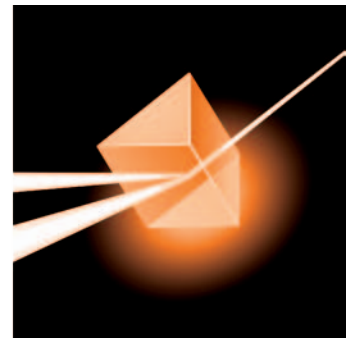


White Paper



Ethernet-Punkt-zu-Punkt vs. PON –
Eine Gegenüberstellung zweier optischer Zugangstechnologien und deren unterschiedliche Auswirkungen im Betrieb

Inhalt

Vorwort	4
1. Grundlagen	4
1.1. PON-Systeme	4
1.2. Ethernet-Punkt-zu-Punkt (PtP) Systeme	5
2. Eignung von Ethernet-PtP und PON in verschiedenen Anwendungsszenarien	5
2.1. Infrastrukturvergleich: Punkt-zu-Mehrpunkt (PtMP) vs. Punkt-zu-Punkt (PtP)	5
2.2. Netztopologien mit PON und PtP	6
2.3. Fibre-to-the-Home (FTTH)	6
2.4. Fibre-to-the-Building (FTTB)	6
2.5. Eignung für Geschäftskunden	8
3. Gegenüberstellung der Technologien PtP vs. PON	8
3.1. Technische Aspekte	8
3.2. Bandbreitenbetrachtung	8
3.3. Bandbreite mit GPON	9
3.4. Bandbreite mit Ethernet-PtP	9
3.5. Standardkonformität	9
3.6. Ausfallsicherheit, Fehlerbeseitigung	9
3.7. Ausbaufähigkeit, Flexibilität	10
3.8. Kabel-TV-Übertragung	10

3.9. Zusammenfassung des technischen Vergleichs	11
4. Wirtschaftliche Aspekte	12
4.1. Business-Case-Aspekte	12
4.2. Kostentreiber bei der Verlegung einer Glasfaser-Infrastruktur	13
4.3. Infrastrukturkosten von Ethernet-PtP und PON im Vergleich	13
4.4. Equipmentkosten von Ethernet-PtP und PON im Vergleich	13
4.4.1 Zentralseite	13
4.4.2 Splitter	13
4.4.3 Endgeräte	13
4.5. Anfangsinvestitionen von Ethernet-PtP und PON im Vergleich	14
4.6. Kosten für Gebäude und Flexibilisierungspunkte (Aggregationsknoten)	15
4.7. Zusammenfassung des wirtschaft-lichen Vergleichs	16
4.8. Betriebskosten im Vergleich	17
4.8.1 Energiebedarf	17
4.8.2 Wartungsintensität	17
4.8.3 Komplexität und Anforderungen an das Bedienpersonal	17
4.8.4 Fehlersuche und -beseitigung	18
4.9. Zusammenfassung des Betriebskostenvergleichs	18
5. Zusammenfassung	18
6. Glossar	19

Vorwort

Nachdem die TK-Industrie seit mehr als 10 Jahren sowohl mit aktiven als auch mit passiven optischen Netzen Erfahrungen gesammelt hat, gibt es mindestens genau so lange Diskussionen über deren Vor- und Nachteile. Grundsätzlich können sowohl mit Passiven Optischen Netzen (PON) als auch mit Ethernet-Punkt-zu-Punkt- (PtP) Glasfasernetzen optische Anschlüsse bis in die Haushalte (Fibre-to-the-Home [FTTH]) realisiert werden. Es war Mitte der Neunziger Jahre, als die ersten größeren PON-Installationen in Japan in Betrieb gingen. In vielen anderen Teilen der Welt war die Zeit für FTTH-Konzepte noch lange nicht reif: Das Internet steckte noch in den Kinderschuhen, attraktive Online-Angebote für den Privatkunden waren fast nicht vorhanden und die Technologie war ohnehin viel zu teuer. Daher war der Bedarf nach hohen Bandbreiten (d. h. mehr als z. B. mit ISDN zu dieser Zeit realisierbar war) bei der großen Mehrheit der Endkunden bis zur Jahrtausendwende noch nicht entwickelt.

Die anschließende Bandbreitenexplosion, getrieben von der Verfügbarkeit breitbandiger

DSL-Anschlüsse über die herkömmliche Telefonleitung, hat das Internet und andere darauf basierende Dienste zu einer einzigartigen Erfolgsgeschichte werden lassen. Heute sind Service-Provider gut beraten, aufgrund neuer Dienste wie z. B. hochauflösendem IPTV, Online-Programmen (Web-Applikationen) und Datenspeicherung im Netz nach noch leistungsfähigeren Zugangsnetzlösungen für die Zeit nach DSL zu suchen. Wegen der physikalischen Beschaffenheit des Kupferkabels auf der Letzten Meile stößt man heute mit VDSL2 jedoch an die Grenzen des mit den bestehenden Anschlussleitungen technisch Machbaren. Dies gilt, obwohl bereits mit DSM (Dynamic Spectrum Management) eine ergänzende Technologie entwickelt wird, die eine weitere Erhöhung der Übertragungskapazität auf Kupfer ermöglicht. Funklösungen wie WiMAX oder LTE im Mobilfunk stoßen aufgrund der im Vergleich zu Kupfer noch begrenzteren Übertragungskapazitäten noch schneller an ihre Grenzen. Die Lösung für – aus heutiger Sicht – unbegrenzte Bandbreiten liefert daher nur der Lichtwellenleiter.

1. Grundlagen

Das Ziel der PON sowie der Ethernet-Punkt-zu-Punkt Technologie ist es, die Glasfaser so nahe wie möglich, idealerweise bis in die Häuser und Wohnungen der Teilnehmer zu bringen. Dieser FTTH/FTTB-Ansatz ist bezüglich Übertragungsqualität und Bandbreite die technisch nachhaltigste Option.

Der wesentliche technische Unterschied zwischen aktiver und passiver Zugangstechnologie liegt in der Nutzung eines passiven Splitters für passive optische Netze, der netzseitig die gleichzeitige Nutzung einer einzigen Laserquelle von mehreren Teilnehmern ermöglicht. Der Splitter verteilt dieses optische Signal auf n Glasfaserstrecken bzw. Teilnehmeranschlüsse. Der optische Netzabschluss (ONT) filtert dann den für den jeweiligen Teilnehmer bestimmten Anteil aus dem Gesamtsignal heraus. In Gegenrichtung sendet der ONT in sogenannten Zeitschlitz (TDM-Verfahren), damit auf dem OLT das Signal

eindeutig dem jeweiligen Teilnehmer zugeordnet werden kann.

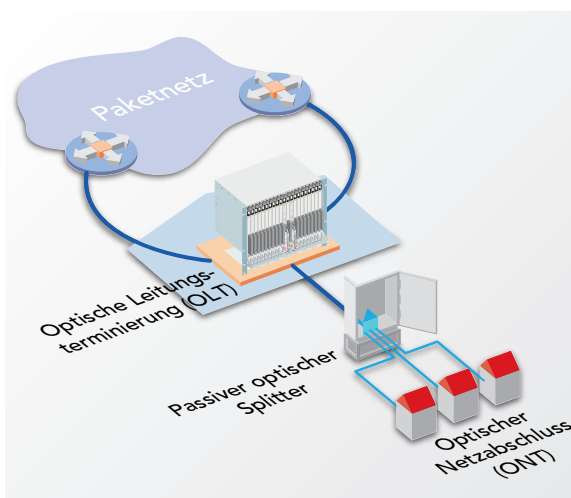
Bei Ethernet-Punkt-zu-Punkt Systemen entfällt die Verteilung des Signals mittels eines Splitters und es besteht eine dedizierte Glasfaserstrecke zwischen Netzabschluss beim Teilnehmer (CPE) und Zentralseite (optischer Multiplexer).

1.1. PON-Systeme

Vom Kernnetz aus betrachtet ist das erste Netzelement eines PON-Netzes der OLT (Optical Line Termination), der in Richtung Kernnetz $n \times 1 \text{ Gbit/s}$ bzw. $n \times 10 \text{ Gbit/s}$ Ethernet-Schnittstellen und in Richtung Teilnehmer die sog. PON-Schnittstellen zur Verfügung stellt. Die hier zum Einsatz kommenden PON-Varianten sind heute in der Regel Ethernet-PON (EPON), Gigabit-PON (GPON), zukünftig 10 Gigabit-Ethernet-PON (10GEPON) oder Wellenmultiplex PON (WDM-PON). EPON-

Installationen findet man zum heutigen Zeitpunkt eher in Fernost, GPON eher in USA und Europa, daher wird im Folgenden die GPON-Variante (ITU-Standard G.984) betrachtet.

Der Teilnehmerzugang wird über einen optischen Netzabschluss (ONT) realisiert, der das optische Signal terminiert und auf eine oder mehrere elektrische Schnittstellen wie z. B. 100BaseTx, POTS oder ISDN umsetzt. Trotz der bestehenden GPON-Standardisierung ist die ONT immer noch sehr häufig systemspezifisch, d. h. ONTs anderer Hersteller können nicht, oder nur mit eingeschränktem Leistungsumfang, eingesetzt werden.

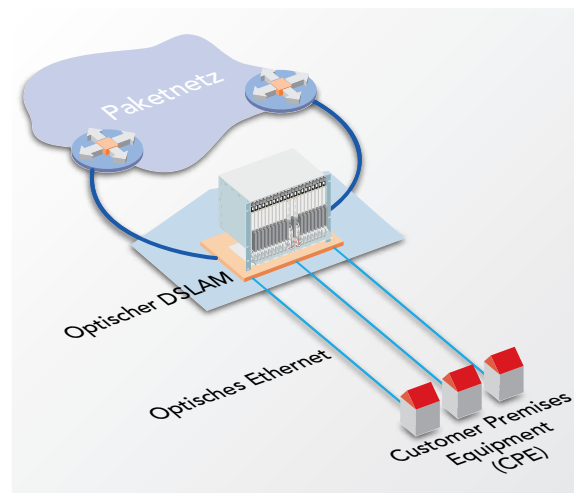


Grafik 1: Teilnehmeranschluss in einem PON

1.2. Ethernet-Punkt-zu-Punkt (PtP) Systeme

Ethernet-Punkt-zu-Punkt Systeme werden heute schon häufig im Transportbereich von Telekommunikationsnetzen eingesetzt (Metro-Ethernet-Switches, IP-Edge-Router). Neu ist es, dass die optische Ethernet-Technologie nun auch für

den direkten Teilnehmeranschluss über Glasfaser wirtschaftlich eingesetzt werden kann.



Grafik 2: Teilnehmeranschluss mit Ethernet-PtP

Bisher wurden in Einzelfällen bestehende Systeme aus der IT-Welt einfach „umfunktioniert“, was aber zu einem unwirtschaftlichen Preis/Leistungs-Verhältnis geführt hat.

Die inzwischen verfügbaren FTTx-Systeme, die sehr hohe Glasfaserportdichten mit geringem Leistungsverbrauch aufweisen und speziell für die FTTH/FTTB-Anwendung benötigte Funktionen bereitstellen, sind im Gegensatz zu bisherigen Systemen kostenoptimiert und speziell für den rauen Einsatz in öffentlichen Netzen konzipiert. Ethernet-PtP-Systeme verwenden Standard Ethernet-Technologie für die Übertragung der Dienste zum Endteilnehmer. Damit können beim Teilnehmer allgemein am Markt verfügbare Komponenten als CPE (Customer Premises Equipment) verwendet werden, wie z. B. Switches und Router mit optischen Schnittstellen.

2. Eignung von Ethernet-PtP und PON in verschiedenen Anwendungsszenarien

2.1. Infrastrukturvergleich: Punkt-zu-Mehrpunkt (PtMP) vs. Punkt-zu-Punkt (PtP)

Unabhängig von der Betrachtung der derzeit verfügbaren aktiven Komponenten geht es bei der Verlegung von neuer Infrastruktur darum, die zweifellos sehr großen Investitionen durch

den Betrieb über viele Jahre zu refinanzieren. Die neue Infrastruktur sollte mindestens eine Lebensdauer von mehr als 25 Jahren aufweisen (vgl. Kupferkabel >50 Jahre), um eine nachhaltige Wertschöpfung zu erzielen. Berücksichtigt man weiterhin, dass die wesentlichen Kosten für die Verlegung einer neuen Infrastruktur in Europa nicht für die verwendeten Materialien,

sondern für die Arbeits- und Erstellungskosten für Trassen (ca. 80%), Hauszuführungen usw. anfallen, ist die Entscheidung für eine möglichst nachhaltige Infrastruktur bei der Installation eines neuen FTTx-Netzes fast schon zwingend.

Es drängt sich der Vergleich zur Installation in Bürogebäuden in den 90er-Jahren auf. Damals wurden die Bürogebäude nach und nach mit einer Datenkabelinfrastruktur (Ethernet) ausgerüstet, jedoch anfangs mit nur einem Kabel, dessen Bandbreite sich alle Nutzer teilten (Aussage: die Bandbreite reicht ewig!). Nach nun mittlerweile 20 Jahren gibt es kein Gebäude mehr mit einer sogenannten „Shared-Medium“-Verkabelung (Punkt-zu-Mehrpunkt). Die unvorhersehbar gestiegenen Bandbreitenanforderungen an ein Büro-Netz machten zwingend eine Punkt-zu-Punkt-Verkabelung notwendig.

Auch heute wird im Zusammenhang mit Glasfasernetzen wieder über den Bandbreitenbedarf in 10–20 Jahren diskutiert, mit wahrscheinlich der gleichen Trefferquote. Auch heute stehen eine Punkt-zu-Punkt- und eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Topologie zur Auswahl.

Transportiert man die Erfahrungen aus der Bürogebäudeinstallation auf Glasfaserinfrastrukturen in FTTB- und FTTH-Anwendungen, spricht einiges für die PtP-Struktur mit einer dedizierten Glasfaser für jeden Kunden, zumindest wenn es um die Nachhaltigkeit der Investitionen geht. Bei Ausbauten des öffentlichen Netzes ist dieser Aspekt sogar noch viel wichtiger, da Änderungen der Flächennetzstruktur in bebautem Gebiet mit wesentlich höheren Kosten verbunden sind als Bürogebäudeinstallationen.

2.2. Netztopologien mit PON und PtP

Grundsätzlich lassen sich sowohl mit PON- als auch mit Ethernet-PtP-Netztopologien wie Fibre-to-the-Curb (FTTC), Fibre-to-the-Building (FTTB) und Fibre-to-the-Home (FTTH) realisieren. Im Folgenden werden die Topologien FTTH und FTTB betrachtet, da nur mit diesen wirklich zukunftsichere Bandbreiten realisierbar sind.

Betrachtet man den Netzausbau in der Praxis, werden in den meisten Gebieten sowohl FTTH- als auch FTTB-Strukturen zum Einsatz kommen. Für Ein- und Zweifamilienhäuser kommt eher FTTH in Frage, während es bei

Mehrfamilienhäusern aus wirtschaftlichen Gründen einfacher ist, den Glasfasernetzabschluss im Technikraum des Hauses zu terminieren und dann die vorhandene Hausverkabelung für die Teilnehmeranschlüsse zu nutzen (FTTB).

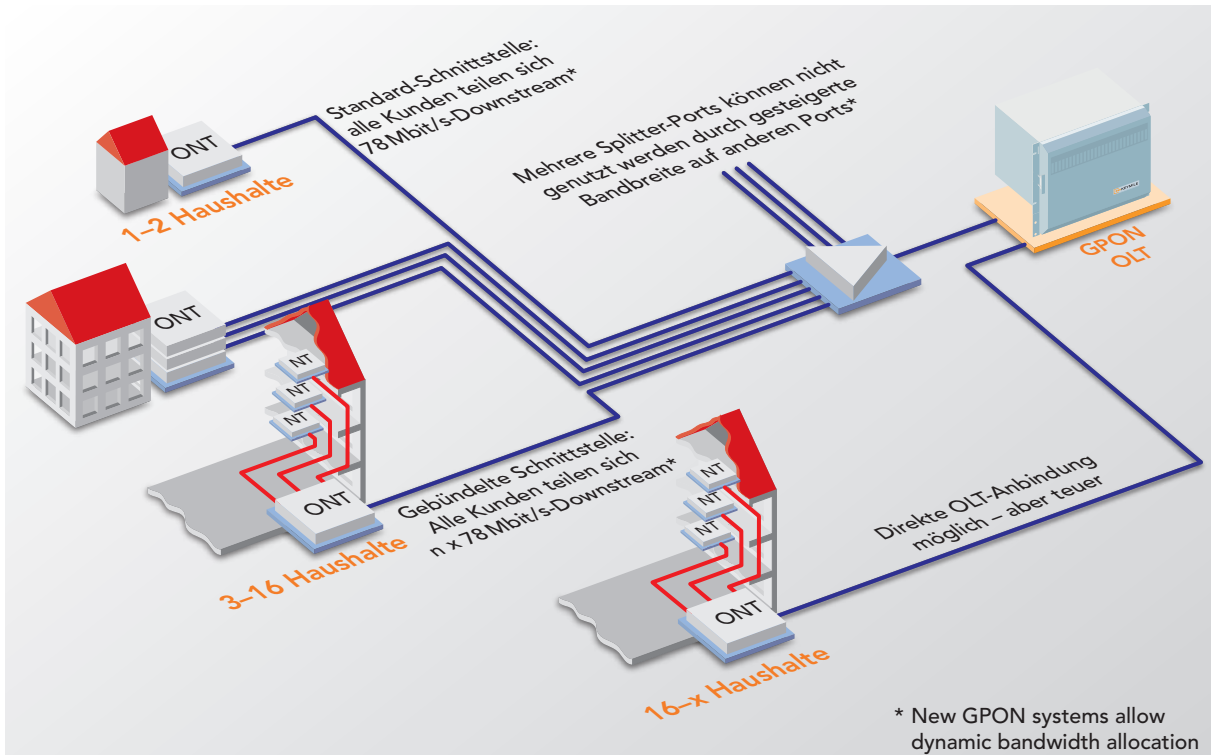
2.3. Fibre-to-the-Home (FTTH)

Mit FTTH bezeichnet man Glasfasernetze, bei denen die Glasfaser bis in die Wohnung des Teilnehmers geführt wird – d. h. jeder Kunde erhält einen Glasfaseranschluss in seiner Wohnung. Der ONT bei GPON oder das optische CPE bei Ethernet-PtP wird hier von nur einem Teilnehmer genutzt.

Sowohl GPON- als auch Ethernet-PtP-Systeme bieten für diese Topologie geeignetes Equipment an. Wählt der Netzbetreiber bei GPON einen 32-fach-Splitter, so erhält der Kunde 78 Mbit/s Bandbreite Downstream während Ethernet-PtP-Anschlüsse bei 100 Mbit/s beginnen.

2.4. Fibre-to-the-Building (FTTB)

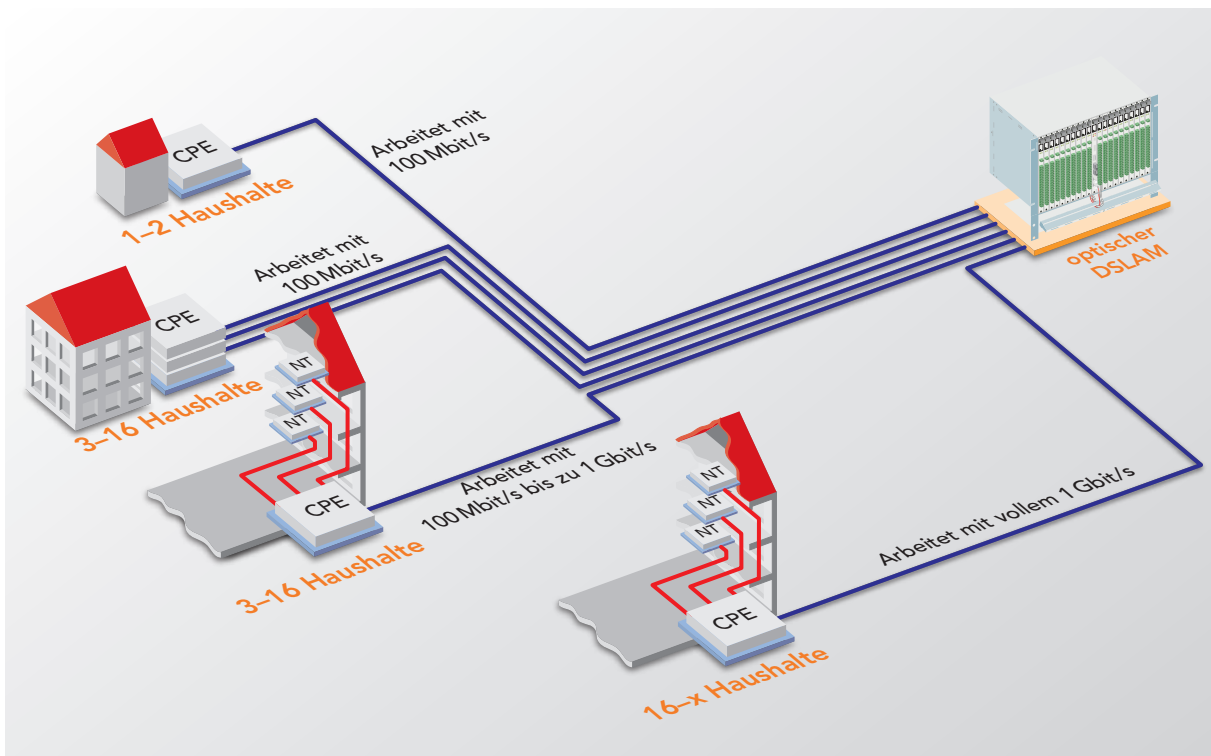
Mit FTTB bezeichnet man Glasfasertopologien, bei denen die Glasfaser im Technikraum (z. B. Keller) des Hauses endet und dieser Anschluss von mehreren Kunden genutzt wird. Das bedeutet in Bezug auf die verfügbare Bandbreite, dass die am optischen Abschluss bereitgestellte Bandbreite sich nochmals auf die Anzahl der angeschlossenen Nutzer aufteilt. Möchte der Netzbetreiber mindestens 50 Mbit/s pro Kunden anbieten, reicht in einem GPON-System ein Anschluss an einen 32-Port-Splitter schon bei zwei Teilnehmern nicht mehr aus oder aber bedeutet bereits an diesem Punkt eine Überbuchung in Bezug auf die nominell bereitgestellte Bandbreite. Der Netzbetreiber muss also mehrere Glasfasern benutzen, Splitter mit geringerem Splitting-Faktor einsetzen oder bei gleichbleibendem Splitting-Faktor Ports am Splitter unbenutzt lassen um mehr Bandbreite in ein Mehrfamilienhaus zu liefern. Da es nun aber die Anzahl von Wohneinheiten bei Mehrfamilienhäusern in einem großen Bereich (von 2 bis mehr als 20) variiert, ist beim Einsatz von GPON-Systemen eine sorgfältige Planung von verschiedenen Splitter-Typen und ONTs notwendig, die der Netzbetreiber bei Änderungen des Kundenverhaltens (Bandbreite, Dienstewechsel ...) ggf. austauschen muss (siehe Grafik 3 auf Seite 7).



Grafik 3: Fibre-to-the-Building in PON-Netzen

Ethernet-PtP-Systeme bieten in der FTTB-Struktur erheblich bessere Skalierbarkeit. So können bis zu 20 Haushalte ohne Überbuchung mit 50 Mbit/s versorgt werden, indem die physikali-

sche Bandbreite auf 1000 Mbit/s erhöht wird und ein dementsprechendes optische CPE eingesetzt wird (siehe Grafik 4 auf Seite 7).



Grafik 4: Fibre-to-the-Building in Ethernet-PtP-Netzen

2.5. Eignung für Geschäftskunden

Mit dem Verlegen einer neuen Glasfaserinfrastruktur müssen natürlich auch die Anforderungen von Geschäftskunden Berücksichtigung finden. Je nach Geschäftsgröße existieren unterschiedliche Bedürfnisse an Telekommunikationsdiensten. Während kleine und mittlere Unternehmen mit den Leistungsmerkmalen von GPON- und Ethernet-PtP-Systemen zur Zeit vollständig zufriedengestellt werden können, muss man bei Großunternehmen und solchen mit speziellen Anforderungen (z. B. an die Geheimhaltung bei Banken) genauer differenzieren. So wird eine Bank aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen nur schwer einem Anschluss an ein passives optisches Netz zustimmen, da es sich bei einem PON um ein sogenanntes Shared-Medium („geteiltes

Medium“) handelt und somit alle zur Bank gesendeten Daten auch an allen anderen Netzabschlüssen zur Verfügung stehen. Wie bei jedem Shared-Medium besteht auch hierbei die Gefahr, dass diese bei Hackerangriffen ausgewertet werden können (siehe Kapitel Sicherheitsaspekte). Für Großunternehmen mit der sehr hohen Anforderung nach Bandbreiten eignet sich die Ethernet-PtP-Technik aufgrund der höheren Flexibilität und der Bandbreitensymmetrie ebenso wesentlich besser. Netzbetreiber, die auf die PON-Technologie für den Standard-Teilnehmeranschluss setzen, sollten deshalb bei der Verlegung der Glasfaser auch entsprechende PtP-Anschlüsse – ggf. als parallele Infrastruktur - für Geschäftskunden vorsehen.

3. Gegenüberstellung der Technologien PtP vs. PON

3.1. Technische Aspekte

Im folgenden Kapitel findet eine Gegenüberstellung der verschiedenen Technologien anhand von mehreren Kriterien statt, die wichtig für die Installation und den Betrieb von Glasfasernetzen sind.

3.2. Bandbreitenbetrachtung

Der Trend hin zu immer mehr Bandbreite ist nach wie vor ungebrochen. Aufgrund der Einführung von „Fernsehen über IP“ (IPTV) ist ein Abflachen des Bandbreitenwachstums nicht in Sicht – im Gegenteil. Durch die jetzt erst startende Einführung von hochauflösendem Fernsehen (HDTV) sowie anderer technisch anspruchsvoller Dienste wie Online-Programme oder Datenspeicherung im Netz, stehen Netzbetreiber unter dem Druck, mit immer höheren Bandbreitenangeboten mithalten zu müssen.

Der Endkunde fordert bereits heute hochauflösendes Fernsehen (HDTV), da die Basisfunktionalität in den neuen Flachbildschirmen bereits implementiert ist. Auch die Anzahl von in DSL-Angeboten üblichen zwei simultanen TV-Kanälen bedeutet für eine vierköpfige Familie durchaus eine Einschränkung, die auf Dauer inakzeptabel sein wird. Des Weiteren werden heute bereits über ADSL 16 Mbit/s Internetzugänge an Privatkunden inklusive

mehrerer Telefonkanäle vermarktet. Auch die schon heute z. B. von Google bereitgestellten Web-Anwendungen wie Textverarbeitung und Tabellenkalkulation werden immer mehr angenommen. Diese erfordern für ein komfortables Arbeiten jedoch genügend Bandbreite. Auch die Video-Telefonie, zur Zeit noch in sehr geringer Auflösung, wird sich weiterentwickeln. Höhere Auflösungen und bessere Qualität werden schon bald gewünscht werden. Durch die genannten Anwendungen kommt man leicht auf Spitzenlasten von über 50 Mbit/s pro Teilnehmeranschluss. Hier wäre ein heute üblicher VDSL2-Zugang bereits überlastet.

Der soeben beschriebene Fall stellt den privaten Durchschnittsverbraucher der nahen Zukunft dar. Wem dies übertrieben erscheint, sollte sich ca. 10 Jahre zurückerinnern, als moderne Endkunden für den E-Mail-Abruf, Fax und Home-Banking noch 56 kbit/s-Dial-up-Modems verwendeten. Im Vergleich zu einem heute üblichen 4 Mbit/s ADSL-Anschluss bedeutet dies schließlich eine ca. 70-fache Bandbreitenerhöhung.

Es ist also davon auszugehen, dass in drei bis fünf Jahren 100 Mbit/s als Standarddatenrate nachgefragt wird und in 10 Jahren selbst 1000 Mbit/s für Power-User nicht ungewöhnlich sein wird – auch wenn dies heute noch visionär erscheint.

3.3. Bandbreite mit GPON

Aktuelle GPON-Systeme arbeiten mit einer Bandbreite von 2,5 Gbit/s in Richtung Teilnehmer (Downstream) und 1,25 Gbit/s in Richtung Kernnetz (Upstream) an einem OLT-Port. Das Signal auf der Glasfaser wird in Richtung Teilnehmer von einem passiven Splitter, der entweder in einem Außengehäuse, in einem Kollokationsraum oder beim Endteilnehmer platziert ist, in n optische Teilnehmerabzweigungen aufgeteilt. Bei heute üblichen Splitterfaktoren von 32 oder 64 kann dementsprechend eine individuelle Bandbreite laut Tabelle bereitgestellt werden.

Splitterfaktor	Downstream Bandbreite pro Teilnehmer	Upstream Bandbreite pro Teilnehmer
32-fach	78 Mbit/s	39 Mbit/s
64-fach	39 Mbit/s	19 Mbit/s

Da das optische Signal in Downstream Richtung ausschließlich passiv gesplittet wird, arbeiten die Endgeräte (ONTs) immer mit der vollen Datenrate von 2,5 Gbit/s. Möchte man nun die Bandbreite im OLT auf z. B. 10 Gbit/s erhöhen (10GEPON), müssen auch alle Endgeräte ausgetauscht werden, selbst wenn die Migration der Endteilnehmer zu neuen Diensten nur langsam erfolgt.

3.4. Bandbreite mit Ethernet-PtP

Ethernet-Punkt-zu-Punkt-Netze verwenden eine dedizierte Glasfaser zum Teilnehmer, dessen Bandbreite individuell geändert werden kann. Heute übliche sind physikalische Schnittstellenbandbreiten von 100 Mbit/s und 1000 Mbit/s symmetrisch (gleiche Downstream- und Upstream-Bandbreite), wobei die tatsächlich zur Verfügung gestellte Bandbreite natürlich auch per Software unterhalb der physikalischen Bandbreite kundenindividuell eingestellt werden kann. Möchte man die Bandbreite eines individuellen Kunden z. B. von 100 Mbit/s auf 1000 Mbit/s erhöhen, tauscht man das jeweilige Endgerät und die Schnittstelle auf der Zentralseite aus. Moderne Systeme besitzen bereits heute Gigabit-fähige Schnittstellen, die bei Bedarf mittels Software einfach von 100 Mbit/s auf 1000 Mbit/s umkonfiguriert werden. In beiden Fällen gilt, dass die Erhöhung der Bandbreite kundenindividuell, d. h. bedarfs- und umsatzgetrieben, und ohne Beeinflussung anderer Anschlüsse erfolgen kann.

3.5. Standardkonformität

Wesentliche Parameter von PON-Systemen sind durch Standards (vgl. ITU-G.984 für GPON) festgelegt. Bis heute ist es allerdings nicht gelungen, echte Austauschbarkeit von ONTs eines Herstellers zu OLT eines anderen Herstellers zu erreichen. Dies ist in Zukunft auch nicht zu erwarten, da durch das Punkt-zu-Mehrpunktverfahren komplizierte Algorithmen zwischen OLT und ONT abzustimmen sind und im Netzmanagement abgebildet werden müssen. In der Konsequenz bedeutet dies, dass bei PON-Systemen alle Komponenten OLT, ONT und Splitter von einem Hersteller geliefert werden müssen, um die bestmögliche Leistung zu erzielen.

Ethernet-PtP-Systeme dagegen verwenden die schon seit Jahren nach IEEE standardisierten Übertragungsschnittstellen, deren Kompatibilität zwischen Herstellern längst nicht mehr diskutiert wird und die bereits vielfach im Metro- und Kernnetz eingesetzt werden. Damit ist auch langfristig die Austauschbarkeit von Endgeräten und Zentralseite gegeben. Besonders bei den optischen Gigabit-Schnittstellen zeichnet sich derzeit ab, dass diese zum Standard auch in der IT-Technik werden und damit getrieben durch immense Stückzahlen ein wesentlicher Preisverfall zu erwarten ist.

3.6. Ausfallsicherheit, Fehlerbeseitigung

Vergleicht man die verschiedenen Technologien in Bezug auf die einfache Handhabung im Betrieb, ergeben sich auch in diesem Bereich signifikante Unterschiede. Während bei Ethernet-PtP-Systemen die Arbeitsabläufe der Fehlerlokalisierung und Fehlerbeseitigung seit Jahren erprobt sind, weil diese heute schon für Geschäftskunden und für Transportdienste eingesetzt werden, müssen bei PON-Systemen durch das „Shared Medium“ der Punkt-zu-Multipunktstruktur komplizierte Netzstrukturen gewartet werden. Beispielsweise bei einer Reflexionsmessung in einem PON-Baum erhält man nicht nur die Signale des Netzabschlusses, der Stoßstellen (Splices) und der Stecker einer Glasfaserstrecke, sondern die Reflexionssignale von bis zu 64 ONTs, $n \times 64$ Spleißen, $n \times 64$ Steckern und des Splitters, die eine rasche Auswertung und Fehlerlokalisierung erheblich erschweren und ggf. auch Außeneinsätze erforderlich machen.

Weiterhin kann ein defekter (oder auch ein absichtlich manipulierter) Netzabschluss in einem PON-Baum den gesamten Datenverkehr verhindern, wenn z.B. Dauerlicht in die Glasfaser eingespeist wird. Damit können die Signale der übrigen an diesen Baum angeschlossenen Teilnehmer nicht mehr identifiziert werden. Dies hat zur Folge, dass der gesamte PON-Baum gestört ist. Die Lokalisierung eines solchen Fehlers bedeutet, dass ggf. alle ONTs vor Ort überprüft werden müssen, um den Störer zu entdecken. Da in vielen Ländern der ONT in den Kellern der Häuser installiert wird, kann sich der Zugang zur Glasfaser für den Servicetechniker durchaus schwierig gestalten.

3.7. Ausbaufähigkeit, Flexibilität

Betrachtet man die Kriterien Ausbaufähigkeit und Flexibilität der Lösungen erkennt man bei PON-Systemen, dass durch das vorgegebene Netzkonzept aufgrund der passiven Splitter Einschränkungen bezüglich der Flexibilität entstehen. Hat sich der Netzbetreiber erst einmal für einen Splitterfaktor und die Auswahl der ONTs entschieden, gibt es für den Fall eines Upgrades der Bandbreite folgende Möglichkeiten:

- Ein Teilnehmer erhält mehr Bandbreite:
 - Erhöhung der Bandbreite per Konfiguration eines Teilnehmers auf Kosten der Bandbreite anderer Teilnehmer plus eventuell Tausch des ONTs.
 - Verdoppelung der Bandbreite eines Teilnehmers bei gleichbleibender Bandbreite der anderen Teilnehmer > ein Port am Splitter kann nicht mehr genutzt werden plus eventuell Tausch des ONTs.
- Mehrere Teilnehmer erhalten mehr Bandbreite
 - Splitter kann nicht mehr genutzt werden plus eventuell Tausch des ONTs.
 - Austausch des Splitters durch zwei Splitter mit geringerem Splittingfaktor + Tausch der ONTs.

- Upgrade des OLTs auf höhere Bandbreite (z. B. 10GEPON) + Austausch aller ONTs im PON-Segment, eventuell auch Splittertausch.
- Überlagerung des ursprünglichen PONs durch zusätzliche PONs unter Einführung des Wellenlängenmultiplexens. Dies hat ggf. den Austausch der verwendeten Splitter und die Nutzung zusätzlicher Filter am Teilnehmerstandort zur Folge.

In Ethernet-Punkt-zu-Punkt-Systemen bedeuten Bandbreitenveränderungen:

- Ein Teilnehmer erhält mehr Bandbreite
 - Zentrale Seite: Upgrade des Kundenports von 100 Mbit/s auf 1000 Mbit/s durch Umschalten der Schnittstelle (Software) oder umrangieren der Schnittstelle. Bei modernen Systemen ist ggf. auch eine Umkonfiguration auf die höhere Bandbreite möglich.
 - Kundenseite: Austausch des CPEs beim Kunden.

Zusammenfassend ist ein Upgrade der Bandbreite in einem Punkt-zu-Punkt-System wesentlich einfacher, weil nur die Komponenten für den dedizierten Teilnehmer betroffen sind. Beim PON-System ist im besten Falle ein gesamtes Segment und im schlimmsten Falle zigtausend Teilnehmer vom Upgrade betroffen.

3.8. Kabel-TV-Übertragung

Die Übertragung von Kabel-TV-Signalen über die gleiche Glasfaser ist gerade für Service-Provider wichtig, die zusätzlich zum Internetanschluss einen klassischen CATV-Dienst (analog oder digital) anbieten. Bisher war die Kombination beider Dienste auf einem optischen Netz bei PON-Systemen deutlich einfacher umzusetzen, hat man mit dem optischen Splitter doch bereits die Möglichkeit, Signale zu verteilen. Mittlerweile werden auch für Ethernet-PtP-Systeme integrierte Lösungen angeboten, die ein aufwendiges Einspeisen der Kabel-TV-Signale über ein externes WDM-System überflüssig machen.

3.9. Zusammenfassung des technischen Vergleichs

Bewertung PtP	Bewertung PON	Vergleich
Bandbreitenzuteilung		
<p>Gut Die Dimensionierung pro Teilnehmer erfolgt zum einen über den Schnittstellentyp oder über Traffic-Shaping am Zugangsknoten und ist somit in Kilobit-Schritten justierbar.</p>	<p>Mässig Die GPON-Schnittstelle am OLT ist heute 2,5/1,25 Gbit/s (Down-/Uplink). Die Bandbreite pro Teilnehmer wird vom Splittingfaktor (i.d.R. 1:32 oder 1:64) bestimmt. Moderne PON-Systeme erlauben zwar die Bündelung mehrerer Zeitschlitzes und eine dynamische Bandbreitenzuweisung, jedoch ist die Bandbreite in einem PON-Segment auf 2,5 Gbit/s begrenzt.</p>	<p>Pluspunkt PtP Aufgrund der höheren Flexibilität ist die PtP-Variante hier deutlich im Vorteil. In einem PON-Netz ergeben sich Einschränkungen, weil nur die Segmentbandbreite (2,5 Gbit/s) auf die Teilnehmer aufgeteilt werden kann.</p>
Maximale Bandbreite pro Teilnehmer		
<p>Gut Da jeder Teilnehmer mit einer eigenen Glasfaser angeschaltet wird, kann die Bandbreite heute zwischen 100 Mbit/s und 1 Gbit/s pro Haushalt oder Unternehmen realisiert werden. Die Verwendung von Systemen mit noch höheren Bandbreiten für Spezialanwendungen wird durch die PtP-Glasfasertopologie einfach ermöglicht.</p>	<p>Befriedigend Bezogen auf heute verfügbare GPON-Standards entspricht die maximale Kapazität einer Glasfaser der Gesamtkapazität eines OLT-Ports, d. h. 2,5 Gbit/s (PtP-Anbindung ohne Splitter). Realistisch betrachtet ist die Bandbreite mit Splitter und einer Teilung von üblicherweise 1:32 bei 78 Mbit/s, bzw. bei 1:64 bei 39 Mbit/s (alle Werte in Downstream-Richtung).</p>	<p>Pluspunkt PtP Bezüglich der Bandbreite pro Teilnehmer ist die PtP-Technologie klar im Vorteil. Die maximale Bandbreite pro Teilnehmer ist deutlich höher. Auch die Variationsmöglichkeit einzelnen Teilnehmern unterschiedliche Bandbreiten zuzuteilen (z. B. bei Firmenkunden) ist flexibler als bei der Nutzung von PON-Systemen.</p>
Bandbreitenerhöhung		
<p>Einfach Da die aktiven Zugangsknoten modular aufgebaut sind, können Teilnehmer-schnittstellen mit höheren Bandbreiten nachgerüstet werden. Oft reicht ein einfaches Umstecken des Glasfaserkabels, um dieses wieder in Betrieb zu nehmen.</p>	<p>Schwierig Je nach Systemtechnik ist es denkbar, dass man mehrere Zeitschlitzes bündelt und somit auf Kosten der max. Teilnehmeranzahl pro PON-Zweig die individuelle Bandbreite um den Faktor $n + 1$ erhöht. Die Obergrenze stellt die Bandbreite des PON-Ports am OLT dar, d. h. 2,5/1,25 Gbit/s (down/up).</p>	<p>Pluspunkt PtP Auch hier ist die PtP-Architektur der PtMP-Architektur des PONs überlegen. Teilnehmer können einzeln durch einfaches Nachrüsten von Boards Upgrades bekommen, ohne dass die Netzarchitektur oder der Dienst von anderen Teilnehmern verändert werden muss.</p>
Auswirkung von Störungen und Manipulationen		
<p>Gering Jede Strecke kann aufgrund der PtP-Architektur bis zum ONT des Endkunden eindeutig qualifiziert werden. Im schlimmsten Fall kann der Laser am Zugangsknoten für jeden Teilnehmer einzeln vom Kontrollzentrum deaktiviert werden.</p>	<p>Hoch Innerhalb eines PON-Baumes befinden sich alle Teilnehmer auf demselben optischen Punkt. Verursacht also ein fehlerhafter ONT eine Fehlsynchronisation oder produziert er ein optisch undefinierbares Signal, so ist eine Fehlerlokalisierung des betroffenen ONTs von der Ferne aus nicht möglich.</p>	<p>Pluspunkt PtP Im Worst-Case kann ein einzelner ONT aufgrund einer technischen Störung oder gezielter Manipulation einen kompletten PON-Baum mit bis zu 64 Teilnehmern eine geraume Zeit außer Funktion setzen. Eine fehlerhafte Teilnehmerstrecke am PtP-System hingegen kann sehr leicht entdeckt und behoben werden.</p>
Gefahr des Abhörens (Spionage)		
<p>Gering Jeder Kunde erhält eine dedizierte Glasfaser. Eine Abhörmöglichkeit existiert prinzipiell nicht.</p>	<p>Hoch Ein PON-Baum ist ein sogenanntes Shared-Medium, d. h. an einem Glasfaser-Endpunkt liegen die Signale aller Teilnehmer an. Die Datentrennung erfolgt über die Zuteilung des Zeitschlitzes und eine Software-Verschlüsselung. Das Setup befindet sich im Netzabschluss des Kunden.</p>	<p>Pluspunkt PtP Die Daten im PON-Netz können zwar ähnlich wie bei WLAN individuell verschlüsselt werden, nichts desto trotz ist es technisch nicht ausgeschlossen, einen Teilnehmer am gleichen PON-Baum „anzuzapfen“ und die Verschlüsselung zu hacken.</p>

Bewertung PtP	Bewertung PON	Vergleich
Ausfallsicherheit der Teilnehmerstrecke		
Gut In einem aktiven Netz besteht grundsätzlich die Möglichkeit der Ringanbindung oder des Dual-Homings eines Kundenstandortes, d. h. ein Kunde kann doppelt angebunden werden.	Schlecht Eine gedoppelte Anbindung von Kundenstandorten ist in einem PON bis dato nicht vorgesehen.	Pluspunkt PtP Bezüglich der Verfügbarkeit ist PON gegenüber PtP klar im Nachteil.
Eignung zur Erschließung von Groß-/Geschäftskunden		
Sehr gut Hier kommen die Vorteile in den Punkten Flexibilität, Sicherheit und Leistungsfähigkeit voll zum Tragen. Als optischer Netzabschluss kann zwecks Service-Separierung auch ein Router oder Switch eingesetzt werden.	Schlecht Die Kunden eines PON-Baumes werden alle gleich behandelt. Individuelle Besonderheiten sind lediglich auf Protokoll-Ebene oberhalb von Layer 3 realisierbar.	Pluspunkt PtP Großkundenanforderungen sind grundsätzlich speziell, PON-Netzkonzepte sind jedoch eher statisch. Daher eignet sich der PtP-Ansatz hier deutlich besser.
Einsatzflexibilität bezüglich des optischen Netzabschlusses		
Gut Da ein Ethernet-PtP standardisierte Ethernet-Schnittstellen nutzt, kann eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte als Netzabschluss zum Einsatz kommen.	Schlecht Zwischen konkurrierenden PON-Technologien, aber auch innerhalb der gleichen PON-Technologie, gibt es bis heute noch keine echte Interoperabilität. Der Betreiber ist gezwungen, die ONTs bzw. ONUs vom OLT-Lieferanten zu beziehen (Abhängigkeit).	Pluspunkt PtP Hier kann der Betreiber eines PtP-Netzes sowohl flexibler agieren, als auch langfristig echte Preisvorteile nutzen (Nachhaltigkeit).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in technischen Belangen Ethernet-Punkt-zu-Punkt-Systeme deutliche Vorteile haben. Insbesondere

die höhere Flexibilität, die Eignung auch für Geschäftskundendienste und die Nachhaltigkeit geben den entscheidenden Ausschlag.

	Bandbreite Standardkonformität	Störfestigkeit Fehlerbeseitigung Wartung	Ausbaufähigkeit Flexibilität
PON	●	●	●
Ethernet-PtP	●	●	●

4. Wirtschaftliche Aspekte

4.1. Business-Case-Aspekte

Aufgrund der hohen Investitionskosten zur Erstellung einer Glasfaser-Infrastruktur und den im Gegenzug dazu fallenden Umsätzen der Telekommunikationsbetreiber, fällt die Darstellung einer Wirtschaftlichkeitsrechnung gegenüber Investoren und Verwaltungsräten den Netzbetreibern oft schwer. Ist die ICT-Branche heutzutage noch verwöhnt von Return-on-Invest-Zeiträumen im Bereich von 1–3 Jahren, so sind für FTTH- und FTTB-Netzausbauten – unabhängig von dem jeweiligen Einsatz einer PON- oder Ethernet-PtP-Technologie – andere Größenordnungen von teilweise mehr als 10 Jahren zu veranschlagen.

Dennoch gibt es je nach Anwendungsfall und Rahmenbedingungen gravierende Unterschiede bei der Business-Case-Betrachtung, je nachdem ob für die Glasfaser-Infrastruktur eine passive oder aktive Zugangstechnologie zur Anwendung kommt. Im Folgenden werden die wesentlichen Unterschiede in Investitionskosten (Capital Expenses, CAPEX) und Betriebskosten (Operational Expenses, OPEX) gegenübergestellt.

4.2. Kostentreiber bei der Verlegung einer Glasfaser-Infrastruktur

Betrachtet man das gesamte Investitionsvolumen für eine Glasfaserinfrastruktur, stellt man schnell fest, dass die wesentlichen Kosten für die neue Netztechnik nicht durch Gerätekosten verursacht werden. Der wesentliche Anteil von ca. 85% wird in der Erstellung der Glasfasernetzen, der Hausanschlüsse, der Verzweigungspunkte usw. verschlungen. In Anbetracht dieser Zahlen folgt als Konsequenz, dass die Abschreibungsdauer der passiven Infrastruktur deutlich länger ist (größer 15–20 Jahre). Damit verbietet sich die Investition in eine nicht nachhaltige Topologie, die zukünftige Technologien oder Anforderungen unter Umständen nicht unterstützt.

4.3. Infrastrukturkosten von Ethernet-PtP und PON im Vergleich

Durch den Einsatz von optischen Splitttern im Anschlussnetz kommt eine auf PON ausgelegte Infrastruktur mit deutlich weniger Glasfasern aus, als wenn man pro Kunde eine dedizierte Glasfaser vom Hausanschluss bis zur Zentrale bereitstellt wie beim Ethernet-PtP-System. Berücksichtigt man jedoch, dass ein 144-Fasern-Kabel nur einen Durchmesser von ca. 8 mm hat und mittlerweile zu einem sehr günstigen Preis zu erwerben ist, ist der Vorteil gering, da man trotzdem natürlich auch in einem PON alle Trassen und Verteilpunkte benötigt.

4.4. Equipmentkosten von Ethernet-PtP und PON im Vergleich

4.4.1 Zentralseite

Die Anschaffungskosten für einen GPON-Port geteilt durch die Anzahl der angeschlossenen Kunden bei Vollbeschaltung ist in der Regel günstiger als beim Ethernet-Punkt-zu-Punkt System, weil nicht für jeden Endkunden ein dediziertes Lasermodul benötigt wird. In Zukunft ist jedoch zu erwarten, dass die Preise besonders für Gigabit-Ethernet-Lasermodule stark fallen, da auch die IT-Technik diese Schnittstellen für ihre Anwendungen entdeckt hat und somit sehr hohe Stückzahlen in den nächsten Jahren zu erwarten sind. Ein ähnlicher Effekt war bei der Einführung von kupferkabel-

basierten Ethernet-Netzen in der Bürovernetzung der 90er-Jahre zu beobachten.

Weiterhin bietet Ethernet-PtP Kostenvorteile bei der Anfangsinvestition (vgl. Abschnitt 4.5 auf Seite 14), da auch nur diejenigen Kunden an einen aktiven Port angeschlossen werden müssen, die auch einen Dienst beziehen.

4.4.2 Splitter

Optische Splitter werden nur in der PON-Architektur benötigt. Splitter haben nur einen sehr geringen Anteil an den Gesamtkosten eines Systems, der Einsatz von Splitttern birgt aber die Gefahr, diese später für einen Netz-Upgrade austauschen zu müssen. Da Splitter üblicherweise im Zugangsnetz aus Kostengründen direkt in den Trassen installiert werden, bedeutet ein Austausch erhebliche Kosten durch Straßenbauarbeiten. Werden Splitter gut zugänglich an Verteilpunkten platziert, sind bei der Erstinstallation zusätzliche Aufwände für Außengehäuse und Revisionschächte zu berücksichtigen, die den Preisvorteil letztendlich wieder dahin schmelzen lassen. Bei Ethernet-PtP müssen in der Trassenführung keine Splitter eingesetzt werden.

4.4.3 Endgeräte

Als optischer Netzabschluss (ONT) dienen Geräte, die beim Kunden installiert werden. Sie terminieren die Glasfaser und stellen dem Kunden alle notwendigen Schnittstellen und Funktionen für TV, Telefonie und Internetzugang bereit. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der Netztopologie (FTTH oder FTTB), den länderspezifischen Eigenarten (z. B. ISDN) und den unterschiedlichen technischen Voraussetzungen im Netz ist eine breite Palette an ONTs oder CPEs notwendig.

Wie in Abschnitt 3.5 auf Seite 9 beschrieben bleibt bei PON-Systemen die Auswahl der ONTs auf den Anbieter der Systemtechnik beschränkt. Damit begibt sich der Netzbetreiber in eine große Abhängigkeit in Bezug auf Funktionalität und Preis der zu vermarkteten Produkte für die gesamte Lebenszeit eines PON-Systems.

Durch die standardisierten Ethernet-Schnittstellen und der daraus folgenden herstellerübergreifenden Kompatibilität ist die Palette an einsetzbaren CPEs in PtP-Netzen natürlich wesentlich vielfältiger. Damit ist auch in Zukunft

für einen Wettbewerb zwischen den ONT-Anbietern und somit sinkende Preise gesorgt, und der Netzbetreiber bindet sich nicht an nur einen Hersteller.

4.5. Anfangsinvestitionen von Ethernet-PtP und PON im Vergleich

Betrachtet man die typische Erschließung von Teilnehmern mit Hilfe von Glasfasern, erkennt man auch dabei wesentliche Unterschiede während der Installation und des Betriebes.

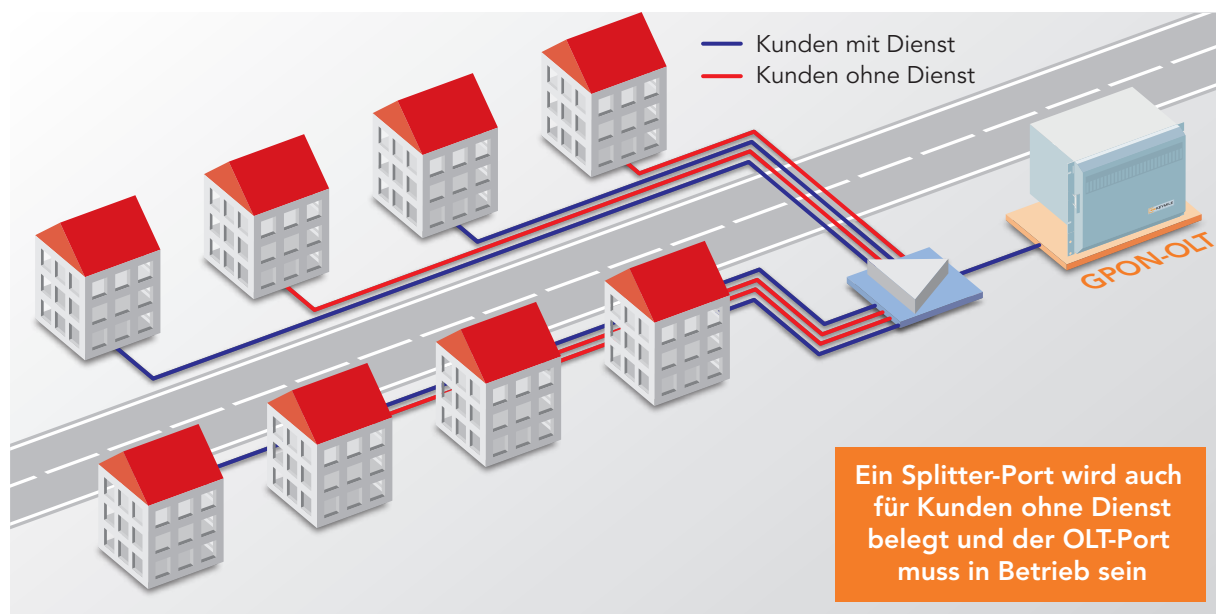
Wird ein neues Gebiet mit Glasfaser erschlossen, legt man die Infrastruktur (Glasfaserkabel, Muffen, Flexibilisierungspunkte ...) natürlich so aus, dass alle Kunden in dem jeweiligen Gebiet mit Diensten über Glasfaser angeschlossen werden können. Da sich jedoch nicht alle Kunden im ersten Anlauf für den Netzbetreiber (Diensteanbieter) entscheiden, der die neue Infrastruktur verlegt hat spricht man von sogenannten „Homes Passed“ und „Homes Connected“. Homes Passed bedeutet, dass die bestehende Glasfaserinfrastruktur es erlaubt, den Kunden mit geringerem Aufwand anzuschließen, dieser aber noch keinen Dienst über Glasfaser in Anspruch nimmt (und auch nicht bezahlt). Je nachdem wie die Infrastruktur vorbereitet wurde, bedeutet geringer Aufwand:

- den Glasfaseranschluss vom Hauptkabel in der Straße bis ins Haus zu verlegen oder

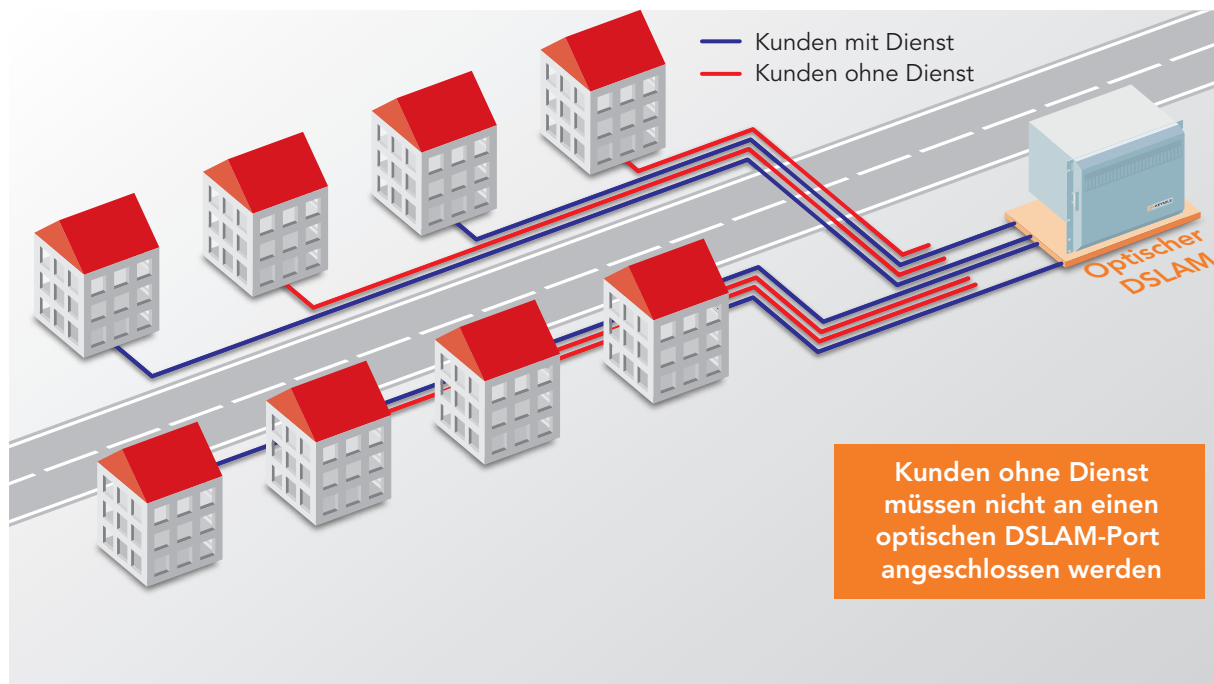
- bei schon vorhandenem Hausanschluss das notwendige Equipment und den Dienst bereitzustellen.

Homes Connected bezeichnet die Anzahl der Kunden, die den Dienst über die Glasfaserinfrastruktur bereits in Anspruch nehmen. Das Verhältnis von Homes Connected (HC) zu Homes Passed (HP) ist dabei für den wirtschaftlichen Erfolg wesentlich und sollte natürlich möglichst groß sein. Die Werte in der Praxis liegen zwischen 10% und 40% HC/HP nach einem Zeitraum von einem Jahr und sind natürlich vom Dienstangebot, vom Preis und von der Wettbewerbssituation abhängig.

Legt der Infrastrukturbetreiber sein Netz für ein PON-System aus, sind üblicherweise die optischen Splitter im Zugangsnetz (also in der Straße) installiert. Dabei ist jeder Splitterausgang einem potenziellen Kunden zugeordnet. Geht man von einem Splitter mit 32 Teilnehmeranschlüssen aus und einem Verhältnis HC/HP von 20% sind durchschnittlich 6–7 Anschlüsse eines Splitters mit zahlenden Teilnehmern belegt. Für jeden dieser Splitter muss zusätzlich am zentralen Standort ein OLT-Port mit 2,5 Gbit/s installiert werden. Das bedeutet, dass bereits zu Anfang des Netzbetriebes sowohl alle Splitter, als auch alle OLT-GlasfaserPorts für die gesamte Infrastruktur installiert werden müssen, obwohl nur 20% der potentiellen Kunden den Dienst auch tatsächlich nutzen (siehe Grafik 5 auf Seite 14).



Grafik 5: Homes Passed – Homes Connected Einfluss in GPON-Netzen



Grafik 6: Homes Passed – Homes Connected Einfluss in Ethernet-PtP-Netzen

Vermeiden lässt sich diese hohe Anfangsinvestition in GPON-Netzen nur dadurch, dass zu Anfang eine geringe Zahl von Splitttern eingesetzt wird und nur die Homes Connected auch tatsächlich angeschlossen werden. Bei der Neuanschaltung von weiteren Kunden müssen dann aber neue Splitter installiert werden, und das in der Straße, in Gehwegen oder in Außengehäusen. Dies führt zu einem erheblichen nachträglichen Aufwand und zusätzlichen Kosten.

Demgegenüber bietet eine Punkt-zu-Punkt-Glasfaserinfrastruktur erhebliche Vorteile, da nur die Homes-Connected-Teilnehmer mit aktiver Technik beschaltet werden müssen. Dadurch, dass für jeden Kunden eine dedizierte Faser zur Verfügung steht, können Neukunden einfach und ohne Außeninstallation an den optischen MSAN angeschlossen werden (siehe Grafik 6 auf Seite 15).

4.6. Kosten für Gebäude und Flexibilisierungspunkte (Aggregationsknoten)

Ein nicht unerheblicher Anteil der Infrastrukturkosten in einem Glasfasernetz entfällt auf die Flexibilisierungspunkte oder Aggregationsstandorte, an denen die Glasfasern zusammengeführt, an aktives Equipment angeschlossen

und die Daten in das Kernnetz weiter transportiert werden.

Bei der Betrachtung von möglichen Aggregationspunkten in einer Glasfaserstruktur bestimmen folgende Faktoren maßgeblich die Standortauswahl:

- Gibt es bereits Standorte im Besitz des Netzbetreibers, die verwendet werden können?
- Wie ist die Bebauung des Zielgebietes (Einfamilienhäuser, Wohnblöcke)?
- Welche Aggregationspunkte eignen sich für die Netztopologie (Straßenzüge mit Stichstraßen ...)
- Wie lässt sich der Anschluss an das Kernnetz (Transportnetz) realisieren?

Als mögliche Standorte für Aggregationspunkte kommen in Frage:

- Bereits vorhandene Betriebsgebäude (Ortsvermittlungstellen, Hauptverteiler, sonstige Betriebsgebäude)
- Angemietete Kellerräume
- Neu zu erstellende „Container“
- Kabelverzweiger (KVz)

Aus kommerzieller Sicht gilt es, das Optimum zu finden zwischen der Anzahl der Aggregati-

onsstandorte und der Anzahl der zuzuführenden Glasfasern und deren Längen. Zum einen sollte die Anzahl der Aggregationspunkte möglichst gering gehalten werden, da

- diese aktive Technik enthalten und damit auch einen Stromanschluss benötigen.
- die Standorte vorzugsweise im Ring an das Transportnetz angeschlossen werden sollten, um Redundanz bei Ausfall einer Übertragungsstrecke zu schaffen.
- die Kosten für die Gebäudeerstellung und -wartung minimiert werden.

Dagegen zu halten sind die Kosten für lange Glasfaserstrecken und die mit der Anzahl der Glasfasern steigenden Installationskosten für Rohre, Verbindungen und Verlegung.

Eine pauschale Aussage über die unterschiedlichen Kosten der Aggregationspunkte in einem PON-System und in einem Ethernet-Punkt-zu-Punkt-System lässt sich aufgrund der vielfältigen Parameter nicht treffen. Dafür ist die konkrete Planung in einer realen Umgebung notwendig.

4.7. Zusammenfassung des wirtschaftlichen Vergleichs

Investitionskosten- (CAPEX) Vergleich		
Bewertung PtP	Bewertung PON	Vergleich
Kosten der Teilnehmer-Endgeräte (CPE)		
Mittel da standardisierte Ethernet-Technik zum Einsatz kommen kann. Bereits heute liegen einfache CPEs (z. B. Ethernet-Media-Converter) unter \$50 pro Stück.	Mittel ONTs werden heute schon in großen Stückzahlen gefertigt, sie sind allerdings nicht zwischen verschiedenen Herstellern kompatibel.	Pluspunkt PtP Durch die Verwendung von Standard-Schnittstellen ist in Zukunft mit einem Kostenvorteil bei PtP-CPEs aufgrund des hohen Wettbewerbs zu rechnen.
Kosten der Netztechnik (aktive Komponenten, voll ausgebautes Netz)		
Mittel da jeder Teilnehmer einen dedizierten Laser-Port am Zugangsknoten belegt.	Gering da ein einziger Port am OLT durch den Einsatz von Splittern von vielen Kunden geteilt wird.	Pluspunkt PON Aufgrund der Mehrfachausnutzung der optischen Strecken ist PON bezogen auf den Preis pro Teilnehmer hier im Vorteil.
Anfangsinvestitionen der Netztechnik (aktive Komponenten, HC/HP 10–40%)		
Mittel Nur jeder zahlende Kunde wird auch mit einem aktiven Port beschaltet.	Hoch Jeder optische Splitter wird an einen aktiven OLT-Port angeschlossen.	Pluspunkt PtP Es müssen nur die tatsächlichen Kunden angeschaltet werden, bei PON startet der OLT mit Vollausbau.
Kosten der Netztechnik (passive Komponenten und Infrastruktur)		
Undefiniert	Undefiniert	Hängt wesentlich von den jeweiligen Gegebenheiten ab (siehe Text).
Platzbedarf für Systemtechnik		
Mittel Am zentralen Standort müssen viele aktive Schnittstellen untergebracht werden. Der Platzbedarf sinkt jedoch mit jeder neuen Generation von PtP-Systemen.	Gering Geringer Platzbedarf am zentralen Standort, es müssen jedoch die passiven Splitter im Zugangsnetz platziert werden.	Pluspunkt PON Am zentralen Standort benötigt PON weniger Platz.

4.8. Betriebskosten im Vergleich

4.8.1 Energiebedarf

Der Energiebedarf von GPON-Systemen ist sehr gering, weil das optische Signal je nach Splittingfaktor auf viele Kunden aufgeteilt wird. Die dazu notwendige höhere Ausgangsleistung der Laserdioden verschlechtert den Vorteil gegenüber Ethernet-PtP-Systemen wiederum, jedoch ist insgesamt die Leistungsaufnahme eines GPON-Systems geringer als die eines Punkt-zu-Punkt-Systems.

Auf den Wirkungsgrad von Laser-Dioden wurde bei der Herstellung bisher kein großer Wert gelegt, was sich im Zuge von Green IT aber ändern könnte. Das Optimierungspotenzial ist sicherlich noch nicht ausgeschöpft.

4.8.2 Wartungsintensität

Moderne Systeme benötigen weder regelmäßige Wartung noch verlangen sie durch ihr umfangreiches Netzmanagementsystem ständige Vor-Ort-Einsätze. Nur bei defekten Komponenten ist eine lokale Störungsbeseitigung von Nöten. Die von der Lebensdauer am meisten gefährdeten Komponenten sind die optischen Lasermodule. Weil beim Ethernet-PtP-System im Vergleich zu PON viele Laser zum Einsatz kommen, ist das Ausfallrisiko sicherlich höher. Jedoch arbeiten die PON-Laser mit wesentlich höheren Leistungen und bei deren Ausfall sind gleich viele Teilnehmer betroffen, sodass dieser Vorteil wieder kompensiert wird.

Betriebskosten (OPEX) Vergleich		
Bewertung PtP	Bewertung PON	Vergleich
Energiebedarf		
Mittel aufgrund der hohen Anzahl von Laserschnittstellen. Neue Systeme erzielen allerdings schon wesentlich bessere Werte als die letzte Generation.	Gering aufgrund des passiven Splittings.	Pluspunkt PON Aufgrund des passiven Splitters und der höheren Teilnehmerdichte am OLT ist PON hier überlegen.
Schwierigkeitsgrad bei der Fehlersuche und -beseitigung		
Gering aufgrund der PtP-Topologie und der einfachen Messmöglichkeiten der dedizierten optischen Übertragungsstrecke.	Hoch da im Worst-Case ein fehlerhafter ONT nicht vom NMS-Center geortet werden kann. Ein Vor-Ort-Einsatz beim Kunden ist von Nöten. Je nach Zugänglichkeit des ONTs kann die Fehlersuche sehr lange dauern.	Pluspunkt PtP Die Fehlereingrenzung und -beseitigung ist in der PtP-Topologie deutlich einfacher als im PON. Nichtsdestotrotz ist es im PON möglich, durch optionale Monitoring-Systeme die Analysefähigkeit zu verbessern.
Folgekosten für Upgrades		
Gering Aufgrund der besseren Skalierbarkeit der aktiven Komponenten und der Separierung der Kunden können im PtP kundenindividuell Upgrades vorgenommen werden und z. B. das CPE getauscht werden.	Hoch Von einem Upgrade ist grundsätzlich immer ein gesamter PON-Baum betroffen. Alle ONTs müssen gleichzeitig getauscht werden. Individuelle Upgrades sind somit fast ausgeschlossen.	Pluspunkt PtP Aufgrund der größeren individuellen Flexibilität ist Ethernet-PtP bezüglich der Upgrade-Fähigkeit im Vorteil.

4.8.3 Komplexität und Anforderungen an das Bedienpersonal

Durch die höhere Komplexität der PON-Infrastruktur und die Herausforderungen in Bezug auf Instandsetzung werden neue und höhere Anforderungen an das Bedienpersonal gestellt als im Vergleich zum Ethernet-PtP, welches

heute schon im Transportnetz eingesetzt wird. Das Design des jeweiligen Systems (Netzmanagement, Diagnose-Tools ...) kann jedoch unterstützend Hilfestellung geben, um die Betriebskosten gering zu halten.

4.8.4 Fehlersuche und -beseitigung

Auf die unterschiedlichen technischen Randbedingungen für die Fehlersuche und -beseitigung wurde schon im Kapitel 3.6 auf Seite 9 hingewiesen. Dementsprechend sind auch höhere Betriebskosten in einem PON-Netz zu erwarten, verursacht durch die komplizierte Punkt-zu-Multipunkt-Struktur.

4.9. Zusammenfassung des Betriebskostenvergleichs

Beim Vergleich der Investitionskosten und der Betriebskosten hat kein System eindeutig die Nase vorn. Vielmehr hängt es von den realen Randbedingungen und Zielsetzungen des Netzbetreibers ab, welche Technik sich besser eignet. Die folgende Tabelle beschreibt qualitativ, unter welchen Bedingungen sich welches System besser eignet.

	Nur Privatkunden, niedrige Bandbreite, 3-Jahres-Horizont	Privat- und Geschäftskunden FTTB, mittlere Bandbreite, 5-Jahres-Horizont	Alle Anwendungen, hohe Bandbreite, Nachhaltigkeit 10–20-Jahres-Horizont
PON	●	●	●
Ethernet-PtP	●	●	●

5. Zusammenfassung

Abschließend bleibt zu bemerken, dass ein generischer Technologie-Vergleich wie in diesem Dokument vorgestellt grundsätzlich nicht in allen Fällen zutreffen kann und daher für jeden Anwendungsfall individuell überprüft werden muss. Aufgrund regulatorischer, kommerzieller oder struktureller Randbedingungen kann sich die Waage schnell zu der einen oder anderen Seite bewegen.

Zusammenfassend kann man jedoch sagen, dass eine Punkt-zu-Punkt-Netzarchitektur langfristig die zukunftsicherste Glasfaser-Topologie darstellt. Das Risiko, schon in wenigen Jahren nach der Installation aufgrund von neuen Anforderungen die Systemtechnik umrüsten zu müssen, ist gering. Jeder FTTx-Netzbetreiber muss für sich entscheiden, ob höhere Anfangsinvestitionen und Nachhaltigkeit mit den Zielen des Business-Cases vereinbar sind.

Für Netzbetreiber mit starkem Privatkundenfokus, möglichst geringen Anfangsinvestitionen und einem kurz- bis mittelfristigen Investitionshorizont spricht einiges für den Einsatz von GPON-Systemen, weil diese ausreichende Bandbreiten für die nächsten 3–5 Jahre zur Verfügung stellen und bis dahin kostengünstig betrieben werden können.

Netzbetreiber, die langfristig die gesamte Dienstpalette sowohl für Privat- und Geschäftskunden anbieten möchten, sind dagegen besser mit einer Ethernet-Punkt-zu-Punkt-Lösung beraten. Dieser Systemansatz ist besser zu skalieren, es wird keine ausgeprägte Herstellerbindung eingegangen und den nachhaltig steigenden Kundenanforderungen kann Rechnung getragen werden.

6. Glossar

Abkürzung	Beschreibung
100BaseTx	100 Mbit/s Ethernet, Kupferschnittstelle
3G	3. Generation des Mobilfunkstandards
4G	4. Generation des Mobilfunkstandards
ADSL	Asymmetrisches DSL
AN	Access Node (Zugangsknoten)
AON	Aktives Optisches Netz
APON	ATM PON
ATM	Asynchroner Transfer Modus
BPON	Breitband PON
CaTV	Kabelfernsehen
CO	Central Office
CPE	Customer Premesis Equipment
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	DSL Access Multiplexer
EFM	Ethernet First Mile
EPON	Ethernet PON
FTTC	Fibre-to-the-Curb
FTTE	Fibre-to-the-Exchange
FTTH	Fibre-to-the-Home
10GEPON	10 Gigabit Ethernet PON
GPON	Gigabit PON
HDTV	High Definition TV
ICT	Information Communication Technology

IP	Internet Protocol
IPTV	Television over IP
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU-T	International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector
LTE	Long Term Evolution
MDF	Main Distribution Frame
MDU	Multi Dwelling Unit
MSAN	Multi-Service Access Node
NMS	Network Management System
OLT	Optical Line Termination
ONT	Optical Network Termination
P(A)BX	Private (Automatic) Branch Exchange
PON	Passives Optisches Netz
POTS	Plain Old Telephony Service
PtMP	Punkt-zu-Multipunkt
PtP	Point-to-Point
QoS	Quality of Service
SDTV	Standard Definition TV
TDM	Time Division Multiplex
VDSL	Very high-speed Digital Subscriber Line
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Herausgeber
KEYMILE GmbH
Wohlenbergstraße 3
30179 Hannover, Deutschland

Telefon +49 511 6747-0
Fax +49 511 6747-450
Internet www.keymile.com
Mail info@keymile.com