

Der Vergleich lohnt sich

Die Struktur moderner optischer Zugangsnetze

Jürgen Schubert

Die Zukunft liegt im Aufbau von Glasfasernetzen bis in die privaten Haushalte. Das ist unstrittig. Bei der geeigneten Netzstruktur stehen allerdings zwei grundsätzliche Konzepte zur Diskussion – PON und P2P-Ethernet. Der wesentliche technische Unterschied zwischen beiden liegt in der Zuführung der Glasfaser. Die Vor- und Nachteile der beiden Modelle sollen in diesem Beitrag beleuchtet werden.

P2P-Ethernet-Systeme sind seit langem aus der LAN-Welt bekannt und finden zunehmend auch im Transportbereich von TK-Netzen Anwendung – mit übergeordnetem Managementsystem und in Carrier-Class-Ausführung. Das Konzept wurde für den Glasfaserdirektanschluss bis zum Teilnehmer übernommen. Jeder Teilnehmer wird über eine eigene (dedizierte) Glasfaser mit dem nächsten Netzknoten verbunden (Punkt zu Punkt – P2P). Für die Übertragung der Dienste kommen allgemein am Markt verfügbare Standard-Ethernet-Komponenten zum Einsatz, wie CPE (Customer Premises

transportiert werden, um die Systemkapazität zu erhöhen. WDM-PON ist durch die höheren Kosten und die Bandbreitenmöglichkeiten heute eher für Geschäftskunden interessant.

Gigabit-PON (GPON)

GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network) ist von der ITU-T (G.984) standardisiert. Es hat als passives Glasfasernetz den Vorteil, auf teure aktive Komponenten, auf Stromversorgung oder Klimatisierung (z.B. im KVZ) verzichten zu können. Zusätzlich werden auf dem Zugangsweg zu einem Er-

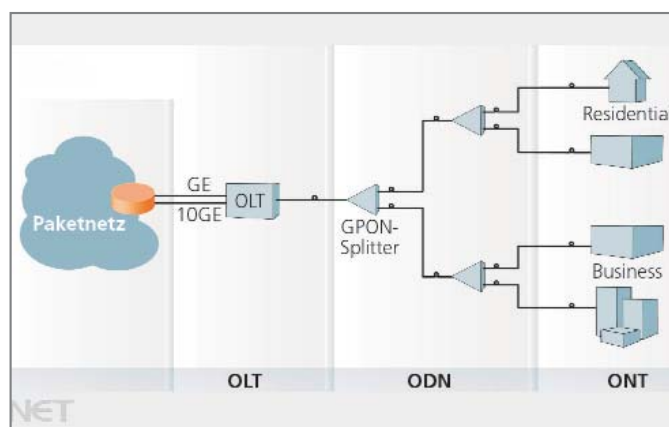


Bild 1: Bei der PON-Technik werden die einzelnen Fasern vom Teilnehmer an einem oder mehreren Verteilpunkten durch passive Splitter zusammengefasst und auf einer gemeinsamen Faser weitergeführt. Die Kunden, die an den gleichen Splitter angebunden sind, teilen sich die Bandbreite (GE – Gigabit Ethernet)

Equipment), Switches und Router mit optischen Schnittstellen, was die Systemtechnik günstig macht.

Bei der PON-Technik (Passive Optical Network) werden die einzelnen Fasern vom Teilnehmer an einem oder mehreren Verteilpunkten durch passive Splitter zusammengefasst und auf einer gemeinsamen Faser weitergeführt (Punkt zu Multipunkt – P2MP). Die Kunden, die an den gleichen Splitter angebunden sind, teilen sich die Bandbreite. Es werden unterschiedliche PON-Varianten eingesetzt wie Ethernet-PON (EPON, vor allem in Asien), Gigabit-PON (GPON) oder WDM-PON (Wave Division Multiplex), bei der auf der gleichen Faser unterschiedliche Wellenlängen („Farben“)

schließungsgebiet nur relativ wenige Fasern benötigt (Bild 1).

Von einem zentralen Optical Line Terminator (OLT) aus werden die Teilnehmer in der Praxis über eine Entfernung von bis zu 20 km versorgt. Größere Entfernungen sind auch möglich, setzen jedoch aufgrund des optischen Leistungsbudgets die mögliche Anzahl der angeschalteten Teilnehmer (Splitting-Faktor) herab und somit die Kosten pro Port erheblich herauf. Im prinzipiellen Aufbau wird das Glasfaserkabel zu einem Verteiler mit einem passiven Splitter (ODF) geführt. Von hier aus gehen bis 64 Fasern zu den einzelnen Teilnehmern. Die Teilnehmer müssen sich die maximale Bandbreite von 2,5 Gbit/s (Downstream)

und 1,25 Gbit/s (Upstream) teilen. Das Endgerät beim Teilnehmer (ONT – Optical Network Terminator) ist in verschiedenen Varianten z.B. mit POTS-Telefonanschlüssen (SIP) und /oder RF-Overlay verfügbar. Ein GPON arbeitet synchron, und der Netzbetreiber kann darüber Bandbreite reservieren und Quality of Service garantieren. Im Downstream werden die Daten per Zeitmultiplex (TDMA) zugeordnet.

Gegenüber P2P-Ethernet hat ein GPON den Vorzug, dass die Integration von Kabel-TV als RF-Overlay bereits im Standard vorgesehen ist und bei Bedarf einfach über eine separate Wellenlänge in das Glasfasernetz mit eingespeist wird. Beim Teilnehmer wird dann mit einem entsprechenden ONT das Kabel-TV-Signal auf einem üblichen Koaxialanschluss zur Verfügung gestellt. Dies ist einer der Gründe, weshalb der effektivste Einsatz von GPON in einem reinem FTTH-Netz zu finden ist.

Als besonderer Nachteil gilt, dass die GPON-Standardisierung ITU G.984.x nicht gewährleistet, Endgeräte und Zentraleinheiten (OLT) beliebig miteinander zu betreiben und zu kombinieren. Um den vollen Funktionsumfang und die Integration ins Management – auch bei Unterstützung des im Standard ITU-T G 984.4 beschriebenen OMCI (ONT Management and Control Interface) – gewährleisten zu können, ist der Einsatz von Systemtechnik (OLT und ONT) von einem Hersteller erforderlich.

FTTC, FTTB oder FTTH

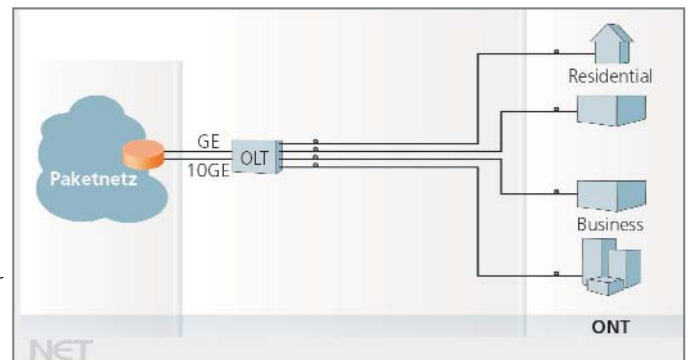
Wer in den Aufbau eines Glasfasernetzes investiert, will eine zukunftssichere Lösung aufbauen. Da für die Verlegung von Glasfasern in der Regel Tiefbauarbeiten erforderlich werden, sind die Kosten relativ hoch. 70 bis 80 % der Ausgaben entfallen auf die Erstellungskosten für Trassen, Hauszuführungen usw. Deshalb spielt zunächst eine Rolle, bis zu welchem Punkt die Glasfaser geführt werden soll:

- **Fiber to the Curb (FTTC):** Die Glasfaser wird bis zu einem VDSL-DSLAM in einem Straßenverteiler geführt. Von dort werden die Teilnehmer in den Gebäuden über Kupferkabel

angeschlossen (wie beim VDSL2-Angebot der Deutschen Telekom).

- **Fiber to the Building (FTTB):** Die Glasfaser wird bis ins Gebäude geführt und dort z.B. im Hauskeller auf einem VDSL-Mini-DSLAM termi-

Bild 2: Bei P2P-Ethernet wird jeder Teilnehmer über eine eigene (dedizierte) Glasfaser mit dem nächsten Netzknoten verbunden. Für die Übertragung der Dienste kommen Standard-Ethernet-Komponenten zum Einsatz, was die Systemtechnik günstiger macht



nieren. Die Wohnungen werden dann über die vorhandene Kupferverkabelung angeschlossen. Alternativ sind auch Lösungen im Einsatz, bei der die hausinterne Koaxialkabelinfrastruktur als Zugang vom „Keller“ zum Teilnehmer genutzt wird.

- **Fiber to the Home (FTTH):** Die Glasfaser wird direkt bis in die Wohnung geführt. Auch die Verkabelung im Gebäude erfolgt durch Glasfasern.

P2P-Ethernet

Bei P2P-Ethernet-Netzen erhält jeder Teilnehmer eine eigene Glasfaser. Auch hier werden i.d.R. keine aktiven Komponenten in Multifunktionsgehäusen am Straßenrand installiert. Auch weit entfernte, zersiedelte Gebiete können erschlossen werden, indem die optischen SFPs (Small Form Factor Pluggable) je nach Entfernung zu den Teilnehmern ausgewählt werden. Durch die separate Glasfaserführung entstehen allerdings höhere Kosten für deren Verlegung. Zu den besonderen Vorteilen von P2P-Ethernet zählt die wesentlich höhere Flexibilität bei der eingesetzten Technik und der Bandbreite. Bei P2P-Ethernet werden von einem zentralen OLT aus über einen aktiven Verteilpunkt (Ethernet-Switch) Glasfasern mit hoher Bandbreite (von 100 Mbit/s bis 10 Gbit/s) eingesetzt. Die Bandbreite ist durch den direkten Zugang zum Teilnehmer praktisch unbegrenzt skalierbar. Einzelne Anwender wie Geschäftskun-

den können deshalb gezielt ausgerüstet werden (Bild 2).

Nachteilig ist, dass die Integration von Kabel-TV nicht spezifiziert ist. Eine Versorgung erfolgt in diesen Netzen meist über eine separate Faser. Der

Trend geht allerdings zum Einsatz von IPTV, da hier Ethernet-Lösungen einen technischen Vorteil haben. Auch die symmetrischen Bandbreiten einer P2P-Lösung kommen dem steigenden Bandbreitenbedarf und den Applikationen wie einer ausgelagerten Datensicherung, Austausch von Bildern und selbst erzeugten Videos sehr entgegen.

Ethernet-P2P-Systeme verwenden nach IEEE standardisierte Übertragungsschnittstellen. Geräte unterschiedlicher Hersteller können gegeneinander ausgetauscht werden.

Capex und Opex

Bei einem Kostenvergleich zwischen GPON und P2P-Ethernet zeigen sich deutliche Unterschiede bei den Investitionskosten für die reine Glasfaserinfrastruktur (Capital Expenses – Capex), den Kosten für die Systemtechnik und den laufenden Betriebsausgaben (Operational Expenses – Opex), siehe Tabelle auf Seite 38. Durch die Mehrfachausnutzung von Glasfaseradern ist GPON beim Aufbau der Infrastruktur günstiger als eine P2P-Infrastruktur. Die Verwendung von Standard-Ethernet-Technik macht die P2P-Technik bei der Systemtechnik dagegen preiswerter und flexibler. Der letztlich entscheidende Unterschied zeigt sich jedoch in den geringeren Betriebskosten bei P2P. Nach vorliegenden Analysen werden die höheren Investitionskosten bereits nach wenigen Jahren

durch die geringeren Betriebskosten ausgeglichen.

Komplette Lösungen, aktiv und passiv

Ein großer Kostenanteil eines FTTH-Netzes entfällt auf Montage und Installation der Glasfaserinfrastruktur. Die technischen Fortschritte bei den LWL-Verbindungstechniken der letzten Jahre werden bei den Kostenbetrachtungen allerdings häufig übersehen. Deshalb sollen die wichtigsten Komponenten hier erwähnt werden:

Mechanische Spleiße

Für die Verbindung zweier optischer

Kabel an Standorten mit vielen Faserverbindungen (z.B. Muffen, große Verteiler usw.) mussten für den verwendeten Thermofusionsspleiß bisher hohe Anforderungen erfüllt werden – eine extrem reine Umgebung, hochqualifizierte Fachkräfte und teure Spezialausrüstung. Da bei der Installation in Wohnungen und Häusern in der Regel nur wenige Spleiße erforderlich sind, hat die Entwicklung eines mechanischen Spleißes bei nahezu gleichen optischen Ergebnissen deutliche Kostenvorteile gebracht. Die Verbindungskosten für FTTH-Installationen werden nach den Erfahrungen des Herstellers 3M damit um bis zu 50 % gesenkt.

Mechanische Steckerkonfektionierung

Für den Teilnehmeranschluss kommen bisher zwei unterschiedliche Verfahren zum Einsatz: Anspießen eines vorgefertigten Pigtails (konfektionierter Stecker mit einem Faserabschnitt) oder Steckerdirektkonfektionierung. Die Vorteile beider Verfahren werden, ähnlich wie beim mechanischen Spleißen, durch ein neues Verfahren genutzt und im Aufwand verringert. Im Steckergehäuse wird bereits mit einem Stück Single-Mode-Glasfaser vor-konfektioniert. Die empfindliche und aufwendig herzustellende Stirnfläche des Steckers ist bereits fertig poliert und gegen Verschmutzung mit einer Staubschutzkappe versehen. Die, wie beim mechanischen Spleiß, präzise geschnittene Faser wird nun mit einem einfachen Hilfsmittel in den Stecker geführt und durch eine mechanische Fixierung mit dem Stecker mittels eines einfachen Werkzeugs verbunden. Die optischen Eigenschaften sind vergleichbar zu direkt konfektionierten Steckern.

Optische Anschlussdose für den Hausanschluss

Um in der Zukunft Faserengpässe zu vermeiden, wird die LWL-Infrastruktur in der Regel als Punkt-zu-Punkt-Architektur aufgebaut. Dabei wird ein möglichst standardisierter und kostengünstiger Abschluss beim Teilnehmer angestrebt, um die Gesamtinvestitionen des Netzausbaus zu reduzieren. Beim Teilnehmer wird deshalb eine variable optische Anschlussdose (Indoor Distribution Box) installiert, die durch den Einsatz unterschiedlicher Kassetten zur Strukturierung der Glasfasern und Spleiße den individuellen Anschlussbedürfnissen angepasst werden kann. Bei einer Technologieänderung der aktiven Komponenten z.B. von GPON auf Active Ethernet kann die LWL-Infrastruktur unverändert bestehen bleiben.

Zentralseitige Verteiler für optische Verbindungen

Eine wesentliche Komponente im Aufbau eines FTTH-Netzes ist der zentralseitige Verteiler für optische Verbindungen (RFO). Beim RFO-System

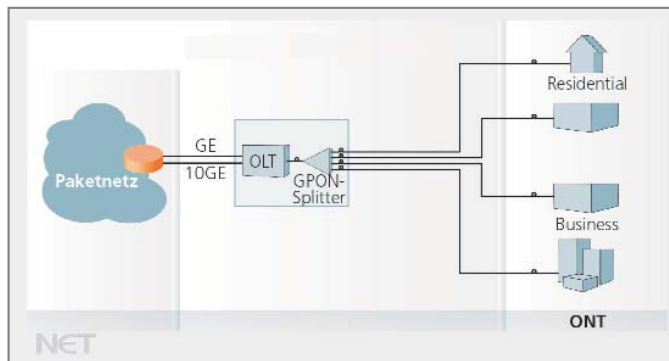
	GPON	+/-	P2P-Ethernet	+/-
Bandbreite	2,5/1,25 Gbit gesplittet auf bis zu 64 User	++	garantierte Bandbreite bis zu 100 %, je nach Backplane des CO	+++
Bandbreite pro User (garantiert)	typisch im Downstream ca. 50-80 Mbit/s, Upstream ca. 20-40 Mbit/s (je nach Splitting)	++	skalierbar bis 100 Mbit/s/1GE/10GE, asymmetrische und symmetrische Bandbreiten möglich	+++
Single Point of Failure (ein LWL ist defekt)	bis zu 64/128 ONT nicht erreichbar	-	ein Teilnehmer nicht erreichbar	++
Kabelstörung am Hauptkabel (1.000 Teilnehmer)	Kabel mit ca. 10-20 Fasern defekt (bei P2P-Faserstruktur 1.000 Fasern defekt)	+ (-)	Kabel mit 1.000 Fasern defekt	--
Entstörungszeit bei Kabeldefekten	schnelle Entstörung durch geringere Anzahl Fasern (bei P2P-Faserstruktur kein Vorteil)	+ (-)	aufwendigere Entstörung durch große Anzahl von Fasern	--
Kabelmanagement	geringere Aufwendung durch geringere Anzahl von Fasern (bei P2P-Faserstruktur kein Vorteil)	++ (-)	höhere Aufwendungen durch größere Anzahl von Fasern	-
Aufwendung aktive Technik für 1.000 Teilnehmer	ein OLT (MSAN Shelf) (ein ETSI-Schrank zu ca. 50 % belegt)	++	ein ETSI-Schrank (ca. 50 % belegt)	++
Energiebedarf am CO (bei hoher Auslastung)	gering	+	gering/mittel	o
aktive Komponenten im Outdoor-Bereich	nein	++	nein	++
Carrier Class Equipment CO	in der Regel gegeben, da Erweiterung von etablierten DSLAM-/MSAN-Systemen	++	bei diskreten optischen Switches bedingt gegeben, bei DSLAM-Systemen gegeben	+ / ++
Teilnehmereinrichtung/-verwaltung/-fehlersuche	einfache Erweiterung von DSL-Systemen	++	etwas höherer einmaliger Aufwand (Konzepterstellung); bei DSLAM-Systemen einfacher	+ / ++
Servicelevel	flexibel, einfache Realisierung von individuellen SLAs; Einschränkungen (hoher Portpreis, durch geringeres Splitting) bei hochwertigen SLAs	+	etwas höherer einmaliger Einrichtungs-aufwand (Konzepterstellung)	o
Integration von Kabel-TV über separate Wellenlänge (RF Overlay)	im Standard enthalten, in ONTs optional integriert	++	nicht spezifiziert, über separate Faser oder WDM relativ aufwendig möglich	o
Nutzung für IPTV/ Video on Demand (VoD)	IPTV über Multicast Stream möglich, VoD in HD nur bedingt empfehlenswert (individuelle Datenstreams können zu Engpässen führen (Shared Medium))	+ / o	IPTV über Multicast Stream möglich, VoD in HD durch höhere Port-Bandbreite möglich	+ / +
Managementsystem inkl. CPE-Überwachung	systemspezifisches Management vorhanden	++	in der Regel einfache Integration über SNMP möglich	+
3rd Party CPE Integration	eingeschränkte Integration nicht oder nur mit Herstellerunterstützung möglich	-	Ethernet-Standard ist standardisiert, 3rd-Party-CPE-Anschaltung ohne Probleme möglich	++
Kosten für Pilotprojekt mit wenigen Teilnehmern	hoch, da Shelf-, Trunk- und GPON-Karten für große Teilnehmerzahlen (>250-2000 pro Standort) optimiert sind	-	niedrig, durch skalierten Aufbau auch für kleine Teilnehmerzahlen wirtschaftlich möglich	+

FTTH-Lösungen: GPON oder P2P-Ethernet (CO – Central Office)

werden an Aluminium-Basisstangen modulare RFO-Gehäuse mit Anschaltpunkten für 96 Fasern montiert. Hieraus ergeben sich bei einer Höhe von 2 m bis zu 576 Anschaltpunkte (Fasern). Neben Spleißverbindern können auch passive Splitter in dem Sys-

GPONs mit Leistungsmerkmalen wie der einfachen Betriebsführung eines passiven Außennetzes sowie robusten OAMP-Funktionen (Operations, Administration, Maintenance, Provisioning) von Vorteil sein. Auch die im Standard bereits vorgesehene Über-

Bild 3: Da die reinen Materialkosten für die Glasfaser die Gesamtkosten nicht wesentlich beeinflussen, entscheiden sich viele Netzbetreiber für die Verlegung eines Glasfaserkabels mit mehr Fasern. In der Praxis werden deshalb GPON- und P2P-Netze in der Regel sternförmig aufgebaut – also in P2P



tem abgelegt werden. Ein Aufbau von Schränken für die passive Infrastruktur entfällt bei dieser Lösung und reduziert somit die Kosten.

Lösungen mit Muffen und KVz als Unterverteiler

Beim Aufbau neuer Glasfaserzugangsnetze wird häufig aus bautechnischen und wirtschaftlichen Gründen der Einsatz von untererdig verlegten Muffen und KVz-Lösungen benötigt. Eine Neuentwicklung basiert auf der Verwendung von unterschiedlichen Kunststoffkassetten, die eine sichere Aufnahme bzw. Ablage von thermischen und mechanischen Spleißen sowie optischen Splittlern gewährleisten. Die Besonderheit liegt in der Zeitersparnis bei der Handhabung (schnelleres Öffnen und Wiederverschließen).

Fazit: GPON und P2P-Ethernet

3M Services empfiehlt je nach geplantem Geschäftsmodell und anvisierten Teilnehmeranschlusszahlen unterschiedliche schlüsselfertige Lösungen. Bei einem Schwerpunkt im Geschäftskundenumfeld ist P2P-Ethernet in der Regel die favorisierte Lösung. Durch zugesicherte Bandbreiten von 100 Mbit/s bis hin zu 1 Gbit/s und mehr sind Kundenwünsche mit individuellen SLAs (Service Level Agreements) gut umsetzbar. Im Privatkundensegment kann die Realisierung über

tragung von Fernsehsignalen über eine separate Wellenlänge auf derselben Glasfaser kommt vielen Carriern sehr entgegen.

Die prinzipbedingten Einschränkungen des „Shared Mediums“, wie sie bereits bei den Kabel-TV-Netzen mit Docsis 2.0 und 3.0 deutlich spürbar werden, sind im GPON ebenfalls vorhanden. Durch die Bandbreite von bis zu 2,5 Gbit/s im Downstream eines GPON-Ports und der im Managementsystem des OLT einstellbaren SLAs steht jedoch für die nächsten Jahre ausreichend Performance für „bandbreitenhungrige“ Applikationen zur Verfügung.

Dennoch werden immer mehr FTTx-Netze für das Privatkundensegment mit P2P-Ethernet geplant. Um in der Zukunft nicht auf infrastrukturbedingte Engpässe zu stoßen, werden sowohl GPON- als auch P2P-Netze in der Regel sternförmig – also in P2P – aufgebaut (Bild 3). Viele Vorteile des GPON kommen somit nicht zum Tragen, und auch die Kosten für die Infrastruktur sind auf gleichem Niveau. Die größten Vorteile bei P2P sind die fortgeschrittene Standardisierung und die damit in der Regel problemloser einsetzbaren CPEs und IADs unterschiedlicher Hersteller. Wenn es um die Integration in ein Management- und die Einbindung in ein Provisioning-System geht, liegen bei dem Systemintegrator 3M Services bereits entsprechende Erfahrungen vor. (bk)