Kapitel 2
Das Vermittlungsverfahren ATM

Generell kann bei Vermittlungsverfahren zwischen Leitungsvermittlung und Paketvermittlung differenziert werden. Bei der Leitungsvermittlung wird für die gesamte Übertragungsdauer eine dedizierte Leitung bereitgestellt, die ausschließlich den beiden Kommunikationspartnern zur Verfügung steht. Nachteil dieses Verfahrens ist die sehr hohe Ressourcenverschwendung aufgrund der Unflexibilität gegenüber sich ändernden Bitraten und die damit verbundene geringe Auslastung des Netzes. Das klassische Beispiel für die Leitungsvermittlung ist das Telefonnetz, in dem eine Leitung für zwei Gesprächspartner bereitgestellt wird, die bei Gesprächspausen aber nicht von anderen Kommunikationspartner genutzt werden kann. Im Gegensatz dazu wird bei der Paketvermittlung die Nutzinformation in Einheiten zerstückelt, zusätzlich mit Informationen über Routing, Fehlerkorrektur, Flußsteuerung usw. angereichert und dann von Knoten zu Knoten im Netz übertragen. Dieses Verfahren führt zur einer effizienteren Auslastung des Netzes, da die Informationseinheiten (Pakete) verschiedener Verbindungen auf dem gleichen Weg übertragen werden. Ein Beispiel hierfür ist X.25.

ATM ist ebenfalls zur Klasse der Paketvermittlungsverfahren zu zählen. Im folgenden Kapitel sollen einige Grundlagen von ATM aufgezeigt und auf dieser Basis Vergleiche zu anderen, traditionellen Technologien sowohl im LAN- als auch im WAN-Bereich gezogen werden. Damit soll ein gewisses Grundverständnis für ATM erreicht werden, ohne Anspruch auf eine vollständige Einführung zu erheben. Der Autor nimmt auch an, daß interessierte Leser bereits mit dem Asynchronous Transfer Mode in Berührung gekommen sind und aus diesem Grund bereits Wissen über ATM ansammeln konnten. Für eine genaue Analyse dieser Technologie gibt es mittlerweile schon genügend Literatur. [dePrycker93], [Händel94], [Kyas93] und [McDys94] seien hier an erster Stelle genannt.

2.1 Grundlagen

Der Asynchronous Transfer Mode, kurz ATM, stellt eine Übertragungs- und Vermittlungstechnologie dar, die im Jahre 1990 von der früheren CCITT[1] und jetzigen

[1]Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique

ITU[2] als Standard für die unteren drei Schichten des Broadband-ISDN[3]-Referenzmodells (siehe Abb. 2-3) verabschiedet wurde. Es wurde dabei versucht, Vorteile bestehender verbindungsorientierter und verbindungsloser Protokolle in einem Ansatz zu vereinen, um endlich eine Netztechnologie zu schaffen, mit der sich unterschiedlichste Dienste in einem einzigen Netz realisieren lassen.

In [CCITT90] wird ATM folgendermaßen definiert: "A transfer mode in which information is organized into cells; it is asynchronous in the sense that the recurrence of cells containing information from an individual user is not necessarily periodic." Der Begriff "Asynchronous" soll in diesem Zusammenhang also ausdrücken, daß zwischen den Taktgebern von Sender und Empfänger ein asynchroner Betrieb möglich ist. In den Datenstrom werden zu diesem Zweck leere[4] Zellen eingefügt bzw. entfernt, um die Differenz der Taktgeber auszugleichen.

Die ATM-Zelle

ATM ist ein paketorientiertes Verfahren. Für die Übertragung der Daten werden Pakete fester Länge verwendet. Die Länge dieser Pakete wurde mit 53 Bytes definiert, wobei 5 Bytes für den sogenannten Header und 48 Bytes für die Nutzdaten reserviert sind. Diese sehr kleinen Einheiten werden als ATM-Zellen bezeichnet. In Abbildung 2-1 ist der Header einer Zelle dargestellt:

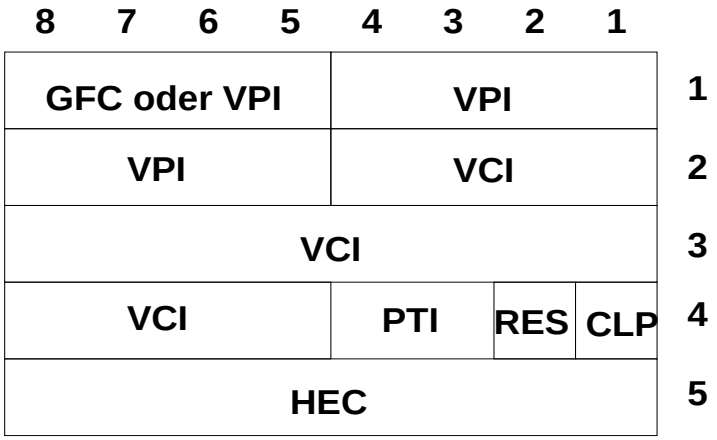

Abbildung 2-1: Der Header einer ATM-Zelle

Die einzelnen Felder besitzen folgende Bedeutung:

[2]International Telecommunications Union
[3]Integrated Services Digital Network
[4]ohne brauchbare Information

Das GFC-Feld (Generic Flow Control) wird zur Flußsteuerung an der Benutzerschnittstelle UNI[5] verwendet. Der VCI (Virtual Channel Identifier) und der VPI (Virtual Path Identifier) dienen der Identifikation eines Abschnittes einer bestimmten Verbindung und bilden somit die Adresse dieser Zelle. Der Payload Type Identifier (PTI) kennzeichnet eine Zelle als Datenzelle oder als OAM-Zelle. Diese Operation-, Administration- and Maintenance-Zellen sind verantwortlich für den Betrieb und die Wartung des ATM-Netzes. Ist das CLP-Bit (Cell Loss Priority) gesetzt, darf eine Zelle bevorzugt verworfen werden. Den Header schließt das HEC-Byte (Header Error Control) ab, ein 8-Bit-Code zur Fehlererkennung und -korrektur.

Ein weiteres Merkmal von ATM ist aus der Erklärung des Headers abzuleiten. Die Adressierung einer Zelle wird nur durch die Kombination aus VCI und VPI gewährleistet. Ansonsten hat der Header eine sehr eingeschränkte Funktion. Sequenznummern zur Fehlerprüfung und Flußsteuerung entfallen völlig. Dadurch können ATM-Zellen in den ATM-Knoten sehr schnell vermittelt werden, die zum jetzigen Zeitpunkt in ATM-Knoten erreichbare Verarbeitungsgeschwindigkeit der Header liegt im Bereich von 150 Mbps[6] bis 1,5 Gbps[7].

Das verbindungsorientierte Vermittlungsprinzip

ATM arbeitet verbindungsorientiert. Vor der Übertragung von Daten wird eine virtuelle Verbindung aufgebaut. Sind nicht genügend Ressourcen für die gewünschte Verbindung vorhanden, wird der Verbindungswunsch vom ATM-Netz abgelehnt, ansonsten kommt eine Verbindung zustande. Die gewünschten Ressourcen werden den Kommunikationspartnern für die gesamte Dauer der Übertragung bereitgestellt. Die verbindungsorientierte Funktionsweise garantiert somit, daß eine Verbindung exklusiv von zwei Partnern genutzt werden kann, ohne daß mit Störungen oder Beeinflussungen durch andere Verbindungen zu rechnen ist.

Prinzipiell sind in einem ATM-Netz 2 Arten von Verbindungen möglich: Virtuelle Pfadverbindungen (VPC) und Virtuelle Kanalverbindungen (VCC). Mehrere VCCs können dabei über eine VPC übertragen werden. Die dafür zuständigen Identifikatoren sind der VCI und der VPI. Der VCI hat nur lokale Bedeutung zwischen zwei ATM-Knoten. Diese Knoten[8] verfügen intern über eine Umsetzungstabelle, in der ein lokaler VCI-Wert durch einen anderen Wert ersetzt wird, der dann wiederum nur auf dem nächsten ATM-Link von Bedeutung ist. Nach Beendigung der Verbindung werden diese Links für andere Verbindungen freigegeben. Dieses Verbindungsprinzip gestattet somit die Übertragung unterschiedlicher Daten einer Leitung, wie z.B. Video- und Tondaten, über getrennte Kanäle, aber über einen Pfad. In Abbildung 2-2 ist noch einmal das auf VPI und VCI basierende Vermittlungsprinzip dargestellt. Eine von A ankommende Verbindung mit dem VPI 7 und den VCIs 1,2 und 3 wird nach der im ATM Node 1 bestehenden Umsetzungstabelle über den neuen VPI 5 zum

---

[5]User Network Interface: Schnittstelle zwischen dem Endbenutzer und dem ATM-Netz, siehe auch [Marks94]
[6]Mega-Bit pro Sekunde. Ein Mega-Bit entspricht 1 Million Bits.
[7]Giga-Bit pro Sekunde. Ein Giga-Bit entspricht 1000 Mega-Bits
[8]Bezeichnet werden diese Knoten als Switches.

ATM Node 2 weitervermittelt. An dieser Vermittlungsstelle wird der Ver-bindung in der internen Umsetzungstabelle der neue VPI 7 und wiederum die VCIs 1, 2 und 3 zugewiesen. Damit ist die von A kommende Verbindung zum Ziel B über ein ATM-Netz mit drei Knoten vermittelt worden.

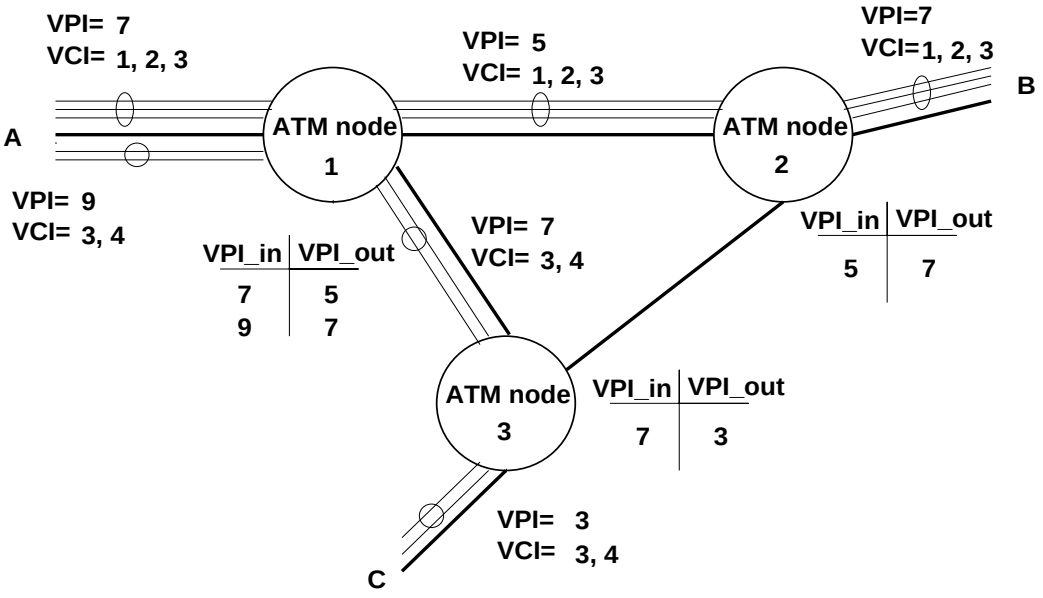

Abbildung 2-2: Das Vermittlungsprinzip in einem ATM-Netz

Der Traffic Contract

Wie bereits erwähnt, findet vor der Übertragung von Daten ein Verbindungsaufbau statt, die während des Datenaustausches den beiden Kommunikationspartnern alleine zur Verfügung steht. Vor dem Verbindungsaufbau stellt der potientielle Netzbenutzer bestimmte Forderungen an die Qualität der von ihm gewünschten Verbindung. Diese Forderungen umfassen sowohl Verkehrsparameter wie Spitzenzellrate, mittlere Zellrate und maximale Länge eines Bursts[9] als auch den sogenannten Quality of Service (QoS). Dieser QoS definiert einen Satz von Leistungsparametern für eine virtuelle Verbindung. Zu diesen Parametern zählen beispielsweise die Zellübertragungsverzögerung und die Zellverlustrate.

Das Netz überprüft daraufhin durch einen vorgegebenen Algorithmus, ob diese Forderungen eingehalten und für die gesamte Dauer der Verbindung garantiert werden können oder ob andere bereits bestehende Verbindungen möglicherweise beeinträchtigt werden könnten. Bei erfolgreicher Überprüfung wird zwischen dem ATM-Netz und dem Netzbenutzer ein Traffic Contract abgeschlossen, in dem die verein-

[9]Senden mit der Spitzenzellrate

barten Parameter festgelegt sind, und die gewünschte Verbindung aufgebaut. Der Algorithmus, der die Entscheidung über das Zustandekommen der gewünschten Verbindung trifft, heißt Connection Admission Control (CAC). Er besitzt Zugriff auf alle Informationen des Traffic Contracts.

Von Bedeutung sind für diesen Algorithmus folgende Werte:

- **Source Traffic Descriptors**
  Zum Source Traffic Descriptor zählen nach Definition des ATM-Forums Spitzenzellrate (PCR), die mittlere Zellrate (SCR) und die Burst Tolerance.

- **Quality of Service**
  Parameter des QoS sind: Zellverlustrate, Zellfehlerrate, durchschnittliche Zellverzögerung, Zellverzögerungsschwankung

- **Cell Delay Variation Tolerance (CDV)**
  Darunter ist ein oberer Grenzwert für die Zeitschwankungen zu verstehen, die bei bei der Verzögerung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zellen auftreten.

- **Conformance Definition**
  Zwei Aspekte sind hier zu betrachten: Zum einen wird festgelegt, ob unterschiedliche Parameter für CLP=0 und CLP=1 definiert sind. Zum anderen wird geprüft, ob nur die Spitzenzellrate oder ob auch die mittlere Zellrate und die Burst Tolerance angefordert wurden.

Dem Netz obliegt jetzt die Aufgabe, zum einen die im Traffic Contract ausgehandelte Güte der Verbindung für die gesamte Dauer zu garantieren und zum anderen durch ständige Kontrolle der Zellrate des Senders auf mögliche Verstöße gegen diese Vereinbarung entsprechend zu reagieren. Es muß sichergestellt werden, daß durch eine Vertragsverletzung eines Netzbenutzers keine anderen Verbindungen in Mitleidenschaft gezogen werden. Zu diesem Zweck wird jede Verbindung durch einen Kontrollmechanismus, einen sogenannten Usage Parameter Control (UPC) überwacht, der bei Vertragsverletzungen Zellen verwirft. Ein Beispiel für einen solchen UPC stellt der Leaky Bucket dar, den man sich bildlich als einen Eimer mit Loch vorstellen kann. Dieser Eimer erniedrigt seinen Wasserstand durch das Loch soweit, daß er nie überlaufen kann, wenn die vereinbarte Menge Wasser in ihn hineinfließt. Fließt allerdings mehr Wasser hinein, kann der Eimer nicht mehr alles aufnehmen und das Wasser läuft oben aus dem Eimer heraus. Für tiefergehende Ausführungen zum Thema Verkehrskontrakt und Verkehrsüberwachung verweist der Autor auf [Eichinger95].

2.2 Das B-ISDN-Referenzmodell

Das ATM B-ISDN-Referenzmodell verwendet auf Schichtenebene die gleiche logische Hierarchiestruktur wie das OSI[10]-Modell, allerdings werden nur die unteren drei Schichten erklärt.

Grundsätzlich sind, wie auch in [Peschi93] ausgeführt ist und anders als im OSI-Modell, drei Ebenen definiert worden: Die Management-Ebene umfaßt die

[10]Open Systems Interconnection

Funktionsgruppen Ebenen-Management und Schichten-Management. Alle Management-Funktionen, die das gesamte System betreffen, sind im Bereich des Ebenen-Managements anzusiedeln. Zum Schichten-Management gehören dabei die OAM-Funktionen.

Die Benutzer-Ebene beinhaltet anwendungsbezogene Funktionen wie beispielsweise die Flußkontrolle. Die Kontroll-Ebene schließlich ist für den Verbindungsaufbau, Verbindungsabbau und die Überwachung einer Verbindung zuständig. Wie in der Abbildung 2-3 zu erkennen ist, werden neben den Ebenen vier Schichten spezifiziert: Die Physikalische Schicht, die ATM Schicht, die ATM Anpassungsschicht und höhere Schichten.

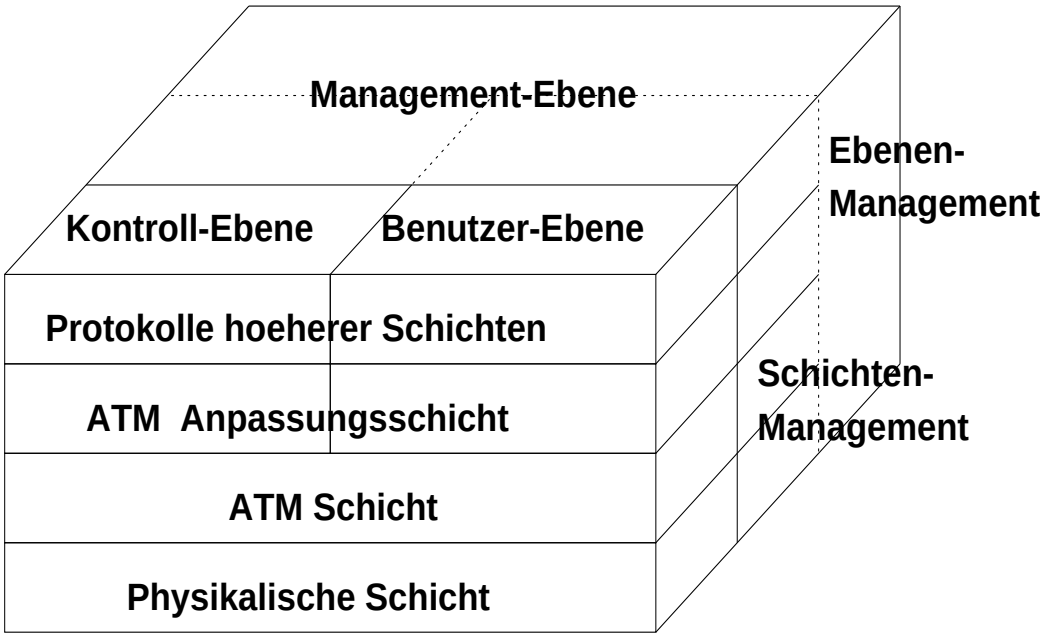

Abbildung 2-3: Das B-ISDN-Schichtenmodell

Die Aufgaben der drei unteren Schichten sollen im folgendem näher beschrieben werden. Der Autor verwendet hierzu die englische Bezeichnung für jede dieser 3 Schichten: Physical Layer bezeichnet die Physikalische Schicht oder Bitübertragungsschicht, ATM Layer die ATM-Schicht und ATM Adaptation Layer die ATM-Anpassungsschicht.

Der Physical Layer

Der Physical Layer entspricht ungefähr der Schicht 1 des OSI-Modells, wobei diese Beziehungen von der ITU nicht entgültig festgelegt wurden. Dennoch kommt dieser

Layer der Funktionalität der Bitübertragungsschicht sehr nahe. Der Physical Layer läßt sich in zwei Unterschichten dividieren: Zum einen in den Physical Medium Dependent Sublayer (PMD) und zum anderen in den Transmission Convergence Sublayer (TC). Der PMD ist, wie bereits aus der Bezeichnung ersichtlich, abhängig vom jeweiligen Übertragungsmedium. Als Aufgaben müssen von ihm sowohl die korrekte Übertragung und der Empfang der Bits als auch die Wiederherstellung des Bit-Timings auf der Empfängerseite bewältigt werden. Der Aufgabenbereich des TCs ist breiter gefächert. Er erhält von der PMD bereits einen korrekten Bitstrom und paßt diesen wieder an das verwendete Übertragungssystem an. Mögliche Übertragungsrahmen basieren hier z.B. auf SDH (Synchronous Digital Hierarchy), PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) oder direkter Zellübertragung. Außerdem bewerkstelligt diese Unterschicht die Generierung des HEC einer Zelle auf Senderseite und die Überprüfung dieser Fehlersicherung beim Empfänger. Eine Zellraten-Entkopplung, d.h. eine Anpassung der Nutzrate an die Nutzleistung des Übertragungssystems durch Einfügen oder Entfernen von leeren Zellen, sowie ein Austausch von OAM-Daten mit der Verwaltungsschicht runden die Funktionalität der TC ab. Diese Dienste wer-den der nächsthöheren Schicht, nämlich dem ATM Layer, bereitgestellt.

Der ATM Layer

Dieser Layer besitzt die Eigenschaft, vom physischen Medium und damit auch vom Physical Layer unabhängig zu sein. Die Aufgaben des ATM Layer sind wie folgt spezifiziert: Zellen verschiedener Verbindungen müssen anhand ihrer VC/VP-Identifikatoren in einen Strom gemultiplext und aus diesem Strom wieder gedemultiplext werden. Wird eine Zelle von einer physischen Verbindung zu einer anderen vermittelt, muß vom ATM Layer die Umsetzung der Verbindungsidentifikatoren geleistet werden. Außerdem ist der ATM Layer noch dafür verantwortlich, daß der Header einer Zelle vor der Übergabe an die nächsthöhere Instanz, dem ATM Adaptation Layer, entfernt bzw. bei der Übernahme von diesem Layer hinzugefügt wird.

Der ATM Adaptation Layer

Der ATM Adaptation Layer übernimmt die Dienste des ATM Layers und fügt seine Dienste an; und zwar so, wie es von der darüberliegenden Schicht gefordert ist. Dazu wurde eine Unterteilung dieses Layers vorgenommen. Die beiden Unterschichten heißen Convergence Sublayer (CS) und Segmentation And Reassembly Sublayer (SAR).

Der CS kann noch einmal in Service Specific (SS) und Common Part (CP) Konvergenz aufgeteilt werden, wobei SS eine dienstspezifische Komponente darstellt, die nur für bestimmte Anwendungen eingesetzt wird. Ansonsten besitzt dieser CS die Aufgabe, bestimmte Meldungen zu identifizieren oder den Takt aufzufrischen. Der SAR hingegen wandelt Daten von höheren Schichten in einen Strom von ATM-Zellen um (= Segmentierungsfähigkeit) oder baut im umgekehrten Fall aus dem ATM-Zellstrom wieder einen für die höhere Schicht verwertbaren Datenstrom zusammen (= Reassemblierungsfähigkeit).

Bis jetzt sind für die Anwender dieser ATM Adaptation Layer vier Dienste festgelegt worden, die durch insgesamt drei Hauptparameter klassifiziert werden. Dabei handelt es sich um die zeitliche Beziehung zwischen Ursprung und Ziel, um die Art der Bitrate und um den Verbindungsmodus des Dienstes. In der nachfolgenden Abbil-dung sind die vier Dienstklassen aufgeführt. Eine tiefergehende Betrachtung findet sich z.B. in [Ruiu93].

Service-Klasse / Parameter	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
Zielrelation zwischen Quelle und Senke	erforderlich		nicht erforderlich	
Bitrate	konstant	variabel		
Verbindungsart	verbindungsorientiert			verbin-dungslos
AAL-Typ	AAL 1	AAL 2	AAL 3	AAL 4
			AAL 5	
Beispiel	unredu-ziertes Audio/ Video	reduziertes Audio/ Video	X.25	IP
			X.25, IP	

Abbildung 2-4: Die AAL-Dienstklassen

2.3 Vergleich mit anderen Netztechnologien

Nachdem nun einige Grundprinzipien des Asynchronous Transfer Modes erläutert wurden, soll in diesem Abschnitt ein Vergleich zu anderen Netztechnologien gezogen werden. Ziel dieses Vergleichs ist es, die Vorteile von ATM, die es zweifelsohne z.B. gegenüber dem klassischen 10 Mbps-Ethernet, X.25 oder FDDI (siehe auch [Arnold94]) besitzt, aufzuzeigen und damit die zukunftsweisende Bedeutung dieser Technologie im Kommunikationssektor zu motivieren.

ATM beruht auf der Vermittlung von sehr kleinen Einheiten fester Länge. Durch die Übertragung dieser als ATM-Zellen bezeichneten Einheiten ergeben sich sowohl im Hinblick auf ihre reduzierte Headerfunktionalität als auch auf ihre feste, unveränderbare Größe einige Vorteile. Bei dem ebenfalls paketorientierten X.25, einem Schicht-3-Protokoll, variiert die Paketlänge, was die Anforderungen an die Pufferverwaltung im Netz erheblich erhöht und zu langsameren Verarbeitungsgeschwindigkeiten (nor-

malerweise 64 kbps[11]) durch sehr komplexe Protokolle führt. Bei ATM hingegen kann mit sehr viel höheren Geschwindigkeiten gearbeitet werden, da die Größe der Puffer im Netz reduziert und damit die Verzögerungszeiten niedriger gehalten werden können. Dieser Aspekt führt zusammen mit der intern sehr schnellen Verarbeitung der in ihrer Funktionalität eingeschränkten Header zu den bisher nur von ATM erzielten Übertragungsraten von 155 Mbit/s über 622 Mbit/s bis hin in den Gbps-Bereich.

Allerdings muß angemerkt werden, daß mit einem größeren Nutzinformationsfeld als mit den gewählten 48 Bytes natürlich Daten noch schneller übertragen werden könnten. Diese 48 Bytes stellten einen Kompromiß zwischen der Übertragung von Daten und der Übertragung von Sprache, für die sehr kleine Einheiten von Vorteil sind, dar.

Diese hohen Datenraten werden auch noch von der Tatsache unterstützt, daß im ATM-Netz keine Flußsteuerung oder Fehlerkontrolle durchgeführt wird und damit der Overhead in einem vernachlässigbaren Rahmen anzusiedeln ist. Diese beiden Funktionen sind in den End-to-End-Bereich ausgelagert. In X.25 dagegen ergeben sich durch Fehlererkennungsmechanismen wie z.B. Sequenznummernalgorithmen und Frame Checking Sequences bis zu einem Drittel an Overhead, was aber bei den teilweise schlechten Verbindungen notwendig war, um noch verwertbare Übertragungen zu erhalten. Durch bessere Übertragungsmedien wie Lichtwellenleitern wurden auch bestehende Nachteile einer anfälligen Kupferverkabelung behoben, wobei hier natürlich der Kostenfaktor nicht unberücksichtigt gelassen werden darf.

Einer der größten Vorteile von ATM-Netzen gegenüber den traditionellen Technologien besteht in der Fähigkeit, Bandbreiten skalieren zu können. Den Applikationen werden genau die Bandbreiten zugewiesen, die auch gerade benötigt werden. Durch die Festsetzung der Leistungsparameter im Verkehrskontrakt ist gesichert, daß nicht unnötig Ressourcen vergeudet werden. Nur wenn für eine Verbindung die Spitzenzellrate allokiert ist, wird unnötig Bandbreite verschenkt. Einem nachträglichen Wunsch nach mehr Bandbreite kann, falls die erforderlichen Netzressourcen vorrätig sind, problemlos entsprochen werden. Nichtskalierbare Netze verschwenden durch die starre Einrichtung von Übertragungswegen Ressourcen, die oft nur zu einem geringen Anteil von den Kommunikationspartnern ausgenutzt werden.

Außerdem läßt die Netztechnologie ATM das Problem des Shared Mediums der Vergangenheit angehören. Während sich die Nutzer in einem herkömmlichen Netz wie im klassischen Ethernet die Bandbreite von 10 Mbps teilen müssen, kann in ATM jeder Endbenutzer die volle Datenrate ohne Einschränkung nutzen. Auch so kritische Applikationen wie die Übertragung von Videosequenzen oder anderer isochroner Verkehr, die die Bandbreite geradezu verschlingen, lassen sich somit über das Universalnetz ATM übertragen. Damit z.B eine Videokonferenz oder Sprache effektiv über das Netz laufen kann, dürfen keine spürbaren Verzögerungen erkennbar sein. Schon eine kleine Verzögerung erzeugt ein Rucken im Bildablauf oder ein Knacken im Audio-Datenstrom. Ein ATM-Netz besitzt in seinen Komponenten, seien es

[11]Kilo-Bit pro Sekunde. Ein Kilo-Bit entspricht 1000 Bits.

Kommunikationsprotokolle oder Vermittlungseinrichtungen, die Fähigkeit, Daten zeittransparent mit einem tolerierbaren Delay zu übertragen.