

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

Quality-of-Service (QoS) in ATM-Netzen *Messungen und Bewertung heutiger ATM-Switches*

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>).

Seine Hauptbetätigungsfelder sind ATM- und Internet-Lösungen.

Sein Buch mit dem Titel „ATM in TCP/IP-Netzen“ ist beim Hüthig-Verlag unter der ISBN-Nr. 3-7785-2611-1 im letzten Jahr erschienen.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	2
2	DEFINITION DER MESSPARAMETER FÜR ATM-MESSUNGEN.....	3
3	QUALITY-OF-SERVICE VERSUS CLASS-OF-SERVICE.....	7
4	ATM-MESSUNGEN	9
4.1	ATM-LAYER QOS FÜR CBR, RT-VBR, NRT-VBR, UBR	10
4.2	STREBTESTS (DURCHSATZ, LAUFZEIT ETC.)	11
4.3	VERKEHRSMANAGEMENT (TRAFFIC POLICING).....	14
4.4	NON-BLOCKING-MECHANISMUS	18
5	LEISTUNGSFÄHIGKEIT HEUTIGER SWITCHES	20
6	ZUSAMMENFASSUNG	22
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	23
8	WEITERFÜHRENDE LITERATUR.....	24

1 Einleitung

Mittels ATM lassen sich unterschiedlichste Daten unabhängig von den physikalischen Schnittstellen übertragen. Somit kann ATM isochrone Datenströme ebenso handhaben wie Datenpakete unterschiedlicher Größe. Zusätzliche Anpassungsschichten (AAL-Layer) ermöglichen es weiterhin, daß unterschiedliche Sprach- und Datendienste effizient auf die festgelegte 53-Byte-Zellengröße von ATM angepaßt werden. Dabei lassen sich insbesondere Echtzeitanwendungen mit integrierter Dienstgüte sehr effizient unterstützen. Allerdings erfassen erst heutige Meßgeräte diese Parameter, die für die Güte eines Switches ausschlaggebend sind. Die QoS-Parameter, die in der ITU-T Empfehlung I.356 festgehalten sind, beziehen sich ebenfalls auf die Traffic Management (TM) Spezifikationen der Version 4.0 des ATM-Forums.

Die Evaluierung eines Netzes wird dabei immer wichtiger, da die Auswahl der richtigen Konzepte und Technologien die Zukunftssicherheit eines Netzes stark beeinflussen. Eine Evaluierung wird dabei durchgeführt, um Leistungsengpässe erkennen zu können, neue Dienste einzuführen, Migrationen zu anderen Technologien zu ermöglichen und unterschiedliche Herstellerkomponenten letztendlich bewerten zu können. Die Messungen, die im Rahmen des ATM-Handbuchs vom Hüthig-Verlag durchgeführt wurden, orientierten sich an den Anforderungen, die an heutige ATM-Switches im Rahmen neuer Dienste und Verkehrsbelastungen gestellt werden. Dazu gehört die Einhaltung einer garantierten Dienstgüte (Quality-of-Service), Unterstützung standardkonformer Signalisierungsprotokolle des ATM-Forums (UNI3.1/4.0, P-NNI, IISP), Interoperabilität, Einzelcharakteristik der ATM-Switches sowie das Verkehrsmanagement. Zusätzlich wird die Performance einer Verbindung auch durch die Qualität der physikalischen Schicht maßgeblich beeinflusst.

Um die Messungen zu vereinfachen, wurde eine möglichst einfache Konfiguration der Geräte vorgenommen. Diese mußte natürlich alle Merkmale abdecken, die für die Leistungsmerkmale eines Systems entscheidend sind. Die jeweiligen Unterkapitel beschreiben den Meßaufbau und die daraus gewonnenen Ergebnisse. Die Summe aller Testergebnisse erlauben am Ende sich einen Eindruck über die Leistungsfähigkeit eines ATM-Netzes zu verschaffen, da diese Geräte für die Performance eines Backbone von entscheidender Bedeutung sind. Damit sind sie ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit und die Effizienz eines Unternehmens. Ein Netz kann schließlich nur so leistungsfähig sein, wie die darin enthaltenen Switches mit deren Dienstmerkmalen.

Die Netzbetreiber und Hersteller von Netzwerk-Equipment beschreiben die Qualität ihrer Geräte in Form der Netzwerk-Performance. Nach der ITU-T-Empfehlung I.350 wird damit die Übermittlungsfunktion eines Netzwerks oder Netzwerkelements (Switch, Cross Connector, Multiplexer etc.) beschrieben. Dafür ist es notwendig, einen geeigneten Satz von Network Performance Parameters (NPP) auszuwerten. Diese orientieren sich wiederum an der Forderung der transparenten Weiterleitung von Nachrichten. Alle Parameter können zur Charakterisierung einzelner Netzwerkelemente wie beispielsweise LAN-Switches, als auch zum Offenlegen der Kommunikationsbeziehungen über End-to-End-Verbindungen verwendet werden. Die Empfehlung I.356 der ITU-T beschreibt die Schicht-2-Parameter bei ATM. Diese Parameter sind wichtig für die Zellenverzögerung sowie -verluste, die bei der Übermittlung auftreten können. Parameter höherer Schichten, wie beispielsweise der AAL-Schichten wurden an dieser Stelle nicht untersucht, da der Fokus ausschließlich auf der ATM-Schicht lag.

2 Definition der Meßparameter für ATM-Messungen

Die Echtzeitfähigkeit ist für die Marktchancen von 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 in den Messungen auch nur CBR, UBT und VBR untersucht. 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 eingefügt worden. Die Verkehrsfestlegungen beider Klassen sind definiert und die benötigten Verkehrskontrollfunktionen leicht verständlich. Die Dienstklasse nrt-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.

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 wieder aufgenommen. UBR ist damit mit dem Best-Effort im Internet zu vergleichen. Das heißt, die Bandbreite wird nur nach der Verfügbarkeit zugewiesen.

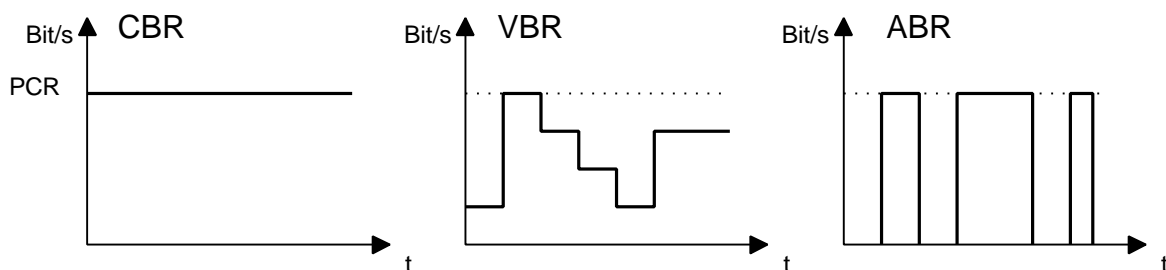


Abbildung 1: Typische Verkehrsprofile unterschiedlicher Dienstklassen

Als letzte wichtige Serviceklasse bleibt ABR zu nennen. Diese Klasse ist für zeit- und fehlerunkritischen 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 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 inkl. 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 Ver-

kehrskontrollarchitektur 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	Verkehrsart	Anwendungen	ATM-Forum-QoS-Klassen
Klasse 1	CBR, rt-VBR, DBR	Standleitung / CBR Video	Klasse 1
Klasse 2	nrt-VBR, ABR, ABT, SBR	Paketierte Audio/Videoverbindungen	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-Definition 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 durch-

führen und die Regelverstöße dokumentieren. Um den QoS garantieren zu können, sind folgende Verkehrs- und Performance-Parameter vereinbart worden, die eine Änderung des Verkehrsvertrags sofort anzeigen:

- Verkehrslast: Die absolute Verkehrslast auf einer Verbindung oder an einem Port wird definiert durch die Zellentransportrate. Die Einheit läßt sich angeben durch [Zellen/sec].
- Relative Verkehrslast: Die relative Verkehrslast ist das Verhältnis der Anzahl der genutzten Zellenlots dividiert durch die Anzahl der vorhandenen Zellenlots. Die Einheit wird in [%] angegeben. In der ATM-Schicht werden die nicht verwendeten Zellenlots auf einer physikalischen Verbindung immer mit Leerzellen belegt.
- 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 Fehlerburst (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.
- Zellenblockfehlerverhältnis (Severely Errored Cell Block Ratio – SECBR): Der SECBR-Wert gibt den Anteil aller Zellenblöcke an, die fehlerhaft übertragen wurden. Das heißt, der verworfene Zellenblock ist ungültig und wird verworfen, um die Messung nicht zu beeinträchtigen.
- 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). Der Inhalt des Traffic Contract ist anschließend dokumentiert.

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

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Dienstklassen und der Verkehrsparameter

3 Quality-of-Service versus Class-of-Service

Wie an den verschiedenen Meßszenarien zu erkennen ist, ist die Dienstgüte, die ATM beim Aufbau einer Verbindung durch den Traffic Contract festgelegt wird, 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 Management-Fragen 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 (Abbildung 2). Dadurch müßten sich die maximale Paketlänge z.B. bei Gigabit-Ethernet von 1518 Byte auf 1522 Byte vergrößern. Das heißt, daß eine Erweiterung der MAC-Spezifikationen vorgenommen werden muß. 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. Diese VLAN-Spezifikation ist unabhängig von der Datenrate und wird ebenso für 10-MBit/s-Ethernet eingesetzt werden.

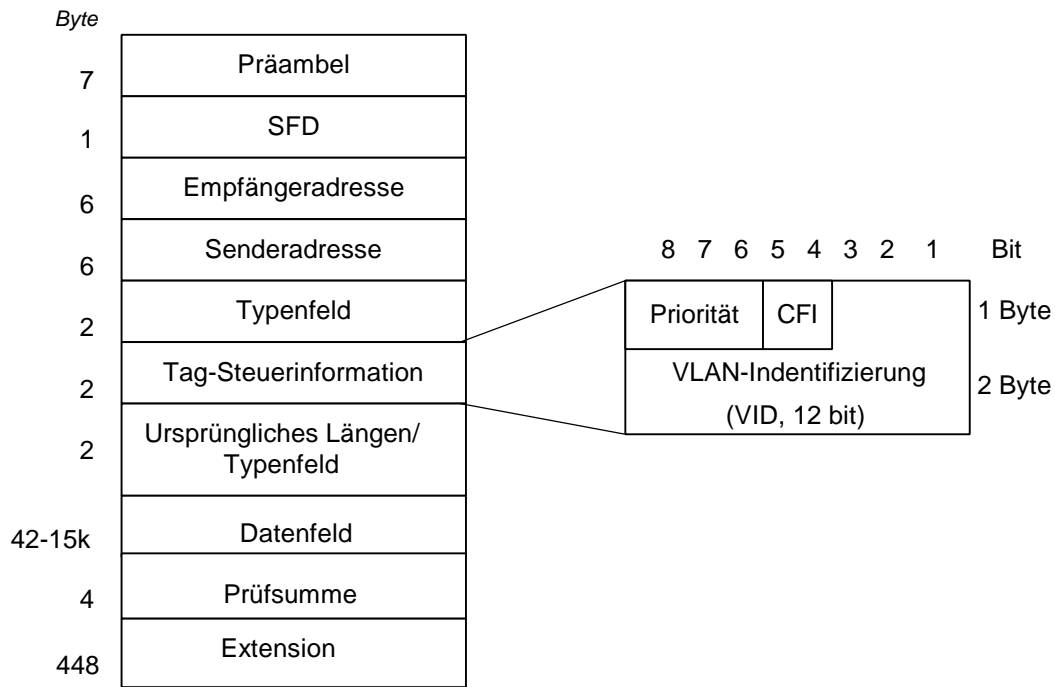


Abbildung 2: Prioritätsvergabe und VLAN-Kennzeichnung bei IEEE802.1p/q

Tabelle 3 zeigt die spezifizierten Class-of-Services (CoS) nach der Spezifikation IEEE 802.1p. Da drei Bits nur 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 über so eine 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 habe, die jetzt teilweise wieder nicht mit dem aktuellen Standard interoperabel sind.

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!

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

Tabelle 3: Class-of-Services nach IEEE 802.1p

4 ATM-Messungen

Die OptiNet GmbH hat neun verschiedenen ATM-Switches einen Leistungstest unterworfen, der sich auf die Einhaltung der Dienstgüte unter besonderem Streßverhalten bezieht. Ein Vergleich der unterschiedlichen Messungen und Werte ist durch die konsequente Verwendung gleicher Meßgeräte von Wandel & Goltermann (ABT-20, ANT-20) möglich geworden. Am Ende der Auswertung konnte deshalb eine Abschätzung erfolgen, die die Leistungsfähigkeit der ATM-Switches, Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit betraf.

Folgende Hersteller haben sich bereit erklärt Testequipment für eine Testrunde zur Verfügung zu stellen:

- 1) ATM-Switch 9A000 (Cabletron Systems) mit ATM-Modul NM-4/155MMSCC, Software S_Fore_Thought 4.1.0_1.86, Output-Buffering mit 13.300 Zellenpuffer.
- 2) ATM-Switch 6A000-02 (Cabletron Systems) mit ATM-Modul 6E132-25, Software Version 1.2_14 und Shared Memory Buffering.
- 3) ATM-Switch Centillion 100 (Bay Networks) mit ATM-Modul ATMSpeed MDA MCP, Software C100 Software SpeedView 2.2/3.0.1 und Shared Memory Switching, 4 MByte Paketpuffer.
- 4) ATM-Switch Centillion 1600 (Bay Networks) mit ATM OC-3 Modul 155M-SMFS, Software C1000 Software 7.0(1).2 und Output-Input-Buffering, 65.536 Zellen/Slot.
- 5) ATM-Switch CrossFire OC-9100 (Olicom) mit ATM155-Modul (OC3), Grafisches Device Management: CrossFire ATM Switch Manager und Output Buffering: 32.000 Zellenspeicher
- 6) ATM-Switch ASX-200BX (FORE Systems) mit ATM-Modul NM-4/155MMSCSL, Software S_Fore_Thought 5.1.0 und Output-Buffering; 65.536 Zellen/Port.
- 7) ATM-Switch CS3000 (Newbridge Networks) mit ATM155-Modul (OC3), VIVID Software Version 3.0 und System Manager und 128.000 Zellenspeicher pro Karte
- 8) ATM-Switch Meritage 1000 (Madge/LANNET) mit ATM155-Modul (OC3), Software: Version 5.1(2) und Output/Input Buffering mit 65536 Zellen/Slot
- 9) ATM-Switch Lightstream 1010 (Cisco) mit ATM155-Modul (OC3), Software IOS 11.2(5) und Output Buffering mit 65536 Zellen/Port

Alle Hersteller halfen aktiv mit an der Konfiguration der eigenen Switches, um Fehler bei der Bedienung zu vermeiden und um sicherzustellen, daß die Meßszenarien in der Lage sind, die gewünschten Ergebnisse zu liefern. Auf Wunsch wurden alle Switches nur mit 155-MBit/s-Ports mit Multimode-LWL-Kabeln und SC-Steckern ausgestattet, da diese im LAN

Backbone die häufigste Verwendung finden und somit ein direkter Vergleich ermöglicht wurde.

4.1 ATM-Layer QoS für CBR, rt-VBR, nrt-VBR, UBR

QoS-Parameter lassen sich nur im laufenden Betrieb testen. Dafür gibt es zwei Überwachungsmöglichkeiten, den In- und Out-Service-Test. Bei der ersten Möglichkeit analysiert man den Bandbreitenverlauf, die HEC-Fehler und die fehlerhaften Sekunden auf die PHY-Schicht bezogen. Dabei muß der Analysator in der Lage sein, sich in einen passiven Monitormodus einzuschleifen. Beim Out-Service-Test verwendet man spezielle Testzellen nach der Empfehlung ITU-T O.191. Durch diese speziellen Testzellen, die für die ATM-Messungen erzeugt werden, lassen sich die gewünschten Parameter ermitteln. Dazu werden zwei Analysatoren benötigt, zwischen denen ein virtueller Kanal aufgebaut wird. Die Testzellen werden dann über den Übertragungspfad gesendet und auf der Empfangsseite ausgewertet. Die bereits beschriebenen Verkehrsparameter werden durch die eingestellte Last signifikant beeinflusst. Interessante Parameter sind dabei die Zellenverzögerungsschwankung (CDV), die bei steigender Last zunehmen kann, und das Zellenverlustverhältnis (CLR), welches sich verschlechtert. Der Switch muß während der Messungen so belastet werden, daß die Lastgrenze eines realen Betriebs erreicht wird. Dadurch lassen sich Aussagen bezüglich der Einsatzgebiete, Leistungsfähigkeit und Ausfallsicherheit treffen. Zusätzlich ist die mögliche Überbelastung (Overload) einer Verbindung interessant. Hierbei ist der ATM-Switch gezwungen, seine internen Puffer mit einzubeziehen, da er sonst die Datenrate nicht bewältigen kann. Wächst hierbei der CDV-Wert kontinuierlich, wird er bei konstanter Belastung ab einem bestimmten Zeitpunkt überlastet und bricht die Verbindung ab. Interessant ist hierbei, welche Datenmengen die gemessenen Switches noch verkraften können.

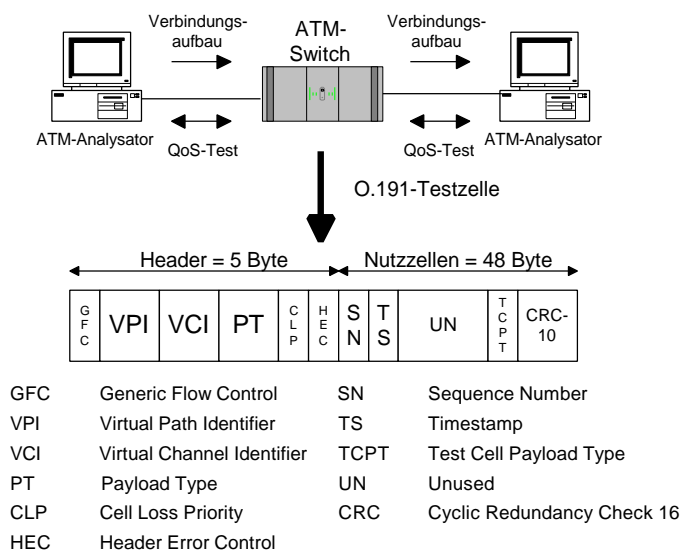


Abbildung 3: Test der QoS-Parameter

Die ATM-Zellen der virtuellen Kanal- und Pfadverbindungen werden bei diesem Szenario ebenfalls einem Test unterzogen. Dadurch kann man aktive Kanäle sofort erkennen. Weiterhin lassen sich Zellenfilter einsetzen, um die Gesamtzahl der Zellen bzw. die Zellenrate je Kanal zu ermitteln. Hierbei helfen definierte Lastprofile mit Hilfe der Testzellen bei den QoS- und Streßtest-Messungen.

Abbildung 3 zeigt die O.191-Testzelle, durch die auf der ATM-Schicht der QoS nachgewiesen werden kann. O.191 beschreibt weiterhin ein Diagnosemodell zur Performance-Analyse, für die Testzellen über eine vereinbarte virtuelle Verbindung transportiert werden. Dabei ist zu beachten, daß es sich um Performance-Messungen auf Zellenbasis handelt und somit auf der ATM-Schicht. Die Funktionalität und Leistungsfähigkeit der einzelnen Anpassungsschichten (AAL) müßte man separat betrachten. Bei der Testzelle ist besonders auf die Felder Sequence Number (SN) und Time Stamp (TS) zu achten. SN ist für die Erfassung der Zellenverluste (Cell Loss) und Zellenintegrität (Cell Integrity) verantwortlich, während TS die Zellenverzögerung (Cell Delay), den Zellen-Jitter (Cell Jitter) und die Zellenverteilung (Cell Distribution) mißt. Darüber hinaus läßt sich auch der Wert CTD erfassen. Das Feld Test Cell Payload Type (TCPT) zeigt die Versionsnummer der O.191-Zelle an. Das Feld CRC-16 ist für die Erkennung von Bitfehlern zuständig. Das heißt, alle fehlerhaften Zellen werden aus dem Datenstrom entfernt und nicht einbezogen. Korrekturen können dabei nicht vorgenommen werden.

4.2 Streßtests (Durchsatz, Laufzeit etc.)

Durch die Definition der Testszenarien kann erst eine Bewertung der ATM-Switches als Netzwerkelemente unter Verwendung der NPP auf der ATM-Schicht stattfinden. Parameter auf den AAL-Schichten werden dabei nicht erfaßt, da für den Anwenderverkehr das AAL-Protokoll in reinen ATM-Einrichtungen üblicherweise nur als End-to-End Protokoll gefahren wird.

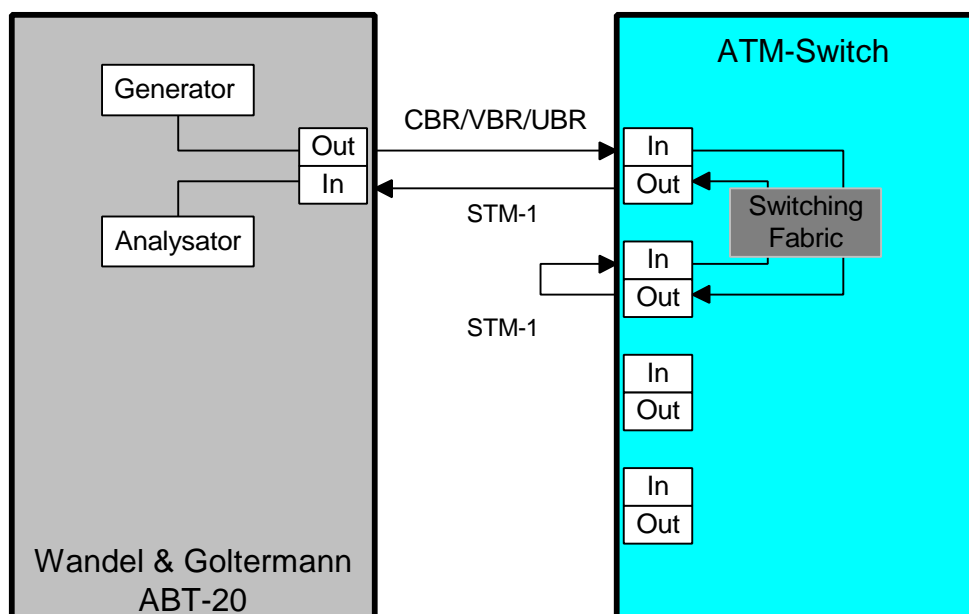


Abbildung 4: Switching über zwei Ports

Zur Bewertung der ATM-Switches als Netzwerkelemente werden diese mit geeignetem Testverkehr gefahren. Die Switches werden hierbei als „Black Box“ betrachtet. Zur Charakterisierung werden die relative Transportrate (Verhältnis empfangene Zellen zu gesendeten Zellen am Zielport) und der Delay in Abhängigkeit von der Verkehrslast herangezogen. Am Anstieg dieser Kennwerte in Abhängigkeit der Verkehrslast lassen sich Blockierungsmechanismen und damit die Leistungsgrenze der Switches erkennen. Die Switches werden lokal betrachtet, d.h. als isolierte Elemente betrieben. Als kritische Lastsituationen des Switches werden Multiplex- und Demultiplexbetrieb mit unterschiedlichen Dienstklassen (CBR, VBR

und UBR) betrieben. Dadurch lassen sich unterschiedliche Verkehrsprofile am Switch untersuchen, um die Leistungsfähigkeit beurteilen zu können.

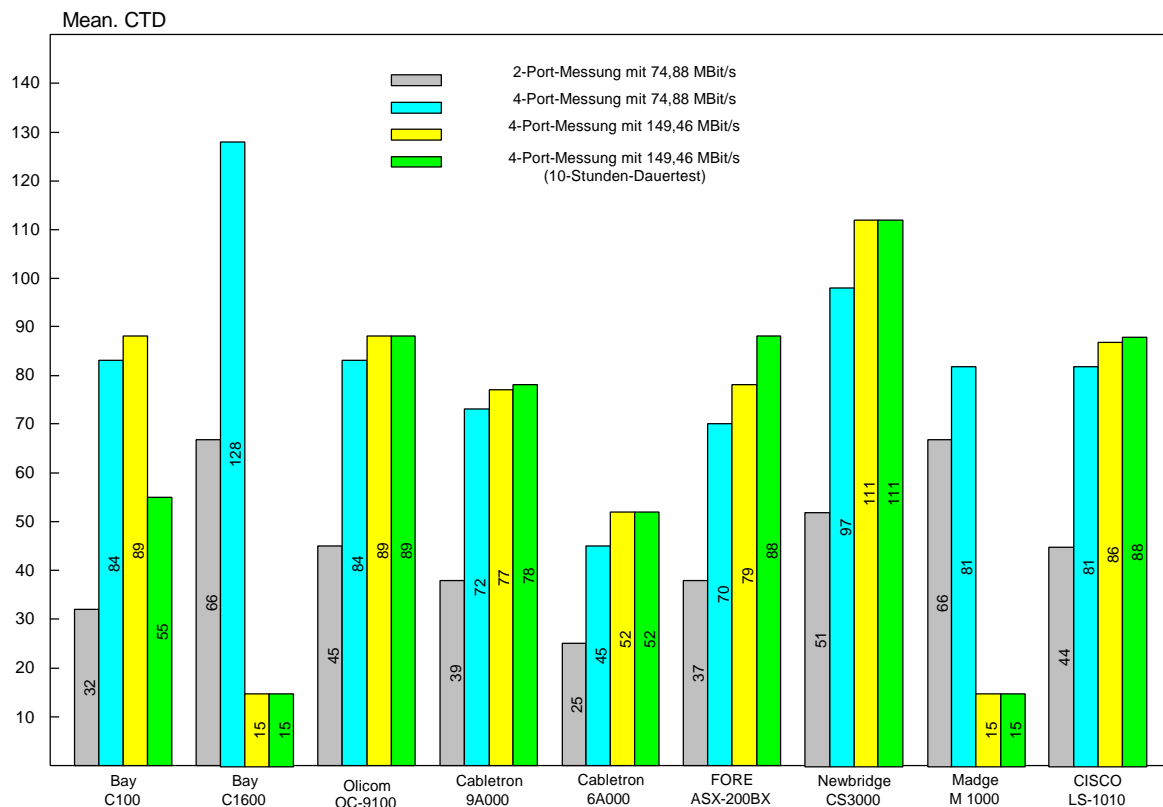


Abbildung 5: 2/4-Port-Messung, Mean. CTD [ms]

Im ersten Schritt wird ein einzelner CBR-Datenstrom von dem ABT-20 erzeugt und an zwei Ports des ATM-Switches weitergeleitet. Abbildung 4 verdeutlicht die Konfiguration. Die Zellenverzögerung des Switches läßt sich nun erfassen. Das Verkehrsmanagement bleibt während der Messung ausgeschaltet soweit es die Hersteller der ATM-Switches ermöglichen, da nur ein Datenstrom zur Verfügung steht. Dabei bleibt der Datenstrom auf einen konstanten Wert eingestellt, der 7,488 MBit/s beträgt. Hieran ist zu erkennen, welche Transitzeiten die ATM-Switches während des normalen Betriebs besitzen. Anschließend werden die gleichen Messungen mit den Dienstklassen VBR und UBR durchgeführt. Zusätzlich lassen sich hier noch verschiedene Ports eines ATM-Moduls verwenden, um die Korrelation zwischen verschiedenen Modulen zur Backplane zu bekommen.

Im zweiten Schritt wird der Datenstrom auf die mögliche Nettoübertragungsrate eines STM-1-Datenstroms von 149,8 MBit/s erhöht. Auch hier wird CBR, VBR und UBR gemessen. Allerdings werden diesmal vier Ports in die Messungen einbezogen. Dabei werden sich die Time-Outs bzw. Zellenverzögerung der Switches durch die höhere Belastung weiter erhöhen. Sie müßten diese Übertragungsrate aber noch verwalten können, indem die Pufferkapazität mit einbezogen wird. Die virtuelle Verbindung wird durch einen PVC (VPI=1, VCI=33) über den ABT-20 etabliert.

Latenzzeiten stellen allerdings nur ein Problem für Echtzeitapplikationen dar. Switches müssen in der Lage sein, die Zellen nicht nur sehr schnell, sondern auch konsistent durch ein Netzwerk zu übertragen. Um dies abschätzen zu können, ist die Cell Delay Variation (CDV) gemessen worden, die mit einem Jitter vergleichbar ist. Schwankung der Zellenverzögerung kann den CBR-Verkehr maßgeblich beeinflussen, da der konstante Bitstrom von genauen

Zeitintervallen abhängig ist. Im Grunde genommen kann man sich das sehr einfach klar-machen: Wenn die Latenzzeit eine konstante Größe wäre, könnte man darauf in regelmä-Bigen Intervallen reagieren. Da das nicht der Fall ist, müssen Mechanismen implementiert werden, die eine Zeitfluktuation verhindern.

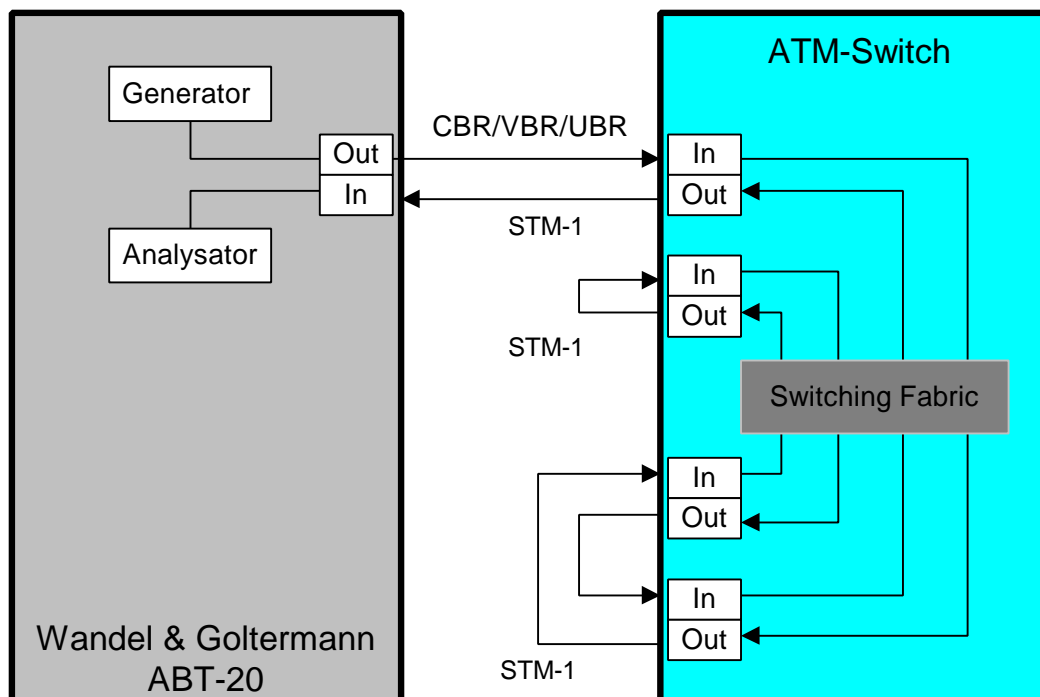


Abbildung 6: Switching zwischen vier Ports

Abbildung 5 geht auf die mittlere Cell Transfer Delay (CTD) ein, die bei den beiden Szenarien ermittelt wurden. Ein Meßergebnis bei der vollen Nettodatenrate bei den Switches von Bay (Centillion 1600) und Madge (Meritage 1000) fiel dabei aus der Meßreihe. Beide Switches besaßen bei voller Belastung auf einmal nur noch eine durchschnittliche CTD von 15 μ s. Die Werte für die minimale und maximale CTD liegen dabei aber wesentlich höher und müßten eigentlich betrachtet werden. Tabelle 4 zeigt die aufgenommenen Werte bei-der Switches. Sie liegen sehr eng zusammen, was an dem gleichen Hersteller beider Geräte NEC liegt. Nur die Software-Versionen unterscheiden sich voneinander. Wie sich der Wert von 15 μ s ergibt, ist allerdings unklar, da er sich unter dem Minimumwert befindet. Eine Nachfrage bei W&G ergab, daß es sich um Meßfehler handelt, die unberücksichtigt bleiben sollten.

	Centillion 1600	Meritage 1000
Max. CTD	155	160
Min. CTD	127	127
Mean. CTD	15	15

Tabelle 4: Direkter Vergleich C1600 und M1000

Die durchgeführten Messungen richten sich nach der Standardabweichung der Zellenver-zögerung, die bei einer Abtastung von 2,5 Millionen Zellen entsteht. Ein Datenstrom von 7,488 MBit/s enthält alle 54,6 μ s eine Datenzelle. Das heißt, die Testdaten enthalten eine Datenzelle und 19 Idle-Zellen bei einer Bruttoübertragung von 155 MBit/s. Bei den Mes-sungen wurde das ILMI-Protokoll vollständig ausgeschaltet, da beide Meßgeräte dieses

noch nicht implementiert hatten. Das verursachte mehr oder minder große Probleme bei der Einstellung im Managementtool der ATM-Switches.

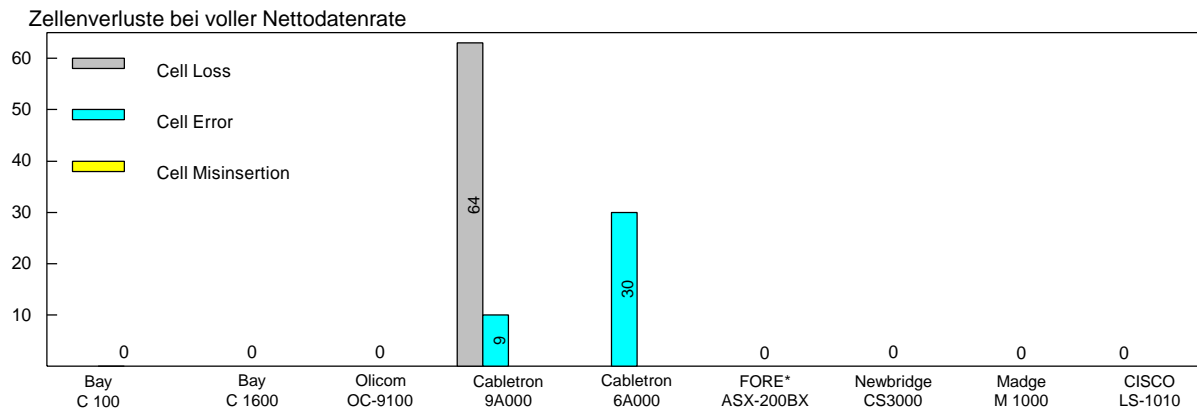


Abbildung 7: 2/4-Port-Messung der Zellenverluste bei voller Nettodatenrate

Abbildung 7 zeigt die Zellenverluste, die bei einer 10-Stunden-Messung bei voller Ausnutzung der Nettodatenrate entstanden sind. Dies darf unter keinen Umständen passieren, da auch größere Datenpakete in den Anpassungsschichten durch den Verlust einer einzelnen Zelle komplett betroffen sind. Diese müssen wiederholt angefordert werden und belasten das Netz unnötig.

4.3 Verkehrsmanagement (Traffic Policing)

Switching in ATM-Systemen bedeutet mehr, als die Zellen so schnell wie möglich von Eingangsport zu Ausgangsport weiterzuleiten. Die Switches müssen während der Weiterleitung eine Reihe von Parametern einhalten, um die Dienstgüte garantieren zu können. Die Latenzzeiten und Jitter sind dabei ausschlaggebend. Weiterhin muß der Switch mit unterschiedlichen Verkehrsarten, Datenraten und Belastungen zurechtkommen. Das Verkehrsmanagement und die Zwischenspeicherung der Daten sind dabei die Hauptmerkmale, um konsistent niedrige Latenzzeiten (Zeit, die eine Zelle benötigt, um vom ATM-Switch weitergeleitet zu werden) und effiziente Zellenspeicherung (der Speicher und die Warteschlangen erfordern die Handhabung von Überlastung und Burst-artigen Verkehrsströmen) zu erreichen.

Die Messung des Verkehrsmanagement stellt im Grunde die elementaren Eigenschaften eines ATM-Switches heraus. Hier wird deutlich, ob der Switch in der Lage ist, verzögerungsempfindliche Datenströme wie Audio und Video zu garantieren, während gleichzeitig verzögerungsunempfindliche Datenströme gehandhabt werden müssen. Weiterhin kann dadurch festgestellt werden, ob die Überlastung eines Switches auf einem Port die virtuellen Verbindungen anderer Ports mit beeinflußt.

Die Latenzzeiten bzw. die Anzahl der Zeit, die benötigt wird eine virtuelle Verbindung zu etablieren und die Zellen zwischen zwei Endstationen zu übertragen, sollte idealerweise minimal und konstant sein. Jitter bzw. die Zellenverzögerungsschwankung beziehen sich auf die Unterschiede in der Übertragungszeit für eine gegebene Anzahl von Zellen. Auch Jitter sollten so wenig wie möglich auftreten und wenn doch in konstanten Zeitabschnitten. Die verschiedenen Applikationen und unterschiedlichen Datenströme die ATM handhaben muß, machen Latenzzeiten und Jitter zu kritischen Maßsystemen. Eine zu große Latenzzeit wird die Ablaufsteuerung von Sprache und Video verzerren und hat Überschreitungen des

Zeitlimits zur Folge. Ebenso führen zu viele Jitter zu Unregelmäßigkeiten bei der Echtzeitübertragung, die sich durchaus auch auf reine Datenübertragung auswirken kann.

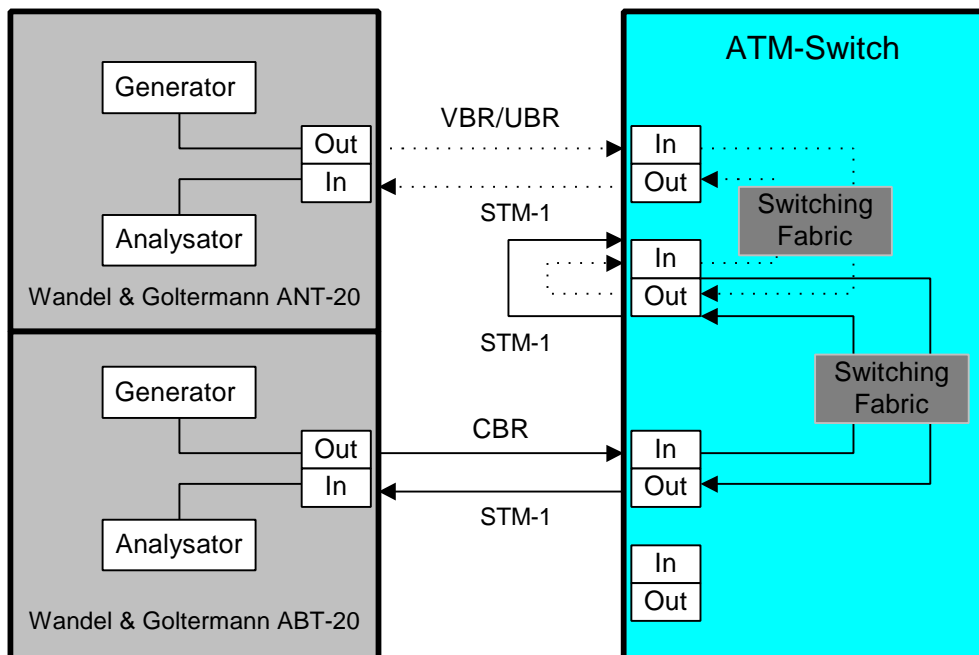


Abbildung 8: Switching unter Einbeziehung des Verkehrsmanagements

Demnach führen hohe Latenzzeiten und Jitter zu Problemen in einer ATM-Umgebung. Verzögerungen beim Aufbau einer virtuellen Verbindung und bei der Flußkontrollerkennung führen im schlechtesten Fall zu einer Überbelastung des Netzes. Abbildung 8 zeigt die Konfiguration des Switches mit den ATM-Analysatoren ABT-20 und ANT-20. Dadurch ist es möglich geworden, zwei unterschiedliche Datenströme zu generieren: Burst-artigen VBR/UBR-Verkehr und verzögerungsempfindlichen CBR-Verkehr. Der UBR-Datenstrom soll hierbei IP-Verkehr simulieren, der bei den gemessenen Edge Devices ohnehin vornehmlich eingesetzt wird. VBR soll nur für eine nicht kontinuierliche zusätzliche Datenlast sorgen, die man mit UBR vergleichen kann. Das Ziel ist es, zu erkennen, ob der CBR-Verkehr ohne zusätzliche Latenzzeiten und Unterbrechungen durch den Switch aufrechterhalten werden kann. Es wird der VBR/UBR-Verkehr von 10%-Last kontinuierlich auf 90%-Last erhöht. Dabei wird voraussichtlich die Latenzzeit des CBR-Verkehrs ebenfalls ansteigen. Dies ist ein guter Indikator zum Anzeigen der Problematik wie Mechanismen der Flußkontrolle und Zwischenspeicherung der Zellen zusammenspielen müssen, wenn unvorhergesehener Datenverkehr entsteht.

Um dieses Zusammenspiel effizient gewährleisten zu können, gibt es vier unterschiedliche Mechanismen für ATM-Switches:

- Separate Pufferwarteschlangen für hohe Priorität des Datenverkehrs.
- Usage Parameter Control (UPC), um Bandbreite zu reservieren.
- Cell Loss Priority (CLP), um Datenverkehr zu kennzeichnen, der verworfen werden kann.
- Proprietäre Fairness-Algorithmen, um dedizierte Bandbreite für spezielle Verbindungen bereitstellen zu können.

Wenn separate Pufferwarteschlangen in den Switches zur Verfügung stehen, wird CBR-Datenverkehr immer in der höchsten Priorität behandelt und in die Ausgangspuffer geleitet. Hingegen wird VBR-Datenverkehr immer mit einer niedrigeren Priorität versehen, egal ob es sich um reinen Datenverkehr oder Echtzeitverkehr handelt. Das garantiert, daß CBR-

Zellen als erstes weitergeleitet werden und erst anschließend weniger kritischer Datenverkehr. Bay Networks, Cisco, FORE Systems besitzen beispielsweise diesen Mechanismus. Newbridge Networks hingegen verläßt sich auf die Netzpuffer.

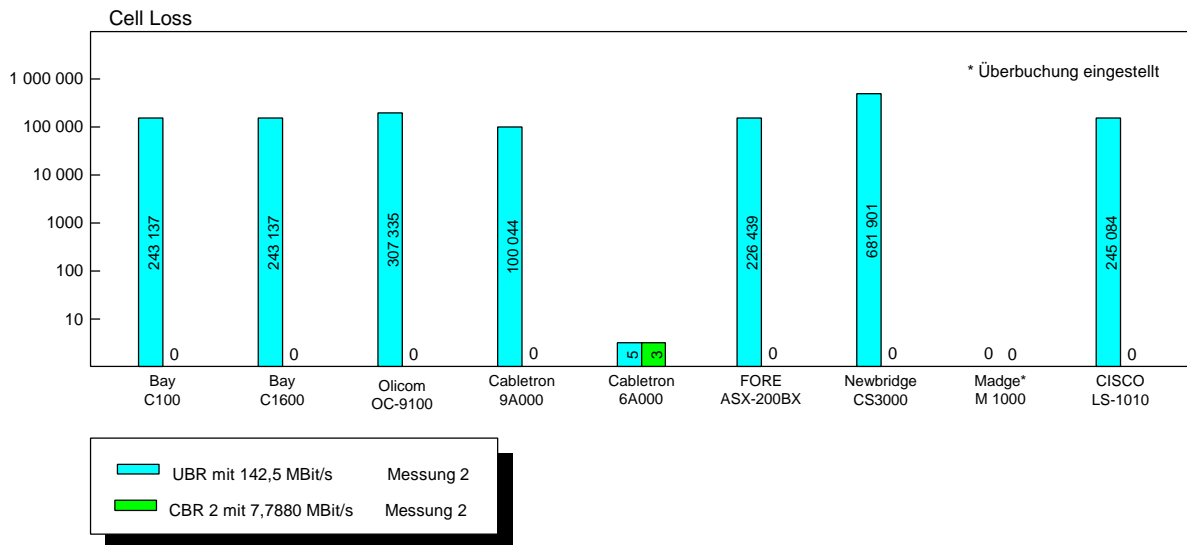


Abbildung 9: 3-Port-Messung UBR/CBR, Cell Loss

Abbildung 9 zeigt, daß alle Switches, bis auf den 6A000 von Cabletron, den zu hohen UBR-Verkehr verworfen haben, um den CBR-Verkehr zu schützen. Der Meritage 1000 von Madge war dabei sogar durch Überbuchung in der Lage beide Datenströme ohne Datenverluste zu unterstützen. Zusätzlich wurden auch die Latenzzeiten des CBR-Verkehr streng eingehalten, während die Verzögerung bei UBR anstieg. Ähnliche Werte wurden bei Einsatz von VBR-Verkehr aufgenommen.

UPC ist ein Teil der Spezifikation des Traffic Management 4.0 und besteht aus Algorithmen, die mit den virtuellen Verbindungen zusammenarbeiten, um Bandbreite zuteilen zu können. Da im Grunde keine physikalische Begrenzung der Zugriffsrates auf das Übertragungsmedium bei ATM existiert, muß der Zellenstrom jeder Pfad- und Kanalverbindung überwacht und kontrolliert werden. Der bekannte Leaky-Bucket-Algorithmus ist eine solche Kontrolle und arbeitet mit CBR-Datenverkehr zusammen. Er erkennt und verwirft jede Zelle, die den definierten bzw. festgelegten Durchsatz nicht einhält, nachdem im ersten Schritt noch erste Abweichungen aufgefangen werden. FORE Systems verwendet diesen Ansatz beispielsweise genauso wie Cisco und Newbridge Networks.

Der zweifache Leaky-Bucket-Algorithmus gilt ebenfalls für VBR-Zellen. Er überwacht Übertretungen der Spitzenzellenrate (Peak Cell Rate – PCR) und der kontinuierlichen Zellenrate (Sustained Cell Rate – SCR). VBR-Datenverkehr ist sehr Burst-artig, wobei PCR die maximal zulässige Zellenrate beschreibt. SCR spezifiziert den mittleren Durchsatz, der für ein bestimmtes Intervall eingehalten werden kann (z.B. 135 MBit/s für 5 sec).

Das ATM-Header-Bit CLP ist für die Markierung von Datenverkehr zuständig, der als erstes verworfen werden kann. Wenn CLP=0 ist, besitzt der Datenstrom wie beispielsweise bei CBR-Verkehr eine hohe Priorität. Das heißt, dieser Datenstrom darf unter keinen Umständen durch den Switch verworfen werden. Bei CLP=1 ist der umgekehrte Fall spezifiziert. Dieser Datenstrom ist bei Überbelastung des Switches sofort zu verworfen. Alle getesteten Switches besitzen die Möglichkeit, CLP-Bits zu erkennen und das beschriebene umzusetzen.

Inwieweit proprietäre Fairness-Algorithmen in die getesteten Switches eingebaut wurden, muß noch getestet werden. Ein Beispiel ist, wenn eine definierte Bandbreite zu einer virtuellen Verbindung zugewiesen wird sobald der Switch anfängt Zellen verzögert weiterzuleiten. Standardmäßig muß jede virtuelle Verbindung (Virtual Circuit Connection – VCC) die über einen bestimmten Port am Switch geführt wird, die vorhandene Bandbreite mit anderen VCCs teilen, die ebenfalls diesen Port verwenden. Fairness-Mechanismen erlauben es, daß jede Verbindung innerhalb definierter Parameter die ausgehandelten Anforderungen überschreitet, solange es nicht andere VCCs auf dem selben Port betrifft.

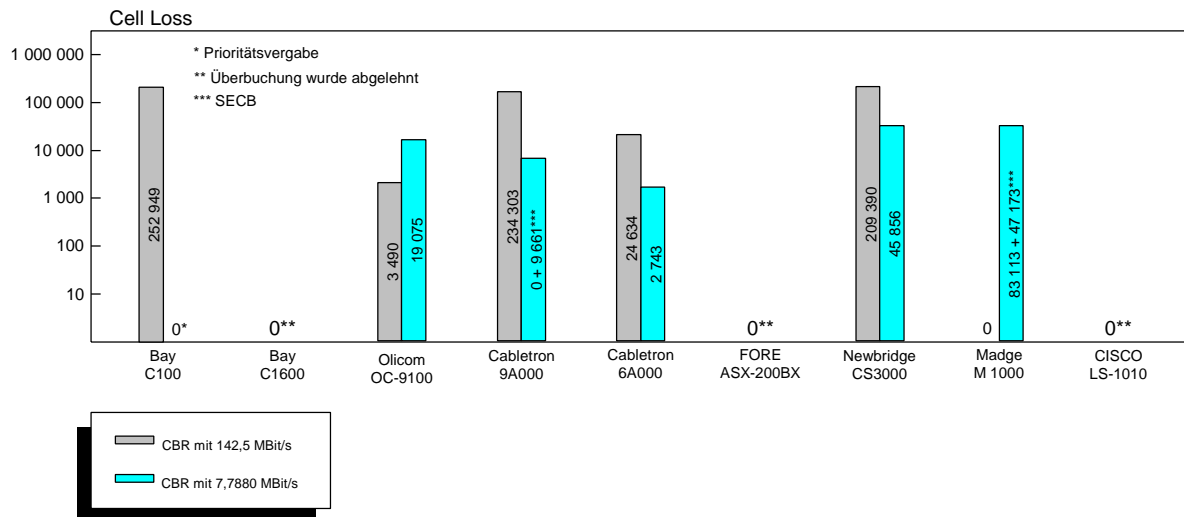


Abbildung 10: 3-Port-Messung CBR/CCR, Cell Loss

Abbildung 10 zeigt die Zellenverluste bei der Überbuchung mit zwei CBR-Datenströmen. Dabei ließen drei Switches keine Überbuchung zu. Die Verbindung wurde abgelehnt, was durchaus positiv zu bewerten ist, da so keine Überlast zustande kommen kann und der CBR-Verkehr optimal unterstützt wird. Es kann zu keiner Verletzung des Traffic Contract kommen. Alle anderen Switches haben entweder den einen oder anderen CBR-Verkehr verworfen oder beide. In jedem Fall wird hierbei der Traffic Contract verletzt und kann nicht aufrecht erhalten werden.

Verkehrsmanagement ist somit eine absolute Notwendigkeit in heutigen ATM-Netzen, um Überlastungen entgegenwirken zu können und Zellenverlust zu vermeiden. Es müssen dabei allerdings geringfügig höhere Latenzzeiten in Kauf genommen werden, da die Switches die Überlastmechanismen noch zusätzlich zum Datenstrom handhaben müssen.

Traffic Shaping

In den Empfehlungen der ITU-T sind verschiedene Möglichkeiten spezifiziert, um zu hohe Verkehrsspitzen zu dämpfen oder zu vermeiden. Eine Möglichkeit besteht darin, Zellen, die über die PCR hinaus gehen mit CLP=1 zu kennzeichnen. Somit können diese Zellen nach Bedarf verworfen werden. Eine weitere Möglichkeit besteht durch das sogenannte Traffic Shaping. Hier gibt es keine Prioritätsvergabe über CLP, sondern Zellen, die die PCR übertreffen, werden in einen anderen Zeitabschnitt mit geringerer Belastung verschoben. Die Gesamtlast wird dadurch verformt und der Traffic Contract kann eingehalten werden. Durch die notwendige Zwischenspeicherung kommt es aber wiederum zu Verzögerungen.

Die Meßgeräte ABT-20 und ANT-20 haben beide einen Traffic Shaper implementiert. Ist ein Shaper eingeschaltet, so überprüft dieser, ob ein virtueller Kanal seinen Verkehrsvertrag einhält. D.h., der Shaper rechnet nach, ob die gesendeten Zellen im Einklang mit den

Kontraktparametern stehen, die im Channel Editor eingegeben wurden. Der ABT/ANT-20 hat für jeden Meßkanal separate Shaper, die unabhängig voneinander verwendet werden können. Der verwendete Algorithmus ist kompatibel mit dem Single Leaky Bucket (DBR-, UBR- und CBR-Verkehr) bzw. mit dem Dual Leaky Bucket (VBR- und SBR-Verkehr). Der zu verwendende Algorithmus wird vom ABT/ANT-20 automatisch in Abhängigkeit von den im Channel Editor eingegebenen Werten bestimmt.

Falls ein Kontrakt verletzt ist, wird der Verkehr „geshaped“. Der Shaper versucht hierbei möglichst, die Rate zu halten. Natürlich ist dies nicht immer möglich, z.B., wenn bei der Quelle eine höhere Zellenrate eingestellt ist als der Traffic Contract es zuläßt. In diesem Fall muß der Shaper Zellen „droppen“. Wenn der Shaper Zellen „dropped“, bedeutet dies nicht, daß Zellenverluste gemessen werden. Der ABT/ANT-20 paßt lediglich das Verkehrsprofil im notwendigen Umfang an.

Mit ausgeschaltetem Shaper kann geprüft werden bis zu welchem Grade ein ATM-Switch und somit das gesamte Netz Überbuchungen zuläßt. Wenn man dagegen sicherstellen möchte, daß keine Kontraktverletzung vorkommen, sollte man auf allen Meßkanälen den Shaper einschalten. Bei diesen Messungen haben alle Switches, die QoS-Parameter integriert hatten, Traffic Shaping unterstützt und gute Ergebnisse geliefert. Interessanter waren allerdings die Tests der Überbuchung der Verbindung, weshalb hier ein größerer Schwerpunkt lag.

4.4 Non-Blocking-Mechanismus

Ein weiterer interessanter Test, ist die Möglichkeit herauszufinden, was der ATM-Switch letztendlich unternehmen wird, wenn eine Überlastung auf einem Ausgangsport auftritt und den Durchsatz an einem unbelasteten Port beeinflußt. Dieses Phänomen wird als Head-of-the-Line-Blocking bezeichnet und zeigt Grenzen in der Switch-Architektur auf, da Datenverkehr von unabhängigen Ports einen Rückstau ermöglichen kann. Beim Aufbau der Switch-Architektur lassen sich folgende Möglichkeiten betrachten:

- ATM-Switches mit Eingangsspeicher
- ATM-Switches mit Ausgangsspeicher
- ATM-Switches mit zentralem Speicher
- ATM-Switches mit verteiltem Speicher

Betrachtet man die verschiedenen Speicherkonzepte bei ATM-Switches, so ergeben sich unterschiedliche Blockierungswahrscheinlichkeiten. Bei ATM-Switches mit Eingangsspeichern ist die Blockierungswahrscheinlichkeit am größten. Immer wenn in diesem System mehrere Eingänge auf den gleichen Ausgang zugreifen wollen, muß dieser Zugriffskonflikt gelöst werden. Kommen häufiger Zugriffskonflikte vor und wollen sehr viele Eingänge auf einen Ausgang zugreifen, so werden ein oder mehrere Eingangsspeicher überlaufen, wodurch Zellen verworfen werden müssen. Theoretische Betrachtungen zeigen, daß 16 Eingänge nur eine Verkehrslast von 58% zulassen.

Bei ATM-Switches mit Ausgangsspeicher kann man ein ähnliches Verhalten feststellen. Wollen hier mehrere Eingänge auf den gleichen Ausgang zugreifen, wird der Ausgangsspeicher zunehmend gefüllt. Erfolgt die Speicherfüllung schneller als die Leerung (Leaky Bucket), gehen auch hier wiederum Zellen verloren. Um den Zellenverlust zu vermeiden, muß innerhalb des Switches eine höhere Geschwindigkeit verwendet werden, als an den Ein- und Ausgängen. Bei ATM-Switches mit 16 Eingängen könnte theoretisch jeder Eingang eine Last von 80% verarbeiten.

Die dritte Möglichkeit besitzt einen zentralen Speicher. Bei der richtigen Auslegung hat diese Variante eine wesentlich geringere Blockierungswahrscheinlichkeit, als die anderen Verfahren. Alle Zugriffe von verschiedenen Eingängen auf den gleichen Ausgang werden hierbei durch den Zentralspeicher abgewickelt. Letztendlich kann nur der Überlauf des Gesamtspeichers zum Zellenverlust führen. Nachteilig ist der erheblich höhere Aufwand für die Steuerung und die notwendige sehr hohe Zugriffsgeschwindigkeit auf den Speicher. Es kann allerdings Speicher eingespart werden.

Systeme mit verteilten Speicher haben im Grunde die gleichen Eigenschaften, wie Systeme mit Zentralspeicherung. Auch hier ist die Blockierungswahrscheinlichkeit geringer als bei Systemen mit Ein- oder Ausgangsspeichern. Der Speicherbedarf ist allerdings durch die Verteilung der Speicher höher. Die Last wird nicht auf den Gesamtspeicher verteilt, wodurch keine Erhöhung der internen Geschwindigkeit vorgenommen werden braucht. Ein erhöhter Aufwand ist aber beim gesteuerten Auslesen der verteilten Speicher erforderlich.

Blocking entsteht nun durch die unterschiedliche Art, wie man die Puffer an den Ports verwaltet. Notwendigerweise bestimmt der Verkehr des überlasteten Ports im voraus, wann er zu einem unbelasteten Ausgangsport weitergeleitet wird. In machen Überbelastungssituationen ist dies aber für den Switch nicht mehr möglich: Wenn die Begrenzung der Datenrate für den belasteten Port nicht weiter transportiert werden kann, bekommt der unbelastete Port ebenfalls die Meldung, daß er überlastet ist und verwirft ebenfalls Zellen, obwohl noch genügend Kapazität vorhanden ist.

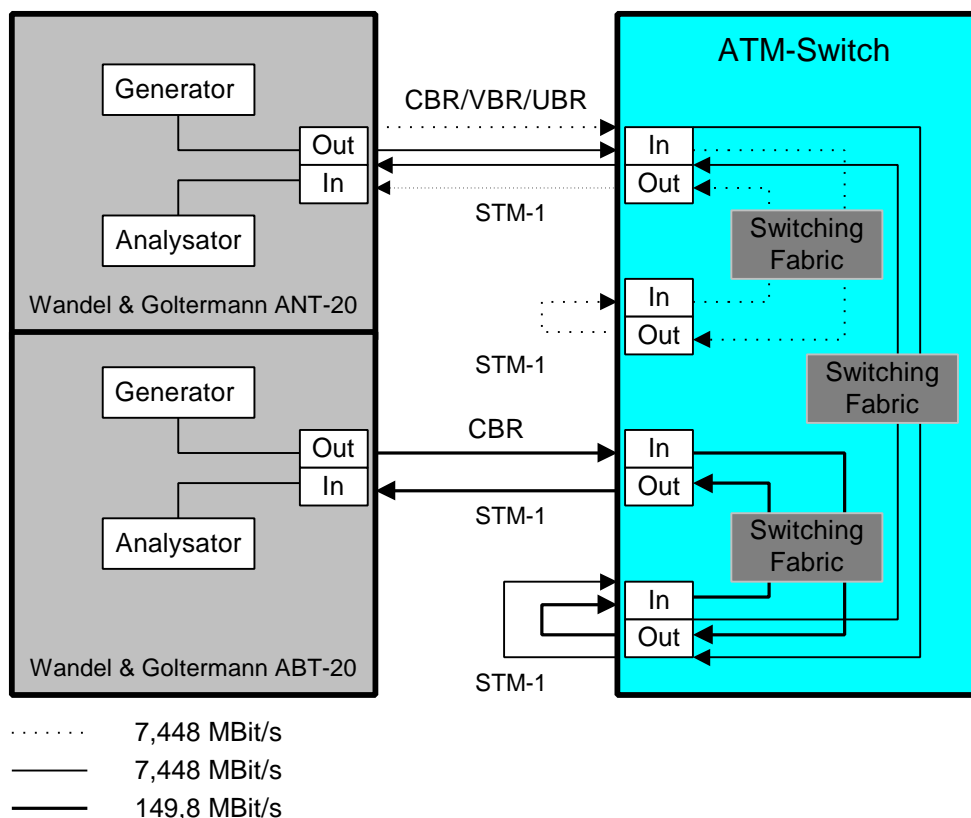


Abbildung 11: Testszenario Head-of-the-Line-Blocking

Um die Non-Blocking Mechanismen testen zu können, muß ein weiteres Szenario eingeführt werden, welches zwei Verkehrsströme beinhaltet, die zu einem einzelnen Eingangsport transportiert werden. Hierbei handelt es sich um reinen Datenverkehr. Die beiden Datenströme werden auf zwei unterschiedliche Ausgangsports geschwitched. Einer der beiden Aus-

gangsports ist überlastet, der andere nicht. Die Überlastung wird durch einen weiteren Datenstrom einer zweiten Quelle ausgelöst, die mit 149,8 MBit/s, also der maximal möglichen Nettobitrate sendet. Wie die unterschiedlichen Switches auf dieses Problem reagieren, zeigt die Abbildung 12.

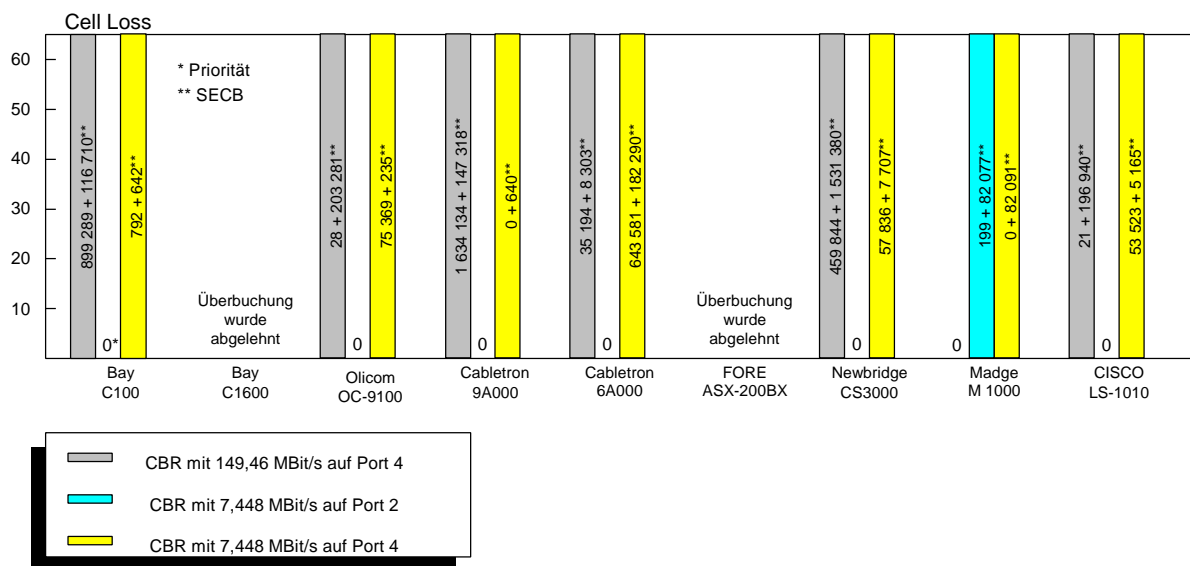


Abbildung 12: Non-Blocking-Messung CBR-CBR-CBR, Cell Loss

Abbildung 12 zeigt die Zellenverluste der Non-Blocking-Messung. Auffällig ist dabei, daß beim Meritage 1000 die Non-Blocking-Messung nicht erfolgreich war, da der Port 2 mit in die Überbelastung einbezogen wurde und Zellen verwarf. Zwar ist der Switch durch die Überbelastung gezwungen gewesen, zwei CBR-Verkehrsströme zu verwerfen. Dies konnte aber auf keinen Fall der PVC auf Port 2 sein, da dieser unbelastet war. Es kommt somit zum sogenannten Head-of-Line-Blocking, weil der Switch versuchte, den hohen Datenstrom mit 149,46 MBit/s ohne Fehler weiterzuleiten. Das heißt, der Switch gerät durch die Überbuchung in die Problematik, daß er zwischen Traffic Management und Überbuchung auswählen muß, wodurch es zu diesem Ergebnis kommt.

5 Leistungsfähigkeit heutiger Switches

Die Meßdauer wurde bei allen Messungen auf 10 min eingestellt. Eine Ausnahme stellten die Dauertests mit 10 Stunden dar. Weiterhin sind vordefinierte Einstellungen immer wieder verwendet worden, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Dazu gehört der ATM-Header (GFC: 0, CLP: LOW, CI: OFF), die Verkehrsart (CBR), virtuelle Verbindungen (PVC - VPI:1/0 und VCI=32) und Shape-to-Contract: OUT.

Das Tagging der Switches wurde während der Messungen ebenfalls abgeschaltet, da dieser Mechanismus nur zusätzlich die Messungen beeinflusst hätte. Tagging bezeichnet einen Schutzmechanismus der ATM-Switches, um Zellen, die über der eingestellten PCR liegen, mit CLP=1 zu kennzeichnen. Das heißt, solange die Verbindungen nicht überlastet sind, erlaubt der Switch eine Übersteuerung des Kanals. Kommt es hingegen zur Überbelastung, ist der Switch in der Lage, die Zellen, die über der PCR liegen, zu verwerfen. Falls kein Tagging eingestellt wurde, wird im Grunde keine Übersteuerung des Kanals zugelassen. Das wurde während den Messungen auch von den Switches bestätigt. Weiterhin ist Early Packard Discard (EPD) auf OFF eingestellt worden und Frame Discard auf OUT, um die

Meßergebnisse nicht zu beeinflussen. Parallel wurde EPD auch betrieben, um die Unterschiede kurz zu verdeutlichen.

Bei den Wandel & Goltermann Geräten ABT-20 und ANT-20, handelt es sich um Analytoren, die speziell QoS-Echtzeitmessungen berücksichtigen, Lastverkehr mittels SVC- oder PVC-Verbindungen erzeugen können und SDH-Module bis 2,45 GBit/s unterstützen. Eigenschaften dieser Meßgeräte sind u.a. Zellen- und Fehlerstatistik, Kanalübersicht, OAM-Auswertung, Signalisierung UNI 3.0/3.1, Fehlereinblendung mit Alarmerzeugung sowie optional Jitter- und Wandermessungen. Gemessen wurden QoS-Parameter, Jitter, Verzögerungsverhalten, Streßtest, Head-of-Line-Blocking, physikalische Jitter und Verkehrsmanagement der Switches. Zusätzlich wurde die Handhabung ausgewertet.

Die ATM-Tests wurden hauptsächlich durchgeführt, um die Performance und Qualität der ATM-Switches unter Beweis zu stellen. Dabei bezog sich die Hauptkritik auf die Dienstgüte von ATM, welche nach wie vor neben der Skalierbarkeit der größte Vorzug gegenüber anderen Technologien darstellt. Alle gemessenen Switches erfüllten die Anforderungen hinsichtlich des QoS, wobei auch Abstriche zu machen waren.

Beim Centillion 100 von Bay Networks konnten bislang keine QoS-Merkmale berücksichtigt werden, da nur eine Prioritätsvergabe unterstützt wurde. Die neue Software-Version 3.0 hat das aber auch nicht geändert, wie ein Update erkennen ließ. Leider schaltete sich der Ausgangsport bei Belastung mit zwei Verkehrsströmen und Verwendung der neuen Software 3.0 auf DOWN. Das heißt, die Datenströme wurden blockiert, ohne daß auf Prioritäten Rücksicht genommen wurde. Weiterhin konnten die Messungen des QoS nicht durchgeführt werden, da die Software Release 3.0 nur CAC und PCR neu unterstützte. Ansonsten schaltete der Switch in der Software Release 2.2 die Verbindungen zügig durch, besaß keine Zellenverluste oder -fehler und war durch das Managementtool leicht zu handhaben. Der größere Bruder des Centillion 100, der Centillion 1600 hinterließ einen guten Eindruck. Er ließ zwar keine Überbuchung der PVC-Verbindungen zu, wodurch bestimmte Messungen nicht durchgeführt werden konnten. Allerdings war das vom Hersteller auch gewollt, da laut Bay Networks Überbuchungen nur mit SVC-Verbindungen erfolgen können.

Die Switches von Cabletron 9A000 und 6A000 besaßen hingegen Probleme hinsichtlich Zellenverlusten und -fehlern. Dies kann sich bei AAL-5-Paketen, die bis zu 65 kByte betragen können und in heutigen ATM-Netzen primär vorkommen, sehr negativ auswirken, da der Verlust einer Zelle das Verwerfen eines ganzen Pakets zur Folge hat. Ansonsten war der 6A000 der schnellste ATM-Switch, da er sehr geringe Latenzzeiten besaß. Beide Switches ließen sich nicht über Managementtools konfigurieren, da Cabletron keines zur Verfügung stellte. Die Eingabe über die Command-Line war unterschiedlich und teilweise recht umständlich. Hier muß der Hersteller sicherlich noch nachbessern.

Der FORE Systems Switch ASX-200BX hatte mit dem OC-3-Modul NM-4/155MMSCSL keinerlei Zellenverluste zu beklagen. Die Messungen ergaben durchweg gute Resultate. Das Managementtool von FORE Systems wurde über eine 15-Tage-Version getestet, war aber relativ komplex in der Handhabung, so daß wieder auf die Command-Line zurückgegriffen wurde. Aufgrund seiner Ergebnisse, der Konfigurationsmöglichkeiten und Robustheit hinterließ der Switch ASX-200BX neben C1600, M1000 und OC-9100 den besten Eindruck.

Der Olicom Switch OC-9100 hat in den Tests einen sehr robusten und hochwertigen Eindruck hinterlassen. Er konnte nicht nur durch leichte Konfiguration schnell eingesetzt werden, sondern besaß zudem auch noch sehr gute Ergebnisse. Allein die Transitzeiten lagen

teilweise über den der anderen Switches. Das könnte sich aber selbst bei Sprachdatenübertragung nicht negativ bemerkbar machen, da hier 25 ms Verzögerung in eine Richtung akzeptiert werden können.

Der Switch von Newbridge Networks hinterließ ebenfalls einen guten Eindruck. Zwar konnte er bezüglich seiner Transitzeiten und Verzögerungen nicht ganz mit den anderen Switches mithalten, was er aber durch Robustheit und richtiges Traffic Management ausgleichen konnte. Hinsichtlich der Handhabbarkeit sind sicherlich noch Wünsche offen, die aber in der Zukunft verbessert werden sollen.

Der Switch von Madge, der Meritage 1000, besaß neben guten Meßergebnissen auch sehr geringe Verzögerungszeiten und Schwankungen. Nach Einstellung von CAC konnte auch eine sehr effektive Überbuchung erfolgen, die sogar die Datenrate über der möglichen Nettodatenrate übertraf. Allerdings wurde auch der negative Effekt des Non-Blocking beobachtet, der ohne die Überbuchungsmöglichkeit nicht aufgetreten wäre.

Der Switch von Cisco schließt sich den guten Ergebnissen der anderen Switches an und konnte sogar noch Verbesserungen erreichen. Die Handhabung über das IOS Betriebssystem läßt allerdings mehr als einen Wunsch offen. Hier müßte noch stark erweitert werden, um eine benutzerfreundliche Nutzung gewährleisten zu können. Wer sich mit dem IOS System auskennt, wird es aber aufgrund seiner Funktionalität durchaus zu schätzen lernen.

Zusammenfassend hinterließen alle Switches einen recht guten Eindruck. Allerdings dürfen Zellenverluste und -fehler sowie die Zulassung von Überbuchungen zweier CBR-Verbindungen auf einem Ausgangsport eigentlich nicht auftreten. Ansonsten kann man bei dieser Switch-Generation auch endlich QoS-Merkmale im Kernbereich des LANs ausnutzen. Wenn man LANEv2.0 jetzt auch noch mit diesen Merkmalen erweitern wird, hat man die Konkurrenztechnologien von ATM weiter in die Defensive gedrängt.

Der komplette Testbericht mit allen durchgemessenen Meßwerten kann bei der OptiNet GmbH (<http://www.optinet.de>) unter der Email: detken@optinet.de angefordert werden. Darin enthalten sind neben den kompletten Meßreihen auch Untersuchung von physikalischen Jittern, Handhabung der Switches und Einbeziehung verschiedener Dienstarten (VBR, UBR, CBR).

6 Zusammenfassung

Die Messung von ATM-Switches zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit ist ein weites Feld, welches großes Know-how bei der Durchführung voraussetzt. Hier können durch fehlerhafte Messungen leicht falsche Rückschlüsse gezogen werden. Neben dem Gesamtergebnis hat der Test bei der OptiNet GmbH ebenfalls gezeigt, daß die Switches heute fast alle in der Lage sind, eine garantierte Dienstgüte anbieten zu können. Das TM und die Pufferarchitektur ist inzwischen soweit, daß beliebige Datenströme von ATM ohne Probleme gehandhabt werden können. Das macht ATM gerade für die Sprach-/Datenintegration interessant, die langsam aber stetig vollzogen wird. Das Quality-of-Service (QoS) kein Fremdwort mehr ist, mit dem sich ein paar ATM-Spezialisten beschäftigen, zeigt auch die große Resonanz bei traditionellen lokalen Netzen, wie z.B. Gigabit-Ethernet. Hier wird versucht, die Eigenschaften von ATM auf herkömmliches LAN oder neue Protokolle, wie IPv6, zu übertragen. Das kann aber aufgrund der Eigenschaften dieser Netze bzw. Protokolle nur eingeschränkt funktionieren. ATM bleibt hierbei letztendlich die High-End-Lösung, die ohne Kompromisse auskommt. Die Entwicklung bei ATM ist inzwischen soweit vorangeschritten, daß konkurrierende Technologien beispielsweise im Bereich Traffic Management nachzie-

hen müssen, um ähnliche Leistungsmerkmale bieten zu können. Allerdings ist zu beachten: erst wenn man in der Lage ist, die Vorteile von ATM völlig auszunutzen, wird sich diese Technologie auch durchsetzen können. Die Realisierung einer garantierten Dienstgüte mit SVC-Verbindungen im LAN und WAN ist ein erster erfolgreicher Schritt in die richtige Richtung.

7 Abkürzungsverzeichnis

AAL	Adaptation Layer
ABR	Available Bit Rate
ABT	ATM Block Transfer
ATM	Asynchrone Transfer Modus
B-ICI	Broadband Intercarrier Interface
B-ISDN	Broadband ISDN
B-ISUP	Broadband ISDN User Part
CAC	Connection Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CC-FK	Competence Center Future Knowledge
CDV	Cell Delay Variation
CER	Cell Error Ratio
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Ratio
CMR	Cell Misinsertion Rate
CoS	Class-of-Service
CTR	Cell Transfer Rate
DBR	Deterministic Bit Rate
EANTC	European Advanced Networking Test Centre
EPD	Early Packard Discard
GFC	Generic Flow Control
HEC	Header Error Control
HIPPI	High Performance Parallel Interface
HP	Hewlett Packard
IEEE 802.1q	Expedited Traffic and Multicast Filtering
IEEE 802.1p	Virtual LANs, VLAN
IETF	Internet Engineering Task Force
IISP	Interim Inter-Switch Signalling Protocol
ION	Internetworking Over NBMA
IP	Internet Protocol
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Sector
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
MBS	Maximum Burst Size
MCR	Minimum Cell Rate
MCTD	Mean Cell Transfer Delay
NPP	Network Performance Parameter
OAM	Operation and Maintenance
OC-3	Optical Carrier Type 3
ODI	Open Data-Link Interface

OSPF	Open Short Path First
PCR	Peak Cell Rate
PDU	Protocol Data Unit
PLR	Packet Loss Rate
P-NNI	Public Network Network Interface
PVC	Permanent Virtual Circuit
PHY	Physical Layer
P-NNI	Public Network Network Interface
PT	Payload Type
PVC	Permanent Virtual Circuit
QoS	Quality-of-Service
RIP	Routing Information Protocol
RFC	Request for Comments
SBR	Statistical Bit Rate
SC	Switch Connector
SCR	Sustainable Cell Rate
SECBR	Severely Errored Cell Block Ratio
SN	Sequence Number
STM-1	Synchronous Transport Module, Ebene 1
SVC	Switched Virtual Circuit
TM	Traffic Management
TOS	Type-of-Service
TS	Time Stamp
UBR	Unspecified Bit Rate
UI	Unit Intervall
UNI	User Network Interface
UPC	Usage Parameter Control
VBR	Variable Bit Rate
VC	Virtual Connection
VCC	Virtual Circuit Connection
VCI	Virtual Channel Identifier
VPI	Virtual Path Identifier
VPC	Virtual Path Connection
VLAN	Virtual LAN
WAN	Wide Area Network

8 Weiterführende Literatur

- [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] Claus, Siegmund (Hrsg.): Nonnenmacher, Bernd: ATM-Meßtechnik; ATM-Handbuch; ISBN 3-7785-2384-8; Hüthig-Verlag; Heidelberg 1998
- [3] Kiefer, Roland: Meßtechnik in digitalen Netzen - Troubleshooting für PDH, SDH, ISDN und ATM; ISBN: 3-7785-2527-1; Hüthig-Verlag; Heidelberg 1997
- [4] ITU-Empfehlung I.356: B-ISDN ATM layer cell transfer performance; 10/96
- [5] ITU-Empfehlung O.191: Equipment to assess ATM layer cell transfer performance; 04/97
- [6] ITU-Empfehlung I.350: General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDNs; 03/93