

## White Paper



## Evolution der Breitbandtechnologie



Convincing cabling solutions

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Heutige und zukünftige Anwendungen .....	4
2.1. Private .....	4
2.2. Grosse und kleine Unternehmen .....	5
2.3. Spitäler, Universitäten, Schulen.....	5
2.4. Mobile Infrastruktur .....	5
3. Das Telefonnetz .....	6
3.1. Breitbandanschluss über bestehende Telefonleitungen (xDSL).....	7
3.2. Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) .....	8
3.3. ADSL-Lite.....	8
4. TV-Kabelnetze (HFC-Netze).....	9
4.1. Breitbandzugang über HFC-Netze.....	10
4.2. Funkverbindungen .....	10
5. Die heutige Netzwerkumgebung.....	10
5.1. Die physische Umgebung .....	11
5.2. Geschäftliches, politisches und rechtliches Umfeld.....	11
6. FTTx – Very High Bit Rate DSL (VDSL) .....	11
7. Fiber To The Home (FTTH) $\cong$ PON.....	12
7.1. Passive Optical Networks .....	13
7.2. PON-Protokolle .....	14
8. Geeignete Netztechnologien: Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	15

© Copyright 2008 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. Technische Änderungen vorbehalten.

## 1. Einleitung

Mit der Entwicklung der Computertechnologie in den letzten dreissig Jahren stieg auch die Nachfrage nach qualitativ hochstehendem und schnellem Zugang zu den Telekommunikationsdiensten. Dieser „Hunger“ nach Breitbandzugang (oder High speed) betrifft dabei alle Arten von Endnutzern, sowohl Private wie auch kleinere, mittlere und grosse Unternehmen. Dabei beziehen sich die Begriffe „Breitband“ und „Highspeed“ auf Datenübertragungsraten welche grösser sind als jene über Telefonleitungen. Die genaue Bedeutung der beiden Begriffe ergibt sich jeweils aus dem Kontext.

Anwendung:	Public Networks
Format:	White Paper
Thema:	Technology for a Broadband Future
Zielgruppe:	Entscheidungsträger, Planer
Autor:	Dipl. Ing. Patrick Gaehwiler
Veröffentlicht:	Februar 2008

Viele Regierungen glauben, dass im 21. Jahrhundert qualitativ hochstehende und schnelle Telekommunikationsdienste die Grundlage für das wirtschaftliche Wachstum ihres Landes sind. Diese Entwicklung wird oft mit dem Bau von Autobahnen im 20. Jahrhundert verglichen. Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) veröffentlicht Statistiken über die Verfügbarkeit und Verwendung von Breitbandanschlüssen und bewertet die Länder aufgrund dieser Kriterien<sup>1</sup>. Die Verwendung von Breitbandtechnologien ist also ein Indikator für die wirtschaftliche Entwicklung und das zukünftige Wachstumspotenzial eines Landes. Das beweist, dass Telekommunikationsdienste im täglichen Betrieb der modernen Gesellschaft eine grundlegende Rolle spielen.

Eine deutliche Mehrheit der Breitbandteilnehmer teilt sich die letzte Meile des Telefon- oder Fernsehnetzes mit den bestehenden Diensten. Somit sind Datenübertragungsraten von etwa 6 Mbit/s zum Empfänger und 128 Kbit/s oder 1 Mbit/s in die Gegenrichtung möglich (höhere Übertragungsraten wären theoretisch möglich, wenn die Verbindung nicht von mehreren Teilnehmern verwendet würde). Das Problem besteht darin, dass der Bedarf an Bandbreite die Breitbandkapazitäten langsam übersteigt. Gefordert werden heute Bandbreiten von bis zu 100 Mbit/s.

Kapazitäten, die so viel grösser sind als die heutigen, setzen neue Technologien für zukünftige Anwendungen voraus. Es gibt diverse Alternativen für universelle Highspeed- Verbindungen. Die Herausforderungen bei allen Ansätzen ist der optimale Mix von Kosten / Nutzen. Beim heutigen Telefonnetz zum Beispiel macht das Zugangsnetz bis zu 70 Prozent der Investitionskosten aus. Die Kosten für die laufende Instandhaltung, also für den Betrieb und den Unterhalt des Zugangsnetzes, betragen sogar oft mehr als 70 Prozent der gesamten Betriebskosten.

Neue Methoden für den Netzzugang müssen auch die bereits bestehenden Dienste berücksichtigen. Das Internet ist die Technologie von World Wide Web und E-Mail und es ist mehr als denkbar, dass Dienste wie Telefonie oder Kabelfernsehen in naher Zukunft auch übers Internet verfügbar gemacht werden. Bis es so weit ist, kann es aber noch einige Jahre dauern.

Es gibt zahlreiche potenzielle Architekturen welche die Anforderungen bis zu einem gewissen Grad erfüllen. Jede der nachfolgend genannten Architekturen hat ihre Pro's und Contras.

- Die ideale Lösung besteht darin, jeden Endteilnehmer über ein dediziertes Glasfaserpaar direkt mit einer Vermittlungsstelle zu verbinden. Dies würde alle vorhersehbaren Anforderungen erfüllen und deshalb trotz hoher Anschaffungskosten eine sichere und langfristige Investition darstellen.
- Eine höhere Datenübertragungsrate kann auch über die bestehenden Kupferleitungen realisiert werden, indem man die Distanz zwischen Endteilnehmer und Vermittlungsstelle verkürzt. Diese Lösung nennt man FTTx („Fiber To The x“ oder Glasfaser zu x). Das „x“ steht hierbei für den Übergangspunkt an welchem das Übertragungsmedium (LWL) endet. Dies kann irgendwo sein, vorausgesetzt es ist nicht mehr als etwa 500 Meter vom Endteilnehmer entfernt. Zu diesem Zweck müssten zwischen den bestehenden Vermittlungsstellen und den Endteilnehmern Schaltschränke

<sup>1</sup> Vgl. Internetseite der OECD zum Thema Breitband <http://www.oecd.org/sti/ict/broadband> (Englisch)

aufgestellt werden. Der Vorteil dieser Lösung sind die – verglichen mit einer vollständigen Glasfaserlösung – bedeutend tieferen Investitionskosten. Die verfügbaren Datenübertragungsraten würden aber nur den unmittelbaren Bedarf für den Internetzugang decken und die Kosten für die laufende Instandhaltung wären erheblich.

- Funktechnologien stellen ebenfalls eine Alternative dar. Das Problem hier ist aber die ungenügende Bandbreite. Die Lösung ist ökonomisch und ideal für eine kleine Benutzergruppe, aber nicht geeignet für die breite Anwendung in dicht besiedelten Städten. Es ist denkbar, dass ein zellularer Aufbau ähnlich wie bei Mobilfunknetzen eine Lösung sein könnte. Dazu bräuchte es aber eine grosse Anzahl an Basisstationen in der Nähe der Teilnehmer. Diese müssten dann mit Glasfaserleitungen verbunden werden und erforderten eine stabile Stromversorgung und Antennen. In Anbetracht der politischen Diskussionen über mögliche Strahlenrisiken ist diese Lösung jedoch kaum umsetzbar.
- Die kosteneffizienteste Lösung wäre in vielen Fällen eine Glasfaser-Kompromisslösung. Jeder Teilnehmer ist über Glasfasern ans Netz angeschlossen. Die Glasfasern werden aber in den Strassen mit passiven optischen Komponenten miteinander verbunden. In der Vermittlungsstelle kann ein einzelnes Glasfaserpaar so bis zu 32 (oder mehr) Teilnehmer versorgen. Weil bei den Teilnehmern neue Glasfaserleitungen installiert werden müssten, bringt diese Lösung ebenfalls hohe Installationskosten mit sich, die aber immer noch tiefer sind als bei der oben geschilderten optimalen Glasfaserlösung. Ausserdem sind die Kosten für die laufende Instandhaltung gering und man könnte später, falls nötig, immer noch auf die bessere Lösung umsteigen. Zu dieser Variante gibt es mehrere Alternativen, die unter dem Namen PON (Passive Optical Network) zusammengefasst werden. „Best of Breed“ ist zurzeit GPON (Gigabit-PON). Eine PON-Lösung ist unbestritten die einzige verfügbare Architektur, die die vorhersehbaren Anforderungen der nächsten zwanzig Jahre kosteneffizient erfüllen kann. FTTx entspricht aber ebenfalls dem derzeitigen Bedarf und bietet zudem die Möglichkeit, auf PON umzusteigen.

Alle erwähnten Architekturen erfordern die Verwendung von Glasfaser im Zugangsnetz. Die Herausforderung besteht darin, das Netz so zu gestalten, dass es den jetzigen Ansprüchen genügt und gleichzeitig den Weg für (technologieunabhängige) Änderungen ebnet – und das zu erschwinglichen Preisen.

## **2. Heutige und zukünftige Anwendungen**

Jede neue Netztechnologie muss die Bedürfnisse aller möglichen Benutzergruppen berücksichtigen.

### **2.1. Private**

Private Netzanschlüsse sind wegen der hohen Anzahl an Teilnehmern wohl der häufigste Anwendungsbereich. Über sie werden Anwendungen wie Alarmüberwachung (wobei kleine Datenmengen übermittelt werden müssen), E-Mail, Internetzugang (WWW), Telefon, Kabelfernsehen und Video on Demand bereitgestellt. Diese Anwendungen verursachen immer grösseren Datenverkehr. Internetseiten beispielsweise beinhalten immer mehr Flashs, Videos und Audioinhalte, so dass eine schnellere Verbindung das Surfen angenehmer macht und Geschäftsleuten sowie Privatanwendern Zeit spart.

Eine Anwendung, die sehr viel Bandbreite erfordert, ist Video on Demand. Das ursprüngliche Ziel war der gleichmässige Transfer von Videomaterial (eine Art Film) über eine Verbindung zwischen einem Service Provider und einem Teilnehmer. Mit der heutigen Technologie könnte der Teilnehmer aber den ganzen Film (vielleicht drei oder vier Gigabytes) als Datei auf die Festplatte seiner Set-Top-Box herunterladen. Er würde den Film dann wie jedes andere aufgezeichnete Programm sehen können. Dank einer solchen Architektur müsste der Teilnehmer nicht mehr mit dem Netz synchronisiert werden und die Bereitstellung des Materials wäre für den Provider einfacher. Für die Übermittlung von HDTV-Daten wären Übertragungsraten im Bereich

von mehreren Dutzend Megabits pro Sekunde nötig, besser wären jedoch über hundert Megabits pro Sekunde.

Es ist auch durchaus vorstellbar, dass IPTV die Standardmethode für die Übertragung von Fernsehprogrammen wird. Nur ganz wenige Programme werden heute direkt übertragen, meist Sportveranstaltungen und Nachrichten. Die restlichen Programme werden meistens aufgezeichnet. Die Fernsehzuschauer könnten dann aus einem Menü an verfügbaren Programmen auswählen, diese auf eine Set-Top-Box herunterladen und von dort aus abspielen. Bei dieser Methode bräuchte es allerdings einen separaten Mechanismus für die wenigen Direktübertragungen. Dies könnte aber durchaus die Zukunft des Fernsehens sein.

Nicht nur der Entertainment-Bereich erfordert immer grössere Datenübertragungsraten. Private Netzanschlüsse werden zunehmend für geschäftliche Zwecke genutzt, da die steigenden sozialen, ökologischen und finanziellen Kosten dazu führen, dass immer mehr Menschen einen Teil der Woche von zu Hause aus arbeiten.

## **2.2. Grosse und kleine Unternehmen**

Unternehmen charakterisieren sich für gewöhnlich durch eine grosse Anzahl an Teilnehmern, relativ kleine Mengen an (Bewegungs-) Daten und das Bedürfnis nach extrem kurzen Antwortzeiten. Das bedeutet gleichzeitig, dass sie auf einen schnellen Netzwerkzugang angewiesen sind, besonders angesichts der Tatsache, dass immer mehr Applikationen Grafiken enthalten und Videotelefonie sowie Videokonferenzen immer häufiger eingesetzt werden. Das Problem vieler Unternehmen ist, dass sie in Geschäftsvierteln liegen. Denn in vielen Ländern ziehen die Kabelnetzbetreiber ihre Netze wegen hoher Kosten und beschränkter Nachfrage nicht bis in Geschäftsviertel, weshalb viele Unternehmen nicht von dieser Art Breitbandzugang profitieren können.

## **2.3. Spitäler, Universitäten, Schulen**

Diese Benutzergruppen lassen sich mit Grossunternehmen vergleichen, mit dem Unterschied, dass sie schon früh Programme zur Datenvisualisierung verwendeten. Computertomographie und wissenschaftliche Visualisierung erfordern die Übertragung von extrem grossen Dateien innerhalb kurzer Zeitspannen.

Eine sich immer mehr verbreitende Entwicklung in der Medizin ist eine Anwendung für die Ferndiagnose und Fernkonsultation durch Spezialisten, die hunderte oder gar tausende Kilometer von ihren Patienten entfernt sind. Dabei müssen Röntgenstrahlen in hochauflösender Qualität übermittelt werden, weil die medizinischen Fachleute auf jede noch so kleine Verbesserung der Bildqualität angewiesen sind. Auch benötigen sie bei der Fernkonsultation hochqualitative Videobilder, damit sie den Patienten deutlich sehen können.

Es wird nicht mehr lange dauern, bis Visualisierungstechnologien auch in den Schulen – und sogar in Spielen – ihre Anwendungen finden.

## **2.4. Mobile Infrastruktur**

Mobilfunknetze (und mobile Datennetze) kommunizieren mit den Teilnehmern über sehr kurze Strecken (normalerweise weniger als einen Kilometer) via Funkverbindungen. Das heisst, dass sich in dem vom Netz bedienten Gebiet viele Basisstationen befinden. Die müssen alle sowohl in Telefon- als auch in Datenbackbonenetze eingebunden werden. Bisher wurden die Verbindungen über Glasfaser, Richtfunkantennen und Kupferdraht hergestellt. Mit der Weiterentwicklung und Ausweitung der Mobilfunknetze (besonders für den Internetzugang) erfordern die Basisstationen eine sehr schnelle Upstream-Verbindung. Die Basisstationen könnten natürlich in andere Netzwerksysteme integriert (oder zumindest am selben Ort untergebracht) werden.

Die Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Anwendung	Wo	Erforderliche Geschwindigkeit
Limited Video, Videotelefonie mit geringer Datenübertragungsrate, VoIP usw.	Private	6-8 Mbit/s downstream 1 Mbit/s upstream
Hochqualitative Videotelefonie	Private, SOHO, berufliche Anwendung, Unternehmen	10-20 Mbit/s asymmetrisch
Echtzeit-HDTV, Video on Demand	Private, berufliche Anwendung, Unternehmen	30-100 Mbit/s asymmetrisch
Videokonferenzen, ASP Software Hosting	Kleine und grosse Unternehmen	Hängt davon ab, wie viele Personen das Netz benutzen. Symmetrische Dienste nötig, wenn viele Daten ins Netz gestellt werden.

### 3. Das Telefonnetz

In den allerersten Telefonnetzen wurden die Verbindungen über Freileitungen hergestellt. Diese erfüllen zwar ihren Zweck, aber schon wenige Teilnehmer erfordern eine grosse Anzahl an Telefonmasten. Ausserdem hat man ausgerechnet, dass man, um die meisten Menschen in Westeuropa mit Telefondiensten zu versorgen, mehr Kupfer braucht, als es überhaupt Vorräte gibt!

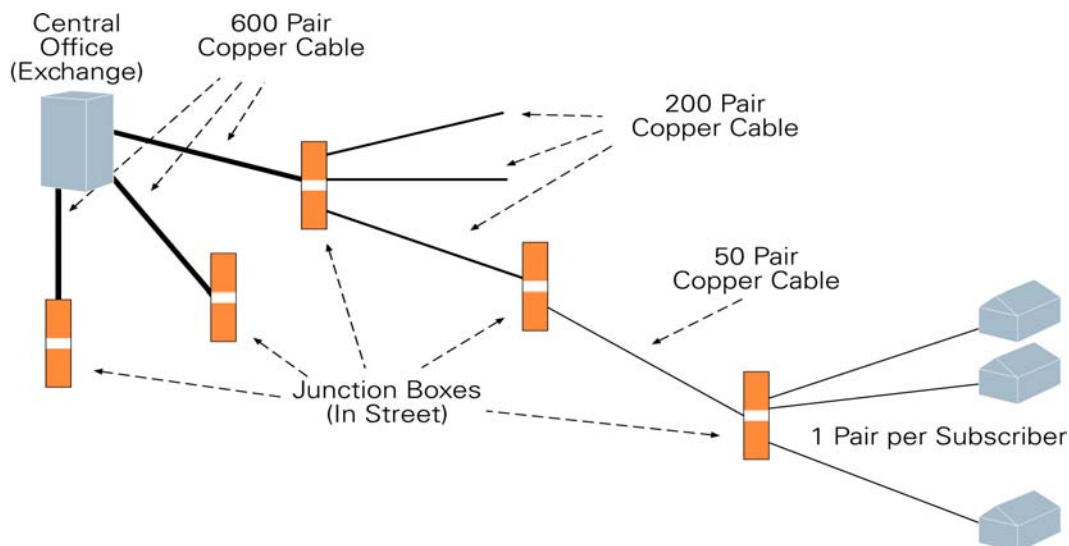


Abb. 1: Aufbau eines traditionellen Telefonzugangsnetzes

Der Aufbau eines traditionellen Telefonzugangsnetzes beinhaltet:

- Die dedizierte Leitung von den Teilnehmern zur Vermittlungsstelle, die sich normalerweise im Umfeld von vier Kilometern oder, wenn man dickere Drähte verwendet, bis zu sechs Kilometern befindet, besteht aus einem Paar relativ dünner Kupferdrähte (0.4-0.8 mm).
- Die Kabel, die zur Vermittlungsstelle und von ihr weg führen, beinhalten 600 Adernpaare, manchmal auch mehr.



- Die Kabel werden meistens im Boden verlegt<sup>2</sup> und treffen in einem Verteilkasten auf der Strasse zusammen. In diesem Verteilkasten werden die einzelnen Paare aussortiert und mit anderen Paaren in ausgehenden Kabeln zusammengeführt.
- Jedes Adernpaar befördert das analoge Telefonsignal sowie Niederspannungs-Gleichstrom, um das empfangende Telefon mit Strom zu versorgen. In den meisten Netzen ist eine höhere Spannung auf den Leitungen, die das Telefon zum Klingeln bringt. Dadurch verfügen die Teilnehmer über ein funktionierendes Telefon, falls die Hauptstromversorgung unterbrochen ist.
- In einzelnen Häusern ist für die Verbindung gewöhnlich nur ein Adernpaar nötig. Bei Mehrfamilienhäusern oder Kleinunternehmen werden jedoch oft Kabel mit mehreren Adernpaaren verwendet.
- Die Leitung von der Vermittlungsstelle zum Teilnehmer ist passiv. Durch die Leitungen fliesst zwar Strom, es sind aber KEINE aktiven Komponenten im Signalweg vorhanden. Das ist ein Grund, weshalb Telefonnetze im Allgemeinen sehr zuverlässig sind.
- Vermittlungsstellen sind normalerweise grosse Gebäude, in denen rund um die Uhr Instandhaltungspersonal und Ingenieure vor Ort sind.

### 3.1. Breitbandanschluss über bestehende Telefonleitungen (xDSL)

Digital Subscriber Line (zu Deutsch: digitaler Teilnehmeranschluss) ist ein Überbegriff für verschiedene Technologien, die mit hohen Übertragungsraten (mehreren Megabits pro Sekunde) Daten über Telefonleitungen transportieren. Diese Telefonleitungen bestehen aus Twisted-Pair-Kabeln (TTP), die zwei Kupferadern beinhalten und (in einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung) von einer Vermittlungsstelle zu einem Teilnehmer führen. Die Teilnehmer sind normalerweise Private oder Kleinunternehmen, aber grundsätzlich kann jedes Gebäude, das über ein Analogtelefon verfügt, über DSL angebunden werden. In den Vereinigten Staaten, Europa und in einigen anderen Ländern ist ADSL nach wie vor die meistverbreitete Technologie für Breitband-Internetzugang.

Es gibt verschiedene DSL-Protokolle. Das „x“ in xDSL steht als Platzhalter für eines der Protokolle. Das häufigste DSL-Protokoll ist ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). Es ist asymmetrisch, weil die Datenübertragungsraten in beide Richtungen unterschiedlich sind.

Die Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau eines ADSL Netzes. Dabei fällt auf, dass lediglich das TTP-Kabel vom Teilnehmer zur Vermittlungsstelle sowohl für das Telefonnetz als auch für die Breitbandverbindung genutzt wird.

Das ist eine wichtige Eigenschaft. Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts wurden die Verbindungen für Analogtelefone über Teilnehmeranschlussleitungen („Local Loops“) hergestellt. Alle Eigenschaften dieser Leitungen (maximale Länge, physische Struktur, Kabeldicke, Isoliermaterial usw.) ergaben sich aus den wirtschaftlichen Gegebenheiten der damaligen Telekommunikation. Für die Übermittlung von Breitband-Digitalsignalen sind diese Leitungen jedoch nur bedingt geeignet.

---

<sup>2</sup> Oft sind es auch Freileitungen.

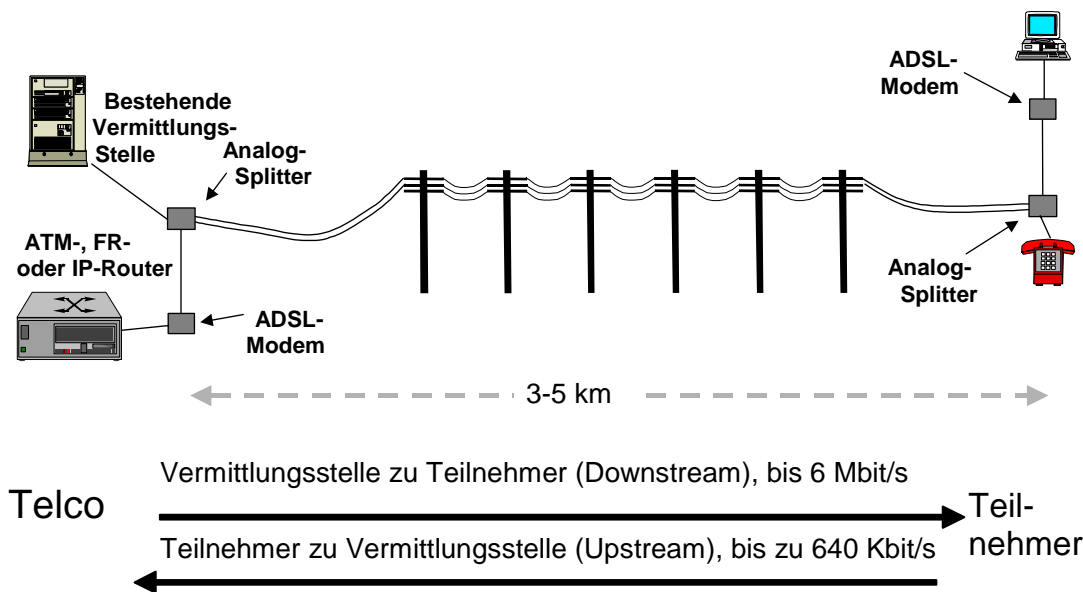


Abb 2: Schematischer Aufbau eines ADSL Netzes

Jedes Protokoll hat seine spezifischen Eigenschaften. Einige davon werden nachfolgend erläutert.

## 3.2. Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

ADSL wurde ursprünglich für die Breitbandverbindung zu Wohnhäusern eingesetzt. Die in der Norm festgelegten maximalen Übertragungsraten betragen 6 Mbit/s zum Empfänger (downstream) und 640 Kbit/s zum Sender (upstream). Die Norm lässt den Herstellern aber Freiraum für höhere Übertragungsraten. Die tatsächliche Übertragungsrate liegt aber wegen den Distanzen oder der Qualität der Leitungen normalerweise unter dem möglichen Maximum. Bei langen Distanzen verringert sich die maximale Übertragungsrate sogar deutlich. Es kann aber auch sein, dass die Übertragungsrate tiefer ist, weil der Service Provider verschiedene Produkte anbietet. So kann er beispielsweise Leitungen mit 1.5 Mbit/s, 3 Mbit/s und 6 Mbit/s zu verschiedenen Preisen anbieten.

## 3.3. ADSL-Lite

Die ADSL-Lösung birgt allerdings ein Kostenproblem, da analoge Telefon- und Breitbanddaten über die gleiche Leitung befördert werden. In Wohnhäusern mit mehreren Telefonanschlüssen benötigt man daher beim Eintrittspunkt einen (passiven) Splitter, um die Sprachsignale und die Datensignale voneinander zu trennen. Ausserdem sind zusätzliche Datenkabel nötig. Der Splitter und die Kabel müssen von einem Fachmann installiert werden, was die Kosten zusätzlich erhöht.

Beim ADSL-lite-Protokoll können an die Geräte des Teilnehmers (z. B. Telefon und Modem) Filter angeschlossen werden. In gewissen Fällen sind die Filter nicht einmal nötig. Diese Variante ist kostengünstiger, da kein Fachmann benötigt wird, die maximale Datenrate ist jedoch bedeutend kleiner. Die definierten Maximalraten sind 1.5 Mbit/s zum Empfänger (downstream) und 512 Kbit/s zum Sender (upstream).



#### 4. TV-Kabelnetze (HFC-Netze)

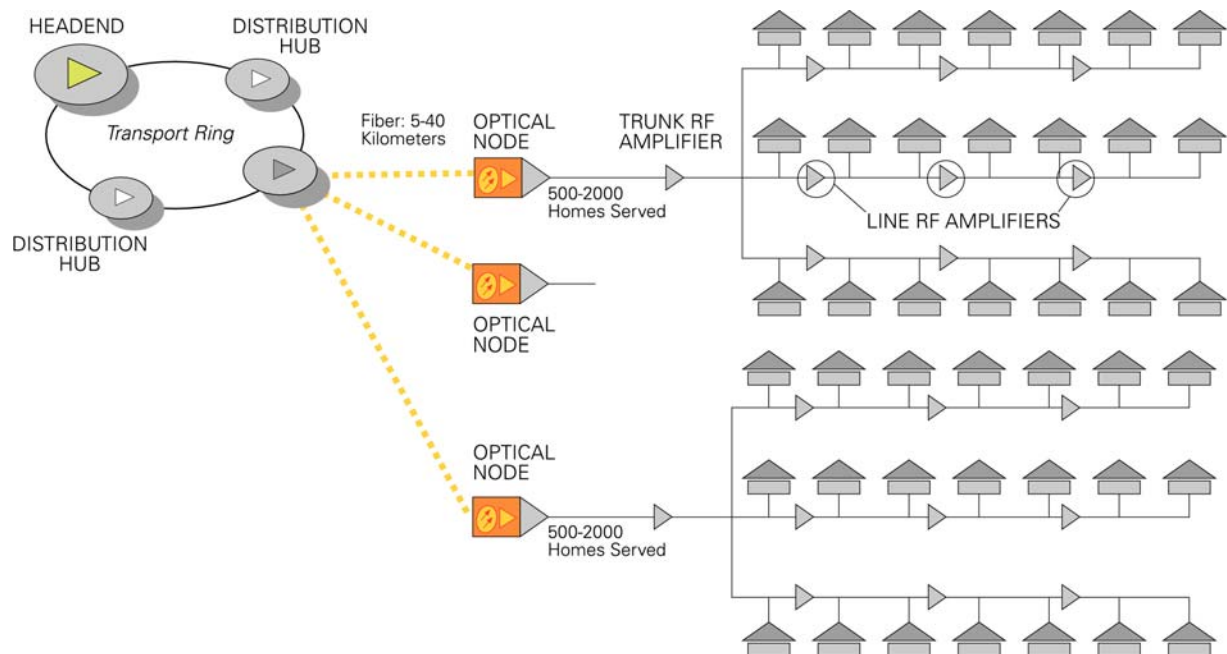


Abb. 3: Architektur eines Standardnetzes für Kabelfernsehen

Die Darstellung illustriert die Architektur eines Standardnetzes für Kabelfernsehen, das „Hybrid Fiber Coax“-Netz (HFC-Netz) genannt wird.

- Dedizierte Glasfasern führen von einer Vermittlungsstelle zu einem Schaltschrank. Die Verbindung zwischen den Schaltschränken und der Vermittlungsstelle besteht aus einem Paar Singlemode-Glasfasern<sup>3</sup>.
- Das Hochfrequenzsignal wird auf der Glasfaser als *analoges* Signal übertragen. Das verringert die Menge an Geräten im Glasfaserknoten (Fibre Node), erfordert aber spezielle Transceiver (mit linearer Charakteristik).
- Im Glasfaserknoten wird das Signal verstärkt und von der Glasfaser auf ein Koaxialkabel übertragen.
- Bei jedem Endteilnehmer wird ein „Abzweiger“ ins Kabel eingebaut. Ein Teil der Signale wird über eine kurze Strecke in einem dedizierten Koaxialkabel zum Endteilnehmer geleitet.
- Die Distanz zwischen den Glasfaserknoten und der Vermittlungsstelle kann 50 bis 70 Kilometer betragen, weshalb auch in einer Grossstadt nur ein oder zwei Vermittlungsstellen nötig sind.
- Die Glasfaserknoten enthalten wenige aktive elektronische Komponenten, die aber elektrischen Strom benötigen. Bei Störungen müssen die Fachleute daher meistens zum Glasfaserknoten, um festzustellen, wo das Problem liegt.
- Da TV-Kabelnetze in erster Linie der Unterhaltung dienen, wollen die meisten Teilnehmer nur beschränkt Geld dafür ausgeben. In vielen Ländern hat das zu „billigen“ Installationen und schlechtem Service geführt, weshalb es auch oft lange dauert, bis das Netz nach einem Ausfall wieder in Betrieb ist, weil es eben „nur zu Unterhaltungszwecken“ dient.
- Der Aufbau dieses Netzes ist grundsätzlich vergleichbar mit jenem der VDSL- oder PON-Netze, die weiter unten erläutert werden. Der Unterschied ist lediglich die Verbindung zum Endteilnehmer auf den letzten 500 Metern.

<sup>3</sup> Da der Datenverkehr nur in eine Richtung verläuft (vom Netz zum Teilnehmer) ist grundsätzlich nur eine Glasfaser nötig. Eine zweite Glasfaser wird aber oft zur Wartung und Informationsüberwachung verwendet.

## 4.1. Breitbandzugang über HFC-Netze

Das Koaxialkabel, mit dem die Teilnehmer an ein HFC-Netz angebunden werden, ist ein hervorragendes Kommunikationsmedium. Es eignet sich gut für eine grosse Signalbandbreite. Kabelbetreiber bieten heutzutage sowohl Breitband-(Internet)-Anschlüsse als auch herkömmliche Telefondienste an.

Die Breitbanddienste werden über freie Frequenzkanäle auf dem Kabel gewährleistet. Das technische Hauptproblem dabei ist, dass die Verkabelungstopologie ein „Bus“ ist. Das bedeutet, dass ein Kanal von vielen Teilnehmern genutzt wird und daher ein Protokoll für die Zugriffsregelung in die Upstream-Richtung erforderlich ist. Man spricht in diesem Zusammenhang oft von Datenraten von bis zu 30 Mbit/s, das ist aber die Gesamtkapazität, die einer Gruppe von Teilnehmern zur Verfügung steht. Um die Situation zu vereinfachen und Fairness zu gewährleisten, ist die Datenrate pro Teilnehmer normalerweise auf 128 Kbit/s (upstream) beschränkt. Natürlich kann ein Kabel über mehrere Kanäle verfügen, die jeweils eine Teilnehmergruppe versorgen. Wenn das System überlastet ist, kann der Netzbetreiber ganz einfach ein Kabelsegment aufteilen und somit gleich zwei Upstream-Verbindungen herstellen. Das System funktioniert sehr gut bei einer kleinen Anzahl an Teilnehmern, bei Überlastungen kommt es jedoch schnell zu Serviceproblemen.

## 4.2. Funkverbindungen

Breitbandanschlüsse können auch mit Funktechnologien hergestellt werden was vielerorts auch bereits gemacht wird. Das Problem bei der Funktechnologie besteht darin, dass das verfügbare Spektrum an Frequenzen sehr klein ist. Eine Verwendung von Funk im grossen Stil würde die verfügbare Bandbreite rasch erschöpfen. Es wäre aber möglich, ein zelluläres Netz aufzubauen (vergleichbar mit dem Mobilfunknetz). Würde man eine geringe Leistung über kurze Distanzen verwenden, könnten immer wieder die gleichen Frequenzen benutzt werden. Ein solches Netz würde eine ähnliche Struktur erfordern wie bei FTTx. Man würde auch hier Glasfaserleitungen verwenden, um die vielen Basisstationen ans Netz anzuschliessen. In gewissen Fällen (z. B. in halbländlichen Gegenden) kann dies durchaus eine geeignete Lösung sein. Die Funkübertragung ist jedoch problematisch in Städten mit grossen Gebäuden oder hügeligem Gelände, weil es, neben anderem, insbesondere schwierig ist geeignete Standorte für die Antennen zu finden.

## 5. Die heutige Netzwerkumgebung

Das erste weit verbreitete Kommunikationsnetz der Geschichte war das Telefonnetz. Auch heute noch gilt es als etwas vom Grössten und Komplexesten, dass der Mensch je geschaffen hat. Im Gegensatz dazu wurden TV-Kabelnetze ursprünglich von kleinen Gruppen entwickelt, die Gemeinschaftsantennen aufstellten, um ihren Fernsehempfang zu verbessern. In den Vereinigten Staaten heissen diese Netze noch heute Community Antenna TV (CATV).

Als die ersten Computernetze entstanden, waren die Teilnehmer vorerst grosse Unternehmen, die sich „massgeschneiderte“ Lösungen leisten konnten. Der Zugang für die allgemeine Bevölkerung war sehr langsam und wurde über die regulären Telefonleitungen realisiert. Für schnellere („Breitband-“) Verbindungen wurden neue Netze aufgebaut und in fast allen Vermittlungsstellen die dafür nötigen Geräte installiert. Die Verbindungen wurden hergestellt, indem man die letzte Meile von der Vermittlungsstelle zu den Teilnehmern sowohl für das neue Datennetz als auch das bestehende Telefon- oder Kabelnetz verwendete.

Das Problem besteht heutzutage darin, dass diese Lösung – über die Leitungen der bestehenden Dienste – der Nachfrage nach höheren Datenraten nicht mehr gerecht werden kann. Das Installieren von neuen Kabeln (egal welcher Art) – und somit auch das Erneuern der bestehenden Leitungen – würde aber enorme Kosten verursachen. Man denke nur an die notwendigen Bauarbeiten (Strassen aufbrechen usw.).

Funktechnologien bergen sicher Vorteile, doch ihre Verwendung in Städten kann wegen der beschränkten Bandbreite weitgehend ausgeschlossen werden.

Somit wird es, auf lange Sicht gesehen (ca. zwanzig Jahre) wohl keine andere Möglichkeit geben, als die bestehenden Kupferleitungen durch Glasfaserleitungen zu ersetzen. Es ist jedoch möglich, die heutigen Installationen mit Technologien wie FTTC (Fibre to the Cabinet) aufzurüsten. Diese Variante kann den vorläufigen Bedarf decken und ist kostengünstiger als eine vollumfängliche Glasfaserlösung. Ausserdem kann jedes Kabel, das neu installiert werden muss, später für die Glasfaserlösung genutzt werden.

Es ist jedoch unabdingbar, dass eine allfällige Lösung bis in die ferne Zukunft genutzt und wenn nötig auch erweitert werden kann. Ausserdem muss sie schrittweise und parallel zu anderen Versorgungen (z. B. Stromkabel) installiert werden können.

## 5.1. Die physische Umgebung

Bei den Netzwerkanforderungen denkt man oft nur an die Anforderungen für Einfamilienhäuser auf riesigen Grundstücken. Diese Art von Wohnen ist aber die Ausnahme.

- Unzählige Menschen leben in Wohnblöcken oder Siedlungen.
- In Amerika und Europa gibt es ausserhalb von Städten halbländliche Regionen, in denen die Distanzen zwischen den einzelnen Häusern 100 Meter bis über einen Kilometer betragen.
- Es ist einiges günstiger, einen grossen Wohnblock zu versorgen, da die Kosten aufgeteilt werden können. Diese Wohnblocks liegen jedoch meistens an Strassen, wo das Installieren von Kabeln sehr teuer ist. Zudem ist das Anbringen von Carrier-Einrichtungen auf Grundstücken in gewissen Ländern an gesetzliche Auflagen gebunden.
- Kleinunternehmen haben ähnliche Eigenschaften wie Wohnräume.
- Auch viele Grossunternehmen ausserhalb grosser Städte sind auf Netzdienste angewiesen.

## 5.2. Geschäftliches, politisches und rechtliches Umfeld

In den meisten Ländern beeinflussen rechtliche Beschränkungen die Art der Netze. In den Vereinigten Staaten zum Beispiel legen mehrere Gesetze die Rolle der Kabelgesellschaften und Telefonnetzbetreiber fest. In anderen Ländern wurden Gesetze geschaffen, die den Wettbewerb zwischen den verschiedenen Anbietern fördern sollen. Diese Regelungen und Gesetze setzen voraus, dass die bestehende Technologie bis in die ferne Zukunft genutzt wird. Somit bestimmen sie zu einem grossen Teil auch, welche Möglichkeiten für die Netzentwicklung in Frage kommen.

## 6. FTTx – Very High Bit Rate DSL (VDSL)

Die bestehenden ADSL-Netze funktionieren zwar sehr gut, aber viele Teilnehmer haben das Bedürfnis nach noch höheren Übertragungsraten. Wie oben bereits erwähnt, hängt die maximale Übertragungsrate bei ADSL stark von der Länge der Leitungen ab (eine Eigenschaft der Kupferleitungen). Weshalb also die Leitungen nicht verkürzen? Die Idee ist, Schaltschränke mit aktiven Geräten irgendwo entlang der bestehenden Kabelleitung aufzustellen. Man ersetzt das Upstream-(Mehrfach-)Kupferkabel durch ein Glasfaserpaar und belässt die Kupferleitung zum Teilnehmer so wie sie ist. Die DSL-Geräte werden im Schaltschrank untergebracht. Diese Architektur nennt man auch FTTx, wobei das „x“ für praktisch jeden Buchstaben stehen kann (Cabinet, Curb, Kerb, Node usw.). Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Distanzen und Datenraten der heute üblichen DSL Protokolle.

Protokoll	Maximale Distanz	Datenrate downstream/upstream	Telefon-signale	Paare	Physikalisches Protokoll
ADSL	3.5 km 5.5 km	6.144 Mbit/s; 640 Kbit/s 1.536 Mbit/s; 176 Kbit/s	Ja	1	DMT/CAP
ADSL-lite	5.5 km	1.536 Mbit/s; 512 Kbit/s	Ja	1	DMT/CAP
VDSL	1.5 km 350 m	13 Mbit/s; 640 Kbit/s 52 Mbit/s; 2.3 Mbit/s	Ja	1 1	QAM/DMT
VDSL-2	3.0 km 350 m	55 Mbit/s; 30 Mbit/s 100 Mbit/s; 100 Mbit/s	Ja	1	DMT

VDSL wird über relative kurze Distanzen (zwischen 350 Meter und 1.5 Kilometer) mit Übertragungsraten von bis zu 52 Mbit/s zum Empfänger und 2.3 Mbit/s in die Gegenrichtung betrieben. VDSL-2, die momentan am meisten angewandte Technologie der DSL-Familie, ermöglicht sogar noch höhere Übertragungsraten und überwindet längere Distanzen. Zudem ist sie kompatibel mit dem ADSL-Zubehör.

Man darf dabei jedoch nicht vergessen, dass die oben aufgeführten Datenraten und Distanzen stark von den Eigenschaften der bestehenden Kabelleitungen abhängen. In gewissen Fällen können die Distanzen etwas länger sein, in anderen bedeutend kleiner. Ebenfalls gilt es zu bedenken, dass sich die Übertragungsraten eines Adernpaares in einem Mehrfachkabel stark von den Raten eines angrenzenden Adernpaares unterscheiden können.

Der Hauptvorteil der FTTx-Technologie besteht darin, dass zwar Glasfaserleitungen von der Vermittlungsstelle zum Schaltschrank verlegt werden müssen, aber keine Kabel auf den Grundstücken der Teilnehmer installiert werden müssen.

Die Technologie hat aber auch ihre Nachteile:

- An „jeder Ecke“ müssten Schaltschränke aufgestellt werden. Da eine Telefonverbindung nötig ist, müssten die Schränke mit einer zuverlässigen Stromversorgung ausgerüstet sein.
- Die Investitionskosten wären wahrscheinlich sehr hoch, da es in einer der 50 grössten Städte etwa 2000 bis 5000 Schaltschränke benötigen würde. Auch wenn die Architektur nicht zukunftsbeständig ist, können überflüssige Ausgaben minimiert werden, indem man eine spätere Migration zu einer vollständigen Glasfaserstruktur im Auge behält.
- Die aktiven, mit Strom versorgten Installationen in den Strassen erfordern eine kontinuierliche und kostspielige Instandhaltung.
- Die bestehenden Kupferleitungen reichen für die erforderlichen Übertragungsraten in vielen Fällen aus, aber nicht immer. Es ist zu bezweifeln, ob das System funktioniert, wenn ein grosser Anteil der Kupferleitungen für VDSL verwendet wird. Zurzeit werden die besten Adernpaare eines Kabels für ADSL oder VDSL verwendet und die von geringerer Qualität für das reguläre Telefonnetz. Würden alle Teilnehmer xDSL verwenden, könnten die meisten der bestehenden Kabel die geforderte Leistung nicht erbringen.

## 7. Fiber To The Home (FTTH) $\cong$ PON

Um einen grossen Wohnblock mit etwa 100 Wohnungen zu versorgen, könnte man die Glasfaserleitungen bis ins Gebäude verlegen und dort einen VDSL-Knoten erstellen. So muss man nicht das ganze Gebäude neu verkabeln, was sehr teuer wäre. Natürlich müssen die Gebäudebesitzer damit einverstanden und ein sicherer Raum für die Geräte vorhanden sein.

Diese Lösung wird oft FTTH oder FTTB genannt und ist abgesehen von der Platzierung der Schaltschränke identisch mit der FTTC-Lösung. Weil die letzten Verbindungen zu den Endteilnehmern relativ kurz sind und für gewöhnlich aus einzelnen Kabeln bestehen, sind Qualität und Service hervorragend. Diese Lösung ist

wahrscheinlich zu teuer für Einfamilienhäuser, aber durchaus attraktiv, wenn sehr viele Wohnungen versorgt werden können.

## 7.1. Passive Optical Networks

Wie eingangs bereits erwähnt, ist eine direkte Glasfaserverbindung von jedem Teilnehmer bis zur Vermittlungsstelle technisch gesehen die ideale, jedoch auch kostenintensivste Lösung. Eine solche Lösung hätte eine Kapazität von mehreren Gigabits pro Sekunde und Teilnehmer und würde zum heutigen Zeitpunkt mehr als genügend Bandbreite bieten. Ein anderer Ansatz, welcher auch auf eine reine Glasfaserverlösung baut jedoch weniger hohe Investitionen verlangt ist der PON (Passive Optical Networks) Ansatz.

Die Idee von PON besteht darin, eine optische Netzwerkstruktur zu erstellen, bei der mit Hilfe von passiven optischen Splittern zahlreiche Teilnehmer an eine einzelne Glasfaser angebunden werden, die dann in der Vermittlungsstelle "endet".

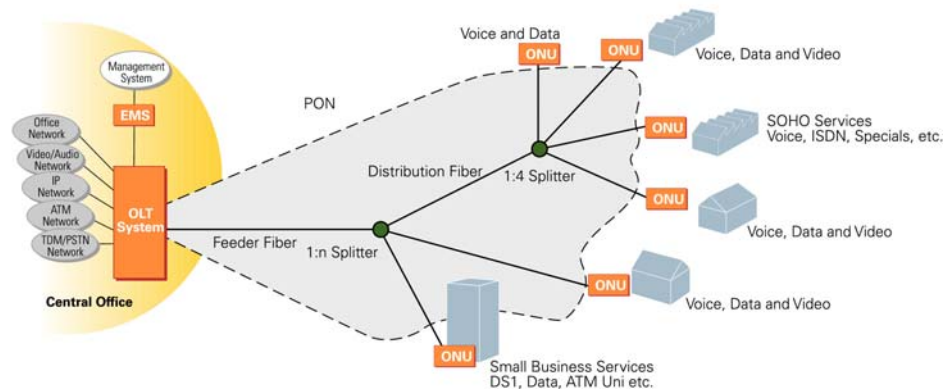


Abb 4: Schematischer Aufbau eines PON

Die obige Darstellung zeigt den Aufbau eines PON. Die Splitter teilen das optische Signal auf und transportieren ein Teil davon zu jedem Teilnehmer. Hier gilt zu beachten, dass Licht nicht mit Elektrizität zu verwechseln ist. Die Splitter unterscheiden sich deutlich von elektronischen Verzweigern. Beide Arten haben aber beide die Eigenschaft, dass sie das Signal (in beide Richtungen) stark dämpfen. Wäre die oben abgebildete Struktur nicht optisch, sondern elektronisch, könnten Hunderte oder gar Tausende Teilnehmer angebunden werden. Bei einer optischen Struktur liegt die heutige Maximalteilnehmerzahl bei 32, wobei unter gewissen Umständen auch 64 (GPON) möglich sind.

Die wichtigsten Eigenschaften dieser Architektur sind folgende:

- Die Konfiguration und der Betrieb des Netzes sind relativ einfach, da Schaltschränke ausserhalb des Gebäudes nicht nötig sind. Die Splitter können in den bestehenden Verteilkästen untergebracht werden.
- Um die Kapazitäten des Zugangsnetzes angesichts der künftigen Entwicklung von Breitband- und Multimediadiensten zu erhöhen, ist eine Änderung der optischen Netzwerkeinheiten (ONU/ONT) nicht nötig.
- Die Instandhaltung gestaltet sich unkompliziert, da keine aktiven elektronischen Komponenten ausserhalb des Gebäudes vorhanden sind. Ohne äussere Einflüsse funktioniert so die passive Infrastruktur unterbrechungsfrei.
- Je nach PON-System können die Endteilnehmer bis zu 20 Kilometer vom OLT entfernt sein. Zurzeit gibt es in grossen Städten bis zu 500 Vermittlungsstellen. Mit einem PON-System wären viel weniger – vielleicht 12 bis 20 Vermittlungsstellen – nötig. So würde man einiges an Betriebskosten einsparen.

## 7.2. PON-Protokolle

Alle derzeitigen PON-Systeme basieren auf der gemeinsamen Nutzung von Glasfasern. Aus Sicht der Vermittlungsstelle sind somit viele Endteilnehmer physisch an ein und dieselbe Glasfaser angeschlossen. Das bietet grosse Kostenvorteile, da in der Vermittlungsstelle weniger Leitungsabschlüsse untergebracht werden müssen. Es braucht jedoch eine gute Organisation, um die Verbindungen zu betreiben und verwalten. Zur Übertragung der Signale über die Glasfaser könnten unterschiedliche Lichtwellenlängen angewandt werden (Wellenlängen-Multiplexverfahren), wobei die elektronische Variante aber kostengünstiger ist. Da alle Teilnehmer ihre Daten in den gleichen Kanal übermitteln, braucht es ein Kontrollprotokoll, das verhindert, dass mehrere Teilnehmer gleichzeitig senden. Ausserdem ist auch ein Protokoll für die Fehlerdiagnose und die Systemwartung erforderlich.

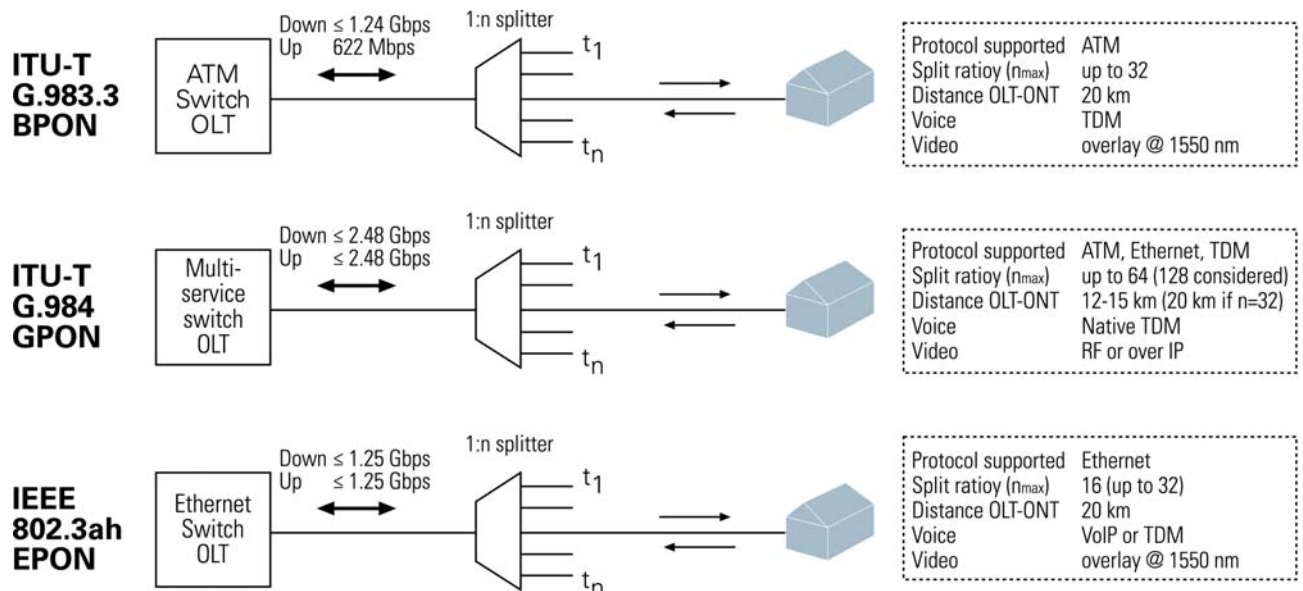


Abb. 5: Übersicht der PON Protokolle



## 8. Geeignete Netztechnologien: Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Juni 2007 verfügten über 50 Prozent der Haushalte in Westeuropa und den Vereinigten Staaten über Breitband-Internetzugang. In den USA ist ein Grossteil der Haushalte über ein Kabelmodem ans Kabelfernsehtz angeschlossen. In den meisten europäischen Ländern ist DSL das meist verbreitete Zugangsnetz, an das pro Land rund 75 Prozent der Teilnehmer angeschlossen sind.

In den Vereinigten Staaten sind in Pilotversuchen etwa 1.5 Millionen Teilnehmer an ein FTTx-Netz (einschliesslich PON) angebunden. In Japan und Südkorea sind zur Zeit ca. 40 Prozent der Teilnehmer an ein PON angeschlossen und in der Volksrepublik China gibt es etwa 15 Millionen FTTx-Teilnehmer. Experten auf der ganzen Welt sind sich einig, dass sich die FTTx- und PON-Technologie in Zukunft noch stärker verbreiten wird.

Die rasch ansteigende Nachfrage nach Telekommunikationsdiensten hat einen Punkt erreicht, an dem sie nicht mehr durch das blosses Ausbauen von Telefon- oder Kabelfernsehtz befriedigt werden kann. Um das Telefonnetz vollständig durch eine neue Technologie zu ersetzen, sind beträchtliche Investitionen nötig, die in keinem Verhältnis zu den Gebühren stehen, die die Teilnehmer zahlen wollen oder können.

Es liegt an den Netzbetreibern und Regierungen, die derzeitigen, kurzfristigen und langfristigen (zwanzig Jahre) Bedürfnisse festzustellen. Es gilt, eine Technologie für die langfristige Zukunft zu finden und anhand dieser die notwendigen Entwicklungen und Änderungen vorzunehmen.

Für weitere Informationen zu Produkten und Lösungen von R&M besuchen Sie [www.rdm.com](http://www.rdm.com)