

2. ATM - Normierungsstand und -entwicklung

2.1. Grundlagen

ATM (Asynchronous Transfer Mode) wurde 1989 vom damaligen CCITT als Übertragungsverfahren für das zukünftige Breitband-ISDN ausgewählt.

Die logische B-ISDN-Netzwerkarchitektur wurde in Anlehnung an das OSI-Referenzmodell aus vier voneinander unabhängigen Kommunikationsebenen zusammengesetzt. Die vier Schichten des B-ISDN-Referenzmodells (siehe Bild 2-1) werden über die folgenden drei Ebenen miteinander verbunden: Benutzerebene (User Plane), Steuerebene (Control Plane) und Managementebene (Management Plane).

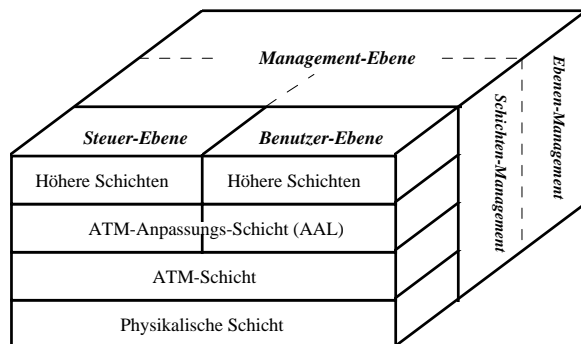


Bild 2-1 : B-ISDN-Referenzmodell

ATM gehört im Gegensatz zu den bisherigen Technologien nicht zur Gruppe der Shared-Media-LANs. Es eignet sich deswegen auch optimal für den Einsatz in LANs und WANs und erlaubt völlig neue Konzepte, wie z.B. die Bildung virtueller Netze.

ATM ist ein Vermittlungsverfahren, das unterschiedliche Dienste wie Daten, Sprache und Video in einem einheitlichen Netz transportieren kann. Die Unterschiede zu der bisherigen LAN-Technik sind im wesentlichen:

1. Übertragung über dedizierte Verbindungen:

Bei ATM verfügt jeder Teilnehmer über die volle Bandbreite von derzeit bis zu 622 Mbit/s, wobei je nach Applikation die benötigte Bandbreite variabel zugeteilt werden kann.

Ein weiterer Vorteil solcher dedizierter Verbindungen ist die Übertragungssicherheit zwischen zwei kommunizierenden Teilnehmern.

In Shared LANs wie Ethernet-, Token Ring- oder FDDI-Netzen hingegen teilen sich die einzelnen Teilnehmer die zur Verfügung stehende Bandbreite, der Zugriff auf das Medium erfolgt zufallsbasierend (Ethernet, CSMA/CD) oder deterministisch (Token Ring, FDDI).

2. Zellen fester Größe:

Im Gegensatz zu den variablen Paketlängen bei Ethernet, Token Ring oder FDDI arbeitet ATM mit Zellen fester Größe. Diese Zellen sind 53 Byte lang, wobei 48 Byte für die Nutzerdaten und 5 Byte für den Header reserviert sind.

Aufgrund der einheitlichen Zellgröße können für zeitkritische Dienste mit einem bestimmten Bandbreitenbedarf, wie beispielsweise Video oder Sprache, eine entsprechende Anzahl von Zellen innerhalb eines definierten Zeitintervalls zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig können die noch freien Zellen für reine Datenübertragung genutzt werden.

3. verbindungsorientiertes Übermittlungsverfahren:

Bei ATM wird vor der Übertragung eine sog. virtuelle Verbindung/Pfad zwischen Sender und Empfänger aufgebaut. Dabei kann ein Virtueller Pfad (VP) aus mehreren Virtuellen Kanälen (VC) bestehen. Die Pfade und Kanäle wiederum haben eigene Identifizierungszeichen, sog. Virtual Path Identifier (VPI) bzw. Virtual Channel Identifier (VCI), mit denen jede zu übertragende Zelle im Kopffeld (Header) gekennzeichnet wird.

Jede ATM-Zelle kann so einzeln adressiert und aufgrund der Kennzeichnung durch den entsprechenden Ausgangsport des Switches an ihren Zielort transportiert werden. Mit Hilfe dieser Kennzeichnungen können redundante Wege, flexible Bandbreitenzuordnung oder Lastausgleich über unterschiedliche virtuelle Kanäle realisiert werden.

Die zu übertragenden Daten werden von unterschiedlichen Endgeräten an das ATM-Netz gesendet. Die Segmentierung der Daten in ATM-Zellen kann vom Endgerät, z.B. einer Workstation oder Router, oder von einem zusätzlichen Gerät, einer sog. Data Service Unit (DSU) vorgenommen werden.

Die so aufbereiteten Zellen werden am Eingangsport des ATM-Switches mit entsprechenden Routing- und Dienstinformationen im Header versehen und erreichen auf den entsprechenden Kanälen und Pfaden den Empfänger. Dort werden die ATM-Zellen wieder in das ursprüngliche Signal zurückgewandelt.

Bild 2-2 zeigt das asynchrone Übertragungsprinzip von ATM-Zellen [BAD95].

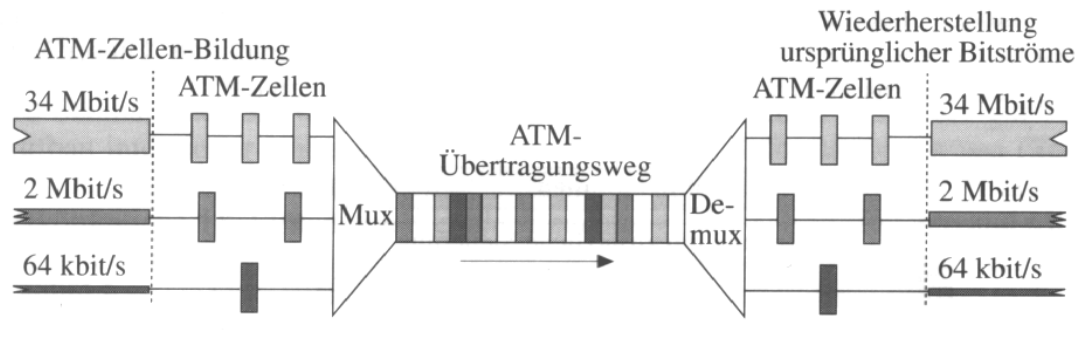


Bild 2-2 : Asynchrone Übertragung von ATM-Zellen

Bei der Kommunikation über ein ATM-Netz unterscheidet man zwischen einer virtuellen Festverbindung (PVC) und einer Wählverbindung (SVC). Bei den PVCs erfolgt eine feste Zuordnung der Bandbreite für die Dauer der Kommunikation. Die Verbindung muß entsprechend durch Konfiguration auf- und wieder abgebaut werden. SVCs hingegen werden durch Übertragung eines Signalisierungskanals vom Sender über den Switch bis zum Empfänger selbsttätig auf- und wieder abgebaut, wobei die Bandbreite dynamisch zugeteilt wird.

Die zwei Gremien, die die Entwicklung des ATM-Standards vorantreiben, sind die ITU (International Telecommunications Union), und das ATM Forum.

Die ITU wurde im Jahre 1932 unter dem Namen CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) gegründet und 1993 in ITU umbenannt. Sie setzt sich aus den jeweiligen nationalen Organisationen für den Daten- und Telekommunikationsbereich (derzeit 164 Mitgliedsländer) zusammen.

Das ATM Forum wurde im September 1991 von Cisco Systems, NET/Adaptive, Northern Telekom und US-Sprint gegründet. Mittlerweile gehören dem ATM Forum mehr als 700 Mitglieder an, darunter viele Hersteller. Ziel ist es, ergänzend mit der ITU Vorschläge der Industrie in die Gestaltung der Standards einfließen zu lassen.

Daneben gibt es noch z.B. das IAB (Internet Architecture Board), darunter die IETF (Internet Engineering Task Force), eine Interessengruppe, die Standards für TCP/IP und das Internet unter dem Namen RFC (Request for Comments) bestimmt hat.

Die für die ATM-LAN-Welt wichtigsten Spezifikationen des ATM Forums sind PNNI (Private Network Network Interface), UNI (User Network Interface), LANE (LAN Emulation) und MPOA (Multiprotocol over ATM).

Maßgebend für die Leistungsfähigkeit des ATM-Netzes ist darüberhinaus die Verkehrsflußkontrolle, die in der Traffic Management Spezifikation (TM 4.0) definiert wird.

Daneben sind noch die beiden Standards des Classical IP over ATM (IAB RFCs 1483 u. 1577) zu nennen.

In diesem Kapitel werden die genannten Normierungen kurz beschrieben und gegeneinander abgewogen sowie Ausblicke auf die weitere Normierungsentwicklung aufgezeigt. Für detaillierte Beschreibungen wird auf die in den Kapiteln angegebenen Quellen von ATM Forum, ITU und IAB verwiesen sowie auf: [ALL95], [BAD94], [CLA96], [GÖT97], [HEI96], [KYA96] und [Anlage 1].

2.2. UNI / NNI

2.2.1. Signalisierung (Q.2931)

Q.2931 ist das Signalisierungsprotokoll im ATM, das dem Verbindungsaufbau, Verbindungsabbau sowie der Verbindungskontrolle dient [Q2931]. Das Q.2931-Protokoll stellt wegen der Komplexität des Vorgangs eine breite Funktionalität zur Verfügung. Eine Vielzahl von Signalisierungskanälen hat die Aufgabe, unterschiedliche Verkehrsparameter wie ATM-Anpassungsschicht-Typ, garantiertes/nichtgarantiertes Übertragungsverfahren, Bitrate, Zellen-Verlustrate, Zellen-Verzögerung etc. zu vereinbaren. Zusätzlich müssen neuartige Verkehrstopologien wie Mehrpunktverbindungen oder Broadcast-Verbindungen bewältigt werden.

Die Signalisierungsabläufe innerhalb von Q.2931 können funktional in zwei Abschnitte untergliedert werden, und zwar in den Verbindungsaufbau senderseitig und den Verbindungsaufbau empfangsseitig. Senderseitig kann das Protokoll erst eingesetzt werden, wenn ein virtueller Kanal (VC) zwischen Benutzer und Netzwerk besteht. Erfolgt der Verbindungsaufbau von der Empfängerseite aus, dann wird der Empfangsstation vom Netzwerk aus ein ankommender Ruf signalisiert. Die Empfangsstation führt daraufhin bezüglich der Verkehrsparameter und der Dienstgüte eine Kompatibilitätsprüfung durch und bestätigt diese. Danach wird die Verbindung aktiviert.

Das Q.2931-Protokoll besteht aus folgenden Funktionselementen: Protokoll-Diskriminator, Call-Reference, Message-Typ, Message-Länge etc., die je nach Bedarf verwendet werden.

Q.2931 wird für den Verbindungsaufbau über öffentliche und private UNI-Schnittstellen sowie über private NNI-Schnittstellen benutzt.

Bild 2-3 veranschaulicht das Signalisierungskonzept in ATM-Netzen sowohl über UNIs (User Network Interfaces) als auch über NNIs (Network Network Interfaces) [BAD95].

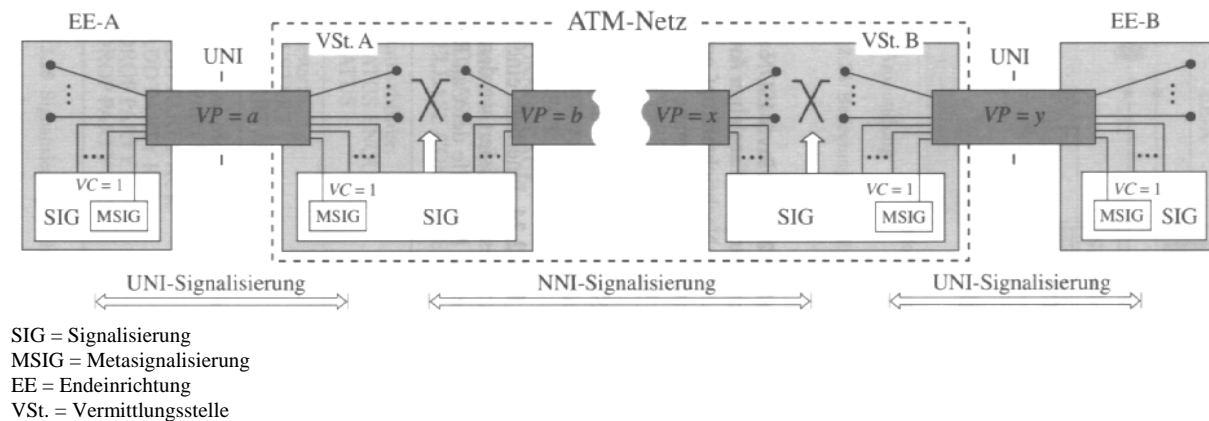


Bild 2-3 : Signalisierung in ATM-Netzen

Die Metasignalisierung (MSIG), eine Art Signalisierung der Signalisierungskanäle, wurde von der ITU unter Q.21220 festgelegt. Bei dieser Signalisierung werden alle Befehle in der ATM-Zelle untergebracht und über einen reservierten ATM-Kanal versendet.

Die Metasignalisierung erfüllt drei Aufgaben: den Aufbau, den Abbau und die Überprüfung der Signalisierungskanäle. Erst nach dem durch die Metasignalisierung erfolgten Verbindungsaufbau über einen Virtuellen Kanal (VC), wird das Signalisierungsprotokoll Q.2931 aktiv.

2.2.2. UNI

Die Teilnehmer-Schnittstelle wurde vom ATM Forum unter dem Namen UNI (User Network Interface) spezifiziert. Die privaten ATM-Switches verhalten sich dabei wie ein öffentlicher Teilnehmer.

Die UNI definiert die Physik und die ATM-Protokolle bzw. die Signalisierung für den Verbindungsaufbau bei geschalteten Verbindungen (SVC, Switched Virtual Circuit). Es wird je nach Funktionalität zwischen Private UNI (UNI) oder Public UNI (P-UNI) unterschieden. Der wesentliche Unterschied dieser beiden Schnittstellen liegt auf physikalischer Ebene, da verschiedene Distanzen überbrückt werden müssen. Während im privaten Bereich meistens nur geringe Entfernungen zwischen den Systemen bestehen (z.B. innerhalb eines Gebäudes), herrschen in öffentlichen Netzen sehr viel größere Distanzen vor. Über P-UNI werden private ATM-Switches oder öffentliche Teilnehmer am öffentlichen ATM-Netz angeschlossen.

2.2.3. UNI 3.0

UNI 3.0 beruht auf der Signalisierung nach Q.931B, einer Vorläuferversion von Q.2931. UNI 3.0 wurde im September 1993 vom ATM Forum publiziert [UNI30].

Die Signalisierungsnachrichten an der Schnittstelle UNI 3.0 sind in Tabelle 2-1 zusammengestellt.

Nachricht	Funktion
<i>Verbindungsaufbau:</i> SETUP CALL PROCEEDING CONNECT CONNECT ACK	Initialisierung des Verbindungsaufbaus Verbindungsaufbau hat begonnen Verbindung wurde akzeptiert Quittung auf CONNECT
<i>Verbindungsabbau:</i> RELEASE RELEASE COMPLETE	Initialisierung des Verbindungsabbaus Verbindung wurde abgebaut
<i>Statusabfrage:</i> STATUS ENQUIRY STATUS	Forderung einer STATUS-Nachricht STATUS-Nachricht bzw. Fehleranzeige
Restart: RESTART RESTART ACK	Restart-Aufforderung Quittung auf Restart
<i>Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen:</i> ADD PARTY ADD PARTY ACK ADD PARTY REJ DROP PARTY DROP PARTY ACK	Verbindungsaufbau zum neuen Teilnehmer Quittung auf ADD PARTY Absage der ADD PARTY-Ausführung Verbindungsabbau zu einem Teilnehmer Quittung auf DROP PARTY

Tabelle 2-1 : Signalisierungsnachrichten nach UNI 3.0

Der Verlauf der UNI-Signalisierung beim Auf- und Abbau einer ATM-Verbindung ist in Bild 2-4 dargestellt [BAD95]. Dabei beschreibt der obere Abschnitt den Signalisierungsaufbau und der untere den Signalisierungsabbau zwischen Vermittlungsstelle (Vst.) und Endeinrichtung (EE) gemäß Tabelle 2-1.

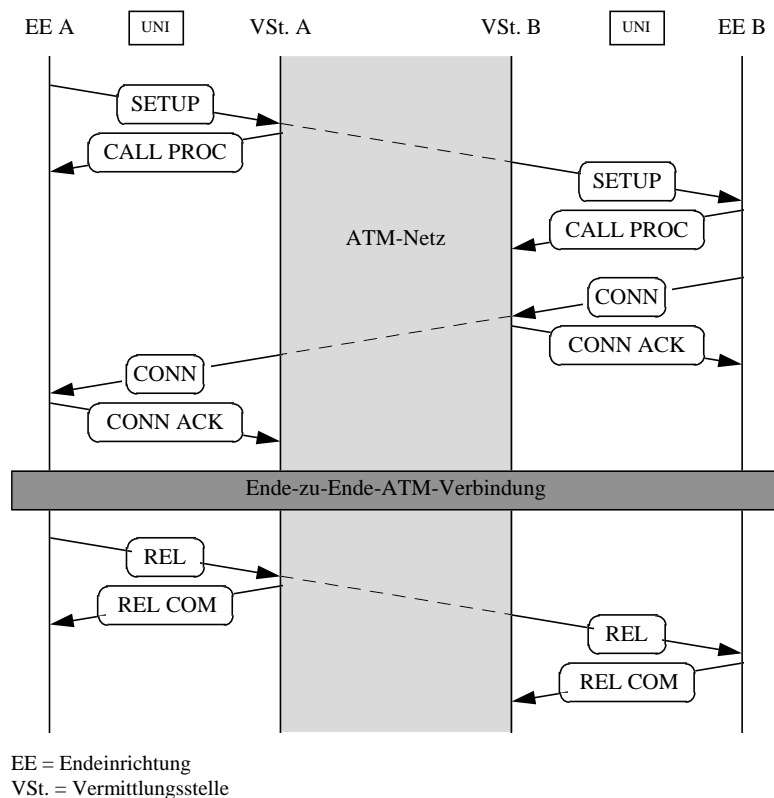


Bild 2-4 : Auf- und Abbau einer ATM-Verbindung

UNI 3.0 wird für das ATM-Netz der Universität Rostock nicht genutzt.

2.2.4. UNI 3.1

Die von den Herstellern gegenwärtig umgesetzte Spezifikation ist UNI 3.1. Sie beschreibt das physikalische Interface, die Signalisierungsprotokolle, das Verkehrsmanagement und die Endgeräteregistrierung zwischen Endgeräten und ATM-Switches. UNI 3.1 wurde im September 1994 vom ATM Forum spezifiziert [UNI31].

UNI 3.1 basiert auf der Signalisierung nach Q.2931. Daher werden von UNI 3.1 im Gegensatz zu UNI 3.0 auch Metasignalisierung sowie Broadcast-Signalisierung unterstützt.

Der prinzipielle Signalisierungsverlauf ist derselbe wie in Bild 2-4.

UNI 3.1 ist inkompatibel zu UNI 3.0, da UNI 3.0 noch nicht auf der Signalisierung nach Q.2931 beruht.

Im ATM-Netz der Uni Rostock dient UNI 3.1 der Kommunikation zwischen ATM-LAN-Switch (Cisco Catalyst 5000) und ATM-Switch (Cisco LightStream 1010).

2.2.5. UNI 4.0

Die Signalisierungsspezifikation UNI 4.0 hat sich dem ITU-Dokument Q.2931 weiter angenähert [UNI40]. Anstatt einer eigenen vollständigen Spezifikation liegt UNI 4.0 in Form eines Differenzdokumentes zu UNI 3.1 vor, eine volle Abwärtskompatibilität zu UNI 3.1 ist gewährleistet (jedoch nicht zu UNI 3.0).

UNI 4.0 baut auf das Traffic Management 4.0 (siehe Kapitel 2.4.) auf. In ihr wird der verbliebene Punkt der Default-Parameter-Einstellung für die Signalisierungskanäle spezifiziert.

Außerdem kommen bei UNI 4.0 folgende Techniken hinzu: Dienstgütevereinbarung (QoS: u.a. zulässige Zellenverlustrate und Zellenverzögerung), geschwitchte Virtuelle Pfade (VP), Point-to-Multipoint-Übertragung, Anycasts (d.h. eine Gruppenadresse für mehrere Service-Knoten).

2.2.6. NNI

NNI (Network to Network Interface) ist eine Knoten-Knoten-Schnittstelle. Sie unterscheidet sich von der UNI nur in der Länge des VPI-Feldes. Die für den GFC (Generic Flow Control, zur Anpassung einer ATM-Anwendung an die Netzbelastung) reservierten Bits werden dem VPI (Virtual Path Identifier) zugeordnet (siehe Bild 2-5 [KYA96]), d.h. diese werden von den ATM-Switches überschrieben, da GFC nur für die Zugangskontrolle in ATM-LANs (UNI) verantwortlich ist.

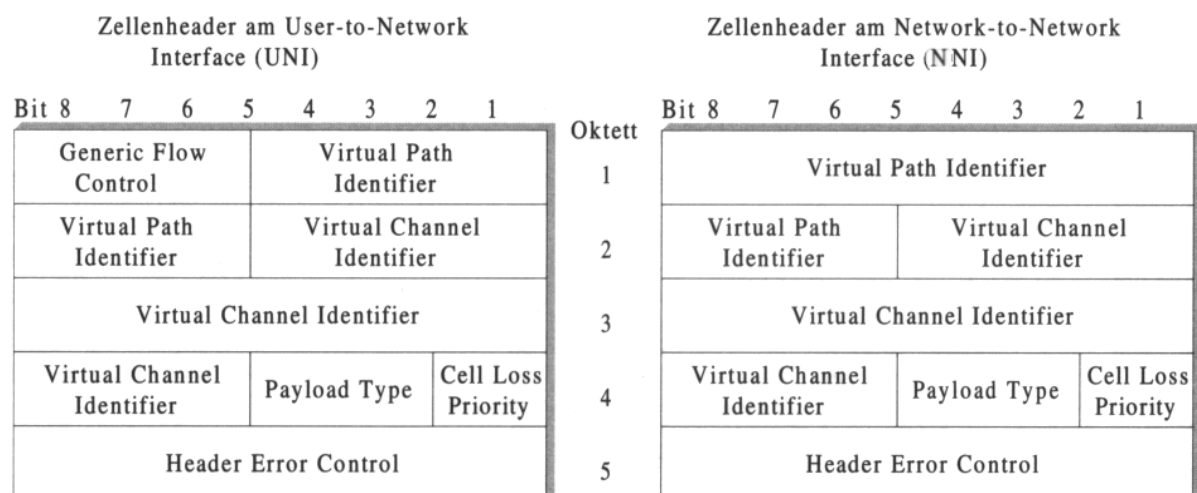


Bild 2-5 : Vergleich der Zellenheader an UNI und NNI

Wie bei UNI wird zwischen privater und öffentlicher Netz-Netz-Schnittstelle unterschieden. Unter der privaten NNI versteht man die Schnittstelle zwischen zwei privaten ATM-Vermittlungsknoten. Die öffentliche NNI ist die Schnittstelle zwischen ATM-Vermittlungseinrichtungen im öffentlichen Netz.

2.3. PNNI

2.3.1. IISP

Ein Vorläufer von PNNI (Private Network to Network Interface) ist das IISP (Interim Inter Switch Protocol), das ursprünglich als PNNI Phase 0 bezeichnet wurde. Es wurde vom ATM Forum erarbeitet, um Verbindungen zwischen einzelnen Vermittlungssystemen (Switches) herstellerübergreifend aufbauen zu können [IISP94].

Bild 2-6 zeigt das IISP-Referenzmodell des ATM Forums [IISP94].

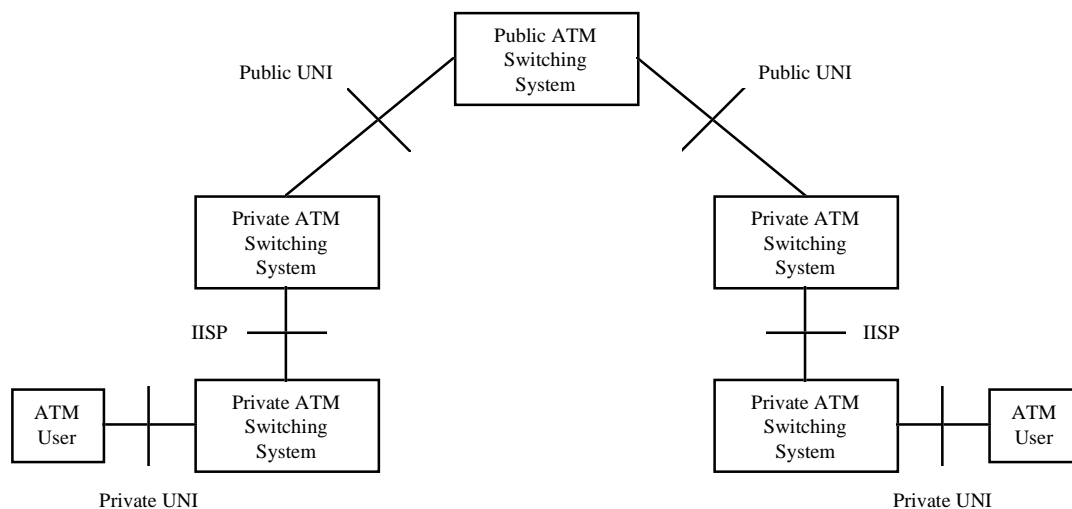


Bild 2-6 : Referenzmodell von IISP

IISP ermöglicht nur die elementaren Funktionen (statisches Routing anhand von Routing-Tabellen). Es sieht daher die manuelle Konfiguration der Topologie und der Ressourcen-Tabellen des ATM-Netzes vor, wobei jeder ATM-Switch lediglich die Adresse ihrer unmittelbaren Nachbar-ATM-Switches mitgeteilt wird. Wegen des hohen Administrationsaufwandes ist es eher für kleine (bis zu ca. zehn ATM-Switches), sich nicht häufig ändernde Umgebungen gedacht. Das Einrichten von QoS-Klassen ist nicht möglich.

IISP ist nicht kompatibel zu PNNI.

Während der Aufbauphase des ATM-Netzes der Uni Rostock wird IISP bei der Konfiguration der ATM-Switches (Cisco LightStream 1010) verwendet.

2.3.2. PNNI 1.0, 2.0

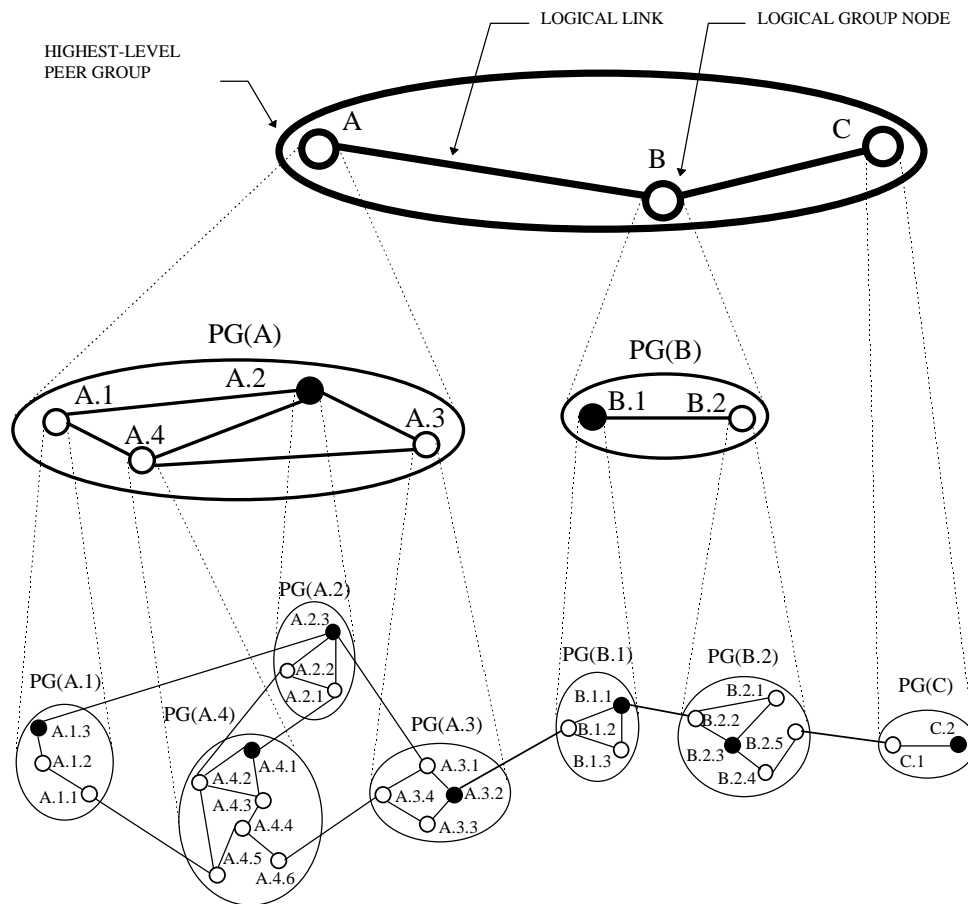
Die Spezifikation von PNNI Phase 1 wurde vom ATM Forum im April 1996 abgeschlossen [PNNI10].

PNNI beschreibt physikalisches Interface, Signalisierungsprotokoll und das ATM-Routing Protokoll zwischen zwei oder mehreren ATM-Switches innerhalb eines privaten Netzwerkes (d.h. innerhalb des Netzwerkes eines Netzbetreibers). Dabei können die ATM-Switches von verschiedenen Herstellern sein.

Die Signalisierung beruht auf dem ITU-Standard Q.2931, während das Routing Protokoll eine eigene Entwicklung des ATM Forums ist. Der Routingmechanismus basiert auf der Methode des Source Routings, das der Erkennung von redundanten Verbindungen dient.

Die PNNI-Topologie ist hierarchisch aufgebaut, um den durch die zu verteilende Topologie-Information entstehenden Datenverkehr zu minimieren. Auf der untersten Ebene werden ATM-Switches zu sogenannten Peer Groups (PG) zusammengefaßt, die in der nächsthöheren Ebene durch ihren Leader repräsentiert werden. Jeder Netzknoten teilt mit seinen unmittelbaren Nachbarn die Identität und den Status der Verbindungen aus. Die Peer Group Leader wiederum tauschen ihre Informationen mit den anderen Leadern aus und übermitteln diese den Netzknoten ihrer PG. Somit verfügt jeder Netzknoten über ein Bild des gesamten Netzwerkes.

Bild 2-7 veranschaulicht ein nach PNNI-Hierarchie konfiguriertes Netzwerk [PNNI10].



PG = Peer Group

weißer Knoten = Single Peer Group Switch

schwarzer Knoten = Multiple Peer Group Switch (Peer Group Leader)

Bild 2-7 : PNNI-Hierarchie-basiertes Netzwerk

PNNI unterstützt Dienstgüten auf Parameterbasis, die daher auch für die Routenoptimierung herangezogen werden können. Die Auswahl redundanter Wege bei Ausfall einzelner Knoten ist somit erstmals möglich (Alternate Routing).

Die in der Uni Rostock verwendeten ATM-Switches Cisco LightStream 1010 sind die bislang einzigen Geräte auf dem Markt, die PNNI 1.0 unterstützen. Lediglich die Implementation von Peer Group Leader-Funktionalitäten und Higher-Level Peer Groups wird erst mit einem kommenden Softwareupgrade möglich sein.

Während der Aufbauphase des Universitäts-Netzes wird PNNI noch nicht eingesetzt, zumal bei der momentan vorliegenden Sterntopologie die Auswahl redundanter Wege nicht möglich ist (siehe Kapitel 3.5.).

PNNI Phase 2 wird derzeit ausgearbeitet, wobei mit einer Erweiterung der Funktionalitäten des Protokolls hinsichtlich der QoS-Signalisierung zu rechnen ist.

2.4. Traffic Management (TM 4.0)

Die vorherige Version der Traffic Management Spezifikation war nicht separat, sondern in der UNI 3.1-Spezifikation aufgeführt, wo die folgenden fünf Dienstgüteklassen spezifiziert sind:

- unspezifiziert (heutiger LAN-Verkehr)
- QoS-Klasse 1 (Circuit Emulation, CBR Video)
- QoS-Klasse 2 (VBR Audio and Video)
- QoS-Klasse 3 (verbindungsorientierter Datenverkehr)
- QoS-Klasse 4 (verbindungsloser Datenverkehr)

Das Traffic Management 4.0, das im April 1996 spezifiziert wurde, geht von der Definition von QoS-Klassen ab und erlaubt eine freizügigere Definition von QoS-Parametern, wobei die Freizügigkeit durch die jeweilige Dienstkategorie beschränkt ist. Dabei handelt es sich um folgende Kategorien [TM40]:

- CBR Service Category
- Real-Time VBR (rt-VBR) Service Category
- Non-Real-Time VBR (nrt-VBR) Service Category
- UBR Service Category
- ABR Service Category

CBR (Constant Bit Rate) ist für Echtzeit-Applikationen bestimmt, die eine bestimmte Bandbreite und Dienstgüte (QoS) benötigen und weder einen signifikanten Delay noch Jitter oder gar Zellverluste ertragen.

VBR (Variable Bit Rate) ist zwar auch für Echtzeit-Applikationen gedacht, jedoch toleriert sie im Gegensatz zu CBR geringfügige Veränderungen von Bandbreite und geringe Verluste von Zellen.

Unter der UBR (Unspecified Bit Rate) versteht man Applikationen, die nicht in Echtzeit ablaufen müssen, also Burst-Charakter aufweisen, und die daher keinen besonderen QoS benötigen.

Erst die ABR (Available Bit Rate) ist für den zeit- und fehlerkritischen LAN-Datenverkehr geeignet. Wie UBR ist auch der ABR-Verkehr burstartig, der Unterschied liegt jedoch in der Kontrolle des Datenverkehrs. Nach der Definition des ATM Forums ist ABR ein Dienst des ATM Layer, bei dem sich die durch das Netzwerk bereitgestellten Übertragungscharakteristika nach dem Verbindungsaufbau noch ändern können (Feedback). Vor dem Verbindungsaufbau legt der ABR-Benutzer die Minimum Cell Rate (MCR) und die Peak Cell Rate (PCR) als verbindlichen Bandbreitenrahmen fest. Zusätzlich definiert er die zulässige Cell Loss Ratio (CLR) und die Cell Delay Variation Tolerance (CDVT). Eine Flußkontrolle findet oberhalb der einmal vereinbarten Mindestzellrate (MCR) statt, wobei die ABR-Quelle ihre Datenübertragungsrate an die jeweils aktuellen Vorgaben des Netzwerks anpaßt.

In Tabelle 2-2 sind die Dienstkategorien und die jeweils zugehörigen Verkehrs- und Dienstgüteattribute, die diese eindeutig beschreiben, aufgeführt [TM40].

Attribute	ATM Layer Service Category				
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR
Traffic Parameters:					
PCR and CDVT	specified			specified	specified
SCR, MBS, CDVT	not available	specified		not available	
MCR	not available			not available	specified
QoS Parameters:					
peak-to-peak CDV	specified		unspecified		
maxCTD	specified		unspecified		
CLR	specified			unspecified	specified
Other Attributes:					
Feedback	unspecified				specified

Tabelle 2-2 : ATM-Service-Kategorie-Attribute bei TM 4.0

Schwerpunkt in Traffic Management 4.0 ist die Beschreibung von Bedeutung, Wertebereich und erlaubten Kombinationen der Attribute.

Die Hardware der in der Uni Rostock verwendeten ATM-Switches Cisco LightStream 1010 ist bereits auf Mechanismen zur Überlastkontrolle im Netzwerk im Sinne von ABR ausgelegt. Alle Ports der Switch greifen auf einen gemeinsamen Speicher-Pool zu, um diejenigen ATM-Zellen zwischenzupuffern, die die jeweils festgelegte zulässige Bandbreite der Verbindung überschreiten.

2.5. IP over ATM (RFC 1483/1577)

2.5.1. Multiprotocol Encapsulation (RFC 1483)

„Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaption Layer 5“ wurde im Juli 1993 als RFC 1483 veröffentlicht [RFC1483]. Das Dokument beschreibt zwei verschiedene Methoden, wie Netzwerkverkehr protokolltransparent über ein ATM-Netz unter Verwendung des ATM Adaption Layer 5 (AAL5) transportiert werden kann:

- Multiplexen mehrerer Protokolle über einen einzigen ATM Virtual Circuit (LLC Encapsulation)
- separater ATM Virtual Circuit für jedes einzelne Protokoll (VC Based Multiplexing)

Bei der ersten Methode werden die verschiedenen Protokolle mit Hilfe eines LLC-Headers (Logical Link Control) gemäß IEEE 802.2 identifiziert. Da die zweite Methode einen eigenen VC für jedes Protokoll vorsieht, müssen einzelne Datenpakete nicht explizit markiert werden.

Die typische Anwendung von Multiprotokoll Encapsulation liegt z.B. in der protokolltransparenten Kopplung zweier LANs über eine schnelle ATM-Verbindung mit Hilfe von LAN-Switches mit ATM-Interface.

Nachteilig wirkt sich aus, daß die beiden Übertragungsmethoden nicht miteinander kompatibel sind, d.h. es muß jeweils geprüft werden, welche konkrete Methode der einzelne Hersteller implementiert hat. Weiterhin können keine der exklusiven Eigenschaften von ATM wie garantierte Übertragungsqualitäten (QoS) bei Multiprotocol Encapsulation von einem einzelnen Anwender genutzt werden.

2.5.2. Classical IP (RFC 1577)

Im Januar 1994 wurden die Spezifikationen für „Classical IP and ARP over ATM“ als RFC 1577 niedergeschrieben [RFC1577]. Es zeigt auf, wie ein ATM-Netzwerk als logisches IP-Subnetz (LIS) in einer gerouteten Netzumgebung eingebunden werden kann. IP-Endgeräte und -Router arbeiten dabei unverändert. Somit wird beispielsweise die Nutzung von ATM als lokaler Backbone zur Kopplung von Ethernet-, Token Ring- oder FDDI-Teilnetzen mit Hilfe von Routern ermöglicht bzw. sind auch die Voraussetzungen für Kommunikation mit direkt an ATM angeschlossenen Endgeräten geschaffen.

Classical IP definiert logische IP-Subnetze (Logical IP Subnetwork, LIS) auf ATM-Netzen, die den klassischen IP-(Sub-)Netzen auf Ethernet entsprechen. Ein LIS besteht aus einer Reihe von Clients wie Workstations, Router und einem ATM ARP (ATM Adress Resolution Protocol)-Server. Letzterer dient zur Adreßauflösung, d.h. er besitzt zu jeder IP-Adresse die zugehörige ATM-Adresse (ARP) oder umgekehrt (InARP). Dieser kann in einer Workstation, einem Router oder einem ATM-Switch realisiert sein. Alle Clients haben die gleiche IP-Netznummer und Subnetzmaske und können mittels einer Punkt-zu-Punkt-ATM-Verbindung jedes andere Endsystem im gleichen Subnetz erreichen. Systeme, die außerhalb liegen (in einem anderen LIS oder in einem klassischen LAN) werden über den Umweg über Router erreicht. Router und Endsysteme können Mitglied in mehr als einem Netzsegment sein - entweder durch mehrere physikalische ATM-Interfaces oder durch mehrere virtuelle Interfaces auf einer gemeinsamen physikalischen ATM-Schnittstelle.

Bild 2-8 veranschaulicht das Routing zwischen LISs bei Classical IP [ALL95].

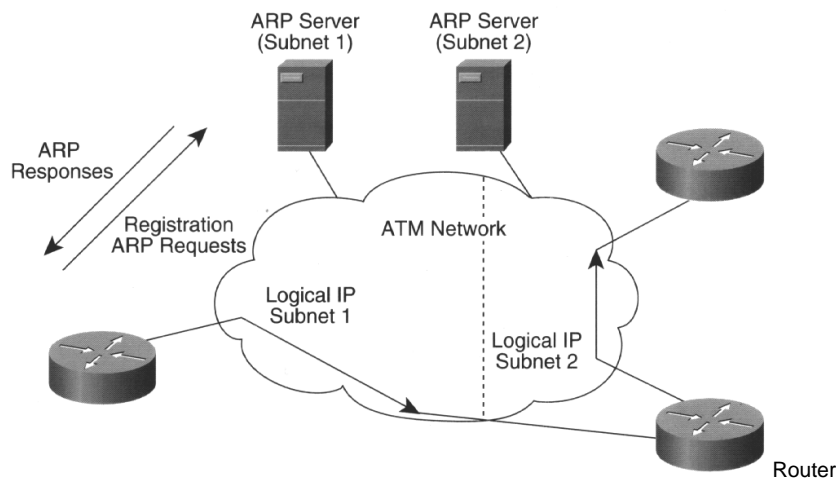


Bild 2-8 : Routing zwischen logischen IP-Subnetzen bei Classical IP

Vorteile von Classical IP sind übersichtliche Netzstruktur und einfache Administration. Nachteilig wirkt sich aus, daß die Integrationsmöglichkeit von ATM rein auf eine IP-Umgebung beschränkt bleibt (wegen der LAN-ATM-Abbildung auf Layer 3 des OSI-Referenzmodells) und zusätzlich keine ATM-spezifischen Eigenschaften genutzt werden können. Weiterhin erfolgt die Kommunikation zwischen LISs ineffizient über Router. Außerdem ist keine Ausfallsicherheit gegeben, da der ATM-ARP-Server nicht redundant installierbar ist.

Weitere RFCs ergänzen das Modell nach RFC 1577: RFC 1626 beschreibt die maximalen Paketgrößen, und RFC 1755 regelt die Verwendung der ATM Forum Signalisierung (UNI 3.1) in Classical IP-Netzen.

2.6. LAN Emulation (LANE 1.0, 2.0)

2.6.1. LANE 1.0

Um die Protokollbeschränkung auf IP aufzuheben, wurde vom ATM-Forum im Januar 1995 die erste Spezifikation der LANE unter dem Titel „LAN Emulation over ATM Version 1.0“ veröffentlicht [LANE10].

LAN Emulation erlaubt eine protokolltransparente Kopplung von herkömmlichen LANs (Ethernet, Token Ring) über ATM sowie die Kommunikation mit direkt an ATM angeschlossenen Endgeräten. Hierzu können alle vorhandenen Endgeräte und Applikationen ohne Modifikationen weiter genutzt werden. Bei der Anbindung von FDDI muß jedoch vorher eine Umsetzung in Ethernet- oder Token Ring-Datenpakete erfolgen.

Im Gegensatz zu Classical IP over ATM erfolgt die Abbildung von LAN auf ATM nicht auf Layer 3, sondern auf Layer 2 (Data Link Layer) des OSI-Modells. Das heißt, daß eine Adreßverknüpfung zwischen MAC-Adressen des LAN und ATM-Adressen durchgeführt wird und nicht zwischen Netzwerkadressen. LANE ist dadurch, im Gegensatz zu Classical IP over ATM, von den Protokollen der dritten Schicht entkoppelt und kann daher für alle LAN-Protokollarchitekturen wie IP, IPX, DECnet usw. benutzt werden.

Bild 2-9 verdeutlicht die Protokollarchitektur bei der LAN Emulation [COM96]:

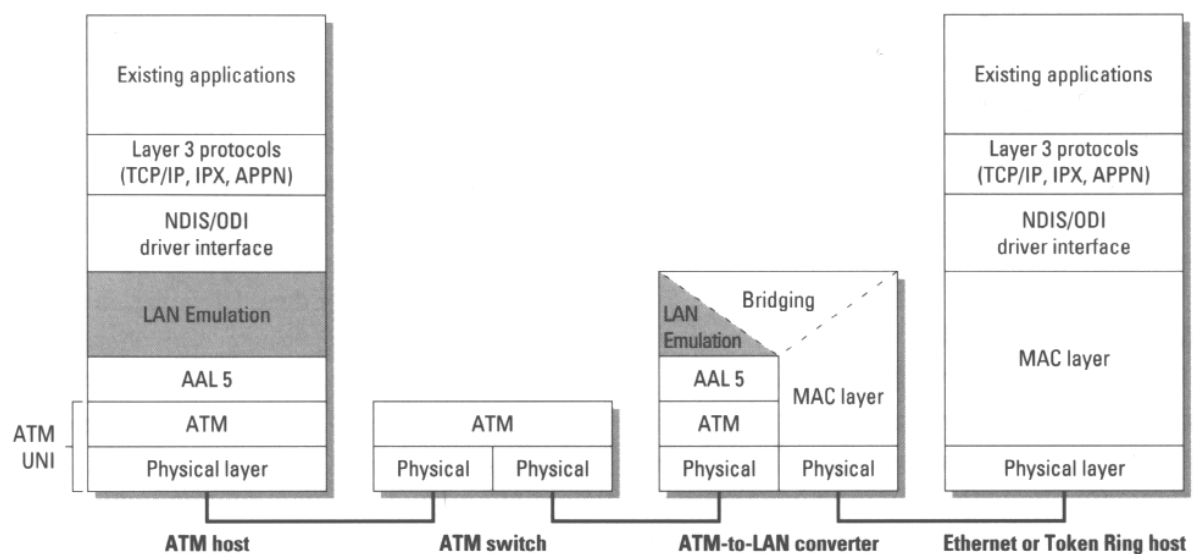


Bild 2-9 : Protokollarchitektur bei LAN Emulation

Zum Aufbau einer LANE-Umgebung sind nachfolgende Komponenten erforderlich, die als Software-Module in ATM-tauglichen Geräten implementiert sind:

LAN Emulation Client (LEC)

Der LEC ist die Komponente im Gerät (z.B. Interface-Karte, Uplink-Port) innerhalb des ATM-Netzwerkes, die Funktionen wie Datenübertragung, Adreßauflösung und Kontrollmechanismen bereitstellt. Er beinhaltet das User-Network-Interface (UNI) für den Zugriff und die Kommunikation über das ATM-Netz.

Jeder Teilnehmer, der Mitglied in mehreren ELANs ist, muß die ELAN-Anzahl von LECs implementiert haben, in der Regel trifft dies auf den Router zu.

LAN Emulation Server (LES)

Der LES führt Kontrollfunktionen in einem emulierten LAN (ELAN) durch und verwaltet die ATM-MAC-Adreßzuordnung zu den LECs in dem ELAN. Der LES ist pro ELAN einmal vorhanden (LANE 1.0). Er wird mit einer eigenen ATM-Adresse angesprochen.

LAN Emulation Configuration Server (LECS)

Der LECS ist eine Funktionseinheit, die zu jedem ELAN die ATM-Adresse des zugehörigen LES verwaltet, er ermöglicht die Kommunikation zwischen den ELANs. Jeder LEC meldet sich beim LECS an und erfährt von ihm die Adresse seines LES. Im gesamten Netz kann derzeit (LANE 1.0) nur ein LECS vorhanden sein.

Broadcast/Unknown Server (BUS)

Der BUS ist ein Multicast Server und ist für das „flooding“ (Verschicken an alle LECs) von unbekannten ATM-Adresszuordnungen sowie Weiterleiten von Broadcast- und Multicast-Meldungen in einem ELAN verantwortlich. Pro ELAN ist ein BUS vorhanden, bzw. einem LES ist ein BUS zugeordnet (LANE 1.0).

Bild 2-10 zeigt die grundlegenden Verbindungen in einer einfachen Konfiguration mit zwei LECs, dem LECS, dem LES und dem BUS [LANE10].

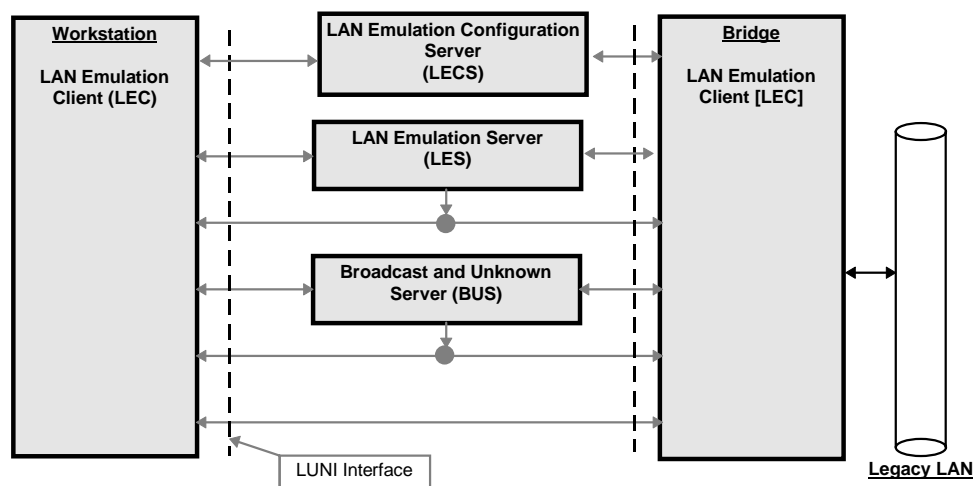


Bild 2-10 : Beispiel für Verbindungen im LANE

Vorteil der LAN Emulation ist, daß Endgeräte am LAN von der größeren Bandbreite in einem ATM-Backbone-Netz profitieren, unabhängig von Schicht 3 und den verschiedenen Protokollarchitekturen. Es ist weiterhin eine freie ELAN-Bildung netzweit möglich, so daß Umzüge von Teilnehmern im Netz unproblematisch werden. Während innerhalb von ELANs ein hoher Durchsatz erzielt werden kann, ist die Kommunikation zwischen verschiedenen ELANs nur über die ineffizienten Wege über den Router

möglich. Es ist nicht möglich, daß Endsysteme mit LAN Emulation Dienstgüteparameter (z.B. Bandbreite) für einen bestimmten Quality of Service (QoS) definieren können.

Bild 2-11 zeigt ein Netz auf Basis der LAN Emulation [HEI96]. Jeder der unterschiedlich gezeichneten LECs repräsentiert ein separates logisches Netz bzw. Subnetz.

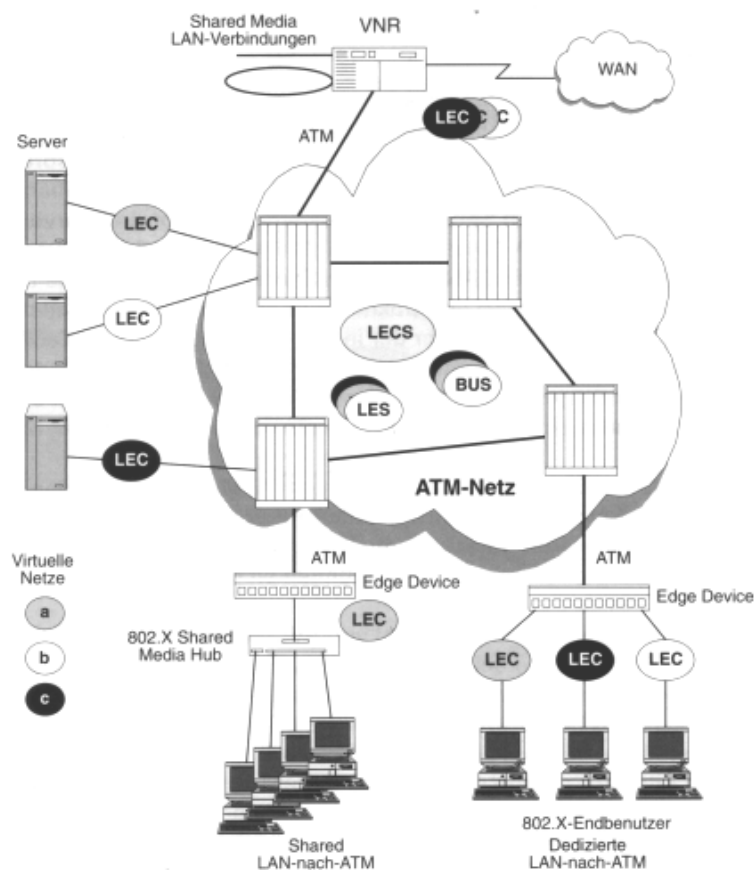


Bild 2-11 : Routing zwischen virtuellen Netzen entsprechend der LANE

Das ATM-Netz der Uni Rostock verwendet fast ausschließlich die LAN Emulation, wobei als LECS der zentrale Router (Cisco 7507) fungiert und die LES und BUS entweder durch denselben Router oder durch mehrere ATM-LAN-Switches (Catalyst 5000) realisiert werden.

2.6.2. LANE 2.0

Bei LANE 2.0 wird erstmals die gleichzeitige Implementierung mehrerer LECSs in einem Netz möglich. Damit werden die Probleme von LANE 1.0 beseitigt, wo kein Mechanismus für die Vorhaltung redundanter Server spezifiziert war und sich dadurch eine geringere Betriebssicherheit ergeben hat.

Zusätzlich wird LANE 2.0 die von höheren Protokollschichten benötigten Dienstgüte-Merkmale (QoS) unterstützen. Beides führt zu einer Vermehrung der notwendigen Informationsflüsse zwischen Clients und Servern. Aus Ressourcengründen wird daher eine Mehrfachverwendung derselben virtuellen Kanäle angestrebt (LLC-Multiplexing nach RFC 1483).

LANE 2.0 wird abwärtskompatibel zu LANE 1.0 sein.

In der voraussichtlich im April 1997 vorliegenden LANE-Spezifikation V2.0 werden auch die Kommunikation zwischen verschiedenen LAN-Typen und Fehlertoleranzmechanismen normiert. Damit wird die Layer2-Basis für MPOA (Multiprotocol over ATM) geschaffen.

2.7. Multiprotocol over ATM (MPOA)

Die Nachteile des LAN-Emulation-Verfahrens werden zur Zeit im ATM-Forum im Rahmen der weiterführenden „Multiprotocol over ATM (MPOA)“-Aktivitäten bearbeitet. Hierbei werden im Gegensatz zu LANE logische Subnetze, basierend auf Layer 3-Protokollinformationen, Verwendung finden, wobei MPOA auf LANE 2.0 aufsetzen wird. MPOA wird so angelegt sein, daß mehrere Protokolle parallel virtuell geroutet werden können. Darin unterscheidet sich MPOA sowohl von Classical IP als auch von LAN Emulation.

Allerdings haben sich im ATM-Forum bereits zwei Fraktionen gebildet, die unterschiedliche Lösungsansätze favorisieren [PAN96]:

- Wegeberechnung in einem zentralen Route Server und Datentransport in verteilten Layer 3-Switches als Edge Devices ohne eigene Routing-Intelligenz. Hierzu müssen Informationen zwischen Route Server und Switches über neue Protokolle ausgetauscht werden (siehe Overlay Routing)
- Verwendung eines Integrated Private Network-Network-Interface-Protokolls (I-PNNI) zur Kommunikation zwischen Layer 3-Switches mit eigener Routing-Intelligenz und somit Wegfall eines zentralen Route Servers (siehe I-PNNI).

2.7.1. Overlay Routing

Beim Overlay Routing bzw. Layered Routing wird die Wegewahl und -findung über den Einsatz eines Route-Servers realisiert. Die LAN Emulation mit ihren einzelnen Komponenten wird dabei in gewisser Weise weiterentwickelt [PAN96].

Der Route-Server ermittelt die Verbindungen und gibt diese Informationen an die jeweiligen Clients weiter. Der Vorteil liegt im Zusammenschluß des LES, LECS und BUS als Route-Server. Nachteilig ist, daß in Multiprotokoll-Umgebungen jeweils ein Route-Server für jedes der eingesetzten Netzwerkprotokolle (TCP/IP, IPX usw.) notwendig ist. Auf Netzwerkebene werden weiterhin mehrere Routing-Protokolle eingesetzt und ATM als weitere Subnetz-Technologie definiert. Es gibt zwei Ebenen für Topologien und Pfade, dies läßt allerdings kein optimiertes Netzwerk- und ATM-Routing zu. Die Sicht auf die ATM-Topologie beziehungsweise ATM-Pfade ist nicht garantiert, und die zentrale Route-Server-Lösung bringt bei mehreren Systemen Probleme bei der Synchronisation. Auch die Realisierung von Filtern ist ein ungeklärter Punkt.

Overlay Routing ist in Umgebungen mit einem fest definierten Protokoll, z.B. TCP/IP, eine leistungsfähige Alternative.

2.7.2. Integrated PNNI (I-PNNI)

I-PNNI (Integrated Private Network to Network Interface) ist eine Weiterentwicklung des PNNI, das für die Kommunikation der Switches untereinander in vermaschten ATM-Netzen entwickelt wird.

Mit PNNI werden Informationen über angeschlossene Subnetze und Wegewahl zwischen den einzelnen ATM-Switches übertragen. Dieser Informationsfluß endet jedoch im ATM-Switch. I-PNNI soll die Informationen zu den Edge Devices weiterleiten, die als Schnittstelle zu den LANs fungieren und so über die Konfiguration des Netzes informiert sind.

I-PNNI bietet ein identisches Link-State-Routing-Protokoll für Router, ATM-Switches und Routing-Switches. Routing-Switches sind Edge-Devices, die als Router zum LAN und als Switch zum ATM-Netzwerk fungieren. So ist eine verteilte Intelligenz innerhalb des Gesamtnetzes mit der Wegewahl betraut und der zentrale Service der LAN Emulation Services für diesen Bereich entfällt. Funktionen, die bislang mit der LAN Emulation 1.0 über BUS und LES abgewickelt werden, sollen in diese Komponenten integriert und somit die Administration vereinfacht und die Flexibilität erhöht werden.

I-PNNI verfügt über ein integriertes Network-Layer-Protokoll und ermittelt alternative Pfade auf Paket- bzw. Zellenbasis. Es basiert auf dem PNNI-Routing-Protokoll und bietet eine Multi-Level-Hierarchie für die Skalierbarkeit. Außerdem wird Quality of Service (QoS) unterstützt.

Der Vorteil von I-PNNI liegt in der geringen Komplexität. Es wird nur ein Routing-Protokoll benötigt, um die Informationen über die Verbindungen des Gesamtnetzes transparent darzustellen. Dies führt auch zu einer vereinfachten Darstellung im Management selbst. Die vorhandenen Ressourcen werden

effizient genutzt und durch Load Sharing mehrfache Verbindungen ermöglicht. So werden kritische Netzwerk-Ressourcen nutzbar, und die Flexibilität in der Bandbreite ist gewährleistet.

I-PNNI ist für die weit verbreiteten Multiprotokoll-Umgebungen eine Technik, die dem Netzwerkadministrator die Arbeit erleichtert.

Bild 2-12 vergleicht die Netztopologien der besprochenen Ansätze von MPOA in einem heterogenen Netz [HEI96]. Es wird deutlich, daß eine ineffektive Wegewahl beim Layered Routing wahrscheinlicher ist (vorausgesetzt, daß zwischen den Switches kein PNNI-Verkehr stattfindet).

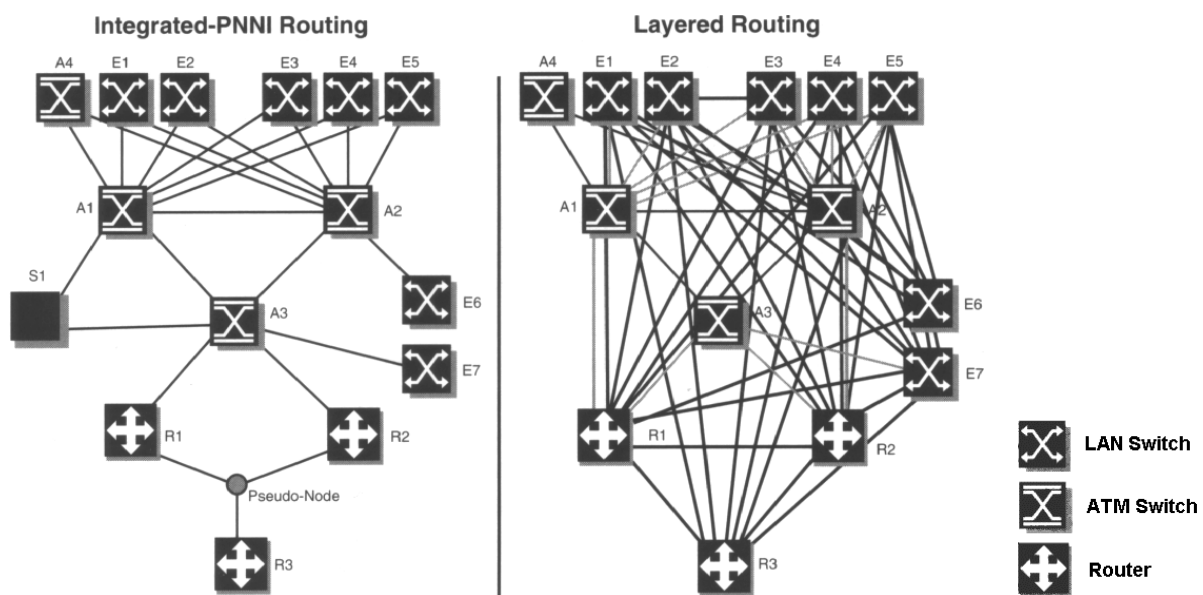


Bild 2-12 : Vergleich der Topologien der zwei Ansätze für das MPOA

Sicher ist, daß MPOA verschiedene Dienstgütequalitäten unterstützen wird. Wie bei LANE 2.0 wird MPOA zur Verringerung der ATM-Ressourcenauslastung LLC-Multiplexing verwenden. Für gebridgten Verkehr (d.h. auf Layer 2) wird sich MPOA auf LAN Emulation (LANE 2.0) abstützen.

Mit einer Fertigstellung des MPOA-Standards ist im März 1997 zu rechnen, wobei es notwendig wurde, den Funktionsumfang von MPOA um ca. 50% zu kürzen, damit die Fertigstellung zum angegebenen Termin gesichert ist [Seelig].