

6. Verkehrslastregelung in ATM-Netzen

Nach der Empfehlung I.371 der ITU-T besteht die Aufgabe der Verkehrslastregelung im B-ISDN darin, Netzwerk und Teilnehmer zu schützen, um vordefinierte Ziele hinsichtlich der Leistung des Netzwerkes zu erreichen. Diese Ziele bestehen insbesondere in einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit des Zellverlustes und einer Verminderung von Zellverzögerungen. Die Lastregelung umfaßt eine Reihe von Maßnahmen, die ergriffen werden, um Überlast im Netz zu vermeiden. Überlastungen des Netzwerkes können aus unvorhersehbaren Schwankungen im Datenverkehr oder aus Fehlerzuständen innerhalb des ATM-Netzwerkes entstehen. Überlastungen können übermäßigen Zellverlust oder Verzögerungen zur Folge haben.

Eine zusätzliche Aufgabe der Verkehrslastregelung besteht in der optimalen Ressourcenausnutzung, um die Effizienz des Netzwerkes zu steigern.

6.1. Verkehrsvertrag - Traffic Contract

In der Phase der Verbindungsaufnahme wird zwischen dem Teilnehmer und dem Netz ein Verkehrslastabkommen (Traffic Contract) geschlossen. In diesem Vertrag wird die während der Verbindung einzuhaltende Verkehrscharakteristik spezifiziert.

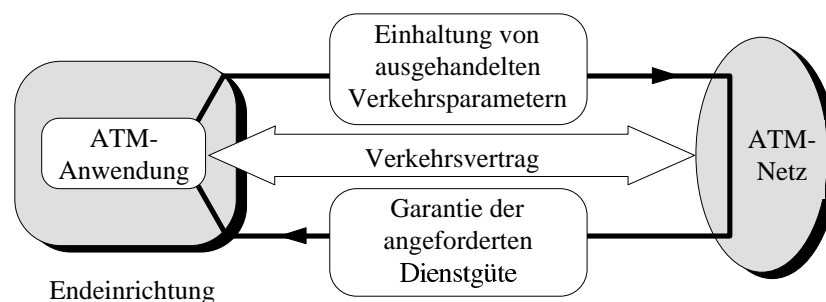


Abbildung 6.1: Verkehrsvertrag hinsichtlich einer ATM-Verbindung [BAD 1/95] .

Bei festen Verbindungen wird der Vertrag bei vorläufiger Inbetriebnahme abgeschlossen, bei geschalteten virtuellen Verbindungen im Signalisierungsprotokoll während des Verbindungsaufbaus (Abbildung 6.1).

In Hinblick auf die Verkehrslenkung sind die Vereinbarungen über die Elemente des Verbindungsdescriptors und der Definition einer konformen Verbindung von Interesse.

Der Verbindungsdescriptor besteht aus den folgenden Elementen:

- Absolutwerte der Parameter im Source Traffic Descriptor,
 - geforderte und akzeptierte Werte eines jeden QoS-Parameters und die Forderung der QoS-Klasse,
 - Absolutwert der Zellverzögerungsschwankung (CDV),
 - geforderte Konformitätsdefinition.
- Source Traffic Descriptor

Der Descriptor für den Quellverkehr ist eine Untergruppe von Verkehrslastparametern, die von der Quelle verlangt werden. Sie charakterisieren den Verkehr während der Verbindung. Die Parameter der Verkehrscharakteristik können qualitative oder quantitative Beschreibungen von Verkehrsprofilen (z.B. PCR, SCR, Dauer von Verkehrsspitzen, Typ des Sendegerätes (Telefon, Video, . . .) usw.) sein.

8	7	6	5	4	3	2	1	Bit
Protokoll-Diskriminator								1 Byte
0	0	0	0	Call-Reference-Länge				1 Byte
Call-Reference								1-16 Byte
0	Message-Typ							1 Byte
0/1	Message-Länge							1-2 Byte
Informationselemente								0-n Byte

Abbildung 6.2: Nachrichtenformat Q.2931

Informationselement - Identifier					
1 ext	Codierung Standard	Flag	Res	ungen.	Action-Indicator
0/1 ext	Länge des Informationselement - Inhaltes (Bytes)				
Inhalt des Informationselements					
Aufbau eines Informationselements					

Informationsfeld - Identifier (Auswahl)								
Bit	8	7	6	5	4	3	2	1
	0	1	0	1	1	0	0	0
	0	1	0	1	1	0	0	1
	0	1	0	1	1	0	1	0
	0	1	0	1	1	1	1	0
	0	1	0	1	1	1	0	0
	ATM-Adaptation-Layer Parameter							
	ATM-User Cell Rate							
	Connection Identifier							
	Broadband Bearer Capability							
	Quality of Service Parameter							

Abbildung 6.3: Format und Codierung von Informationselementen [KYA 3/96]

Die ITU-Empfehlung I.371 für "Traffic Control and Congestion Control im B-ISDN" kannte bis vor kurzem nur den Parameter PCR. Das ATM-Forum definierte weitergehend in seinen UNI-Spezifikationen die Verkehrsparameter SCR und Burst-Toleranz.

Laut ATM-Forum ist die Signalisierungsmeldung, die die Parameter spezifiziert, das Informationselement für die User Cell Rate. Diese Meldung wird vom Teilnehmer zum Netz als ein Informationselement in einem allgemeinen Format gesendet. Sie hat Felder zur Angabe

der PCR, SCR und MBS für $CLP = 0$ und $CLP = 0+1$ in jeder Richtung (weitere Informationen: ATM-Forum UNI TM 4.0).

In der B-ISDN-Signalisierung der ITU-T Q.2931 erfolgt die Parameterspezifikation ebenfalls durch das Informationselement für die User Cell Rate.

Die Verkehrsparameter dienen gleichzeitig als Kriterien für eingesetzte Verkehrs- und Überlaststeuerungsmechanismen.

a) Spitzenzellrate

Die Spitzenzellrate (Peak Cell Rate PCR) legt die obere Grenze der zu übertragenden Zellrate auf einer vom Netz akzeptierten virtuellen Verbindung fest und ist definiert über den Reziprokwert der minimalen Zeit T , die zwischen zwei am SAP (Service Access Point) der physikalischen Schicht (PHY SAP) eintreffenden Befehlen, eine ATM-Zelle zu versenden, verstreichen muß (Abbildung 6.5).

Informationselement - Identifier							
0	1	0	1	1	0	0	1
1 ext	Codierung Standard	Informationselement-Instuction					
		Flag	Res	ungen.	Action-Indicator		
Länge des User Cell Rate - Inhaltes							
1 ext	Forward Peak Cell Rate Identifier						
	0	0	0	0	0	1	0
Forward Peak Cell Rate							
1 ext	Backward Peak Cell Rate Identifier						
	0	0	0	0	0	1	1
Backward Peak Cell Rate							

Die Felder für Forward/Backward PCR repräsentieren als 3-Byte-Integerwert die Anzahl der Zellen pro Sekunde.

Abbildung 6.4: Format des ATM User Cell Rate-Informationselementes [KYA 3/96]

b) Dauerzellrate und Burst-Toleranz

Die Dauerzellrate (Sustainable Cell Rate SCR) wurde zuerst vom ATM-Forum als zusätzlicher Verkehrsparameter in Zusammenhang mit der Burst-Toleranz (BT) definiert und beschreibt eine obere Grenze für eine durchschnittliche Zellübertragungsrate einer vom Netz akzeptierten virtuellen Verbindung. Die Burst-Toleranz gibt die Dimension an, in dem Schwankungen der Zellrate zulässig sind und legt dazu eine obere Grenze für die Burstdauer einer virtuellen Verbindung fest.

Die Dauerzellrate einer virtuellen Verbindung wird am SAP der physikalischen Schicht innerhalb eines äquivalenten Endgerätes des Referenzmodells in Abbildung 6.5 definiert.

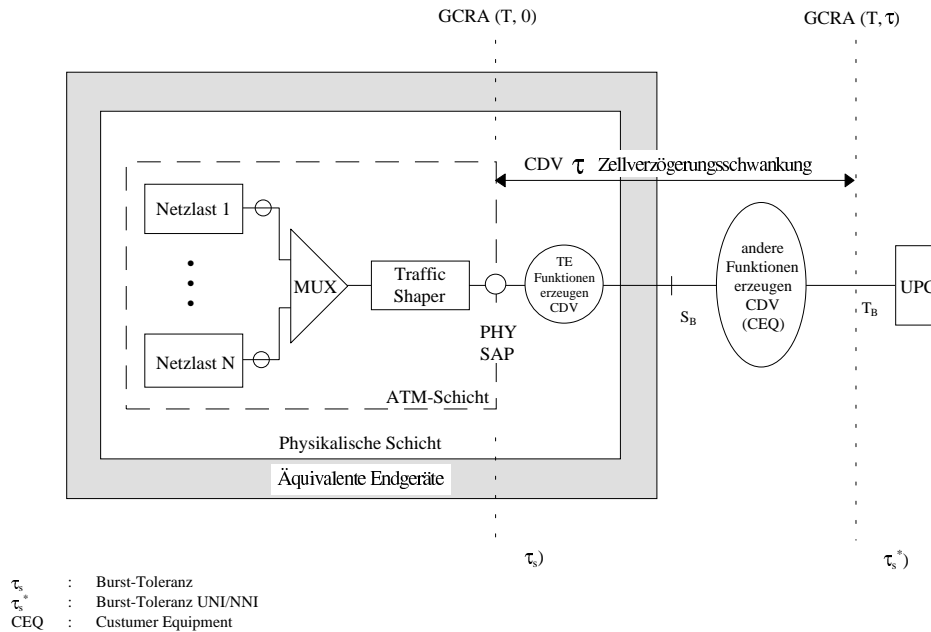


Abbildung 6.5: Referenzmodell [I.371]

SCR und BT sind ein wahlweiser Parametersatz im Source Traffic Descriptor, dessen Einsatz sich nur zur Beschreibung einer VBR-Quelle eignet. Er ermöglicht eine genauere Beschreibung eines Zellstromes, als es mit der PCR möglich ist. Damit ist eine effektivere Ausnutzung der Übertragungsbandbreite (Multiplexgewinn) möglich.

Das Netz muß in diesem Fall lediglich die SCR anstatt der höheren PCR reservieren und ist trotzdem in der Lage, eine geforderte Zellverlustrate einzuhalten.

SCR und BT werden mittels des GCRA (T_s, τ_s) kontinuierlich ermittelt (GCRA: siehe Abs. 6.2.3). Die maximale Anzahl von Zellen, die den GCRA bei Spitzenzellraten passieren dürfen, ergibt sich dabei nach:

$$MBS = 1 + \left\lceil \frac{\tau_s}{T_s - T} \right\rceil \quad (5)$$

MBS : Maximum Burst Size
 τ_s : Burst-Toleranz
 T_s : durchschnittliche Zwischenankunftszeit
 T : minimale Ankunftszeit

Eine Aussage über die Zulässigkeit einer Anzahl von MBS, die durch Pausen von zufälliger Dauer voneinander getrennt sind, kann damit aber nicht gegeben werden, da

der Zellstrom dafür so lange unterbrochen sein muß, daß der Wert des GCRA (T_s , τ_s) gleich Null ist (d.h. für den GCRA-LB: Leaky Bucket leer).

- Zellverzögerungsschwankung

Durch das Multiplexen von zwei oder mehreren ATM-Verbindungen oder durch das Einfügen von OAM-Zellen können Zellen verzögert werden, da gerade Zellen einer anderen ATM-Verbindung am Ausgang des Multiplexers eingefügt werden. Es entstehen somit Unregelmäßigkeiten in den Zwischenankunftszeiten aufeinanderfolgender Zellen einer Verbindung.

Die Zellverzögerungsschwankung (Cell Delay Variation CDV) bezeichnet nun das Ausmaß der Schwankung jener Zeitspanne, die zwischen dem Eintreffen zweier Zellen einer bestimmten Verbindung verstreicht.

Die Verzögerungsschwankung ist in bezug auf die PCR durch den GCRA (T , τ) definiert und hat die Funktion eines Grenzwertparameters (τ), während der Reziprokwert T der PCR das Increment des GCRA bildet (GCRA: siehe Abschnitt 6.2.3).

Die Festlegung der CDV erfolgt indirekt durch die Charakterisierung der QoS-Klasse.

- Dienstqualität

Die angeforderte Dienstqualität, die während des Verbindungsaufbaus ausgehandelt wird, legt die Zellverlustrate, die Zellverzögerung und die Schwankung der Verzögerung fest. (siehe Abschnitt 5.4)

Informationselement - Identifier: QoS Parameter						
0	1	0	1	1	1	0
1 ext	Codierung Standard	Flag	Res	ungen.	Action-Indicator	0
Länge des QoS Parameter Inhaltes						
QoS Class forward						
QoS Class backward						

Abbildung 6.6: Format des QoS-Informationselementes [KYA 3/96]

Die Signalisierungsmeldung, die die entsprechende QoS-Klasse spezifiziert, ist das Informationselement der Quality of Service Parameter.

- Konformitätsdefinition

Sofort nach Aufnahme einer Verbindung wird die angeforderte Dienstqualität gewährleistet, solange sich die Verbindung gemäß den Bedingungen des Verkehrslastabkommens verhält. Eine Verbindung gilt als einwandfrei, solange der Anteil nichtkonformer Zellen einen Grenzwert nicht überschreitet, der im Verkehrslastabkommen festgelegt wurde.

Die Konformitätsdefinition regelt die Kombination der GCR-Algorithmen, die definieren, wann eine Zelle konform ist. So kann z.B. eine Konformitätsdefinition eine Zelle als konform festlegen, die sowohl die Konformitätsbedingungen für einen GCRA erfüllt, der die PCR eines Zellstromes mit $CLP = 0+1$ überwacht, als auch die eines GCRA, der die SCR eines Zellstromes mit $CLP = 0$ überprüft.

Für die Anforderung einer Verbindung durch eine ATM-Quelle (AES 1 - ATM End System) zu einem ATM-Ziel (AES 2), müssen somit Informationen über die Charakteristik des beabsichtigten Verkehrsflusses, die beabsichtigte Service-Kategorie und gewünschte QoS-Parameter (optional) einem angeschlossenen ATM-Switch (SW 1) über das User Network Interface (UNI) mitgeteilt werden (UNI-Signalisierung, Q.2931).

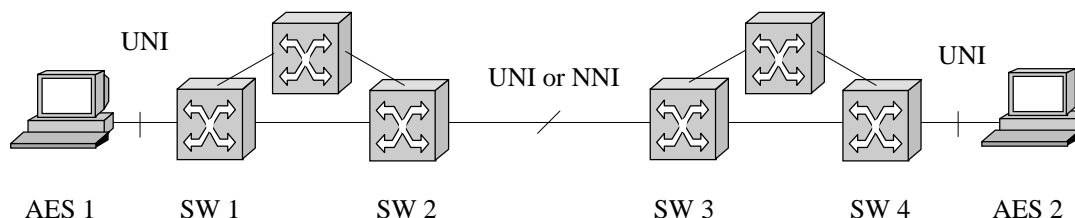


Abbildung 6.7: ATM Internetwork

Auf der Grundlage dieser Informationen (call setup message) führt der Switch (SW 1) eine lokale CAC-Funktion (s. Abs. 6.2.1.2) aus, um zu bestimmen, ob die entsprechenden lokalen Ressourcen verfügbar sind und ob notwendige Policing-Funktionen die Unterstützung einer solchen Verbindung gestatten. Sind die geforderten Bedingungen erfüllbar, startet SW 1 ein entsprechendes Routing-Protokoll (PNNI - Private Network Network Interface), um einen Weg durch das Netzwerk, entsprechend den Bedingungen des Verkehrsvertrages, zu finden. PNNI in der Version 1.0 ist die entscheidende Schnittstelle zwischen ATM-Switches verschiedener Hersteller in einem privaten Netz. Es ermöglicht auf Grund eines leistungsfähigen Routing-Protokolls, ebenso wie dessen Vorgänger, das Interim Inter-Switch Signaling Protocol (IISP), den Aufbau einer Verbindung und die Wegewahl durch das Netzwerk. Alle Switches entlang der vorgeschlagenen Route, müssen dazu ein lokales CAC ausführen, um ihre Ressourcen zu prüfen. Wenn die Verbindung geroutet ist und AES 2 diese akzeptiert, erfolgt eine entsprechende Meldung an AES 1, die den Verkehrsvertrag bestätigt.

6.2. Verkehrs- und Überlastkontrolle

Bei einem Einsatz von ATM muß beachtet werden, daß die Kontrollmechanismen z.T. auf herstellereigenen Lösungen beruhen. Die Leistungsfähigkeit eines ATM-Systems kann durch unterschiedliche Ereignisse beeinflußt werden, wie z.B. durch Blockierungen im Koppelnetzwerk, durch die Anzahl und Größe von Wartespeichern oder durch Zellenverlust auf Grund erhöhter Überbuchung.

Für die Überwachung und Kontrolle von Verkehr und Überlast in ATM-Netzen sind folgende Funktionen vorgesehen.

- Verkehrskontrolle
 - Management der Netzwerkkapazitäten
 - Zugangskontrolle (CAC)
 - Usage Parameter Control (UPC)
 - Selektives Verwerfen von Zellen
 - Versenden von Überlastmeldungen
- Überlastkontrolle
 - Traffic Shaping
 - Versenden von Überlastmeldungen

6.2.1. Grundlegende Regelfunktionen

Um der verbindungsorientierten Übertragungsmethode des ATM gerecht zu werden, ist eine Verbindungssteuerung erforderlich, die vor jeder Verbindung prüft, ob diese mit den angegebenen Parametern zur Verkehrsbeschreibung und bei Einhaltung der für den Dienst geforderten Dienstgüte mit den im Netz zur Verfügung stehenden Ressourcen realisierbar ist. Diese Festlegungen sind notwendig, um Überlastsituationen im Netz zu vermeiden und damit die Güte bestehender ATM-Verbindungen zu gewährleisten.

Im Rahmen jedes Verbindungsaufbaus in ATM-Netzen wird zwischen den Teilnehmerstationen dazu ein Verkehrsvertrag (Traffic Contract) ausgehandelt, in dem die während der Verbindung einzuhaltende Verkehrscharakteristik der gewünschten ATM-Verbindung festgelegt ist.

Das ATM-Netz entscheidet über die Annahme einer neuen Verbindung auf Grund der vorgegebenen Verkehrsparameter und der gewünschten Qualität der Verbindung.

Dafür ist in ATM-Netzen eine Kontrolle der Verbindungszulassung vorgesehen, die als CAC-Funktion (Connection Admission Control) bezeichnet wird.

Der Verkehrsvertrag, der erst mit Annahme einer ATM-Verbindung zustande kommt, garantiert die Einhaltung der von der ATM-Anwendung angeforderten Dienstgüte, wenn die Anwendung die im Verkehrsvertrag ausgehandelten Werte von Verkehrsparametern einhält.

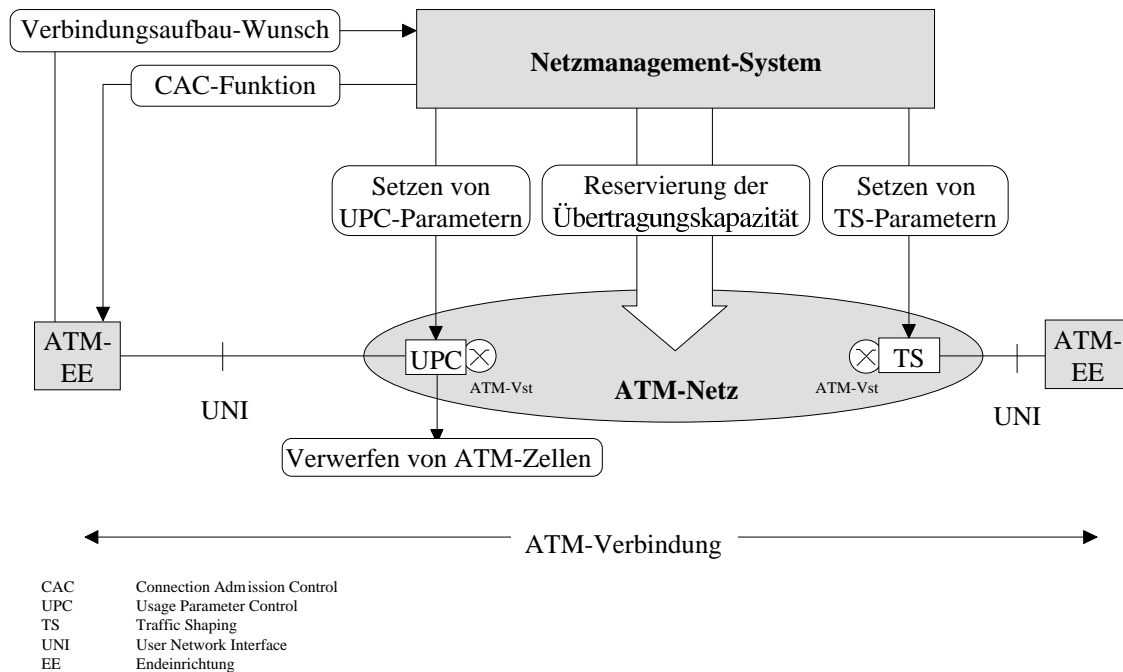


Abbildung 6.8: Funktionen der Verkehrssteuerung [BAD 1/96]

Zur Überwachung der Verkehrsparameter dient die UPC-Funktion (Usage Parameter Control). In Abbildung 6.8 sind die wichtigsten Funktionen, die für die Verkehrssteuerung in ATM-Netzen notwendig sind, dargestellt.

[UBT 04/95; KYA3/96; BAD 1/96]

6.2.1.1. Management von Netzwerk-Kapazitäten

Netzmanagement in einem reinen ATM-Netz ist konzeptionell einfacher als in bestehenden Netzen, da es flachere Hierarchien ermöglicht und es im ATM ein einziges Multiplexschema für die verschiedenen VCs (Zellenmultiplex) gibt (Kompensation dieses Vorteils durch entsprechenden Aufwand für notwendige Netzübergänge und das Dienste-Interworking zu anderen Netzen oder Diensten - generelles Problem bei der Einführung neuer Netztechniken).

Soll die Qualität der Übertragung für die verschiedenen definierten Dienstklassen garantiert werden, müssen die jeweils entsprechenden Parameter in allen Switches auf der gesamten Kommunikationsstrecke gesetzt und jederzeit auf Einhaltung überprüft werden. Das beinhaltet die Berücksichtigung von Prioritäten, die Routenwahl, die Leitungsqualität bzw. Leitungsverfügbarkeit usw..

Das Management von Netzwerk-Kapazitäten wird hauptsächlich mittels Pfadmanagement durchgeführt, so daß durch die Reservierung von Übertragungskapazitäten in Pfaden der Vermittlungsaufwand für den Aufbau von Pfadverbindungen reduziert wird. Die Ende-zu-Ende-Übertragungsqualität für eine bestimmte Kanalverbindung hängt somit von der Qualität der hintereinandergeschalteten Pfade ab, in denen sich der betreffende Kanal befindet. Die Vermittlung von verschiedenen Kanalverbindungen mit ähnlichen Leitungs- und Qualitätsparametern wie CLR oder CDV, sollte daher von der Verkehrskontrolle über denselben ATM-Pfad erfolgen. Benötigen die VCC eines Pfades unterschiedliche QoS-Klassen, so kann die Klasse mit den höchsten Anforderungen verwendet werden, wodurch der Verwaltungsaufwand erheblich gesenkt werden kann.

[KYA 3/96; NC 09/96; TEL 01/94]

6.2.1.2. CAC-Mechanismen

Der CAC-Mechanismus prüft:

- ob in jedem Abschnitt der Verbindung die erforderliche Bandbreite zur Verfügung steht und
- ob nach der Verbindungsannahme sowohl der neuen als auch aller bestehenden Verbindungen die geforderte Dienstgüte bereitgestellt werden kann.

Die folgenden Eigenschaften müssen CAC-Mechanismen zu diesem Zweck erfüllen:

- Schnelligkeit, da sie unter Echtzeitbedingungen während des Verbindungsaufbaues angewendet werden müssen
- Effektivität, um eine maximale Anzahl von Verbindungen zuzulassen und einen hohen Multiplexgewinn zu erzielen
- Robustheit, um unter verschiedenen Verkehrsverbindungen sicher zu funktionieren
- Einfachheit, um nachvollziehbar zu sein und eine einfache Implementierung zu ermöglichen (effiziente Ausnutzung der Netzwerk-Kapazität durch die Reduzierung der Komplexität von Netzwerkgeräten)

- Flexibilität, um von den Netzbetreibern an ihr Betreiberkonzept und die Netzsituation angepaßt zu werden (Unterstützung einer Reihe von Dienstqualitätsklassen für alle derzeitigen und vorhersehbaren Dienste)

Im einfachsten Fall wird für die aufzubauende Verbindung für die erforderliche Bandbreite die PCR verwendet, die jedoch keinen Gewinn aus dem statistischen Multiplexen zieht und damit äußerst ineffektiv ist, da Übertragungskapazität verschwendet wird.

Komplexere CAC-Verfahren benutzen statt dessen eine effektive Bandbreite, die zwischen der PCR und der mittleren Bitrate der aufzubauenden Verbindung liegt. Dieses Konzept findet in einer ganzen Reihe von Modellen seine Anwendung.

Die Spezifikation der Verbindungsaufnahme sieht vor, daß die folgenden Informationen zwischen "Benutzer" und "Netzwerk" ausgetauscht werden müssen, damit der CAC-Mechanismus die richtige Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung der Verbindung treffen kann:

- Bestimmte Beschränkungen am Datenverkehrsvolumen, die das Netzwerk übertragen sollte, gemessen an passenden Verkehrslast-Parametern.
- Die gewünschte Dienstqualität z.B. hinsichtlich der Übertragungsverzögerung, des Verzögerungsschwankens, des Zellverlusts u.a..
- Die akzeptablen Grenzwerte (Toleranzen) für etwaige Abweichungen in der Zellverzögerung von den erwarteten, vereinbarten Werten für den Durchsatz, verursacht beispielsweise durch die Endeinrichtungen von Sender und Empfänger.

Dabei besteht die Möglichkeit, auf Wunsch des Benutzers, diese Bedingungen im Laufe der Übertragung neu auszuhandeln, wobei die Häufigkeit der Veränderung durch das Netzwerk begrenzt werden kann.

• Spitzenzellraten-Reservierung

In der Einführungsphase der ATM-Systeme von SIEMENS (EWSXpress der Version 1.1) wurde als Annahme-Algorithmus die Spitzenzellraten-Reservierung implementiert, die das statistische Multiplexen von VBR-Verbindungen nicht unterstützt. Die Form des Annahme-Algorithmus benötigt sowohl von CBR- als auch von VBR-Verbindungen die angemeldete Spitzenzellrate und die max. zulässige Summenzellrate der Leitung.

In der Phase der Verbindungsannahme muß überprüft werden, ob die Summe der angemeldeten Spitzenzellraten der bereits bestehenden Verbindungen und die Spitzenzellrate der beantragten Verbindung die maximale Summenzellrate der Leitung überschreitet (Überlastsituation). Die Verbindung muß in diesem Fall abgelehnt werden.

Bei Ausnutzung der Vorteile des statistischen Multiplexprinzips ist die maximal zulässige Summenzellrate kleiner als die gesamte Leitungszellrate und hängt u.a. von der Größe der verwendeten Speicher ab. Um kurzzeitige Überschreitungen der Spitzenzellrate (bedingt durch das Multiplexprinzip) abzufangen, kommen im EWSXpress-System „kleine“ Speicher zum Einsatz, in denen Zellen zwischengespeichert werden können. In den Versionen 1 und 2 können im zentralen Speicher eines Koppellements im Koppelnetz 160 (bzw. 300 bei Version 3) Zellen zwischengespeichert werden.

- Sigma-Regel

Um die Effizienz von ATM-Systemen zu steigern, sind Annahme-Algorithmen erforderlich, die das statistische Multiplexen von VBR-Verbindungen unterstützen. Im EWSXpress-System ist dafür in den Versionen 1.2, 2 und 3 der als Sigma-Regel bezeichnete Algorithmus implementiert. Da der Algorithmus kurzzeitige Überlastsituationen mit geringer Wahrscheinlichkeit zulässt, ist er für Systeme mit „kleinen“ Speichern geeignet und unterstützt das statistische Multiplexen von VBR-Verbindungen mit kleinen Spitzenzellraten (weniger als 3% der Leitungszellrate).

Der Algorithmus ist in zwei wesentliche Schritte unterteilt:

- Aufteilung aller Verbindungen in zwei Klassen
- Abfrage über Verbindungszulassung

Mit Hilfe des Abfragekriteriums ist zu entscheiden, ob zu den bereits bestehenden Verbindungen eine weitere Verbindung auf die Leitung gemultiplext werden kann, ohne die Qualität aller Verbindungen zu beeinträchtigen. Um diese Entscheidung zu treffen, benötigt die Sigma-Regel die SCR- und die PCR-Parameter aller VBR-Verbindungen, die PCR-Parameter aller CBR-Verbindungen und die maximal zulässige Summenzellrate der Leitung.

Zur Abarbeitung des Algorithmus werden in einem ersten Schritt alle Verbindungen, die auf eine Leitung gemultiplext werden sollen, in zwei Klassen (S, P) eingeteilt.

- Klasse S

Die Klasse S enthält alle Verbindungen, die für das statistische Multiplexen mit der Sigma-Regel einen deutlichen Gewinn gegenüber der Spitzenzellraten-Reservierung ermöglichen.

- Klasse P

Die Klasse P enthält alle übrigen Verbindungen, für welche die PCR auf der Leitung reserviert wird (z.B. CBR-Verbindungen).

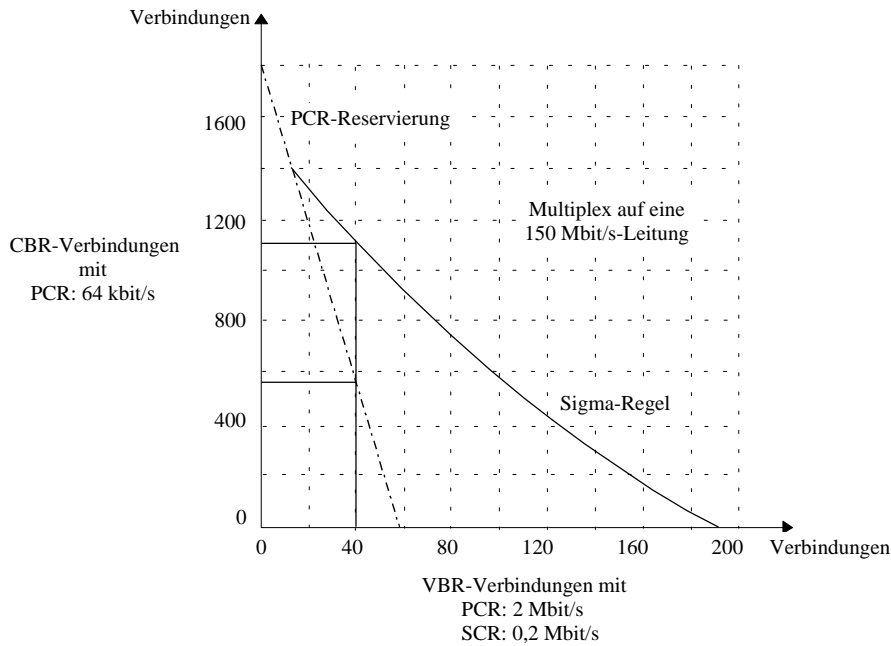


Abbildung 6.9: Vergleich: PCR-Reservierung - Sigma-Regel [TEL 5/95]

Im zweiten Schritt kommt das Abfragekriterium der Sigma-Regel zum Einsatz. Der Algorithmus stellt sicher, daß die Summe der Zellrate aller bestehenden Verbindungen die maximal zulässige Summenzellrate nur mit einer festgelegten Wahrscheinlichkeit (z.B. 10^{-10}) überschreitet, so daß bestehende QoS-Anforderungen eingehalten werden. Dazu prüft das Abfragekriterium, ob die Summe der durchschnittlichen Zellrate (SCR) aller Verbindungen aus Klasse S (mit einem Aufschlag, der vom Verhältnis von PCR zu SCR aller Verbindungen aus Klasse S abhängt) kleiner oder gleich der Zellrate ist, die für die Verbindungen der Klasse S verfügbar ist.

$$\sum SCR_{\text{Klasse S}} + v \cdot \left(\frac{PCR}{SCR} \right)_{\text{Klasse S}} \leq \max.CR_{\text{Link}} - PCR_{\text{Klasse P}} \quad (6)$$

v - Wichtungsfaktor

In Abbildung 6.9 ist der Vorteil der Sigma-Regel im Vergleich zur Spitzenzellraten-Reservierung in Bezug auf den statistischen Multiplexgewinn, der als ein Maß für die Qualität der Ressourcenausnutzung gilt, an einem Beispiel dargestellt. Es ist zu erkennen, daß beim Einsatz einer großen Anzahl von VBR-Quellen der Multiplexgewinn die Zulassung einer bedeutend höheren Anzahl von Verbindungen ermöglicht. So ermöglicht z.B. die PCR-Reservierung das Multiplexen von ca. 550, die Anwendung der Sigma-Regel dagegen das Multiplexen von ca. 1100 CBR-Verbindungen ($PCR = 64 \text{ kbit/s}$), zu den 40 bereits bestehenden VBR-Verbindungen ($PCR = 2 \text{ Mbit/s}$; $SCR = 0,2 \text{ Mbit/s}$) auf eine 150 Mbit/s -Leitung.

- Gauß-Approximation

Ein anderer Algorithmus, der die Vorteile des statistischen Multiplexens nutzt, ist der Gauß-Algorithmus. Dazu muß eine Verbindung durch zwei Parameter, die mittlere Bitrate (MBR) und deren Standardabweichung (δ), beschrieben werden.

Auch dieser Annahme-Algorithmus bestimmt die notwendige Bandbreite bei einem Verbindungswunsch und vergleicht diese mit der zur Verfügung stehenden Leitungsbandbreite.

Dazu geht man von der Annahme aus, daß die Gesamtbitrate einer Gauß-Verteilung folgt. In Anbetracht von n zu multiplexenden Verbindungen bestimmt diese Methode die Gesamtbitrate C (die diese n Verbindungen benötigen) in der Art, daß die Wahrscheinlichkeit, daß die momentanen Gesamtbitrate größer als die berechnete Gesamtbitrate ist, einen vorgegebenen Wert ϵ nicht übersteigt.

$$P(\text{aktuelle Gesamtbitrate} > C) < \epsilon \quad (7)$$

Zur Bestimmung der Gesamtbitrate C gilt die folgende Beziehung:

$$C = \text{MBR}_{\text{Link}} + \alpha \cdot \delta_{\text{Link}} \quad (8)$$

Die totale Durchschnittsbitrate (MBR_{Link}) und die totale Standardabweichung (δ_{Link}) sind bei jedem Verbindungswunsch neu zu berechnen. Zur Bestimmung des Parameters α werden verschiedene Möglichkeiten vorgeschlagen. Eine ist z.B. [OVN 2/95]:

$$\alpha = \sqrt{-2 \cdot \ln \epsilon - \ln(2\pi)}. \quad (9)$$

Das Kriterium für die Annahme einer Verbindung ist sehr einfach und besagt, daß diese akzeptiert werden kann, wenn die Bandbreite C , die für alle Verbindungen erforderlich ist, kleiner als die verfügbare Kapazität der VP oder Link ist.

Der Gauß-Algorithmus ist eine sehr einfache Methode, besitzt aber zwei gravierende Nachteile:

1. Die Methode nimmt eine Gauß-Verteilung für den gesamten Verkehr an. Dies ist nur sinnvoll, wenn die Anzahl der im System geschalteten Verbindungen sehr groß ist oder wenn die einzelnen Verbindungen einer Gauß-Verteilung folgen.
2. Es ist keine Unterscheidung zwischen verschiedenen QoS-Anforderungen der einzelnen Verbindungen möglich, so daß Vorgaben für z.B. Zellenverlust für alle Verbindungen gelten.

- Convolution Method

Diese Methode baut auf die Kenntnis über die Verteilungen der momentanen Rate der einzelnen VBR-Verbindungen. Anstatt eine Annahme über die Verteilung des entsprechenden

Gesamtverkehrs vorzugeben (wie beim Gauß-Algorithmus), erfolgt die Annäherung an die Verteilung des Gesamtverkehrs durch sofortige Berechnung.

Basierend auf diesem Resultat, erfolgt die Berechnung der Wahrscheinlichkeit, mit der die Gesamtbitrate (einschließlich der neuen Verbindung) die Kapazität eines VP oder Link überschreitet und bewertet dies als ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, daß Zellenverluste auftreten. Das Annahmekriterium ist dann erfüllt, wenn eine vorgeschriebene Zellenverlustwahrscheinlichkeit nicht überschritten wird.

Im allgemeinen stellt diese Methode genaue Resultate bereit. Das Hauptproblem besteht in der Verfügbarkeit von den entsprechenden Verteilungen und der notwendigen Rechenzeit zur Bestimmung der Verteilung des Gesamtverkehrs.

Zwei Lösungen für das letztere Problem sind möglich. Eine Lösung speichert die relevanten Verteilungen von schon akzeptierten Verbindungen, die andere verzichtet auf eine Speicherung.

Im ersten Fall, wenn eine neue Verbindung angefordert wird, ist nur ein Rechenschritt zur Bestimmung der Verteilung des Gesamtverkehrsrate notwendig. Das gleiche gilt für die Freigabe einer Verbindung. Wenn die zweite Lösung berücksichtigt wird, ist die Anzahl der notwendigen Rechenschritte gleich der Anzahl der bestehenden Verbindungen, plus der beantragten Verbindung und muß bei jedem Verbindungsaufbauwunsch erneut erfolgen. Die Freigabe einer Verbindung erfordert hingegen keine neue Berechnung der Verteilung der Gesamtverkehrsrate.

Weitere CAC-Algorithmen sind i.a. meist Vereinfachungen oder Modifikationen der beiden diskutierten Methoden.

- Flow Approximation to CLR

Bei diesem Fall werden VBR-Quellen betrachtet, deren Phasen sich zwischen Aktivität und Ruhe bewegen und durch ihre Spitzenbitrate (p_i) und durchschnittliche Bitrate (m_i) charakterisiert werden können. Annahmen über die Verteilungsfunktionen der Bitraten in den zwei Perioden sind nicht erforderlich. Entscheidend ist die Wahrscheinlichkeit m_i/p_i , daß die Quelle i aktiv ist (Wahrscheinlichkeit, daß die Quelle inaktiv ist: $1 - m_i/p_i$). Dementsprechend erfordert diese Methode einen minimalen Aufwand an Informationen zur Charakterisierung einer Quelle und verwendet dazu die Burstiness des Verkehrs.

Betrachtet man einen Link mit N unabhängigen Quellen mit einer Übertragungsrate von C Zellen/s, einer Puffergröße M und sind r_i und R zufällige Variablen, die die Zellankunftsrate von Verbindung i und den Gesamtverkehr aus N Verbindungen darstellt, dann ist [ONV 2/95]

$$R = \sum_{i=1}^N r_i \quad (10)$$

Bei dieser gegebenen Parameterisierung kommt ein fortlaufender Zellstrom mit der Rate R an einer Warteschlange an und verläßt diese mit der Rate C .

Wenn q die Anzahl der verfügbaren Pufferslots darstellt und L die Rate, mit der Zellen verloren gehen, dann gilt für eine aktuelle Zellrate X (der N unabhängigen Quellen) unter der Bedingung $X > C$:

$$L = (X - C) P(R = X) (1 - P(q > 0)_{|R=X}) \quad (11)$$

Wenn $(X > C)$ gilt und der Puffer voll ist, dann ist die Rate, mit der Zellen verloren gehen, gleich $(X - C)$.

Ausgehend von den obigen Betrachtungen besteht die Möglichkeit der Berechnung der Zellenverlustwahrscheinlichkeit (PV), deren Herleitung in [ONV 2/95] angegeben wird

$$PV_i = \frac{\prod_{n=1}^N (m_i / p_i) (e^{-s^* p_i} - 1) + 1}{s^* \cdot e^{s^* C} \sum_{i=1}^N m_i}, \quad (12)$$

wobei s^* die Wurzel von s aus dem folgenden Ausdruck darstellt:

$$\sum_{i=1}^N \frac{m_i e^{s p_i}}{(m_i / p_i) (e^{s p_i} - 1) + 1} - \frac{1}{s} - C = 0. \quad (13)$$

Die Zellenverlustwahrscheinlichkeit (PV_i) kann anschließend zur Bildung einer Zulassungsentscheidung verwendet werden.

Dieses Verfahren besitzt zwei Nachteile:

1. Das Verfahren nutzt nicht die Puffergröße zur Entscheidungsfindung, wodurch die Menge des statistischen Gewinns, welcher erreicht werden könnte, verringert wird.
2. Die Prozedur unterscheidet nicht zwischen den Zellenverlustanforderungen einzelner Verbindungen. Es besteht allerdings die Möglichkeit, durch Modifikationen in (12) die Zellenverlustwahrscheinlichkeit für jede Verbindung PV_i zu bestimmen. Die CAC-Prozedur kann anschließend den berechneten Wert der Zellenverlustwahrscheinlichkeit PV_i für eine aktuelle Belastung auf einer Leitung mit den QoS-Anforderungen der neuen Verbindung vergleichen und über deren Annahme entscheiden.

Weitere in der Literatur (z.B. [ONV 2/95]) beschriebene Verbindungsannahme-Algorithmen sind z.B. Fast Buffer Reservation, Nonparametric Approach und Heavy Traffic Approximation. CAC-

Strategien sind z.Z. nicht standardisiert und ihre Gestaltung ist den einzelnen Netzwerk-Betreibern überlassen (ATM-Switch Lightstream 1010: siehe Abs. 6.4.1).

[KIL 1/96; TEL 5/95; ONV 2/95; IK 01/96; PRY 3/95; KYA 03/96]

6.2.1.3. Usage/Network Parameter Control

Die Kontrolle der Belegungsparameter (UPC) ist eine der wesentlichen Aufgaben der Verkehrsüberwachung. Durch die Überwachung werden Verstöße aufgespürt und gestoppt, so daß die Servicequalität anderer Verbindungen nicht beeinträchtigt wird.

Die Kontrolle der Netzwerkparameter (NPC) besitzt ähnliche Funktionen wie die Belegungsparameterkontrolle, aber sie befindet sich an anderen Punkten im Netz. Während der UPC-Mechanismus die Schnittstellen zwischen Teilnehmer und Netz regelt (UNI), steuert der NPC-Mechanismus die Schnittstellen der Netzknoten (NNI).

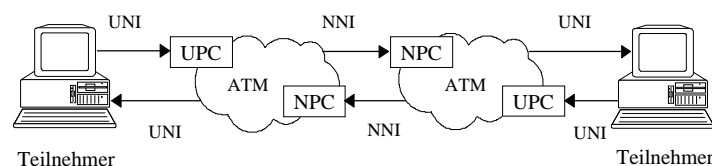


Abbildung 6.10: Anordnung des Lenkungsmechanismus in einem ATM-Netz [ntz 10/96]

In Abbildung 6.10 ist dargestellt, an welchen Punkten sich die Netzmechanismen befinden.

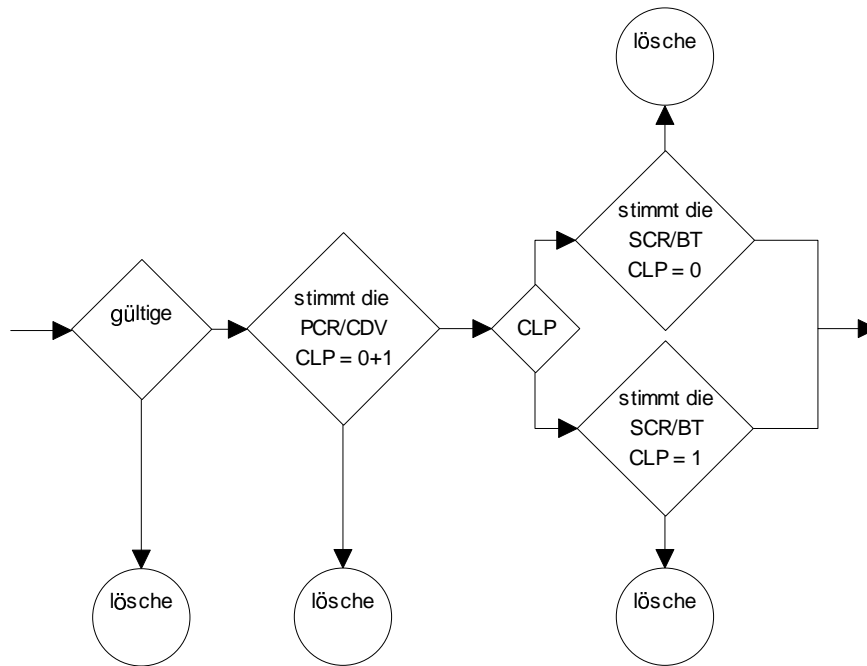
In der Ausgabe 05/96 des Standards ITU-T I.371 wird die UPC empfohlen, NPC ist optional. Die UPC-Funktion ist auch eine Forderung in der UNI-Spezifikation des ATM-Forums.

Sie umfassen eine Reihe von Maßnahmen, die vom Netzwerk ergriffen werden, um den Durchsatz in einer ATM-Verbindung zu überwachen (Policing) und zu steuern, hinsichtlich des Zellverkehrsvolumens und der Richtigkeit des aktuellen Zellroutings. Dazu gehören Kontrollfunktionen für

- die Einhaltung des jeweils verhandelten Verkehrsprofils,
- die Richtigkeit der Pfad- bzw. Zellenidentifikation (VPI, VCI).

Nach Prüfung der VCI- bzw. VPI-Werte und der Bestimmung des aktuellen Verkehrsvolumens wird anschließend die Einhaltung der für die betreffende Verbindung ausgehandelten Verkehrsparameter geprüft.

Zweck dieser Funktion ist es, jede ATM-Verbindung zur Einhaltung der ausgehandelten Durchsatzvereinbarungen zu zwingen, da ohne diese Funktion z.B. ein Fehlverhalten in einer Endeinrichtung mit einer übermäßigen Abweichung in der Zellrate oder -verzögerung, ernsthafte Folgen für die Dienstqualität anderer bestehender Verbindungen haben könnte.



Übertragungseinrichtungen und der damit verbundene Qualitätsverlust in bestehenden Verbindungen, soll durch diese Funktionen unterbunden werden. Umgekehrt muß die Verkehrsüberwachung ordnungsgemäßen Verkehr durchlassen oder erneut einfügen (Verkehrsformung). Jeder geformte Verkehr muß dabei den QoS-Spezifikationen, wie sie im Vertrag geregelt wurden, entsprechen.

Abbildung 6.11 zeigt ein vereinfachtes Diagramm des Entscheidungsprozesses in einem einfachen UPC-Mechanismus.

Die eingesetzten Algorithmen können in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- Windows-Mechanismen
- Leaky bucket Mechanismen (LB).

Die erste Gruppe betrachtet Algorithmen, in welchem feste oder variable Zeitfenster die Anzahl von Zellankünften begrenzen, während der LB und seine Varianten auf einem Zähler basieren,

welcher bei Zellankunft erhöht und im umgekehrten Fall verringert wird. Beispiele für Fensteralgorithmen wären:

- Jumping Window (JW)
- Triggered Jumping Moving Window (TJMW)
- Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)

Im JW-Mechanismus werden feste und aufeinanderfolgende Intervalle mit α Zeitschlitzten betrachtet. Sie erlauben ein Maximum von β Zellankünften. Wenn mehr als β Zellen in einem Zeitfenster ankommen, wird den ersten β Zellen erlaubt zu passieren. Weitere Zellen in diesem Zeitfenster müssen verworfen werden oder können, entsprechend des Verkehrsvertrages und des Verkehrsaufkommens (Belastung), markiert und weitergeleitet werden. Wenn ein Zeitfenster endet, werden Zähler benutzt, um die Anzahl von Zellankünften zu schätzen, die Zeitschlitzte werden zurückgesetzt und ein neues Zeitfenster beginnt.

Der TJMW ist eine Variation von diesem Mechanismus. Er betrachtet Zeitfenster, welche nicht unbedingt aufeinander folgen und erst mit einer neuen Zellenankunft beginnen.

Ähnlich zum JW, betrachtet das EWMA-Schema eine feste maximale Anzahl von Zellankünften in jedem Zeitfenster. Die Anzahl von Zellankünften, die in jedem Zeitfenster akzeptiert werden können, stellt aber eine exponentiell gewichtete Summe aus akzeptierten Zellen im vorausgegangenen Zeitfenster und der mittleren Zellenanzahl dar.

Zum Einsatz kommende Variationen des LB beruhen auf dem Grundprinzip des “Generic Cell Rate“-Algorithmus (siehe Abs. 6.2.3.1), bei dem mit jeder Zellankunft ein Zähler erhöht wird, der gleichzeitig durch die vereinbarte Zellrate vermindert wird. Hat der Zähler einen vorgegebenen Schwellwert erreicht, werden keine Zellen mehr akzeptiert. Jedes in Abbildung 6.11 dargestellte Entscheidungskästchen stellt einen Generic Cell Rate Algorithmus dar.

Die Steuerung der Netzwerk- und Benutzungskenngrößen kann auf zwei Methoden bei Nichteinhaltung des Verkehrsvertrages zurückgreifen, um Überlastsituationen vorzubeugen:

1. Zellenmarkierung (Cell Tadded)

Die Markierung von Zellen kann als eine Art “Warnung“ gedeutet werden, daß im Moment die zur Verfügung stehende Bandbreite noch ausreichend ist und die Verletzung des Verkehrsvertrages kompensiert werden konnte. Auftretende Bandbreitenprobleme führen aber dazu, daß markierte Zellen als erstes verworfen werden.

Die Markierung der Zellen erfolgt in der Art, daß deren Dringlichkeit durch das Setzen des CLP-Bits (Cell Loss Priority) geändert wird ($CLP = 1$). Anschließend wird die Zelle weitergeleitet.

2. Verwerfen von Zellen

Den Verkehrsvertrag verletzende Zellen können verworfen werden. Bei Unterstützung der Funktion der Zellenmarkierung, sind Zellen mit einem gesetzten CLP-Bit von dieser Maßnahme zuerst betroffen (Selektives Verwerfen).

[KIL 1/96; KYA 3/96; PRY 3/95; DAT 02/96]

6.2.2. Traffic Shaping

Traffic Shaping ist eine Ergänzung des Policing und kann dieses manchmal sogar überflüssig machen. So braucht z.B. nicht jede ATM-Switch mit Policing-Funktionen, die die Möglichkeit bieten, einen Teil von nicht konformen Zellen zu markieren oder gleich zu verwerfen, ausgestattet zu sein, wenn es beispielsweise nicht nötig ist, eine bestimmte Dienstgüte zu garantieren.

Am Endpunkt einer Quell-ATM-Verbindung angebracht, soll die Verkehrslastformung die gewünschten Merkmale für einen Zellstrom erreichen, die in eine VCC oder VPC gesendet werden. In einem Schaltelement angesetzt, soll die Verkehrslastformung die Merkmale eines Zellstromes in einer VCC oder VPC ändern, um die gewünschten Merkmale jener Zellen zu erzielen.

Traffic Shaping verwendet Zwischenpuffer, um Zellen bei Bursts, die das Netzwerk momentan nicht aufnehmen kann, aufzubewahren. Sobald Kapazitäten frei sind, transportiert der Switch die Zellen weiter (Burstglättung über Pufferspeicher), so daß die Wirkung der PCR durch die CDV einigermaßen ausgeglichen wird.

Die Zellreihenfolge in einer ATM-Verbindung darf sich dabei nicht ändern.

Traffic Shaping ist damit in der Lage, eine bestimmte Verkehrscharakteristik (z.B. Reduzierung der PCR, Limitierung der Burstdauer oder Beeinflussung der CDV durch Neuverteilung der Zellen über einen anderen Zeitraum) zur Beeinflussung der Netzlast durch die Formung des Zellstromes zu erzielen.

[KYA 3/96; PRY 3/95; UBT 04/95; GAT 02/96]

6.2.3. Quellüberwachung

Um zu entscheiden, wie definierte Verkehrsgrößen (PCR, CDV, SCR, Bursttoleranz) zueinander stehen, damit eine erforderliche Verkehrscharakteristik eingehalten werden kann, wurden Verfahren entwickelt, die den Verkehr einer Quelle überwachen (Source Policing).

Der Grundgedanke ist die Angabe einer Zellrate und weiterer Parameter zur Tolerierung möglicher Abweichungen von dieser Rate. Der Überwachungsalgorithmus muß sicherstellen, daß Zellen nicht schneller ankommen, als die angegebene Rate und die tolerierbaren Abweichungen es zulassen.

Gängige Parameter zur Verkehrsbeschreibung, die auf solchen Grundgedanken beruhen, sind die Spitzenzellrate (PCR - Peak Cell Rate) bzw. der daraus resultierende minimale Zellabstand T und eine akzeptable Toleranz τ (CDV - Cell Delay Variation) für die Überwachung von Spitzenzellraten oder konstanten Zellraten. Zur Überwachung von variabel bitratigen Quellen kann anstelle der Spitzenzellrate eine langfristig ertragbare Zellrate (SCR - Sustainable Cell Rate), die niedriger als die PCR ist und die dazugehörige Burst-Toleranz, genutzt werden.

Das allgemeine Prinzip der Quellenüberwachung wird durch den Generic Cell Rate Algorithm (GCRA) beschrieben.

Der GCRA beinhaltet eine formale Spezifikation zur Prüfung der Zellkonformität (Gültigkeit), gemäß den in einem Verkehrsvertrag (Traffic Contract) festgelegten Verkehrskenngrößen. Im Gegensatz zu einem statistischen Ansatz, in dem Verkehrskenngrößen statistisch erfaßt werden, beschreibt der GCRA die Beziehung zwischen PCR und CDV sowie SCR und Burst-Toleranz in betrieblicher Betrachtungsweise, d.h. die Verkehrskenngrößen werden während des realen Betriebes erfaßt und geprüft. Damit kann auf eine mögliche Verletzung der Verkehrscharakteristik realistischer und schneller durch das Netz reagiert werden. Der GCRA hat zwei Parameter, Increment I (Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgender Zellen) und Limit L (bestimmter Toleranzwert), und wird wie folgt abgekürzt: GCRA (I, L).

Es gibt zwei gleichwertige Versionen des GCRA:

- a) den kontinuierlichen Zustand Leaky Bucket Algorithmus
- b) den virtuellen Zuteilungsalgorithmus (Virtual Scheduling)

6.2.3.1. Continuous State Leaky Bucket Algorithmus

„Leaky Bucket“ (undichter Eimer) ist ein Mechanismus zur Regulierung und Kontrolle der Überlast im Netzwerk. Der Eimer stellt dabei im Prinzip einen Zwischenpuffer mit einem Satz von Zählern dar, die einen zulässigen Höchstwert (Maximum Value), einen Zuwachs (Increment) und eine Verlustrate (Leak Rate) festlegen. Der Leaky Bucket-Algorithmus, welcher dem GCRA zugrunde gelegt wird, arbeitet grundsätzlich nach dem in Abbildung 6.12 dargestellten Prinzip. Verallgemeinert wird ein Zähler mit endlichem Wertebereich bei jeder Zellankunft um eins inkrementiert und - wenn sein Wert größer als Null ist - in festen Zeitabständen wieder um Eins dekrementiert.

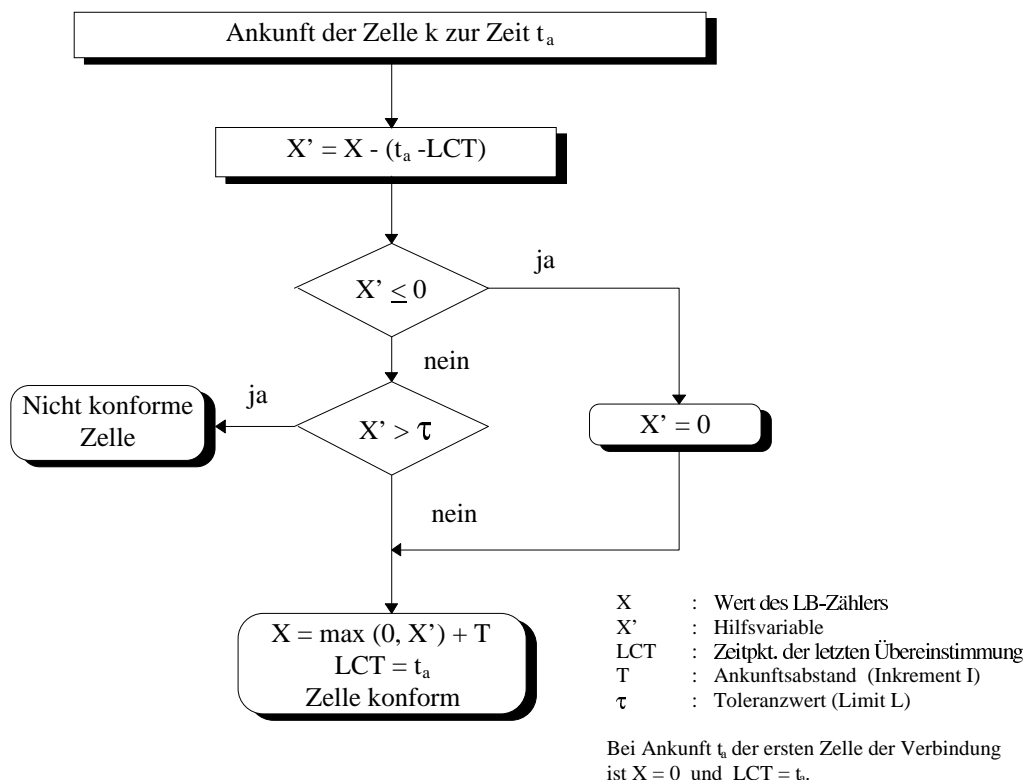


Abbildung 6.12: Continuous-State Leaky Bucket-Algorithmus [I.371]

Das erste Zeitintervall für die Dekrementierung wird von der ersten, beim Zählerstand Null ankommenden Zelle gestartet. Hat der Zähler zum Ankunftszeitpunkt einer Zelle seinen höchsten Zählerstand bereits erreicht, dann wird eine Verletzung der vereinbarten Verkehrsparameter festgestellt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet. Diese könnten z.B. im Setzen des CLP-Bits oder dem Verwurf der Zelle als nicht konform bestehen. Der Kehrwert des Dekrementierungsintervalls entspricht dabei der zu kontrollierenden Zellrate.

6.2.3.2. Virtueller Zuteilungsalgorithmus

In der Version des virtuellen Zuteilungsalgorithmus ist das Arbeitsprinzip des GCRA in Abbildung 6.13 dargestellt.

Wenn eine Zelle ankommt, wird die theoretische Zwischenankunftszeit (TAT) berechnet, wobei angenommen wird, daß die Zwischenankunftszeiten gleichmäßig verteilt sind, wenn die Zellquelle aktiv ist. Kommt die Zelle nicht zu "früh" (die tatsächliche Zwischenankunftszeit $t_a < TAT - L$) dann ist die Zelle konform. Anderenfalls ist sie zu früh gekommen und damit nicht konform.

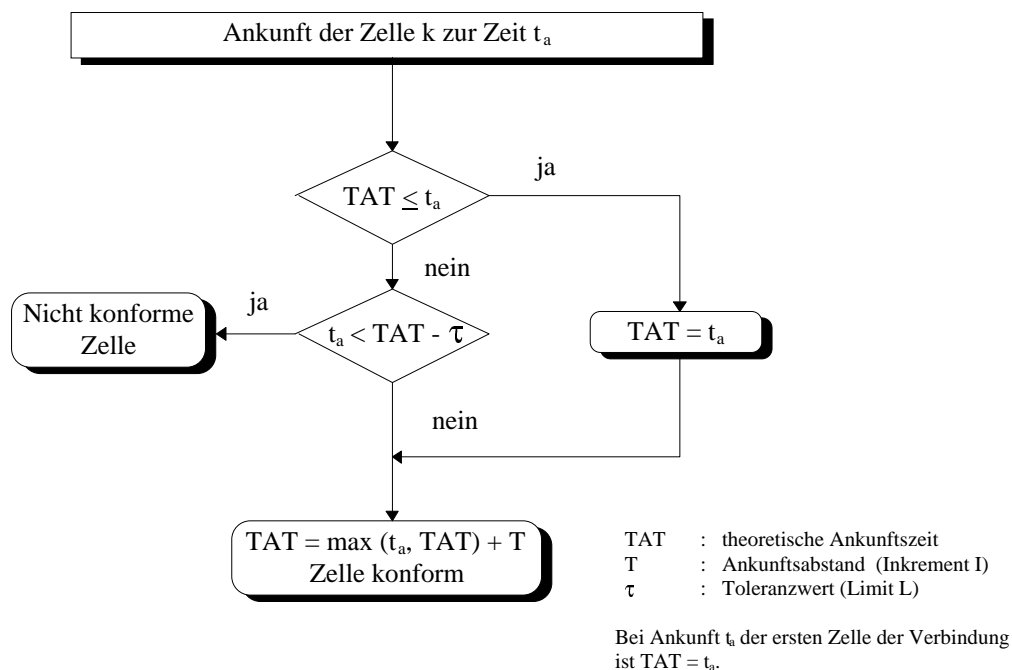


Abbildung 6.13: Virtual Scheduling [I.371]

Der Generic Cell Rate Algorithm ist einfach und in Echtzeit ausführbar.

Die Eigenschaften des Algorithmus unter den Bedingungen, daß eine Quelle mit SCR und dazugehöriger Burst-Toleranz (L) überwacht werden soll, sind in Abbildung 6.14 dargestellt.

Es zeigt die Anzahl der vom Algorithmus tolerierten Zellen mit einem Ankunftsabstand, der kürzer als der Ankunftsabstand der entsprechenden Dauerzellrate (SCR) ist ($T_{SCR} = 100 \mu s$). Der Ankunftsabstand wurde durch ankommende Zellen um bis zu $1 \mu s$ unterschritten.

Alle mit SCR ankommenden Zellen werden prinzipiell als konform angenommen (linke senkrechte Fläche). Höherartig ankommende Zellen werden nur bis zu einer bestimmten Anzahl als konform

toleriert, wobei deren Anzahl von der Rate, mit der sie eintreffen und dem Toleranzparameter L abhängig ist.

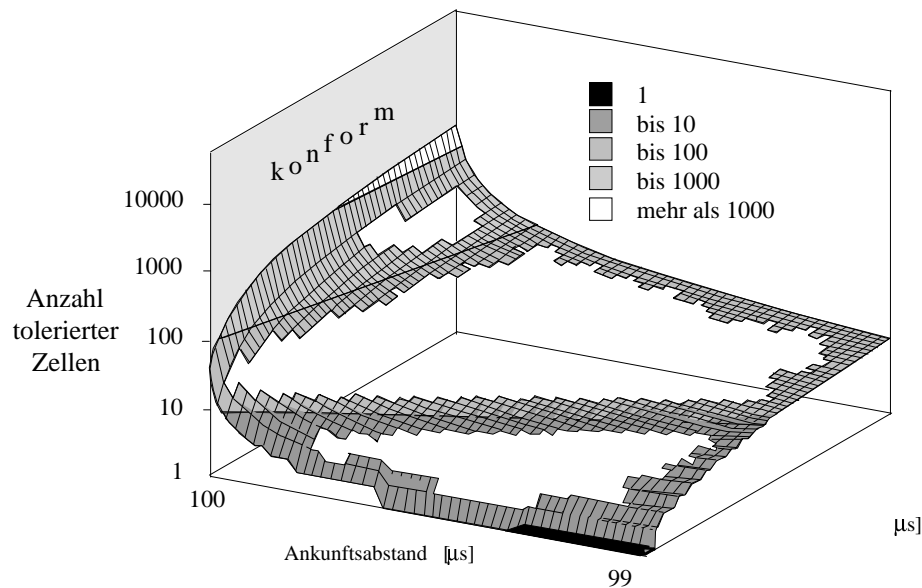


Abbildung 6.14: Durch generischen Algorithmus tolerierbare Zellen [IK 01/96]

Der Zusammenhang zwischen einer Anzahl tolerierter Zellen und dem Toleranzparameter L für einen bestimmten Ankunftsabstand ist dabei linear (Abbildung 6.15).

Es ist erkennbar, daß die Anzahl der tolerierten Zellen im starken Maße von der Rate während des Bursts (unterschiedlicher Kurvenanstieg) abhängt.

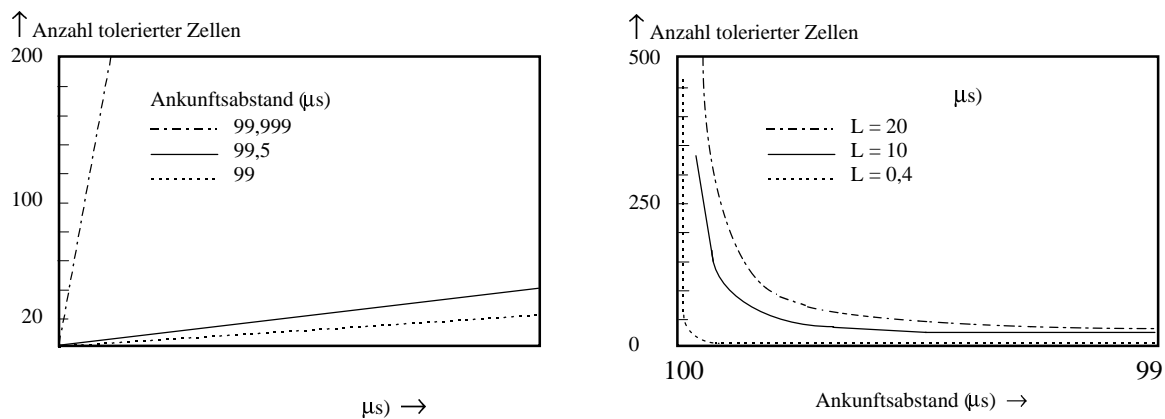


Abbildung 6.15: Abhängigkeit der tolerierten Zellen von L und T [IK 01/96]

Der Zusammenhang zwischen Anzahl der tolerierten Zellen und dem Ankunftsabstand für konstante Toleranzparameter sind ebenfalls in Abbildung 6.15 dargestellt. Der Toleranzparameter des dargestellten Algorithmus bewertet den Burst hinsichtlich Länge und Zellrate. Es werden

mehr Zellen in einem Burst toleriert, wenn die Zellrate des Bursts klein ist. Bei großen Zellraten während des Bursts werden nur wenige aufeinanderfolgende Burstzellen toleriert.

[IK 01/96; KYA 02/96; DAT 02/96 GAT 02/96; PRY 3/95; NTZ 10/96]

6.2.3.3. Überlastmeldungen

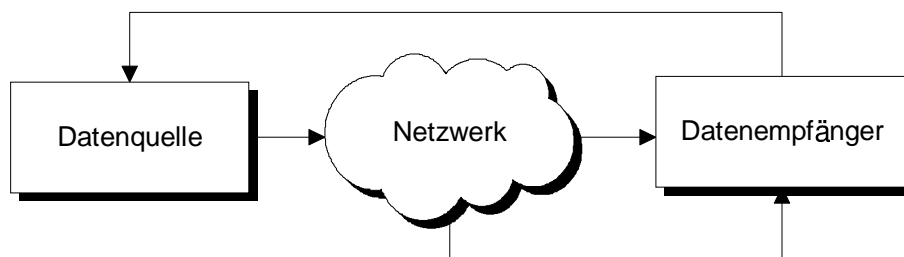
Theoretisch ist die verbindungsorientierte Übertragungsmethode ATM in der Lage, alle Verkehrsarten wie Bild, Ton und LAN-Daten zu übertragen. Eine Charakteristik des LAN-Datenverkehrs ist dessen stoßweise Übertragung, die unberechenbar ist. Alle Daten gelangen quasi gleichzeitig ins Netzwerk, bis die Bandbreite erschöpft ist.

Durch die Definition einer dem LAN-Verkehr entsprechenden Serviceklasse (ABR) und entsprechender Prinzipien der Flußkontrolle zur Vermeidung von Überlast, wurden Grundlagen für den zeit- und fehlerunkritischen LAN-Datenverkehr geschaffen.

In der Konzeption der Closed Loop Congestion Control (CLCC) kontrolliert die Datenquelle die jeweils zu einem Zeitpunkt aktuell in das Netz eingespeisten Datenraten, wobei Informationen aus dem Netzwerk herangezogen werden.

Zwei verschiedene Verfahren, den Belastungszustand des Netzwerkes zumelden, sind möglich:

- BECN - Backward Explicit Congestion Notification
- FECN - Forward Explicit Congestion Notification



Allen handelt es sich um Methoden, die es den Switches in einem ATM-Netz ermöglichen, Überlastsituationen an die anderen Komponenten zu melden, indem diese Geräte entweder spezielle Kontrollzellen oder Datenzellen für den Transport dieser Nachrichten verwenden. Der Unterschied zwischen beiden Verfahren besteht darin, daß FECN nur das Zielgerät von der Überlast informiert, damit dieses eine entsprechende Rückmeldung an die

Quelle sendet. Der FECN-Indikator ist im ATM-Zellkopf als der „Explicit Forward Congestion Identifier“ (EFCI) - ein Feld des „Payload Type Identifier“ (PTI) - vorgesehen.

BECN sendet das Signal in die rückwärtige Richtung zu der Datenquelle, die für die Überlast verantwortlich ist.

Das Verfahren teilt der Quelle die neu berechnete Datenrate oder die genaue Anzahl freier Empfangspuffer mit. Das BECN-Signal kann entweder direkt oder „Hop-by-Hop“, also zum jeweils vorhergehenden Switch, an die Quelle gelangen. Ein Problem besteht bei dieser Methode darin, daß das Signal über die zuvor als überlastet gemeldete Leitung versendet wird, womit neue Probleme entstehen können.

Als Verfahren zur Flußkontrolle stehen mehrere Methoden zur Auswahl:

- FCVC - Flow Controlled Virtual Channel
- EPRCA - Enhanced Proportional Rate Control Algorithm
- firmenspezifische Lösungen

6.2.3.4. Flußkontrolle

Eine Flußkontrolle durch das Netzwerk findet immer oberhalb einer vereinbarten Mindestzellrate (MCR) statt, wobei die ABR-Quelle ihre Datenübertragungsrate an jeweils aktuellen Vorgaben des Netzwerkes anpaßt. Andererseits garantiert das System einen fairen Zugang zu den Ressourcen des Netzwerkes. Als Beispiel einer firmenspezifischen Lösung sei hier die von der Digital Equipment GmbH entwickelte und patentierte Lösung „FLOWmaster“ (credit based) erwähnt. Der z.B. in dem GIGAswitch/ATM-System eingesetzte Flußkontroll-Algorithmus tauscht mit einer Digital ATM-Karte einer angeschlossenen Workstation untereinander regelmäßig Informationszellen aus und teilt so ihre Auslastung mit (Credits). Kommt ein Switch oder Adapter an seine Auslastungsgrenze, bekommt dieser erst wieder Zellen geschickt, wenn er sozusagen „Entwarnung“ gibt und wieder Verfügbarkeit meldet. Diese Funktion entdeckt eine Überlastung schon im Vorfeld und nicht erst, wenn sie bereits aufgetreten ist. Damit kann Zellverlust, der in der Regel mit einer Überlastung oder einem Ausfall verbunden ist, verhindert werden. Höhere Netzwerkprotokolle müssen empfangene Nachrichten nicht nochmals anfordern. Sofern die Digital ATM-Komponenten mit einem ATM-Produkt eines anderen Herstellers verbunden werden, halten sie die Standards des ATM-Forums ein und sind kompatibel zu Produkten anderer Hersteller.

[DIG]

6.2.3.4.1. FCVC - Flow Controlled Virtual Channel

FCVC ist ein “credit based“ Ansatz, der die Flußkontrolle über einzelne virtuelle Kanäle unterstützt.

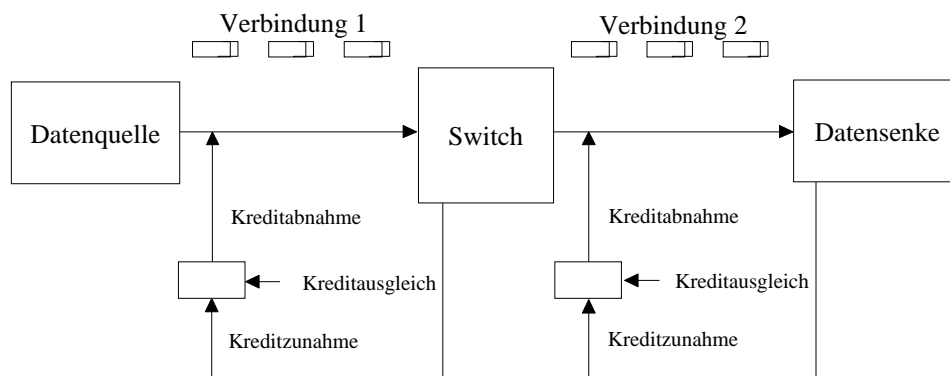


Abbildung 6.17: FCVC [GAT 02/96]

Dabei wird jedem VC eine definierte Puffergröße (Kreditausgleich - Credit Balance) zur Verfügung gestellt, die festlegt, welches Datenvolumen auf dieser Leitung zulässig ist. Der Kredit reduziert sich dabei während der laufenden Übertragung um die Menge der empfangenen Zellen (Verbindung 1). In dem Maße, in dem der Switch die Zellen zum nächsten Gerät sendet (Verbindung 2) erhöht sich der Kredit wieder. Den Vorteilen, wie gute Performance und die Vermeidung von Zellverlusten, steht der Nachteil der erhöhten Kosten für die Zwischenpufferung je VC sowie die anspruchsvolle Implementierung dieses Verfahrens gegenüber.

6.2.3.4.2. EPRAC - Enhanced Proportional Rate Control Algorithm

EPRCA ist eine “Closed Loop Rate Based“-Technik, die über Feedback-Meldungen die optimale Datenübertragungsrate für die Quelle festlegt.

Dazu sendet die Quelle in bestimmten Abständen ($N_{rm}-1$) eine Zelle mit Resource-Management-Informationen (RM). Diese RM-Zellen (PTI = 110) wandern durch das gesamte Netzwerk und werden von den Vermittlungssystemen entsprechend ihren verfügbaren Ressourcen geändert. Beim Aufbau einer virtuellen Verbindung werden ABR-Verkehrsparameter wie PCR, MCR u.a. vereinbart. Parameter wie N_{rm} (Anzahl von Zellen zwischen zwei RM-Zellen) und ICR (Anfangszellrate) können vom Netzbetreiber gewählt werden. Daten werden anschließend mit

einer bewilligten Zellrate (ACR) gesendet, die zuerst auf die ICR gesetzt wird und sich zwischen MCR und PCR bewegt.

Field	Name	Length	Use for ABR
ID	Protocol identifier	8 bit	1 = ABR service
DIR	Direction	1 bit	0 = forward 1 = backward
BN	Backward Explicit congestion notification	1 bit	0 = source generated cell 1 = switch generated cell
CI	Congestion indication	1 bit	0 = no congestion 1 = congestion
NI	No increase	1 bit	0 = additive increase allowed 1 = no additive increase allowed
RA	Request/acknowledge	1 bit	Not used
E/R	Elastic/rigid	1 bit	Not used
RES	Reserved	2 bit	Not used
ER	Explicit cell rate	16 bit	Explicit rate feedback
CCR	Current cell rate	16 bit	Allowed cell rate when this RM cell was generated
MCR	Minimum cell rate	16 bit	Guaranteed cell rate
QL	Queue length	32 bit	Optional measure of maximum number of cells queued among the nodes along this connection
SN	Sequence number	32 bit	Optionally incremented for each forward RM cell, otherwise set to 0
RES	Reserved	246 bit	not used
CRC-10	Cyclic redundancy check	10 bit	Detect errors in payload

Tabelle 6.1: RM-Zelle für den ABR-Service [IEE 05/96b]

ATM-Switches verwenden die RM-Zelle zur Meldung und Kontrolle von Überlast. Dazu setzt der Switch, der die Überlast feststellt, den "Congestion Indicator" (CI) in der RM-Zelle auf den Wert 1, so daß die Datenquelle die Übertragungsrate entsprechend variieren kann. Das Ziel-Endsystem ändert dazu das DIR-Bit (Tabelle 6.1) und sendet die empfangene RM-Zelle zurück. Das Quellen-Endsystem paßt seine Sendeparameter an die in der RM-Zelle empfangenen Parameter an. Wenn keine Überlastsituation existiert, d.h. $CI = 0$, kann die ACR bis auf die erlaubte Explicit Rate (nicht größer als PCR) erhöht werden. Anderenfalls ($CI = 1$) wird die ACR automatisch auf die ER (nicht kleiner als MCR) erniedrigt.

Die Vorteile dieser Methode zur Flußkontrolle gaben den Ausschlag zur Wahl dieses Verfahrens durch das ATM-Forum.

Diese bestehen u.a. darin, daß auch ältere Switches in der Lage sind, den EFCI-Indicator für Überlast in der RM-Zelle zu setzen. Desweiteren kann die Datenquelle die aktuelle Zellrate (CCR) in der RM-Zelle hinterlegen.

Die Switches sind in der Lage, die Explicit Rate (ER) der Datenübertragungsrate für jeden VC individuell festzulegen, ohne daß eine Überlastsituation im Netz zu befürchten wäre. Der Wert ergibt sich aus dem Verhältnis der aktuellen Netzlast zur angeforderten Kapazität.

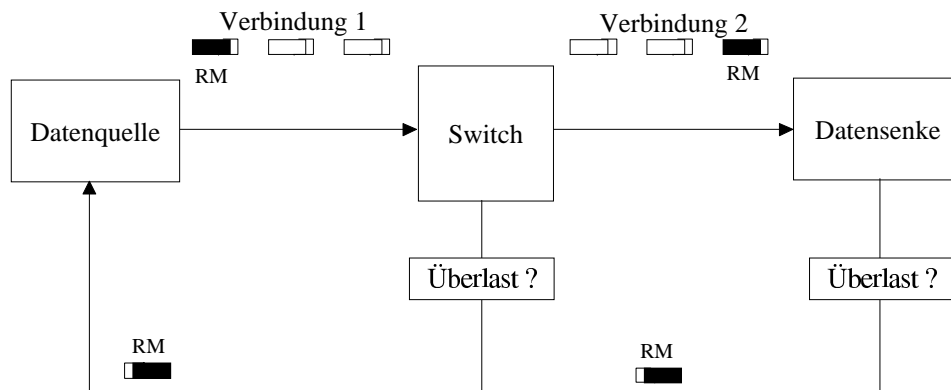


Abbildung 6.18: EPRCA [GAT 02/96]

EPRCA benötigt nur eine geringe Anzahl oder keine Zwischenpuffer, da der Switch den Verkehr für jeden VC separat abwickelt. Das Verfahren ist somit mit erheblichen Kosteneinsparungen verbunden, da kostenaufwendige, ausreichend dimensionierte Pufferspeicher entfallen können.

[GAT 02/96, IEE 05/96b]

6.3. Technische Realisierungen

Im folgenden wird ein Überblick über technische Realisierungen unterschiedlicher zellorientierter Verkehrs- und Überlaststeuerungen gegeben, wobei auf Grund des vielfältigen Angebots von verfügbaren Chipsätzen, nur auf eine geringe Auswahl eingegangen werden kann. Die dabei vorgestellten Lösungen sind typisch für bereits in ATM-Komponenten implementierte Funktionen.

- **Self-Routing Switch Element (SRE) MB 86680B**

Beim SRE handelt es sich um ein Hochleistungs-Vermittlungselement der Firma Fujitsu. Es besitzt eine 4 x 4 nicht-blockierbare interne Vermittlungsarchitektur mit je 155 Mbit/s pro Kanal. Anhand der von einem Adress Header Translation Controller (ATC) mitgelieferten TAG-Informationen werden ankommende Zellen zum gewünschten Ausgangskanal vermittelt. Zu jedem Ausgangskanal gehört ein Ausgangs-FIFO (max. 75 Zellen), welcher in eine Warteschlange niedriger Priorität (max. 50 Zellen) und eine Warteschlange höherer Priorität (25 Zellen) aufgeteilt wird, wobei die Warteschlange mit der höheren Priorität bevorzugt behandelt wird. Die

Zellreihenfolge wird dabei nicht verändert. Desweiteren wird die Behandlung der Zellverlustrangigkeit (CLP-Bit) unterstützt, bei dem mit gesetztem CLP-Bit ankommende Zellen verworfen werden, wenn der dazugehörige Ausgangspuffer einen bestimmten Grenzwert überschreitet.

Das Setzen des CLP-Bits kann auch durch das SRE selbst erfolgen, wenn eine Überlastsituation festgestellt wird. Um die Ausbreitung der Überlastsituation im Netz zu verhindern, ist der EFCI-Mechanismus (siehe Abs. 6.2.3.3) implementiert, der bei Aktivierung alle Ausgangs-FIFO's überwacht. Abhängig von einem vorprogrammierten Grenzwert für die Füllstände der Ausgangspuffer, wird der PTI im empfangenen Zellkopf gesetzt und weitergeleitet. Die Aufgabe der Rückmeldung an das Quellsystem wird damit dem entsprechenden Ziel-Endsystem übertragen.

- **Adaptation Layer Controller (ALC) MB 86687**

Eine Hauptfunktion des ALC ist die Ausführung der Segmentierung und Reassemblierung der Benutzerdaten (automatische Bearbeitung der AAL 3/4 und AAL 5 PDU). Der ALC kann die Segmentierung und Reassemblierung gleichzeitig für bis zu 1024 virtuelle Verbindungen durchführen. Als Fundament der implementierten Verkehrssteuerung wird der Leaky Bucket Algorithmus eingesetzt. Die Verkehrssteuerung basiert auf der Grundlage der virtuellen Verbindung. Der ALC kann bis zu zwölf unterschiedliche Spitzenzellraten bei der Segmentierung generieren. Jede Spitzenzellrate wird einer separaten Warteschlange zugewiesen. Die insgesamt notwendigen 12 Warteschlangen werden gleichmäßig in drei Prioritätsgruppen aufgeteilt (hoch, mittel, niedrig), um so die totale Spitzenzellrate des ALC zu kontrollieren. Dies geschieht dadurch, daß bei einer Überschreitung der totalen Spitzenzellrate, die Warteschlangen gemäß ihrer Priorität bedient werden, bis die totale PCR unter den Grenzwert gefallen ist. Auf die gleiche Art und Weise wird die mittlere Dauerzellrate kontrolliert.

- **Traffic Policing Controller (POL) / Shaping Controller (SHAP)**

Spezielle integrierte Controller zur Verkehrs- und Überlaststeuerung werden z.B. von der Firma ATeCOM GmbH entwickelt. Da fast alle ATM-Chipsätze der ersten Generation ohne bzw. nur mit eingeschränkter Verkehrs- und Überlaststeuerung funktionierten, mußten Lösungen zur funktionalen Erweiterung bezüglich der Verkehrs- und Überlaststeuerung von vorhandenen ATM-Systemen gefunden werden.

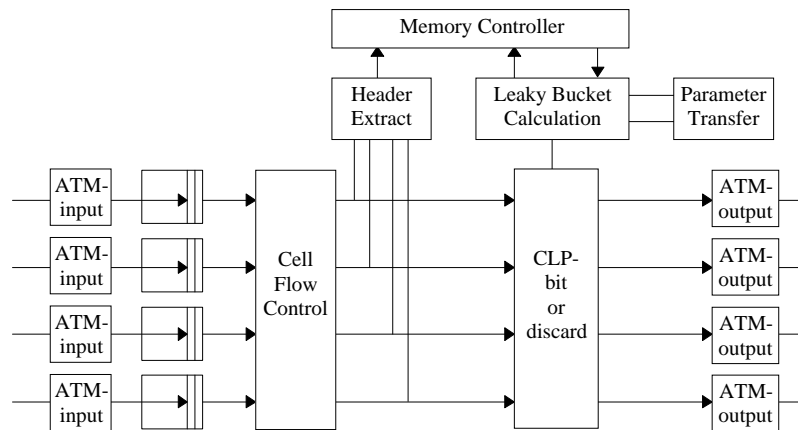


Abbildung 6.19: Blockschaltbild der ATM_POL2 [DAT 02/96]

Während der Policing Controller die Überwachung des Datenverkehrs am Eingang eines ATM-Vermittlungssystems oder ATM-Endsystems übernimmt, hat der Shaping Controller die Aufgabe, dafür zu sorgen, daß die Daten am Ausgang des ATM-Systems eine definierte Zellrate erhalten.

Technische Realisierungen stellen der ATM_POL2 und der ATM_SHAP2 dar. In Abbildung 6.19 ist der ATM_POL2 schematisch dargestellt. Die wesentlichen Eigenschaften sind:

- vier ATM-Kanäle mit je 155 Mbit/s,
- unterstützt sowohl Standard ATM Interface (SAI) als auch UTOPIA Interface (Universal Test & Operations PHY Interface for ATM: Spezifikation des ATM-Forums zur Definition eines einheitlichen Interfaces zwischen der physikalischen Schicht und höheren Schichten von ATM-Komponenten),
- die Verkehrsüberwachung basiert auf der Grundlage des Leaky Bucket Algorithmus,
- integrierte Speichersteuerung für statische und dynamische Speicher,
- universale uP-Schnittstelle zur Initialisierung der Controller-Register und Weiterleitung von Statusinformationen an Verwaltungsinstanzen.

In Abhängigkeit von der eingestellten Betriebsart können insgesamt 256k (direct mode) oder 64k (lookup table mode) virtuelle Verbindungen überwacht werden.

Die gewünschten Verkehrsparameter, welche nach der Konfiguration in einem externen Speicher abgelegt werden, können über 16-Bit-Masken ausgewählt werden. Die 16-Bit-Maske, welche die Speicheradresse darstellt, unter der die gewünschten Parameter zu finden sind, kann aus den beliebigen Bits des 32-Bit Zellkopfes zusammengestellt werden.

Zur Taktentkopplung zwischen Eingang und Ausgang besitzt jeder ATM-Eingang einen vier Zellen tiefen FIFO. Wenn der Eingangstakt größer als der Ausgangstakt ist, entsteht ein FIFO-Überlauf, in dem die ankommenden Zellen abgewiesen werden.

Der zu verarbeitende Zellstrom kann kontinuierlich oder diskontinuierlich sein. Die Prüfsumme des Zellkopfes kann ignoriert oder neu berechnet und geprüft werden. Nach der Analyse des Zellkopfes und nach Bildung der Maske werden die gewünschten Verkehrsparameter gelesen und der Zellstrom entsprechend weitergeleitet.

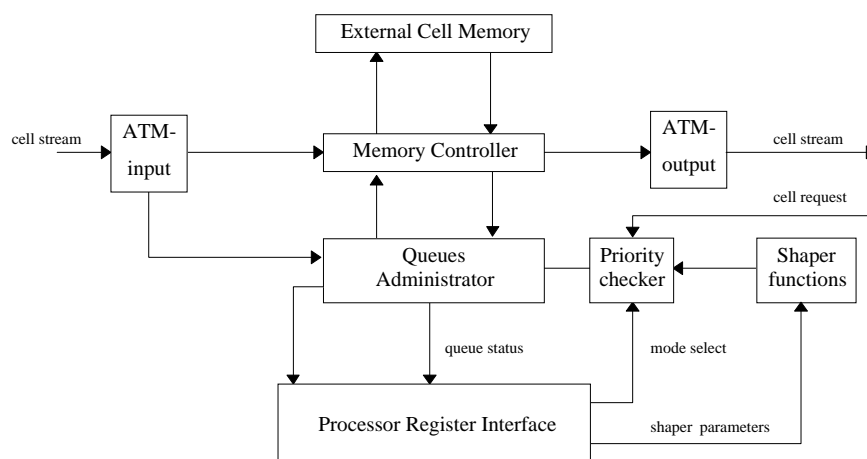


Abbildung 6.20: Blockschaftbild des ATM_SHAP2 [DAT 02/96]

In Abbildung 6.20 ist das Blockschaftbild des ATM_SHAP2 schematisch dargestellt. Der Controller besitzt einen ATM-Kanal. Die Eingangs- und Ausgangsschnittstelle hat eine maximale Übertragungskapazität von 155 Mbit/s. Zwei identische Warteschlangen können mit einer Priorität versehen werden, so daß ankommende Zellen entsprechend ihrer Priorität behandelt werden können.

• BNP2010

Ein Baustein, der sowohl zum Policing als auch zum Traffic Shaping eingesetzt werden kann, ist der BNP2010 von National Semiconductor.

Zur Datenverkehrsregelung erfolgt die Überwachung des Datenverkehrs an den Eingangsports von ATM-Switches. Für jeden Anschluß werden die Dienstqualitätsparameter festgestellt und anschließend geprüft, ob der Zelldurchsatz der zuvor vereinbarten Verkehrsdichte entspricht. Regelverstöße können durch Markierung oder das Aussondern der entsprechenden Zellen geahndet werden. Zur Verkehrsformung wird der Baustein an den Ausgangsport eines Switch

oder einer Multiplexer/Konzentrator-Einheit angeordnet, um den abgehenden Datenverkehr zu überwachen und regulierend in den Zellfluß einzugreifen.

Der nach den UNI-3.1.-Spezifikation des ATM-Forums entwickelte UPC-Baustein kann für 155 oder 622 Mbit/s eingesetzt werden.

[DAT 02/96; IK 04/96]

6.4. Traffic Management und Congestion Control des Lightstream 1010

Der Lightstream 1010 ist ein Cisco Systems Next-Generation-ATM-Switch für den Workgroup- und Campus-Backbonebereich. Er basiert auf einer Shared-Memory-Architektur, die ein Traffic Management und Congestion Control anbietet.

Das Traffic Management des LS 1010 umfaßt 3 wichtige Eigenschaften[CIS]:

1. Flexible Überwachung der Bandbreitenzuteilung (Controlled Link Sharing Service),
2. Integrierte Unterstützung der verschiedenen ATM-Dienste und
3. Effektive Verwendung der Netzwerk-Ressourcen.

Die Congestion Control Fähigkeit des Lightstream 1010 unterstützt 3 Ziele [CIS]:

1. Vermeidung von Überlastungen,
2. Minimierung der Auswirkungen bei Überlastungen und
3. Vermeidung der Ausbreitung der Überlastung auf andere Teile des Netzwerkes in Verbindung mit dem Traffic Management.

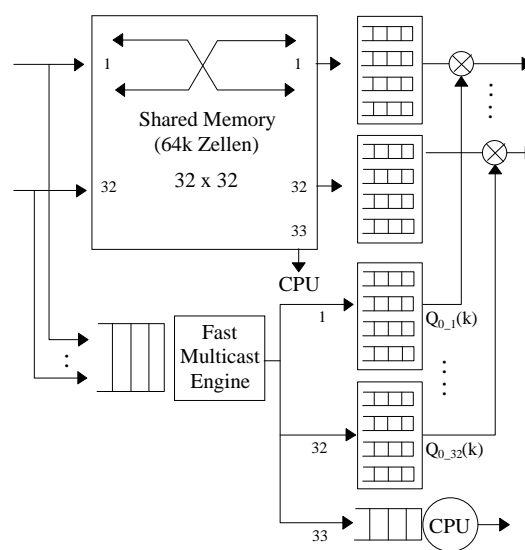


Abbildung 6.21: Lightstream 1010 ATM Switching System [CIS]

Eine effektive Unterstützung der Traffic Managementziele ist eines der wichtigsten Kriterien zur Beurteilung eines ATM-Switches. Der auf einer blockierungsfreien Shared-Memory-Architektur basierende ATM-Switch-Fabric liefert 32 vollduplexfähige ATM-Ports, mit einer Geschwindigkeit von je 155 Mbit/s. Verglichen mit der alternativen Methode eines Shared-Medium-Switches, die auf einem gemeinsam genutzten TDM-Bus oder -Ring basieren, bietet der Shared-Memory-Switch den Vorteil einer effektiveren Hardwareausnutzung und Pufferung, wodurch Speicheranforderungen reduziert werden.

Der Lightstream 1010 verringert die Pufferanforderungen für Multicast- und Broadcast (point-to-multipoint) Verkehr, da physikalisch nur eine einzelne Kopie einer Multicast-Zelle gespeichert werden muß. Im Gegensatz dazu, muß ein Shared-Medium-Switch (output buffered), viele Kopien einer Multicast-Zelle, entsprechend der Anzahl der Verzweigungen am Switch-Knoten, an verschiedenen Ausgangsports abspeichern.

Im Shared-Memory-Fabric des Lightstream 1010 kommt eine Fast Multicast Engine (FME) zum Einsatz, mit welcher die Nachbildung eines Zeigers auf den entsprechenden Speicherplatz für jede Verzweigung einer Point-to-Multipoint-Verbindung realisiert wird.

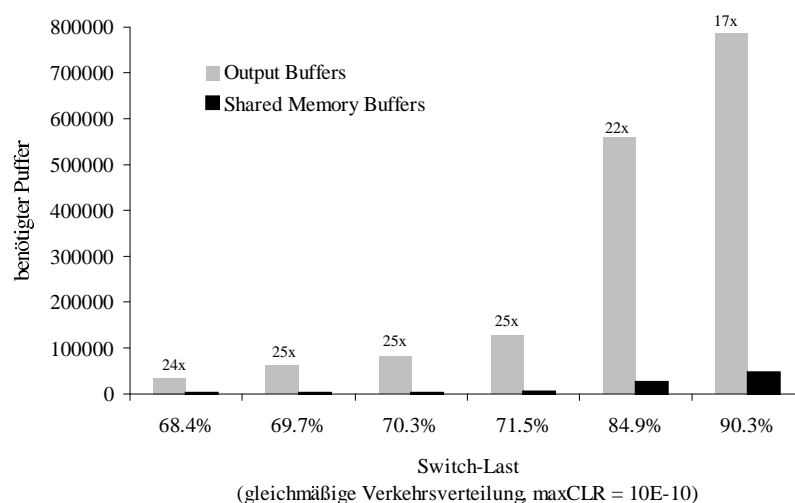


Abbildung 6.22: Pufferanforderungen: Lightstream 1010 vs. Bus-based Output Buffered Switch [CIS]

Die FME ist Bestandteil der Lightstream 1010 Feature Card auf dem ATM Switch Prozessor Module (ASP), auf dem auch die meisten Congestion Control- und Traffic Management-Mechanismen untergebracht sind. Das Prinzip der Feature Card ermöglicht ein frühzeitiges und kostengünstiges Upgrade von Mechanismen, die neu standardisiert oder vom Anwender gefordert werden und trägt somit zu einer effizienten Hardwareausnutzung bei. Tests zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Lightstream 1010 für verschiedene Verkehrsarten zeigten, daß Zellverluste

von weniger als 10^{-10} mit einem hohen Durchsatz und minimaler Pufferanzahl möglich sind [LIN 96, LAB 09/96]. Für gegebene Verlustwahrscheinlichkeiten und Lastzustände waren die benötigten Puffergrößen (Abbildung 6.22) des Lightstream 1010 bedeutend kleiner, als die des Shared-Medium-Switches (output buffered). Der Shared-Memory-Switch konnte bedeutend mehr Verbindungen oder höhere Lasten verarbeiten.

Durch eine Kombination von Hard- und Softwaremechanismen sind im Lightstream 1010 die folgenden Traffic Management Funktionen implementiert:

Call Setup Phase:

- CAC
- QoS-based Dynamic Routing mit Load Balancing Fähigkeiten

Data Transfer Phase:

- UPC (DSLBB) für jede Verbindung mit TPD (optional)
- CLP Selective Discard mit TPD (optional)
- Intelligent Integrated TPD/EPD
- Flow and Congestion Control durch EFCI- und RR-Mode
- Effective Buffer Sharing and Management
- Delay Priority Control

6.4.1. Call Setup Phase

- CAC

Der CAC-Algorithmus (siehe Abschnitt 6.2.1.2) des Lightstream 1010 basiert auf der besonderen Struktur des Lightstream 1010. Die Entscheidung über die gestellten Anforderungen eines VPC/VCC in der Call Setup Phase beruht auf zwei grundlegenden Kriterien:

1. Ressourcenbezogene Kriterien (RCAC)

Prüft, ob die Anforderungen für Bandbreite und End-to-End-QoS-Parameter (Verlust, Verzögerung) eingehalten werden können.

2. Überwachungsbezogene Kriterien (PCAC)

Prüft, ob Überwachungsfunktionen, die der Benutzer vorkonfiguriert, eingesetzt werden können.

Zusammen mit dem allgemeinen CAC (GCAC - Generic CAC) erlaubt dies eine schnelle Entscheidung darüber, ob eine potentielle Route durch das Netzwerk genügend Ressourcen zur

Unterstützung der Verbindung zur Verfügung stellen kann, d.h. die Route muß eine hohe Wahrscheinlichkeit zur Unterstützung der QoS- und Policing-Anforderungen für die neue Verbindung bereitstellen. Der Lightstream 1010 erlaubt es dem Anwender, die „Genauigkeit“ oder „Ungenauigkeit“ des CAC zu regulieren und damit eine bessere Netzwerkauslastung oder Kontrolle über die Dienstgüte durch eine individuelle Anpassung zu erzielen.

Der RCAC-Algorithmus ist entwickelt worden:

- zum Schutz der ATM-Performance-Ziele über alle Verbindungen,
- zur Minimierung der Blockierungswahrscheinlichkeit und
- zur Unterstützung eines Controlled Link Sharing Service

und benutzt die folgenden Informationen, die im Verkehrsvertrag festgelegt werden:

- Parameter des Source Traffic Descriptors (PCR, SCR, BT),
- CDVT-Parameter und
- QoS-Klasse und optionale QoS-Parameterwahl (CLR, CTD, CDV)

Diese Informationen, zusammen mit dem gegebenen Zustand des Lightstream 1010 und dem gewählten Übertragungslink bestimmen, ob die Verbindung durch den Lightstream 1010 akzeptiert werden kann. Anderenfalls wird die Anforderung durch die Anwendung eines „Cause“-Codes (Ursache) oder durch einen „Crankback“-Mechanismus, der durch das PNNI-Protokoll bereitgestellt wird, gelöscht.

Eine zukünftige Version des Lightstream 1010 wird ein Feature Card Upgrade anbieten, welches einen anspruchsvolleren RCAC-Algorithmus implementiert. Dieser soll die gemessene Netzwerklast zur Bestimmung der Systemleistung in Betracht ziehen und damit eine verbesserte Switch-Auslastung erreichen.

• QoS-Based Dynamic Routing

Das Routing-Protokoll entscheidet, zwischen welchen Netzwerkelementen die QoS-Informationen ausgetauscht werden. Zwei Ziele sollen erreicht werden:

1. Einhaltung der QoS-Garantien und
2. Effektive Nutzung der Netzwerk-Ressourcen durch Lastausgleich im Netzwerk.

Das Routing-Protokoll (PNNI-Routing) muß einen Pfad bereitstellen, der entsprechend der gewünschten Verkehrscharakteristik des Benutzers gewählt wird (QoS-sensitives Routing). Dieser Pfad ist nicht notwendigerweise der optimale Pfad. Die Anschlußkenngrößen Belastung, maxCTD, ppCDV und die Verbindungseigenschaften verfügbare Zellrate, maximale Zellrate je Verbindung, und Zellratentoleranz werden durch den Lightstream 1010 zur Verfügung gestellt.

6.4.2. Data Transfer Phase

Die Abbildung 6.23 zeigt den Zellfluß durch die Traffic Management und Congestion Control Funktionen des Lightstream 1010, die während der Datenübertragung aktiv sind.

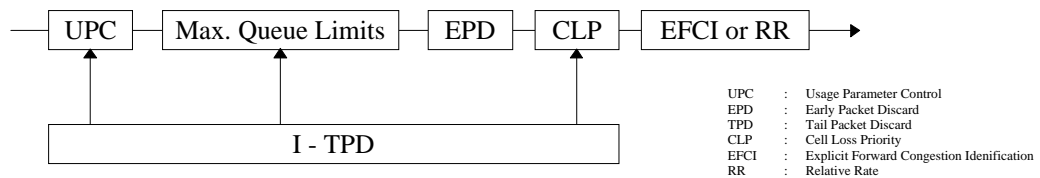


Abbildung 6.23: Zellfluß des Traffic Management und Congestion Control

- **UPC**

Das Ziel der UPC ist der Schutz des Netzwerkes und der Benutzer vor böswilligem oder unbeabsichtigtem Fehlverhalten anderer Netzwerk-Teilnehmer. Die UPC-Funktion prüft die Übereinstimmung zwischen überwachten und ausgehandelten Parametern und leitet Aktionen im Fall der Vertragsverletzung wie folgt ein:

- Passing,
- Tagging ($CLP = 0 \rightarrow CLP = 1$),
- Discarding und
- Rescheduling (verfügbar in zukünftigen Versionen der LS 1010 Feature Card).

Der Lightstream 1010 unterstützt hierzu das Prinzip des Dual-Mode Single Leaky Bucket (DSLBB) Algorithmus ($\hat{=}$ GCRA[I, L]), um ankommende Zellen einer Verbindung auf ihre Konformität zu prüfen.

Im Fall des Discarding unterstützt der Lightstream 1010 optional die Methode des Tail Packet Discard. Desweiteren kann bei Vertragsverletzung der Abbruch der Verbindung veranlaßt werden.

I-Parameter	1	2	..	17	18	..	58	59	..	265	..	663	..	65535
Bitrate (Mbit/s)	2650	1325	..	155.88	147.22	..	45.69	44.91	..	10.00	..	4.00	..	0.040
Delta (Mbit/s)	-	1325	..	9.74	8.66	..	0.80	0.78	..	0.04	..	0.00	..	0.00

Tabelle 6.2: Lightstream 1010 DSLBB UPC-Sample Bit Rate Einstellungen [CIS]

Tabelle 6.2 zeigt eine Reihe von Bitraten, die als eine Funktion von I (Peakrate) überwacht werden können. Es zeigt, daß die kleinste Datenrate, die überwacht werden kann, 40 k bit/s beträgt

Bitrate (Mbit/s)	Zellen/Burst	Ethernet 1500 Byte Pakete/Burst	FDDI 4500 Byte Pakete/Burst	IP 9200 Byte Pakete/Burst
L = 671.09 ms				
0.064	103	3.2	1.1	0.5
1.5	2396	74.8	25.4	12.4
10	16839	526.2	179.1	87.7
100	395690	12365.3	4209.4	2060.8
L = 2.72 ms				
0.064	1	0.0	0.0	0.0
1.5	11	0.3	0.1	0.0
10	70	2.1	0.7	0.3
100	1605	50.1	17.0	8.3

Tabelle 6.3: Lightstream 1010 DSLB UPC-Effekt der BT-Einstellung

Tabelle 6.3 zeigt den Effekt der Einstellung des Parameters L (Auswahl) und beschreibt die Anzahl der Zellen oder Pakete (Ethernet, FDDI, IP) die während eines Bursts als Funktion der Bitrate, für zwei mögliche Einstellungen der BT (L), möglich sind.

- Traffic Pacing

In Zusammenhang mit Traffic Shaping Funktionen unterstützt der Lightstream 1010 die Fähigkeit des Traffic Pacing. Dieser Mechanismus erlaubt es, die Gesamtverkehrsrate über einen Port zu begrenzen. Wenn dieser Zählmechanismus aktiviert ist, führt ein Verkehrsfluß über das vereinbarte Maß zu einer Reduzierung des „Cell-Clumping“. Weiterentwicklungen der Lightstream 1010 Feature Card sollen diese Fähigkeit zur Verkehrsformung dahingehend optimieren, daß der Algorithmus auch auf Verbindungs- oder VP-Ebene realisiert werden kann.

- Cell Loss Priority Selective Discard

Ein Bit im ATM-Zellheader dient der Kennzeichnung der CLP und wird zur Erzeugung verschiedener Prioritätszellflüsse innerhalb einer VP- oder VC-Verbindung verwendet.

Der Lightstream 1010 stellt einen schwellenbasierenden CLP Selective Discard Mechanismus zur Verfügung, der eine konfigurierbare Schwelle über alle Puffer, zur Trennung der CLP = 0- und CLP = 1-Zellen, festlegt. Untersuchungen haben gezeigt, daß durch die Einteilung nach der „Wichtigkeit“, eine Verbesserung der CLR für den CLP = 0-Verkehr, mit nur geringen Auswirkungen auf die Leistung des CLP = 1-Verkehrs (Verschlechterung), erreicht werden kann.

In Verbindung mit der TPD-Option ist eine weitere Verbesserung des „Goodput“ des Systems möglich. Vorteilhaft ist dieses Prinzip der Zellmarkierung in Verbindung mit Kodierungs- und Kompressionsschemen (z.B. MPEG: I-Frame-Zellen erhalten eine hohe Priorität).

- Intelligent Integrated Tail Packet Discard / Early Packet Discard

Während die kurzen, festen Zellenlängen das Highspeed-Switching erleichtern, bestehen die Datenunits (SDU) von Applikationen meist aus Paketen größerer Länge. Die entsprechende Anpassung erfolgt über den SAR-Prozeß. Für die meisten Applikationen bedeutet der Verlust einer oder mehrerer Zellen, daß das entsprechende Paket „nutzlos“ ist. Die verbleibenden Paketfragmente verschwenden Puffer- und Bandbreiteresourcen und erfordern eine Paketwiederholung. Das Ergebnis ist ein ineffektiver Durchsatz oder „Goodput“. „Goodput“ beschreibt den Durchsatz, der nach den Bedingungen des Higher-Layer-Protokolls als „gut“ bezeichnet werden kann. Der „Goodput“ beinhaltet nicht die übertragenen Zellen, die Teil der Wiederholungsübertragung oder eines unvollständigen Paketes sind.

Um die Anzahl der komplett übertragenen Pakete zu maximieren, besitzt der Lightstream 1010 einen patentierten ITPD/EPD-Mechanismus, der intelligent und selektiv Zellen verwirft, die Teil unvollständiger Pakete sind. Der Effekt der Fragmentierung kann so vermindert werden. Wann immer eine Zelle aus Gründen wie Pufferüberlauf, UPC-Aktionen u.ä. verloren geht, verwirft der TPD-Mechanismus alle folgenden Zellen dieses Paketes, ausschließlich der letzten Zelle (EOP - End of Packet), um den Reassemblierungsprozeß abzuschließen und eine Wiederholung des Paketes einzuleiten. Um die Wahrscheinlichkeit des Verlusts dieser Zelle zu vermindern, setzt der Lightstream 1010 die Zellenverlustpriorität aller EOP-Zellen auf den Wert Null (höhere Priorität). EPD ist eine Technik, bei welcher der Switch das Verwerfen der Zellen von allen ankommenden Paketen startet, wenn der Switchpuffer eine benutzerkonfigurierbare Schwelle erreicht hat. Wenn die erste Zelle eines Paketes in den Puffer eindringt, ist dies auch allen übrigen Zellen des Paketes erlaubt, wenn genügend Pufferspeicher verfügbar ist (entsprechende Schwellenkonfiguration notwendig). Ansonsten wird der TPD-Mechanismus aktiviert.

TPD/EPD des Lightstream 1010 wird über die UNI 4.0-Signalisierung durch die Verwendung des „Broadband Bearer Capability“-Informationselement, über direkte Befehlseingabe oder durch das Netzwerk-Management auf VC-Ebene aktiviert. Um die Nutzung dieser Mechanismen mit UNI 3.0/3.1.-fähigen End-Systemen zu erlauben, kann der Lightstream 1010 deren Aktivierung optional für alle Signalisierungsanforderungen mit einer „Best Effort“-Anzeige im „ATM Traffic Descriptor“-Informationselement durchführen.

Die Platzierung der EPD-Schwelle bestimmt, wie effektiv der Puffer benutzt wird und wie häufig Zellen verworfen werden. Der Überschuß an Pufferkapazität oberhalb der EPD-Schwelle wird zur Speicherung von Zellen der Pakete benutzt, die bereits Zellen im Puffer oder auf der Übertragungsstrecke haben. Die Einstellung der Schwelle ist u.a. von folgenden Faktoren abhängig:

- Verteilung der Paketgröße,
- Verkehrsverteilung,
- Dauer von Überlastungsperioden,
- Verhältnis von ankommenden Zellen während einer Überlastungsperiode, die zu noch ausstehenden Zellen eines Paketes gehören und gespeichert werden müssen und
- Wechselwirkung mit anderen ATM-Schicht-Flüssen und Kontroll-Mechanismen.

Zukünftige Verbesserungen des Lightstream 1010 sind dahingehend geplant, daß ein erweiterter ITPD/EPD-Mechanismus einen fairen Zuteilungsalgorithmus und ein Random Early Detection Schema (RED) einschließt.

- EFCI-Marking and ABR Support

Innerhalb eines Netzwerkes kann ein Netzwerkelement durch das Setzen des EFCI-Codes im PTI-Feld eines jeden Zellheaders einen Überlastsituation anzeigen, so daß das Ziel-End-System davon unterrichtet wird. Das End-System kann auf das EFCI-Signal, als Teil einer End-User-Feedback-Kontrolle, zur Minimierung von Auswirkungen reagieren.

Der Lightstream 1010 besitzt ein schwellenbasierendes EFCI-Marking-Schema. Wenn die Warteschlangenbelegung eine benutzerkonfigurierbare Schwelle überschreitet, wird die Überlastinformation durch das Setzen des EFCI-Flags in den Zellen, die das System passieren, gemeldet. Die Benutzung des EFCI-Marking zur dynamischen Anpassung des End-System-Verhaltens ist optional für CBR, VBR und UBR möglich, aber für den ABR-Verkehr vorgeschrieben.

Der ABR-Service spezifiziert eine Reihe von Mechanismen und Verfahren, die Switches und ATM-End-Systeme zur Regulierung der übertragenen Verkehrsmenge über eine ABR-Verbindung, benutzen können (siehe Abschnitt 6.2.3.3.).

Switches können 3 Methoden zur Anzeige und Kontrolle von Überlast benutzen, die im folgenden entsprechend ihrer Komplexität aufgelistet sind:

1. EFCI-Marking-Mode,
2. Relative-Rate-Marking-Mode (RR) und
3. Explicite-Rate-Marking-Mode (ER).

Die beiden ersten Methoden umfassen zwei wichtige Funktionen:

1. Erkennung von beginnender Überlastung und
2. Bereitstellung selektiver, binärer Feedback-Methoden.

Der RR-Mode ist vorteilhafter, weil die Fähigkeit zur Benutzung einer Backward-RM-Zelle zur Überlastmeldung besser ist, als auf die Reflexion durch das Zielsystem zu bauen. Da die Backward-RM-Zelle von jedem Switch der Verbindung eingesetzt werden kann, sind bedeutend geringere Feedback-Delays und damit bessere Performance-Ergebnisse (schnellere Reaktion auf Überlastungen) möglich.

Der ER-Mode verlangt vom Switch die Ausführung von mindestens 3 Funktionen:

1. Berechnung der „Fair Share“ der verfügbaren Bandbreite für ABR-Verbindungen,
2. Bestimmung der verfügbaren Bandbreite für alle ABR-Verbindungen und
3. Bestimmung der aktuellen Rate für alle ABR-Verbindungen und die Mitteilung dieser Informationen an die Quelle.

Während dieses Schema in der Theorie die beste Performance bereitstellen kann, verlangt es einen bedeutend komplexeren Switch-Mechanismus, der ohne sorgfältiges Design, besonders in einer Multivendorumgebung, unzuverlässig arbeiten kann.

Der Lightstream 1010 unterstützt bisher nur die Leistung des EFCI- und RR-Modes.

Unklar ist bis jetzt die Fähigkeit des ER-Schemas in bezug auf die End-to-End-Fluß- und Fehlerkontrolle höherschichtiger Protokolle (z.B. TCP), die erst in praktischen Tests untersucht werden muß.

- Effective Buffer Sharing and Management

Die Aufgaben des Puffermanagements des Lightstream 1010 bestehen in:

- der Auswahl der Zellen, die bei Überlast verworfen werden und
- der Kontrolle des wirtschaftlichen Kompromisses zwischen abgeschlossener Pufferteilung und Gerechtigkeit zwischen den Ports.

Der Lightstream 1010 unterstützt 4 Delay Service Classes, jede mit zwei Verlustprioritätsklassen. Dabei wird eine minimale Anzahl von Puffern für jede Delay Service Class an jedem Ausgangsport reserviert, um die Möglichkeit des Fehlens von angemessenem Pufferspeicher, wenn er benötigt wird, zu verhindern. Der Lightstream 1010 stellt Grenzen und Schwellen zur Implementierung eines flexiblen und effektiven Puffer-Managements bereit.

Lightstream 1010 - Schwellen	Werte
programmierbare, maximale Warteschlangen-Grenzwerte für jede Delay Service Class	L_i ($i = 1, 2, 3, 4$) programmierbar in Einheiten von 32 Zellen
programmierbare, maximale Warteschlangen-Grenzwerte je Port	L_{ij} ($i = 1, 2, 3, 4; j = 1, \dots, 32$) programmierbar in Einheiten von 32 Zellen
für jede Service Class, die je Port programmierbare Schwelle für Discarding, EFCI- und RR- Marking	einstellbar in Stufen von $(x \cdot L_{ij} / 8)$ mit $x = 1, \dots, 8$

Tabelle 6.4: Lightstream 1010 Warteschlangen: Grenzwerte und Schwellen [CIS]

Diese ermöglichen es, den Pufferspeicher zwischen den Verkehrsklassen und Ausgangsports, entsprechend den einzelnen Verkehrsprofilen, zuzuteilen. Die folgenden konfigurierbaren Puffersteuerungen sind verfügbar:

- Per-Switch Controls: maximale Puffergrenze je Serviceklasse und
-

```
ERROR: rangecheck  
OFFENDING COMMAND: .pdfshow
```

```
STACK:
```

```
{--awidthshow-- }  
(- )  
0  
-0.45  
32  
0  
19.95
```