

Broadband Networking, ATM, SDH, FMI, IP: ATM-Technik im Feld (Symposium II-3)

Quality-of-Service (QoS) versus Class-of-Services (CoS)

Garantierte Dienstgüte in IP- und ATM-Netzen

Dipl.-Ing. Kai-Oliver Detken (<http://kai.nord.de>) ist Leiter des Competence Center Future Knowledge (CC-FK) bei der OptiNet GmbH (<http://www.optinet.de>). Im November 1999 übernahm die WWL Internet AG (<http://wwl.de>) die OptiNet GmbH, wodurch neue Geschäftsbereiche hinzukamen. Seit Januar 1999 leitet Kai-Oliver Detken deshalb nicht nur den Bereich CC-FK, sondern ist auch Leiter des Geschäftsbereichs wwl.network für Bremen, welcher aus zwei weiteren Competence Centern (Operation System und Internetworking) besteht. Seine Hauptbetätigungsfelder sind High-Speed-, Security- und Internet-Lösungen. Zusätzlich ist er für verschiedene Verlage aktiv. Seine bekanntesten Bücher „ATM in TCP/IP-Netzen“ und „Local Area Networks“ sind beim Hüthig-Verlag in Heidelberg erschienen.

1 Einleitung

Die heutige Entwicklung zeichnet sich durch eine zunehmende Digitalisierung im Bereich Audio und Video sowie bei Bilddaten aus. Dies erfordert eine Übertragung in Echtzeit bei hohen Datenraten. In Abhängigkeit der Verfahren werden dabei unterschiedliche Bandbreiten benötigt. Eine Übertragung mit Digital Video Broadcasting (DVB) liegt dabei zwischen 5 MBit/s (Zeichentrickfilm) und 25 MBit/s (Sportübertragung). Eine Übertragung mittels des High Definition Television (HDTV) kann sogar Datenraten bis 900 MBit/s annehmen, da hier keine Komprimierung eingesetzt wird. Bislang haben spezielle Breitbandnetze diesen Bedarf abgedeckt. Diese Netze hatten dabei alle etwas gemeinsam: sie waren unidirektional ausgelegt, analog und nicht kompatibel zu anderen Lösungen. Heute bevorzugt man flexible Rechnernetze mit bidirektionaler Datenkommunikation und dynamischer Nutzung eines Übertragungsmediums durch mehrere Stationen, um einen höheren Wirkungsgrad erreichen zu können. Dabei sind die pro Kanal nutzbaren Ressourcen des Mediums nicht erkennbar und damit von der aktuellen Auslastung des Netzes abhängig. Die Schlußfolgerung ist, daß keine Technologie bislang im LAN oder WAN den Echtzeitanforderungen heutiger multimedialer Anwendungen gewachsen ist – bis auf ATM.

Der Wunsch nach einer garantierten Dienstgüte, der sogenannten *Quality-of-Service (QoS)*, entstand aus der Entwicklung von ATM heraus, da man ein Zellen-basiertes Verfahren für den Transport von Sprache, Video und Daten entwickeln wollte. Im Gegensatz zu traditionellen LAN-Technologien oder dem Internet waren bislang keine Mechanismen vorhanden, um eine bestimmte Qualität definieren zu können. Weil ATM als erste Netztechnologie diesen Ansatz berücksichtigte, konnten QoS-Mechanismen implementiert und eingesetzt werden. Dies war eine grundlegende Anforderung an ATM, da die gesamte Telefonie einmal über das B-ISDN geroutet werden sollte. Aus der Sicht Anfang der neunziger Jahre war es deshalb selbstverständlich, daß nur ATM diese Merkmale bieten würde.

Inzwischen hat sich die TCP/IP-Protokollfamilie nicht nur im Internet durchgesetzt. Es entstehen immer mehr Intranets, die sich die Dienste des Internets zunutze machen. In ihrer Entwicklung in die sechziger Jahre zurückgehend, fehlen den Protokollen der TCP/IP-Familie jegliche Kontrollstrukturen, die einen QoS ermöglichen könnten. Ansätze, wie beispielsweise das *Resource Reservation Protocol (RSVP)*, gibt es, um diese inzwischen recht häufig gestellte Anforderung umzusetzen. Dabei muß man allerdings klar zwischen der garantierten Dienstgüte von ATM und den sogenannten *Class-of-Services (CoS)* unterscheiden. Diese bieten erstens keine garantierte Qualität für die Dauer der Verbindung an und zweitens gehen sie nicht auf Jitter und Verzögerungszeiten ein. Dies ist aber entscheidend für sensitive Daten wie beispielsweise die Sprache.

2 Definition der Dienstgüte

Das Hauptziel bei der Entwicklung von Rechnernetzen war und ist es, alle bisherigen Rechnernetze und Spezialnetze mit ihren Diensten in einem gemeinsamen Kommunikationsnetz münden zu lassen. Dabei geht es nicht alleine um die Erhöhung der Bandbreite, wie oft falsch angenommen wird, sondern auch um die Einbeziehung neuer Dienste und die optimale Auslastung eines Netzes. Zukünftig müssen Netze im LAN und WAN in der Lage sein, die gleichzeitige Übertragung von verschiedenen Datenformaten wie Audio, Video und Bilddaten über dasselbe Medium vornehmen zu können. Dies beinhaltet die Übertragung zeitkritischer Daten in *Echtzeit* sowie die optimale Auslastung der zur Verfügung stehenden Bandbreite bei gleichzeitiger Zuteilung gesicherter Datenraten an die einzelnen Anwendungen. Das hierfür geeignete Übertragungsverfahren muß also in der Lage sein, mögli-

che Datenformate bezüglich ihrer Anforderungen in Klassen zu gruppieren und eine entsprechende Dienstgüte bei der Übertragung zu gewährleisten.

Die Dienstgüte wird durch die Summe der Übertragungseigenschaften des (virtuellen) Kanals bestimmt, der für die Anwendung bereitgestellt wird. Je nach Art des Netzes wird zwischen zwei Arten des QoS unterschieden:

- Timeless QoS: Beschreibung der Dienstgüte in Abhängigkeit zeitlicher Aspekte der Übertragung.
- Connectivity QoS: Beschreibung der Dienstgüte in Hinblick auf den Kopplungsgrad an das dienst anbietende Netz.

Die Dienstgüte *Timeless QoS* richtet sich an die drahtgebundene Kommunikation. Sie ist für LANs entscheidend, da hier die Verfügbarkeit immer gewährleistet ist, im Gegensatz zur Mobilkommunikation. Die Dienstgüte wird hier anhand der Eignung des verfügbaren Kanals für eine Anwendung beschrieben. Um zwischen der Qualität unterscheiden zu können, lassen sich folgende Parameter nennen:

- Höhe des Datendurchsatzes
- Absolute Verzögerungszeit bei der Übertragung (Latenzzeit)
- Schwankung der absoluten Verzögerungszeit (Jitter)

Dabei muß man die Begriffe *Jitter* und *Latenzzeit* voneinander trennen. Die Latenzzeit spezifiziert die absolute Verzögerungszeit einzelner autonomer Dateneinheiten zwischen dem Sendevorgang und dem Empfang. Somit ist die Latenzzeit die Laufzeit, die ein einzelnes Bit benötigt, um vom Sender zum Empfänger zu gelangen. Im Gegensatz dazu ist der Jitter die zulässige Schwankung der Laufzeit. Das heißt, es gibt unterschiedliche Abstände der Datenpakete voneinander innerhalb eines Datenstroms. Datendurchsatz und Jitter sind damit für einen isochronen, kontinuierlichen Datenfluß ausschlaggebende Qualitätsparameter. Die Latenzzeit ist hingegen maßgeblich erforderlich, wenn es sich um Echtzeitsysteme handelt, die in verteilten Produktionsabläufen eingesetzt werden. Hierbei ist es wichtig, daß eine Steuerinformation innerhalb einer definierten Maximalzeit bei der Fertigungsinsel ankommt.

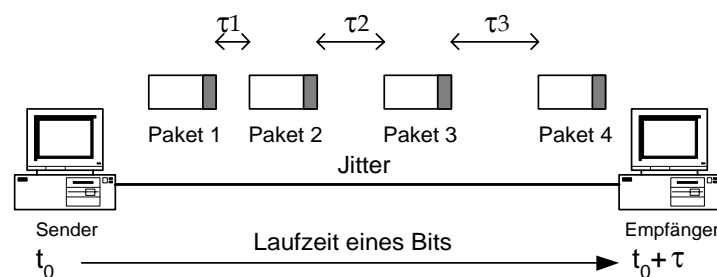


Abbildung 1: Jitter und Laufzeit eines Datenpakets

Die Dienstgüte *Connectivity QoS* erfaßt die Verfügbarkeit von nutzbaren Kanälen und damit die Kopplung von Stationen an das Übertragungsmedium. Die Verfügbarkeit ist besonders für die Mobilität der Datenendeinrichtung und deren Zugriffshäufigkeit auf die Ressourcen des Übertragungsmediums wichtig. Es wird dabei zwischen Netzen unterschieden, die ständig, nicht immer oder keine Kopplung an das Medium benötigen. Für die Betrachtung der Dienstgüte im LAN ist diese Dienstgüte nicht von Belang und wird deshalb auch hier nicht weiter beschrieben.

3 Dienstklassen von ATM

Um eine Dienstgüte (*Quality-of-Service*) einer virtuellen ATM-Verbindung anbieten zu können, sind bestimmte Dienstklassen definiert worden. Die dadurch mögliche Echtzeitfähigkeit ist für ATM von entscheidender Bedeutung. Keine andere Technologie ist in der Lage, isochrone Datenströme so zu handhaben wie der Asynchrone Transfer Modus (ATM). Reine Datenübertragung kann auftretende Zellenverluste immer durch Wiederholung der Daten ausgleichen. Dies ist bei der Echtzeitkommunikation via Audio und Video nicht möglich. Laufzeitschwankungen, sogenannte Jitter, stören hier empfindlich die Übertragungsqualität. Gerade bei der Sprachübertragung fallen kleinere Verzögerungen und Zellenverluste sehr unangenehm auf.

Die Hauptmotivation, um ATM einzuführen und weiter zu entwickeln, ist die Flexibilität von ATM sowie die Unterstützung existierender und neuer Dienste. Untersuchungen in europäischen Pilotprojekten haben jedoch bewiesen, daß die Verkehrskontrollfunktionen auf den Bedarf der speziellen Anwendungskategorien und ihren unterschiedlichen QoS-Anforderungen angepaßt werden müssen, um einen effizienten Transport der Daten gewährleisten zu können. Weiterhin existieren bedingt durch Verwendung des statischen Multiplexing keine inhärenten Bandbreitenbegrenzungen eines Kanals. Das bedeutet, bei dem ausschließlichen Angebot einer *Constant Bit Rate (CBR)* könnte unter schlechten Bedingungen das ATM-Netz bereits bei 40% voll belastet werden, da nicht alle Teilnehmer diese Bitrate vollständig ausnutzen. Damit die vorhandene Bandbreite intelligent ausgenutzt werden kann, hat das ATM-Forum und die ITU-T ATM-Dienstkategorien entwickelt, die verschiedene Verkehrsarten beinhalten und unterschiedliche Anforderungen an das Netz stellen. Diese ermöglichen eine Auslastung eines ATM-Netzes von 90 bis 100%. Somit kommen die folgenden Dienstklassen zum Einsatz, die durch verschiedene Verkehrskontrollfunktionen unterstützt werden:

- Constant Bit Rate (CBR)
- Real-time – Variable Bit Rate (rt-VBR)
- Non-real-time – Variable Bit Rate (nrt-VBR)
- Unspecified Bit Rate (UBR)
- Available Bit Rate (ABR)
- ATM Block Transfer (ABT)
- Deterministic Bit Rate (DBR)
- Statistical Bit Rate (SBR)

Die letzten drei Dienstklassen beziehen sich dabei auf die Spezifikationen der ITU-T und haben einen wesentlich geringeren Bekanntheitsgrad als die des ATM-Forums. Deshalb werden bei heutigen Produkten auch nur CBR, UBT und VBR erwähnt. ABR gibt es als ITU-T- und ATM-Forum-Spezifikation. Sie stellt aber eine kompliziertere Realisierung dar und ist deshalb in vielen Switches und Adapterkarten noch nicht integriert. Deshalb findet hier auch kein Vergleich dieser Dienstklasse statt.

Für Echtzeitübertragungen sind die Dienstklassen *CBR* sowie *rt-VBR* bestimmt. Die *CBR*-Dienstklasse benötigt eine ganz bestimmte Bandbreite und Dienstgüte, die weder signifikante Verzögerungen noch Jitter oder Zellenverluste erträgt. Typische Anwendungen sind Telefonie, Video-on-Demand (VoD) und Videokonferenzen. *Rt-VBR* verhält sich ähnlich zu *CBR*, wobei geringfügige Veränderungen der Bandbreite (z.B. Video) sowie kleinere Zellenverluste toleriert werden, da keine Sicherung der Übertragung gewährleistet wird. Die Sustainable Cell Rate (SCR) ist als zusätzlicher Parameter bei *rt-VBR* gegenüber *CBR* einge-

fügt worden. Die Verkehrsfestlegungen beider Klassen sind definiert und die benötigten Verkehrskontrollfunktionen leicht verständlich. Die Dienstklasse *rt-VBR* bietet hingegen die gesicherte Datenübertragung an. Das heißt, diese Verkehrsart unterstützt Resending-Eigenschaften, welche sich bei Echtzeitübertragungen negativ auswirken würden. Die Bandbreite wird statisch zugewiesen und ermöglicht ausschließlich Datenverkehr, beispielsweise die gesicherte Kommunikation zwischen zwei LANs. Während der Übertragung können Perioden ohne Datenverkehr auftreten. Somit ist die Verwaltung des VBR-Dienstes schwieriger, als das bei CBR der Fall ist.

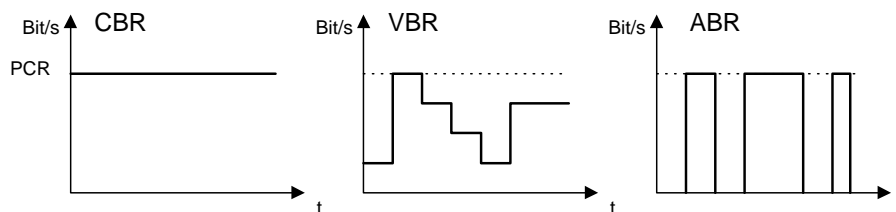


Abbildung 2: Typische Verkehrsprofile unterschiedlicher Dienstklassen

Unter der Dienstklasse *UBR* versteht man Datenverkehr, der keine Echtzeitfähigkeit benötigt. Anwendungen sind beispielsweise E-Mail- und Telnet-Applikationen, die Burst-Charakteristik aufweisen. Aus diesem Grund werden keine Spezifikationen, wie der QoS, benötigt. Damit bei UBR aber Netzwerkfunktionen sicher unterstützt werden, sind trotzdem einige Funktionen spezifiziert worden. UBR überträgt weiterhin die Daten mit der maximal zur Verfügung stehenden Geschwindigkeit. Bei dem Scheitern einer Datenübertragung durch zu hohen Zellenverlust wird der Transport zu einem späteren Zeitpunkt durch ein höheres Schichtenprotokoll (z.B. TCP) wieder aufgenommen. UBR ist damit mit dem Best-Effort im Internet zu vergleichen. Das heißt, die Bandbreite wird nur nach der Verfügbarkeit zugewiesen.

Als letzte wichtige Serviceklasse bleibt *ABR* zu nennen. Diese Klasse ist für zeit- und fehlerkritischen LAN-Datenverkehr geeignet. Das heißt, ABR besitzt burst-artige Eigenschaften wie sie im LAN (Ethernet, Token Ring, FDDI) entstehen. Während der kurzen Übertragungsphasen werden alle verfügbaren Zellen mit Nutzinformationen besetzt. Dabei wird die Bandbreite vom Netz elastisch zugewiesen. Im Unterschied zu UBR findet bei der ABR-Dienstklasse eine kontrollierte Einspeisung in das Netzwerk statt, wobei nicht nur der Burst, sondern auch Paketgrößen eine wichtige Rolle spielen. Die Paketgrößen bestehen aus der ATM Adaptation Layer Protocol Data Unit (AAL-PDU) und liegen meistens weit über der ATM-Zellengröße von 53 Byte. Die Übertragung in AAL-PDU-Paketen hat zur Folge, daß bei Datenverlust nur einer Zelle das gesamte Paket unbrauchbar wird. Für den ABR-Dienst ist der Verkehrsvertrag und das Rahmenwerk für die Rückmeldungskontrollen ebenfalls spezifiziert. Im Gegensatz zu VBR und CBR beschränkt das Netz automatisch die Anforderung der Endgeräte, um das Netz nicht zu überlasten. Allerdings haben nicht alle ATM-Switches diese Dienstklasse bereits integriert, da die Integration inklusive der Verkehrskontrollen anfänglich Probleme bereitete. ABR orientiert sich somit immer an der Netzauslastung und stellt dem Benutzer nur die freien Ressourcen zur Verfügung. Dabei ist der Benutzer auch in der Lage, die gewünschte Datenmenge skalierbar einzustellen.

Verschiedene Anwendungen besitzen unterschiedliche Anforderungen, wie Bitraten, Zellenverlustrate und Zeitverzögerung, um bestimmte Leistungskriterien erfüllen zu können. Deshalb hängt die Verkehrscharakteristik sehr davon ab, für welche Aufgaben die Applikationen entworfen und entwickelt wurden. Das Einrichten der Kontrollfunktionen zusammen mit

der Pufferarchitektur und den Dienstprioritäten wird für die effektive Unterstützung der verschiedenen QoS-Forderungen benötigt. Zusammengefaßt stellt dies eine integrierte Verkehrskontrollarchitektur dar. Dabei muß bei der Definition einer solchen Architektur sichergestellt werden, daß alle verschiedenen Dienstklassen mit ihren speziellen Kontrollfunktionen auf effektive Art und Weise miteinander kooperieren. Als Ergebnis werden definierte Parameter für die aktuelle Verbindung über einen Traffic Contract eingehalten. Dieser enthält Parameter, die zwischen dem Endgerät und dem ATM-Switch ausgehandelt werden und Verkehrsprofil, maximale Zeitverzögerung, zulässige Zellenverlustrate und Dienstgüte enthalten. Die *Usage Parameter Control (UPC)* überwacht dabei die Einhaltung des jeweils verhandelten Verkehrsprofils sowie die Richtigkeit der Pfad- bzw. Zellenidentifikation (VPI, VCI). Zusätzlich ermöglicht Policing das Verwerfen von Zellen, die den Traffic Contract nicht einhalten (z.B. Übertretung der Spitzenlast). Durch das Header-Bit *Cell Loss Priority (CLP)* können die Zellen einer niedrigen Priorität von vornherein zugeordnet werden, indem man CLP=1 setzt. Diese Zellen können dann bei starker Belastung des Netzes verworfen werden, um sensitive Daten zu schützen.

ITU QoS-Klassen	Dienstklasse	Anwendungen	ATM-Forum QoS-Klassen
Klasse 1	CBR Rt-VBR DBR	Standleitung Video	Klasse 1
Klasse 2	Nrt-VBR ABR ABT SBR	Paketierte Audio/Video-Verbindungen	Klasse 2
Klasse 3	Nrt-VBR ABR SBR	Verbindungsorientierte Datendienste (z.B. Frame Relay)	Klasse 3
-	UBR	Verbindungslose Datendienste (z.B. IP)	Klasse 4
-	-	Übertragung ohne definierte Parameter	-

Tabelle 1: QoS-Klassenzuordnung nach ITU-T und ATM-Forum

QoS hat in Abhängigkeit von dem Definitionszusammenhang sehr unterschiedliche Bedeutungen. QoS beschreibt im Grunde die Zusicherung eines bestimmten Dienstes, welcher einem Benutzer angeboten wird. Der Benutzer kann dabei aus einer Person oder einer Protokollschicht bestehen. Das heißt, der angebotene Dienst kann ein High-Layer-Service sein, wie das bei Videokonferenzanwendungen der Fall ist, oder ein Service der unteren Schichten nach dem OSI-Referenzmodell. Die Standardisierungsgremien der ITU und des ATM-Forums haben die QoS-Klassen jeweils unabhängig voneinander definiert. Dadurch unterscheiden sie sich zwar leicht, verhalten sich aber trotzdem komplementär zueinander. Man hat vor, in der Spezifikation des ATM-Forums Traffic Management 5.0 beide QoS-Klassen zusammenzuführen.

Die ITU-Definitionen der QoS-Klassen kann man als Anforderungen definieren, die von der ATM-Schicht festgelegt werden. Die QoS-Klassen, die der ATM-Schicht angeboten werden, sind nach der Empfehlung I.362 spezifiziert und um eine ATM Layer Traffic Control erweitert worden. Hierdurch kann die Lastverteilung optimiert sowie die Stärke und Dauer einer Netzüberlastung eingeschränkt werden. Die Spezifikationen des ATM-Forums

kann man hingegen auf die Anwendung direkt beziehen, wodurch sich die jeweiligen Anpassungsschichten (AAL Layer) sehr gut zuordnen lassen.

Vor einem Verbindungsaufbau werden Verhandlungen zwischen den ATM-Endgeräten und den ATM-Switches geführt, um die Übertragungsqualität über unterschiedliche Parameter festzulegen. Der Traffic Contract garantiert die Einhaltung dieser Parameter. Die Meßtechnik muß für die Überprüfung eine system- und netzunabhängige Vertragsprüfung durchführen und die Regelverstöße dokumentieren. Um den *QoS* garantieren zu können, sind die folgenden wichtigsten Verkehrs- und Performance-Parameter vereinbart worden, die eine Änderung des Verkehrsvertrags sofort anzeigen:

- Spitzenzellenrate (Peak Cell Rate – PCR): Zulässige Spitzenzellenrate, die nicht überschritten werden darf, es sei denn, es wird einer Überbuchung und damit Übertretung des Traffic Contract stattgegeben.
- Dauerhafte Zellenrate (Sustainable Cell Rate – SCR): Die zulässige Zellenrate, die für die Verbindung dauerhaft zur Verfügung gestellt werden kann. Dabei müssen alle definierten Verkehrsparameter eingehalten werden.
- Durchschnittliche Zellenverzögerung (Mean Cell Transfer Delay - MCTD): Dieser Wert wird durch die Aufenthaltsdauer der Zelle im ATM-Netz bestimmt und ist somit eine statistisch schwankende Größe. Durch diese Zufallsvariable sind N unabhängige Messungen erforderlich, um den Mittelwert bestimmen zu können. Dadurch können Änderungen, bedingt durch Warteschlangen, Vermittlung usw., berücksichtigt werden.
- Zellenverzögerungsschwankung (Cell Delay Variation – CDV): Die Laufzeitschwankungen sind für Echtzeitanwendungen möglichst gering zu halten. Dabei können sowohl Zellenverluste als auch Änderungen der Laufzeit, bedingt durch Zwischenspeicherung und Vermittlung, zu Störungen führen.
- Zellenverlustverhältnis (Cell Loss Ratio – CLR): Der Zellenverlust ist das Verhältnis der Anzahl der verlorenen Zellen zu der Gesamtzahl der gesendeten Zellen innerhalb eines bestimmten virtuellen Kanals. Eine genauere Erfassung des CLR-Wertes kann durch die Auskopplung von langen Fehlerbursts (SECBR) erfolgen.
- Zellenfehlerverhältnis (Cell Error Ratio – CER): Der CER-Wert gibt den Anteil aller Zellen an, die fehlerhaft übertragen wurden. Bei reiner Datenübertragung bedeutet der Verlust eines Pakets die Wiederholung der Übertragung und damit eine Verringerung des Durchsatzes.
- Zellenübertragungsrate (Cell Transfer Rate – CTR): Die Zellenmenge, die während eines Datenaustauschs transportiert wird, wird durch diesen Parameter angegeben. Bei isochronen Datenströmen muß dieser Wert sehr klein sein, um eine Verständlichkeit zweier Kommunikationspartner gewährleisten zu können.
- Zelleneinfügungsfehlerrate (Cell Misinsertion Rate – CMR): Die Zellen, welche fehlerhaft in den aktuellen Zellenstrom eingefügt werden, kann man durch diesen Parameter feststellen. Das heißt, die Zelle ist über den falschen virtuellen Kanal und/oder Pfad empfangen worden, wodurch Zellen verworfen werden mußten.

Nachteilige Beeinflussungen der ausgehandelten Verkehrsparameter ergeben sich durch Übertragungsfehler, Pufferkapazität, Netzlast, virtuelle Kanal/Pfadkapazität und die Durchschaltverzögerung der ATM-Switches. Diese werden innerhalb der unterschiedlichen Testläufe untersucht. Dafür wurden unterschiedliche Belastungen der ATM-Switches durch die vorhandenen Verkehrsarten generiert, um verschiedene Lastprofile untersuchen zu können.

Folgende Verkehrsarten wurden verwendet: *Constant Bit Rate (CBR)* zur Simulation von Sprachkanälen, *Unspecified Bit Rate (UBR)* zur Simulation von Datenströmen und *Variable Bit Rate (VBR)* zur Simulation von Burst-Verkehr. Tabelle 2 zeigt die Dienstklassen des ATM-Forums und die dazugehörigen Performance-Parameter. Dabei sind zwei Parameter hinzugekommen: Maximum Burst Size (MBS) und Minimum Cell Rate (MCR).

Dienstklasse	Verkehrsparameter	Bandbreite	Zellenverlustrate	Transitzeit
CBR	PCR, CDV	Ja	Ja	Ja
Rt-VBR	PCR, SCR, CDV	Ja	Ja	Ja
Nrt-VBR	PCR, SCR, MBS	Ja	Ja	Nein
ABR	PCR, MCR	Ja	Ja	Nein
UBR	(PCR)	Nein	Nein	Nein

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Dienstklassen und Verkehrsparameter

4 Serviceklassen des Internets

Um die Serviceklassen Controlled Load QoS und Guaranteed QoS in das Internet einzuführen, wurde die Arbeitsgruppe *Integrated Services (IS)* von der IETF ins Leben gerufen. Ziel war es, besonders Echtzeitapplikationen effizienter und mit der maximal möglichen Performance zu unterstützen. Der reine Best-Effort sollte durch ein komplexes Modell abgelöst werden, um die Anforderungen neuer Applikationen erfüllen zu können. Um dies zu ermöglichen, sollten Prioritätsklassen eingeführt werden, die den unterschiedlichen Anforderungen zugeordnet wurden. Folgende Annahmen hat man dabei für das IS-Modell getroffen:

- Ressourcen müssen explizit verwaltet werden, um die Anforderungen der Anwendungen erfüllen zu können.
- Die Dienstgarantien für Echtzeitapplikationen können nicht ohne Reservierung von Ressourcen erfolgen.
- Die End-to-End-Verzögerungszeiten müssen begrenzt werden, um die dynamische Anpassung an sich ändernde Netzbedingungen gewährleisten zu können.
- Statistisches Aufteilen zwischen Echtzeit- und Datenapplikationen ist vorteilhaft, wenn man über eine gemeinsame Infrastruktur beide Anwendungen nutzen will.

Die Dienstgüte wird sich für die Anwendungen unterscheiden. Dabei steht die Verzögerung einzelner Pakete im Vordergrund, die durch die maximale und minimale Verzögerung begrenzt wird. Echtzeitapplikationen benötigen dabei eine garantierte Verzögerung, während andere Anwendungen weniger anfällig sind. Dabei unterteilt die Integrated Service Group diese Anwendungen in Hard Real-time, Delay Adaptive und Elastic Applications. Die erste Gruppe ist dabei sehr empfindlich gegenüber Störungen, während die zweite Gruppe leichte Verzögerungen toleriert. Die dritte Gruppe sind reine Datenanwendungen, die große Zeitverzögerungen zulassen und das Zwischenspeichern von Daten zulassen.

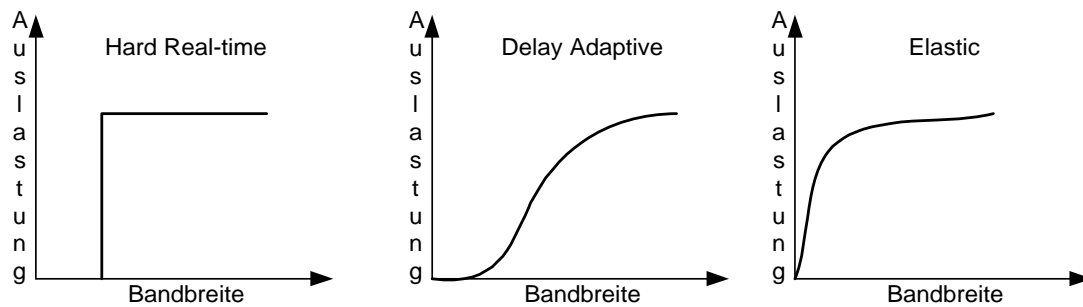


Abbildung 3: Unterschiedliche Eigenschaften der Anwendungen

Basierend auf den Eigenschaften wurden von der Internet Engineering Task Force (IETF) in der Arbeitsgruppe *Integrated Services (IS)* fünf unterschiedliche Serviceklassen definiert. Eine Serviceklasse beinhaltet dabei jeweils eine Untergruppe möglicher Dienstgüte-Parameter. Die Eigenschaften dieser Klassen decken sich direkt mit denen der Anwendungen, die sie angefordert haben. Die Gesamtheit aller Serviceklassen spiegelt nun die Leistungsfähigkeit des Übertragungssystems wider. Folgende Serviceklassen wurden definiert, wobei nur die ersten beiden heute noch eine Bedeutung besitzen:

- Controlled Load Service
- Guaranteed Service
- Controlled Delay Service
- Predictive Delay Service
- Committed Rate Service

Der *Guaranteed Service* nach RFC-2212 berücksichtigt alle Serviceparameter und Kombinationen aus ihnen. Das heißt, hier wird nicht nur der Durchsatz als Maß der Dienstgüte herangezogen, sondern ebenfalls die Verzögerungszeiten. Es fehlen dennoch notwendige Parameter wie Jitter und Latenzzeiten. Ein Datenfluß wird durch die Beschreibung eines Token Bucket definiert. Durch diese Verkehrsbeschreibung ist das Netzwerk in der Lage, verschiedene Parameter zu berechnen, die beschreiben, wie der Datenfluß gehandhabt wird. Dadurch wird die maximale Verzögerung ermittelt, die sich durch eine feste sowie eine Pufferverzögerungszeit definiert. Die feste Verzögerung beinhaltet die Auswahl des Weges durch das Netz, bestehende Übertragungsverzögerungen usw. Die Pufferverzögerungszeit, bestimmt durch den *Guaranteed Service*, wird durch zwei primäre Funktionen von zwei Parametern beschrieben:

- Token Bucket
- Angeforderte Datenrate der Applikation

Der *Token Bucket* ist eine Verkehrsbeschreibung, die aus der Token Rate R und der Bucket Size B besteht. R beschreibt hier den kontinuierlichen, mittleren Datenstrom, während B den Umfang einer möglichen Überschreitung der Spitzenwerte beinhaltet. Die Rate R definiert somit die Token, die bereits im Bucket enthalten sind. Wenn der Bucket überläuft, wird der Überschuß verworfen. Dieser Mechanismus hat große Ähnlichkeit mit dem Leaky Bucket Verfahren, welches in ATM spezifiziert wurde. Abbildung 4 verdeutlicht den Mechanismus des Token Bucket noch einmal.

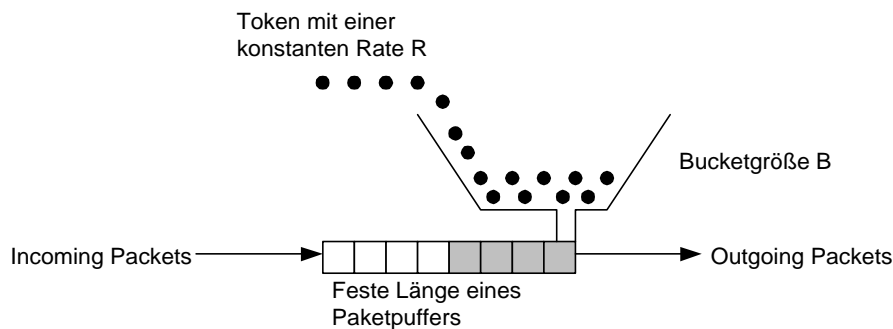


Abbildung 4: Token Bucket

Der *Guaranteed Service* kontrolliert nun nicht die Minimum- oder Durchschnittsverzögerung der IP-Pakete, sondern die maximale Pufferverzögerung. Dieser Dienst garantiert somit, daß Pakete das Ziel mit der angeforderten Verzögerung erreichen. Jitter werden nicht mitberücksichtigt. Dieser Dienst wird beschrieben durch die Parameter *Traffic Specification (Tspec)* und *Request Specification (Rspec)*. *Tspec* wird durch die Anwendungen beschrieben und enthält den Token Bucket (R, B) , die Peak Rate (P) , eine Minimum Policed Unit (MPU) und eine Maximum Datagram Size (MDS). Die Spitzenrate P ist die maximale Datenrate, die der Sender produzieren kann. MPU beinhaltet dementsprechend, daß jedes Paket mit einer Größe kleiner als MPU zur Minimum Policed Unit hinzugezählt wird. *Rspec* wird durch den Datenfluß, der durch eine bestimmte Dienstgüte beschrieben wird, definiert. Er beinhaltet die Parameter Rate (R) und Slack Term (S) in Mikrosekunden. S bezeichnet den Unterschied zwischen dem gewünschten und dem realen Delay, den man durch eine Reservation Rate R erhält. Durch die Benutzung von S kann man eine spezifische Verzögerungsgarantie bekommen.

Zur Kontrolle des *Guaranteed Services* werden zwei Policy-Arten vorgeschlagen, die mit Simple Policing und Reshaping bezeichnet werden. *Tspec* ist die Simple Policing, während Reshaping sich auf die Rekonstruktion einer Verkehrsform bezieht, um *Tspec* anzupassen. Ein Datenfluß verletzt *Tspec*, wenn das Reshaping fehlschlägt oder der Puffer überläuft. Policing wird immer am Rande eines Netzes angewendet, während das Reshaping an allen heterogenen Zweigpunkten und Brennpunkten eingesetzt wird. Bislang ist der *Guaranteed Service* allerdings nicht für das Internet umgesetzt worden.

Die dedizierte Zuweisung von Bandbreite ermöglicht der *Controlled Load Service* nach RFC-2211. Dadurch wird die Kontrolle der von den Applikationen angeforderten Übertragungsraten ermöglicht. Alle anderen QoS-Parameter bleiben jedoch unberücksichtigt. Das heißt, Netzparameter können nicht mit einbezogen werden. Die Implementierung der *Controlled Load QoS* ist auch oberhalb der Sicherungsschicht möglich, da die maximale Transferrate eines Übertragungsmediums eine unveränderliche Größe darstellt. Das heißt, falls man die *Controlled Load QoS* in das Internet einführen würde, was beispielsweise über das Protokoll RSVP möglich ist, könnten die unteren Schichten ohne Änderungen übernommen werden. Man müßte somit keine Hardware austauschen, da alleine der Durchsatz berücksichtigt wird.

Der *Controlled Load Service* wird durch die *Traffic Specification (Tspec)* beschrieben. Dies beinhaltet die gleichen Parameter wie bei dem *Guaranteed Service*. Der einzige Unterschied ist, daß das Netzwerk keinerlei Garantien bezüglich Verzögerungszeiten geben kann. Die Beschreibung des Token Bucket enthält eine Bucket Rate (R) und eine Bucket Depth (B) . Über alle Zeitperioden T darf die Länge eines Datenbursts nicht mehr als $rT+b$ betragen. Wenn IP-Pakete dies nicht berücksichtigen oder die Maximum Transmission Unit

(MTU) verletzt wird, können sie nicht für diesen Service eingesetzt werden. Weiterhin ist es möglich, daß zu große Datenbursts kontinuierlich empfangen werden, so daß immer eine Zwischenspeicherung erfolgen muß. Der Puffer wird somit nie gelöscht und die Latenzzeiten steigen kontinuierlich an. Um diesen Verkehr trotzdem zu handhaben, bietet der *Controlled Load Service* verschiedene Möglichkeiten an:

- Das Leihen von der angeforderten Bandbreite durch einen Traffic Scheduler, um die Datenbursts des Netzwerks bearbeiten zu können.
- Einbeziehen von statistischem Multiplexing unter Berücksichtigung einer gemessenen Admission Control.

Die aktuelle Spezifikation definiert nicht detailliert, wie Datenbursts im einzelnen gehandhabt werden sollen. Die Einbeziehung eines Admission-Control-Algorithmus ist allerdings eine gute Möglichkeit den Gesamtverkehr zu ermitteln und dadurch spezielle Informationen über den Datenfluß zu erhalten. Nachteilig ist, daß dieser Algorithmus schwer zu entwickeln und auf das Netz anzupassen ist. Außerdem müßte die Infrastruktur des Internets geändert werden.

Um die Ressourcen zwischen den unterschiedlichen Routern im Internet halbwegs garantieren zu können, ist das *Resource Reservation Protocol (RSVP)* entwickelt worden. Da im Internet unterschiedliche Verbindungsschichten (z.B. ATM, PPP, IEEE.802-Technologien) zum Einsatz kommen, ist RSVP unabhängig von diesem Layer entworfen worden. Eine andere Möglichkeit wäre es, andere Netze wie ATM, die bereits einen QoS anbieten können, direkt mit einzubeziehen. Dadurch sind zwei Verfahren in den Integrated Services favorisiert worden:

- Anpassen der Serviceklassen von ATM und IP
- Unterstützung von RSVP-over-ATM

Bei der direkten Anpassung von ATM und IP wird die Tabelle 3 vorgeschlagen. Hier findet eine direkte Übergabe statt, so daß die garantierte Dienstgüte von ATM direkt durch das IP-Protokoll ausgenutzt werden kann. Somit wird von einer verbindungslosen Architektur auf verbindungsorientiert umgeschaltet. Da allerdings im Internet eine heterogene Infrastruktur vorhanden ist, wurde mehr der Ansatz RSVP-over-ATM bevorzugt. Dieser Ansatz wird im Kapitel über RSVP näher untersucht. Abbildung 5 zeigt hingegen das Service Mapping, wie es in einem Layer-3-Switch vorgenommen wird.

IP-Serviceklassen	ATM-Serviceklassen
Guaranteed Service	CBR, rt-VBR
Controlled Load Service	CBR, nrt-VBR, ABR
Best-Effort Service	UBR

Tabelle 3: Anpassen der Serviceklassen

Die *Controlled Load QoS* wird fortan als *Class-of-Service (CoS)* bezeichnet, da hier nur bestimmte Prioritäten vergeben werden können. Die garantierte Dienstgüte ist in der Technologie ATM bereits integriert und wird oftmals mit den anderen Formen verwechselt. Aus diesem Grund wird auch nur die Guaranteed QoS als echte Dienstgüte bezeichnet, die auf den Anwenderbedarf zugeschnitten werden kann. Diese Dienstgüte will die IETF in das Internet durch die Integrated bzw. Differentiated Services integrieren. Die anderen genannten Verfahren haben bislang keine Bedeutung erlangt und werden für den Aufbau der Integrated Services bzw. Differentiated Services im Internet nicht eingesetzt.

Abbildung 5 zeigt wie ein Layer-3-Switch die CoS mit den QoS anpassen kann und zusätzlich noch unterschiedliche Warteschlangen beherrschen muß, um den Verkehr zu steuern. Dabei werden hier 4 Puffer unterschieden, die High Priority, Control, Best-Effort und Low Priority als Dienstklassen definieren. Der Traffic Governor erlaubt es dabei, Datenflüsse einzuschränken oder zu spezifizieren. Er bestimmt, welche Aktionen bei einem Datenstau durchzuführen sind. In diesem Fall ist der Token Bucket auf 2 MByte reserviert. Überschüssiger Datenverkehr kann verworfen oder mit niedriger Priorität weitergeleitet werden. Er gelangt zum Queue Manager, der die Anforderung an diesen Datenstrom vergibt und zur MAC-Schicht transportiert.

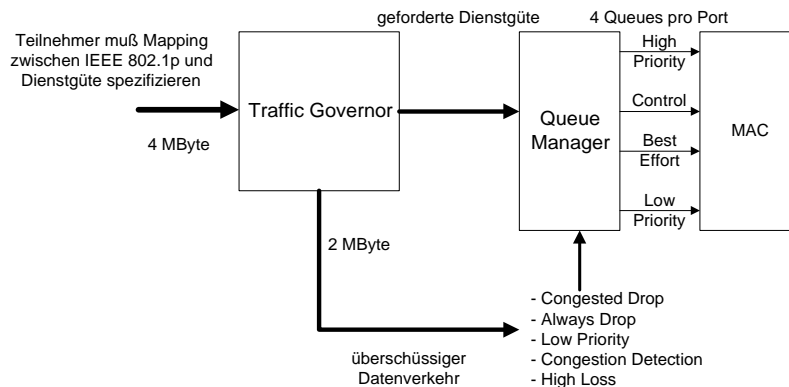


Abbildung 5: Service-Mapping im Layer-3-Switch

5 Unterschiede zwischen QoS und CoS

Die Dienstgüte, die *ATM* beim Aufbau einer Verbindung durch den Traffic Contract festlegt, ist ein komplexes Gebilde. Diese Eigenschaft versuchen sich auch traditionelle LANs anzueignen, indem Prioritätsklassen eingeführt und vergeben werden. Der Arbeitskreis IEEE 802.1 (High Level Interface) beschäftigt sich mit Fragen, die alle IEEE-802-Arbeitskreise betreffen. Dazu gehören insbesondere allgemeine Managementfragen und Aspekte des Internetworking. Neu hinzugekommen sind die Bereiche *IEEE 802.1q* für Expedited Traffic and Multicast Filtering und *IEEE 802.1p* für *Virtual LANs (VLANs)*. Der Standard IEEE 802.1p versucht dies einheitlich für alle lokalen Netze festzulegen. Der Standard beschreibt u.a. ein Tagging-Verfahren, das dem Datenpaket eine 4 Byte lange VLAN-Kennzeichnung hinzufügt. Datenpakete mit hoher Priorität lassen sich durch das bisherige Längen/Typenfeld identifizieren, welches die definierte hexadezimale Typ-Identifikation von 8100 enthält. Drei Bits sind zur Prioritätsvergabe vorgesehen. Zusätzlich beinhalten die nachfolgenden Bits die VLAN-Identifizierung. Das ursprüngliche Längen/Typenfeld befindet sich inklusive des regulären Datenpakets hinter der eingeschobenen VLAN-Kennzeichnung. Das letzte Feld Prüfsumme überprüft das gesamte Datenpaket auf Fehler.

Tag	Dezimal	Binär	Verkehrsarten
5-7	7	111	Reserviert
5-7	6	110	Interactive Voice
5-7	5	101	Interactive Multimedia
2-4	4	100	Controlled Load Applications (oder Streaming Multimedia)
2-4	3	011	Excellent Effort (oder Business Critical)
2-4	2	010	Standard
0-1	1	001	Background (z.B. Backup)
0-1	0	000	Best-Effort (Default)

Tabelle 4: Class-of-Services nach IEEE 802.1p

Tabelle 4 zeigt die spezifizierten CoS nach der Spezifikation IEEE 802.1p. Da nur drei Bits zur Verfügung stehen, können acht Verkehrsarten eingesetzt werden. Dabei besitzt Null keine Priorität und bietet nur Best-Effort an, während die Sieben immer Vorrang vor allen anderen Verkehrsarten besitzt. Zusätzlich hat man noch Unterklassen gebildet, die sich nach den jeweiligen Anwendungen richten. Die Einteilung in Prioritätsklassen ist somit auch in traditionellen Netzen möglich geworden, wird aber letztendlich nur von neuen Switches unterstützt. Das heißt, es ist nicht möglich, daß die vorhandene Infrastruktur diese neuen Leistungsmerkmale umsetzen kann. Ein weiteres Problem entsteht, wenn alle die gleiche, hohe Priorität eingestellt haben. Dann wird das Netz letztendlich überlastet werden und in den Best-Effort-Modus zurückfallen. Da Verbindungen nicht abgelehnt werden können, läßt sich das nicht besser steuern. Die notwendige Erweiterung des Rahmens kann ebenfalls zu Problemen mit älteren Systemen führen. Weiterhin muß auch ein Mapping zwischen Layer 2 und Layer 3 ermöglicht werden.

IP ist das meist-verwendete Protokoll, welches letztendlich die Anforderungen der Netzwerkschicht umsetzen muß. Das Netzwerk wird aber keine Prioritäten einstellen, sondern die Anwendung, wodurch das Internet-Protokoll mit einbezogen werden muß. Diese Information könnte beispielsweise im Feld Type-of-Service (TOS) abgelegt werden, welches aus acht Bits besteht. Bislang ist dies weder spezifiziert, noch wird einheitlich über diese Möglichkeit nachgedacht. Proprietäre Entwicklungen sind vorhanden, werden aber in heterogenen Umgebungen nicht funktionieren. Hinzu kommt noch die Problematik, daß fast alle Hersteller vor Verabschiedung des Standards IEEE 802.1p eigene Realisierungen vorangetrieben haben, die jetzt teilweise wieder nicht mit dem aktuellen Standard interoperabel sind.

Um einen echten QoS anbieten zu können, müßte ATM im Kernnetz vorhanden sein und ein Mapping zwischen IEEE 802.1p und den QoS-Parametern müßte stattfinden. Tabelle 5 zeigt eine Möglichkeit, die man realisieren könnte und über die bei den Standardisierungsgremien nachgedacht wird.

802.1p-Kategorie	ATM-Verkehrsklassen
Network Control	Constant Bit Rate (CBR)
Voice	Constant Bit Rate (CBR)
Video	Realtime Variable Bit Rate (rt-VBR)
Controlled Load	Non-Realtime Variable Bit Rate (nrt-VBR)
Excellent Effort	Available Bit Rate (ABR)
Best-Effort	Unspecified Bit Rate (UBR)
Background	Unspecified Bit Rate (UBR)

Tabelle 5: Mapping zwischen IEEE802.1p und ATM QoS-Klassen

Abschließend kann man festhalten, daß die Einteilung in CoS nicht mit einer garantierten Dienstgüte, wie bei ATM, verbunden ist. Es wird kein Traffic Contract aufgesetzt und auch keine Garantien vergeben. Zusätzlich können *Jitter* und Verzögerungszeiten nicht einbezogen werden. Man geht einfach davon aus, daß das Netz isochrone Datenströme optimal unterstützt, so daß es zu keinen Störungen kommt. Somit ist CoS mit QoS nicht identisch und sollte in jedem Fall unterschieden werden. Tabelle 6 zeigt die Möglichkeiten, wenn man *IEEE 802.1p* im LAN einsetzt.

LAN-Topologie	Beschreibung	Art der Garantie
Shared Topologie ohne Traffic Classes	Ethernet/802.3 ohne 802.1p, keine Unterscheidung zwischen Datenflüssen möglich	Keine Garantien
Shared Topologie mit Traffic Classes	Token Ring/FDDI/Ethernet mit 802.1p	Nur statistische Garantien für Shared Ethernet, bessere Garantien für TR und FDDI
Switched Half Duplex ohne Traffic Classes	Ethernet/802.3 ohne 802.1p	Keine Unterscheidung möglich, wodurch keine Garantien vorhanden sind
Switched Half Duplex mit Traffic Classes	Token Ring/FDDI/Ethernet mit 802.1p, nur zwei Sender in Konkurrenz zueinander	Bessere statistische Garantien
Switched Full Duplex ohne Traffic Classes	Switched Ethernet und Token Ring, keine Unterscheidung zwischen Datenflüssen	Keine Garantien möglich
Switched Full Duplex mit Traffic Classes	Datenflüsse können unterschieden werden	Garantien sind fast möglich geworden und besser als bei den anderen Möglichkeiten

Tabelle 6: LAN-Topologien mit und ohne CoS

6 Resource Reservation Protocol (RSVP)

Aufgrund wachsender Verbreitung des Internets und dessen Dienste auf dem Weg hin zur Kommerzialisierung ist die Notwendigkeit entstanden, QoS-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, Echtzeitsdienste 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.

RSVP 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: Der abschnittsweise festgelegte QoS kann in bestimmten Fällen Verschmelzungen von Datenströmen mehrere Sender ermöglichen
- Unidirektionale Ressourcenetablierung: Ressourcen werden unidirektional angefordert; Up- und Downstream sind bezüglich ihrer Dienstgüte voneinander entkoppelt
- Regelmäßige Bestätigung der Ressourcen: Soft-State muß regelmäßig bestätigt werden, sonst wird die reservierte Bandbreite wieder freigegeben
- Empfänger initiiert die Ressourcen: die Reservierung der Ressourcen wird durch den Empfänger einer Verbindung eingeleitet
- Transparenz: Strecken, die nicht RSVP-fähig sind, können aufgrund der Transparenz des Protokolls ebenfalls einbezogen werden

- Ressourcen können nur abschnittsweise zur Verfügung gestellt werden (Hop-by-Hop)
- Ausnutzung vorhandener Routing-Mechanismen: RSVP nutzt bereits Unicast oder Multicast-Routing-Mechanismen

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.

6.1 Aufbau einer RSVP-Verbindung

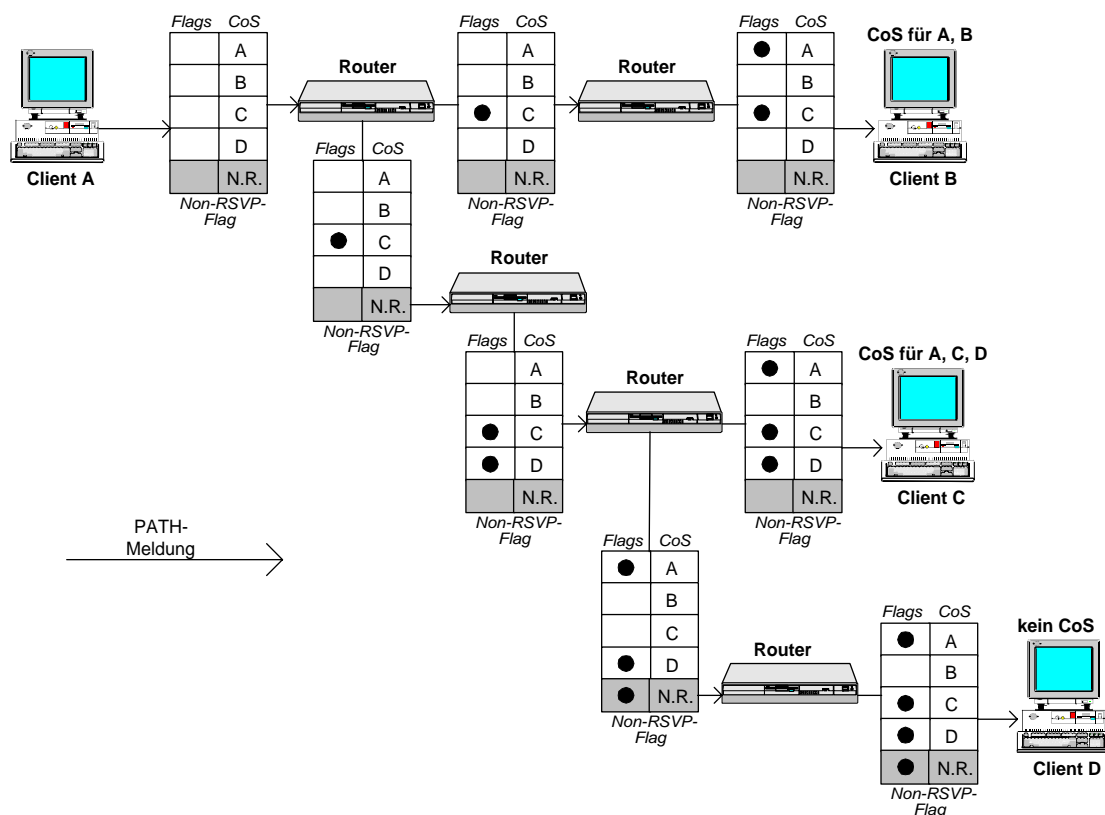


Abbildung 6: Übertragungsstrecke einer RSVP-Verbindung

Die Ressourcen-Reservierung 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 CoS-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, der sich im Zustand Hard-State befindet. 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 dem Initiieren der eigentlichen Reservierung Informationen über die gegenwärtige Leistungsfähigkeit der Übertragungsstrecke und des Senders

zur Verfügung gestellt werden. Abbildung 6 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 Verbindungsstrecke 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 kann ein identischer QoS nicht bereitgestellt werden, 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.

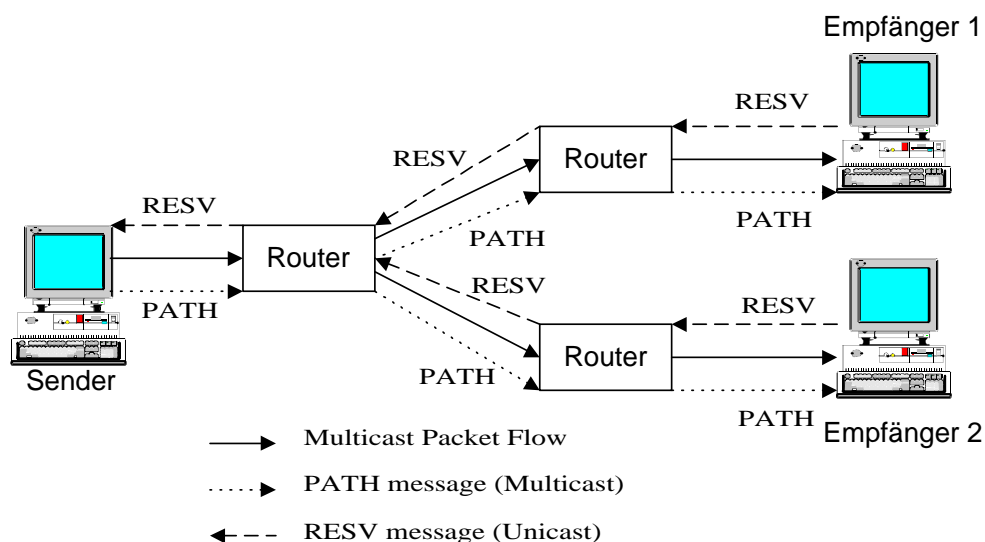


Abbildung 7: PATH/RESV-Meldungen bei RSVP

Um die Ressourcen-Reservierung zu ermöglichen, muß das IP-typische dynamische Routing autonomer Pakete unterbleiben. Vielmehr ist sicherzustellen, daß RSVP-Steuerungspakete (PATH- und RESV-Meldungen) 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, einem Sender und einer Schnittstelle zugeordnet werden.
- Reservation State Block (RSB): Sitzungsabhängige Informationen bezüglich der RESV-Meldung werden festgehalten. RSB kann einer dritten Sitzung, einem Next-Hop und Filtermechanismen zugeteilt werden.
- Traffic Control State Block (TCSB): Im Gegensatz zum RSB werden hier Ressourcen-Informationen bezüglich einer Schnittstelle festgehalten.
- Blockade State Block (BSB): Blockierung von Ressourcen zum Merging ist möglich.

Beide Meldungen (PATH und RESV) können auf ihrem Weg vom Sender zum Empfänger eklatanten Änderungen unterworfen werden bzw. den Empfänger/Sender niemals erreichen. Das kann durch das Merging passieren, das die effiziente Nutzung von Netzressourcen zur Aufgabe hat. Wie und ob das Merging von Ressourcen vorgenommen wird, entscheiden zwei Reservierungsarten: Distinct Reservation und Shared Reservation.

Die *Distinct Reservation* ermöglicht dem Sender, Ressourcen für die eigene Nutzung zu reservieren. *Shared Reservation* teilt sich hingegen die verfügbaren Ressourcen mit allen beteiligten Sendern. Dabei muß eine Filterung der IP-Datenströme erfolgen. Folgende Verfahren sind vorgesehen:

- Wildcard-Filter: Die vom Empfänger angeforderten Ressourcen lassen sich durch alle beteiligten Sender nutzen.
- Fixed-Filter: Jeder Empfänger stellt explizite Anforderungen an die einzelnen Sender. Anforderungen an unterschiedliche Sender können nicht berücksichtigt werden. Anforderungen unterschiedlicher Empfänger sind aber möglich.
- Shared-Explicit-Filter: Ähnlich dem Wildcard-Filter werden hier die Möglichkeiten zum Merging der Anforderungen an verschiedene Sender gegeben. Allerdings findet eine explizite Auflistung der Sender statt.

6.2 TCP/IP-Stack-Implementierung

Die Realisierung von *RSVP* mit seinem komplexen Reservierungsmodell muß eine klare Trennung in verschiedene Module beinhalten. Abbildung 8 zeigt eine solche Unterteilung zwischen Host und Router. Hier wird die Einordnung des RSVP-Protokolls in den TCP/IP-Stack verdeutlicht. RSVP ist auf der OSI-Schicht 4, aufgrund der Nutzung bereits vorhandener Routing-Mechanismen und der abschnittswisen Verwendung von CoS-Parametern, angesiedelt. Die beteiligten Hosts entlang eines Übertragungspfads werden trotzdem nicht als Gateways, sondern als RSVP-Router angesehen. Somit ist RSVP im Grunde kein Transportprotokoll, sondern ist ausschließlich für die Transportüberwachung zuständig. Bei der Überwachung der Datenströme unterscheidet man hauptsächlich zwischen der Police- und der Verkehrskontrolle.

Bei der Aufgabenverteilung in verschiedene Module übernimmt die *Policy Control* für die Zugangskontrolle (Accounting) bislang eine untergeordnete Rolle, da sie nicht ausreichend definiert worden ist. RSVP basiert auf dem verteilten Accounting, wodurch jeder RSVP-Host Kenntnisse über die Teilnehmer benachbarter Rechner und deren Zugriffsrechte erhält. Teilnehmerinformationen kann man dadurch abschnittsweise verschlüsselt übertragen, bis sie letztendlich zum Sender gelangen. Eine Verschlüsselungsart wird bislang nicht vorgegeben. Vorschläge, wie der MD5-Digest-Algorithmus, existieren aber bereits. Durch die fehlende Standardisierung sind Authentifizierung, Gebührenüberwachung und verteiltes Accounting noch nicht festgelegt. Hauptprobleme sind die anfallenden Daten bei der Nutzeridentifizierung, z.B. bei Multicast-Sitzungen. Hierzu müßten die Police-Daten jedes Empfängers zum Sender transportiert werden. Das verursacht natürlich ein erhebliches Datenaufkommen, welches sich nur durch Zusammenfassen der einzelnen Datenströme vermeiden läßt. Diesem Thema wurde allerdings noch zu geringe Beachtung geschenkt.

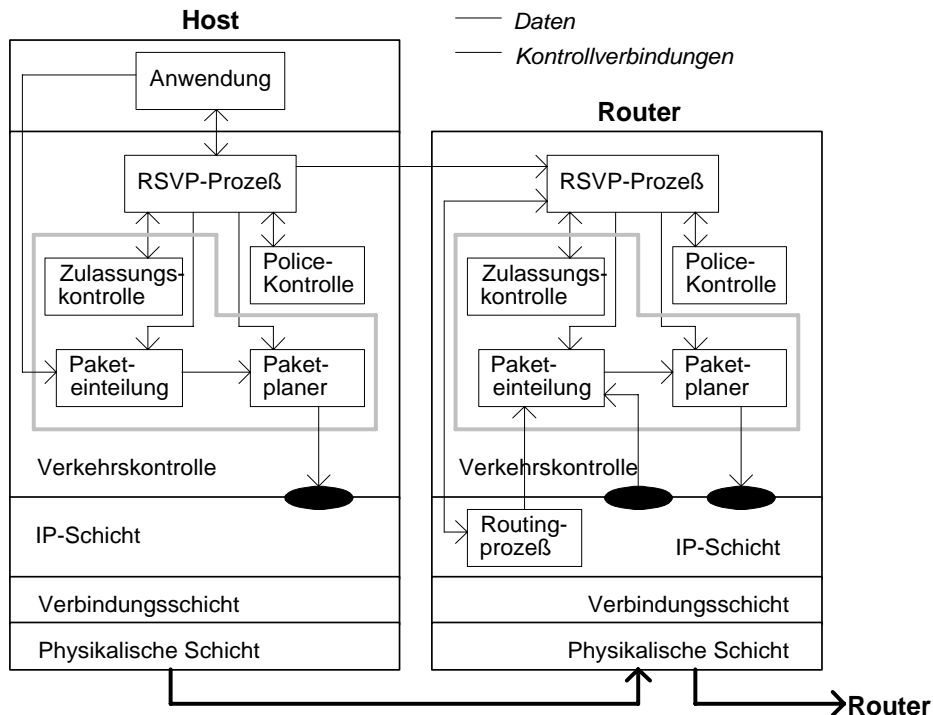


Abbildung 8: Einordnung von RSVP in den TCP/IP-Protokollstapel

Im Gegensatz zur *Policy Control* ist die Spezifikation der Verkehrskontrolle (Traffic Control) abgeschlossen. Sie wird unterteilt in Zulassungskontrolle (*Admission Control*), Paketeinteilung (*Packet Classifier*) und Paketplaner (*Packet Scheduler*), wie in der Abbildung 8 zu erkennen ist. Die Zulassungskontrolle entscheidet aufgrund von Informationen über die Netzauslastung, ob Reservierungen zurückgewiesen oder gestattet werden. Die Dienste der Zulassungskontrolle sind somit nur beim Aufbau bzw. bei Änderungen der Sitzungsparameter notwendig. Der Paketeinteiler hingegen ist für den eingehenden IP-Datenstrom zuständig, der anhand seiner IP- und Port-Adresse die Daten filtert und im Falle einer vorliegenden Reservierung an den Paketplaner weitertransportiert. Aufgabe dieses Moduls ist die Weiterleitung der Pakete über das entsprechende Interface unter Berücksichtigung des vereinbarten CoS. Das heißt, es werden die Eigenschaften des verwendeten Übertragungsmediums zum nächsten Router berücksichtigt. Zusammenfassend ist die Verkehrskontrolle für die Entkopplung der reservierten Sender-Ressourcen zuständig. Falls unterschiedliche Sender über denselben Pfad erreichbar sind, ist der Empfänger in der Lage, verschiedene Sender anzusprechen und diese ohne Änderung der Reservierung zu wechseln. Die Paketeinteilung muß nur entsprechend angepaßt werden. Zusätzlich kann man die Dienstelemente zwischen den physikalischen Schnittstellen einzeln zuordnen. Eine Unterscheidung findet lediglich in Incoming- und Outgoing-Interfaces statt. Eine Hardware-Karte kann dabei beide Arten annehmen, aber nie gleichzeitig.

6.3 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 CoS-Übergang von der verbindungslosen IP-Struktur auf die verbindungsorientierte ATM-Struktur mit QoS-Merkmalen 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 vorausset-

zen. RSVP-over-ATM kann den dafür notwendigen kompletten Protokollstack anbieten. Aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsweisen von RSVP und ATM, lassen sich eine Vielzahl von Anpassungsproblemen ausmachen:

- Übergabe von IP-Routing auf ATM-Routing
- Management der virtuellen Verbindungen
- Dynamischer CoS 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 CoS 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 machen 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 Reservierungen 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.

ATM-Optionen	QoS-Unterstützung
PVC	IP-CoS kann mit dem QoS des PVC gleichgesetzt werden
SVC	Einzelner SVC wird für einen RSVP-Datenstrom verwendet, so daß die Gesamtanzahl der Datenflüsse begrenzt wird. Hier sind Probleme bei der Skalierbarkeit vorhanden.
Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen	RSVP unterstützt heterogene Empfänger, während ATM dies nicht implementiert hat.
Multicast Server	Bei Verwendung von Multicast-Servern können heterogene Empfänger verwendet werden, seitdem RSVP-Pakete interpretiert werden können. Allerdings ist auch hier ein Problem der Skalierbarkeit vorhanden.

Tabelle 7: ATM-Optionen zur Unterstützung von RSVP

Ein schwerwiegenderes Problem stellt das Mapping zwischen RSVP-CoS 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.

Tabelle 7 zeigt die Spezifikation der Integrated Services, um ATM auf RSVP besser anzupassen. Der Schlüsselfaktor für eine effiziente Anpassung ist dabei das Etablieren einer Virtual Connection (VC), um eine Verbindung mit einer garantierten Dienstgüte über RSVP aufbauen zu können. Das Problem bleibt die Skalierbarkeit, da nicht sichergestellt ist, wieviele VCs aufgebaut werden müssen, um RSVP-Datenflüsse zu unterstützen. 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 CoS sowie ein Punkt-zu-Mehrpunkt-VC für Empfängerbasiertes CoS vorgesehen.

6.4 Entwicklungstrend von RSVP

RSVP kann man als Kontroll- oder Signalisierungsprotokoll bezeichnen, ähnlich wie das ICMP, welches von Anwendungen innerhalb von IP-Endsystemen verwendet wird. IP-Endsysteme zeigen in einem IP-Netz dem Netzknoten an, was sie für einen Datenstrom empfangen können. Diese Parameter beinhalten Bandbreite, Abweichungen, maximale Datenblöcke usw. Dazwischenliegende Systeme entlang eines Übertragungspfades vom Sender zum Empfänger interpretieren die RSVP-Kontrollpakete, um Zulassungskontrolle ausführen und die benötigten Ressourcen zuordnen zu können. Solche Systeme verwalten über diese Datenströme Soft-States zwischen den beteiligten Endsystemen. Durch die Eigenschaften des RSVP-Protokolls lassen sich dieselben CoS-Spezifikationen hinsichtlich des Paketdatenstroms von ATM-Signalisierungen erreichen. Weiterhin baut RSVP im wesentlichen auf dem Multicast-Muster auf und leitet Datenströme über Punkt-zu-Mehrpunktverbindungen weiter. Neue Multicast-Protokolle, wie das Protocol Independent Multicast (PIM) werden zukünftig mit RSVP gekoppelt werden. Vergleichen kann man dies mit den VC-Routing-Protokollen bei ATM, die sehr eng mit der UNI- und NNI-Signalisierung verbunden sind.

Diese Protokollarten verlassen sich auf eine Flußspezifikation, um die erwarteten Verkehrsmuster zu charakterisieren. Dadurch kann ein Datenstrom von IP-Paketen zwischen zwei Anwendungen Mechanismen herstellen, die den geforderten QoS liefern. Die Anwendungen werden im Netz über die Paketebene überwacht und verarbeitet. Ein Datenfluß kann als eine Schicht-3-Verbindung dargestellt werden, da er einen Strom von Paketen zwischen zwei oder mehreren Knoten identifizieren und charakterisieren kann, obwohl das Protokoll vorgeblich verbindungslos bleibt.

Das *IP-Version-6-Protokoll (IPv6)*, das das IETF als Nachfolger für das IPv4-Protokoll gestaltet, integriert eine zusätzliche Flußkennung innerhalb des Paket-Headers. Dieser kann vom Netz verwendet werden, um Datenflüsse zu erkennen. Dabei können, ähnlich wie bei den VPI/VCI-Feldern, die ATM-Zellenströme identifiziert werden. Das RSVP-Protokoll wird demnach verwendet, um mit jedem Datenfluß spezielle Flußspezifikationen in Verbindung zu bringen, die die Verkehrsparameter des Datenflusses charakterisieren. Das kann mit einer garantierten ATM-Verbindung (bestimmter QoS) gleichgesetzt werden, ist aber nicht mit ihr identisch.

Weiterhin läßt sich feststellen, daß das Multiparty-Kommunikationsmodell im Moment noch beträchtlich zwischen ATM und RSVP unterscheidet. Die RSVP-Empfängerinitialisierung durch die Verwendung von ATM-Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen ist wahrscheinlich die Ursache für vorhandene Skalierungsprobleme, wenn die Anzahl der Empfänger zunimmt. Auch bleibt festzuhalten, daß einige RSVP-Funktionen von ATM nicht unterstützt werden. Zum Beispiel bekommen alle Empfänger in einer Sitzung den gleichen CoS zugesichert, welcher dann festgelegt wird, wenn der erste Empfänger zu einer Multicast Session eingeladen wurde. Es ist wahrscheinlich, daß die Multicast-Unterstützung von ATM zu einem späteren Zeitpunkt noch eingeführt wird. Notwendig wird diese Einführung auf jeden Fall, wenn ATM das RSVP-Protokoll wirklich vollständig unterstützen und es in ATM-WAN-Netzwerken erfolgreich eingesetzt werden soll.

Momentan wird RSVP aufgrund seiner Skalierungsprobleme kaum in öffentlichen Netzen bzw. dem Internet eingesetzt. Trotzdem ist es der richtige Ansatz, um nahezu eine bestimmte Dienstgüte zusichern zu können, weshalb daran weiter entwickelt wird.

7 Zusammenfassung

Die Anforderungen an die heutige Netzinfrastruktur wird zunehmend von neuen Anwendungen geprägt, die zusätzlich zu den Sprach- und Datenanwendungen hinzuzurechnen sind. Während man in der Vergangenheit dienstspezifische Netze getrennt aufgebaut hat (analoges/digitales Telefon, Rundfunk, Fernsehen, Daten), hat die einsetzende Standardisierung und die Konvergenz der Technologien dazu geführt, daß ein gemeinsamer Ansatz zur Integration aller vorhandenen Anwendungen und Dienste auf einer Plattform gesucht wurde. Dabei lassen sich die Anforderungen der Anwender folgendermaßen beschreiben:

- **Bandbreite:** Die Performance wird meistens mit der Bandbreite verglichen bzw. gleichgesetzt. Genügend Bandbreite muß zwar vorausgesetzt werden, um keine Knappheit bezüglich der Ressourcen zu bekommen, ist aber kein Allheilmittel für Netzprobleme oder die Einführung von Echtzeitanwendungen.
- **Dienstqualität:** Um Echtzeitanwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen beherrschen zu können, ist eine garantierte Dienstgüte (QoS) erforderlich. Kriterien beziehen sich häufig auf Verlust bzw. Verzögerung der Nutzdatenströme sowie die Steuerdaten.
- **Interoperabilität:** Alle vorhandenen Dienste und Anwendungen müssen in heterogener Netzumgebung funktionieren. Dies beinhaltet die Anpassung unterschiedlicher Netzarten, Protokolle, Transportmoden und Steuerungsverfahren.
- **Mobilität:** Die Unabhängigkeit des Anwenders von Ort und Zeit ist darunter zu verstehen. Das heißt, der Anwender fordert Mobilität der Endgeräte (Handy) und Dienste, so daß er von überall zu jeder Zeit auf seine persönlichen Daten zugreifen kann.
- **Netzwerkmanagement:** Das Management von Netzen, um den Betrieb aufrecht halten zu können und damit die Verfügbarkeit auf ein hohes Niveau zu heben, ist enorm wichtig. Das Netzwerkmanagement beinhaltet demnach alle Funktionen, die den Betrieb des Netzes unterstützen, wie Konfiguration, Fehlerbehandlung, Netzsicherheit, Datenintegrität, Autorisierung, Sicherstellung der Leistungsfähigkeit und Billing/Accounting.
- **Dienstmanagement:** Durch die wachsende Komplexität werden Managementfunktionen für die Verwaltung der Dienste und Anwendungen notwendig. Beispielsweise müssen verteilte Anwendungen einheitlich verwaltet werden, was die Einhaltung von ausgehandelten Dienstparametern, Synchronisation oder Skalierung betreffen kann.

Diese Anforderungen waren im Grunde die Ursache für die Entwicklung von *ATM*, da hier zum erstenmal beliebige Datenströme und Netztechniken unterstützt wurden. Aus diesem Grund ging man auch lange Zeit davon aus, daß *ATM* alle vorhandenen Technologien ablösen wird, da es dafür ausgelegt wurde. Diese Prognose ist aber aus folgenden Gründen nicht eingetreten:

- *ATM* wurde zu früh in der Fachpresse gelobt, obwohl die Technologie noch nicht endgültig spezifiziert war oder Produkte verfügbar waren.
- Durch die laufenden Spezifikationen des *ATM*-Forums gewannen Außenstehende den falschen Eindruck, daß *ATM* bis heute nicht vernünftig standardisiert ist.
- Es wurde versäumt, ein Application Programming Interface (API) zu entwickeln, um *ATM* im Endgerät bzw. am Arbeitsplatz eine Chance einzuräumen.
- Die Weiterentwicklung traditioneller Technologien bzw. von Legacy LANs versorgte die Anwender mit ausreichender Bandbreite, wodurch dieser Bedarf erst einmal abgedeckt wurde.
- Es fehlte die Einführung einer sogenannten Killer-Applikation für *ATM*, die diese hohe Bandbreite und die Funktionalität ausnutzt.
- Die Tarifierung von *ATM* im WAN zeichnete sich bislang durch zu hohe Kosten aus.
- Es wird versucht die garantierte Dienstgüte durch heutige CoS-Parameter in aktuellen LAN-Netzen abzudecken.
- Die Integration und Unterstützung von QoS-Parametern dauerte aufgrund der zu frühen Markteinführung, zu lange.

Inzwischen hat sich aber ein ganz anderer Blickwinkel ergeben. Durch die Dezentralisierung von Geschäfts- und Produktionsprozessen, begleitet durch Outsourcing und internationale Kooperationen, wurde eine flexible und globale Informations- und Kommunikationsstruktur erforderlich. Es entstehen sogenannte virtuelle Organisationen, die ein Höchstmaß an Flexibilität und Effizienz erfordern. Eine virtuelle Organisation, die kontextspezifisch definiert und gebildet werden kann, stellt hohe Anforderungen an die Informationslogistik, da eine intensive Kommunikation bei Kooperationen zwischen einer Vielzahl von meist geographisch verteilten Projekt-beteiligten notwendig ist. Für die komplexen Strukturen wächst die Bedeutung von *virtuellen Netzen* bzw. Unternehmensnetzen, die man als *Virtual Private Network (VPN)* bzw. Extranet bezeichnet. Das vorhandene Internet und seine heterogene Umgebung waren wie geschaffen, um diese Anforderungen umzusetzen. Dadurch entwickelte sich das Internet über sein Graphical User Interface (GUI) des World Wide Web (WWW) zu einer Killer-Applikation. Dies hatte wiederum die Verbreitung der Internet-Protokolle (IP, TCP, UDP etc.) und seiner Dienste (HTTP, FTP, SNMP etc.) zur Folge.

Aus diesem Grund wird momentan versucht, eine Dienstintegration auf Basis von IP durchzuführen. Ansätze dazu sind in den *Integrated Services* bzw. neuerdings in den *Differentiated Services (DiffServ)* der IETF zu erkennen. Hier wird u.a. daran gearbeitet, die Spezifikation der IEEE 802.1p auf die IP-Pakete (IPv4 und IPv6) umzusetzen. Erste RFCs (RFC-2474, RFC-2475) für die Differentiated Services liegen bereits vor. Man möchte hier die bereits gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus *ATM* einzusetzen, um IP-Traffic-Management-Funktionalität und Dienstgüte zu implementieren. Im ersten Schritt wird dies durch eine neue Interpretation der TOS-Bits im IP-Header umgesetzt.

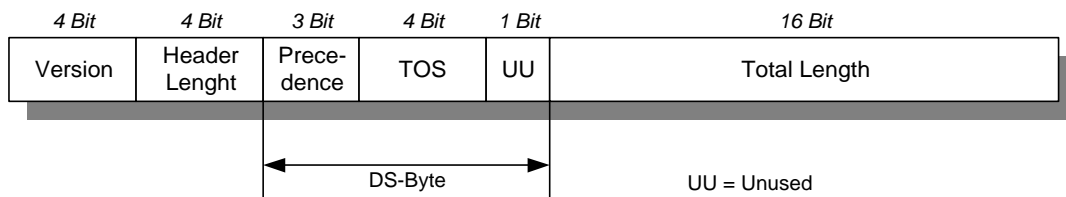


Abbildung 9: Differentiated Service Byte Field

Abbildung 9 zeigt diesen Vorschlag, der die 8 Bit des TOS-Feldes in *Differentiated Service (DiffServ)* Byte umbenennt und eine andere Aufteilung vornimmt. Die Architektur basiert dabei auf einem einfachen Modell, welches den eingehenden Traffic in das Netz klassifiziert und mögliche Zustände an den Grenzen des Netzes bereits zu verschiedenen Verhaltensweisen zuordnet. Jede Verhaltensweise wird durch einen einzelnen DS-Codepoint identifiziert. Innerhalb des Netzkerns werden die IP-Pakete entsprechend dem Hop-by-Hop Verhalten des Internet verbunden mit den DS-Codepoints weitergeleitet. Dafür wurde ein *Per Hop Behaviour (PHB)* spezifiziert, welches für folgende Merkmale verantwortlich ist:

- Drop Threshold
- Pufferzuordnung
- Service Priorität
- Service Rate

Neben der einstellbaren Priorität sollen dann auch Durchsatz, Verzögerung, Jitter und Paketverluste mit einbezogen werden. Zusätzlich müssen die Netzknoten bestimmte Funktionalitäten wie Paketklassifizierung, Forwarding und Verkehrszustände (Metering, Marking, Shaping, Policing) abdecken. *DiffServ* soll die Probleme bezüglich der Skalierbarkeit von den Ansätzen der Integrated Services kompensieren. Dies soll durch die Einführung einer komplexen Klassifizierung und Zustandsfunktionen an den Randknoten sowie durch *PHB* zum Zusammenfassen des Verkehrs bei IPv4 und IPv6 über das DS-Feld erfolgen. *PHB* wurden spezifiziert, um eine feine Unterteilung der zugewiesenen Puffer- und Bandbreiten-Ressourcen an jedem Netzknoten vornehmen zu können. Die Bereitstellung des Dienstes und die Verkehrszustände sind dabei völlig unabhängig von den Forwarding-Funktionen. Eine Unterteilung ist gewährleistet durch:

- Zusammenfassen des Verkehrs durch den Service
- Gesetzte Funktionen und *PHB* für die Umsetzung der Services
- Wert des DS-Feldes (DS-Codepoint) für die Markierung der IP-Pakete, um *PHB* zu selektieren
- Eigener Knotenmechanismus, welcher das *PHB* realisiert

IP, so wie es heute besteht in seiner Einfachheit, ohne Unterstützung der Dienstgüte (Best-Effort) und verbindungslos (Hop-by-Hop) besteht, wird von der IETF mit der Zeit so umgekrempelt, daß vom Ursprung nichts mehr übrig bleiben wird. Um eine garantierte Dienstgüte nämlich anbieten zu können, muß ein effizientes Traffic Management vorhanden sein sowie eine verbindungsorientierte Arbeitsweise. Der richtige Weg dahin führt in eine Koexistenz von IP und ATM, um daraus eine dienstintegrierende Plattform zu generieren, die eigentlich mit ATM alleine bereits geschaffen wurde.

Um sich die Anforderungen an das Design heutiger Netze noch einmal genauer zu vergegenwärtigen, ist die Tabelle 8 entstanden. Sie zeigt die tolerierbaren Verzögerungszeiten sowie die Schwankungen auf, die bei unterschiedlichen Diensten erfüllt werden müssen.

Zusätzlich ist die Bitfehlerrate und maximal tolerierbare Zellenverlustrate abgebildet. Hieraus wird deutlich, daß selbst stark komprimierte Videos sensibel auf Verzögerungen und Schwankungen reagieren können. Ebenfalls steigt die tolerierbare Bitfehlerrate an, da durch die Komprimierung mehr Daten bei Verlust negativ auffallen als bei unkomprimierten Daten. Hinzu kommt, daß es bei einer maximalen Verzögerungsschwankung ab 25 msec zu einer hörbaren Beeinträchtigung kommt, die nur durch Echokompensation einigermaßen aufgefangen werden kann. Tabelle 8 macht deutlich, daß heutige reine Datenetze eigentlich nicht darauf vorbereitet, sind andere Datenströme zu erfassen und zu transportieren. Durch die Konvergenz von Sprache und Daten wird sich dies aber in Zukunft ändern.

Medium	Mittlere Bit-rate	Maximal tolerierbare Verzögerung	Maximal tolerierbare Verzögerungsschwankung	Maximal tolerierbare Bitfehlerrate	Maximal tolerierbare Zellenverlustrate
Audio	0,032-1,41 [MBit/s]	0,025-0,400 [sec]	25 [msec]	10^{-2}	10^{-2}
Video, unkomprimiert	140-270 [MBit/s]	0,250 [sec]	25 [msec]	10^{-2}	10^{-3}
Video, komprimiert	0,100-60 [MBit/s]	0,250 [sec]	2,5 [msec]	10^{-6}	10^{-9}
Daten	0,010-100 [MBit/s]	-	-	-	-

Tabelle 8: Dienstparameter für geforderte Dienstqualität

8 Abkürzungsverzeichnis

AAL-PDU	ATM Adaptation Layer Protocol Data Unit
ABR	Available Bit Rate
ABT	ATM Block Transfer
API	Application Programming Interface
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BSB	Blockade State Block
CBR	Constant Bit Rate
CDV	Cell Delay Variation
CER	Cell Error Ratio
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Ratio
CMR	Cell Misinsertion Rate
CoS	Class-of-Services
CTR	Cell Transfer Rate
DARPA	Defense Research Projects Agency
DBR	Deterministic Bit Rate
DiffServ	Differentiated Services
DVB	Digital Video Broadcasting
FDDI	Fibre Distributed Data Interface
GUI	Graphical User Interface
HDTV	High Definition Television
ICMP	Internet Control Message Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
IS	Integrated Services
ISI	Information Science Institute
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LUB	Least Upper Bound
MBS	Maximum Burst Size
MCR	Minimum Cell Rate
MCTD	Mean Cell Transfer Delay
MDS	Maximum Datagram Size
MPU	Minimum Policed Unit
MTU	Maximum Transmission Unit
NNI	Network Network Interface
Nrt-VBR	Non-real-time – Variable Bit Rate
OSI	Open System Interconnection
PCR	Peak Cell Rate
PHB	Per Hop Behaviour
PIM	Protocol Independent Multicast
PPP	Point-to-Point-Protocol
PSB	Path State Block
PVC	Permanent Virtual Connection
QoS	Quality-of-Service
RSB	Reservation State Block

RSVP	Resource Reservation Protocol
Rt-VBR	Real-time – Variable Bit Rate
SBR	Statistical Bit Rate
SCR	Sustainable Cell Rate
SVC	Switched Virtual Connection
TCP	Transmission Control Protocol
TCSB	Traffic Control State Block
TOS	Type-of-Service
UBR	Unspecified Bit Rate
UDP	User Datagram Protocol
UNI	User Network Interface
UPC	Usage Parameter Control
VC	Virtual Connection
VCI	Virtual Channel Identifier
VPI	Virtual Path Identifier
VPN	Virtual Private Network
VLAN	Virtual LAN
VoD	Video-on-Demand
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web

9 Literaturhinweise

- [1] Detken, Kai-Oliver: ATM in TCP/IP-Netzen: Grundlagen und Migration zu High Speed Networks; ISBN 3-7785-2611-1; Hüthig-Verlag; Heidelberg 1998
- [2] Detken, Kai-Oliver: Local Area Networks - Grundlagen, Internetworking und Migration; ISBN 3-7785-3911-6; Hüthig-Verlag; Heidelberg 1999
- [3] Detken: Quality-of-Service (QoS) in ATM-Netzen Messungen und Bewertung heutiger ATM-Switches Congressband II - Broadband Networking, ATM, SDH, FMI, IP..., ONLINE99; 22. Europäische Kongreßmesse für Technische Kommunikation; Herausgeber Kühn, Paul J.; Düsseldorf 1999 / ISBN 3-89077-193-9