse von der Steckerstiftachse) minimiert. Letzterer bleibt dank genauer Justage unter 0,3 µm.



10. Fazit

Abgeleitet von den bereits verabschiedeten und den zu erwartenden PON-Standards lassen sich klare Trends und Entwicklungen ableiten:

- Höhere Datenraten bis zum Endkunden im Down- und im Upstream;
- Verdopplung der Übertragungreichweiten der aktiven Komponenten mit hohen Anforderungen an die Installationen und die Glasfaser-Steckverbinder;
- Höhere Splitverhältnisse ermöglichen zwar Kostenreduktionen, nehmen aber eine höheres Dämpfungsbudget in Anspruch;
- Das Multiplexingverfahren WDM zieht in PONs ein und ermöglicht höhere Bitraten auf der vorhandenen Infrastruktur, verlangt von dieser jedoch eine gewisse Flexibilität.

Das optische Verkabelungssystem R&Mfoxs folgt diesen Entwicklungen und ermöglicht eine perfekte Reproduktion der vom Kunden gewünschten Eigenschaften. Es bietet dabei eine ausgewogene Balance zwischen Kosten und Präzision. Die breite Flexibilität des Systems garantiert zudem eine hohe Zukunftssicherheit und schützt wertvolle Investition in die glasfaserbasierte Breitbandinfrastruktur der Zukunft.



Convincing cabling solutions

11. Weitere Informationen

FTTH-Microsite: www.ftth.rdm.com