

1. Einführung

In der zukünftigen Welt der Telekommunikation werden zu den bestehenden Diensten (Sprach- und Datenübertragung) neue Dienste (Videoübertragung, Virtual Reality) hinzukommen, die höhere Anforderungen an das Telekommunikationsnetz stellen.

Entsprechende Anwendungen können mit der bisherigen Technik (z.B. Fast-Ethernet) nicht immer in ausreichender Qualität realisiert werden. Dies hängt weniger mit dem Durchsatz im Netz zusammen, sondern ist vor allem auf die benötigte Dienstqualität (Quality of Service) zurückzuführen.

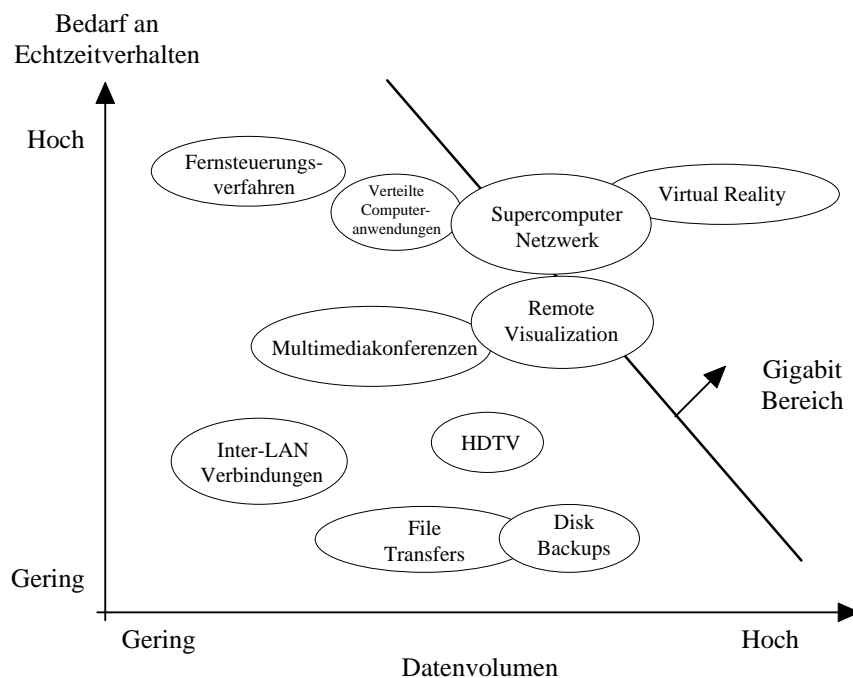


Abbildung 1.1: Bandbreiten und Echtzeitverhalten der modernen Datenkommunikation [KYA 3/96]

So sind z.B. Sprach- und Videoanwendungen in bezug auf die Übertragungsgeschwindigkeiten weniger problematisch, erfordern aber eine garantierte Verzögerung, die eine kontinuierliche Wiedergabe ermöglicht. Traditionelle Übertragungstechniken können dies u.a. aufgrund großer Rahmen (z.B. 1500 Byte bei Ethernet) und der Anwendung von Kollisionsverfahren (Ethernet) nicht immer realisieren.

Auch die zunehmende Bedeutung von Multimedia-Anwendungen sowie der Wunsch, Daten-, Sprach- und Videoanwendungen über ein gemeinsames Netz zu betreiben, erfordert den Einsatz einer neuen Übertragungstechnologie.

Bislang wurde für jede Art der Kommunikation ein Netz geschaffen. Deren größter Vertreter ist z.B. das Telefonnetz für die Sprachübertragung. Rundfunk und Fernsehen erreicht über Kabelnetze und Satellit den Zuschauer. Für Computer entstanden spezielle Datennetze (Ethernet, Token-Ring). Eine eindeutige Trennung der Netze nach bestimmten Anwendungen ist aber schon heute nicht mehr möglich, da diese auch für „netzfremde“ Dienste (entgegen ihrem ursprünglichen Zweck) „mißbraucht“ werden.

Netz	ursprünglicher Dienst	zusätzlicher Dienst
Telefonnetz	Sprache	Datenübertragung
Rundfunk/Fernsehen	Sprache, Video	RDS, Videotext
Datennetze (Internet, lokale Netze)	Daten	Sprache, Bildübertragung (Videokonferenz)

Tabelle 1.1: Netz- und netzfremde Dienste [PRY 3/95]

Die Verwendung der bestehenden Netze für dienstfremde Anwendungen stieß dabei schnell an ihre Grenzen und ließ den Bedarf nach einem diensteunabhängigen Kommunikationsnetz mit ausreichender Bandbreite erkennen. Dieses diensteunabhängige Kommunikationsnetz durfte sich konzeptionell keinen Beschränkungen in der Übertragungsbandbreite unterwerfen und muß isochrone Sprach- und Videoübertragung ebenso wie variabel und verbindungslose Datenkommunikation gewährleisten.

Mit dem Asynchronous Transfer Mode (ATM) steht eine Technik zur Verfügung, die in der Lage ist, den gestellten Anforderungen gerecht zu werden.

1.1. Grundlagen des ATM-Verkehrs

ATM kann Informationen der unterschiedlichsten Dienste auf einer Übermittlungsbasis transportieren. Diese Dienste weisen gravierende Unterschiede sowohl in der benötigten Übertragungsbandbreite als auch bezüglich der Eigenschaften von Quality-of-Service-Anforderungen (Dienstgüte) der Datenströme auf. QoS-Anforderungen betreffen z.B. die zulässigen Verzögerungen während der Übertragung inklusive Paketierung (Ende-zu-Ende) und den erlaubten Zellenverlust. Allen diesen Anforderungen muß das ATM-Übermittlungsprinzip genügen.

Die optimale Ausnutzung der Übertragungsressourcen mit Hilfe des ATM-Übermittlungsprinzips beruht auf den Überlegungen, Bandbreite für die Übertragung durch das Zellenprinzip in beliebigen Abstufungen zur Verfügung zu stellen (kleine Granularität) und den gegenseitigen Ausgleich von Bursts von variabel bitratigen (burstbehafteten) Quellen zu ermöglichen (statistischer Multiplexgewinn).

Das ATM Grundprinzip besteht in der verbindungsorientierten Übertragung der Informationen in Paketen (Zellen) fester Länge und im statistischen Multiplexen verschiedener Zellströme, wenn sie die gleichen übertragungstechnischen Einrichtungen (z.B. virtueller Pfad) benutzen.

ATM ist damit sowohl Transport als auch Vermittlungsprinzip.

Jede ATM-Zelle besteht aus einem 5 Byte langen Kopffeld und einem 48 Byte langen Informationsfeld. Die Größe ist ein Kompromiß an die Vielseitigkeit des ATM. Im Informationsfeld werden die Nutz- oder auch Signalisierungsdaten (keine speziellen Signalisierungskanäle) übertragen. Verschiedene Verbindungen an einem ATM-Anschluß werden durch unterschiedliche Kennzeichnungen im Kopffeld auseinander gehalten. In Abbildung 1.2 ist der allgemeine Aufbau einer ATM-Zelle dargestellt.

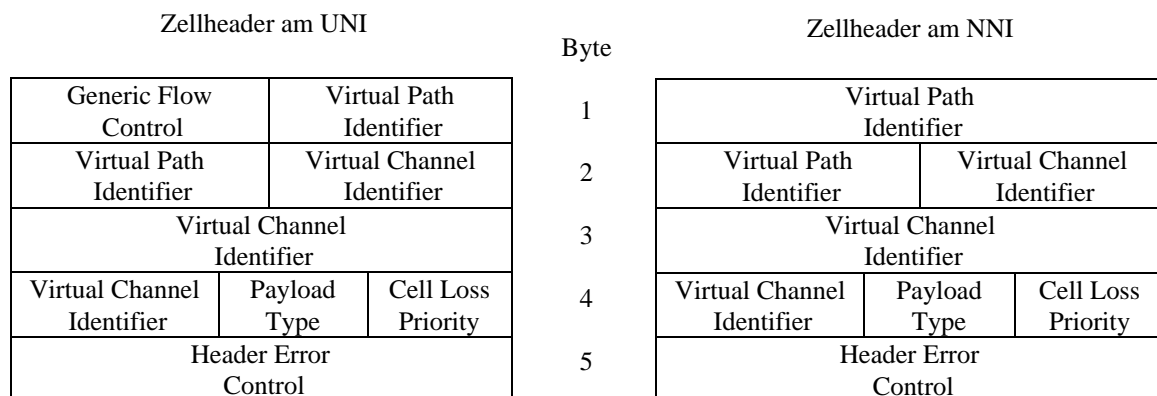


Abbildung 1.2: Aufbau des Kopffeldes einer ATM-Zelle [ATM 10/96]

Die Zuordnung der Zellen zu einer Verbindung erfolgt über den Virtual Channel Identifier (VCI) und den Virtual Path Identifier (VPI). Die Kanäle (VCs) werden auf Pfade (VPs) gebündelt und von Netzknoten zu Netzknoten (Switch) geschaltet. Eine Verbindung (VCC) zwischen zwei Endsystemen setzt sich aus einzelnen Kanälen zwischen den Netzknoten zusammen. Eine dynamisch vom Netz geschaltete virtuelle Kanalverbindung wird als Switched Virtual Connection (SVC) bezeichnet. Wird ein virtueller Kanal permanent geschaltet (entsprechend einer Standleitung), wird dies Permanent Virtual Connection (PVC) genannt. Ein ATM-Switch schaltet virtuelle Kanäle mittels einer Switching-Matrix. Sie enthält für jeden Kanal einen

Eintrag für Eingangs-Ports, -Path und -Channel sowie Ausgangs-Ports, -Path und -Channel. Beim Schalten kann der Switch ggf. Änderungen des VPI/VCI vornehmen. Eingesetzte Cross Connects in den ATM-Knoten können nur Änderungen des VPI vornehmen.

Hardwaremäßig gibt es verschiedene Ansätze, das Switching der ATM-Zellen auf den entsprechenden Pfaden bzw. Kanälen zwischen den Ports (I/O) hinreichend schnell zu gewährleisten. Zum Einsatz kommen Switching Fabric's (ATM-Schalteinheiten), die dynamische Übertragungswege zwischen den I/O-Ports zur Verfügung stellen. Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Schaltelementen, aus denen eine ATM-Schalteinheit aufgebaut sein kann: Matrix-Strukturelemente und Time-Division-Multiplexing-Strukturelemente.

In der Matrix-Struktur werden die ATM-Zellen über ein Netzwerkgerüst, das die Ein- und Ausgänge des Schaltelements miteinander verbindet, übertragen. Schaltelemente nach dem Prinzip des Time-Division-Multiplexing realisieren die Vermittlung z.B. über einen Hochgeschwindigkeitsbus (Bus-Topologie), dessen Bandbreite sich aus der Summe der Übertragungskapazitäten der Eingangsports ergibt. Andere, auf dem Prinzip des Time-Division-Multiplexing beruhende Varianten von Schaltelementen, sind die Ring- und Zentralspeicher-Topologie.

Durch die Kopplung einzelner Schaltelemente wird das eigentliche Schaltnetzwerk des Switch-Fabric gebildet. Durch umfangreiche Forschungsarbeiten in diesem Bereich wurde eine Vielzahl von Topologien entwickelt, die alle das Ziel haben, möglichst hohe Durchsatzraten bei gleichzeitig geringer Dichte der integrierten Schaltkreise zu entwickeln.

Für die Vermittlung der Zellen innerhalb von Schaltnetzwerken kommen zwei Methoden zum Einsatz: die Eigenvermittlung (Self-Routing) und die gesteuerte Vermittlung (Table-Controlled-Routing). Das Self-Routing erfordert einen zusätzlichen Header, der der ATM-Zelle vorangestellt wird und Informationen über den einzuschlagenden Übertragungsweg durch das Vermittlungsnetzwerk enthält. Dies geschieht durch die einmalige Auswertung des VPI/VCI am Eingang des Koppelnetzwerkes. In Abhängigkeit von der Anzahl der Vermittlungsstufen, besteht der zusätzliche Header aus der gleichen Anzahl von Teilfeldern. Um die zusätzliche Datenmenge bewältigen zu können, muß die interne Verarbeitungsgeschwindigkeit, entsprechend der Größe des zusätzlichen Headers, erhöht werden, um die Benutzerdatenrate einzuhalten. Das Table-Controlled-Routing erfordert für jedes Schaltelement eine Übersetzung der VPI- und VCI-Werte in vermittlungsspezifische Werte, die in Tabellen abgelegt werden. Die Tabellen müssen durch eine übergeordnete Steuerung bei jedem Verbindungsaufbau bzw. -abbau erneuert werden. Die Länge einer ATM-Zelle bleibt unverändert.

Um Situationen des Head-of-Line Blocking, d.h. das an mehreren Eingängen der Switch Matrixzellen mit dem gleichen Ausgangsziel für das Switching anstehen, zu vermeiden, können firmenspezifische Algorithmen zum Einsatz kommen. Die beschriebene Situation kann dazu führen, daß trotz der hohen Bandbreite des Switches nur eine der anstehenden Zellen weitergeleitet werden kann. Ein Beispiel für eine firmenspezifische Lösung ist der von Digital Equipment entwickelte und patentierte SWITCHmaster-Algorithmus. SWITCHmaster scannt dazu im Vorfeld eine festgelegte Anzahl von Zellen in jeder Input-Queue. Stehen mehrere Zellen mit gleichem Ausgang an, werden dahinterliegende Zellen vorgezogen und der Switch-Matrix zugeführt. Damit kann eine Auslastung der Switch-Bandbreite von bis zu 95 % gegenüber der sonst üblichen Auslastung von 60 % bis 65 % erreicht werden.

[DIG]

1.2. Schichtenmodell des B-ISDN

Die Spezifikation von ATM ist ähnlich dem OSI-Schichtenmodell strukturiert, jedoch ist eine direkte Abbildung nicht möglich. ATM kommt im wesentlichen mit drei Schichten aus, wobei die einzelnen Schichten über drei Ebenen miteinander verbunden werden.

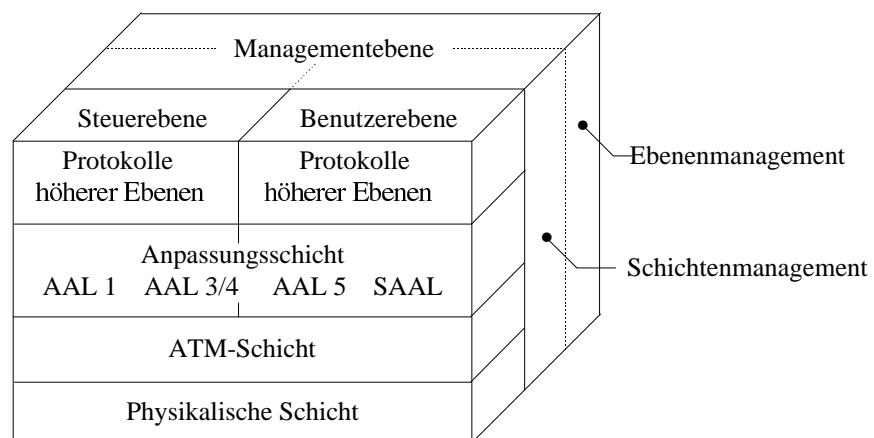


Abbildung 1.3: Schichtenmodell des B-ISDN

Die Benutzerebene erfüllt die Funktionen wie Kontrolle von Übertragungsfehlern oder Überwachung des Datenflusses. Die Steuerebene ist für den Auf- und Abbau sowie die Überwachung von Verbindungen mit Hilfe der VPI/VCI-Zuordnung zuständig. Die Managementebene erfüllt zwei Funktionen. Mit Hilfe des Ebenenmanagements werden Funktionen und Abläufe der Managementebene mit den beiden anderen Ebenen koordiniert. Das

Schichtenmanagement ist für Funktionen wie Meta-Signalisierung (Auf- und Abbau von Signalisierungskanälen) oder dem OAM-Informationsfluß (Überwachung der Netzwerkleistungsfähigkeit) verantwortlich.

Physikalische Schicht

Grundsätzlich gibt es für ATM keine neuen Übertragungsmethoden. Vielmehr ist man bemüht, möglichst viele der existierenden Medien nutzen zu können (Unshielded-Twisted-Pair-Kabel, Glasfaser u.a.). Der Bereich dieser Schicht umfaßt zwei zentrale Aufgaben:

1. Die Bereitstellung von Transportmechanismen, die von allen Diensten genutzt werden können, d.h. physikalischer Transport von ATM-Zellen nach standardisierten Übertragungsmethoden auf dem physikalischen Medium.
2. Die Sicherstellung des Zellentransportes mittels OAM-Funktionen.

Die physikalische Schicht besteht aus zwei Teilschichten:

1. Transmission Convergence (TC)

Diese Teilschicht hat die Aufgabe, die Anpassung der Zellen der ATM-Schicht in die Rahmen des verwendeten Transportmediums vorzunehmen.

2. Physical Medium (PMD)

Diese Teilschicht beinhaltet die Funktionen zur Anpassung der Bitsequenz an die Physik des Übertragungsmediums und der Umsetzung auf einen Leitungscode.

ATM-Schicht

Die ATM-Schicht setzt auf der physikalischen Schicht auf, sorgt für die Übertragung der ATM-Zellen und ermöglicht den Austausch von Informationen höherer Schichten auf Zellbasis. Erhält die ATM-Schicht von der ihr übergeordneten Schicht eine Informationseinheit, muß diese den entsprechenden ATM-Header (s. Abbildung 1.2), mit Ausnahme des HEC-Feldes (Generierung erfolgt durch die TC-Sublayer der physikalischen Schicht), erzeugen. Eine wichtige Aufgabe der ATM-Schicht ist es somit, Netzwerkadressen der höheren Schichten in die entsprechenden Werte für VPIs und VCIs umzuwandeln.

Anpassungsschicht

Weder herkömmliche Daten- noch Sprach- oder Videoübertragungen nutzen die Paketgröße des ATM-Zellformates von 48 Informationsbytes. Die Anpassungsschicht sorgt dafür, daß die

Dateneinheiten der höheren Schichten auf ATM-Zellen abgebildet werden. Um Anforderungen unterschiedlicher Datenströme gerecht zu werden, erfolgt die Anpassung anhand verschiedener Dienstklassen. Eine genaue Beschreibung dieser Schicht erfolgt im Abschnitt 3.

1.3. Statistisches Multiplexen

Für die Dienstgüte in ATM-Systemen ist der statistische Charakter der ankommenden Zellen und das Prinzip des statistischen Multiplexens von entscheidender Bedeutung.

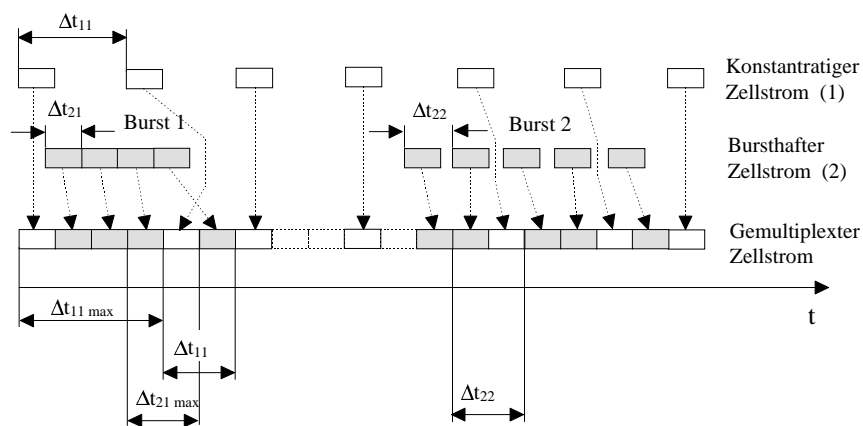


Abbildung 1.4: Multiplexen von zwei Zellströmen [IK 01/96]

Dabei spielt das Verhalten von Multiplexern beim zeitlichen Aufeinandertreffen von Zellen, die in den selben Strom eingeordnet werden müssen und die Art und Größe von Speichern für Zellen, die für das statistische Multiplexen selbst und wegen des statistischen Charakters der ankommenden Zellen notwendig sind, eine entscheidende Rolle.

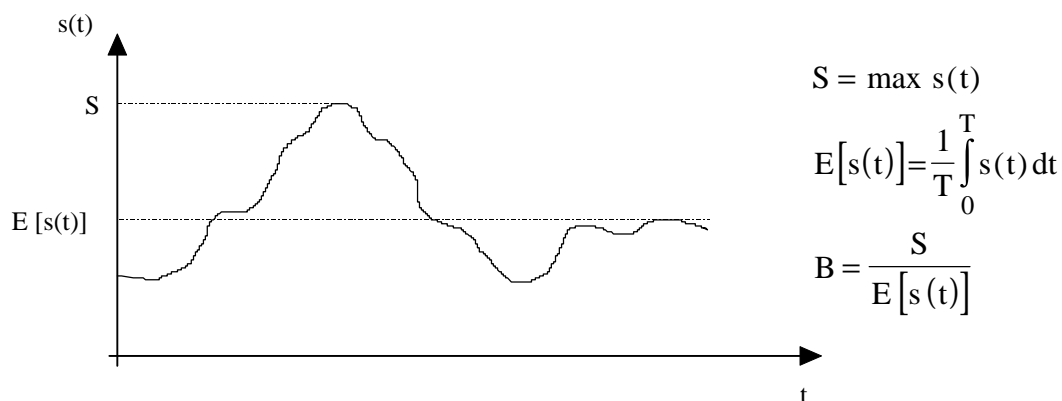


Abbildung 1.5: Burstiness [PRY 3/95]

Dienst	E [s (t)]	B
Sprache	32 kbit /s	2
Interaktive Daten	1 - 100 kbit /s	10
Massendaten	1 - 10 Mbit /s	1 - 10
Standardvideo	1.5 - 15 Mbit /s	2 - 3
High Definition TV	15 - 150 Mbit /s	1 - 2
Hochqualitative Videotelefone	0.2 - 2 Mbit /s	5

Tabelle 1.2: Breitbanddienste und ihre Merkmale [PRY 3/96]

Die Summe der Zellrate beider in Abbildung 1.4 dargestellten Ströme ist kleiner als die mögliche Zellrate des gemultiplexten Stromes, da Leerzellen zum Einsatz kommen.

Das Multiplexen führt prinzipiell dazu, daß das Verhältnis der Spitzenzellrate (PCR) zur mittleren Zellrate für beide Zellströme geändert wird. Dieses Verhältnis wird als Burstiness (Abbildung 1.5) bezeichnet.

Der in Abbildung 1.4 dargestellte konstante Zellstrom (1) wird durch das Multiplexen burstbehaftet, man spricht dabei von Cell-Clumping. Der ursprünglich schon burstbehaftete Zellstrom (2) wird ebenfalls beeinflusst, was sich z.B. in einer Verkürzung der Zellabstände in Burst 2 bzw. einer Zellabstandsvergrößerung in Burst 1 (Burstabschwächung) zeigt.

Generell gilt, daß für Zellströme, deren Burstiness unterhalb der mittleren Burstiness aller in einem Multiplexer gemultiplexten Zellströme liegt, Clumping eintritt, d.h. die Burstiness größer wird. Umgekehrt tritt für alle überdurchschnittlich burstbehafteten Ströme eine Verringerung der Burstiness beim Multiplexen ein. Die Auswirkung des Multiplexens auf einen bestimmten Zellstrom ist somit vom übrigen Verkehr abhängig.

Der Speicher in einem Multiplexer dient hauptsächlich der Auflösung von Konflikten, die beim gleichzeitigen Eintreffen von Zellen entstehen. So ist z.B. für den in Abbildung 1.4 dargestellten Fall ein Speicher von maximal 2 Zellen zur Konfliktlösung erforderlich.

Aber schon in einem praxisnahen Fall, in dem z.B. ein virtueller Pfad von 80 000 Zellen/s (ca. 34 Mbit/s) mit 64 kbit/s-Kanälen gefüllt werden soll (AAL 1: Payload 47 Byte), sind bei 170 Zellen/s für einen Kanal für die insgesamt so entstehenden 470 Kanäle, mindestens Speicherplatz für 470 Zellen, für die im ungünstigsten Fall gleichzeitig eintreffenden Zellen, erforderlich.

$$\begin{aligned}
 64 \text{ kbit/s} &\div 47 \cdot 8 \text{ bit} \approx 170 \text{ Zellen/s} \\
 80000 \text{ Zellen/s} &\div 170 \text{ Zellen/s} \approx 470 \text{ Speicherplätze}
 \end{aligned}$$

Neben dem Ausgleich des Aufeinandertreffens von Zellen werden Speicher zum Ausgleich von Bursts eingesetzt. D.h., werden Zellströme mit Burstcharakter vorausgesetzt und Puffer zum Ausgleich von Bursts eingesetzt, steigt die Anzahl der zu speichernden Zellen stark an.

Schwierigkeiten bereitet dabei die Dimensionierung der Pufferspeicher für Kollisions- und Burstaussgleich, da beide Effekte unterschiedliche Abhängigkeiten zwischen Puffergröße und Wahrscheinlichkeit ihres Erreichens besitzen. In Abbildung 1.6 ist ein durch Simulation ermittelter Zusammenhang zwischen Puffergröße und Auftrittswahrscheinlichkeit von fünf gemultiplexten Zellströmen aufgezeigt.

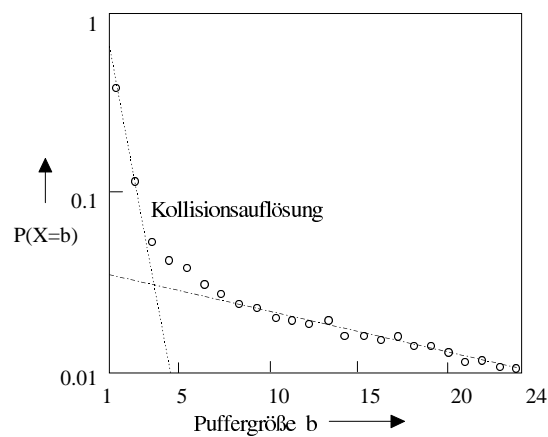


Abbildung 1.6: Wahrscheinlichkeit für Pufferfüllstände [IK 01/96]

Der linke Teil des Kurvenverlaufs wird durch den Kollisionsausgleich hervorgerufen und wird direkt von der Zahl der gemultiplexten Zellströme beeinflusst. Der rechte Teil wird durch den Ausgleich von Bursts bestimmt und ist somit von der Burstiness der gemultiplexten Zellströme abhängig.

Durch das Einfügen von Leerzellen in den Zellstrom kann der Effekt von Pufferspeichern zum Burstaussgleich teilweise erreicht werden, ist aber mit erhöhten Durchlaufzeiten der Zellen verbunden.

[IK 01/96; TEL 05/95; PRY 3/95]