

# Kapitel 3

---

## Netzwerkprotokolle



3.1	ATM oder IP – eine religiöse Frage!	62
3.2	Das Internet-Protokoll (IP)	66
3.3	ATM – Asynchroner Transfer Mode	71

In den letzten Jahrzehnten haben Unternehmen und Standardisierungsbehörden immer neue Wege und Produkte gefunden, um bestehende Bandbreiten optimal zu nutzen beziehungsweise zu erhöhen. Es wurden Glasfaserstrecken installiert, schnellere Netzwerkkarten und Modems hielten Einzug in die Unternehmen, Datenkomprimierungsverfahren fanden Anwendung und schließlich wurde der Anwender mit neuen Protokollen im Bereich Multiplex, Routing und Switching konfrontiert. Im folgenden Kapitel sollen diese neuen Protokolle einmal näher beleuchtet werden, da diese Ihnen später im Rahmen von ADSL mit Sicherheit wieder begegnen werden.

Der breitbandige Zugriff auf Netzwerkressourcen, egal ob online oder innerhalb eines Netzwerkes, hat verschiedene technologische Ansätze im Bereich Netzwerkprotokolle hervorgebracht. Einige dieser Protokolle sind Klassiker, die schon seit vielen Jahren existieren, andere wiederum sind neu. Wie das so oft im Bereich der EDV ist, handelt es sich unglücklicherweise bei allen Protokollen um perfekte Lösungen. Der Anwender muss sich auch hier mit den Vor- und Nachteilen der verschiedenen Lösungsansätze herumschlagen.

### 3.1 ATM oder IP – eine religiöse Frage!

Prinzipiell kämpfen zwei Bewerber um die Gunst der Anwender – das Internet Protocol (IP) und der Asynchronous Transfer Mode (ATM). In der Kampfarena stehen sich IP – im Schulterschluss mit Ethernet und seinen Millionen weltweit installierter Netzwerkknoten – und ATM gegenüber. Doch was steckt eigentlich hinter ATM?

ATM wird immer mehr als die Basistechnologie für die nächste Generation von globalen Kommunikationsnetzen betrachtet, da ATM große Applikationsfelder wie z.B. Multimedia-Applikationen, interaktives Fernsehen, Bildfernsprechen, Videomail abdeckt und vor allem unterschiedliche Übertragungsgeschwindigkeiten und Netzausdehnungen realisieren kann. Diese Möglichkeiten bietet ATM aufgrund zweier hervorragender Eigenschaften: Zeittransparenz und Skalierbarkeit. ATM wurde zunächst als Switching-Technologie für Weitverkehrsnetze (WAN), u.a. B-ISDN, entwickelt und hat seinen Anwendungsbereich seit 1991 auch auf die lokalen Netze (LAN) ausgedehnt.

Die Grundidee von ATM ist, Informationen über unterschiedliche Entfernungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und geringen kalkulierbaren Verzögerungen zu transportieren. 1988 war die erste Empfehlung verfügbar. 1990 waren bereits dreizehn Normen fertiggestellt. Basierend auf diesen Normen konnten die Hardware-Designer die Entwicklung der notwendigen Switching-Systeme realisieren. Die Normierung von ATM wird getragen von der ITU-TS (früher CCITT), Subgroup (SG) XIII und durch die ANSI-Arbeitsgruppe T1. Neben diesen beiden Gremien hat sich das ATM-Forum zur Aufgabe gemacht, die Einführung von ATM durch Interoperabilitäts-Spezifikationen zu beschleunigen.

Durch diese Arbeit werden die ISO mit FDDI-PMD oder Internet Engineering Taskforce (IETF) mit RFCs für das (Interim Local Management Interface) ILMI in den Normierungsprozess einbezogen. Die dramatische Zunahme an Leistungsfähigkeit moderner EDV-Systeme hat zur Folge, dass Computer-Netzwerke mit Übertragungsgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 10 Mbit/s, also Ethernet und Token Ring, für viele Anwendungen, z.B. bei interaktiven Grafik- oder Multimedia-Anwendungen, nicht mehr ausreichend sind, andererseits keine echtzeitkritischen Anwendungen unterstützen. ATM ist ein weltweit anerkannter Standard, der sich gleichermaßen für die Datenübertragung in Weitverkehrsnetzen als auch in LANs eignet. ATM benutzt zum Datentransport Datenpakete fester Längen, so genannte Zellen. Die ATM-Zellen lassen sich wesentlich effizienter und schneller als Datenpakete mit variablen Längen in Vermittlungseinheiten verarbeiten. Das Zellenkonzept ermöglicht massiv parallele Architekturen von Zellen-Vermittlungseinheiten, den sog. ATM-Schalteinheiten, und die Realisierung von Netzwerken mit Übertragungsgeschwindigkeiten im Gigabitbereich. ATM ist als eine der wenigen Technologien für Hochgeschwindigkeitsnetze in der Lage, Datenströme unterschiedlicher Bitraten flexibel zu übertragen und zu vermitteln.

Ein Datenstrom, der über das ATM-Netz gehen soll, wird zunächst unabhängig von seiner Bitrate in relativ kleine Datenpakete gleicher Länge gepackt, die so genannten ATM-Zellen. Die ATM-Zellen können asynchron freie Zeitschlitze (Slots) belegen und sind den Übertragungskanälen nicht z.B. aufgrund der Position in einem festen Datenübertragungsrahmen zugeordnet. ATM ist eine vereinfachte schnelle Datenpaketvermittlung. Die einfachen Protokolle machen keine Fehlerkorrektur. Mithilfe dieser Hochgeschwindigkeitsnetzwerke wird es möglich, die großen Datenmengen, die von modernen Anwendungen erzeugt werden, kostengünstig und in Echtzeit zu übertragen (Videomail, interaktives Fernsehen, Virtual Reality, Simulation physikalischer und chemischer Vorgänge usw.). ATM eröffnet aufgrund seiner Architektur die Möglichkeit, ATM-Übertragungsgeschwindigkeiten bis an die physikalischen Grenzen zu realisieren. Im Fall der Übertragung über Lichtwellenleiter steht dabei die enorme Übertragungsbandbreite von etwa 30 THz ( $10^{12}$  Hz) zur Verfügung. In Forschungslabors wurden schon ATM-Schalteinheiten mit Verarbeitungsgeschwindigkeiten bis zu 1 TBit/s realisiert. Mit ATM könnte also bereits der ultimative Transportmechanismus der Datenkommunikation gefunden worden sein. ATM ist eine Datenübertragungstechnik, die zur Familie der zellenvermittelnden Systeme (Cell-Relay) gehört. Im Gegensatz zu paketvermittelnden Systemen wie X.25, in denen Datenpakete variabler Länge über eine Leitungsschnittstelle gemultiplext werden, ist die Länge der Cell-Relay-Datenpakete fest – es sind eben Zellen. ATM repräsentiert nun eine bestimmte Implementation von Cell-Relay, und zwar diejenige, die für die Spezifikation des B-ISDN-Standards ausgewählt wurde. ATM ist also ein Teil der ITU-Spezifikation für B-ISDN. Dies erkennt man auch am ATM-Schichtenmodell, das von ITU formuliert wurde und die genauen Spezifikationen der Funk-

tionen und Schnittstellen beinhaltet. Obwohl es weitestgehend an das OSI-Referenzmodell angelehnt ist, ist es längst nicht so linear aufgebaut wie dieses. Als Übertragungsmedien beschreibt der ISO-Draft DIS 11801 Strategien für die ATM-Verkabelung.

### 3.1.1 Der Einfluss der Telefon-Companys

IP und seine Familie von Paketprotokollen weiteten ihren Verwendungsradius in den letzten Jahren immer mehr aus. Selbst Videokonferenzen und ähnliche Dienste sind mittlerweile auf Basis von IP möglich und erstrecken sich vor allem zunehmend in den Bereich der breitbandigen Zugriffe aus der heimischen Umgebung heraus (Residential Broadband). Telekommunikationsunternehmen (Telcos) haben mehrere hundert Millionen Haushalte weltweit vernetzt und verdienen sich damit eine »goldene« Nase – sie wollen jedoch vermehrt ATM implementieren. Der Grund dafür klingt einleuchtend: Telcos und viele andere Unternehmen haben in den letzten Jahren verstärkt an der Entwicklung von ATM gearbeitet und Unmengen von Geld in brauchbare Lösungen gesteckt. Sie sehen in ATM die einzige vernünftige Lösung, um Mehrwertdienste wie Sprache, Telefonie oder Video-on-Demand netzwerkweit zu installieren.

Im Moment sieht es jedoch so aus, als würde IP ATM den Rang ablaufen. Es bietet dieselben Möglichkeiten wie ATM, nur besser und preiswerter. Die Vorteile beispielsweise von Ethernet-Switching, Fast Ethernet oder Gigabit Ethernet haben ATM in vielen Bereichen bereits vom Markt verschwinden lassen. ATM existiert derzeit vor allem im Backbone-Bereich und in Multiplexumgebungen für Sprach-, IP- und anderen Datenverkehr über lange Kommunikationsstrecken, wo ATM seine Stärken im Bereich der sehr kurzen Verzögerungszeiten gegenüber Frame-Relay ausspielt. Des Weiteren findet ATM zunehmend in unternehmensweiten LAN-Umgebungen seinen Platz, um Geschwindigkeiten jenseits der 100-MBit/s-Grenze zu etablieren. Dabei geht es vor allem darum, langsamen Routern »auf die Sprünge« zu helfen.

Im Bereich ADSL »mutierte« ATM zum Multiplexing-Protokoll, um »Private Virtual Connections« zu etablieren, die wiederum zum Verbinden diverser IP-Services dienen.

ATM und IP sind prinzipiell nicht zueinander inkompatibel, sondern ergänzen sich, indem sich beide unterstützen. IP arbeitet auf der Layer-3-Ebene des OSI-Schichtenmodells, ATM agiert hingegen auf Basis der Schicht 2. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass ATM ursprünglich gedacht war, um End-zu-End-Netzwerke auf Basis von ATM zu implementieren. Aus diesem Grund war keine Layer-3-Protokoll-Unterstützung notwendig.

**Hinweis***Vermittlungstechnik (switching technology)*

*Unter Vermittlung versteht man ganz allgemein die Art und Weise, mit der ein Übertragungspfad zwischen Sender und Empfänger in einem Kommunikationssystem vermittelt wird. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen der Leitungsvermittlung (Circuit Switching) und der Speichervermittlung, dem Store-and-Forward-Verfahren. Im Falle der Leitungsvermittlung wird zwischen Sender und Empfänger eine physikalische Verbindung, über eine oder mehrere Vermittlungseinheiten, für die Dauer der Übertragung aufgebaut. Diese Vermittlungstechnik eignet sich für Echtzeitübertragungen aller Art: für Sprachübertragungen ebenso wie für Videoübertragung. Bei der Speichervermittlung wird die Nachricht in den Vermittlungsstellen zwischengespeichert, bis der Weitertransport möglich ist. Man unterscheidet bei dieser Technik zwischen Datenpaketvermittlung und Nachrichtenvermittlung. Bei der Datenpaketvermittlung wird die zu übertragende Information in Datenpakete umgewandelt und über das Datenpaketnetz übertragen. Die Datenpakete werden nacheinander mit Kanalnummer und Vermittlungsinfo in den Knoten zwischengespeichert und weitergeleitet. Diese Vermittlungstechnik eignet sich besonders für die Übertragung von zeitunkritischen Daten, wie sie beispielsweise beim Dateitransfer oder bei E-Mail-Anwendungen auftreten. Bei der Nachrichtenvermittlung wird die Nachricht als Ganzes zusammen mit der Zieladresse vom Teilnehmer an die nächste Vermittlungsstelle übertragen, von dort aus zur nächsten Vermittlungsstelle oder zum empfangenden Teilnehmer. Der Hauptunterschied zwischen beiden Vermittlungstechniken besteht darin, dass bei der Leitungsvermittlung einer Verbindung eine bestimmte Bandbreite fest zugeordnet ist, während bei der Paketvermittlung diese bedarfsorientiert angefordert wird.*

Bevor wir uns den beiden Protokollen zuwenden, sind wiederum einige Begrifflichkeiten zu klären – »Circuit Types« und »Quality of Services«. Das derzeitige Sprachnetzwerk der Telcos unterstützt zwei Typen konstanter Bitraten-Services, das digitale – »Switched-Circuit ISDN« (mit Geschwindigkeiten von 64 Kbit/s bis hin zu 1,5 Mbit/s) – sowie private oder gemietete Kommunikationsstrecken, angefangen bei 56 Kbit/s bis hin zu 620 Mbit/s. Analoge Dienste existieren in der paket- oder zellenbasierten Übertragung, Circuits hingegen (geschaltete Verbindungen) versprechen einen kontinuierlichen Fluss von Datenpaketen über das Medium, das ebenfalls auch andere Datenpakete nutzen. Um »richtige« geschaltete Verbindungen von paket- oder zellenbasierten Verbindungen zu unterscheiden, benutzt ATM den Terminus »Connections« (Verbindung). Jeder auf Basis einer ATM-Verbindung etablierte Datenfluss erstellt eine so genannte virtuelle Verbindung, die auch oft mit »VC« abgekürzt wird. Virtuelle Verbindungen können switched (SVC) oder permanent (PVC) sein. Eine geschaltete virtuelle Verbindung wird aufgebaut und beendet mithilfe eines Anwenderprotokolls sowie einem damit verbundenen Signalprotokoll.

Leitungsvermittelte Netzwerke (Circuit Networks) mit deterministischen End-to-End-Kanälen leiden häufig unter Fehlern und gelegentlichen Ausfällen. Laufen derartige Netzwerke jedoch erst einmal störungsfrei, bescheren sie dem Anwender Kanäle mit einer garantierten Bandbreite, die sich auch während des Datenverkehrs nicht verändert, sowie mit praktisch nicht mehr vorhandenen Verzögerungszeiten.

Netzwerke normaler Natur agieren da etwas schwerfälliger. Der paketbasierte Datenverkehr über virtuelle Verbindungen verursacht sehr oft lange Verzögerungszeiten bei der Verarbeitung innerhalb des Netzwerkknotens. Aus diesem Grund sind moderne Mehrwertdienste (Videokonferenz oder Video-Mail) nur sehr selten auf einer derartigen Basis zu implementieren. Große Netzwerke mit den dazugehörigen Protokollen zu installieren und dabei auch noch einen qualitativ hochwertigen Datentransport (Real-Time) zu ermöglichen, ist immer noch ein sehr großes Problem.

Es wäre unökonomisch, ein Netzwerk leistungsmäßig so aufzublähen, dass alle Nutzer jederzeit die gleiche Güte (Geschwindigkeit, Verfügbarkeit etc.) von Diensten und Services in einem Netzwerk zur Verfügung hätten. Aus diesem Grund werden zukünftige Netzwerke verschiedene Güteklassen von Netzwerkdiensten bereitstellen, abhängig von Tarifstrukturen, Art der Netzwerkteilnehmer usw. Derartige Klassen werden in einer so genannten »Quality of Service« (QoS) zusammengefasst werden.

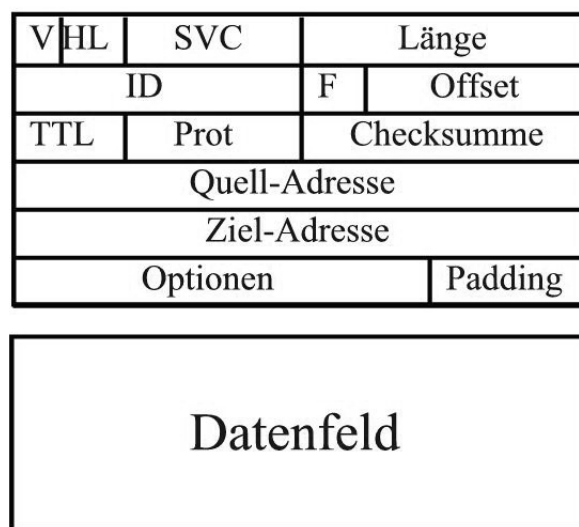
## 3.2 Das Internet-Protokoll (IP)

IP ist das Kommunikationsprotokoll schlechthin. Besonders in den letzten Jahren, mit dem gewaltigen Wachstum des Internets, hat dieses Protokoll eine Renaissance durchgemacht und wurde sogar weiterentwickelt. Die ARPANET-Entwickler konnten wohl kaum ahnen, was sie ins Leben riefen, als sie ein Netzwerk entwickelten, das Datenpakete unterschiedlicher Länge benutzte und jedes Paket mit einer Quell- und Zieladresse versehen, so dass diese eigenständig ihr Ziel finden sollten. Ein derartiges Netzwerk mit verteilungsentelligenten Komponenten war und ist sehr robust und gegenüber zerstörerischen Anschlägen oder Naturkatastrophen sehr resistent. IP ist verbindungslos. Dies heißt, dass ein Sender ein Paket auf die Reise ins Netzwerk schicken kann, ohne dass mit dem Empfänger irgendetwas ausgehandelt werden muss, um beispielsweise einen Übertragungspfad für die Übertragung zu etablieren. Man kann dieses Prinzip mit der Post vergleichen. Man schreibt einfach die Empfängeradresse und schon kann ein derartiger Brief oder Postkarte auf die Reise zum Empfänger geschickt werden. Der Brief an sich enthält keinerlei Informationen über die Strecke, die durchlaufen werden muss (Flugzeug, Auto, Bahn oder Schiff).

### 3.2.1 IPv4 und IPv6

Ein IP-Paket besteht prinzipiell aus zwei Komponenten: einem Informations-Frame sowie einem Set aus unabhängigen Netzwerk-Routing-Prozeduren. Das Framing-Format der aktuellen Version – Version 4 – besteht aus einem so genannten Datagramm mit einem Header, gefolgt von einem transparenten Informationsfeld.

## IPv4



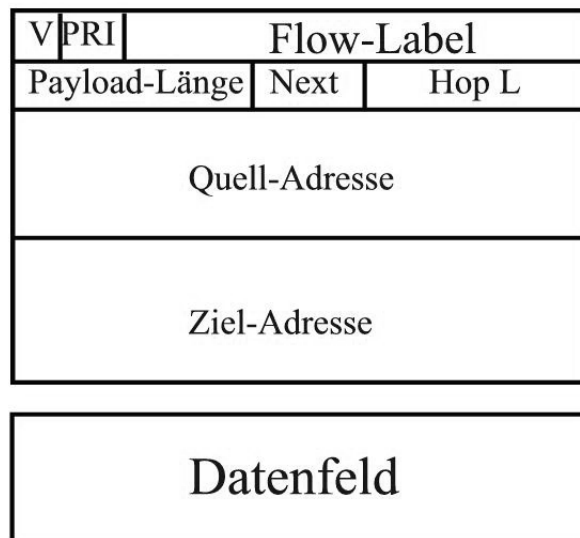
**Abb. 3.1:** Aufbau eines IPv4-Datenpaketes.

Der Header enthält ein Minimum von mindestens 20 Byte, die sich hauptsächlich um Parameter wie etwa Paketlänge, Checksummen oder Versionsnummern kümmern. Das »Time-To-Live«-Feld (TTL) verhindert, dass ein fehlgeleitetes oder fehlerhaftes Datenpaket endlos im Netzwerk umherkreist, ohne dass es sein Ziel findet. Nach einem definierten Zeitraum vernichtet sich ein IP-Paket automatisch. Dies spart wertvolle Bandbreite. In der Praxis sieht dies so aus, dass jeder Netzwerkknoten den Wert 1 von diesem Feld abzieht, bis nichts mehr übrig ist – ein Zeichen für das Paket, sich selbst zu vernichten. Das Protokollfeld spezifiziert, welches folgende Layer-Protokoll – TCP oder UDP – das empfangene Datenpaket weiterverarbeiten soll.

Die IP-Version 4 (IPv4) beinhaltet eine 32-Bit-Quell- und Zieladresse. Das 32-Bit-Adressfeld erlaubt die Adressierung von insgesamt 5 Milliarden Adressen. Dies mag auf Anhieb als eine gewaltige Anzahl wahrgenommen werden, es ist jedoch eine Tatsache, dass die IP-Adressen langsam aber sicher ausgehen. Dies resultiert aus der Tatsache, dass nicht nur jeder Internet-Teilnehmer eine IP-Adresse benötigt,

sondern auch alle anderen Netzwerkkomponenten im Internet (Router, Switches und Webservers, FTP-Server usw.). Aus diesem Grund ist man schon frühzeitig dazu übergegangen, ein weiteres Internet-Protokoll, beziehungsweise einen Nachfolger für IPv4, zu entwickeln: IPv6.

## IPv6



**Abb. 3.2:** Aufbau eines IPv6-Datenpaketes.

Ein IPv6-Header enthält eine 128-Bit-Quell- und Zieladresse, genug Adressraum, um für die nächsten Jahrzehnte gewappnet zu sein. Die Entwickler von IPv6 legten des Weiteren sehr großen Wert auf eine einfache Struktur des neuen Protokolls. Die Länge des Headers liegt nun bei 40 Byte, ein Header-Längen-Feld gibt es nicht mehr. Das Priority- und Flow-Label-Feld ersetzt das bis dahin unter IPv4 verwandte Service-Feld.

Unter IPv6 gibt es weiterhin keinerlei Checksummen-Feld zur Fehlerkorrektur mehr. Dies macht durchaus Sinn, da IPv6 hauptsächlich für den Einsatz in Glasfaser- oder/und T1-Umgebungen entwickelt wurde. Da in diesem Umfeld die Fehlerrate sehr, sehr gering ist, kann man getrost auf eine Fehlerkorrektur verzichten. Ein fehlerhaftes Paket kann vom Empfänger ohne Probleme erneut angefordert werden, da Bandbreite satt vorhanden ist, und ein erneuter Versand nicht in ein performantes Gewicht fällt.

IPv6 gibt es zwar schon seit geraumer Zeit, Systemintegratoren oder etwa Internet-Service-Provider greifen aber nur zögerlich auf die neue Technik zurück. Wie dem auch sei, IPv6 ist die Zukunft, und wenn die Adressproblematik noch viel brenzlicher werden sollte, bleibt gar nichts anderes übrig, als auf diese neue Technologie zurückzugreifen.



### 3.2.2 IP-Netzwerke

Da IP keinerlei festen Pfad zum Zielknoten etabliert, muss ein Netzwerk benutzt werden, in dem Router und andere Netzwerkkomponenten entscheiden, wie die einzelnen Datenpakete zum Ziel kommen. Netzwerk-Router tun dies, indem sie so genannte Routing-Karten des Netzwerkes erstellen, die Struktur also logisch in Form von Tabellen im Router abbilden. Erreicht ein Datenpaket einen Router, so schaut dieser nach einer günstigen Verbindung zum Ziel und reicht anschließend das Paket an den nächsten Router an dieser Wegstrecke weiter, der das ganze Prozedere dann von neuem initiiert. Würde es sich bei dem Internet um ein homogenes Netzwerk ohne übergeordnete Strukturen handeln, das Millionen und Abermillionen von Netzwerkknoten untereinander verbindet, würde es sehr schnell unter der Last von zu pflegenden Router-Tabellen zusammenbrechen. Das Netzwerk hätte nur noch damit zu tun, alle entsprechenden Router auf dem neuesten Stand zu halten.

Zum Glück aller Internet-User ist das Internet jedoch in separierte Backbones sowie eine ganze Reihe von autonomen Systemen unterteilt. Autonome Systeme »mappen« Adressen lediglich in gewissen lokalen Grenzen eines spezifizierten Einzugsgebietes. Ein derartiges System weiß, wie es einen Gateway-Router erreichen kann, der Datenpakete in ein anderes autonomes System weiterleitet. Somit müssen Router lediglich über die Struktur eines eingegrenzten Gebietes Bescheid wissen und die Routing-Tabelle entsprechend pflegen.

Das Internet lässt sich hervorragend skalieren. Zum einen kann man End-Anwendern so viel Bandbreite zuweisen, um einen einigermaßen brauchbaren Datenverkehr zu ermöglichen, und zum anderen kann man Netzwerk-Routern ebenfalls ein Höchstmaß an Bandbreite zuweisen, um einen reibungslosen Backbone-Verkehr zu ermöglichen. Geht ein Router das erste Mal ans Netz, so lernt er sukzessive die Struktur seiner unmittelbaren Umgebung kennen und ist nach kurzer Zeit zur allgemeinen Nutzung (Routing-Services) bereit. Fällt ein Router einmal aus, so ist dies nicht weiter tragisch, da andere Router sofort dessen Aufgaben übernehmen.

Im Bereich der Breitbandkommunikation jedoch erzeugen immer mehr Router weitere Wartezeiten, da Datenpakete von einem Router zum anderen weitergereicht werden. Neue Bandbreiten und Applikationen erfordern neue Netzwerkstrukturen und moderne Kommunikationsprotokolle. Mittlerweile verfügt eine Vielzahl von Routern über extrem leistungsfähige RISC-Prozessoren, die eine Weiterverarbeitung der Datenpakete immer schneller machen. Eine neue Ära der Geschwindigkeit werden so genannte photonische Switches und Router, als rein auf optischer Basis agierende Netzwerkkomponenten, einläuten.

### 3.2.3 Real-Time-Protokolle

Im Internet gibt es derzeit lediglich ein Echtzeit-Protokoll – das so genannte »Real-Time-Protokoll« (RTP). RTP ist in der Lage, UDP-Paketen einen Zeitstempel (Time-Stamp) und Payload-Marker hinzuzufügen, die eine priorisierte Übertragung ermöglichen und ein gewisses Maß an Bandbreite reservieren.

RTP operiert nur an Endpunkten eines Netzwerkes (Rechner) eine Ebene höher als IP und UDP und hat keinerlei Einfluss auf diverse Netzwerkressourcen. Aus diesem Grund erleiden RTP-Pakete die gleichen Auswirkungen (Datenverlust, Verzögerungen etc.) wie ganz normale Datenpakete.

Ein wesentlich robusteres Echtzeit-Protokoll ist das »Resource Reservation Protocol« (RSVP). RSVP ist in der Lage, eine gewisse Bandbreite zur Datenübertragung von Echtzeitdaten zu reservieren und ähnelt in gewissem Maße einem verbindungsorientierten Protokoll mit einer Übertragungsregelung zwischen Sender und Empfänger, um einen definierten Pfad zu etablieren. Der Aufbau einer entsprechenden Verbindung beginnt mit dem Aufbau eines Netzwerkflusses, indem einige typische Pakete über das Netzwerk versendet werden. Jeder Knoten im Netzwerk »erinnert« sich an diese Pakete und sieht sie als Vorbereitung für die anschließende Datenübertragung. Somit entsteht ein Pfad mit einer konstanten Bandbreite, die auf den Testpaketen beruht, die sämtliche Netzwerkstationen durchlaufen haben.

Da es sich beim RSVP-Protokoll um ein sehr schnelles Protokoll handelt, ist selbst im Fehlerfall, wenn ein entsprechender Knoten ausfällt, die Einrichtung einer Ausweichstrecke möglich. Im Regelfall ist eine neue Bandbreitenstrecke innerhalb von 500 Millisekunden möglich.

RSVP und ATM etablieren beide einen dedizierten Pfad mit einem Speichereffekt. Das heißt, dass sich jeder Netzwerkknoten daran erinnern muss, was zu tun ist, wenn ihn spezifische Datenpakete erreichen (Bereitstellung einer gewissen Bandbreite etc.). Es gibt jedoch auch Unterschiede zwischen beiden Protokollen. RSVP unterstützt Datenpakete mit variabler Länge im Gegensatz zu ATM, das fixe Zellen benutzt. RSVP kommt des Weiteren mit eingebetteten Quality of Services daher, ATM nicht.

### 3.2.4 IP-Switching

Bevor wir das Thema IP abschließen, sollten wir noch einen letzten Blick auf das Thema IP-Switching werfen. Switching findet auf dem OSI-Layer 2 statt, der Basis einer virtuellen Verbindung zwischen zwei Netzwerkknotenpunkten. Switches versorgen jeden Netzwerkknotenendpunkt im Ethernet-LAN beispielsweise mit einer Bandbreite von 10 MBit/s für jeden virtuellen Link zu jeder anderen Station im Netzwerk, die ebenfalls an den Switch angeschlossen ist.

Switches sind Netzwerkkomponenten, die Schaltfunktionen ausführen. Dabei können diese Schaltfunktionen als Vermittlungsfunktionen in Weitverkehrsnetzen ebenso wie in lokalen Netzen stattfinden. In Weitverkehrsnetzen werden die Ortsvermittlungsstellen als Local Switches, die Fernvermittlungsstellen als Central Switches bezeichnet. Auch im Nebenstellenbereich bedient man sich bei den Koppelfeldern der Bezeichnung Switch. Im LAN-Bereich hat der Switch eine dominierende Position eingenommen. Man spricht daher auch von LAN-Switching und Segment-Switching, von ATM-, Ethernet- und Token-Ring-Switching.

Funktional verbindet der Switch wechselweise verschiedene LAN-Segmente miteinander in Abhängigkeit von bestimmten Anforderungsprofilen, so beispielsweise zur Optimierung der Bandbreite bei unterschiedlichem Bedarf. Dadurch können einzelne LAN-Segmente oder auch einzelne Stationen ohne Belastung des restlichen Netzes miteinander kommunizieren. Die zur Verfügung stehende Bandbreite eines lokalen Netzes wird dadurch effektiver auf wenige Nutzer aufgeteilt. Ein Switch ist normalerweise Hardware-basiert, wodurch kürzeste Schaltzyklen möglich sind. Vom Schaltverfahren her unterscheidet man Switches, die nach dem Store-and-Forward-Verfahren arbeiten, und solche, die nach dem Cut-Through-Verfahren arbeiten.

LAN-Switching ist ein moderner Ansatz, Performance-Engpässe, im Wesentlichen Engpässe an Übertragungsbandbreite, in existierenden LANs zu beseitigen oder den Aufbau von virtuellen Netzen zu unterstützen. LAN-Switching bietet Vorteile bei der Segmentierung zu groß gewordener Netze in kleinere LAN-Segmente. Deswegen spricht man auch von Segment-Switching. LAN-Switching verhindert die Übertragung von lokal relevanten Datenpaketen in die übrigen angeschlossenen LAN-Segmente und erfüllt dadurch die Funktionalität von Brücken. Darüber hinaus können mehrere parallele Kommunikationsbeziehungen zwischen den Segmenten unterstützt werden.

Das LAN-Switching unterscheidet drei Verfahren, das Per-Port- oder Konfigurations-Switching, das Frame-Switching und das Zellen-Switching. Im erstgenannten Verfahren werden einzelne Ports auf unterschiedliche LAN-Segmente geschaltet. Beim Frame-Switching – diese Bezeichnung soll das Ethernet-Switching und das Token-Ring-Switching von WAN-Technologien mit FPS (Fast Packet Switching) abgrenzen – werden die herkömmlichen Ethernet-Frames und Token-Ring-Frames als Transporteinheiten beibehalten, das Shared-Media-Verfahren wird aber durch eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung ersetzt. Das dritte Verfahren, das Zellen-Switching, bringt die Ablösung von der klassischen Datenpaketvermittlung zugunsten der Zellen-Technik mit Zellen fester Größe. Bei dieser Technik, welche die Basis für ATM bildet, verfügt jeder Teilnehmer über eine dedizierte Verbindung mit bestimmter Dienstgüte, die für Sprach-, Daten- und Bewegtbildübertragung genutzt werden kann.

### 3.3 ATM – Asynchroner Transfer Mode

ATM hat, wie so viele ähnliche Technologien in diesem Bereich, einen harten und steinigen Weg hinter sich, um seine Stellung zu behaupten.

Die Entwicklung von ATM geht einher mit der Entwicklung von Breitband-ISDN, das die vorhandenen Dienste wie Telefonie und Kabelfernsehen integrieren soll. Üblicherweise sehen die Empfehlungen zu ATM und B-ISDN als Übertragungsmedium Glasfaserkabel vor, und zwar vornehmlich nach SDH, einer CCITT-Weiterentwicklung von AT&Ts SONET-Standard. Daher stammen die heute üblichen Begriffe »155-Mbps-ATM« und »622-Mbps-ATM«; zum einen

sind die 155 Mbps in etwa das, was man braucht, um HDTV-Fernsehen zu übertragen (eine Anforderung des B-ISDNs, das über ATM laufen soll), zum anderen beträgt die Geschwindigkeit des existierenden SDH mit Hierarchiestufe »STM-1« 155 Mbps; 622 Mbps, das Vierfache davon, beträgt die Geschwindigkeit der zweiten SDH-Hierarchiestufe »STM-4«.

Allerdings ist es bei Entfernungen unter 100 m auch möglich, Koaxialkabel oder Twisted-Pair-Kabel der Kategorie 5 für ATM-Übertragungen zu benutzen. Die Verkabelung in ATM-Netzen stellt einen der größten Unterschiede zu herkömmlichen Netzen dar, denn bei ATM gibt es nur Punkt-zu-Punkt-Verbindungen; das heißt, entweder verläuft eine Leitung von einem Computer zu einem ATM-Switch oder zwischen zwei Switches. Hieran kann man schon sehen, dass bei der Nutzung von ATM zwangsläufig Probleme auftauchen müssen, wenn man mit existierenden Computernetzwerken zusammenarbeitet, denn Dinge wie das klassische »Broadcasting« sind hier alleine von der physischen Struktur her zunächst nicht möglich.

### 3.3.1 Die physikalische Schicht

Bei der physikalischen Schicht (Physical Layer) im ATM-Modell handelt es sich eigentlich um zwei mehr oder weniger separate Schichten. Zum einen gibt es die Schicht zur Übertragungsanpassung (Transmission Convergence Layer, TCL), zum anderen die vom physischen Medium abhängige (physical medium dependent sublayer), welche die direkte Schnittstelle zum Übertragungsmedium darstellt.

Der englische Name der letzten, »physical medium dependent«, spricht für sich, denn tatsächlich ist die Hardware auf dieser Schicht vom verwendeten Kabeltyp sowie von der Übertragungsgeschwindigkeit abhängig. Die Aufgabe, die dieser Schicht zukommt, besteht in der Einspeisung von Daten in das Kabel und der Entnahme von ankommenden Daten vom Kabel. Außerdem hat sie Zellkodierungsfunktionalität. Komplizierter werden die Aufgaben schon für die Schicht zur Übertragungsanpassung (Transmission Convergence Layer, TCL).

Sie bekommt ihre Daten von der ATM-Schicht in Form von Zellen mit jeweils einem Header von 5 Bytes. Die ersten vier Bytes sind nach einem bestimmten Muster angeordnet und lediglich 8 Bits bilden die Prüfsumme, die als HEC (Header Error Control) bezeichnet wird.

Dieses System mag seltsam erscheinen, da nur die Header und nicht die gesamten Daten auf Fehler überprüft werden, aber dadurch wird viel Aufwand erspart und für viele potenzielle ATM-Anwendungen spielt es keine große Rolle, ob einige Zellen verloren gehen. Außerdem kann man von einer sehr geringen Menge an Übertragungsfehlern ausgehen, was diese Technik rechtfertigt. Des Weiteren bleibt es den oberen Schichten überlassen, weitere Fehlerkontrollen auf die Nutzdaten durchzuführen.

Eine weitere Aufgabe ist die Generierung von Dummy-Zellen, die auf synchronen Übertragungsmedien eingefügt werden. Da hier immer im gleichen Zeittakt gesendet wird, sorgt die TCL-Schicht dafür, dass immer Zellen zum Senden vorhanden sind, auch wenn sie keine Daten enthalten. Somit gibt die TCL-Schicht einen durchgehenden Bitstrom an das Übertragungsmedium ab und empfängt ebenso einen durchgehenden Bitstrom von dort, den sie wieder sinnvoll aufteilen muss.

Neben den oben erwähnten Dummy-Zellen gibt es auch noch andere datenlose Zellen, die in ihrer Originalbezeichnung als OAM-Zellen (Operation and Maintenance; Betrieb und Wartung) behandelt werden. Sie werden benutzt, um zwischen den Switches Informationen auszutauschen. Die oben erwähnten Dummy-Zellen werden auch benutzt, um Geschwindigkeiten anzugleichen. Beispielsweise stimmt die Übertragungsrate von 155,52 MBit/s (SDH) nur ungefähr mit der von SONET überein. Um die genaue Übereinstimmung zu erlangen, wird immer als 27. Zelle eine datenlose Zelle eingefügt und somit die Geschwindigkeit auf 149,76 MBit/s gedrosselt, was genau der SONET-Geschwindigkeit entspricht. Beim Empfang werden die Dummy-Zellen wieder von der TCL-Schicht entfernt.

Die schwierigste Aufgabe für die TCL-Schicht ist das Erkennen der Rahmen in einem durchgehenden Datenstrom. Dies wird realisiert, indem die Schicht immer 40 Bits am Stück durch ein Register schiebt. Die rechten 8 Bits werden darauf überprüft, ob sie eine korrekte Prüfsumme für die restlichen 32 darstellen. Wenn ja, wird 53 Bytes weiter das Gleiche gemacht und erst, wenn eine bestimmte Anzahl an gültigen Headern gefunden worden ist, geht die TCL-Schicht davon aus, dass es sich um die korrekten Header handelt, entfernt diese und gibt den Rest an die ATM Schicht weiter.

### 3.3.2 ATM-Switching

Das Switching ist einer der Hauptvorteile von ATM-Netzen, da dies sehr schnell geschieht. Switches haben bis zu 1.024 Eingangsleitungen, auf denen die Daten mit etwa 150 MBit/s ankommen. Das bedeutet bis zu 360.000 Rahmen pro Sekunde, die asynchron die Switches erreichen. Die ATM-Vermittler können diese Datenmengen nur bewältigen, da die ATM-Rahmen eine feste Länge von 53 Byte haben. Die Daten werden zunächst am Eingang durch einen Mastertakt synchronisiert, d.h. bei jedem Taktzyklus darf ein Rahmen eintreten. Switches in ATM-Netzen fungieren als Pipeline, es dauert mehrere Taktzyklen, bis die Zellen den Vermittler wieder verlassen.

Probleme treten nun auf, wenn mehrere Eingangsleitungen auf eine Ausgangsleitung umgeleitet werden sollen. Es ist offensichtlich, dass mehrere Rahmen nicht im gleichen Taktzyklus den Switch auf einer Leitung verlassen können, also wurden Methoden für Warteschlangen gebildet. Eine Methode ist die, ankommende Rahmen bereits auf der Eingangsleitung zu blockieren, wenn die Ausgangsleitung schon anderweitig blockiert ist. Somit können die Daten je nach freien Kapazitäts-

ten durch den Switch geschleust werden. Ein entscheidender Nachteil ist hier aber, dass, wenn Rahmen auf der Eingangsleitung blockiert werden, nachfolgenden Zellen das Eintreten in den Vermittler verwehrt wird, obwohl diese eventuell auf einer anderen Leitung eintreten sollen.

Die zweite Möglichkeit ist, an den Ausgangsleitungen Warteschlangen einzurichten. Hier werden dann die Rahmen nach Durchlaufen des Switches eingereiht und nach jeder austretenden Zelle wird die nächste auf die Ausgangsleitung gesetzt. Dieses Verfahren hat sich als das geschicktere von beiden bewährt und es gibt vielfältige Geräte, die diese Technik anwenden.

Ein an sich intelligenter Vermittler ist der so genannte Knockout-Vermittler. Er verfügt über  $n$  Eingangsleitungen und  $n$  Ausgangsleitungen. Jeder Eingang hat hier einen Kreuzungspunkt mit einem Ausgang. Die Rahmen werden so entsprechend ihres Zieles auf dem entsprechendem Kreuzungspunkt umgeleitet. An der Ausgangsleitung befindet sich die oben erwähnte Warteschlange, d.h. eigentlich handelt es sich um mehrere Warteschlangen, da ja im ungünstigsten Fall 1024 Rahmen in einem Taktzyklus auf einen Ausgang gelegt werden sollen. Es ist unmöglich, diese Menge allein schon in die Warteschlange zu stellen, deshalb benutzt man mehrere Warteschlangen pro Ausgang und einen so genannten Shifter, der die Aufteilung in einzelne Warteschlangen übernimmt. Beim Knockout-Switch gibt es allerdings einen entscheidenden Nachteil: Die Zahl der Knotenpunkte nimmt bei  $n$  Eingängen und  $n$  Ausgängen mit  $n^2$  zu.

Auch hierfür existiert eine Lösung, beispielsweise der Banyan-Switch. Dieser Vermittler verfügt über 3 so genannte Phasen: Vermittlungselemente, die jeweils zwei Ein- und Ausgänge besitzen. Anhand ihrer Adressierung werden die Rahmen an den oberen oder unteren Ausgang des Vermittlungselementes weitergeleitet. Doch auch bei Banyan-Switches treten Probleme auf, denn wenn zwei Rahmen im gleichen Takt das gleiche Element über denselben Ausgang verlassen wollen, treten Kollisionen auf. Die Datenströme werden unterschiedlich gut je nach Ein- und Ausgang vermittelt, was Rahmen mit bestimmten Pfaden benachteiligt. Eine Erweiterung des Banyan-Switches schafft Abhilfe, nämlich den zusätzlichen Einsatz eines Batch-Vermittlers. Dieser sortiert eingehende Datenströme nach den Angaben über ihre Austrittsleitungen, und zwar nicht nur nach dem ersten Bit, sondern numerisch. Alle höherwertig adressierten Rahmen werden in eine Richtung gelenkt, alle niedriger adressierten in die andere Richtung, so dass die Zellen beim Austritt geordnet sind.

Diese werden nun gemischt und in den Banyan-Switch geleitet, daher der Name Batch-Banyan-Switch. Allerdings gibt es auch hier Probleme, wenn man Multicasting betreibt. Deshalb enthält auch dieser Vermittler einen Puffer an den Ausgängen.

### 3.3.3 Das ATM Adaptation Layer (AAL)

Die ATM-Adaptionsschicht (ATM Adaptation Layer) enthält vor allem die Maßnahmen zur Unterstützung unterschiedlicher Telekommunikationsdienste in einem ATM-Netz. Entsprechend der möglichen Dienstklassen und ihrer Merkmale (Synchronisation zwischen den Endeinrichtungen erforderlich oder nicht, Bitrate konstant oder variabel, verbindungslose oder verbindungsorientierte Kommunikation) lassen sich wenigstens vier Dienstypen unterscheiden, man nennt sie Typ 1 (verbindungsorientiert, konstante Bitrate, Synchronisation erforderlich), Typ 2 (ebenso, aber Bitrate variabel), Typ 3 / 4 und Typ 5 (die letzten beiden benötigen keine Synchronisation, die Bitrate ist variabel, die Kommunikationsart ist nicht festgelegt).

Das ATM Adaptation Layer gliedert sich nunmehr auf in Adaptation Layers für die verschiedenen Dienstypen.

Insbesondere Sprach- und Videokommunikation profitieren von den AALs 1 und 2, über ATM vernetzte oder durch ATM emulierte LANs nutzen meist AAL 3 / 4 und/oder AAL 5. Allgemein gliedert sich ein AAL in drei Unterschichten; auf jeden Fall zuunterst in Segmentation And Reassembly (SAR), eine Stufe höher das Common Part Convergence Sublayer und – eventuell, es existiert nur bei Bedarf – zuoberst das Service Specific Convergence Sublayer. Die beiden unteren Sublayer werden auch unter dem Namen »Common Part AAL« zusammengefasst.

Die SCSS ist nur dann notwendig, wenn die AAL-Schicht eine verbindungsorientierte Kommunikation gewährleisten soll. Es muss in diesem Fall innerhalb der SCSS ein verbindungsorientiertes Protokoll realisiert werden.

Im Common Part Convergence Sublayer werden die zu übertragenden Datenblöcke in Protokolleinheiten (so genannte CPCS-PDUs) eingebettet. Die so entstandenen Einheiten werden dann segmentiert und als Nutzlast in SAR-PDUs eingebettet; also in Protokolleinheiten der Segmentation-And-Reassembly-Schicht. Diese Segmente werden mit einem SAR-Header und einem SAR-Trailer zu einem SAR-PDU ergänzt. Meist sind diese Segmente gleich lang, bei AAL 3 / 4 bis zu 44 Bytes. SAR-Trailer und -Header benötigen zusammen weitere 4 Bytes; diese 48 Bytes sind es, die dann an die ATM-Schicht weitergereicht werden, wo sie dann um weitere 5 Headerbytes zu den berühmten »53-Byte-ATM-Zellen« verlängert werden. AAL 5 ist sehr ähnlich wie AAL 3 / 4 aufgebaut; doch es ist simpler und unterstützt kein Multiplexing der ATM-Verbindung auf der AAL-Ebene. Es arbeitet dafür aber effizienter; und da über der AAL-Schicht liegende Dienste wie IP oder LAN-Emulation meist eh schon Multiplexing-Funktionalität aufweisen, ist diese »einfache« AAL-Variante (passend zum »einfachsten« ATM-Diensttyp) die zugleich heute wohl wichtigste, wenn es um die Integration von LAN und ATM geht.

### 3.3.4 Signaling, Kontrolle der Verbindungsaufbauten und -abbauten

In ATM-Netzen werden bekanntlich grundsätzlich Ende-zu-Ende-Verbindungen aufgebaut. Das setzt voraus, dass die nacheinander auf dem Weg von einem Ende zum anderen durchlaufenen ATM-Knoten mit Steuerinformationen zum Aufbau der Verbindung versorgt werden müssen. Der erforderliche Steuerinformationsfluss wird als ATM-Signalisierung bezeichnet.

Diese Signalisierung ist der Signalisierung beim Schmalband-ISDN ähnlich; es werden spezielle Signalisierungsverbindungen verwendet, die parallel zu den ATM-Verbindungen existieren. Wie eingangs erwähnt, existieren Verbindungen zwischen ATM-Geräten entweder derart, dass ein Endgerät mit einem Gerät im ATM-Netz verbunden wird oder aber es handelt sich nicht um ein Endgerät, sondern ein Gerät, das zwei oder mehrere ATM-Verbindungen hat. Entsprechend kann die Signalisierung in zwei Bereiche unterteilt werden:

- UNI-Signalisierung an der Netzzugangsschnittstelle
- NNI-Signalisierung zwischen den ATM-Knoten.

Die UNI-Signalisierung ist für alle ATM-Dienste und ATM-Anschlussarten einheitlich spezifiziert; es existieren Q.2931 von ITU-T (eine Weiterentwicklung des vom S-ISDN bekannten D-Kanal-Protokolls Q.931, auch »EURO-D-Kanal«, »DSS1« genannt) und ATM User-Network Interface Specification, Version 3.0 und 3.1 von ATM-Forum. Im B-ISDN wird Q.2931 verwendet; die Variante von ATM-Forum ist für private ATM-Netze konzipiert. Zentrale Aufgabe der UNI-Signalisierung ist der Auf- und Abbau von ATM-Verbindungen, was die Notwendigkeit der Standardisierung einsichtig macht.

NNI ist dagegen abhängig von den jeweiligen Diensten, die NNI benutzen; also jenen Schichten über dem AAL, und zwar genau genommen über dem Teil des AAL, der für die Signalisierung zuständig ist (»SIG-AAL« genannt). Am besten für Signalisierungszwecke eignet sich ein AAL-Typ 5.

### 3.3.5 Routing in ATM-Netzen

Um die Bedeutung von ATM-Netzen richtig einschätzen zu können, muss man die Alternativen betrachten. Internet-Datenverkehr beispielsweise basiert auf Datagrammen und so wird jedes Paket, das einen Router erreicht, nach einer Routing-Tabelle und eventuell abhängig vom Datenverkehr auf einem individuellen Weg ans Ziel geleitet, was unter Umständen einen enormen Aufwand bedeutet.

ATM verfügt über permanent vermittelte virtuelle Verbindungen, die wie Standleitungen anzusehen sind. Das bedeutet, dass die Bandbreite ständig zur Verfügung gehalten wird.

Beim Aufbau einer virtuellen Verbindung wird in der Regel eine Anfrage an den nächsten Vermittler geschickt, die dieser weiterleitet und eine Bestätigung an den Sender zurückschickt. Erst wenn die Anfrage den Endpunkt erreicht hat, wird



praktisch von hinten die Verbindung aufgebaut. Genau wie bei der Anfrage wird auch für jeden Teilbereich eine Bestätigung zurückgeschickt. Steht eine Verbindung erst einmal, wird ohne Bestätigungen gesendet und man nimmt einfach das geringe Risiko von Datenverlust in Kauf.

Bei ATM-Rahmen steht im ersten Teil eine Adresse, die den Empfänger lokalisiert. Jeder Router verfügt über eine Tabelle an seinen Eingängen, in die beim Aufbau von virtuellen Kanälen die Ausgangsleitung der Rahmen eingetragen wird. Wenn nun neue Rahmen für die gleiche virtuelle Verbindung eintreffen, werden sie dem ersten Rahmen hinterher geleitet. Somit laufen alle Rahmen über den gleichen Weg.

Braucht man nun für seine Anwendungen mehr Bandbreite, werden virtuelle Kanäle zu so genannten virtuellen Pfaden zusammengefasst. Das bedeutet, dass für die zusätzliche Bandbreite keine Vermittlung mehr stattfinden muss, sondern stattdessen orientieren sich die Rahmen an der existierenden Leitung. Man spricht hier von Kanalbündelung.

Ein Kabel mit vielen Aderpaaren entspricht dieser Technik sehr anschaulich. Der Vorteil ist hierbei, dass bei einem Router dann alle virtuellen Kanäle als ein Bündel vermittelt werden, das maximal 65.535 Kanäle enthält.

Die Reservierung sowie Bereitstellung von Kanälen und Pfaden muss zwischen Netzbetreiber und Kunden vertraglich geregelt sein. So muss z.B. der Kunde seine durchschnittliche Datenrate und seine Übertragungsgeschwindigkeit angeben, der Netzbetreiber im Gegenzug die minimal garantierte Bandbreite.

### 3.3.6 Integration von ATM in Bestehendes: LAN-Emulation, Virtual LANs ...

Wie bereits erwähnt, ist ATM verbindungsorientiert. Daraus ergeben sich nachteilige Konsequenzen, wenn man betrachtet, dass bereits vorhandene Protokolle von verbindungsloser Kommunikation regen Gebrauch machen. Eine Idee für die Umgehung dieser Auflage vom ATM wäre, einen »Connectionless Server« zu verwenden, an den alle verbindungslosen Datagramme gesandt werden und der dann die Empfängeradresse(n) analysiert und die entsprechenden Verbindungen aufbaut. Das hat den großen Vorteil, dass Endsysteme dann jeweils nur eine Verbindung offen halten müssten und ohne Signalisierung auskämen, wenn sie ihre Datagramme verschicken. In lokalen Netzen, in denen Verbindungsauf- und abbauen schneller sind als in Weitverkehrsnetzen, existieren jedoch effizientere Varianten.

Zunächst betrachten wir die bekannte Internet-Protokoll-Suite und die entstehenden Probleme, wenn IP über ATM betrieben werden soll. Als erster Punkt fällt das Problem der Abbildung von IP- auf ATM-Adressen und -kanalnummern auf. Haben wir es mit permanenten Verbindungen zu tun, so wäre die Abbildung statisch; der Normalfall wäre aber der dynamische. Lösen lässt sich dieses Problem,

wenn das Problem der IP-Adressauflösung (ARP) gelöst ist; da ARP aber normalerweise Broadcasting verwendet, muss hier anders vorgegangen werden, zum Beispiel nach RFC 1577 (s.u.). Hier muss dann wieder zwischen dem statischen (PVC – Permanent Virtual Connection) und dem dynamischen (Switched VC) unterschieden werden.

**PVC:**

Jede über PVC verbundene Station setzt bei der Initialisierung eine RARP- (Reverse ARP)-Anfrage ab, und zwar an alle benachbarten Stationen; dann wird die Adressauflösungstabelle mit den Antworten gefüllt.

**SVC:**

Für den dynamischen Fall wird ein ARP-Server eingerichtet, bei dem alle (ATM-Adresse, IP-Adresse)-Paare registriert sind. Er muss alle Stationen mittels RARP nach ihrem Paar fragen und jede Station kann dann bei ihm Anfragen stellen.

Des Weiteren benötigt man Strategien zum Verbindungsauf- und abbau, denn es wäre nicht effektiv, für jedes IP-Paket eine ATM-Verbindung zu schalten; hier wird »caching« benutzt, der Kanal wird einfach eine Zeit lang offen gehalten, falls noch ein Paket zur Zielmaschine gesendet wird.

Als Letztes benötigt man noch einen Mechanismus, um mehrere Protokolle und nicht nur IP über ATM fahren zu können. Dies wird auch als Multi-Protokoll über ATM oder kurz und englisch MPOA bezeichnet. Dies geschieht durch Einbettung der IP-Pakete in LLC/SNAP-(Logical Link Control/Subnet Access Protocol)-Rahmen. Man könnte nach RFC 1483 auch IP-Pakete direkt in die CPCS-Pakete »Null-Encapsulation« einfügen; damit könnte man dann aber pro ATM-Verbindung nur ein Protokoll fahren, aber mehrere Protokolle über mehrere Verbindungen. Aus Gründen der Flexibilität wird daher meist die LLC/SNAP-Variante gewählt.

Bislang haben wir nur von IP über ATM gesprochen; oft ist es aber so, dass parallel zu IP in bisherigen LANs andere Protokolle wie IPX, NetBIOS, SNA usw. benutzt werden. Entweder muss also eine neue Architektur auf ATM-Basis für jeden erdenklichen Protokoll-Stack geschaffen werden oder aber man löst das Problem gleich auf einer tieferen Ebene. Letzteres wird durch LAN-Emulation (LANE) bzw. LAN Emulation Services (LES) bzw. Virtual LANs (VLAN) erreicht.

Die grundsätzlichen Probleme, die hier entstehen, ähneln stark denen von IP über ATM:

**Adressierung**

Die Abbildung zwischen unstrukturierten flachen MAC-Adressen muss definiert werden und ein Adressauflösungsmechanismus ähnlich RARP muss festgelegt werden.

### **Multi-/Broadcasting**

Um allgemein Broadcasting zu erlauben (das ja nicht nur zur Adressauflösung benutzt wird), wird ein Server benutzt (Broadcast- and Unknown Server, BUS), der im Falle eines Broadcasts kontaktiert wird und dann eben die teure Operation des Jeden-einzelnen-Kontaktierens ausführt. Er kann hierbei aber auch eine Filterfunktion wahrnehmen, so dass evtl. nicht wirklich jedes angeschlossene ATM-Gerät den Rundruf erhält.

### **Verbindungsmanagement**

Im Prinzip gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten, Daten zwischen zwei LANE-Clients (LEC) auszutauschen. Entweder benutzt man den oben genannten Broadcasting-Server mit Filterfunktion, was einer exakten Nachbildung des »Broadcast-and-Filter«-Prinzips konventioneller LANs entspricht. Das ist allerdings so ineffizient, dass man nicht darum herumkommt, ähnlich wie schon bei IP transparente ATM-Verbindungen zu schalten. Dabei können ungewöhnlich hohe Laufzeiten für das erste Paket entstehen (die Verbindung muss erst aufgebaut werden). Um dies zu vermeiden, kann mit der Broadcast-and-Filter-Methode schon einmal das erste Paket versendet werden.

### **Konfiguration**

Die Erfahrung zeigt, dass die Effizienz von LANs mit ihrer Größe sinkt, besonders, wenn Broadcast-Nachrichten versendet werden. Es ist attraktiv, die Menge der Endsysteme nicht in eines, sondern in mehrere Virtual LANs aufzuspalten. Die Zuordnung von Endgeräten zu einem VLAN ist dynamisch konfigurierbar; es ist weiterhin denkbar, dass mehrere VLANs physisch dieselben oder aber andere Server verwenden; daher wird die Konfiguration der VLANs als ein eigener Problembereich betrachtet.

Beide Protokollarchitekturen, also IP über ATM und LANE, ermöglichen die Kopplung von ATM mit anderen lokalen Netzen. Der RFC-1577-IP-Ansatz erlaubt eine schrittweise Integration von ATM-Subnetzen in eine IP-Infrastruktur. Die Verbindung der IP-Router im ATM-Netz erfolgt entweder statisch oder über einen Dienst, der CBDS genannt wird.

Die LAN-Emulation hingegen unterstützt den »Bridging«-Ansatz, der schon zum Tragen kommt, wenn man etwa Ethernet- mit Token-Ring-Subnetzen verbindet.

Hier ist der große Vorteil der, dass man unabhängig vom Standort der Endeinrichtungen diese zu logischen Netzen zusammenfassen kann; damit lässt sich auch leichter kontrollieren, welche Bandbreite welcher Anwendung mit welchem Protokollstack zur Verfügung steht, was in konventionellen Netzen nur viel aufwendiger möglich ist.

### 3.3.7 Die Zukunftschancen von ATM

Der Trend in den letzten Jahren geht zu immer größeren Bandbreiten hin, Applikationen werden umfangreicher, neue Techniken wie z. B. Video-on-Demand oder Videokonferenzen in Echtzeit fordern höhere Übertragungsraten und eigentlich wäre eine Umstellung auf ATM eine Lösung vieler Probleme. Leider ist ATM ohne erheblichen Aufwand nicht kompatibel zu existierenden Netzwerken, was die Entscheidung für ATM erschwert.

Firmen, die bereits mit einem LAN arbeiten, sehen im Moment zwar den Nutzen von ATM – wirtschaftlich ist es aber oft nicht sinnvoll, denn in die bestehende Ethernet-Struktur können ohne größeren Aufwand schnellere Ethernet-Komponenten integriert werden, nicht jedoch ATM-Komponenten. Die Erweiterung des bestehenden Netzes bietet die Vorteile, relativ geringe Investitionen zu tätigen und trotzdem ansprechende Leistungen zu erhalten, vor allem aber keine Änderungen an der bestehenden Struktur der IT-Abteilung vornehmen zu müssen, da auch Gigabit-Ethernet voll abwärtskompatibel zu bestehender Technik ist. Mitarbeiterschulungen wegen neuer Technik sind selten nötig und vor allem der Preis der Komponenten spielt eine entscheidende Rolle. Die Preise für Switch- und Endgeräte liegen zurzeit bei ATM etwa viermal über denen von Fast Ethernet. Sogar für Video- und Sprachübertragung zeichnen sich schon Ethernet-Lösungen ab. Da für Gigabit-Ethernet-Komponenten eine große Nachfrage erwartet wird, ist auch mit einem entsprechenden Preisverfall für die einzelnen Komponenten zu rechnen, denn die Entwicklung wird von den beteiligten Firmen schnell vorangetrieben.

Trotz der höheren Kosten und der fehlenden Kompatibilität bietet die ATM-Technik allerdings doch einige Vorteile, mit denen sich ATM in Zukunft durchsetzen könnte. So könnte zum Beispiel die Verkabelung von Gebäuden eine wichtige Rolle spielen. Beim Ethernet verläuft die Verkabelung nicht notwendigerweise, aber in der Regel hierarchisch, jedes Kabel endet im Serverraum des Gebäudes und der Datenverkehr nimmt stark zu, je näher man zu den Servern kommt. Es ist vorstellbar, dass diese Struktur den zu erwartenden Datenmengen irgendwann nicht mehr gewachsen ist.

Bei ATM-Netzen entsteht diese Problematik gar nicht erst, da die Struktur nicht hierarchisch, sondern verteilt ist. Die Kabelnetze können hier Dreiecke und Kreise bilden, wodurch die einzelnen Teilstrecken stark entlastet werden. Der Datenverkehr läuft nicht mehr über den Hub, sondern dezentral auf dem kürzesten Weg zum Zielort. Sowohl in privaten LANs als auch in öffentlichen Weitverkehrsnetzen bietet diese Anordnung schnellere Übertragung, geringere Belastung an kritischen Stellen und vor allem Redundanz. Fällt bei einer ringförmigen Anordnung ein Teilstück aus, so kann der Datenverkehr alternativ zum Ziel geleitet werden. Außerdem bieten ATM-Netze die Möglichkeit der virtuellen Teilnetze, in denen der Standort eines Rechners keine Rolle spielt, sondern lediglich die logische Zugehörigkeit. Auch bietet ATM durch den Einsatz von virtuellen Kanälen und Pfaden eine hohe Sicherheitsstufe gegen die Manipulation der Daten.

Abschließend lässt sich bemerken, dass sich auch nach Bewertung von verschiedenen Quellen kaum Aussagen über die Entwicklung in den nächsten Jahren machen lassen. Wahrscheinlich werden in kleineren und mittleren Netzen auch weiterhin Ethernet-Techniken eingesetzt, wohingegen in großen Vernetzungen mit hohem Datenaufkommen sich schon jetzt ATM anbietet. Für die Zukunft bleibt zu hoffen, dass sich ATM durchsetzen wird, denn es handelt sich um die fortschrittlichste Netzwerktechnologie, die zurzeit auf dem Markt ist.

