

I.I.R.-Konferenz
Telekommunikation und Internet:
Zwei Branchen wachsen zusammen



Renaissance Hotel Düsseldorf, 25.-27. Mai 1998

Beitrag:

Technische Aspekte und Internet-Bandbreiten

Dipl.-Ing. Kai-Oliver Detken
OptiNet GmbH
Goebelstraße 50
D-28865 Lilienthal
E-Mail: detken@optinet.de
Firmen URL: <http://www.optinet.de>
Private URL: <http://kai.nord.de>

Inhalt:

1	EINLEITUNG	2
2	INTERNET-TECHNOLOGIE	3
2.1	INTERNET-PROTOKOLLE	3
2.2	WEITERENTWICKLUNG IPV6	6
3	BANDBREITENRESERVIERUNG UND QOS	6
3.1	RSVP-TECHNOLOGIE	7
3.2	RSVP-OVER-ATM	8
3.3	ERSTES VERFÜGBARE PRODUKT VON CLASS DATA SYSTEMS	9
4	BANDBREITENERHÖHUNG (IP-OVER-ATM)	12
5	KOSTEN UND BEZAHLBARKEIT DER BANDBREITE: ACCESS BEREICH	14
5.1	xDSL-TECHNOLOGIE	15
5.2	TV-KABELMODEM.....	19
5.3	SATELLITENTECHNOLOGIE	20
6	ZUKUNFTSAUSSICHTEN: INTERNET-2	22
7	LITERATURVERZEICHNIS	24
8	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	25

1 Einleitung

Die Protokollfamilie TCP/IP erfreut sich immer größerer Beliebtheit. Seit der Entwicklung des Internets in den frühen 60er Jahren sind immer wieder Erweiterungen der verwendeten Protokolle implementiert worden, um die wachsenden Teilnehmerzahlen sowie die immer höheren Anforderungen der Benutzer zu erfüllen. Durch die grafische Benutzeroberfläche World Wide Web (WWW) stiegen die Teilnehmerzahlen jedoch exponentiell an, woran sich bis heute nichts geändert hat.

Weiterhin ist eine Auslagerung von Echtzeitdiensten in das Internet sowie die Kommerzialisierung der Dienste zu beobachten. Dadurch gerät das Internet momentan an den Rand seiner Leistungsfähigkeit. Hier hilft auch keine Bandbreitenerhöhung, da die Internet Service Provider (ISPs) regelmäßig die Datenleitungen ausbauen und damit nur vorübergehend Engpässe abbauen. Das Internet muß einfach intelligenter mit seinen Ressourcen umgehen. Protokolle wie IPv6, RSVP, MARS und NHRP sollen das Internet zukünftig mit Bandbreitenreservierung, einer Art Quality-of-Service (QoS), verbesserten Multicast-Fähigkeiten und Shortcut-Funktionalität zur Umgehung der Router-Engpässe ausstatten.

Zur Bandbreitenerhöhung wird der Asynchrone Transfer Modus (ATM) von vielen ISPs bevorzugt. Das heutige Breitband-Wissenschaftsnetz (B-WIN), welches von der Deutschen Telekom AG im Auftrag des DFN-Vereins seit Frühjahr 1996 betrieben wird, basiert beispielsweise auf ATM und ist eines der größten Netze in Europa. IP-over-ATM-Verfahren machen es möglich, die Protokollwelten des Internets und der Telekommunikation aufeinander anzupassen und die Vorzüge beider Technologien auszunutzen. Dabei sind allerdings noch Anpassungs- und Standardisierungslücken zu schließen. Zusätzlich läßt die Vielzahl der Verfahren (LANE, CLIP, MPOA, MPLS) die Auswahl schwierig erscheinen.

Für den Anwender steht die technische Realisierung klar im Hintergrund. Für ihn spielen natürlich die Kosten eine bedeutsame Rolle. Alternative Access-Technologien wie xDSL, TV-Kabelnetze und Satellit ermöglichen breitbandigen Zugriff auf das Internet. Hier gibt es ebenfalls eine Vielzahl von Möglichkeiten, die nicht alle gleichermaßen geeignet sind. Eines haben sie aber alle gemeinsam: Sie unterscheiden sich grundsätzlich von der herkömmlichen analogen Telefontechnik (POTS: Plain Old Telephone System). Da die Kupferleitung zwischen der Vermittlungsstelle und dem Teilnehmer normalerweise Signale bis zu 1 MHz auf weniger als 6 Kilometern übertragen kann, sind heutige Carrier auf schnellere Kommunikationsmöglichkeiten angewiesen. Dies kann entweder durch geeignete Algorithmen über das gleiche Übertragungsmedium erfolgen oder man weicht auf Mobilkommunikation via Satellit aus.

Dieser Beitrag soll eine Übersicht über neue Protokolle in der IP-Umgebung geben und alternative Technologien für den Kern- und Zugriffsbereich eines Netzes diskutieren. Dabei wird aus der Sicht eines ISP sowie der Teilnehmer heutige Lösungen diskutiert und Vor- und Nachteile abgewägt. Zusätzlich wird ein kurzer Ausblick auf das Projekt Internet-2 gegeben, welches in den USA bereits für zukünftige Projekte und Realisierungen angelaufen ist. Dadurch lassen sich zukünftige Entwicklungen noch genauer abschätzen.

2 Internet-Technologie

Die Entwicklung des Internets beruht auf den Anfängen des ARPANET und entstand 1969 durch die militärischen Forschungen der DARPA. Sinn des ARPANET war es, die Gültigkeit der Kommunikationstechnik mit der Bezeichnung Packet-Switching zu überprüfen. Weiterhin sollte die Zuverlässigkeit der Datentechnik erhöht, die Übermittlungscharakteristik verbessert und die Kosten verringert werden. In heterogener Netzumgebung setzte man neue Protokolle in unterschiedlichen Rechnerplattformen ein. Militärisch versprach man sich durch diese heterogene Struktur, das Netz unempfindlich gegen jegliche Art von Netzausfall zu machen. Die gesammelten Erfahrungen hatten dabei später großen Einfluß auf eine Vielzahl von Datenübertragungstechnologien im LAN-, MAN- und WAN-Bereich. Der Nachfolger des damaligen ARPANET ist das heutige Internet, welches heute das größte heterogene Datennetz der Welt darstellt. D.h., es besteht aus einem Zusammenschluß von geographisch getrennten Datennetzen, die über Router und Gateways miteinander verbunden sind. Die Koordination der Entwicklung neuer Internet-Protokolle wird von der Internet Engineering Task Force (IETF) vorgenommen.

Das Internet Protokoll (IP) hat heute durch neue Dienste und grafische Benutzeroberfläche World Wide Web (WWW) eine weite Verbreitung gefunden. Dies beinhaltet exponentiell steigende Anwenderzahlen, die sich durchaus negativ auf den vorhandenen Adreßraum, die Datensicherheit und die Zugriffsdatenrate auswirken. Der Übergang vom Forschungsnetz zum kommerziellen Dienstanbieter ist hingegen längst überwunden. Das Internet ist zum Universalnetz expandiert, welches man in vielen Unternehmen zum Datenaustausch, Informationsgewinn und/oder als preiswerte Möglichkeit des Nachrichtenaustausches (Email) nutzt. Aus diesem Grund muß man im nächsten Schritt Sicherheitsmechanismen implementieren, die den Geschäftsaustausch im Internet fördern und unterstützen.

Durch die weite Verbreitung hat sich die TCP/IP-Protokollfamilie im WAN-Bereich als Quasistandard herauskristallisiert. Flexibilität, Plattformunabhängigkeit und preisliche Vorteile werden auch weiterhin den Erfolg dieses Protokolls sicherstellen und noch ausbauen. Gebühren lassen sich durch IP einfacher erfassen und Broadcast-Sendungen (Ansprechen aller Stationen) werden weitestgehend vermieden, wodurch geringere Kosten im WAN-Bereich entstehen. Zusätzlich ist die Netzstruktur fast beliebig den Kundenwünsche entsprechend erweiterbar.

2.1 Internet-Protokolle

Die TCP/IP-Protokolle haben sich aufgrund der leicht zu implementierenden Software auf verschiedenen Rechnersystemen, der Unterstützung einer großen Anzahl von Firmen und der Interoperabilität durchgesetzt und zu einem Standard entwickelt. Dabei stellen TCP (Transmission Control Protocol) und IP (Internet Protocol) nur zwei für den Aufbau einer vollständigen Architektur notwendigen Protokolle dar. Im Protokollstapel stellt die Anwendungsschicht Dienste, wie File Transfer Protocol (FTP), Service Mail Transfer Protocol (SMTP), Network News Transport Protocol (NNTP), Network File System (NFS) und Telnet zur Verfügung (Abbildung 1). Diese Anwendungsdienste nutzen für den Datenaustausch die darüberliegende Transportschicht mit den jeweiligen Protokollen:

- TCP (Transmission Control Protocol)
- UDP (User Datagram Protocol)

Die TCP/IP-Adressen sind fester Bestandteil des Internet Protokolls. Die Hauptaufgabe dieses Protokolls besteht in der Adressierung und dem Routing. Durch diese Funktionen können mehrere Datennetze im lokalen oder Weitverkehrsbereich zu einem gemeinsamen Netz verbunden werden. Die Verbindung zwischen mehreren Datennetzen wird auf der Netzwerkschicht von Routern oder Gateways abgewickelt. Dabei arbeiten die Router Protokoll-abhängig. Das heißt, es werden ausschließlich Protokolle der Ebene 3 vermittelt. Weiterhin muß jeder Rechner, der das TCP/IP-Protokoll benutzt, über mindestens eine Internet-Adresse verfügen. Die Darstellung der IP-Adresse erfolgt in dezimaler, oktaler oder hexadezimaler Form. Dabei sind bei der dezimalen Schreibweise, um die Zusammengehörigkeit der einzelnen Oktette zu ermöglichen, die einzelnen Stellen durch einen Punkt getrennt. Dadurch kann aber noch nicht die Rechner- oder Netzwerkadresse erkannt werden. Dies wird erst durch die Zuhilfenahme von Netzklassen ermöglicht, die eine Vielzahl von Netzkonfigurationen schaffen.

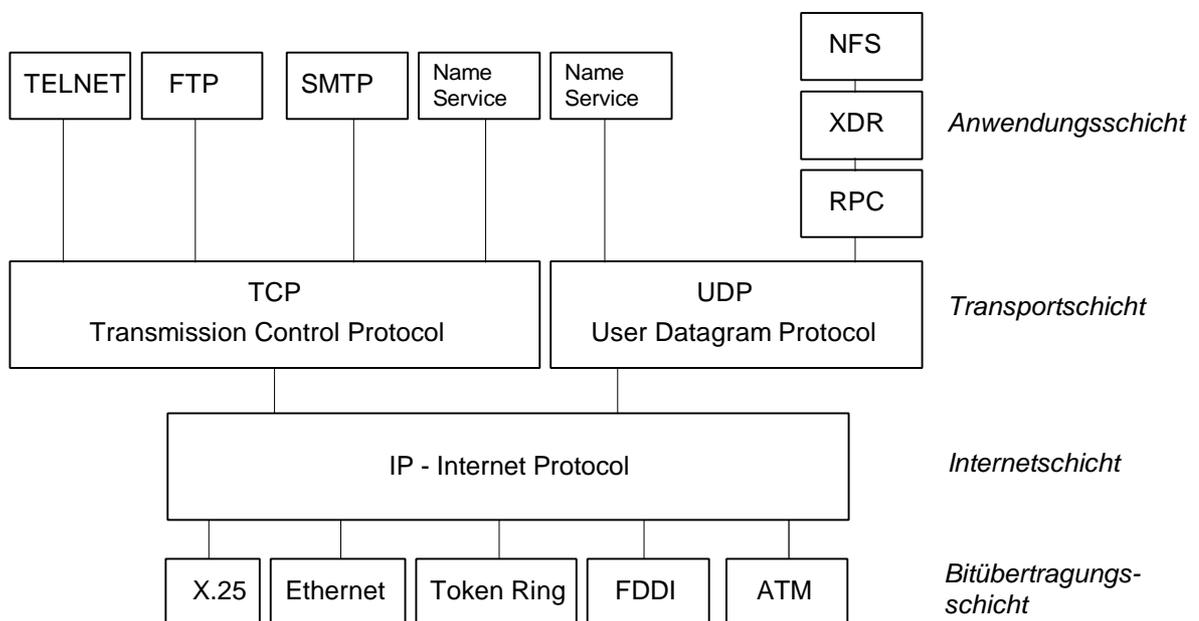


Abbildung 1: TCP/IP-Protokolle

Somit ist TCP/IP für den Einsatz in paketvermittelten Netzen geeignet. Dabei leistet es virtuelle Verbindungsdienste zur gesicherten Übertragung in korrekter Reihenfolge. Interprozess-Kommunikationen sind durch TCP-Protokolle mit Fehlerkorrektur, oberhalb der ungesicherten Paketvermittlungsebene, möglich geworden. Abbildung 1 zeigt, daß TCP direkt auf dem IP-Protokoll aufbaut. Weiterhin wird die Datenverlusterkennung, Wiederholungsmöglichkeiten der Übertragung und Duplikatpaketerkennung ermöglicht. Es werden eine Anzahl von höheren Protokollen unterstützt, die ebenfalls in Abbildung 1 dargestellt sind. Hierbei kommt es zu keiner Änderung der Daten, wodurch die höheren Protokolle die Strukturierung vornehmen. Anschließend segmentiert TCP die Daten zu diskreten Einheiten, die in einzelnen Datenpaketen gesendet oder empfangen werden. Das TCP-Protokoll ist auf der Transportschicht völlig unabhängig von den jeweiligen netzspezifischen Eigenschaften. Es hat eine Länge von minimal 20 Byte bis zu 65 KByte.

Die Anforderungen an das TCP-Protokoll lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mehrfachausnutzung von Verbindungen (Multiplexen)
- Verbindungsüberwachung (3-Phasen-Management)
- Datentransport (korrekte Datenübertragung mit End-to-End-Kontrolle durch Quittungsmechanismus)
- Flußsteuerung (fortlaufende Numerierung aller übertragenden Datenbytes und Fenstermechanismus)
- Spezialfunktionen (z.B. Daten mit hoher Priorität)
- Fehlerbehandlung (Fehlermeldung an höhere Protokolle oder Sendungswiederholung)
- Zeitüberwachung der Verbindung (Quittierung der übertragenen Datensegmente)

Bei der Übertragung über ein Netzwerk werden durch das darunterliegende Internet-Protokoll die ankommenden TCP-Segmente in Pakete niedriger Ordnung fragmentiert. Dabei wird die Paketlänge auf die maximale Paketlänge des Übertragungsmechanismus (z.B. Ethernet mit 1516 Byte) limitiert. Anschließend ordnet TCP jedem Byte des Datenstroms eine Sequenznummer zu, wodurch der Empfänger die korrekte Reihenfolge wieder herstellen kann. Danach findet eine Übergabe an das darüberliegende Protokoll statt.

Die Datenblöcke der höheren Protokollschichten werden als Datagramme über das Netz zum Empfänger verbindungslos übermittelt. Dabei werden die empfangenen IP-Pakete ausschließlich auf Richtigkeit überprüft. Alle weiteren Funktionen, wie beispielsweise die Beibehaltung der Reihenfolge, übernehmen die höheren Schichten. Dieser IP-Dienst wird Datagramm-Service genannt und als unzuverlässiger Paketübermittlungsdienst bezeichnet. Dieser Service bietet sehr schnelle Reaktionszeiten, da keine Fehlerkorrektur vorgenommen wird und kein Verbindungsaufbau sowie -abbau stattfindet, und paßt sich dynamisch Netzlaständerungen an. Momentan ist die IP-Version 4 aktuell, wobei zur Zeit aufgrund von Engpässen bei der Adressenvergabe sehr intensiv an der Version 6 gearbeitet wird. Die Länge des IP-Kopfes beträgt 32 Bit und ermittelt den Datenanfang innerhalb des Protokollfeldes. Über das Feld Dienstypen lassen sich Prioritäten, wie Wartezeit, Durchsatz und Zuverlässigkeit, vergeben. Nachteilig ist allerdings der relativ große Overhead, da jedes Datagramm die vollständige Zieladresse beinhaltet.

Neben dem TCP-Protokoll auf der Transportschicht ist noch ein weiteres Protokoll implementiert, welches sich User Datagram Protocol (UDP) nennt und dem Teilnehmer einen netzunabhängigen Transportdienst anbietet. Das heißt, es werden definierte Prozeduren mit minimalen Protokollmechanismen zur Verfügung gestellt, mit denen Anwendungsprogramme Daten zwischen verschiedenen Benutzern transportieren können. Es garantiert im Gegensatz zu TCP weder für die Ablieferung bei der Partner-Instanz, noch trifft es Vorkehrungen gegen eine Duplizierung oder Reihenfolgevertauschung. Aus diesem Grund fehlen Quittierung, Datagrammduplikatserkennung und Reihenfolgeeinhalten am Empfänger. Auch findet kein erneutes Senden statt, wenn Datenpakete auf dem Übertragungsweg verloren gehen. Dieses muß von höheren Protokollen bzw. Anwendungen abgedeckt werden. Es kann allerdings eine minimale Fehlerüberwachung implementiert werden, wobei die Korrektur nicht mit enthalten ist.

Beim UDP-Protokoll wird ebenfalls keine aktive Verbindung zwischen zwei Teilnehmern aufgebaut. Die Steuerung der Daten obliegt somit der Anwendungsschicht. Um mehreren Prozessen gleichzeitig den Zugriff auf das UDP-Protokoll zu ermöglichen, werden verschiedene Portnummern eingesetzt. Neben Statusabfragen und Netzwerkmanagementfunktionen wird UDP ebenfalls

für die Unterstützung von Echtzeitdiensten wie Videodatenströmen eingesetzt. Hier steht die Übertragungsschnelligkeit an erster Stelle – nicht der fehlerfreie Transport, da Pixelstörungen bei der Bildübertragung qualitativ kaum ins Gewicht fallen.

2.2 Weiterentwicklung IPv6

Das IPv4-Protokoll ist inzwischen weiter entwickelt worden. IPv6 heißt der direkte Nachfolger, der ebenfalls die Protokolle höherer Schichten (TCP, UDP) unterstützen muß und bestehende Nachteile kompensiert, um die Unterstützung multimedialer Anwendungen zu ermöglichen. Durch den knapper werdenden Adreßraum und die geforderte Echtzeitfähigkeit hat die IETF die Entwicklung eines neuen Internet-Protokolls angefangen und inzwischen abgeschlossen. Die IPv6 (RFC-1883) wird die gegenwärtige Version 4 ablösen und folgende Vorteile bieten:

- Erhöhte Adressierungskapazität: Adressenbereich wird von 32 Bit auf 128 Bit erhöht.
- Protokollkopfvereinfachung: Felder können optional verfügbar gemacht werden.
- Verbesserte Erweiterungs- und Optionsunterstützung: Einführung neuer Optionen.
- Flußadressenleistungsspektrum: Paketadressierung ist über einzelne Datenflüsse möglich.
- Identifikationsprüfung: Sicherheitsmechanismen zur Überprüfung der Identifikation.
- Automatische IP-Adressierung: Netzwerkadresse wird automatisch durch Router eingestellt.

Durch die 128-Bit-Adresse von IPv6 sind praktisch keine Beschränkungen hinsichtlich des Adreßraums mehr gegeben. D.h., 1564 Rechneradressen können auf einem Quadratmeter der Erde vergeben werden. Weiterhin wird Adressenflexibilität durch die Verwendung von Unicast-, Multicast- und Anycast-Adressen erhöht. Funktionen, wie automatische Erkennung der IP-Adresse und Adressenumsetzung, sind ebenfalls integriert. Dadurch ist IPv6 einfacher in der Handhabung und Konfiguration als IPv4. Ein Miteinander zwischen IPv4 und IPv6 ist ebenfalls durch Tunneling und Protokollumsetzung garantiert. Weitere Sicherheitsmechanismen und die Priorisierungsmöglichkeit der Datenströme machen IPv6 noch zusätzlich für zukünftige Quality-of-Service-Merkmale interessant (z.B. in Zusammenarbeit mit RSVP). Einziger Nachteil ist bisher die fehlende Unterstützung von Protokollen höherer Schichten (z.B. TCP, UDP) und der Applikationen. Dadurch ist ein Einsatz bisher im kommerziellen Bereich nicht denkbar.

3 Bandbreitenreservierung und QoS

Aufgrund wachsender Verbreitung des Internet und dessen Dienste auf dem Weg hin zur Kommerzialisierung ist die Notwendigkeit entstanden, Quality-of-Service-Eigenschaften auch in IP-Umgebung anzubieten. Bei IP-Paketen ist aufgrund der verbindungslosen Struktur bisher an keine Verbindungsgarantien gedacht worden: nur der Best-Effort konnte verwendet werden. Das heißt, man teilt sich die zur Verfügung stehende Bandbreite mit der Anzahl der Benutzer, was bei hoher Teilnehmerzahl natürlich zu erheblichen Verzögerungen führen kann. Um Bandbreite zukünftig im Internet reservieren zu können, ist von der gleichlautenden Arbeitsgruppe der IETF das Resource Reservation Protocol (RSVP) vorgeschlagen worden. Dadurch wird es erstmals möglich, Echtzeitdienste in einer verbindungslosen Umgebung effizient zu nutzen. Das Protokoll RSVP untersucht dafür die Router-Eigenschaften auf einem Übertragungspfad. RSVP ist seit September 1997 als Standard-Track nach RFC-2205 von der IETF verfügbar, Erweiterungen werden zukünftig noch implementiert. Das erste verfügbare Produkt ist seit Anfang Januar bereits auf dem Markt: CLASSifier Version 1.0beta von CLASS DATA Systems ist die erste kommerzielle Umsetzung des RSVP-Protokolls.

3.1 RSVP-Technologie

Das RSVP-Protokoll kommt wie das Internet-Protokoll (IP) ebenfalls aus dem militärischen Bereich. Das Information Science Institute (ISI), ein Ableger der US Defense Research Projects Agency (DARPA), hat bereits 1993 begonnen diese Protokollstrukturen zu entwickeln und sie bei der IETF vorgeschlagen (<http://www.isi.edu>). Die Hauptmerkmale von RSVP lassen sich dabei folgendermaßen zusammenfassen:

- Merging (Verschmelzungen von Reservierungen)
- Unidirektionale Ressourcenetablierung
- Regelmäßige Bestätigung der Ressourcen (Soft-State), sonst Freigabe der reservierten Bandbreite
- Empfänger initiiert die Ressourcen
- Ressourcen können nur abschnittsweise zur Verfügung gestellt werden (Hop-by-Hop)

Das Merging stellt eine Hauptfunktionalität von RSVP dar. Datenflüsse, die aufgrund ihrer Asynchronität die sequentielle Nutzung derselben Ressourcen durch mehrere Sender und Empfänger ermöglichen, können hierdurch effizient durch das Netz transportiert werden. Dadurch lassen sich Engpässe vermeiden. Die weiteren Eigenschaften von RSVP stehen aber zunächst im Gegensatz zu ATM, obwohl beide Technologien zukünftig zusammenarbeiten müssen, um QoS-Parameter oder VC-Verbindungen austauschen zu können.

Die Ressourcenreservierung in IP-Hosts und Routern wird bei RSVP durch den Soft-State vorgenommen. Das bedeutet, daß die Reservierungen nicht permanent vorhanden sind, sondern in bestimmten Zeitintervallen nachgefragt werden. Wenn dabei ein definiertes Zeitlimit überschritten wird, kommt es zum Verbindungsabbruch. Zusätzlich müssen die reservierten Ressourcen nachträglich gelöscht werden. Weiterhin erlaubt die Soft-State-Methode beim RSVP die Reservierung von QoS-Parametern für einen Datenfluß. Diese Parameter sind dynamisch und können jederzeit während der Verbindungsdauer verändert werden. Bei ATM ist dieses nicht möglich, da hier ein statischer QoS verwendet wird. Zusätzlich müssen alle Empfänger, die an einer RSVP-Sitzung beteiligt sind, in der Lage sein, dem Netz sinnvolle Reservierungen abzuverlangen. Dies ist nur dann möglich, wenn vor der Initiierung der eigentlichen Reservierung Informationen über die gegenwärtige Leistungsfähigkeit der Übertragungstrecke und des Senders zur Verfügung gestellt werden. Abbildung 2 verdeutlicht diese Problematik. Nicht RSVP-fähige Router können demnach auch keine Reservierung der Bandbreite vornehmen, wodurch kein QoS am Verbindungsende vorhanden ist.

Die PATH-Meldung sammelt Informationen über die Qualität der Verbindungstrecke und die möglichen Empfänger-Clients (B, C und D). Die RSVP-Router müssen nach Erhalt der PATH-Meldung die vom Sender unterstützten Dienstklassen einer kritischen, lokalen Prüfung unterziehen. Sind einzelne Parameter nicht anwählbar, protokolliert ein Flag dieses. Dabei wird ein identischer QoS nicht bereitgestellt, da Empfängerunterschiede hinsichtlich der Dienstparameter wie Jitter-Verhalten, Verzögerungen und Bandbreite bestehen. RSVP bedient sich dabei des Prinzips des Least Upper Bound (LUB), wodurch nur die Maximalwerte der Dienstparameter Berücksichtigung finden. Diese Datenflußbeschreibung wird anschließend in einer RESV-Nachricht an den nächsten RSVP-Router weitergeleitet. Auch Non-RSVP-Router können über Flags in den RESV-Meldungen entdeckt werden. Ist eine End-to-End-Reservierung nicht möglich, reduziert sich die Übertragungsqualität sofort auf den Best-Effort.

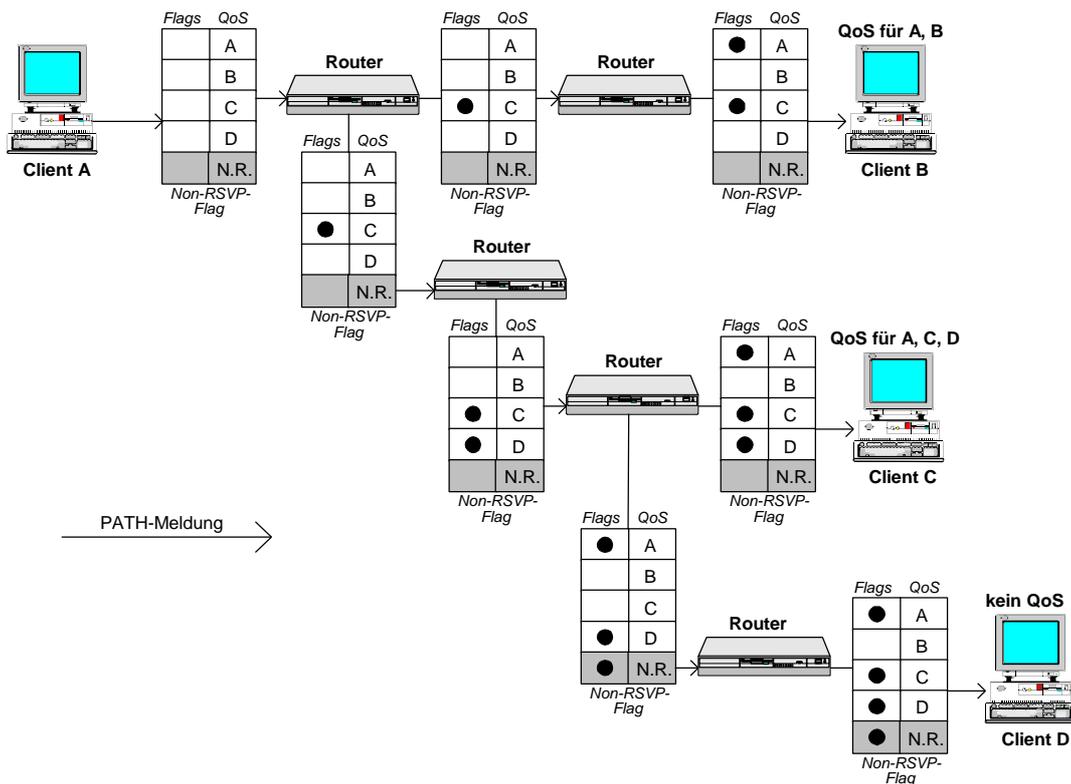


Abbildung 2: Übertragungsstrecke einer RSVP-Verbindung

Um die Ressourcenreservierung zu ermöglichen, muß das IP-typische dynamische Routing autonomer Pakete unterbleiben. Vielmehr ist sicherzustellen, daß RSVP-Steuerungspakete (PATH- und RESV-Meldung) sowie alle Nutzdaten den Pfad nehmen, der durch die PATH-Meldung gewählt wurde. Die hierzu notwendigen Informationen speichert jeder Router innerhalb verschiedener Datenstrukturen, den sogenannten State Blocks, ab:

- Path State Block (PSB): PATH-Meldungen werden hier abgespeichert. Zusätzlich wird der nächste Router im Upstream erkannt. PSB kann einer dritten Sitzung, Sender und Schnittstelle zugeordnet werden.
- Reservation State Block (RSB): Sitzungsabhängige Informationen bezüglich der RESV-Meldung werden festgehalten. RSB kann einer dritten Sitzung, Next-Hop und Filtermechanismen zugeteilt werden.
- Traffic Control State Block (TCSB): Im Gegensatz zum RSB werden hier Ressourceninformationen bezüglich einer Schnittstelle festgehalten.
- Blockate State Block (BSB): Blockierung von Ressourcen zum Merging ist möglich.

3.2 RSVP-over-ATM

Aufgrund der weiteren Verschmelzung bzw. Integration von IP und ATM muß der Standard RSVP in der Lage sein, mit ATM zusammenzuarbeiten. Erst dann kann ein QoS-Übergang von der verbindungslosen IP-Struktur auf die verbindungsorientierte ATM-Struktur erfolgen. Neue Verfahren wie MPOA werden RSVP zukünftig unterstützen bzw. integrieren. Dabei muß man einen garantierten QoS innerhalb eines IP-Netzes durch die Verfügbarkeit sensibler Protokolle auf allen Schichten des OSI-Referenzmodells voraussetzen. RSVP-over-ATM kann den dafür notwendigen kompletten Protokollstack anbieten.

Aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsweisen von RSVP und ATM (siehe [4]), lassen sich eine Vielzahl von Anpassungsproblemen ausmachen:

- Übergabe von IP-Routing auf ATM-Routing
- Management der virtuellen Verbindungen
- Dynamischer QoS muß auf statischen QoS angepaßt werden
- Best-Effort Empfänger innerhalb einer Sitzung
- Empfängerheterogenität anstatt gleicher QoS für alle Empfänger
- Unidirektionale statt bidirektionale Ressourcenzuteilung

Grundlegende Probleme stellen das Management von VC-Verbindungen und die Einbindung des dynamischen QoS dar. Dafür sind verschiedene Ansätze vorhanden, die momentan noch diskutiert werden. Beispielsweise ist die Anzahl der für eine RSVP-Sitzung notwendigen VCs innerhalb eines ATM-Netzes von der Menge der Datenflüsse abhängig, die innerhalb einer Sitzung erzeugt werden. Um die unnötige Benutzung zahlreicher VCs zu verhindern, sollte es die Möglichkeit geben, die notwendigen Datenflüsse vor der VC-Etablierung in einem ATM-Netz zusammenzufassen. Dies macht bisher nur bei Wildcard-Filtern Sinn, da hier eine virtuelle Verbindung ausreichend ist. Shared-Explicit-Filter hingegen macht ein einzelnes Referenzieren der beteiligten Sender notwendig, wodurch ein weiterer Kanal für die auftretenden Best-Effort-Daten hinzukommt. Fixed-Filter benötigen sogar insgesamt drei VCs, da man hier keine unterschiedlichen Sender zusammenfassen kann.

Es gibt momentan zwei Möglichkeiten RSVP-Datenflüsse auf VCs abzubilden. Die erste Möglichkeit ist die einfachere, da hier ein einzelner Datenfluß auf eine einzelne virtuelle Verbindung abgebildet wird. Dabei ergeben sich allerdings zwei Nachteile: Empfänger ohne Bandbreitengarantie können auf andere reservierte Verbindungen zugreifen und die Best-Effort-Übertragung kann nicht zusätzlich angeboten werden. Aufgrund dieser Mapping-Nachteile hat das ATM-Forum ein eigenes Modell vorgeschlagen: das Limited Heterogeneity Model. Dieses Modell besitzt neben dem VC für alle Reservierung während einer Sitzung eine zusätzliche virtuelle Verbindung, die für die Best-Effort-Datenströme eingesetzt wird. Dieser zusätzliche VC ermöglicht Multicast-Verbindungen innerhalb des ATM-Netzes, wodurch man aber die Daten durch das ATM-Netz doppelt transportieren muß.

Ein schwerwiegenderes Problem stellt das Mapping zwischen RSVP-QoS und ATM-QoS dar. Die dynamischen Änderungen von RSVP während einer Sitzung lassen sich schlecht auf die statischen QoS-Zuordnungen von ATM übertragen. Neue Anforderungen an die Verbindung kann RSVP nur durch den Aufbau eines weiteren VCs kompensieren. Nachdem der zweite VC mit den neuen Parametern etabliert wurde, kann die alte Verbindung abgebrochen werden. Die Ressourcen werden dadurch nur kurz doppelt belegt und so schnell wie möglich wieder freigegeben.

Der Integration von IP auf ATM wird inzwischen soviel Bedeutung beigemessen, daß das ATM-Forum ernsthaft überlegt, die ATM-Signalisierung zu modifizieren, um die erwähnte Problematik des VC-Mappings und dynamischen QoS in den Griff zu bekommen. Demnach ist ein Punkt-zu-Punkt-VC für dynamisches QoS sowie ein Punkt-zu-Mehrpunkt-VC für Empfänger-basiertes QoS vorgesehen.

3.3 Erstes verfügbare Produkt von CLASS DATA Systems

Die Spezifizierung des RSVP-Protokolls ist kaum in der Version 1 (RFC-2205) abgeschlossen, da sind bereits erste Produkte auf dem Markt verfügbar, die sich mehr oder weniger an die Defini-

tionen halten. Es gibt bereits Produkte, die unter dem Begriff Bandbreitenmanagement Prioritäten für die Zuteilung der verfügbaren Datenrate setzen. Dabei lassen sich für beliebige Anwendungen Bandbreiten von bis zu 45 Mbit/s bei der Lösung des US-Herstellers Packeteer (<http://www.packeteer.com>) einstellen. Die Hardware-Lösung Packetshaper ermöglicht bei Engpässen, die er durch Lesen des Datenpaket-Header erkennt, den Quittungs- und Fenstermechanismus von TCP zu skalieren. Diese Mechanismen sind für die fehlerfreie Übertragung von IP-Datenpaketen verantwortlich, wobei es durch Überlastung des Netzes öfters zu Stausituationen und damit Durchsatzeinbußen kommt. Durch die zusätzliche Skalierungsmöglichkeit des Produkts Packetshaper geht der Sender von einer geringeren Kapazität auf der Empfangsseite aus, wodurch er kleinere Datenpakete produziert. Dabei bleibt der ursprüngliche Datenfluß erhalten. Zusätzlich kann man durch die Bildung sogenannter Traffic Classes (raten- oder prioritätenbasiert) nach Anwendungsart unterscheiden, so daß FTP-, HTTP- oder Multimedia-Datenströme sich unterschiedlich unterstützen lassen.

Der zweite Produktansatz für ein Bandbreitenmanagement auf der TCP-Ebene kommt von der US-Firma Ukiah Software (<http://www.ukiahsoft.com>), die eine reine Softwarelösung anbietet. Das Software-Paket Trafficware erlaubt dabei eine ähnliche Bandbreitenverwaltung für Internet- und WAN-Verbindungen. Der Unterschied besteht darin, daß hier keine weitere Hardware notwendig ist und auf WindowsNT4.0-Rechnern sowie Proxy- und Firewall-Systemen einsetzbar sind. Beide Ansätze haben gemein, daß sie keine Ressourcen wirklich garantieren können und demnach das RSVP-Protokoll nicht unterstützen. Dies ist aber dringend notwendig, wenn zukünftig multimediale Echtzeitdaten über den TCP/IP-Stack transportiert werden sollen.

Die israelische Firma CLASS DATA Systems (<http://www.classdata.com>) hat bereits seit Ende letzten Jahres auf dem amerikanischen Markt das erste RSVP-Produkt vorgestellt. Bereits im Januar 1998 befindet sich dieses Produkt in der Zeitschrift Data Communications (<http://www.data.com/25years/startups.html>) unter den 25 wichtigsten Neuerscheinungen diesen Jahres. Unter der Produktbezeichnung CLASSifier Version 1.0beta lassen sich somit QoS-Eigenschaften auf Windows 95 und/oder Windows NT 4.0/5.0 einstellen. Der Einsatz auf SUN Solaris 2.x ist ebenfalls geplant. Als Hardware ist mindestens ein 486er mit 32 MByte RAM und 1 MByte Festplattenplatz vorzusehen. Dieses differiert durch die verwendete Software, da der CLASSifier aus einem Software-Paket besteht, welches folgende Komponenten beinhaltet:

- Desktop Agenten: Ermöglicht QoS-Eigenschaften auf IP-Desktops zu übertragen.
- Server Agenten: Fügt QoS-Eigenschaften zu Server-Applikationen hinzu.
- Policy Server: Kontrolliert die Netzressourcen-Zuweisung, d.h., zwingt diese Vorgehensweise und Prioritätenvergabe dem Netz auf.
- QoS Manager: Liefert die Netzübersicht betreffend dem QoS im Internet/WAN-Bereich.

CLASS DATA Systems verspricht sich durch sein Produkt, welches sich sehr stark an die RSVP-Spezifikation hält, Vorteile bei der Echtzeit-Übertragung von Multimedia-Diensten, Prioritätsfestlegungen von Intranet/Internet-Anwendungen, Bildung von Virtual Private Networks (VPN), ISP Web Hosting und SNA Host Access.

Abbildung 3 zeigt die Architektur der CLASSifier-Komponenten. Dadurch können Dienste wie Video-on-Demand (VoD), Internet/Intranet-Telefonie, Videokonferenzen, kritischer Datentransfer und corporate WWW-Services angeboten werden. Garantierte Ressourcen/Bandbreiten kann man über IP-Prioritäten oder RSVP vergeben. Weitere Möglichkeiten ergeben sich im Shared-

Media-Bereich, wo durch RSVP ein dynamischer QoS festgelegt werden kann, der den bedingten Einsatz von multimedialen Diensten gestattet. Weitere Merkmale des CLASSifier sind:

- Bildung von Netzredundanzen durch den Aufbau mehrerer Policy-Server, die auch unterschiedliche Bereiche eines Netzes kontrollieren können.
- Sicherheit durch Aufbau von End-to-End-Verbindungen zu Netzknoten, QoS-Manager und Applikation-Servern (CHAP und MD5 Authentifizierungsprotokolle).
- Skalierbarkeit durch den Einsatz von Policy-Servern in jedem beteiligten Netzwerk.
- Accounting- und Billing-Mechanismen für die Netzüberwachung und die exakte Abrechnung.

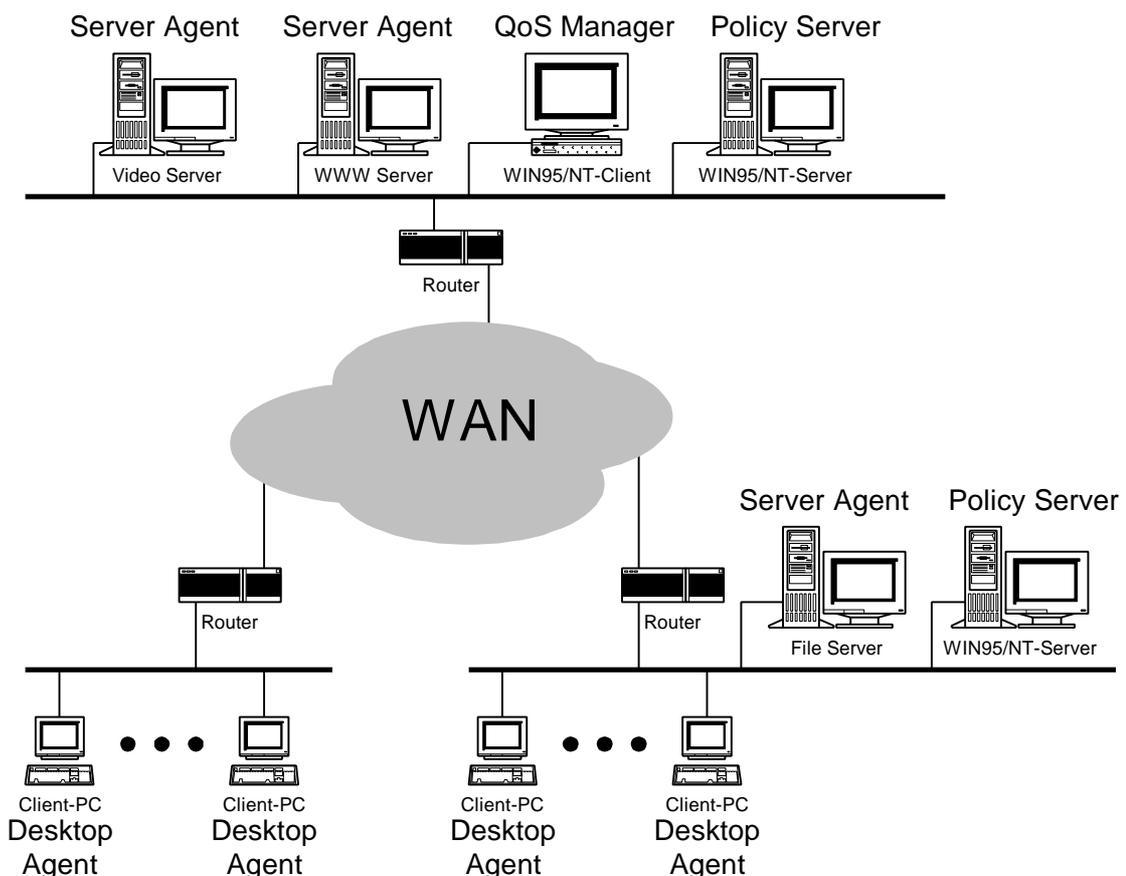


Abbildung 3: CLASSifier-Architektur

Das CLASSifier-Softwarepaket wurde bereits ausgiebig von der OptiNet GmbH (<http://www.optinet.de>) getestet, um es für einen evtl. späteren Einsatz in ISP-Umgebung vorzubereiten. Obwohl die Software sich noch im Beta-Stadium befindet, kann man sie bereits einsetzen. Problematisch ist allerdings noch die Ressourcenverteilung. Das heißt, die Ressourcen einer Verbindung können bislang nur explizit einer bestimmten IP-Adresse zugeordnet werden. Kundenspezifische Identifikation ist noch nicht implementiert, wodurch der Policy-Server beispielsweise garantierte Bandbreite auf Anfrage eines weiteren Client-Agenten zusätzlich freigeben kann. Dies würde wiederum bedeuten, daß der Policy-Server die gewünschte Ressource beiden Kunden gleichzeitig zur Verfügung stellt, wodurch die Verbindung nur Best-Effort-Ansprüchen genügt. Filterverfahren sind ebenfalls noch nicht implementiert, die auch ein Lösung darstellen würden. Dieses Problem wird man aber in der offiziellen Marktversion 1.0 beheben.

4 Bandbreitenerhöhung (IP-over-ATM)

Zwei Institutionen sind bei der Entwicklung von Anpassungsmöglichkeiten zwischen IP und ATM entscheidend. Die Internet Engineering Task Force (IETF) arbeitet in der Arbeitsgruppe Internet-working Over NBMA (ION) an Verfahren IP an NBMA (Non-Broadcast Multiple Access) Netze, wie ATM, X.25 und Frame Relay anzupassen. Weiterhin ist das ATM-Forum, ein Zusammenschluß aus Herstellern, Universitäten, Entwicklern, Diensteanbietern und Nutzern, vorhanden. Ziel dieses Forums ist die schnellere Spezifizierung von ATM-Standards mit Hilfe der Industrie, um die Arbeiten der International Telecommunication Union (ITU) zu beschleunigen. Um die vermittlungstechnisch völlig unterschiedlichen Welten von IP und ATM miteinander zu verbinden, sind aus diesen Arbeitsgruppen mittlerweile die folgenden Verfahren hervorgegangen:

- Classical-IP (CLIP)
- LAN-Emulation (LANE)
- Multiprotocol-over-ATM (MPOA)
- Multi-Protocol Label Switching (MPLS) / IP-Switching

CLIP ist von der IETF definiert worden und läßt ausschließlich Unicast-Verkehr zu. Das Ziel ist es dabei, Endsysteme mit ATM-Schnittstelle die IP-Nutzung zu ermöglichen. CLIP war die erste Spezifizierung, die die IP-over-ATM-Übertragung ermöglichte. Dabei sind alle Endsysteme eines Logical IP Subnet (LIS) über ATM erreichbar. Die Kommunikation kann man dabei über PVC- oder SVC-Verbindungen vornehmen. Die weitere Anbindung eines LIS an andere LIS oder traditionelle Router erfolgt allerdings über Router. Die Adreßauflösung der IP-Adressen zu den ATM-Adressen erfolgt mittels eines zentralen ATMARP-Servers. Die Nachteile von CLIP sind der hohe manuelle Konfigurationsaufwand, keine redundanten ATMARP-Server sowie keine direkten Verbindungsmöglichkeiten zu anderen ATMARP-Servern. Weiterhin können keine QoS-Eigenschaften von ATM mit ausgenutzt werden. Pluspunkte von CLIP bleiben der einfache, stabile Standard und der hohe Datendurchsatz, der u.a. durch die große MTU Size von 9180 Byte ermöglicht wird. CLIP ist auf den Backbone-Bereich begrenzt und eher für kleine sowie mittlere Netze geeignet.

Dagegen wurde LANE vom ATM-Forum definiert und hat die Anbindung von ATM an traditionelle lokale Netzwerke (Token Ring und Ethernet) zur Aufgabe. Hauptanwendungsgebiete sind deshalb die LAN-Kopplung über ATM sowie die Verbindung von LANs mit Endgeräten am ATM auf MAC-Ebene. Dadurch wird eine transparente Nutzung von ATM erlaubt. Emulierte LANs (ELANs) und traditionelle LANs können durch Ethernet-Switche miteinander verbunden werden. Dies geschieht durch Bridges, während unterschiedliche IP-Netze durch Router miteinander kommunizieren. Hierbei ist wieder der Routerengpaß zu beachten, der zwischen unterschiedlichen ELANs auftritt. Weitere Nachteile sind die hohe Funktionalität (Schicht-2-Emulation), MTU-Begrenzungen auf 1500 Byte bei Ethernet-Nutzung, keine redundante Struktur, schlechte Skalierbarkeit (viele VCs für Hosts) und fehlender QoS. Dagegen stehen die Vorteile wie Autokonfiguration, Bildung von VLANs, Multicast/Broadcast-Unterstützung, Integration von traditionellen LANs und die Anbindung mannigfaltiger Netzwerkprotokolle. LANE ist für kleine und mittlere Netze vorgesehen und für den Backbone/Campus-Bereich einsetzbar. Weiterentwicklungen bei LANEv2.0 gehen in Richtung ELAN-Multiplexing, redundanter LANE-Service und bessere QoS-Unterstützung.

Die letzten Möglichkeiten MPOA und MPLS stellen eine Integration von IP auf ATM dar, da komplette Routing-Mechanismen realisiert wurden. Hier wird nach dem Prinzip „Route-once-Switch-

many“ versucht, den Routerengpaß in großen Netzen zu beseitigen. MPOA entwickelte das ATM-Forum, welches für die Verwendung von ATM in bestehende Datennetze spezifiziert wurde. Zusätzlich wurden weitere Protokolle der IETF wie MARS, NHRP, RFC-1483 und RFC-1577 mit einbezogen. Ziel ist es, vorhandene Protokolle problemlos in ATM-Netze integrieren zu können. Es lassen sich zusätzlich sehr effektiv virtuelle Netze realisieren. Layer-3-Switching ist hingegen bisher von verschiedenen Herstellern entwickelt worden und basiert auf keinem festen Standard, da sich alle Vorschläge voneinander unterscheiden. Hier wird die komplexe Steuersoftware von ATM durch einfache IP-Software ersetzt. Die Hardware basiert dabei weiterhin auf ATM. Die Arbeitsgruppe MPLS von der IETF versucht die unterschiedlichen Ansätze zu bündeln und zu einem Standard zu verarbeiten. Bevorzugt werden die Verfahren Tag-Switching von Cisco und ARIS von IBM. Dabei arbeitet MPLS unabhängig von der zugrundeliegenden Netzstruktur. Das heißt, es könnte durchaus auch Gigabit-Ethernet eingesetzt werden.

MPOA arbeitet hingegen ausschließlich mit ATM zusammen. Vorteilhaft ist, daß ein QoS erstmals annähernd unterstützt werden kann, die Router-Engpässe durch Trennung der Funktionen Forwarding und Routing verschwinden, Shortcut-Nutzung, Bildung von VLANs und Autokonfiguration ermöglicht wird. Nachteilig ist der noch zu flach definierte Standard 1.0, hohe Komplexität und die Nutzung von Shared-VCs (kein End-to-End-QoS möglich). MPOA ist für mittlere bis große Netze im Backbone/Campus-Bereich einsetzbar und baut grundsätzlich auf LANEv2.0 auf.

MPOA und MPLS bieten langfristig gesehen die einzige Möglichkeit, ATM-Vorzüge direkt auf andere Netze zu übertragen. Dabei nimmt die Idee des virtuellen Routers immer konkretere Strukturen an. Durch ihn wird es möglich, Router-Funktionen auf das Netz zu verteilen, um dadurch Router-Engpässe zu vermeiden. Zentrale Router-Server steuern dann verteilte Edge Devices (Randgeräte), die die Schnittstelle zu den traditionellen LAN-Netzen darstellen. Ein entgegengesetzter Ansatz beinhaltet den Einsatz von Multilayer-Switches. Dieser Ansatz verlegt die Routing-Funktionalität in einzelne Switches, die in gemischter Ethernet/ATM-Umgebung das Routing (Schicht 3) und Ethernet-Switching (Schicht 2) übernehmen. Beachtet werden müssen auch Unterschiede zwischen ATM- (P-NNI) und IP-Routing. In diesem Bereich sind deshalb die Standardisierungsgremien bemüht, für große NBMA-Netze Lösungen zu entwickeln.

MPLS bzw. IP-Switching ist ein weiterer Ansatz, um eine Kombination zwischen ATM-Switch und IP-Router zu verwirklichen. Es sind viele Vorschläge vorhanden, die aber alle sehr unterschiedlich ausfallen. Die IETF versucht mit MPLS, die unterschiedlichen Ansätze zusammenzufassen. Allen gemeinsam ist der Router-Bereich, der einem traditionellen Router ähnelt. IP-Switching wird eine vielversprechende Zukunft bescheinigt, da sie den Durchsatz im Internet erhöhen kann: ATM-Hardware bietet schnelle Übertragungsraten zu einem relativ günstigen Preis. Weiterhin ist IP-Routing wesentlich einfacher, als ATM-Adressenstruktur, -Routing und -Signalisierungsprotokolle. Anhaltender Datenfluß, wie beispielsweise durch File-Transfer oder Audio/Videoübertragung, kann durch weniger Verzögerung und höhere Performance übertragen werden, da Datenpakete nicht mehr für das IP-Routing analysiert werden müssen. Zusätzliche Verzögerungen entstehen allerdings während des Etablierens einer ATM-Verbindung. Das heißt, für kurze VC-Verbindungen und unregelmäßige IP-Flows (DNS-Suche) sollte man IP-Switching nicht einsetzen. Hierfür eignet sich das herkömmliche IP-Routing wesentlich besser. Zusätzliche Funktion ist die Erkennung von IP-Paketflüssen. Das heißt, es werden die IP-Pakete nicht mehr einzeln eingelesen (Store-and-Forward-Prinzip), sondern im ATM-Bereich geschwitched. Dieser sehr jungen Technologie wird eine vielversprechende Zukunft bescheinigt. Sie wird sich allerdings erst durchsetzen, wenn sie mit LANE oder CLIP kooperiert und diese nicht als Konkurrenz betrachtet. Auch ist IP-

Switching bisher eine proprietäre Lösung, die zwar auch bei anderen Firmen Unterstützung findet, aber erst durch Standardisierung eine echte Alternative zu bestehenden IP-over-ATM-Lösungen wird. Dabei bleibt abzuwarten, wie IP-Switching letztendlich in die ATM-Technik integriert wird. Dabei sollte man MPLS nur in sehr großen Netzen einsetzen, wodurch sich eine Überschneidung und keine Konkurrenz zu MPOA und LANE ergibt. Für den Weitverkehrsbereich ist somit MPLS eine sehr interessante Möglichkeit, die die Integration von IP und ATM fördert.

Das exponentielle Wachstum der Anzahl von Internet-Teilnehmern, zusammen mit dem Anstieg der Multimedia-Anwendungen haben auf jeden Fall zur Folge, daß die derzeitige Generation von Routern die explosionsartig ansteigenden Anforderungen an die Bandbreite nicht mehr erfüllen kann. Diese Router werden immer mehr zu Engpässen beim Prozeß der Ende-zu-Ende-Weiterleitung. Um diesen Routerengpaß zu beseitigen, gibt es verschiedene Lösungen. Eine Möglichkeit ist es sicherlich, neue Routerarchitekturen einzuführen, wodurch der Router mehr zu einer Vermittlungsanlage (Gigabit-Router) wird. Die andere Möglichkeit sind die Änderungen der externen Routerarchitekturen und die engere Integration von IP und ATM (MPOA und MPLS), indem Verkehrsflüsse mit hoher Datenmenge und lang andauernde Verkehrsflüsse direkt auf der ATM-Ebene weitergeleitet werden (Shortcut-Routing). Problematisch bleibt hierbei die Frage, welche Shortcut-Routingmechanismen man auswählen sollte sowie wann ein Shortcut durch ein bestimmtes Ereignis ausgelöst werden kann. Ansonsten hat man wieder eine Vielzahl von Verbindungen, die sich gegenseitig unfair behandeln. Aufgrund der Komplexität der Standards werden ATM-Forum und IETF noch einige Zeit für die endgültigen Spezifikationen benötigen. Hier wird man noch einige Zeit auf Interoperabilität warten müssen.

5 Kosten und Bezahlbarkeit der Bandbreite: Access Bereich

Hohe Bandbreiten im Kernbereich eines Netzes sind zur Verminderung der Leistungsengpässe entscheidend. Der Zugriff der Teilnehmer auf das Internet darf aber ebenfalls nicht so eingeschränkt bleiben, wie das heute mittels analoger Modems der Fall ist. Die Übertragungsraten durch den neuen Standard V.PCM sind inzwischen auf 56 kBit/s angehoben (entspricht weitestgehend U.S. Robotics entwickelter x2-Technologie) und auch ISDN bietet Geschwindigkeiten von $2 \times 64 \text{ kBit/s} = 128 \text{ kBit/s}$ an. Letztendlich ist das aber in Zeiten von multimedialen Anwendungen und Gigabit-Performance im Backbone-Bereich deutlich zu wenig. Neue Ansätze sollen hier die Schmalbandverbindungen zum Internet erweitern und das gleichzeitig zu einem adäquaten Preis. Denn der Anwender wird kaum bereit sein, wesentlich höhere Tarifierung mit geringem Nutzungsgewinn zu vereinbaren. In Einzelfällen mag das wiederum nicht stimmen, wie bei der Telemedizin und Großkunden. Hier ist man bereit, höhere Kosten bezüglich der Installation und des Betriebes von neuen Übertragungswegen, z.B. Glasfaser, zu akzeptieren. Bei absolut fehlender Telekommunikationsinfrastruktur hilft aber auch das nicht weiter. Hier schließt die Satellitentechnik die letzte Lücke zwischen Kernnetz und Endkunden.

Heutige Carrier sind bei der sogenannten letzten Meile somit auf folgende Alternativen angewiesen:

- Flächendeckend vorhandene Kupferleitungen (POTS, ISDN, xDSL)
- TV-Kabelanschlüsse (CATV mit Kabelmodem)
- Starkstrom-Kupferkabel (Powerline)
- Glasfaseranschlüsse (FTTC, FTTB, FTTH, FTTCab)
- Herkömmliche und zukünftige Mobilfunksysteme (DECT, GSM, DCS-1800, UMTS)

- Optischer Richtfunk und klassische Richtfunksysteme
- Satelliten (GEO, VSAT, INMARSAT, IRIDIUM)

In diesem Bericht wird nur auf die vermeintlich drei wichtigsten Bereiche eingegangen, die in den nächsten Unterkapiteln erläutert werden. Der wahrscheinlich wichtigste ist dabei die xDSL-Technologie, da hier ein enormes Potential durch vorhandene Kupferleitungen vorhanden ist.

5.1 xDSL-Technologie

Die unterschiedlichen Möglichkeiten der digitalen Technologien für die Teilnehmeranschlußleitung ist deshalb von immenssem Interesse, weil sie auf der vorhandenen Infrastruktur aus verdrehten Kupferleitungen aufsetzt. Die verschiedenen xDSL-Techniken zeichnen sich dadurch aus, daß sie keine Verstärker für die Überbrückung der von der Übertragungsrate abhängigen Entfernung benötigen. Weiterhin ist xDSL zu den vorhandenen Übertragungstechniken wie ISDN, POTS und Festverbindungen kompatibel. Der einzige Unterschied besteht darin, daß der xDSL-Verkehr nicht wie sonst üblich über die Ortsvermittlungsstelle geleitet wird, sondern durch eine entsprechende Multiplexeinrichtung DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) ausgekoppelt wird. Hierbei sind asymmetrische und symmetrische Konfigurationen möglich. Die asymmetrische Variante ADSL wird vom ADSL-Forum unterstützt, welches im August 1997 bereits 269 Mitglieder beinhalten. ADSL stellt die wichtigste Technologie dar, weil immer mehr Telefongesellschaften in den USA ADSL für Internet-basierende Abrufdienste einsetzen, bei der es auf eine hohe Bandbreite in Richtung des Kunden ankommt.

Auslöser der xDSL-Entwicklung war der erhöhte Bedarf der Netzbetreiber nach kostengünstiger Bandbreite bis zu 2 MBit/s für den Einsatz im Ortsbereich. Bis dahin gab es T1- (USA: 1,544 MBit/s) und E1-Strecken (Europa: 2048 kBit/s), die zwei ineinander verdrehte Aderpaare im Ortsnetz für die Übertragung benötigten. Allerdings hatte man auch eine hohe Dämpfung in Kauf zu nehmen, da das Übertragungsverfahren und die Qualität der Aderpaare nur Übertragungstrecken von etwa 1 km zuließen. Zwischenverstärker für die Regeneration der Signale sind aber eine kostspielige Angelegenheit. Deshalb kam man auf die Idee, bessere Algorithmen und höhere Bitraten als herkömmliche Modems einzuführen, um die benutzte Bandbreite weit (400 kHz) hinter das Sprachband (4 kHz) zu verschieben und somit die vorhandene Bandbreite besser auszunutzen. Die High Data Rate Digital Subscriber Line (HDSL) wurde dadurch in erster Linie als kostengünstige Alternative zu den E1/T1-Leitungen entwickelt. In den entscheidenden Parametern stimmen beide Technologien überein, allerdings wurde durch ein anderes Leitungsprotokoll und leistungsstarke Echokompensation die drei- bis vierfache Leitungslänge ohne Zwischenverstärker überbrückt. Dieser Vorteil senkte nicht nur die Investitions- sondern auch die Betriebskosten.

Ein weiterer Vorteil von HDSL sind die relativ geringen Störungen zwischen den benachbarten Aderpaaren. Normalerweise werden die einzelnen Aderpaare in größeren Kabeln sehr eng mit vielen anderen Aderpaaren verlegt. Während bei E1/T1-Leitungen aufgrund der Einstrahlungen auf die Adern keine weiteren Anwendungen nutzbar sind, ist das bei HDSL anders. HDSL benötigt mit bis zu 240 kHz deutlich mehr Bandbreite als ISDN. Zusätzlich ist es nicht möglich den analogen Telefondienst POTS im gleichen Basisband auf der Leitung übertragen zu können. Eine gemeinsame Nutzung der Leitung ist somit nicht möglich. Unter Berücksichtigung der Störungen erfordert HDSL im Massengeschäft einen umfassenden und dadurch teuren Ausbau des Kabelnetzes. Daher gibt es HDSL-Systeme auch nur in geringen Stückzahlen, wodurch eine private Nutzung nicht in Betracht kommt.

Die Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) ist der Nachfolger der HDSL-Technologie und wurde bereits zu Beginn der 90er Jahre entwickelt. Während lange Zeit unterschiedliche Variationen der Hersteller im Umlauf waren, hat man sich nun auf einen gemeinsamen Standard geeinigt. Während mittels HDSL/SDSL breitbandige Duplexverbindungen hergestellt werden können, ist ADSL eher für unsymmetrische Anwendungen wie z.B. Video-on-Demand geeignet. Der Weg vom Teilnehmer ins Netz wird relativ schmalbandig betrieben, während das Netz zum Teilnehmer bis zu 8,2 MBit/s bereitstellt. Gleichzeitig hat man auch die Entfernung gegenüber HDSL vergrößert: ADSL schafft bei 2 MBit/s 4-6 km und bei maximaler Datenrate immerhin noch 2-3 km. Zusätzlich ermöglicht der ADSL-Standard eine flexible Aufteilung der Datenraten auf unterschiedliche Kanäle und somit eine Zuordnung der gesamten Kapazität zu verschiedenen Anwendungen. Die Abstufungen sind in Upstream-Richtung mit 16, 64, 160, 384, 576 und 768 kBit/s angegeben. Man kann die Kanalunterteilungen aber auch in kleineren Schritten vornehmen lassen. In Downstream-Richtung sind die Stufen 1,536, 3,072, 4,608 oder 6,144 MBit/s vorgesehen, die sich an die amerikanische T1-Hierarchie anlehnen. Zusätzlich lassen sich weitere schmalbandige Duplexkanäle einrichten. Ein ADSL-System enthält einen speziellen Steuerkanal mit 16 kBit/s bzw. 64 kBit/s Kapazität, der zwischen dem Netzknoten und dem Teilnehmer vorgesehen ist. Die Verwandtschaft zu ISDN ist offensichtlich, da ISDN den D-Kanal für die Zwecke besitzt.

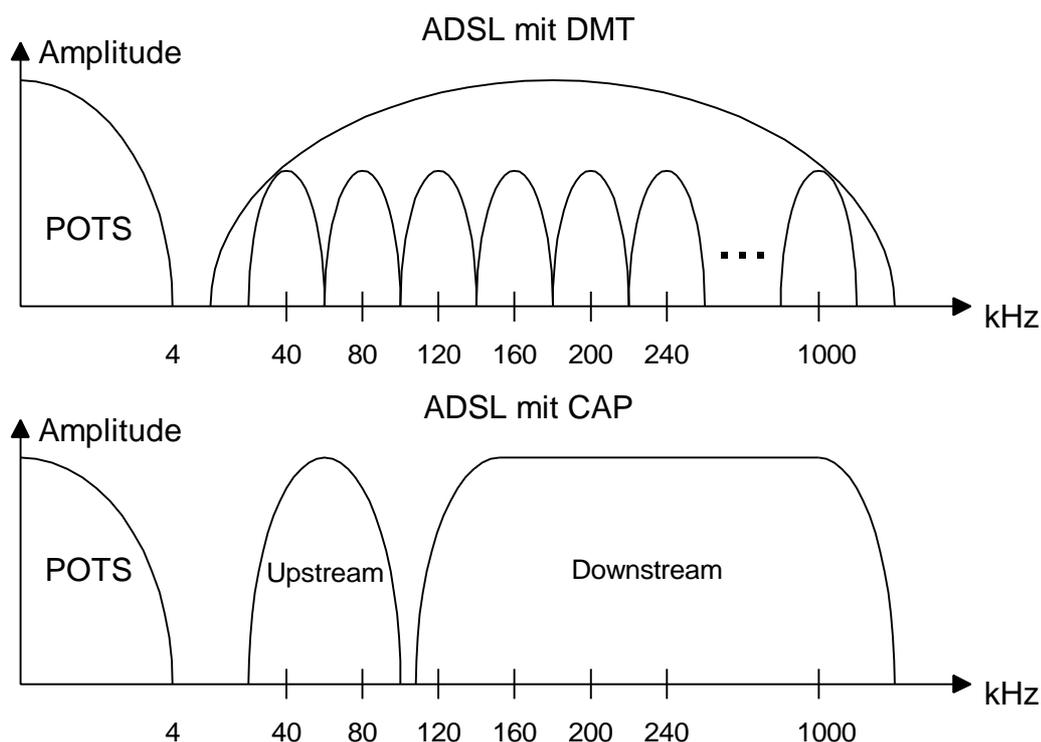


Abbildung 4: ADSL-Varianten

Außerdem integriert ADSL die analoge Telefonie und den digitalen Nachfolger ISDN. Die analogen Dienste wie Sprache, Fax oder Daten werden nach wie vor im Basisband auf der Kupferleitung übertragen. ADSL belegt erst den Frequenzbereich ab 20 kHz und überläßt POTS sein definiertes Frequenzspektrum. Die Zusammenführung beider Welten, auf der einen Seite Kupfer und die Trennung auf ADSL und POTS, ermöglichen sogenannte POTS-Splitter. Diese sind in Bau-

gruppen integriert und in jeder ADSL-Übertragungseinheit vorhanden. Sie übernehmen die Hoch- und Tiefpaßfilterung der unterschiedlichen Signale. Der ISDN-Dienst wird dagegen komplett (2 B-Kanäle und 1 D-Kanal) in einen der möglichen 160-kBit/s-Kanäle von ADSL verlegt und innerhalb des Systems übertragen. Aus Gründen der Dämpfung und die damit verbundene weitere Einschränkung der Reichweite haben zu dieser Lösung geführt, da der Verbleib von ISDN im Basisband eine zu hohe Verschiebung des ADSL-Spektrums zur Folge gehabt hätte. Nachteilig bleibt für ISDN, daß die Funktionalität unmittelbar von ADSL abhängig ist, die Notstromversorgung durch die Vermittlungsstelle nicht ermöglicht wird und höhere Signallaufzeiten auf der Übertragungsstrecke in Kauf genommen werden müssen.

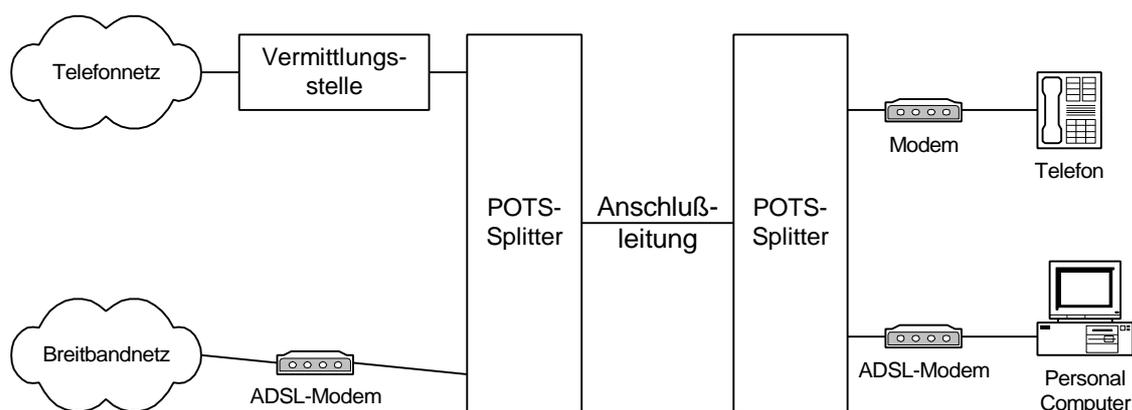


Abbildung 5: Mögliche ADSL-Konfiguration

Die ersten ADSL-Systeme nutzten zur Trennung des Upstream- vom Downstream-Kanal getrennte Frequenzbereiche (Frequenz Division Multiplex – FDM). Die Übertragungseigenschaften der Kupferleitung mit steigender Frequenz läßt aber deutlich nach. Aus diesem Grund nutzen heutige ADSL-Systeme ein Übertragungsverfahren, bei dem der untere Frequenzbereich in beide Richtungen belegt wird. Die Trennung Upstream und Downstream übernimmt eine technisch aufwendige Echokompensation. Momentan lassen sich zwei unterschiedliche Varianten ausmachen: Im Einsatz ist Carrierless Amplitude/Phase Modulation (CAP) und Discrete Multi Tone Modulation (DMT). Die Unterschiede werden in Abbildung 4 verdeutlicht. CAP ist eine Variante der Quadratur Amplitude Modulation (QAM). Das Ergebnis der nur mit digitalen Filtern arbeitenden Methode ist ein Signal, das den eigentlichen Träger nicht mehr enthält. Die Trennung von Send- und Empfangsrichtung erfolgt durch die Nutzung unterschiedlicher Frequenzbänder auf der Kupferleitung. Im Gegensatz dazu ist DMT ein Multi-Träger-Verfahren. DMT benutzt in Upstream-Richtung 32 und in Downstream-Richtung 256 Kanäle mit je 4 kHz Bandbreite. Jeder einzelne Unterkanal wird separat durch ein Modulationsverfahren optimiert, wodurch die Leitungsstörungen wesentlich effizienter aufgefangen werden können. Die CAP-Technologie war hinsichtlich Entwicklung und Erprobung weiter fortgeschritten, war kostengünstiger zu implementieren, erforderte weniger Leistung und ist unempfindlicher gegenüber Störungen im Zeitbereich. Die DMT-Technologie dagegen ist unempfindlicher gegenüber Störungen im Frequenzbereich. Das Standardisierungsgremium ANSI entschied sich inzwischen für DMT, da die Vorteile wie hohe Leistung bei vertretbarem technischen Aufwand, adaptive Fähigkeiten, hohe Bitraten-Flexibilität und Stabilität bei Zustandsänderungen auf der Leitung ausschlaggebend waren.

Die Single Line Digital Subscriber Line (SDSL) ist im Grunde sehr gut mit HDSL vergleichbar. Einziger Unterschied zu HDSL stellt die Verwendung von nur einem einzelnen Adernpaar dar. Dadurch läßt sich auch nicht die gleiche Bandbreite übertragen, wie bei HDSL. Zusätzlich nutzt SDSL normalerweise Frequenzen oberhalb von POTS, wodurch der analoge Telefondienst parallel genutzt werden kann. In Kauf muß man dabei die Entfernungsbeschränkung auf 3,5 km nehmen, die etwas geringer ausfällt als bei HDSL. Damit ist gleichzeitig ein großer Teil der Anschlußleitungen nicht zu überbrücken, was letztendlich ebenfalls den Einsatz im Massengeschäft verhindert.

Obwohl inzwischen sehr viele Feldversuche stattgefunden haben, hat ADSL bisher keine größere Verbreitung gefunden. Die größte Hürde stellen hierbei die hohen Kosten für die Installation von ADSL beim Teilnehmer dar. Sowohl CAP als auch DMT erfordern die Installation eines Filters (Splitter) beim Teilnehmer, um die Frequenzbänder für Telefonie und ADSL zu trennen. Zusätzlich wird ein Kabel vom Splitter zum ADSL-Modem benötigt. In der Ortsvermittlungsstelle müssen die DSL-Teilnehmer-Multiplexer (DSLAM) entsprechend installiert werden, wodurch ein hoher Kapital- und Arbeitseinsatz erforderlich wird. Aufgrund dieser Nachteile entwickelte die Firma Rockwell eine neue Version der ADSL-Technologie, die speziell für die Bedürfnisse und Anforderungen des Massenmarkts entwickelt wurden: Consumer DSL. Die Datenrate wurde hierbei auf 1 MBit/s festgelegt, was nach durchgeführten Studien erst einmal für den Endkunden als ausreichend bezeichnet wurde. Dadurch sinkt die Netzlast und preiswertere Modems konnten entwickelt werden. Ein zusätzlicher Splitter wird nicht mehr benötigt, da das Modem direkt an die Telefonbuchse angeschlossen wird. Der Teilnehmer bleibt trotzdem während Online-Sitzungen im WWW erreichbar. Zur Trennung der Frequenzbereiche für Telefonie und Datenübertragung werden unterschiedliche Modulationsverfahren eingesetzt, die entweder frequenz- oder amplitudenmoduliert sind. Das CDSL-Verfahren stellt sich auf die gewünschte Frequenz ein und ignoriert alle anderen eintreffenden Frequenzen, wodurch Störungen ausgeschlossen bleiben, da sie dem unteren Frequenzbereich zugeordnet werden.

Um die Anschaffungskosten für das CDSL-Modem gering zu halten, plant Rockwell die Preise für ein CDSL-Chipset in die Größenordnung eines modernen analogen Modems zu setzen. Die Installationskosten für den Endkunden entfallen, da das Modem nur an die Telefondose angeschlossen werden muß. Die Vermittlungsstelle benötigt indessen ein DSLMA mit DSL-Modem und Splitter. Diese Kosten sind allerdings vom Carrier zu tragen. Die Chipsets sollten für einkanalige und mehrkanalige Anwendungen einsetzbar sein, um die Installationskosten des Carriers so gering wie möglich zu halten.

Wer trotzdem höhere Bandbreite benötigt, als CDSL und ADSL kann auf Very high bit rate Digital Subscriber Line (VDSL) zurückgreifen, da bei 6-8 MBit/s eine Kupferleitung immer noch nicht voll ausgenutzt ist. Wenn der Carrier die Reichweite weiter reduziert, sind höhere Datenraten denkbar. Die meisten heutigen Telefonnetze sind Hybridnetze, bei denen Glasfaser und Kupfer gleichermaßen eingesetzt werden. Dabei wird die Glasfaser zunehmend im Ortsbereich verwendet. In einem solchen Hybridnetz beträgt die Länge des kupferbasierten Leitungsendes bis zum Teilnehmer oft nur 100 bis 2000 Meter. Hierfür wird die nächste Generation VDSL entwickelt. Im Unterschied zu ADSL soll hierbei auch ISDN im Basisband verbleiben. Unterschiedliche Modulationsverfahren sind noch in der Diskussion: CAP, DMT, DWMT, SLC. Wie sich VDSL am Markt etabliert bleibt abzuwarten, da auch hier die Installation und Einführung erhebliche Kosten verursachen wird. Deshalb ist hier auch kein Massenmarkt zu erwarten.

	ADSL	CDSL	SDSL	HDSL	VDSL
Bezeichnung	Asymmetric DSL	Consumer DSL	Single Line DSL	High Data Rate DSL	Very High Data Rate DSL
Datenrate Upstream	16 bis 768 kBit/s	128 kBit/s	768 kBit/s	1,544/2,048 MBit/s	1,5 bis 2,3 MBit/s
Datenrate Downstream	1,5 bis 8,2MBit/s	1 MBit/s	768 kBit/s	1,544/2,048 MBit/s	13 bis 52 MBit/s
Max. Entfernung	5,5 km	5,5 km	3,5 km	4 km	1,5 km
Adernpaare	1 Paar	1 Paar	1 Paar	2 Paare bei T1 3 Paare bei E1	1 Paar
Standard	ANSI T1.413, ETSI	Proprietär von Nortel/Rockwell	Ja	Ja	In Arbeit bei der T1E1.4/ETSI
Anwendungen	Internet-Zugang, Video, High-Speed-Kommunikation, POTS	POTS, Internet-Zugang	E1/T1-Dienste, WAN/Server-zugänge	High-Speed-Kommunikation über Festverbindungen	Internet-Zugang, Video, High-Speed-Kommunikation, POTS

Tabelle 1: Die wichtigsten xDSL-Technologien

5.2 TV-Kabelmodem

Die Idee über Kabelmodem Internet-Access anzubieten ist im Grunde schon etwas länger vorhanden. Der Vorteil eine bestehende Infrastruktur zu nutzen liegt ja auch auf der Hand. Allerdings ist dabei folgendes Problem zu beachten: Das Kabelfernsehtnetz liegt grundsätzlich in Hand der Deutschen Telekom und nur rund zwei Drittel der Haushalte werden von anderen Anbietern versorgt. Diese Anbieter tragen allerdings nur die Verantwortung für das letzte Stück der Kundenanbindung. Solange aber die Telekom ihr TV-Kabelnetz nicht aufrüstet, um es rückkanalfähig zu machen, ist es unmöglich für die konkurrierenden Unternehmen, selbst in den Markt einzusteigen. Ein Verkauf des Netzes steht ebenfalls nicht zur Diskussion, obwohl die Deutsche Telekom AG keine Gewinne einfährt. Dieses Netz wäre aber eine sehr gute Möglichkeit multimediale Applikationen über das Weitverkehrsnetz sofort nutzen zu können. Die Deutsche Telekom AG setzt aber momentan stark auf ISDN, da auch hier die enormen Entwicklungskosten wieder eingespielt werden müssen. Die xDSL-Technologie stellt dabei natürlich eine erhebliche Konkurrenz dar, da hiermit erhöhte Kapazitäten im MBit/s-Bereich über das herkömmliche Leitungsnetz möglich geworden sind.

Die Deutsche Telekom AG bleibt erst einmal der dominierende Anbieter im TK-Markt und wird es in den nächsten Jahren auch bleiben. Ihr Marktanteil wird aber in absehbarer Zeit deutlich von 80% auf 60% abnehmen. Unternehmen wie o.tel.o haben eigene Lösungen parat und werden auch Internet-Access über Kabelmodems anbieten, wie Abbildung 6 verdeutlicht.

Dieser Marktverlust der Telekom wird allerdings durch erhöhten Umsatz und das schnelle Wachstum des Marktes aufgefangen, so daß man hier nicht von hohen Verlusten ausgehen kann. Alle neuen Carrier oder Carrier-Segmente haben ein Wachstumspotential, das aber durchaus unterschiedlich ausfallen wird. Beispielsweise will sogar Intel als erster Hersteller der Branche die neue Kabelmodem-Generation mit einer modernen Schnittstelle verfeinern. In Zusammenarbeit mit CableLabs sollen die neuen Modelle wahlweise über den FireWire- oder den USB-Port an den Computer angeschlossen werden.

Kabelmodems sind aufgrund der angesprochenen Problematik derzeit noch recht selten anzutreffen, können aber über TV-Kabel immerhin bis zu 36 MBit/s übertragen. Aktuelle Modelle werden noch über Ethernet-Schnittstelle 10BaseT an den Computer angeschlossen, welches maximal 10 MBit/s schafft. USB erreicht bis zu 12 MBit/s, FireWire sogar bis zu 400 MBit/s. Der neue (1996) Bus-Standard Universal-Serial-Bus (USB) ist eine Schnittstelle, die bis zu 127 Peripheriegeräte anschließen kann. Dazu gehören Tastatur, Maus, Drucker, Monitor, Lautsprecher, Modem usw. Das Ziel ist, für alle Peripheriegeräte nur ein Kabel mit einer Schnittstelle zu verwenden und mit Plug-and-Play-Fähigkeit zu kombinieren. Die führenden IT Firmen wie IBM, Microsoft, Intel, DEC, Compaq, NEC und Northern Telecom haben gemeinsam die USB Spezifikation (Rev. 1.0 1996) entwickelt. Andere Firmen wie Siemens und Philips unterstützen ebenfalls diesen Standard. Das USB Implementor Forum nimmt die Koordination der Weiterentwicklung und Vermarktung der Spezifikation wahr (<http://www.usb.org>). Die lästige Aufgabe, jede anzuschließende Einheit jedesmal neu zu konfigurieren, entfällt durch USB. Das gleiche gilt für FireWire.

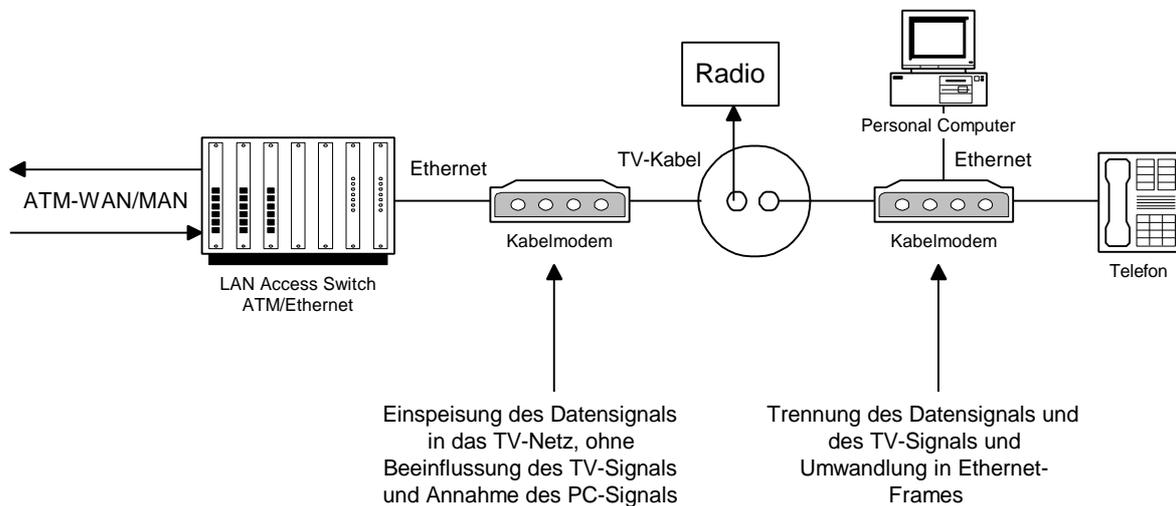


Abbildung 6: TV-Kabelmodem-Einsatz mit ATM-Backbone

Internet-Access über das TV-Kabel wird auf jeden Fall auch durch Internet-fähige TV-Geräte immer interessanter und eine preiswerte Alternative zur ADSL-Technologie werden, da nur ein zusätzliches Modem beschafft werden muß. Somit wird Fernsehen und Internet, nach der Vision japanischer Hersteller wie beispielsweise Toshiba, Sharp, Fujitsu und Mitsubishi, miteinander verschmelzen. Inwieweit das der Endkunde akzeptiert, bleibt abzuwarten.

5.3 Satellitentechnologie

Die Satellitentechnologie stellt eine interessante Variante für den Zugriff auf das Internet dar, gerade bei fehlender Infrastruktur oder vorhandenen schmalbandigen Netzen. Der Satellitendienst DirecPC bietet bereits eine Zugangstechnik für das Internet an und das in einer Übertragungsrate von 400 kBit/s. Dabei bedient sich diese Technologie offener Standards. Der EUTELSAT-Satellit schickt die Daten mittels Digital Video Broadcasting (DVB) und MPEG-II-Verfahren an die Teilnehmer. Dabei sind extra Hardware-Karten erforderlich, die den Satelliten-Receiver enthalten. Zusätzlich sind weitere Bausteine auf der Karte nötig, die aus den Satellitendaten einen

IP-Datenstrom erzeugen. Dieser wird über Treiber an das Betriebssystem und schließlich zu einer Internet-Anwendung wie einem WWW-Browser oder einem FTP-Client geliefert. Das DVB-Board ist zuständig für die Demodulation, Decodierung, Demultiplexing und Rekonstruktion der IP-Pakete sowie die Weiterleitung an die jeweiligen Anwendungen. Dabei sind eine Reihe von Internet-Protokollen wie TCP, IP, UDP und HTTP im sogenannten Forward Channel des DVB implementiert. Weiterhin wird durch das Empfangssystem eine Vorwärtsfehlerkorrektur durchgeführt und Erweiterungen des Advanced Data Broadcasting Systems (ADBS) sind verfügbar. Diese bieten in den unteren Schichtebenen Adreß- und Routing-Funktionen und in den oberen Schichten Filterfunktionen. ADBS bietet geschützte Zugriffe in verschiedenen Varianten (Conditional Access, Security, Privacy). Darüber hinaus läßt sich jede Station über ihre Hardware-Adresse individuell ansprechen. Die Zustellung an den richtigen Adressaten soll aber neben der Paketadressierung die DES-Verschlüsselung gewährleisten.

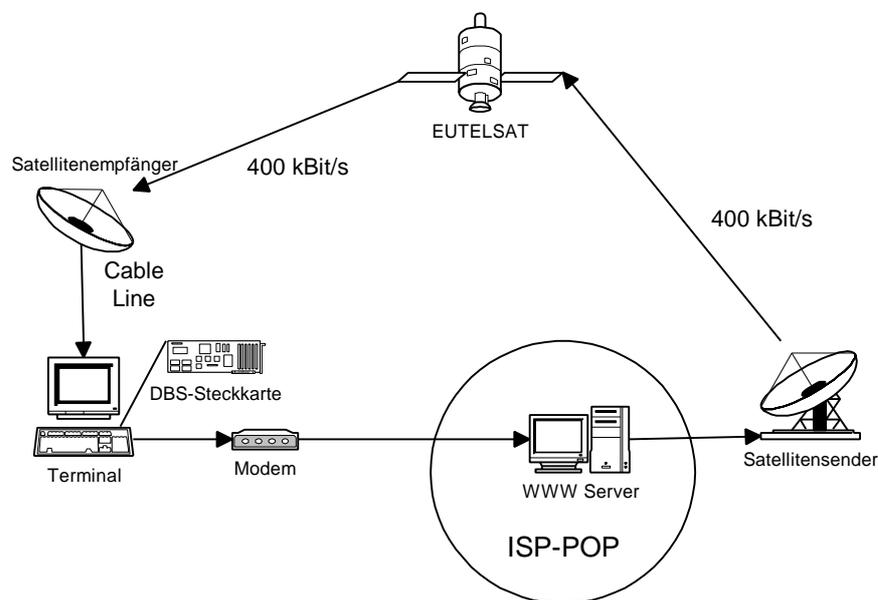


Abbildung 7: Satellitenverbindung via EUTELSAT

Man unterscheidet zwei Systemkomponenten. Den Uplink bildet die Basisstation, die als DVB-Rundfunksender und Satelliten-Gateway fungiert. Der Downlink besteht aus dem PC des Endanwenders, der Internet- und Datenrundfunkdienste empfängt (siehe Abbildung 7). Die Basisstation beinhaltet einen DVB-Uplink und einen Satelliten-Router/Server. Sie liefert IP-Pakete als MPEG-2-Daten. Darüber hinaus fungiert die Basisstation als Proxy-Server. Diese Serverart legt oft angeforderte Daten lokal in einem Speicher ab und kann sie dann bei erneuter Anforderung ohne Verzögerung des restlichen Internet und mit voller Geschwindigkeit an den Empfänger schicken.

DirecPC läßt sich in drei Modi betreiben: interaktiv, teilweise interaktiv sowie passiv. Der interaktive Modus kommt für Browser-Zwecke zum Einsatz. Das heißt, man fordert die Daten über das Modem an und bekommt sie über den Satelliten geliefert. Bei halbinteraktiven Anwendungen wie etwa Near-Audio-on-Demand oder Near-Video-on-Demand wird die Anforderung über denselben Weg abgeschickt, die Modemverbindung ist aber anschließend unnötig und kann abgeschaltet werden. Bei passiven Operationen werden einmalig angeforderten Daten ständig empfangen und aus dem übrigen Datenstrom gefiltert. Eine Modemverbindung ist dafür nicht erforderlich. Beispielsweise würden Online-Magazine, Finanzreports oder Wettervorhersagen mittels

passiver Operationen auf den heimischen Rechner geliefert werden. Die verschiedenen Modi besitzen natürlich auch eine unterschiedliche Tarifierung. Diese hängt zusätzlich von den Volumengrenzen ab, die bis zu 5 GByte betragen können. Dabei ist die Satellitenanbindung im Vergleich zu den beiden anderen Lösungsvorschlägen über bestehende Kupferleitungen teurer. Einsparungsmöglichkeiten bieten sich durch die Bildung von Arbeitsgruppen, wodurch der Internet-Access nicht ausschließlich von einer Person genutzt wird. Spezielle Netzwerktreiber sind dafür aber notwendig, da DirecPC eigentlich nur für Einzelplatzbetrieb ausgelegt ist.

Nachdem man DirecPC Internet-Dienste über Satellitenverbindungen eingeführt hat, arbeiten nun Adaptec (<http://www.adaptec.com>) und CyberStar (<http://www.cyberstar.com/home2.html>) zusammen, um diesen Service ihrerseits anzubieten. In diese Verbindung bringt Adaptec die Satellite Express Receiver Card ABA-1040 ein, während CyberStar über die Satelliten seiner Muttergesellschaft Loral Space & Communications die Netzwerkdienste zur Verfügung stellt. Ab Herbst 1998 soll das System Downloads, digitalen Fernsehempfang und Webcasting mit bis zu 30 MBit/sec erlauben. Für alle Übertragungen in Gegenrichtung, also vom heimischen Computer ins Netz, wird wie bei DirecPC eine traditionelle Modem- oder ISDN-Verbindung benutzt. Außerdem kündigt Adaptec an, mit dem Satellitenbetreiber EUTELSAT zu kooperieren. EUTELSAT bietet im Gegensatz zu CyberStar bereits Datendienste an, so daß dieser Service schon demnächst in Betrieb gehen könnte.

Bleibt abschließend noch das LEO-Satellitensystem zu erwähnen, das mit Hilfe von Bill Gates und Boing gebaut wird. Das breitbandige Internet-in-the-Sky-Projekt soll Übertragungsraten von bis zu 64 MBit/s für Uplink und bis zu 2 MBit/s als Downlink weltweit an jedem beliebigen Punkt zur Verfügung stellen. Für die Realisierung bis zum Jahr 2002 sollen ca. 300 Satelliten in eine erdnahe Umlaufbahn geschossen werden. Das sind allerdings noch reine Zukunftsperspektiven.

6 Zukunftsaussichten: Internet-2

Um wieder höhere Bandbreiten und effizienteren Datenaustausch auf wissenschaftlicher Ebene nutzen zu können und gleichzeitig neue Technologien für die Zukunft auszuprobieren, ist ein eigenes Netzwerk, auch Internet-2 genannt (<http://www.Internet2.edu>), in den USA zwischen verschiedenen Universitäten entstanden. Unterstützt wird das Netz zusätzlich durch Unternehmen wie Cisco, Digital Equipment, IBM, Sun Microsystems, Sprint und MCI. 112 Universitäten sind an dem Netz beteiligt und planen Forschungspersonal sowie -mittel für die neue Infrastruktur ein. Das sind Forschungsmittel von ca. 50 Millionen Dollar. Hinzu kommen 10 Millionen Dollar Equipment aus der Industrie.

Internet 2 nutzt als Kernnetz ein 622-MBit/s-ATM-Netz, welches ursprünglich von MCI 1995 zur Vernetzung von verteilten Supercomputern in Rechenzentren zur Verfügung gestellt wurde. Darauf werden neue Protokolle wie RSVP, RTP und IPv6 getestet. Inzwischen ist auch die amerikanische Regierung mit dem Projekt Next Generation Internet (NGI) an dem Netz beteiligt. Ziel ist es, eine zweite Generation des derzeitigen Internet zu unterstützen, damit führende Universitäten und nationale Labors wesentlich effizienter untereinander kommunizieren und kooperieren können (<http://www.ngi.gov>). Für die nächsten fünf Jahre sind dabei Kosten an die 100 Millionen Dollar jährlich geplant. Weiterhin sollen verbesserte Netzwerkdienste und Multimedia-Anwendungen implementiert werden. Dazu gehören dynamisch selektive Services wie garantierte maximale Verzögerungsrate, niedriger Datenverlust und hohe Kapazität.

Die Verbesserung der Netzknotentechnik GigaPoP (Gigabit Point-of-Presence) steht derzeit im Mittelpunkt der Entwicklung. Ein GigaPoP ist ein Punkt im Netz, an dem die Verbindungen zu einem oder mehreren Mitgliedern des Internet-2-Projekts und einem oder mehreren Service Providern zusammentreffen. Typische Verbindungen sind ATM- oder SONET-Verbindungen mit sehr hohen Datenraten. Ein großer Vorteil ist dabei die dynamische Bereitstellung von Diensten, die ein Applikationsspektrum mit unterschiedlichen Anforderungen an die Bandbreite sowie Qualität der Verbindung unterstützt und gleichzeitig einen Trägerdienst aufrechterhalten. Somit können Endbenutzer Dienstmerkmale wie Kapazität und Verzögerung selbst bestimmen. Zusätzlich können so Kosten hinsichtlich der Unterstützung unterschiedlicher Dienstklassen abgeschätzt werden. Der Trägerdienst ist die grundlegende Transportschnittstelle für die Kommunikation im WAN. Momentan wird dies von IPv4 übernommen, soll aber so schnell wie möglich durch IPv6 ersetzt werden.

In der ersten Projektphase werden bis zu 30 GigaPoP-Knoten eingerichtet, die OC-12-Verbindungen mit 622 MBit/s besitzen, Switchen und Routen der Datenströme übernehmen, die Internet-Generationen IPv4 und IPv6 unterstützen sowie Routing/Signalisierungsprotokolle (MOSPF und RSVP) unterstützen. Zusätzlich enthält ein GigaPoP SONET/ATM-Multiplexer, wodurch Verbindungskapazitäten unterschiedlich vergeben werden können. ISPs werden an die GigaPoP-Knoten angeschlossen und stellen die Verbindung zwischen den Knoten untereinander sowie den Knoten des kommerziellen Internets her. Dadurch ist ein Zugriff auch auf das jetzige Internet möglich. Die National Science Foundation (NSF) ist dabei, ihre vBNS-Infrastruktur (very High Performance Backbone Network Service) mit High Performance Verbindungen zu erweitern, um bis zu 100 Sites an den derzeitigen OC-3/12-Backbone anzuschließen. Diese Architektur könnte man als erstes Verbindungsnetzwerk zwischen den GigaPoP-Knoten nutzen. Spannend bleibt die Frage inwieweit sich neue Internet-Protokolle und ATM im Kernnetz gegenseitig unterstützen, um z.B. garantierten QoS zu unterstützen. Diese Erfahrungen werden für das zukünftige Internet elementar sein.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Detken, Kai-Oliver: ATM in TCP/IP-Netzen – Grundlagen und Migration zu High Speed Networks; 1. Auflage; ISBN: 3-7785-2611-1; Heidelberg 1998
- [2] Detken, Kai-Oliver: Der Asynchrone Transfer Modus (ATM) in der Internet-Protokoll-Umgebung; Handbuch der Telekommunikation; Deutscher Wirtschaftsdienst; John von Freyend GmbH; Köln 1998
- [3] Detken: Echtzeit für IP - RSVP, Teil 1: Die technischen Grundlagen; Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, Gateway 03/98; Hannover 1998
- [4] Detken: Datenströme - RSVP, Teil 2: Erste Produkte; Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, Gateway 04/98; Hannover 1998
- [5] Kafka, Gerhard: ISDN geht, XDSL kommt – Kupfer gehört noch lange nicht zum alten Eisen; DATACOM 01/98; Bergheim 1998
- [6] Tillmann, Wolfgang: Internet-Schnellbahn für jedermann – Highspeed-Technik fürs Wohnzimmer; c't-Magazin 11/97; Heinz Heise Verlag; Hannover 1997
- [7] Henderson, Michael: Consumer DSL von Rockwell: Preiswerte Alternative zu ADSL; LANLine 03/98; Awi LANLine Verlagsgesellschaft mbH; Trostberg 1998
- [8] Cianciolo, Dr. Sabine: US-Universitäten bauen Internet 2 - Überholspur für Forscher; Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, Gateway 12/97; Hannover 1997
- [9] Zivadinovic, Dusan: Internet-Rundfunk: DirecPC - bis zu sechsmal schneller als ISDN; c't-Magazin 09/97; Heinz Heise Verlag; Hannover 1997

8 Abkürzungsverzeichnis

ADBS	Advanced Data Broadcasting Systems
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANSI	American National Standards Institute
ARPANET	Advanced Research Project Agency Network
ATM	Asynchroner Transfer Modus
ATMARP	ATM Address Resolution Protocol
BSB	Blockate State Block
B-WIN	Breitband-Wissenschaftsnetz
CAP	Carrierless Amplitude/Phase Modulation
CDSL	Customer Digital Subscriber Line
CLIP	Classical-IP
DARPA	Defence Advanced Research Project Agency
DECT	Digital European Cordless Telecommunication
DWMT	Discrete Wavelet Multi Tone
DMT	Discrete Multi Tone Modulation
DNS	Domain Name Service
DFN	Deutsche Forschungsnetz
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DVB	Digital Video Broadcasting
ELAN	Emulated LAN
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FDM	Frequenz Division Multiplex
FTP	File Transfer Protocol
GigaPoP	Gigabit Point-of-Presence
GSM	Global System for Mobile communication
HDSL	High Data Rate Digital Subscriber Line
HTTP	HyperText Transport Protocol
ICI	Information Science Institute
IETF	Internet Engineering Task Force
IPv4	Internet Protocol Version 4
IPv6	Internet Protocol Version 6
ION	Internetworking Over NBMA
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Standardization Union
LAN	Local Area Network
LANE	LAN Emulation
LIS	Logical IP Subnet
LUB	Least Upper Bound
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MARS	Multicast Resolution Server
MPEG	Motion Pictures Expert Group

MPLS	Multi-Protocol Label Switching
MPOA	Multiprotocol-over-ATM
MOSPF	Multicast Open Shortest Path First
MTU	Maximum Transport Unit
NBMA	Non-Broadcast Multiple Access
NFS	Network File System
NGI	Next Generation Internet
NNTP	Network News Transport Protocol
NHRP	Next-Hop Resolution Protocol
NSF	National Science Foundation
PC	Personal Computer
P-NNI	Private Network Network Interface
POP	Point of Presence
POTS	Plain Old Telephone System
PSB	Path State Block
PVC	Permanent Virtual Connection
QAM	Quadratur Amplitude Modulation
QoS	Quality-of-Service
RFC	Request for Comments
RPC	Remote Procedure Call
RESV	RSVP Reservation Request
RSB	Reservation State Block
RSVP	Resource Reservation Protocol
SDSL	Single Line Digital Subscriber Line
SLC	Simple Line Code
SNA	System Network Architecture
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SONET	Synchronous Optical Network
SVC	Switched Virtual Connection
TCP	Transmission Control Protocol
TCSB	Traffic Control State Block
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USB	Universal-Serial-Bus
VC	Virtual Connections
VDSL	Very high bit rate Digital Subscriber Line
VPN	Virtual Private Network
VoD	Video-on-Demand
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web
XDR	External Data Representation
xDSL	Digital Subscriber Line; x = unterschiedliche Verfahren