

Download von:

GCCSI

Ihr Dienstleister in:

Sicherheitslösungen
Netzwerk-Technologie
Technischer Kundendienst
Dienstleistung rund um Ihre IT

Gürbüz Computer Consulting & Service International 1984-2007 | Önder Gürbüz | Aar Strasse 70 | 65232 Taunusstein
info@gccsi.com | +49 (6128) 757583 | +49 (6128) 757584 | +49 (171) 4213566

Seminar Kommunikationssysteme

Sommersemester 2000

Prof. Dr. K. Bauknecht,
Dr. B. Studer

Assistent Helmut Kneer

ATM

Asynchronous Transfer Mode

Asynchrones Übertragungsverfahren

03.04.2000, 10-12 Uhr Uni Hauptgebäude

Sabine Hanimann
Philipp Brunschwiler
Johnson Suter
Gregor J. Rothfuss

Inhalt

1. Einführung	3
1.1 Was spricht für ATM?	4
1.2 Traffic Management & Quality of Service	4
1.2.1 QoS - Dienstqualität	5
1.3 ATM-Netzwerke	6
2. Grundlegende Konzepte	7
2.1 ATM Referenzmodell	7
2.1.1 Funktionelle Ebenen	7
2.2 Physische Schicht	7
2.3 ATM Schicht	8
2.3.1 ATM-Zellen	8
2.3.2 Zellaufbau	9
2.4 Verbindungsaufbau	10
2.5 ATM Adaptationsschicht (AAL)	13
3. ATM in der Praxis	13
3.1 Gründe für immer grössere Bandbreiten	13
3.2 Anforderungen an ATM	14
3.3 Performance Anforderungen	15
3.4 IP over ATM	15
3.5 ATM Benutzung heute	17
4. Bewertung von ATM	17
4.1 Einführung	17
4.2 Pro ATM	18
4.3 Contra ATM	18
4.4 Neue Entwicklungen	19
4.5 Fazit	20
5. Abkürzungsverzeichnis	20
6. Literatur	22
7. Seiten im Internet	22

1.Einführung

Unter der Zielsetzung, die Grundlagen für eine weltweit einheitliche Netz-Architektur zu schaffen, veröffentlichte die CCITT/ITU (International Telegraph and Telephone Consultative Committee, Vorgänger des ITU, International Telecommunication Union) 1984 die erste Empfehlung zum Schmalband-ISDN, kurz ISDN, dem integrierten Kommunikationsnetz für verschiedene Nachrichtenarten auf digitaler Basis. Es bezeichnet eine neue Generation der Telekommunikationstechnik.

Nachdem als Implementierungsversuch des Breitband-ISDN (*B-ISDN*) zu dieser Zeit auch STM (Synchronous Transfer Mode) in Erwägung gezogen wurde, entschied sich die CCITT/ITU 1987 für den *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) als Übertragungsverfahren des zukünftigen B-ISDN. Die ersten Empfehlungen hierzu wurden in den Jahren 1990/91 veröffentlicht.

ATM ist, wie ISDN, ebenfalls eine digitale Telekommunikationstechnologie, die aufgrund ihrer gigantischen Datenübertragungsgeschwindigkeit und Universalität den professionellen wie privaten Datenaustausch revolutionieren könnte. Die Daten können mehrere tausendmal schneller als mit herkömmliche ISDN-Netze transportiert werden.

Neben der ITU kam es im September 1991 zur Gründung eines weiteren Gremiums, welches sich ausschließlich mit der Standardisierung von ATM befaßt, dem *ATM-Forum*. Gegründet von CISCO-Systems, NET/adaptive, Northern Telekom und US-Sprint, gehören dem ATM-Forum inzwischen mehrere hundert Mitglieder an.

Ziel des ATM-Forums ist ein zügiges Voranbringen des Standards ATM in enger Zusammenarbeit mit der ITU und der Industrie. Bei der Normierung früherer Standards war es aufgrund des langwierigen Normierungsprozesses oft zu einem Auseinanderdriften von ITU-Norm und von der Industrie entwickelten Quasistandards gekommen.

1995 kamen die „ersten“ Menschen mit ATM in Berührung. Einige Dutzend Haushalte in Cambridge (England) nutzten den asynchronen Übertragungsmodus im Rahmen eines Feldversuches. Mittels Glasfasern wurden dort die digitalen ATM-Datenpakete zugestellt. Die Kapazität der Leitung reichte, um problemlos das übliche Spektrum von Fernsehprogrammen plus Sonderdiensten wie interaktive Datenabfragen – zum Beispiel von Zugfahrplänen - oder Teleshopping ins Haus zu bringen. Vom klassischen Fernsehen über Video-On-Demand, Telefon, Fax, On-Line-Dienste und Onge - dank ATM kann alles gleichzeitig über eine Verbindung ermöglicht werden.

Forscher aus Unternehmen und Hochschulen arbeiten im größten europäischen Testlabor für ATM-Anwendungen in Basel - gefördert von der EU - an der Weiterentwicklung dieser Zukunftstechnik. "Ziel der Bemühungen ist es, Anwendungen zu entwickeln, mit denen in einigen Jahren jedermann den Nutzen von einem ATM-Anschluß hat", betont Projektleiter Martin Potts. Unter Beteiligung der Industrie, den Universitäten und der Schweizer Telekom wurde gezeigt, wie sich per ATM europaweit Unternehmen vernetzen lassen.

1996 wurde der erste gemeinsame ATM-Service zwischen der Deutschen Telekom und France Telecom aufgenommen.

1.1 Was spricht für ATM?

Telekommunikation ist Übermittlung, d. h. die Summe von Übertragung (auf Leitungen aller Art) und Vermittlung (in Zentralen aller Art). Bisher stand die Technik der Leitungsvermittlung im Vordergrund. Es wurde ein durchgehender Weg vom Sender zum Empfänger geschaltet und aufrechterhalten. Ursprünglich geschah dies auch physisch sehr gut sichtbar durch das Zusammenstöpseln von Kabeln. Neu und vor allem für das Internet interessant ist die Paketvermittlung. Es gibt keine fixe Verbindung zwischen Sender und Empfänger, die Daten werden tranchenweise als so genannte Pakete auf den Weg geschickt. Jedes Paket kann sich einen eigenen Weg suchen, auf jedem Verbindungsabschnitt sind Pakete unterschiedlicher Sender und Empfänger unterwegs. Das Problem ist, die Daten am Ende wieder in der richtigen Reihenfolge darzustellen.

Asynchron Transfer Modus wird als ein spezieller, **paketorientierter** Übertragungsmodus angesehen, der auf **asynchronem Zeit-Multiplex** und dem Einsatz von **Zellen** mit **fester Länge** (53 Bytes) beruht. Jede Zelle besteht aus einem Datenfeld und einem Datenkopf. Der Kopf wird vor allem zur Identifikation von Zellen und zur Durchführung der entsprechenden Wegfestlegung eingesetzt. Das Datenfeld von ATM-Zellen bleibt beim Transport durch das Netzwerk transparent.

Die Durchschaltung der Daten im ATM-basierten Netz ist **verbindungsorientiert**. Für jede virtuelle Verbindung muß im Netzwerk Bandbreite reserviert werden. Die veränderliche Bitrate beim ATM führt durch Multiplexen von Verkehrslast auf der gesamten benötigten Bandbreite zu Einsparung an Ressourcen. Diese hängt allerdings, stark von der Anzahl der gemultiplexten Verbindungen, Verkehrslast, ihre Verbindungen untereinander und der erforderlichen Dienstqualität ab. Die sehr geringen Bitfehler-wahrscheinlichkeiten heutiger Lichtwellenleiter ermöglichen den Verzicht auf eine abschnittsweise Fehlersicherung zugunsten einer höheren Übertragungsrate.

Anders als in einer Umgebung mit synchronem Übertragungsmodus gibt es in ATM **keine physische Beschränkung der Anwenderzugriffsrate** auf das physische Übertragungsmedium, außer der physischen Zellrate im Medium selbst. Im Gegenteil, Multiplexsysteme versuchen die Zellverluste zu vermeiden und so den größtmöglichen Durchsatz zu bieten, unabhängig davon, was der Anwender verschicken möchte.

1.2 Traffic Management & Quality of Service

Um Netzressourcen flexibel und wirtschaftlich zu nutzen, gleichzeitig eine bestimmte Netz- und Dienstgüte garantieren zu können, ist ein sehr leistungsfähiges Verkehrsmanagement nötig. Im wesentlichen hängen Güteparameter von den Vorgängen in der ATM-Schicht ab. Mit dem ATM-Traffic-Management werden die entsprechenden Steuerungsfunktionen definiert. Von zentraler Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der Verkehrsvertrag. Dessen Zustandekommen basiert auf der kundenseitigen Anmeldung bestimmter Eigenschaften der aufzubauenden Verbindung. Diese wiederum wird durch den Verkehrsdeskriptor, bestehend aus einem Satz von Verkehrsparametern, gebildet.

1.2.1 QoS - Dienstqualität

Wenn ein virtueller Kanal aufgebaut wird müssen sich der Kunden der Netzbetreiber über den Dienst einigen. Bei einem öffentlichen Netz kann dieser Vertrag rechtliche Auswirkungen haben. Vereinbart ein Betreiber nicht mehr als eine Zelle pro Milliarde zu verlieren, gehen pro Milliarde dann aber zwei Zellen verloren, kann es passieren, daß sich die Rechtsabteilung des Kunden über einen Vertragsbruch Gedanken macht. Ein Vertrag zwischen Kunden und dem Netzbetreiber besteht meist aus drei Teilen:

Dienstqualität (vereinbarter Dienst)

Verfügbarkeit des Dienstes (availability)

Erfüllung der Anforderungen

Im ersten Teil wird die vom Kunden gewünschte und vom Betreiber akzeptierte Dienstqualität definiert. Der zweite Teil dieses Vertrages ist die sogenannte Verkehrsbeschreibung, welche die anzubietende Last charakterisiert. Die Last als auch der Dienst müssen in Bezug auf meßbare Mengen formuliert werden, damit eine Einhaltung objektiv ermittelt werden kann. Um also konkrete Verkehrsverträge aushandeln zu können, definiert der ATM-Standard eine Reihe von QoS-Parametern, über deren Werte sich Kunde und Betreiber einigen können. Damit wird für jeden Parameter der Dienstqualität die Leistung im schlechtesten Fall spezifiziert, und der Betreiber muß diesen Wert erfüllen oder überschreiten. In manchen Fällen ist der Parameter das absolute Minimum, in anderen der Höchstwert, wobei auch hier wieder die Dienstqualität getrennt für jede Richtung spezifiziert wird.

Der dritte Teil des Verkehrsvertrags gibt darüber Auskunft, was die Befolgung der Regeln bedeutet. Wenn ein Kunde eine Zelle zu früh sendet, bricht er dann den Vertrag ? Versagt der Betreiber in der Erfüllung eines seiner Qualitätsziele um 1ms andererseits, kann er rechtlich belangt werden? Dieser Teil des Vertrages wird zwischen den Parteien verhandelt. Er bestimmt somit genau, wie die ersten beiden Teile eingehalten werden müssen.

QoS - Übersicht über die Parameter

Parameter	Abkürzung	Beudeutung
Peak Cell Rate	PCR	Max. Rate mit der Zellen gesendet werden
Sustained Cell Rate	SCR	Durchschnittliche Zellrate
Minimum Cell Rate	MCR	Minimal akzeptierte Zellrate
Cell Delay Variation Tolerance	CDVT	Maximal akzeptabler Jitter
Cell Loss Ratio	CLR	Anteil der verlorenen oder zu späten Zellen
Cell Transfer Delay	CTD	Übertragungsdauer
Cell Delay Variation	CDV	Die Varianz der Auslieferungszeit
Cell Error Rate	CER	Anteil ohne Fehler ausgelieferte Zellen
Severely-Errored Cell Block	SECBR	Anteil der völlig zerstörten Blöcke
Cell Misinsertion Rate	CMR	Anteil der an die falsche Adresse ausgelieferten Zellen

Tabelle 1: einige Quality of Service Parameter

Die Dienstqualität (QoS) einer Verbindung im ATM hängt mit der Bandbreite, der Übertragungsrate, dem Zellverlust, der Verzögerung und damit verbundenen Veränderungen zusammen. Zellen mit wichtigen Informationen können durch Angabe einer höheren Priorität im Datenkopf gekennzeichnet werden.

1.3 ATM-Netzwerke

ATM hat durch seine **Isochronität** (die Fähigkeit der gleichzeitigen Übertragung von Daten, Bildern und Sprache) die besten Voraussetzungen für Multimedia Anwendungen.

Und auch wenn man nicht in Betracht zieht, daß multimediale Anwendungen sehr verbreitet sind, so ist ATM auch für andere Einsparungen in LAN und auch WAN und MAN wegen der Kompatibilität, die es bietet, näher zu betrachten.

Die ATM-Übermittlungstechnik bietet eine sehr **flexible Art der Bandbreitenzuordnung** je Verbindung. Um die Einführung von ATM in privaten Netzen zu fördern, wurde 1991 in den U. S. A. das bereits erwähnte ATM-Forum gegründet. Durch die Flexibilität und durch diese Normierung, sowie durch die Bereitstellung höherer Bandbreiten, Skalierbarkeit der Netze und die Unterstützung zeitkritischer Anwendungen (Video- und Tonübertragung) ist ATM eine interessante Netzwerktechnologie unserer Zeit.

Die ersten Realisierungen von ATM-LAN basieren auf der ATM-Übertragungstechnik, verwenden aber die TCP/IP-Protokollfamilie.

Das ATM-Netz ermöglicht **Millionen von parallelen Schaltvorgängen pro Sekunde**, also extrem hohe Datenraten bei geringen Verzögerungen im Übermittlungsnetz. Vorteile können aber auch nur durch den Einsatz von ATM-Backbone-Netzen für vorhandene LAN-Einrichtungen erreicht werden. Die Infrastruktur kann flexibler genützt werden als es andere Verbindungen ermöglichen würden, durch die Nutzung gleicher Technologien in öffentlichen Netzen.

LAN- und Backbone-Netze auf ATM-Basis werden von fast allen Herstellern angeboten, wie zum Beispiel von "Alcatel", "Digital Equipement", "Motorola", "NorthernTelecom", "Siemens".

Die Kommunikation in einem ATM-LAN basiert auf den gleichen ITU Festlegungen wie das B-ISDN. In einem ATM-LAN können gleichzeitig mehrere Verbindungen zu unterschiedliche Anforderungen an die Übertragung unterhalten werden, die voneinander völlig unabhängig sind. Die Verbindungen können separat auf- und abgebaut werden.

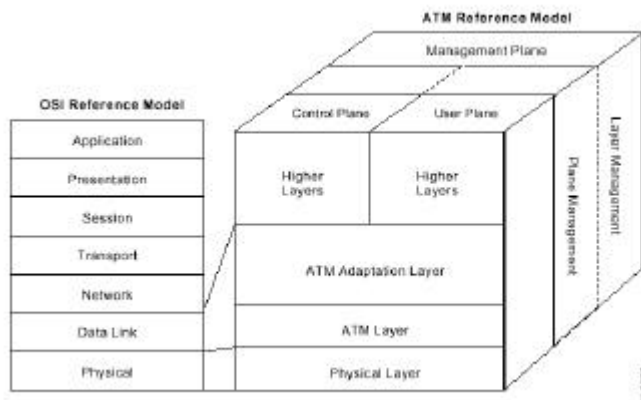
All diese einzelnen Bestandteile der multimedialen Übertragungsmöglichkeiten können in einem ATM-Netzwerk über individuell getrennte virtuelle Kanäle transportiert werden. Wegen der asynchronen Natur von ATM ist in ATM-Netzwerken keine Synchronisation der Endgeräte-Dienste mit dem Netzwerk notwendig.

ATM wurde mit dem Anspruch entworfen unterschiedlichste Dienste vermitteln zu können, ohne deren genaue Spezifikationen zu kennen. Dienste mit unterschiedlichen Bitraten (einige kBit/s bis zu GBit/s) sowie unterschiedlichem Zeitverhalten (fixe/variable Bitraten) werden innerhalb der Vermittlungseinheiten gleich behandelt.

2. Grundlegende Konzepte

2.1 ATM Referenzmodell

Für ATM wurde ein eigenes Referenzmodell entwickelt, welches sich in diversen Punkten vom klassischen OSI-Modell unterscheidet. Das ATM-Modell besteht aus drei Hauptschichten: der physischen, ATM- und ATM-Anpassungsschicht. Darauf können vom Benutzer noch weitere, eigene Schichten aufgesetzt werden. Ausserdem gibt es noch eine Steuer-, Benutzer, Schichtenmanagement- und Ebenenmanagementschicht.



2.1.1 Funktionelle Ebenen

Durch die Trennung in die unten erwähnten Ebenen wird eine konzeptionelle Trennung der verschiedenen Funktionen erreicht, was bei anderen Netzwerktechnologien in der Regel nicht der Fall ist. Dadurch kann zum Beispiel das Netzwerkmanagement oder der Aufbau von Kommunikationsverbindungen vereinfacht werden.

Benutzerebene: Die Benutzerebene ist für den normalen Datentransfer zuständig und realisiert die eigentlichen ATM-Kommunikationsdienste

Steuerungsebene: Die Steuerungsebene umfasst die Mechanismen zur Verwaltung von ATM-Kommunikationsverbindungen zwischen Sender und Empfänger

Managementebene: Die Managementebene ist für die Aufgaben des ATM-Netzwerkmanagements zuständig.

2.2 Physische Schicht

Die physische Schicht teilt sich seinerseits wieder in die Segmentierungs- und Zusammensetzungsschicht (TC = Transmission Convergence Sublayer) und die physisch medienabhängige Teilschicht (PMD = Physical Medium Dependent Sublayer). Die PMD als unterste Teilschicht bildet die Schnittstelle zum eigentlichen Kabel.

PMS: Überwacht die Übertragung des Bitstromes verbunden mit Zeitinformationen zur Synchronisation von Sender und Empfänger.

TC: Da ATM kein bestimmtes Übertragungsmedium vorgibt, entstehen hier beträchtliche Abhängigkeiten vom gewählten Medium. Die TC-Schicht befindet sich genau über der PMD und behandelt Fragen wie: Kodierung der Bits, die Eigenschaften der Glasfaser oder der Stecker, erzeugen von Prüfsummen vor der Zellenübertragung zur Fehlererkennung bzw. -korrektur

2.3 ATM Schicht

Die zweite Schicht übernimmt den Aufbau von virtuellen Verbindungen über das Netzwerk und die Weiterleitung der einzelnen Zellen zu ihrem Bestimmungsort. Damit dies durchgeführt werden kann, müssen die folgenden Aufgaben gelöst werden:

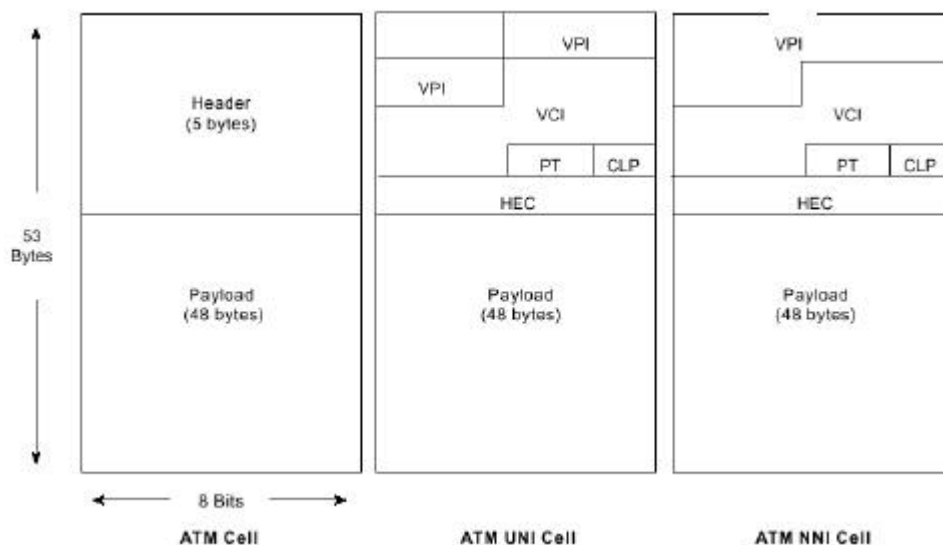
- Multiplexen und Demultiplexen der Zellen über unterschiedliche virtuelle Verbindungen
- Übersetzen und Anpassen der Verbindungsparameter in den ATM-Switches
- Hinzufügen oder Entfernen des ATM-Zellkopfes vor der Weiterleitung an die darüberliegende Schicht
- Datenflusskontrolle

Das Grundelement der ATM-Schicht ist die virtuelle Leitung (virtueller Kanal, *virtual Channel*). Ein virtueller Kanal ist eine unidirektionale Verbindung von einer Quelle zu einem Ziel (natürlich ist es möglich gleichzeitig ein Kanalpaar mit gleichen Bezeichnern zu eröffnen, damit im Vollduplexbetrieb gearbeitet werden kann). Die Kanäle können sich aber hinsichtlich ihrer Kapazität und ihren Parametern unterscheiden.

Da die ATM-Schicht als Verbindungsorientiertes Protokoll keine Bestätigung unterstützt (wurde als unnötig empfunden, da ATM für die sehr zuverlässigen Glasfasernetze ausgelegt wurde), muss bei Verlust einer Zelle die ganze Nachricht neu übertragen werden.

Es besteht aber immer die Garantie, dass die Zellen in der genau gleichen Reihenfolge ankommen, in der Sie auch versendet wurden (wichtig für Echtzeitanwendungen: Gespräche, Video etc.)

2.3.1 ATM-Zellen



Wie bereits in der Einleitung erwähnt, werden Daten in ATM-Netzen durch Zellen übertragen. Eine ATM-Zelle ist immer genau 53 Bytes gross, was im Vergleich zu anderen

Übertragungsmethoden als nicht besonders gross erscheinen mag. Es lassen sich aber einige gute Gründe für die gewählte Grösse anbringen:

- Paketverzögerung: Gerade im Bereich des Echtzeit-Datenverkehrs ist es wichtig, dass keine Verzögerungen (welche zum Beispiel beim Telefonieren nicht akzeptiert würden) entstehen. Um die Effekte dieses Problems (entstehen von Echo) zu minimieren, werden die Daten in kleine Portionen aufgeteilt.
- Varianz der Verzögerung: Der Konflikt zwischen Wartezeit und Zellgrösse kann minimiert werden.
- Fixe Zellgrösse: Die Quelldaten können relativ einfach und sehr effizient in Zellen abgefüllt werden. Durch die Weiterentwicklung der Routerhardware, verliert die fixe Grösse aber immer mehr an Bedeutung.

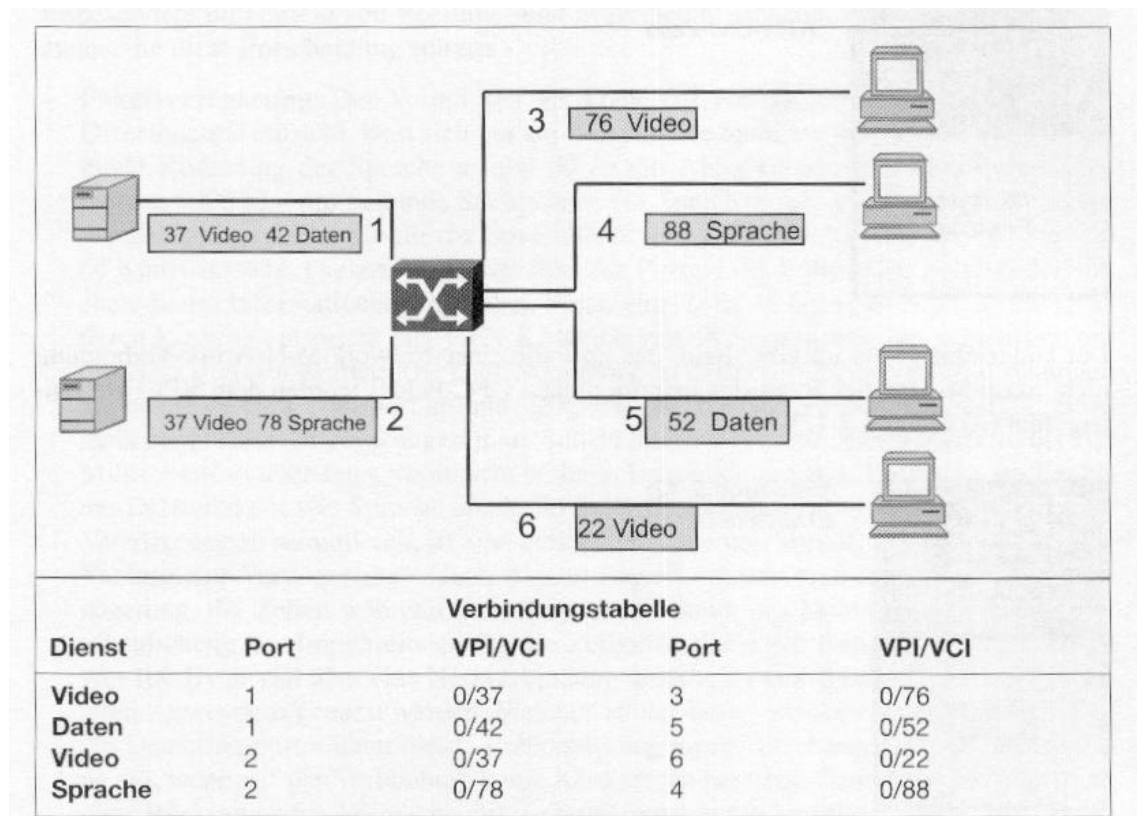
2.3.2 Zellaufbau

Je nachdem ob eine Zelle von einem Benutzer zu einem Switch oder von einer Netzwerkkomponente zu einer anderen geschickt wird unterscheidet sich deren Aufbau. Da es hier um das grundlegende Konzept geht, werden nicht die Unterschiede und die Funktionen der einzelnen Felder einer Zelle erörtert, sondern der Aufbau anhand eines Beispiels illustriert:

Eine Zelle wird mittels den bereits erwähnten virtuellen Pfaden von einem Knoten zum anderen geschickt. Diese Pfade werden mit jeweils durch die VPI (Virtual Call Identifier) eindeutig gekennzeichnet.

Die Verbindung zwischen zwei ATM-Geräten lässt sich aus einer Folge von VPI/VCI-Paaren beschreiben. Analog einer Telefonverbindung wird nach dem wählen einer Nummer eine temporäre Verbindung über diverse Vermittlungsstellen aufgebaut. Kann das Zielsystem erreicht werden, wird der ganze Datenverkehr über diese Leitung abgewickelt. Der Transport der Zellen wird in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Aufnahme der ATM-Zelle am Eingangsport des ATM-Switches
2. Lesen des VPI/VCI-Feldes
3. Such des VPI/VCI-Eintrages in der Verbindungstabelle des Switches
4. Festlegung des neuen VPI/VCI-Wertes für die nächste Teilstrecke
5. Änderung des VPI/VCI-Eintrags im Header
6. Weiterleitung der modifizierten ATM-Zelle an den entsprechenden Ausgangsport des ATM-Switches



1. Eine Zelle mit dem VPI/VCI Eintrag 0/37 (Port 1) erreicht den Switch
2. Die Verbindungstabelle wird geprüft (→ weiterleiten zu Port 3)
3. Anpassen VPI/VCI-Wert, Zelle verlässt den Switch mit geändertem Header

Das zweite Feld, das im Header der Zelle vorgesehen ist, dient zur Zusammenfassung von mehreren virtuellen Kanälen zu einem virtuellen Pfad. In Analogie zum Telefon wird der gesamte Datenverkehr, der zu einem bestimmten Zeitpunkt von zwei Systemen ausgetauscht wird, über eine Leitung geführt.

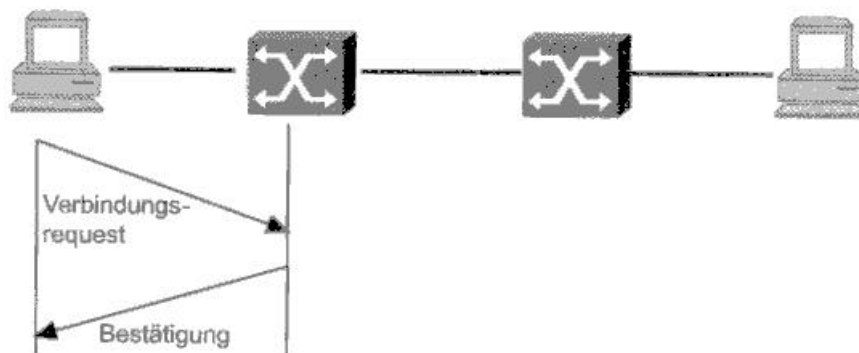


2.4 Verbindungsaufbau

Beim erstellen einer Verbindung gibt es die Möglichkeit permanente oder vermittelte virtuelle Kanäle zu verwenden. Permanente virtuelle Kanäle sind analog zu Standleitungen immer vorhanden, vermittelte dagegen müssen vor jeder Verwendung neu aufgebaut werden. Der folgende Ablauf illustriert den Aufbau einer vermittelten virtuellen Verbindung.

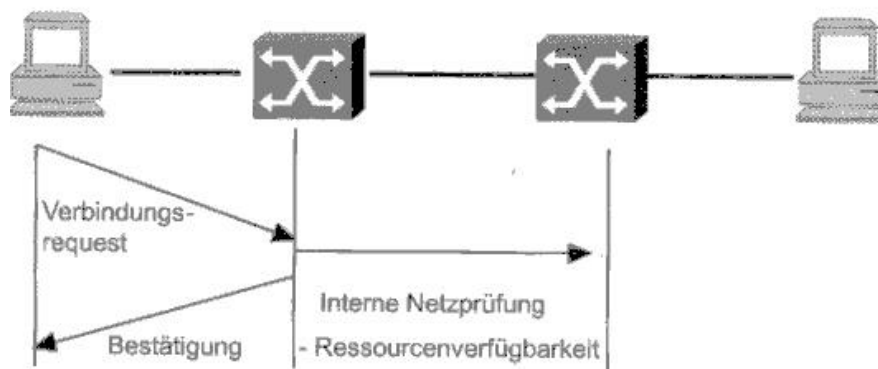
Die übliche Art eine Verbindung aufzubauen ist die Beschaffung eines virtuellen Kanals. Um einen Kanal aufzubauen (Phasen eins bis fünf) werden Zellen mit Anfragen auf den virtuellen Pfad 0 und 5 gesendet.

Phase 1



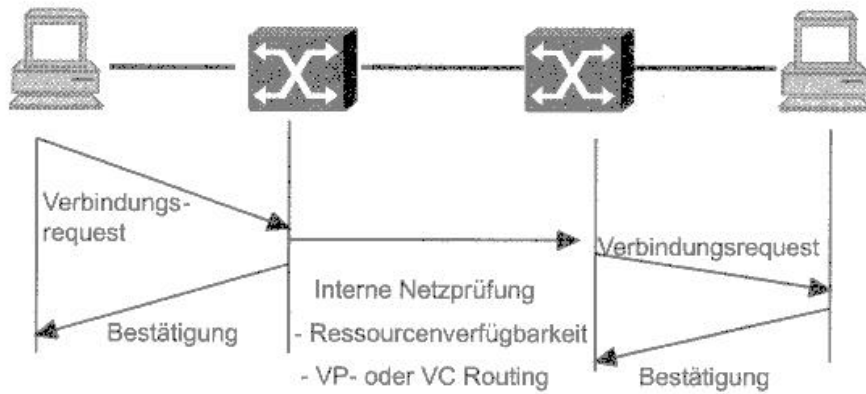
Der erste Schritt beim Aufbau einer Verbindung besteht darin, dass das Quellsystem mit einem von ihm direkt erreichbaren ATM-Switch kontakt aufnimmt. Bei dieser ersten Kontaktaufnahme werden Informationen bezüglich der anrufenden und anzurufenden Station, der Dienstgüte und der Verkehrscharakteristiken ausgetauscht. Da gleichzeitig mehrere Anfragen bei einem Switch eintreffen können, wird mit der Bestätigung die der Switch jedem Quellsystem sendet, auch eine eindeutige Kennung in Form eines VPI/VCI-Wertes zugeordnet.

Phase 2



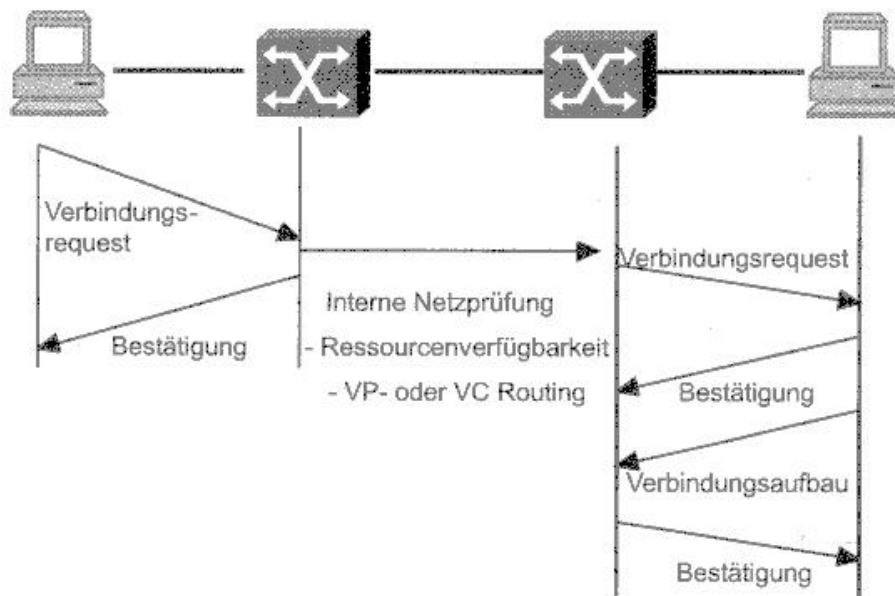
In einem zweiten Schritt prüft das Netzwerk seine Ressourcen. Das heisst, dass jeder Switch - der bis zum Zielsystem passiert werden muss - das Signalisierungspaket auswertet und die darin enthaltenen Anforderungen an Bandbreite und Dienstgüte überprüft und es an den nächsten Switch weiterleitet.

Phase 3



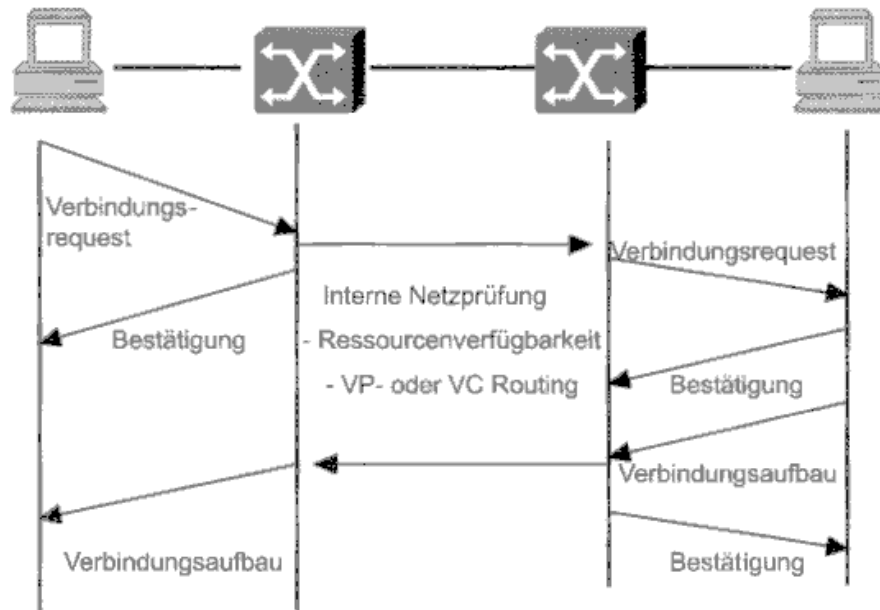
Jetzt erreicht die Nachricht zum erstenmal die Zielstation. Gleich wie in der ersten Phase findet nun ein Informationsaustausch über benötigte Ressourcen und Parameter statt.

Phase 4



Falls die Prüfung aller Anforderungen ein positives Ergebnis liefert, meldet die Zielstation ein „ich akzeptiere die Verbindung“ an den Vorgängerswitch, der diese Zusage seinerseits wieder bestätigt.

Phase 5



1

Die positive Rückmeldung wird nun von einem Switch zum anderen weitergeleitet, bis das Quellsystem erreicht wird. Jeder Knoten auf dem Rückweg stimmt der Verbindung zu und passt jetzt seine Adresstabelle an die vereinbarten VPI/VCI-Werte an. Somit besteht der Pfad von der Quell- zu Zielstation aus einer Aneinanderreihung von Tabelleneinträgen. Die Quelle erhält vom Switch – an den sie direkt angeschlossen ist – den VPI/VCI-Wert, mit dem die Zellen ans Ziel geschickt werden sollen. Kann eine Teilstrecke der Verbindung nicht aufgebaut werden, ist das Netz gezwungen, den Ursprungszustand wieder herzustellen. Dies kann je nach Pfadlänge ziemlich aufwendig sein.

2.5 ATM Adaptionsschicht (AAL)

Die AAL-Schicht teilt sich in zwei Teilschichten. Die Segmentierungs- und Zusammensetzungsteilschicht (SAR = Segmentation And Reassembly) zerlegt Pakete auf der Übertragungsseite in Zellen und setzt sie am Ziel wieder zusammen. Die obere Teilschicht (Konvergenzteilschicht; CS=Convergence Sublayer) ermöglicht dem ATM-System, mehrere Dienstarten für verschiedene Anwendungen anzubieten. Details zur AAL werden im dritten Teil behandelt

3. ATM in der Praxis

3.1 Größere Bandbreiten

Weshalb das Bedürfnis nach mehr Netzwerkkapazität respektive größeren Bandbreiten? Die Gründe sind in der Applikationsbenutzung und oder in der Neupositionierung von Netzwerkressourcen zu suchen. Die Mehrheit Ihrer Gründe lassen sich zumeist auf eine Kombination der folgenden Punkte zurückführen:

¹ Abbildungen aus [SIE97]

- Eine Verlagerung der Hauptgeschäftsapplikationen vom Terminal/ Host-Modell zum Client-Server-Modell.
- Der anhaltende Gebrauch von Computertechnologie für die Automatisierung wichtiger Geschäftsfunktionen wie die Implementation von Produktions-Workflow-Systemen. Diese Systeme werden eine immer wichtigere Möglichkeit für Unternehmen, im Betrieb effizienter zu werden und die Investitionen in die Computertechnik wieder hereinzuholen.
- Ein explosives Anwachsen der firmenweiten E-mail-Benutzung; intern unter den Angestellten und extern zwischen Kunden und Geschäftspartnern.
- Ein zunehmender Einsatz von Groupware- und Büroautomationstools, um gemeinsam Informationen zu brauchen und die Arbeit abzustimmen.
- Eine kreative Verwendung der Webtechnologie für alles, von Informationsverteilung bis Kerngeschäftsaktivität.
- Eine Verlagerung zu weniger, grösseren, zentralisierteren Servern für File-, Druck- und andere Applikationen, da Unternehmen die ehemals stark dezentralisierte LAN-Umgebung wieder unter einem zentralen Informatikmanagement zusammenfassen.

Diese Punkte haben alle etwas gemeinsam: Sie neigen dazu, relativ mehr nicht lokalen als lokalen Verkehr zu erzeugen. Nichtlokal bezieht sich auf Datenverkehr, der das traditionellerweise als lokales LAN-Segment bekannte Benutzernetz verlässt, welches oft dem lokalen TCP/IP-Unternetzwerk entspricht. Baute man vor vier oder acht Jahren ein Netzwerk auf, konnte man damit rechnen, dass rund 80 Prozent des Verkehrs auf einem bestimmten LAN-Segment ablief. Dies, weil in jener Zeit viele lokale Netzwerke für relativ nicht kritische Büroautomationsapplikationen wie Textverarbeitung und Rechenprogramme verwendet wurden.

Heutzutage hat sich dies vollkommen geändert. Die Verschiedenen Medien gehen immer mehr ineinander über. Man spricht hier von der sogenannten Medien *Konvergenz*. Die Grenzen zwischen Internet, Fernsehen, Radio und Video verwischen immer mehr. Es geht nun darum die vielen Netzsinseln und unterschiedlichen Techniken unter ein gemeinsames Dach zu bringen.

3.2 Anforderungen an ATM

ATM ist als System konzipiert, das unterschiedliche Dienste und damit Datenmengen übertragen soll. Hieraus folgen Anforderungen an verbindungsorientierte (z.B. Telefon) sowie verbindungslose (z.B. Fernsehen) Transferbereiche. Zudem sollen Dienste mit verschiedenen Ansprüchen an die Echtzeitfähigkeit unterstützt werden. Der Aufbau von ATM muß variabel an die unterschiedlichen Anforderungen anpassbar sein. Sollen sehr hohe Datenraten über längere Distanzen realisiert werden, ist dies nur auf der Basis von Glasfaserkabel möglich (kürzere Distanzen können z.B. auch mit Kupferkabel überbrückt werden). Videokonferenzen, Sprache und Datenübertragung müssen in eine Dienste-Plattform gebracht werden.

Die wesentlichen Anforderungen dabei sind:

- Breitband- und Multimedialkapazität
- flexible Bandbreite auf Abruf
- Festnetzen vergleichbare Sprachqualität
- Paket- und leitungsvermittelte Dienste
- globale Verfügbarkeit, Dienstportabilität und internationales Roaming
- terrestrische und satellitengestützte Netzzugänge innerhalb einer Systemfamilie

- einheitliche Systemplattform für Massendienste und geschlossene Benutzergruppen (Virtual Private Networks)

3.3 Performance Anforderungen

Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die möglichen Performance Anforderungen an ATM.

Dienst	Durchschn. Übertragungsrate
Sprache	32 Kbit/s
Interaktive Daten	1 - 100 Kbit/s
Massendaten	1 - 10 Mbit/s
Standard-Video	1,5 - 15 Mbit/s
highquality Videotelefonie	0,2 - 2 Mbit/s
HDTV (High Definition TV)	15 - 150 Mbit/s

3.4 IP over ATM

Damit sich ATM etablieren konnte, mussten Möglichkeiten entwickelt werden, klassische Kommunikationsprotokolle über ATM verwenden zu können. Das am weitesten verbreitete Protokoll ist zweifelsohne TCP/IP.

Vergleich IP zu ATM:

IP	ATM
Arbeitet verbindungslos	Arbeitet verbindungsorientiert
Arbeitet nach best effort Ansatz	Bietet Quality of Service
Kann über nahezu jedes Netz betrieben werden – sehr starke Verbreitung	Weit verbreitet im Backbone Bereich – ATM bis zum Desktop ist die Ausnahme

Damit ATM für vorhandene Anwendungen transparent ist, wurden verschiedene Methoden entwickelt:

- *Classical IP* der IETF (*Internet Engineering Task Force*)
- LAN-Emulation des ATM-Forums
- MPOA (*Multi-Protocol Over ATM*) (Erweiterung LAN-Emulation)

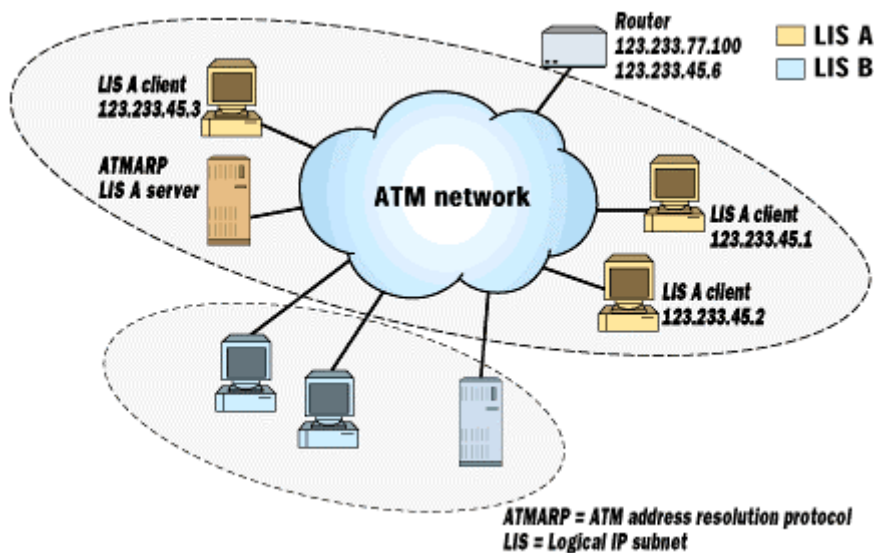
Dazu gibt es dann 3 verschiedene Service Kategorien:

Available Bit Rate (ABR) → service using explicit feedback
 Unspecified Bit Rate (UBR) → with no best effort (no guarantees),
 Guaranteed Frame Rate (GFR) → Garantierte Minimum Bandbreite

Es wird in diesem Dokument nur auf die Classical IP Methode eingegangen. Für weitere Informationen → <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/>

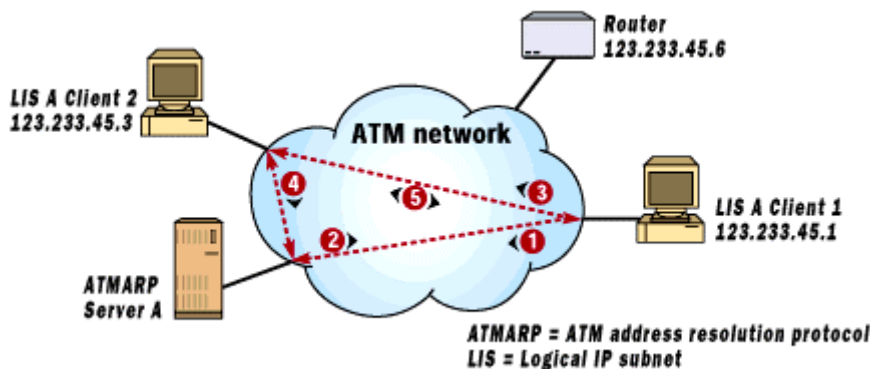
Classical IP:

Bei Classic IP over ATM steht in jedem logischen IP Subnetz ein ATMARP (ATM address resolution protocol) Server, der verantwortlich ist für das vereinbaren von IP Adressen mit ATM Adressen für die individuellen Clients. Diese Server können sowohl auf speziellen Plattformen laufen oder sie können in Netzwerkkomponenten wie Routern oder Switches integriert sein.



Der Ablauf um eine Verbindung mit classical IP over ATM aufzubauen geht folgendermassen:

1. Die sendende Station Client 1 sendet einen ATMARP request zum ATMARP Server auf seinem logischen Subnetz (LIS = Logical Ip subnet))
2. Der Server schaut, welche IP Adresse der empfangenden Station der ATM Adresse entspricht und sendet die ATM Adresse zurück zu Client 1
3. Client 1 benutzt diese Adresse um eine ATM Verindung aufzubauen
4. Client 2 erhält das erste Packet und sendet einen ATMARP request zum Server um die Adresse des Senders zu bekommen.
5. Sobald Client 2 die richtige ATM Adresse vom Server bekommen hat, können die zwei Clients direkt miteinander kommunizieren ohne zusätzliche Einflussnahme des Servers.



Man sieht nun, dass hier ATM grundsätzlich ein 'geschaltetes' Netz ist - die angeschlossenen Geräte werden über Switches praktisch direkt miteinander verbunden. Dies entspricht etwa der Technik bei Telefonnetzen (wo ATM ursprünglich auch herkommt), bei der eine direkte Verbindung zwischen zwei Teilnehmern etabliert wird. Bei ATM besteht sie allerdings nur virtuell.

3.5 ATM Benutzung heute

Für die Verbindung großer Netze oder im Weitverkehrsbereich hat ATM auf Grund seiner Eigenschaften eine recht große Verbreitung gefunden. Garantierte Bandbreiten, die jeder einzelnen angeschlossenen Station zur Verfügung gestellt werden können und die Möglichkeit, speziellen Datenverkehr mit Prioritäten zu versehen, machen ATM auch für sehr hohe Ansprüche etwa bei Multimedia-Netzen zur ersten Wahl. ATM hat sich indes zur bevorzugte Backbone-Technik gemausert und gilt als die Schlüsseltechnologie im WAN/GAN. Sie wird von den meisten grossen Telekommunikationsfirmen, Carriern, ISP's und Wiederverkäufern benutzt und angeboten.

Im universitären Bereich hat ATM Einzug gehalten. In Deutschland sind viele Hochschulen durch ATM vernetzt. Worldcom Schweiz stellt dem Schweizer Forschungsnetz Switch eine 155-MBit-Verbindung von Zürich in die USA zur Verfügung. Worldcom bietet aber über ihr paneuropäisches Netzwerk Bandbreiten mit 2, 45 und 155 MBit an.

BT wiederum hat ein europaweites Netzwerk mit tausenden von Kilometern und 200 Zugangsknoten schaffen, indem es die Netzwerke der nationalen Partner verbindet. Die Dienste werden nicht nur eigenen Kunden, sondern auch jenen zugänglich gemacht werden, die Kunden der verschiedenen europäischen «Joint-ventures» von BT - etwa Sunrise in der Schweiz - in Europa sind.

4. Bewertung von ATM

4.1 Einführung

ATM wurde zu einer Zeit entwickelt, als die alten Telecom-Monopole noch intakt waren. ATM fokussiert sehr stark auf Parametern, welche traditionell sehr wichtig für die Telecom-Anbieter waren, wie beispielsweise Quality of Service (QoS), das Konzept der im voraus festgelegten Routen (Virtual Circuits, Virtual Paths). Die Netzwerkwelt von heute hat sich radikal verändert. Das Internet hat sich zum Massenmedium entwickelt, und dabei das Wachstum das allgegenwärtigen TCP/IP gefördert. Im lokalen Netzwerk (LAN) hat Ethernet alle anderen Technologien mit Abstand hinter sich gelassen. Diese beiden Entwicklungen haben gemeinsame Charakteristiken, welche sie stark von den Konzepten unterscheiden, welche zur Entwicklung von ATM führten.

Das Internet wurde entwickelt, um ein fehlertolerantes System bereitzustellen, welches selbst beim Ausfall grosser Teile weiter funktionieren würde. Höchstleistung und Vorhersagbarkeit wurden für zusätzliche Flexibilität geopfert. TCP/IP ist in seinem Kern sehr unvorhersagbar. Obwohl es Bemühungen gibt, diese Schwächen zu beseitigen (wir werden später darauf zu sprechen kommen), ist IP nicht für Quality of Service entwickelt worden. Folgerichtig sind diese Erweiterungen von TCP/IP keine perfekte Lösung. Und trotz diesen Schwächen hat sich TCP/IP durchgesetzt. TCP/IP wird noch lange im Markt sein.

ATM muss sich dieser neuen Weltordnung anpassen, oder wird still verschwinden. ATM hat allerdings Anwendungsgebiete gefunden, wo es seine Stärken sehr gut ausspielen kann. Wir werden also die momentanen Vor- und Nachteile von ATM angesichts des Internet betrachten, und schliesslich noch einen Blick in die Zukunft werfen.

4.2 Pro ATM

ATM wurde als Telefon-Netzwerk der nächsten Generation entwickelt. Und es hat sich in dieser Funktion bewährt. Wenn echte Quality of Service benötigt wird, führt kein Weg an ATM vorbei, da nur ATM zuverlässiges QoS bieten kann. Diese Tatsache wurde zum Aufbau eines Hochgeschwindigkeits-Backbones genutzt, eine Domäne, wo ATM seine Stärken voll ausspielen kann. Während Routing in den Netzen, welche zum Backbone führen, erhebliche Vorteile aufweist, ist es nicht sehr geeignet für Hochgeschwindigkeits-Punkt-zu-Punkt Verbindungen, und darum geht es im Backbone. Warum dies so ist, zeigt folgende Überlegung: Die Leistung von Computern hat in den letzten drei Jahrzehnten etwa um das Zehnfache pro Jahrzehnt zugenommen, während die Kommunikationstechnologie im gleichen Zeitraum um das Hundertfache pro Jahrzehnt schneller wurde. Mit heutiger Technologie sind Bandbreiten jenseits von 50 Terabits pro Sekunde möglich, und das Rennen nach besseren Materialien ist sehr intensiv. Die alte Faustregel war, dass Computer schnell und Kommunikation langsam seien, die neue sollte sein, dass es im Prinzip unlimitierte Bandbreite gibt (allerdings nicht gratis), und dass Netzwerke Berechnungen um jeden Preis vermeiden sollten, ungeachtet davon, wieviel Bandbreite dies verschwendet.

Einfache Protokolle sind das A und O im Netzwerk. Daraus folgt direkt, dass ein Netzwerk mit Zellen fester Grösse und im voraus festgelegten Routen einem Netzwerk, welches auf variablen Paketgrössen und Routing beruht, überlegen ist, was die Geschwindigkeit angeht. Die feste Zellgrösse von ATM ist daher ein entscheidender Vorteil für die Skalierbarkeit von ATM. ATM wird momentan mit 2.4 Gigabit pro Sekunde betrieben (ursprünglich waren es 155 Megabit pro Sekunde), und noch ist kein Limit in Sicht. Zusammenfassend kann man sagen, dass ATM sehr geeignet ist, um eine wichtige Rolle im Backbone / Telecom-Anbieter Bereich zu spielen.

4.3 Contra ATM

Wenn man vor einigen Jahren einem Telecom-Ingenieur oder besser noch einem Telecom-Verkaufsmanager einen Service wie RealVideo beschrieben hätte, und ihn um seine Meinung nach den Marktchancen eines solchen Service gefragt hätte, hätte er vermutlich geantwortet, dass ein so unzuverlässiger Service wohl kaum Kunden finden würde. Und dennoch haben haben die sogenannten Streamed Media, auf UDP basierend, einen grossen Markterfolg erzielt. Am Ende geht es immer ums Geld. Obwohl Dienstleistungen mit konstanter Bitrate (CBR) von der Qualität her wünschbar sind, sind sie gar nicht so oft erforderlich, wie es einem das Marketing der Telecom-Anbieter weismachen wollte. Die Konsumenten finden sich mit Qualitätseinbussen ab, wenn sie dafür signifikant tiefere Preise erhalten. Beispiele dafür sind der IBM PC, der Krieg zwischen VHS und Betamax, oder die Mobiltelefonie.

All diese Technologien haben sehr grosse Skalengewinne, und ehrlich gesagt trifft dies auf den ATM-Markt mit seinen 100'000 verkauften Einheiten nicht zu, wenn man diese Zahl mit den 100 Millionen verkauften Ethernet-Einheiten vergleicht. Teure Hardware führt zu einem kleinen Markt sowie wenigen und teuren Experten. In den Tagen der Telecom-Monopole waren diese Skalengewinne nicht so relevant, da die Telecom-Anbieter hohe Kosten auf die

Kunden abwälzen konnten. Die Computerindustrie dagegen war schon früh sehr kompetitiv. Daher haben sich billige Technologien im PC-Markt durchgesetzt, wie beispielsweise Ethernet oder schliesslich TCP/IP. Zudem war ATM nicht für den Einsatz im LAN vorgesehen, da ATM Funktionen wie Broadcasting und Host Discovery fehlen. Broadcasting bietet die Möglichkeit, alle Geräte in einem Netzwerk zu adressieren, und Host Discovery erlaubt es angeschlossenen Geräten, Informationen über das Netzwerk, an dem sie angeschlossen sind, zu erhalten. Beides sind wichtige Funktionen in einem LAN. Diese Funktionen können mit Hilfe von Techniken wie LES (Lan Emulation Server) oder BUS (Broadcast/Unknown Server) nachgebildet werden, aber sie sind schlussendlich ebenso Flickwerk wie die TCP/IP-basierten Quality of Service Mechanismen.

4.4 Neue Entwicklungen

Momentan sind 46 RFCs, 33 Internet Drafts und 50 ATM Forum drafts, welche sich mit ATM beschäftigen, in Bearbeitung. Dies zeigt sehr deutlich, dass es Bemühungen gibt, das Funktionieren verschiedener Netzwerktechnologien miteinander sicherzustellen. Wenn das Internet eine Lektion zu erteilen hat, so muss es die der offenen Standards sein. Das Internet und verwandte Phänomene wie die New Economy sind nur möglich aufgrund der Existenz offener Standards, welche von unparteiischen Komitees festgelegt wurden. Die entscheidende Einsicht ist, dass jede Technologie ihre Vor- und Nachteile hat.

IP über ATM sticht aus den zahlreichen Standardisierungsbemühungen heraus. Es verspricht, einige der besten Eigenschaften der beiden Technologien zusammenzubringen, und könnte genau die Lösung sein, welche für die zunehmend mehr ausgelasteten Backbone Netzwerke benötigt wird, wo schon heute der Zusatzaufwand durch Routing enorm ist. IP über ATM verspricht Quality of Service ins Backbone zu bringen, wo es wirklich darauf ankommt, und gleichzeitig kompatibel mit der enormen Investition in TCP/IP-basierte Hard- und Software zu bleiben. Sogar ATM Hersteller preisen ATM als eine Lösung für den Backbone Bereich. Sie haben realisiert, dass sie im LAN nicht konkurrenzfähig sind. Stattdessen sprechen sie von Gigabit Ethernet als "exzellentem Zulieferer zu ATM Backbones".

Ganz klar ist der Schwerpunkt der verschiedenen Initiativen bei TCP/IP. Erweiterungen zu TCP/IP werden von Schwergewichten wie Cisco Systems (vorletzte Woche kurz die wertvollste Firma der Welt) energisch entwickelt, da der potentielle Ertrag so gross ist. Das Versprechen eines einzigen Protokolls, welche alle verschiedenen Netzwerke vereint, ist sehr verlockend. ATM wird daher auch in seinen Stärken konkurrenziert, etwa bei QoS. Wie schon erwähnt ist das Erzielen von QoS mit TCP/IP nicht ganz einfach, und entsprechend gibt es keine Gesamtlösung, welche TCP/IP auf einen Schlag mit QoS erweitern würde. Vielmehr kombiniert man Routingprotokolle, welche um Service Qualität und Priorität erweitert wurden (MPLS, Multiprotocol Label Switching) mit Protokollen, welche die Funktionalität von TCP in diesem Bereich erweitern (RSVP, Ressource Reservation Protocol). Das Ziel von MPLS ist es, die Last der Core Router im Internet zu verkleinern, indem Konzepte wie im voraus festgelegte Routen (Circuits und Paths in ATM Terminologie) und Verkehrsklassen (CBR, ABR und VBR bei ATM) eingeführt werden. RSVP kann benutzt werden, um beim Verbindungsaufbau diese gewünschten Service-Charakteristiken nachzufragen.

Auf den ersten Blick könnte man meinen, ATM könne vollständig durch ein IP-basiertes Netzwerk, welches durch neue Protokolle wie MPLS und RSVP erweitert wurde, abgelöst werden. Und glaubt man den Versprechen einiger Hersteller, dann wird genau dies auch passieren. Andererseits geben sogar die Architekten von MPLS und RSVP zu, dass die

Erwartungen an ihre Technologien völlig überrissen sind, und dass man im Kopf behalten müsse, dass zuverlässiges QoS auch mit diesen Technologien nicht möglich sein wird. Denn im Kern basieren diese Protokolle immer noch auf IP, welches verbindungslos arbeitet. Die RSVP/MPLS Kombo wird also "best-effort" QoS bieten, aber nicht mehr.

Es gibt jedoch noch mehr Konkurrenz für ATM, nämlich auf Schicht 2 des OSI Modells. SONET/SDH sind physikalische Protokolle, welche auf Glasfaser-Verbindungen benutzt werden, also im Backbone globaler Telecom-Anbieter. SONET ist sehr verbreitet bei Telecom-Anbietern, und tatsächlich läuft ein grosser Teil des ATM-Verkehrs über SONET Netzwerke. Oberhalb SONET läuft in der Regel ATM. Zunehmend wird allerdings auch PPP anstelle von ATM eingesetzt. PPP ist ein serielles Protokoll, welches von HDLC abstammt, und welches sehr stark abgespeckt werden kann. PPP ist momentan in Gebrauch über Telefonlinien für die Anbindung von Modems an ISPs, sowie über Ethernet im XDSL, also im Kabelmodem Bereich. PPP ist protokollunabhängig, wird aber sehr häufig zusammen mit TCP/IP eingesetzt. PPP über SONET wird momentan standardisiert. Dies konkurriert auf einer anderen Ebene mit ATM als TCP/IP. Während TCP/IP mehr oder weniger die Schichten 3 und 4 des OSI Modells abdeckt, befindet sich PPP auf Schicht 2, und ATM kann die Schichten 2 bis 4 abdecken.

4.5 Fazit

Es gibt einen klaren Trend, die beiden Technologien, welche um die Vorherrschaft im Internet kämpfen, TCP/IP und ATM, näher zusammen zu bringen. Während TCP/IP Funktionen von ATM wie QoS oder im voraus festgelegte Routen mit Hilfe von MPLS/RSVP erhält, wird ATM als Transport für IP eingesetzt. Welche Technologie sich durchsetzen wird, ist schwer abzuschätzen, aber beide Technologien werden sicherlich eine lange Zeit nebeneinander existieren, nur schon weil die Telecom-Anbieter ein enormes Investment in ATM getätigt haben.

5. Abkürzungsverzeichnis

AAL:	ATM adaption layer
ABR:	bit rate
ATM:	asynchronous transfer mode
B-ISDN:	broadband integrated services digital network
BUS:	Broadcast/Unknown Server
CBDS:	connectionless broadband data service
CBR:	Constant bit rate
CLP:	cell loss priority
CLS:	connectionless server
CRC:	cyclic redundancy check code
CS:	convergence sublayer
CS-PDU:	CS protocol data unit
DQDB:	distributed queue dual bus
FPGA:	field programmable logic array
FR:	frame relay
GCRA:	generic cell rate algorithm
HEC:	header error control
ICIP:	interchange carrier interchange protocol
LES:	Lan Emulation server
MPLS:	Multiprotocol Label Switching
NNI:	network network interface
OAM:	operation and maintenance

PMD:	Physical Medium Dependent Sublayer
PPP:	Point to Point Protocol
PT:	payload type
QoS:	quality of service
RFC:	Request for Comment
RSVP:	Resource Reservation Protocol
SAR:	segmentation and reassembly sublayer
SDH:	Synchronous Digital Hierarchy
SIP:	SMDS interface protocol
SMDS:	switched multimegabit data bus
SONET:	synchronous optical network
STD:	synchronous time division
STM:	synchronous transfer mode
TC	Transmission Convergence Sublayer
TCP/IP:	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDM:	Time division multiplex
UNI:	user network interface
VBR:	Variable Bit Rate
VCI:	virtual channel identifier
VPI:	virtual path identifier
XDSL:	Digital Subscriber Line (X steht für verschiedene Untertechnologien, wie A oder V)

6. Literatur

- [Dec94] M. Decina, *Multistage shuffle networks with shortest path and deflection for high performance ATM switching*, IEEE Transactions on Communications Vol. 42, **Nov. 1994** (No. 11), **page 3034 - 3044**
- [Fis93] Wolfgang Fischer, *Datenkommunikation mittels ATM-Architekturen, Protokolle, Betriebsmittelverwaltung*, In Informationstechnik und Technische Informatik 5/93, R. Oldenburg Verlag, **1993**
- [Hew94] *The HP Broadband Series Test System*, Hewlett-Packard Company, USA, **1994**
- [Kya93] Othmar Kyas., *ATM-Netzwerke: Aufbau, Funktion, Performance*, DATACOM-Verlag, Bergheim, **1993**
- [LES93] I. Leslie & P. Mc.Aoley, *ATM: Theory and Practice*, Präsentationsunterlagen Siemens, **1993**
- [Pry94] Martin de Prycker, *Asynchronous Transfer Mode, Die Lösung für Breitband-ISDN*, Prentice Hall Verlag GmbH, München, **1994**
- [Sie94] Gerd Siegmund, *ATM in lokalen Netzen*, Zeitschrift: Nachrichten und Elektronik, 5.Ausgabe **Sept/Okt. 1994**
- [ÖPT95] *Breitbandkommunikation mittels ATM-Technologie*, Informationsheft der österreichischen Post, **1995**
- [TAN98] Andrew S. Tannenbaum, *Computernetzwerke*, **1998**
- [RIG98] Wolfgang Riggert, *ATM – Technik und Einführung*, **1998**
- [SIE97] Gerd Siegmund, *ATM – Die Technik Grundlagen, Netze Schnittstellen, Protokolle*, **1997**

7. Seiten im Internet

www.atmforum.com

www.telematik.informatik.uni-karlsruhe.de/lehre/vorlesungen

www.uni-muenster.de/ZIV/Rechnernetz/Vorlesungen/SS98_KommunikationstechnikEinfuehrung/06_Neuere_Entwicklungen/ATM/index.htm

www.rvs.uni-hannover.de/arbeiten/studien/sa-neitzner/online/node65.html

www.lrz-muenchen.de/services/schulung/unterlagen/atm

www.inf.fu-berlin.de/lehre/SS98/ATM/va/Seminar.html

www.rz.uni-frankfurt.de/netz/atm.html

www.ibh.de/present/atm-ibh-98-abp/index.htm

si.kom.tuwien.ac.at/Verschiedenes/atm.html

www.data.com/issue/990421/atm.html

www.welt.de/daten/1996/01/08/0108ws98185.htx

www.welt.de/daten/1996/03/05/0305wi100092.htx

www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc

http://www.atmforum.org/atmforum/library/53bytes/53_2_99/53_2_99_02.html

<http://www.data.com/issue/990421/atm.html> ATM. the technology that would not die

<http://www.data.com/tutorials/backbones.html> Battle of the backbones: ATM vs Ggabit Rthernet

<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2615.txt> PPP over SONET/SDH

<http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/>

<http://www.techweb.com>

<http://www.heise.de>

<http://www.computerworld.ch>

<http://www.rvs.uni-hannover.de/people/gruen/vortraege>