

3. Grundlagen des Asynchronen Transfer Modus

3.1. Einführung

Mit dem Breitband-ISDN wird derzeit ein universelles Netzwerk geschaffen, das in der Lage ist, die Funktionen der heutigen Sprach-, Daten- und Fernnetzwerke zu übernehmen. Ein zweiter Aspekt bei der Einführung dieser Technologie besteht in der Schaffung eines ausreichend großen Spielraumes zur Umsetzung künftiger Telekommunikationstechnologien. Die Standardisierung des B-ISDN wurde 1990 von der CCITT begonnen. Als Datentransportmechanismus werden dabei ATM-Zellen verwendet, die wiederum ihrerseits in die Übertragungsrahmen der Synchronen Digitalen Hierarchie (SDH) integriert sind. Die ATM-Zellen transportieren die Nutzdaten der eigentlichen Dienste.

ATM gehört zur Familie der zellenvermittelnden Systeme (Cell Relay). Im Gegensatz zu paketvermittelnden Diensten, die mit Paketen variabler Länge arbeiten, ist die Länge der Cell-Relay-Datenpakete fest. ATM repräsentiert die für die Spezifikation des B-ISDN-Standards ausgewählte Implementation von Cell-Relay und ist damit ein Teil der ITU-Spezifikation für B-ISDN.

Der Asynchrone Transfer Modus wird zunehmend im Bereich der lokalen Netze eingesetzt. Bei diesen Anwendungen ist der komplexe Unterbau der Synchronen Digitalen Hierarchie nicht notwendig, da dieser im Bereich des Weitverkehrs zur Steuerung der vielschichtigen Weitverkehrsvermittlung genutzt wird, jedoch im LAN nicht nötig ist. Entsprechende Spezifikationen für einen direkten Zellenstrom wurden daher ebenfalls entwickelt. Aufgrund der ursprünglichen Spezifikation wird oft ATM auf Basis von SDH-Übertragungsrahmen eingesetzt, ohne daß dazu eine übertragungstechnische Notwendigkeit besteht.

Die Datenkommunikation wurde bisher in zwei Bereiche unterteilt: Datenübertragung in lokalen Netzwerken und Datenübertragung in Weitverkehrsnetzen. Übertragungstechnische Gründe führten zu unterschiedlichen Datentransportmechanismen. Datenkommunikation in Weitverkehrsnetzen basiert auf verbindungsorientierter Kommunikation (Aufbau einer dedizierten Verbindung vor der eigentlichen Datenübertragung), in lokalen Netzen auf verbindungslosen Broadcastsendungen (Aussenden eines Datenpaketes über ein gemeinsames Übertragungsmedium ohne Empfangsbestätigung abzuwarten; Datenpaket wird von den Empfängerstationen aus dem Datenstrom ausgefiltert). ATM beendet die Trennung der Kommunikationsmethoden, da im ATM-LAN und ATM-WAN die Datenübertragung durch Direktvermittlung mit Hilfe zentraler Vermittlungseinheiten (Switch) erfolgt.

Zum Datentransport werden Pakete mit der festen Länge von 53 Bytes (Zellen) verwendet. Dies garantiert effiziente und schnelle Verarbeitung in den Vermittlungseinheiten. Die feste

Zellenlänge ermöglicht eine massiv parallele Architektur von Zellen-Vermittlungseinheiten. Es können alle Zellen, die zur selben Zeit an den Eingangsports eines ATM-Switches ankommen, gleichzeitig an die gewünschten Ausgangsports vermittelt werden.

Diese Architektur und die sich daraus ergebenden Übertragungseigenschaften versetzen ATM als die z.Zt.einzige standardisierte Übertragungstechnik in die Lage, alle heutigen Datendienste in effizienter Weise zu übertragen.

[Hän 95]

3.2. Transportprinzip der ATM-Technik

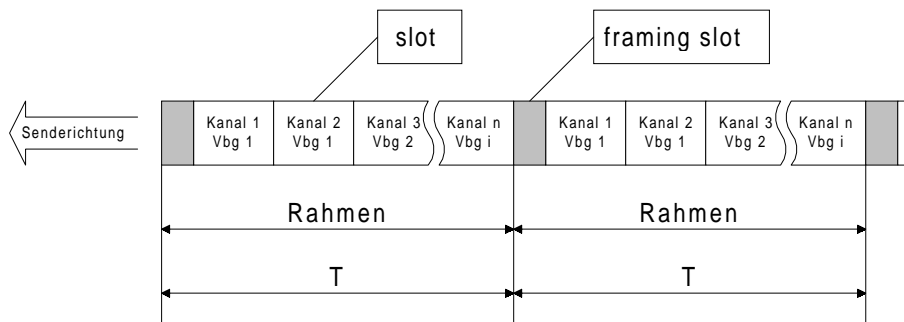
Ein Vergleich zwischen dem Synchronen Transfer Modus und dem Asynchronen Transfer Modus verdeutlicht das Transportprinzip.

Bei der STM-Technik wird die zur Verfügung stehende Bandbreite in Rahmen (Frames) aufgeteilt, die sich periodisch wiederholen. Jeder Frame enthält eine bestimmte Anzahl von Slots. Der Beginn eines sich periodisch wiederholenden Rahmens wird durch ein Framing-Slot gekennzeichnet. Jeder der Slots in einem Rahmen wird einer Verbindung zugeordnet. Die Verbindungsidentifikation erfolgt durch die Positionierung des Slots. Die für die jeweilige Verbindung geforderte Spitzenbitrate bestimmt die Anzahl der notwendigen Slots innerhalb eines Rahmens, um die geforderte Qualität der Verbindung auch bei ungünstigen Lastverhältnissen zu gewährleisten.

Daher eignet sich STM besonders für die Übertragung von Datenströmen mit fester Datenrate. Bei der Übertragung variabler Bitraten wird aufgrund der Spitzenratenreservierung ein Teil der Bandbreite unnötig verschenkt, d.h. die Bandbreitenaufteilung bzw. -ausnutzung ist unflexibel und ineffizient.

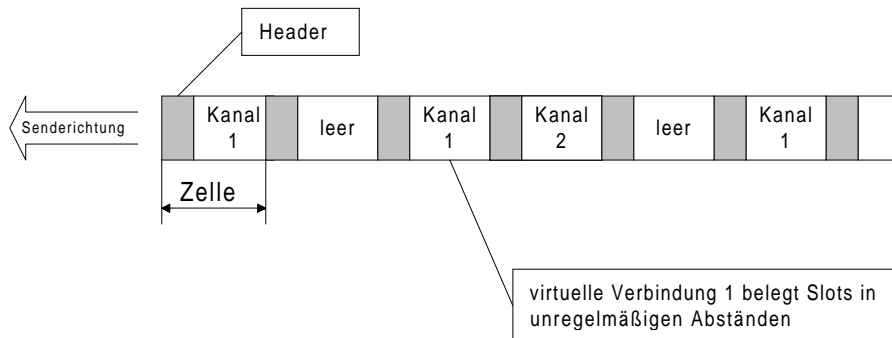
Dagegen erfolgt die Belegung der Zeitschlitze (Zellen) bei ATM nicht notwendigerweise in regelmäßigen Abständen. Es handelt sich um eine statistische Multiplex-Technik, die unabhängig von der physikalischen Schicht arbeitet. Der Zellenstrom ist zwar ebenfalls kontinuierlich, allerdings besteht keine feste Zuordnung zwischen der Position der Zelle und der Verbindung. Die Zellenposition und die der dazugehörigen Verbindung ist zufällig und hängt von der Sendeaktivität der Quelle und der Lastsituation im Übertragungssystem ab. Dadurch werden zwischen zwei Kommunikationspartnern nur dann Zellen belegt und ausgetauscht, wenn auch wirklich der Bedarf dazu vorhanden ist. Das führt zu einer bedarfsgerechten Belegung der Bandbreite des Übertragungsmediums. Die Zellen aus den verschiedenen Quellen werden in eine Warteschlange eingereiht und mittels Multiplexen in die leeren ATM-Zellen gefüllt. Nicht benötigte Kapazität wird mit Leerzellen aufgefüllt (kontinuierlicher Zellenstrom).

STM-Technik



Verbindung belegt Slots in regelmäßigen Abständen
Übertragen und Schalten nur von fest vorgegebenen Bitraten
z.B. 64 kBit/s

ATM-Technik



Übertragen und Schalten von Bitraten in beliebiger Größe

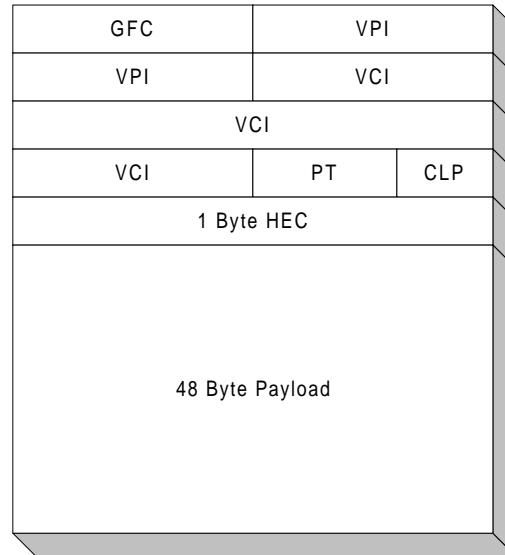
Abb. 3.1: Transportprinzipien der STM- u. ATM-Technik [Jäg 96]

Die ATM-Übertragungstechnik integriert Datenquellen mit variabler und konstanter Bitrate und bietet eine bessere Ausnutzung der Linkbandbreite. Neben der Einbeziehung synchroner und asynchroner Datenströme sowie dem statistischen Multiplexing kann als zusätzlicher Vorteil noch die einfache Erweiterung (Skalierbarkeit) von Netzwerken betrachtet werden.

[Jäg 96]

3.3. Die ATM-Zelle

Die Informationseinheit der ATM-Schicht ist die 53 Byte lange Zelle



GFC	Generic Flow Control (Datenflußkontrolle)
VPI	Virtual Path Identifier (Pfadidentifikation)
VCI	Virtual Channel Identifier (Kanalidentifikation)
PT	Payload Type (Nutzlastidentifikation)
CLP	Cell Loss Priority (Zellverlust-Prorität)
HEC	Header Error Control (Prüfsummen-Kontrolle)

Abb.3.2: ATM-Zelle [Kyas 96]

Datenflußkontrollfeld (GFC, Generic Flow Control):

- Steuerung lokaler Funktionen, Regelung von Zugriffs- u. Übertragungsrechten in ATM-LANs
- nur lokale Bedeutung, da NNI-Interfaces (Network-Network) von Vermittlungen und Cross-Connects dieses Feld mit VPI-Daten überschreiben

Adressierungsfeld (VPI/VCI):

- ATM-Kanal ist ein unidirektionaler Übertragungsweg mit zugeordneter Kanalidentifikation (VCI)
- ATM-Pfad besteht aus Bündel von Kanälen und verfügt über Pfadidentifikation (VPI)

Nutzlastidentifikationsfeld (PT, Payload Type Field):

- unterscheidet zwischen Benutzerzellen und Nichtbenutzerzellen (Idle-Zellen, Leerzellen, OAM-Zellen...)

Zellenverlust-Prioritätsfeld (CLP, Cell Loss Priority):

- Unterscheidung zwischen Zellen höherer Priorität (1) und niederer Priorität (0)
- bei Überschreitung der vereinbarten Übertragungskapazität werden Zellen niederer Priorität zuerst verworfen

Header-Prüfsummen-Feld (HEC, Header Error Control):

- zur Fehlererkennung und zur Synchronisierung auf den Zellenanfang

Es werden zwei Hauptarten von Zellen unterschieden: UNI-Zellen (User-Network-Interface-Zellen) und NNI-Zellen (Network-Network-Interface-Zellen). Erstere werden zur Kommunikation an den Benutzer-Netzwerk-Schnittstellen und letztere entsprechend an den Internetzwerk-Schnittstellen verwendet. Die Unterscheidung erfolgt an der Belegung der Bits 5-8 des ersten Headerbytes.

8	7	6	5	4	3	2	1	Bit / Byte
Datenflußkontrolle (GFC)				Pfadidentifikation (VPI)				1
Pfadidentifikation (VPI)				Kanalidentifikation (VCI)				2
Kanalidentifikation (VCI)								3
Kanalidentifikation (VCI)				Nutzlastidentifikation (PT)		CLP		4
Headerprüfsumme (HEC)								5

Abb.3.3: UNI-Header [Kyas 96]

8	7	6	5	4	3	2	1	Bit / Byte
Pfadidentifikation (VPI)								1
Pfadidentifikation (VPI)				Kanalidentifikation (VCI)				2
Kanalidentifikation (VCI)								3
Kanalidentifikation (VCI)				Nutzlastidentifikation (PT)		CLP		4
Headerprüfsumme (HEC)								5

Abb.3.4: NNI-Header [Kyas 96]

Im Gegensatz zum UNI-Header stehen beim NNI-Header 28 Bits für die Adressierung zur Verfügung. Dies ermöglicht Netzwerk-Nodes-Interfaces die Vergabe einer größeren Anzahl von Pfadidentifikationen.

Neben den UNI- und NNI-Zellen lassen sich noch weitere vier Zellkategorien für spezielle Zwecke unterscheiden (siehe Literatur). [Kyas 96]

3.4. B-ISDN-Schichtenmodell

In Anlehnung an das OSI-Schichtenmodell ist die logische B-ISDN-Architektur aus vier voneinander unabhängigen Kommunikationsebenen zusammengesetzt. Diese vier Kommunikationsprotokollschichten sind über drei Ebenen miteinander verbunden.

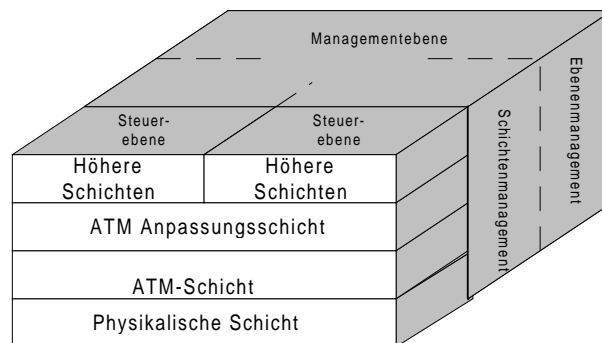


Abb.3.5: B-ISDN-Protokoll-Referenzmodell [Kyas 96]

Benutzerebene (User Plane):

In ihr erfolgt der Informationsfluß über alle Schichten hinweg. Zusätzlich werden Funktionen wie die Korrektur von Übertragungsfehlern oder die Überwachung des Datenflusses wahrgenommen.

Steuerebene (Control Plane):

Sie ist verantwortlich für den Auf- und Abbau sowie die Überwachung von Verbindungen. Da ATM verbindungsorientiert arbeitet, muß jeder Verbindung innerhalb der ATM-Schicht über das Signalisierungsverfahren der Steuerebene eine eindeutige Identifikationsnummer zugeordnet werden. In Abhängigkeit der Hierarchie der Verbindung werden diese Identifikationsnummern Pfadidentifikation (VPI, Virtual Path Identifier) bzw. Kanalidentifikation (VCI, Virtual Channel Identifier) genannt.

Managementebene (Management Plane):

Die erste Funktion dieser Ebene besteht im Ebenenmanagement (Plane Management), d.h. die Koordination der Funktionen und Abläufe der Managementebene mit den beiden anderen Ebenen. Die andere Funktion ist das Schichtenmanagement. Sie ist verantwortlich für Funktionen wie die Metasignalisierung oder den OAM-Informationsfluß. Zur Steuerung der verschiedenen Signalisierungsabläufe ist ein eigener Informationskanal nötig, die Metasignalisierung (Signalisierung der Signalisierung), da diese Aufgaben in Breitband-ISDN-Netzen wesentlich umfangreicher und komplizierter sind als im Schmalband-ISDN. OAM-Informationen (OAM, Operation And Maintenance) dienen zur Überwachung der Netzwerkleistungsfähigkeit und zum Fehlermanagement. Das B-ISDN-Referenzmodell besteht aus vier Schichten:

- der physikalischen Schicht,
- der ATM-Schicht,
- der ATM-Adaptionsschicht (AAL) und
- der Anwendungsschicht.

3.4.1. Die physikalische Schicht

Die physikalische Schicht besteht aus zwei Teilschichten: der Übertragungsanpassungsschicht und dem physikalischen Medium.

Übertragungsanpassungsschicht (Transmission Convergency, TC):

Die TC paßt die Zellen der ATM-Schicht in die Übertragungsrahmen des jeweiligen Transportmediums ein. Übertragungsmedien können SDH-Rahmen oder PDH-Rahmen einer beliebigen Hierarchiestufe (E3, DS1, DS3, E4 u.s.w.) sein. Bei direkter Zellenübertragung ist dies nicht notwendig. Nach der Verschlüsselung wird der Zelleninhalt direkt auf das Übertragungsmedium ausgegeben. Lediglich der Zelleninhalt (Payload) wird verschlüsselt übertragen (Zellenkodierung, Cell Delineation), d.h. bei beliebigen Bitkombinationen innerhalb des Informationsfeldes der ATM-Zelle kann der Header eindeutig als solcher identifiziert werden.

Ein weitere Aufgabe, die von der TC wahrgenommen wird, ist die Berechnung der Prüfsumme (HEC) über die Headerinformation der Zelle. Die Prüfsumme wird als fünftes Zellenbyte übertragen.

Physikalisches Medium:

Einzige Entscheidungsgrundlage dafür, ob ein physikalisches Medium zur Übertragung von ATM-Zellen verwendbar ist, ist der Fakt, ob dafür eine Definition der Übertragungsanpas-

sungsteilschicht vorhanden ist. Die Übertragungsanpassung ist auf drei Arten möglich: direkte Zellenübertragung, Zellenanpassung auf Übertragungsrahmen (PDH oder SDH) sowie Übertragung mittels PLCP-Rahmen (Physical Layer Convergence Procedure).

[Kyas 96]

3.4.2. Die ATM-Schicht

Die Hauptaufgabe der ATM-Schicht besteht im Transport der, von der übergeordneten Anpassungsschicht übergebenen Daten an deren Bestimmungsort. Sie erzeugt die Zellen, indem sie die 48 Byte große Nutzlast von der AAL übernimmt und ihr den 5 Byte großen Header voranstellt. Die ATM-Schicht baut die Verbindung auf und multiplext die Zellen, die von verschiedenen Anwendungen kommen, auf genau einen Ausgangsport. Umgekehrt werden die, von einem Eingangsport kommenden Zellen auf verschiedene Anwendungen oder Ausgangsport demultiplext. Diese Schicht ist nicht für den Inhalt der Zellen verantwortlich und damit diensteunabhängig. Die *Benutzerebene* nimmt im Rahmen der ATM-Schicht die in Tab. 3.1 aufgezählten Funktionen wahr.

Funktionen	Parameter
Multiplexen / Vermitteln von ATM-Verbindungen	VPI/VCI
Vergabe von Service-Parametern (QoS)	Idle-Zellen
Entkoppeln der Zellenrate von der Übertragungsbandbreite	Idle-Zellen
Unterscheidung zwischen den Zellentypen	feste Headerbelegung
Erkennen der Nutzlasttypen	Nutzlasttypenfeld
Erkennen der Zellenverlustrpriorität und selektives Verwerfen von Zellen	Zellenverlust-Prioritätsfeld und Netzwerkauslastung
Netzlastformung (Traffic Shaping)	Netzlastparameter

Tab.3.1: Funktionen der ATM-Benutzerschicht [Kyas 96]

Vermitteln von ATM-Verbindungen:

In ATM-Netzen herrscht das Prinzip der virtuellen Verbindungen, es wird nur der Anschein einer stetigen Verbindung erweckt. Die Zellen werden auf einem beim Verbindungsaufbau festgelegten Weg durch das Netz transportiert, wobei i.a. alle Zellen den gleichen Weg benutzen.

Grundlage der Verbindung ist das Konzept der virtuellen Pfade und Kanäle, wobei innerhalb einer physikalischen Verbindung mehrere virtuelle Pfade übertragen werden, die wiederum mehrere virtuelle Kanäle umfassen können.

Virtuelle Kanäle sind unidirektionale Verbindungen zwischen zwei Endanwendern, während ein virtueller Pfad (ebenfalls unidirektional) einen logischen Weg zwischen Netzknoten bzw. Endeinrichtungen kennzeichnet. Es sind verschiedene Arten von Verbindungen auf Kanal- als auch Pfadebene vorgesehen: -Punkt-zu-Punkt,

-Punkt-zu-Mehrpunkt oder

- Mehrpunkt-zu-Mehrpunkt.

Weiterhin kann die Bandbreitenverteilung asymmetrisch sein (unterschiedliche Bandbreite in Empfangs-und Senderichtung) oder für unterschiedliche Verbindungen verschiedene Serviceparameter vereinbart werden.

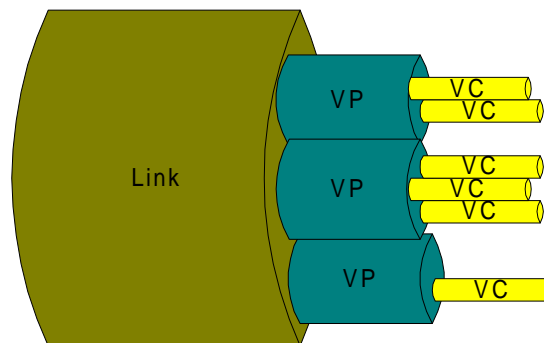


Abb.3.6: Kanäle und Pfade [c't 10/96]

Kanalverbindungen (VCC, Virtual Channel Connections) haben vier Eigenschaften:

- jeder Kanalverbindung werden Serviceparameter zugeordnet,
- Kanalverbindungen können dynamisch vermittelt (SVC, Switched Virtual Circuit) werden oder permanent (PVC, Permanent Virtual Circuit) sein,
- die Übertragungsreihenfolge der Zellen bleibt unverändert,
- zwischen Benutzer und Netzwerk werden für jede Kanal-Verbindung Verkehrsparameter ausgehandelt.

Die Einhaltung dieser Parameter geschieht durch das netzwerkseitige Überwachen der vom Benutzer übertragenen Zellen. Die Kanalverbindung kann auf vier Arten aufgebaut werden:

- ohne Signalisierung durch Einrichten eines PVC,
- durch Metasignalisierung,
- durch User-to-Network-Signalisierung,
- durch User-to-User-Signalisierung.

Für Pfadverbindungen gelten dieselben Eigenschaften wie für Kanalverbindungen, jedoch erfolgt der Verbindungsaufbau auf zwei Arten:

- ohne Signalisierung durch Anmelden einer Verbindung,
- durch Verbindungsaufbau auf Anforderung.

Die Kanäle werden durch Kanalvermittlungen und die Pfade durch Pfadvermittlungen vermittelt. Da die Identifikationen in den Headern abschnittsweise vergeben werden, müssen die Werte der eingehenden VCI (VPI) in die neuen Werte der abgehenden Kanäle (Pfade) umgesetzt werden. Bei Vermittlung von Kanälen muß zuerst ein neuer Pfad eröffnet werden, in dem anschließend der Kanal die Vermittlung verlassen kann.

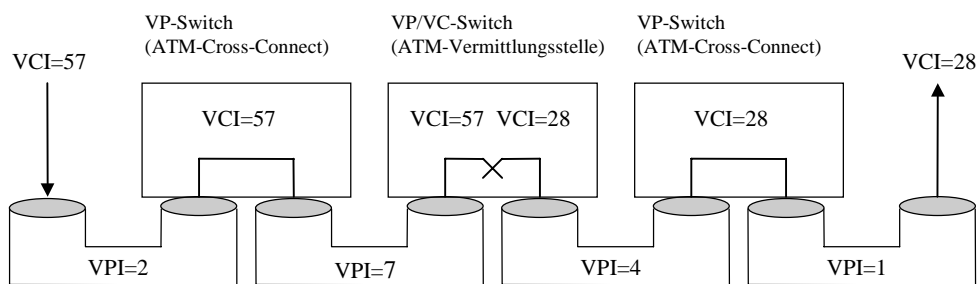


Abb.3.7: Kanal- und Pfadvermittlung [Sie 93]

Quality of Service:

Da unterschiedliche Dienste unterschiedliche Übertragungsanforderungen verlangen, werden jeder Verbindung im Rahmen ihres Aufbaus von der ATM-Schicht Serviceparameter zugeordnet. Bisher sind drei dieser Parameter vorgesehen:

- Zellenverlustrate (Cell Loss Ratio),
- Zellenverzögerung (Cell Delay),
- Schwankung der durchschnittlichen Zellenverzögerung (Cell Delay Variation).

Jeder Benutzer kann beim Verbindungsaufbau im Traffic Contract für jede Übertragungsrichtung eine bestimmte QoS-Klasse anfordern. Diese wird vom Netzwerk zwischen den Verbindungspunkten solange garantiert, wie der Benutzer den Netzlastvertrag einhält.

Zellenverlustpriorität und selektives Verwerfen von Zellen:

Mit der Benutzer-Parameter-Kontrolle (UPC-User Parameter Control) wird der Zellenstrom jeder Pfad-bzw. Kanalverbindung überwacht und reguliert. Bei unzulässig hohem Verkehr oder anderen den Netzlastvertrag verletzenden Zuständen wird das Netzwerk geschützt. Die UPC hat auf Zellenebene drei Möglichkeiten:

- ungestörte Zellenübertragung (Cell Passing)
 - sich konform zum Netzlastvertrag verhaltende Zellen werden übertragen
- Markieren von Zellen (Cell Tagging)
 - sich nicht konform zum Netzlastvertrag verhaltende Zellen werden markiert, solange noch genügend Bandbreite zur Verfügung steht (CLP-Wert von 1 auf 0);
bei Netzlastproblemen werden sie zuerst verworfen
- Verwerfen von Zellen (Cell Discarding)
 - zum Netzlastvertrag nichtkonforme Zellen werden verworfen

Netzlastformung (Traffic Shaping):

Über die Verbindungs-Netzlast-Parameter wird im Rahmen des Netzlastvertrages die zulässige Verkehrscharakteristik (Spitzenzellenrate, Dauer der Spitzenzellenrate u.s.w.) festgelegt. Über die Funktion der Netzlastformung (Option) kann eine Sendestation den eigenen Verkehr in die verhandelten Rahmenbedingungen des Netzlastvertrages zwingen.

Die *Managementebene* übernimmt innerhalb der ATM-Schicht Funktionen zur Überwachung der Pfad-Verfügbarkeit sowie Netzwerkleistungsüberwachung auf Kanal- und Pfadebene.

Metasignalisierung:

Bei der Signalisierung handelt es sich ebenfalls um eine virtuelle Verbindung. Sie muß ebenso auf- und abgebaut werden (Signalisierung der Signalisierung: „Metasignalisierung“). Die Metasignalisierung ist ein einfacher Vorgang. Die Befehle finden in einer Zelle Platz (keine Anpassungsschicht notwendig) und werden über einen reservierten Kanal versendet.

[Kyas 96], [Bay 96], [Sie 93]

3.4.3. Die Anpassungsschicht

Aufgabe der ATM-Anpassungsschicht ist es, Informationen der höheren Schichten auf die Zellenstruktur der ATM-Schicht abzubilden, und die dazugehörigen Steuer- und Managementfunktionen zur Verfügung zu stellen. Die in Abhängigkeit des Informationstyps auftretenden Zellenlaufzeiten sind auszugleichen.

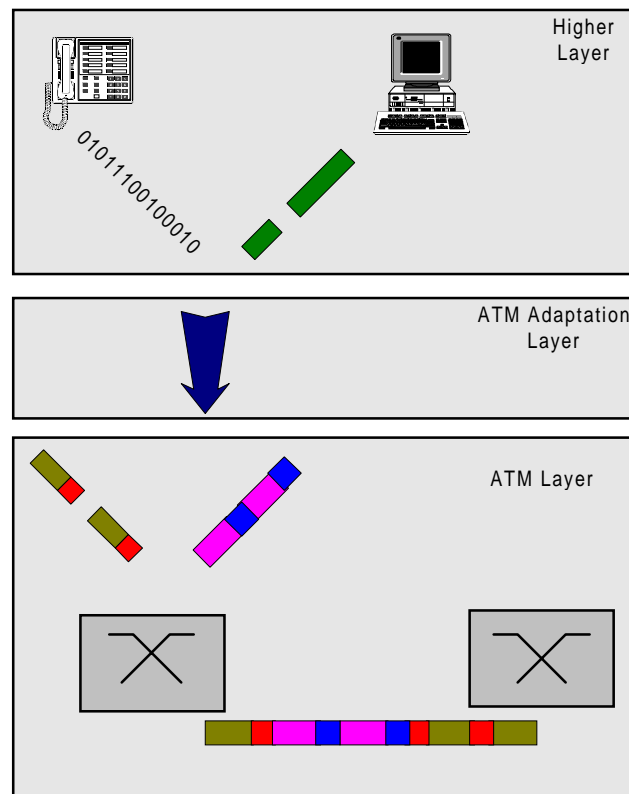


Abb. 3.8: Umsetzung unterschiedlicher Paketgrößen in ATM-Zellen [c't 10/96]

Um den unterschiedlichen Anforderungen der Übertragungsdienste gerecht zu werden, wurden fünf AAL-Typen definiert.

Da sehr schnell deutlich wurde, daß für eine Unterscheidung zwischen verbindungsorientierter und nicht verbindungsorientierter Datenübertragung im Rahmen der AAL-Schicht keine Notwendigkeit besteht, konnten Typ 3 und 4 zu AAL Typ $\frac{3}{4}$ zusammengefaßt werden. (siehe Tab. 3.2).

	Class A	Class B	Class C	Class D
Zeitkompensation	erforderlich		nicht erforderlich	
Bit-Rate	konstant	variabel		
Verbindungs- modus	verbindungsorientiert			verbindungslos
Beispiel	Sprache, Video, ISDN	paketierte Sprache, Video	X.25, Frame Relay	Inter-LAN, SMDS
AAL-Typ	Typ 1	Typ 2	Typ 3/4 Typ 5	Typ 3/4

Tab. 3.2: Dienstklassen und AAL-Typen

AAL-Typ-1:

Der Diensttyp 1 dient dazu, Daten mit konstanter Bitrate über das B-ISDN-Netzwerk zu übertragen. Zusätzlich zur Anpassung und Übertragung stellt der AAL-Typ-1 den Takt zwischen Quell- und Zielstation bereit. Weiterhin ist das AAL-Typ-1 Protokoll in der Lage, strukturierte Daten (z.B. auf 8-kHz-Abtastperioden basierende Daten) als solche zu übertragen. Es erfolgt keine Korrektur oder wiederholte Übertragung von fehlerhaft übermittelten Daten. Verluste oder die Übertragung fehlerhafter Informationseinheiten (SDU, Service Data Unit), Verlust von Synchronisation, ein Überlaufen des Zwischenpuffers oder das Auftreten von fehlerhaften AAL-Header-Informationen (AAL-PCI, AAL-Protocol Control Information) werden von der Benutzerebene an die Managementebene weitergeleitet.

Die ATM-Adaptionsschicht besteht aus zwei Teilschichten: Convergence Sublayer (CS) und Segmentation and Reassembly Sublayer (SAR). Diese beiden Teilschichten arbeiten bei der Anpassung von konstanten Datenströmen an ATM-Zellen zusammen und werden von der Managementeinheit der ATM-Adaptionsschicht gesteuert. [Kyas 96], [Bay 96]

AAL-Typ-2:

Der AAL-Typ-2 unterstützt Dienste der Klasse B, d.h. zeitkontinuierliche Daten mit variabler Bitrate. Es müssen ebenfalls die Taktinformationen des Sendebitstromes zum Empfänger übertragen werden. Bisher ist der AAL-Typ-2 noch nicht im Detail spezifiziert. Es gibt lediglich eine Aufzählung von möglichen Grundfunktionen, die in einer älteren Version der ITU-T-Empfehlung I.363 enthalten waren:

- Segmentieren und Zusammensetzen der Daten,

-Handhabung der Zellenverzögerungen und der Verzögerungen beim Zusammensetzen

der Benutzerinformation aus den Zellen,

-Behandeln von verlorenen oder falsch eingefügten Zellen,

-Taktrückgewinnung im Empfänger,

-Rückgewinnung der Datenstruktur bei strukturierten Daten,

-Überprüfung des AAL-Protokoll-Headers auf Bitfehler,

-Behandlung von fehlerhaften AAL-Protokoll-Headern,

-Überprüfung des AAL-Informationsfeldes auf Bitfehler und Korrektur.

Abbildung 3.9 zeigt den Vorschlag für das Format einer Protokoll-dateneinheit der SAR-Schicht. Die Längen der einzelnen Felder sind in den Empfehlungen nicht enthalten.

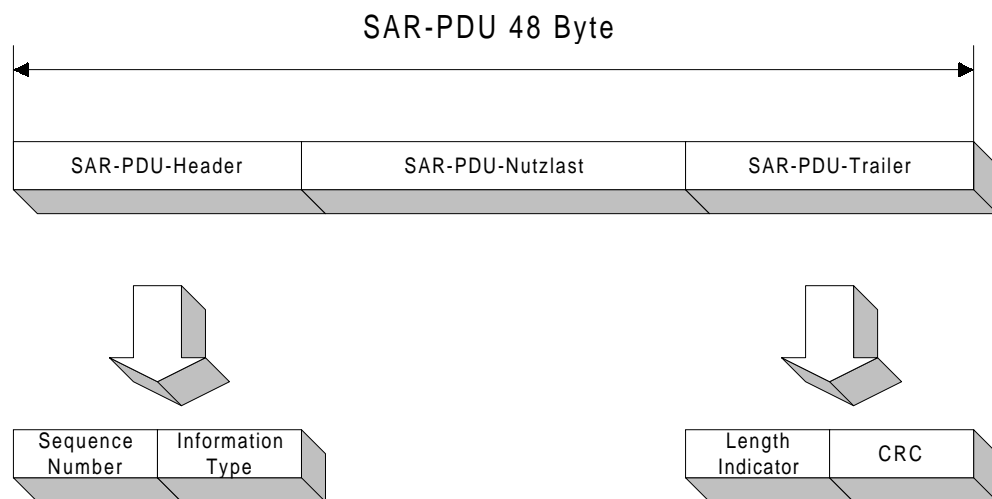


Abb.3.9: SAR-Protocol-Data-Unit für AAL-2

Bestimmte auftretende Ereignisse werden ebenfalls wie bei AAL-1 von der Benutzerebene an die Managementebene gemeldet. Weitergehende Beschreibungen des Diensttyp 2 sind in nächster Zeit nicht zu erwarten, da derzeitige Ansätze die Übertragung von variablen isochronen Datenströmen (Video) entweder über AAL-1 oder AAL-5 verfolgen.

[Kyas 96], [Zitterbart 95]

Allerdings gibt es erste theoretische Ansätze zur Übertragung von VBR-MPEG-2 durch das Technologiezentrum der DTAG. Der „Prototyp“ eines solchen Layers soll Ende 1997 vorgestellt werden.

[DTAG 2/97]

AAL-Typ-3/4:

Die Anpassungsschicht vom Typ-3/4 spezifiziert die verbindungsorientierte und die nicht-verbindungsorientierte Übertragung von Datenpaketen. Es können sowohl Punkt-zu-Punkt

als auch Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen aufgebaut werden. Das AAL-3/4-Protokoll ist ebenfalls für die Übertragung von nichtverbindungsorientierten Kommunikationsdiensten wie SMDS/CBDS Metropolitan Area Networks oder Frame Relay geeignet. Der Typ $\frac{3}{4}$ paßt Datenpakete bzw. Datenrahmen an ATM-Zellen an. Diese Pakete und Rahmen können eine variable Länge bis 65535 Byte haben.

Das AAL-3/4-Protokoll besteht ebenso wie AAL-Typ-1 aus einer Segmentierungs- / Assemblierungsteilschicht (SAR) und einer Konvergenzteilschicht (CS). Innerhalb der Konvergenzteilschicht wird noch einmal zwischen einem gemeinsamen Teil (CPCS, Common Part Convergence Sublayer) und einem anwendungsspezifischen Teil (SSCS, Service Specific Convergence Sublayer) unterschieden. Der allgemeine Teil des AAL-3/4 hat die Aufgabe, bitorientierten Datenverkehr variabler Länge sequentiell zu übertragen. Die Funktionen des generellen Teils wurden in die beiden Unterfunktionen des Common Part Convergence (CPCS) und des Segmentation and Reassembly Sublayer aufgeteilt.

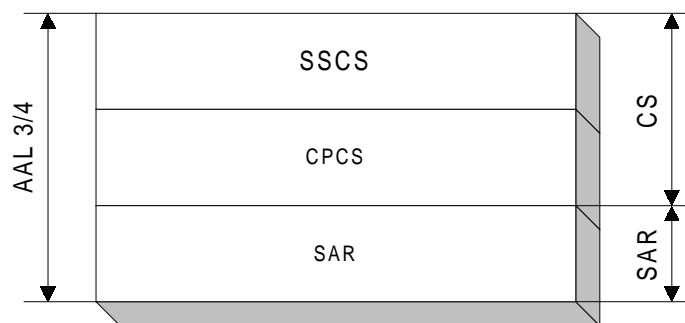


Abb.3.10: AAL-Typ-3/4-Protokoll-Schichtenmodell [Kyas 96]

Auf die Abläufe innerhalb von Diensttyp $\frac{3}{4}$ wird bis auf einige Anmerkungen an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Der AAL-3/4 basiert auf einem sehr komplexen Protokoll, das signifikanten Overhead auf der Segmentierungs- und Reassemblierungsteilschicht erzeugt. Jede Nutzlast beinhaltet 4 Byte SAR-Overhead. Zusätzlich führt dieser Typ für jede Zelle eine Fehlerprüfung durch. Weiterhin verursacht der Typ $\frac{3}{4}$ Overhead bei der Verarbeitung der Nutzlast, zum Beispiel bei der Feststellung der Nutzlastlänge bzw. der Länge der Nutzerinformation innerhalb des Nutzlastteils der Zelle. Dieser zusätzliche Overhead wird benötigt, da die AAL-3/4-SAR bestimmen muß, ob die ihr präsentierte Information den gesamten Nutzlastteil füllt oder nicht. Daher wurde ein vereinfachter Diensttyp (Typ 5) spezifiziert, dessen Hauptunterschiede in der Funktionsweise der SAR-Teilschicht und in der Vermeidung von Overhead auf dieser Teilschicht zu sehen sind.

[Kyas 96], [Bay 96]

AAL-Typ-5:

Die AAL-Typ-5-Teilschicht entspricht einer stark vereinfachten Implementierung des Typs 3/4 und ist damit ebenso für die verbindungsorientierte und nichtverbindungsorientierte Übertragung von Daten, bei denen keine zeitliche Korrelation zwischen Sender und Empfänger besteht, geeignet. AAL-5 setzt sich auch aus einer Segmentierungs-/Assemblierungsteilschicht (SAR) und einer Konvergenzteilschicht (CS) zusammen, wobei innerhalb der Konvergenzteilschicht wieder zwischen einem gemeinsamen Teil (CPCS) und einem anwendungsspezifischen Teil (SSCP) unterschieden wird. Der AAL-Typ-5 weist gegenüber dem AAL-Typ-3/4 einige Vereinfachungen auf. So fügt er der CPCS-PDU (CPCS-Packet Data Unit) zum Beispiel nur am Ende eine Information bei, die sicherstellt, daß auf der gegenüberliegenden CPCS-Seite das Originalformat wiederhergestellt werden kann. Der AAL-Diensttyp prüft nicht jede einzelne Nutzlast auf Fehler, sondern die gesamte CPCS-PDU. Die SAR-Schicht läßt nicht ihren eigenen Overhead mit in den Nutzlastteil einfließen. Sie führt keine Feststellung der Nutzlastlänge durch und verläßt sich darauf, daß ihr die CPCS-Schicht CPCS-PDUs übergibt, die exakt durch 48 teilbar sind. Daher ist eine Segmentierung ohne signifikanten Overhead möglich.

Die SAR-Teilschicht von AAL-Typ-5 nimmt die ersten 48 Byte der CPCS-PDU und gibt sie zusammen mit der notwendigen Verbindungsinformation (SDU-Typ, Cell Loss Priority) an die ATM-Schicht weiter. Die nächsten 48 Byte werden in selber Weise behandelt. Eine Berechnung des Nutzlastteils bzw. des Informationsanteils der Nutzlast ist nicht notwendig. Durch diese vereinfachte Verfahren wird weit weniger Overhead erzeugt als beim Typ-3/4. Auf die Abläufe innerhalb von AAL-Typ-5 wird im Kapitel 5 genauer eingegangen.

[Kyas 96], [Bay 96]

3.5. Normierungsstand und Entwicklung

Die beiden Gremien, die sich mit der Entwicklung des ATM-Standards befassen, sind die ITU (International Telecommunications Union, ehemals CCITT) und das ATM Forum. Dem im September 1991 gegründeten ATM Forum gehören neben den Gründungsmitgliedern Cisco Systems, NET/Adaptive, Northern Telecom und US-Sprint mittlerweile mehr als 700 Mitglieder an.

Die wichtigsten Spezifikationen des ATM Forums sind PNNI (Privat-Network-Network-Interface), UNI (User-Network-Interface), LANE (LAN Emulation) und MPOA (Multiprotocol over ATM). Für die Leistungsfähigkeit des ATM-Netzes ist die in der Traffic-Management-Spezifikation (TM 4.0) definierte Verkehrsflußkontrolle maßgeblich.

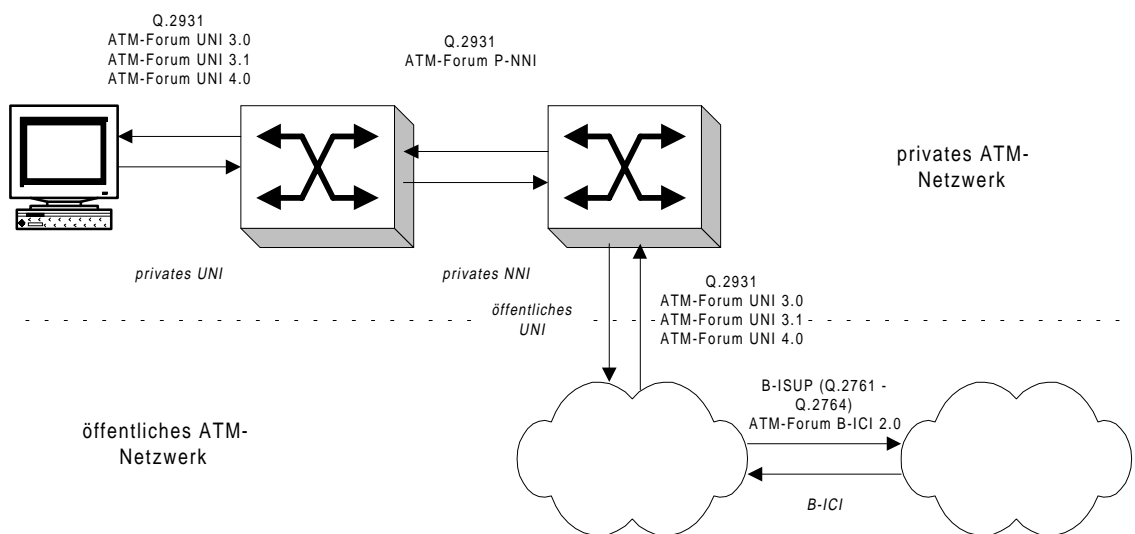
Weitere Standards sind RFC 1438 und 1577 (Classical IP over ATM), die von der IAB (Internet Architecture Board) herausgegeben wurden.

3.5.1. UNI und NNI

3.5.1.1. Signalisierung nach ITU Q.2931

Q.2931 ist das Signalisierungsprotokoll im ATM, das dem Verbindungsauf- und Abbau sowie der Verbindungskontrolle dient. Der Verbindungsaufbau erfolgt nicht, wie im Schmalband-ISDN üblich, über von vornherein festgelegte Signalisierungskanäle, sondern über ATM-Kanäle, die von der auf der ATM-Schicht ablaufenden Metasignalisierung ausgewählt werden (siehe 3.4.2.). Im nächsten Schritt baut dann die AAL-Schicht für Signalisierungskanäle eine AAL-Verbindung über den entsprechenden ATM-Kanal auf. Nach erfolgreichem Abschluß von Metasignalisierung und AAL-Verbindungsaufbau wird das Q.2931-Signalisierungsprotokoll aktiv. Dieses Protokoll stellt wegen der einzigartigen Komplexität des Vorgangs eine ungewöhnliche Funktionalität zur Verfügung. Eine große Anzahl von Signalisierungskanälen hat die Aufgabe, unterschiedliche Verkehrsparameter wie ATM-Anpassungsschicht-Typ, garantiertes/nichtgarantiertes Übertragungsverfahren, Bitrate, Zellen-Verlustrate, Zellenverzögerung u.s.w. zu vereinbaren. Hinzu kommen neuartige Verkehrstopologien wie Mehrpunktverbindungen oder Broadcast-Verbindungen, die bewältigt werden müssen. Jede Q.2931-Nachricht besteht aus fünf Teilen: -Protokoll-Diskriminator,

- Call-Reference,
- Message-Type,
- Message-Länge,
- andere Informationselemente, je nach Bedarf.



3.11: ATM-Signalisierung, nach [Kyas 96]

Die ersten vier, dieser als Informationselemente bezeichneten Teilabschnitte, müssen in jeder Q.2931-Nachricht enthalten sein. Das (oder Die) im fünften Teilabschnitt enthaltene (-n) Informationselement (-e) ist (sind) abhängig vom Nachrichtentyp.

Q.2931 wird für den Verbindungsaufbau über öffentliche und private UNI-Schnittstellen und über private NNI-Schnittstellen verwendet (siehe Abb. 3.11).

3.5.1.2. User-Network-Interface

Unter dem Namen UNI (User Network Interface) wurde vom ATM-Forum die Teilnehmer-Schnittstelle definiert. Private ATM-Switches verhalten sich dabei wie ein öffentlicher Teilnehmer.

Die Signalisierungsspezifikation in den Dokumenten UNI 3.0 bzw. 3.1 stellt eine Untermenge der ITU-Spezifikation Q.2931 dar. Das neueste Signalisierungsdokument des ATM-Forums UNI 4.0 ist nur noch als Delta-Dokument zu Q.2931 ausgeführt.

Die UNI definiert die Physik und die ATM-Protokolle bzw. die Signalisierung für den Verbindungsaufbau bei geschalteten Verbindungen (SVC, Switched Virtual Circuit). Je nach Funktionalität wird zwischen Private UNI (UNI) oder Public UNI (P-UNI) unterschieden. Der Unterschied dieser beiden Schnittstellen liegt auf physikalischer Ebene, da verschiedene Distanzen überbrückt werden müssen. Im privaten Bereich dominieren geringe Entfernungen, während in öffentlichen Netzen größere Distanzen zwischen den Systemen vorherrschen. Über P-UNI werden private ATM-Switches oder öffentliche Teilnehmer am öffentlichen ATM-Netz angeschlossen.

Das UNI-Protokoll hat folgende Funktion:

- dynamische Verbindungsallokation (SVC),
 - Punkt-zu-Punkt-Verbindungen,
 - Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen,
 - Client-Registrierungsprozeß,
 - Einrichten von Virtual Connection Identifiers,
 - öffentliche und private UNI-Adressen,
 - separater Signalisierungskanal und Signalisierungsfunktionen,
 - Fehlererkennung.
- [Bay 96]

UNI 3.0:

UNI 3.0 basiert auf der Signalisierung nach Q.931B, einer Vorläuferversion von Q.2931, und ist damit teilweise inkompatibel zur ITU-Spezifikation.

UNI 3.1:

Die zur Zeit bei vielen Herstellern aktuelle Version ist UNI 3.1. Da UNI 3.1 nach Abschluß der Arbeiten an Q.2931 erstellt wurde, herrscht weitgehend Übereinstimmung. Es wird Metasignalisierung und Broadcast-Signalisierung unterstützt. UNI 3.1 ist nicht abwärtskompatibel.

UNI 4.0:

Mit UNI 4.0 erfolgt eine weitergehende Annäherung an das ITU-Dokument Q.2931. Abwärtskompatibilität zu UNI 3.1 wird gewährleistet (jedoch nicht zu UNI 3.0). UNI 4.0 baut auf das Traffic Management 4.0 (siehe 3.5.2.) auf. In ihr wird die Default-Parameter Einstellung für die Signalisierungskanäle spezifiziert.

Bei UNI 4.0 kommt folgendes hinzu:

- Dienstgütevereinbarung,
- geswitchte Virtuelle Pfade,
- Punkt-zu-Mehrpunkt-Übertragung,
- Anycasts (eine Gruppenadresse für mehrere Service-Knoten).

[Hab 2/97]

3.5.1.3. Network-Network-Interface

NNI (auch Network Node Interface) ist eine Knoten-Knoten-Schnittstelle. Sie unterscheidet sich von der UNI nur in der Länge des VPI-Feldes (siehe 3.3.). Hier wird ebenfalls zwischen privater und öffentlicher Netz-Netz-Schnittstelle unterschieden. Die private NNI ist die Schnittstelle zwischen privaten ATM-Vermittlungsknoten. Eine öffentliche NNI beschreibt die Schnittstelle zwischen ATM-Vermittlungseinrichtungen im öffentlichen Netz.

IISP:

Das IISP (Interim Inter Switch Protocol) ist ein Vorläufer von PNNI, und wird daher auch als PNNI Phase 0 bezeichnet. Es wurde erarbeitet, um Verbindungen zwischen Vermittlungssystemen (Switches) herstellerübergreifend aufzubauen. IISP ermöglicht nur elementare Funktionen (statisches Routing anhand von Routing-Tabellen). Es sieht daher die manuelle Konfiguration der Topologie und der Ressourcen-Tabellen des ATM-Netzes vor, wobei jedem ATM-Switch lediglich die Adresse seines unmittelbaren Nachbar-Switches mitgeteilt wird. Der hohe Administrationsaufwand schränkt die Anwendung auf kleine (<10 Switches), sich nicht häufig ändernde Umgebungen ein. Es besteht keine Möglichkeit QoS-Klassen einzurichten. IISP ist nicht kompatibel mit PNNI.

[Hab 2/97]

PNNI 1.0:

PNNI beschreibt physikalisches Interface, Signalisierungsprotokoll und das ATM-Routing-Protokoll zwischen zwei oder mehreren ATM-Switches innerhalb eines privaten Netzwerkes.

Die ATM-Switches können von verschiedenen Herstellern stammen.

Die Signalisierung beruht auf dem Q.2931-Standard, während das Routing-Protokoll (basierend auf Source Routing) eine Eigenentwicklung des ATM-Forums ist. Dieses Routing-Protokoll eignet sich für die Bildung äußerst skalierbarer, robuster und in der Topologie flexibler ATM-Netze. PNNI 1.0 bietet jedoch nur begrenzte Möglichkeiten, um eine bestimmte Dienstqualität zu garantieren.

Die PNNI-Topologie ist hierarchisch aufgebaut, um den, durch die zu verteilende Topologie-Information entstehenden Datenverkehr zu minimieren. Auf der untersten Ebene werden ATM-Switching-Systeme zu sogenannten Peer-Groups zusammengefaßt, die in der nächsthöheren Topologie-Ebene durch ihren „Peer-Group-Leader“ repräsentiert werden. Jeder Netzknoten tauscht mit seinem Nachbarn Informationen über eigene Identität und Status der Verbindungen aus. Die „Peer-Group-Leader“ tauschen ebenfalls die entsprechenden Informationen aus und leiten diese weiter an ihre Peer-Group. Somit verfügt jeder Netzknoten über ein Bild des gesamten Netzwerkes. PNNI ist das einzige standardbasierende Routing-Protokoll, das bisher für den Einsatz in privaten ATM-Netzen definiert ist. Diese PNNI-Version ist jedoch nur für UNI 3.0/3.1 ausgelegt, noch nicht für UNI 4.0. Gruppenadressierungen und ABR-Verbindungen werden deshalb noch nicht unterstützt. Heterogene Netze mit ATM-Vermittlungsknoten setzen dieses Protokoll voraus. Eine andere Wahl gibt es nicht.

[Kyas 96], [Bay 96], [Gate 5/97]

I-PNNI:

Integrated PNNI ist eine Erweiterung des PNNI-Routing-Protokolls, das dessen Lauffähigkeit über ATM-Vermittlungsknoten hinaus auf Router und Layer 2 / Layer 3 -Switches ausdehnt. Somit können auch die Nicht-ATM-Teilnetze von den Vorteilen des PNNI-Routing-Protokolls profitieren. Management und Verwaltung des Netzes werden ebenfalls vereinfacht, da die Nutzung mehrerer unterschiedlicher Routing-Protokolle hinfällig wird (siehe auch MPOA).

[Bay 96]

PNNI 2.0:

PNNI Phase 2.0 befindet sich derzeit in der Ausarbeitung. Es ist mit einer Erweiterung der Funktionalitäten des Protokolls zu rechnen. Die Veröffentlichung ist für Dezember dieses

Jahres vorgesehen (siehe Anhang F).

[LAN

5/97]

3.5.2. Traffic Management 4.0

Das Traffic Management überwacht Überlastsituationen und die Benutzung der Bandbreite. Die in der UNI 3.1-Spezifikation aufgeführte Vorgängerversion von TM 4.0 definierte fünf Dienstgüteklassen: -unspezifiziert (heutiger LAN-Verkehr),

- QoS-Klasse 1 (Circuit Emulation, CBR Video),
- QoS-Klasse 2 (VBR Audio und Video),
- QoS-Klasse 3 (verbindungsorientierter Datenverkehr),
- QoS-Klasse 4 (verbindungsloser Datenverkehr).

Die Traffic Management Spezifikation TM 4.0 des ATM-Forums geht von der Definition der QoS-Klassen ab und erlaubt eine freizügigere Definition von QoS-Parametern, wobei die Freizügigkeit durch die jeweilige Dienstkategorie beschränkt ist. Es erfolgt eine Unterscheidung in:

- Constant Bit Rate (CBR) Service Category
- Real-Time Variable Bit Rate (rt-VBR) Service Category
- Non-Real-Time Variable Bit Rate (nrt-VBR) Service Category
- Unspecified Bit Rate (UBR) Service Category
- Available Bit Rate (ABR) Service Category

Die Dienstkategorien werden durch zugehörige Verkehrs- und Dienstgüteattribute eindeutig beschrieben.

Attriute	ATM Service Categories				
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR
PCR and CDVT	specified			specified	specified
SCR, MBS, CDVT	n/a	specified		n/a	
MCR	n/a			n/a	specified
ppCDV	specified	specified	unspecified	unspecified	unspecified
Mean CTD	unspecified	unspecified	specified	unspecified	unspecified
Maximum CTD	specified	specified		unspecified	unspecified
CLR	specified			unspecified	specified
Feedback	unspecified			unspecified	specified

PCR.....Peak Cell Rate

CTD.....Cell Time Delay

SCR.....Sustainable Cell Rate

CDV....Cell Delay Variation

MCR....Minimum Cell Rate

CDVT..Cell Delay Variation Time

CLR.....Cell Loss Ratio

MBS.....Maximum Burst Size

Tab.3.3: Attribute der ATM-Dienstkategorien [UNI 4.0]

In TM 4.0 findet sich die Beschreibung von Bedeutung, Wertebereich und erlaubter Kombinationen der Attribute.

CBR (Constant Bit Rate):

Der CBR-Dienst dient zum Transport von Daten mit konstanter Bitrate. Der CBR-Verkehr hat einen deterministischen Charakter und weist relativ konstante Zellenlaufzeiten auf. Die Dienstqualität wird netzwerkseitig gewährleistet. Dieser Dienst eignet sich für Echtzeit-Applikationen, die eine bestimmte feste Bandbreite und Dienstgüte voraussetzen und weder signifikante Delays noch Jitter, geschweige denn Zellverluste tolerieren. Die Anwendungen sind berechenbar und einfach zu verwalten.

Typische Anwendungen sind Sprach- und Videoübertragungen, Videokonferenzen, u.s.w..

VBR (Variable Bit Rate):

Für den VBR-Dienst sind regelmäßige Verkehrsunterbrechungen typisch. Die Zellen werden mit variabler Zellenrate versandt. Es lassen sich 2 Typen hinsichtlich der Echtzeitanforderungen unterscheiden: -rt-VBR (real-time),

-nrt-VBR (non-real-time).

Die Qualität für diesen Dienst wird ebenfalls netzwerkseitig garantiert. Die Anwendungen tolerieren geringfügige Bandbreitenänderungen und Zellenverluste. Der VBR-Dienst steht zur Verfügung für Video-Anwendungen, SMDS-Verkehr, LAN-Verbindungen oder andere Dienste mit vorhersagbarem Verkehrsverhalten.

Alle weiteren Dienste besitzen keine Anforderungen bezüglich Echtzeitfähigkeit und arbeiten nach dem Best-Effort-Prinzip.

ABR (Available Bit Rate):

Der ABR-Dienst wird für Anwendungen verwendet, die zur Zeit des Verbindungsaufbaus über kein vorhersagbares Verkehrsverhalten (burstartiger Datenverkehr) verfügen, jedoch ihren Verkehrsfluß an ein Protokoll zur Regelung des Verkehrsflusses anpassen können. Dieses wird ermöglicht, da der ABR-Dienst eine QoS-Anforderung bezüglich des Zellverlustes, jedoch keine hinsichtlich der Zellenlaufzeit stellt. ABR ist ein Dienst des ATM-Layer, bei dem sich die durch das Netz bereitgestellten Übertragungscharakteristika auch nach dem Verbindungsaufbau noch ändern können. Vor dem Verbindungsaufbau werden die minimale (für die eine Dienstqualität gewährleistet wird) und die maximale Zellrate als verbindlicher Bandbreitenrahmen festgelegt. Zusätzlich können Zellenverlustrate und tolerierbare Zeitverzögerung definiert werden. Der ABR-Dienst ist in der Lage, die Einspeisung der Daten in das Netz kontrolliert zu gestalten. Die Verwendung von Flußkontrollmechanismen dient dem Zweck, Überlast der Datenquelle zurückzumelden und kritische Engpässe zu vermeiden.

Die Steuerung durch netzwerkseitige Kontrollmechanismen gewährleistet eine gewisse Qualität.

UBR (Unspecified Bit Rate):

Dieser Dienst erfordert keine Vorkenntnisse über das Verkehrsverhalten. Er ist für Applikationen (welche durchaus burstartigen Charakter aufweisen können) ohne Echtzeitbedingungen und definierte QoS-Anforderungen vorgesehen. Die Verfahrensweise entspricht dem „send and pray“-Verfahren traditioneller LAN-Techniken. D.h. der Anwender vertraut dem Netz seine Informationen ohne jegliche Kenntnisse über den Auslastungsgrad an. Diese werden mit maximaler Geschwindigkeit übertragen. In Netzüberlastsituationen erfolgen Verstöpfungsrückmeldungen, welche eine Wiederholung der Übertragung zulassen.

[Wun 1/97]

3.5.3. LAN-ATM Internetworking

In den nächsten Jahren werden herkömmliche „Shared Media“-LANs und LANs auf Switching-Basis parallel nebeneinander existieren. Die Hauptanforderungen der meisten Anwender bestehen heute nicht in der Installation reiner ATM-Umgebungen, sondern in der Integration vorhandener „Shared Media“-LANs in ein ATM-Backbone, das sukzessive in den Teilnehmeranschlußbereich erweitert werden kann. Vorerst ist die Weiternutzung installierter LAN-Hubs und Router sowie etablierter Software angestrebt.

Bestehende Anwendungen sind auf ATM nicht ohne Hilfsmittel lauffähig. Es sind Lösungen notwendig, wie bestehende LAN's in ATM-Backbones integriert bzw. LAN-Endgeräte über das ATM-Backbone miteinander und mit ATM-Endgeräten kommunizieren können. Das verbindungsorientierte ATM-Netz muß die verbindungslosen Dienste eines traditionellen LAN's für alle verfügbaren Netzwerkprotokolle nachempfinden. Dazu ist eine Anpassung des Transport- (RFC 1577) oder des Link-Protokolls (LANE) notwendig.

Derzeit sind drei Lösungswege auf der Basis von Standards (der IETF) und Spezifikationen (des ATM-Forums) verfügbar:

- Multiprotocol Encapsulation over ATM (RFC 1483),
- Classical IP over ATM (RFC 1577),
- LAN-Emulation.

3.5.3.1. Multiprotocol Encapsulation over ATM (RFC 1483)

In RFC 1483 werden zwei Methoden der Einschachtelung von LAN-Datenpaketen aufgeführt:

- mittels „Logical Link Control Encapsulation“:
 - Mehrfachprotokolle werden über eine einzelne Verbindung transportiert. Ein „LLC/SNAP (Logical Link Control/Subnetwork Access

Point)-Header“ identifiziert die eingekapselten Pakete.

Die Verbindungen enden an der LLC-Schicht in den Endsystemen.

-mittels „VC-based Multiplexing“:

·Nur ein Protokoll wird über eine ATM-Verbindung übertragen. Deshalb ist kein zusätzliches Multiplex- oder Pakettypenfeld erforderlich.

Bei der ersten Methode werden die LAN-Pakete auf der LLC-Teilschicht in AAL-5-CPCS-PDUs eingeschachtelt und über einen einzigen virtuellen Kanal übertragen. So sind alle LAN-Protokolle (Ethernet, Token-Ring und FDDI) über ein ATM-Netz übertragbar. Die LLC-Encapsulation wird benötigt, wenn nur ein virtueller Kanal für die Übertragung mehrerer Protokolle benutzt wird. Damit die Empfangseinrichtung im Endpunkt die PDU identifizieren kann, muß das PTI-Feld die Information zur Identifikation des benutzten Protokolls enthalten. Bei dieser Methode der Einschachtelung wird die LLC-Header-Information vor der PDU platziert. Dieses Verfahren eignet sich vor allem für ATM-Umgebungen, die nur aus virtuellen Festverbindungen bestehen, oder die keine virtuellen Wählverbindungen unterstützen.

In Netzwerken mit SVCs, in denen eine dynamische Verwaltung einer großen Zahl von VCs kein Problem darstellt, kann VC-basierendes Multiplexing eingesetzt werden. Hierbei muß der virtuelle Kanal das benutzte Netzprotokoll erkennen können. Für jedes Protokoll muß ein separater VC zur Verfügung stehen. In diesem Fall wird der LLC-Header nicht in der Nutzlast platziert und übertragen. Dadurch wird weniger Bandbreite benötigt und es fällt weniger Verarbeitungs-Overhead an, so daß es effizienter als die LLC-Encapsulation ist.

[Gate 3/97], [Kyas 96], [Bay 96]

3.5.3.2. Classical IP over ATM (RFC 1577)

RFC 1577 geht über das Enkapsulierungsverfahren von RFC 1483 hinaus und spezifiziert eine vollständige Internet-Protokoll-Implementation für ATM. Classical IP definiert in ATM-Netzen mit Hilfe von „Logical IP Subnetworks (LIS)“ logische Subnetze. Ein LIS besteht aus mehreren Clients (Rechner und Router) sowie einem ATMARP-Server (ATMARP, ATM Address Resolution Protocol). Er ist für die Adreßauflösung zuständig. Alle Clients haben dieselbe IP-Adresse und identische Subnetzmasken. Deshalb ist jedes Endsystem im gleichen Subnetz über Punkt-zu-Punkt-ATM-Verbindung zu erreichen. Teilnehmer außerhalb des Subnetzes sind über Router zugänglich. Physikalische ATM-Schnittstellen oder virtuelle Interfaces stellen sicher, daß Router und Endsysteme mehr als einem Netzsegment angehören können. Die Subnetze kommunizieren mittels „Hop-by-Hop-Routing“, auch dann, wenn beide LIS demselben physikalischen Subnetz angehören. Soll über eine PVC/SVC und einen ATMARP-Server eine ATM-Verbindung aufgebaut werden,

muß der Server die IP-Adresse kennen. Steht eine Adresse nicht in der ATMARP-Tabelle, geht eine „Request“-Mitteilung an den Server. Dieser sendet daraufhin eine ARP-Meldung mit der ATM-Adresse des Zielsystems. Anschließend baut der Rechner eine SVC zum Zielsystem auf.

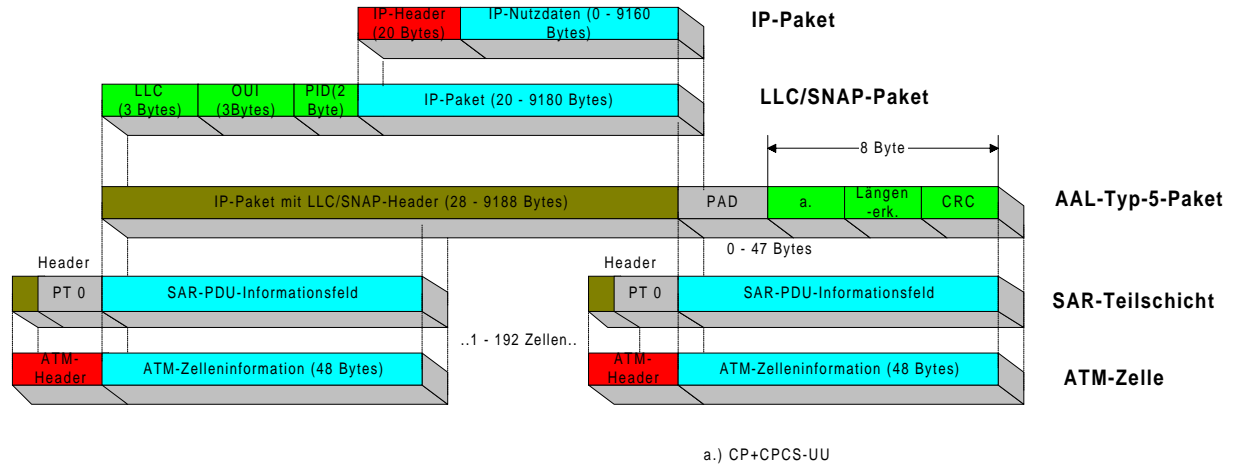


Abb.3.12: Einkapselung von IP-Paketen [Gate 3/97]

Die ATMARP-PDUs sowie die IP-Datenpakete selbst werden wieder nach den Regeln der LLC-Encapsulierung innerhalb von AAL-5-CPCS-PDUs übertragen. [Gate 3/97,1]

3.5.3.3. LAN-Emulation

LANE 1.0:

Die aus Sicht der LAN-Applikationen universellste Methode, ATM-Netzwerke effizient in bestehende LAN-Strukturen zu integrieren, besteht in einer vollständigen Emulation der LAN-MAC-Schicht, da in diesem Fall alle bestehenden LAN-Applikationen ohne jede Modifikation über ATM-Netze hinweg fortgeführt werden können. Aus Sicht der LAN-Software verhält sich der LAN-Emulationsdienst dabei genauso wie ein traditioneller MAC-LAN-Treiber.

Im Vergleich zu ATM haben Ethernet-, Token-Ring- oder FDDI-Netzwerke eine völlig andere Funktionsweise und können daher nicht ohne weiteres angekoppelt werden. Hauptproblem sind jedoch nicht die unterschiedlichen Übertragungsgeschwindigkeiten oder inkompatible Paket- bzw. Zellenformate. Diese Differenzen sind verhältnismäßig einfach, mit entsprechend leistungsfähigen Brücken zu überwinden. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß ATM-Netze verbindungsorientiert arbeiten und herkömmliche LAN-Netze broadcasterorientiert. Diese in der Natur von „Shared Media“-LANs liegenden Mechanismen lassen sich nur mit entsprechend hohem Aufwand auf ATM-Netzen simulieren. Vor zwei

Jahren legte das ATM-Forum die erste LANE-Spezifizierung (1.0) vor. Sie berücksichtigt folgende Einsatzgebiete:

- Verknüpfung traditioneller LANs über ATM,
- Verbindung von Endsystemen in LANs und solchen in ATM-Netzen,

-Einsatz von LAN-Anwendungen zwischen Endsystemen, die direkt am ATM-Netz angeschlossen sind.

Die LAN-Emulation verwendet vorhandene LAN-Treiber. Ein Endsystem kann damit über eine standardisierte MAC-Schnittstelle auf ein LAN zugreifen, ohne Protokolle und Programme anzupassen. Deshalb setzt LANE unterhalb der Schicht 3 an und emuliert den MAC-Treiber eines lokalen Netzes. Die Verbindungssysteme zwischen den traditionellen und den emulierten LANs verwenden Transparent- oder Source-Route-Bridging. Ein emuliertes LAN besteht aus vier Komponenten:

-LAN Emulation Client (LEC):

- Software-Paket im Endsystem, das Daten über die ATM-Schnittstelle weiterleitet, Adressen auflöst und andere Steuerfunktionen wahrnimmt.
- Software-Applikationen der höheren Schichten werden Ethernet- oder Token-Ring-Schnittstelle, für Kommunikationsabläufe innerhalb eines emulierten LANs das

LANE

User Network Interface (LUNI) bereitgestellt.

-LAN Emulation Configuration Server (LECS):

- Er übernimmt Zuordnung von LANE Clients zu verschiedenen emulierten LANs auf Basis der LECS-Konfigurationsdatenbank und der von den Clients zur Verfügung gestellten Informationen.
- Jeder Client der den LECS um Konfigurationsinformationen anfragt, wird einem bestimmten LANE-Service zugeordnet, indem der LECS dem LEC die ATM-Adresse des LES mitteilt.

-LAN Emulation Server (LES):

- Dieser koordiniert die Steuerprozesse in einem emulierten LAN.
- Er verfügt über eine Einrichtung, in der die MAC- und ATM-Adressen aller LECs und/oder Weginformationen über die LECs registriert sind, anhand derer die Adreß-
auf-
lösung durchgeführt wird.

-Broadcast and Unknown Server (BUS):

- Ist für Broadcast-, Multicast- und bestimmte Unicast-Sendungen zuständig und leitet alle Datenpakete mit Broadcast- und Multicast-Adressen, die ein LEC auf das Netz sendet, an alle Teilnehmer im emulierten LAN weiter.
- Unterstützt den LES und LECS beim Auffinden von ATM-Adressen, wenn der LES

eine MAC-ATM-Adreßauflösung nicht durchführen konnte, bzw. wenn einem LEC die entsprechende ATM-Adresse nicht bekannt ist.

- Er leitet Unicast Frames weiter, die ein LEC gesendet hat, bevor die Adresse der Zielstation in eine ATM-Adresse aufgelöst wurde, d.h. bevor eine virtuelle Direktverbindung zu dieser Zielstation aufgebaut wurde.

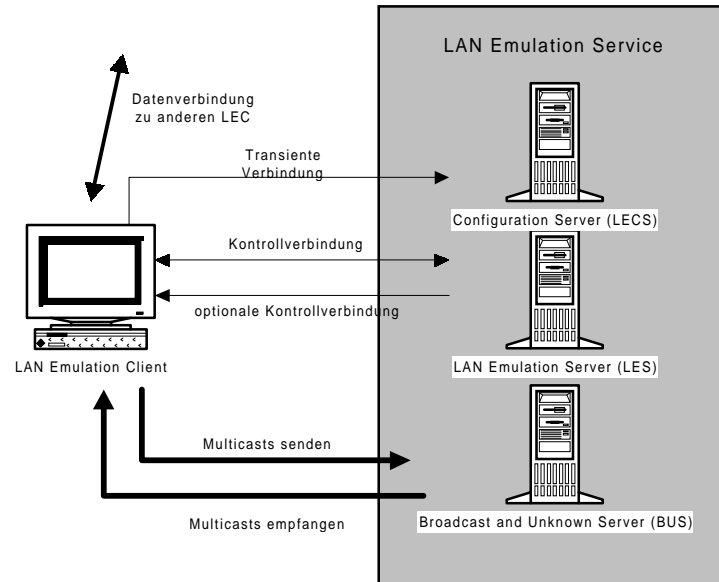


Abb. 3.13: Komponenten der LAN-Emulation und deren Daten- sowie Kontrollverbindungen [NET 8/9'95]

Die logischen Einheiten des „LAN Emulation Service“ lassen sich getrennt oder komplett in Workstations, ATM-Switches und Router integrieren. Ein LAN-zu-LAN-Konverter der OSI-Schicht 2 ist für die Emulation zuständig. Neben Token-Ring- und Ethernet-LANs über AAL-5 werden FDDI-Netze emuliert. Der LAN-ATM-Konverter ersetzt die „Frame Check Sequence (FCS)“ des LAN-Pakets durch einen „LAN-Emulation-Header (LE-Header)“, der die Pakete eindeutig identifiziert. Dabei werden die IP-Pakete zuerst in ein LLC/SNAP-Paket umgesetzt und anschließend im LANE-Paket mit einem Kopffeld und der Sender-/Empfangsadresse versehen. Danach hängt die AAL-5-Schicht einen Trailer an das LANE-Paket, bevor es in ATM-Zellen zerlegt wird. Beim Empfänger sorgt sie dann automatisch für die Zusammensetzung des ursprünglichen Datenflusses. Die LAN-Emulation ist ein Dienst, der mit dem ATM-Netz im Grunde nichts zu tun hat, da ATM nur virtuelle Verbindungen für die AAL-5-Verbindungen aufbaut. Da LANE auf Layer 2 aufsetzt und dementsprechend von den Protokollen der Schicht 3 entkoppelt ist, ermöglicht sie die Anbindung routbarer Protokolle wie IP, IPX, APPN und DECnet. Zusätzlich werden nicht-routbare Protokolle wie NetBIOS, LAT und SNA unterstützt. Vorteil der LAN-Emulation ist, daß alle Endgeräte am LAN von der größeren Bandbreite des ATM-Backbones profitieren, unabhängig von der Schicht 3 und den Protokollarchitekturen.

Netzweit kann eine freie ELAN-Bildung vonstatten gehen, so daß Umzüge von Netzteilnehmern unproblematisch sind. Im Gegensatz zu dem hohen Durchsatz, der innerhalb eines ELANs erreicht wird, ist der Datenaustausch zwischen verschiedenen emulierten Netzen nur ineffektiv über Router möglich. Endsysteme mit LAN-Emulation sind nicht in der Lage, Dienstgüteparameter für einen bestimmten Quality of Service zu definieren.

[Gate 3/97], [Bay 96], [Hab 97]

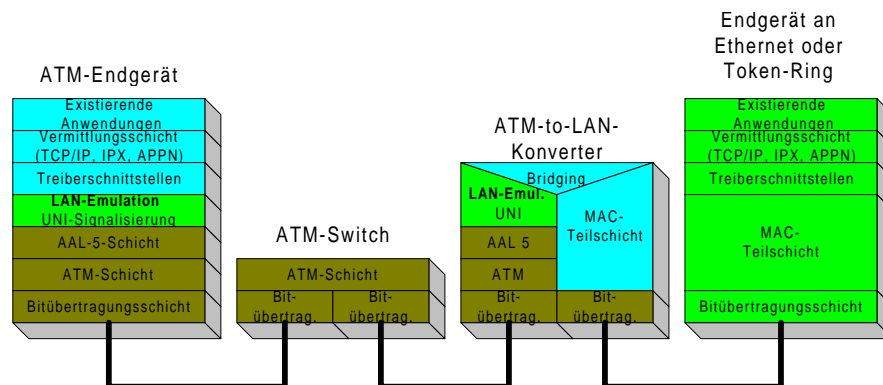


Abb.3.14: Schichtenaufbau der LAN-Emulation [Gate 3/97]

LANE 2.0:

LAN-Emulation Version 2.0 soll folgende Erweiterungen erfahren:

- gleichzeitige Implementierung mehrerer LECs in einem Netz, dadurch wird Redundanz und dementsprechend höhere Betriebssicherheit geschaffen,
- Unterstützung der von höheren Protokollschichten benötigten Dienstgütemerkmale,
- Abwärtskompatibilität zu LANE 1.0,
- Normierung der Kommunikation zwischen verschiedene LAN-Typen und Fehlertoleranzmechanismen,
- soll Basis werden für MPOA (Multiprotokoll over ATM, siehe folgenden Abschnitt).

Die Verabschiedung der entsprechenden Spezifikationen „LANE V.2.0 LUNI-Interface“ und „LANE V.2.0 Server-to-Server-Interface“ ist für Juli bzw. November dieses Jahres angekündigt.

[Hab 1/97], [LAN

5/97]

3.5.3.4. Multiprotocol over ATM (MPOA)

Das bei der LAN-Emulation verwendete Verfahren des Einpackens der Protokoll Daten in MAC-Rahmen erlaubt eine vom Protokoll unabhängige Übermittlung. Die für Anwendungen und Protokolle wichtigen ATM-Eigenschaften (z.B. garantierte Bandbreite, QoS) sind

nicht nutzbar. Die Adressenauflösung beim Verbindungsaufbau erzeugt zusätzlich einen beträchtlichen Overhead. Daher erarbeitet das ATM-Forum ein Verfahren, das eine Zuordnung der Protokolle bereits auf Netzwerkebene ermöglicht. Dieses Verfahren soll existierende Internetworking-Lösungen in ein Gesamtkonzept integrieren, um Daten zwischen Schicht-3-Subnetzen auf Zellenebene zu transportieren. Die Grundarchitektur dieses MPOA genannten Verfahrens entspricht der Emulation eines virtuellen Routers über das ATM-Netz. Dieser virtuelle Router erlaubt:

- den Aufbau eines virtuellen Netzes,
- ein effizientes Routing von Schicht-3-Protokollen und
- die Nutzung von Dienstgarantien durch die Anwendungen.

Die bisher spezifizierten Verfahren zur Übertragung von IP-Daten über ATM lassen nur den Aufbau einzelner Subnetze zu. Zur Verbindung mehrerer Subnetze, sind weiterhin Router zu verwenden, welche den Datendurchsatz verringern und durch Protokoll- bzw. Datenpaketbearbeitung für Verzögerungen verantwortlich sind. Mit Hilfe von Netzstrukturen aus vielen Subnetzen und „Shortcuts (Direktverbindungen)“ soll MPOA diese Nachteile zwischen IP-Subnetzen ausschalten und durch das direkte Aufsetzen auf der Schicht 3 die ATM-Eigenschaften nutzbar machen.

Die Router-Funktionen „Forwarding“ und „Routing“ sind beim vorgesehenen „virtuellen Router“ räumlich getrennt. Dabei werden sogenannte Forwarder über ein standardisiertes Protokoll zentral von Router-Servern gesteuert. Diese Trennung spart Kosten, da das Management einfacher ist und das Routing zentral durchgeführt wird. Außerdem lassen sich einfache Forwarder relativ schnell realisieren. MPOA definiert neben dem virtuellen Router das IP-Subnetz als „Internetwork Address Subgroup (IASG)“. Diese ist ein IP-Adressbereich, der in einem IP-Routingprotokoll zu einer Route zusammengefaßt ist. Dadurch werden alle Adressen erreicht, an die eine IP-Broadcast-Übertragung geht. Es können neben den im lokalen Netz vorhandenen Rechnern somit ebenfalls Stationen in fremden Netzen ohne Einsatz von Routern angesprochen werden.

Der Ansatz ist sehr kompliziert, da die existierenden Verfahren und Standards (P-NNI, LANE, RFC 1577, sowie Next Hop Resolution Protocol, Resource Reservation Protocol, Multicast Address Resolution Server) eingebunden werden müssen. Next Hop Resolution Protocol (NHRP) ist ein neues Protokoll, das den Einsatz von „Shortcuts“ beim Versenden von IP-Paketen über ATM erlaubt. Damit ist es möglich, IP-Pakete direkt an Systeme in anderen Netzen weiterzuleiten. Mit dem Resource Reservation Protocol (RSVP) läßt sich die Bandbreitenreservierung auch bei der Übertragung von IP-Paketen verwenden. Multicast Address Resolution Server (MARS) übernimmt das Versenden von IP-Multicast-Paketen.

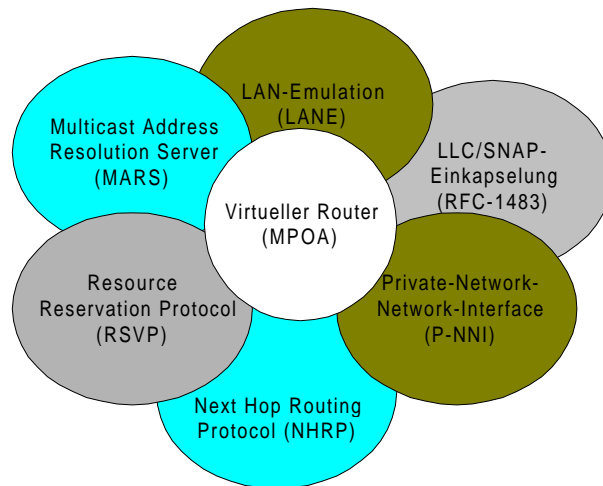


Abb.3.15: „Virtueller Router“ [Gate 4/97]

MPOA ist prinzipiell betrachtet eine Client/Server-Umgebung, die aus folgenden Teilen besteht: -Randgeräte (Edge Devices), Client,

- ATM-Hosts, Client,
- Default Forwarder Functional Group (DFFG),
- Internet Address Subgroup (IASG).

Beide Client-Arten sind unmittelbar an das ATM-Netz angeschlossen. Sie können direkt über ATM mit anderen Hosts kommunizieren (traditionelle LANs benötigen dazu Randgeräte). Die Zielerkennung erfolgt mittels Adressen der Netzwerkschicht oder mit MAC-Adressen. Es sind fünf Serverfunktionsgruppen festgelegt:

-Configuration Server Functional Group (CSFG):

- Sie ist zuständig für Grundkonfiguration der Komponenten und Zuteilung der ATM-Adressen.
- CSFG legt die maximale Paketgröße (MTU, Maximum Transmission Unit) und die Internetworking-Protokolle fest.

-IASG Coordination Functional Group (ICFG):

- Diese enthält Funktionen zur Verwaltung der IASG-Mitglieder.
- In ihr ist der Multicast Address Resolution Server (MARS) integriert.

-Default Forwarder Functional Group (DFFG):

- Über Kontrollverbindung mit der ICFG lassen sich die Zahl der möglichen ICFG-ATM-Verbindungen begrenzen und Verzögerungen beim Verbindungsaufbau über ATM verringern.

-Route Server Functional Group (RSFG):

·Sie deckt den Routing-Teil des virtuellen Routers ab, und ist daher für die Kommunikation

mit Router-Servern anderer IASGs zuständig.

·RSFG unterstützt Router traditioneller Netze.

-Remote Forwarder Functional Group (RFFG):

·Bildet den „Forwarding“-Teil eines virtuellen Routers und übernimmt die Verteilung von Multicast-Paketen zwischen MPOA-Clients, die keine Randgeräte benötigen.

·Sie arbeitet mit MARS zusammen (s.o.).

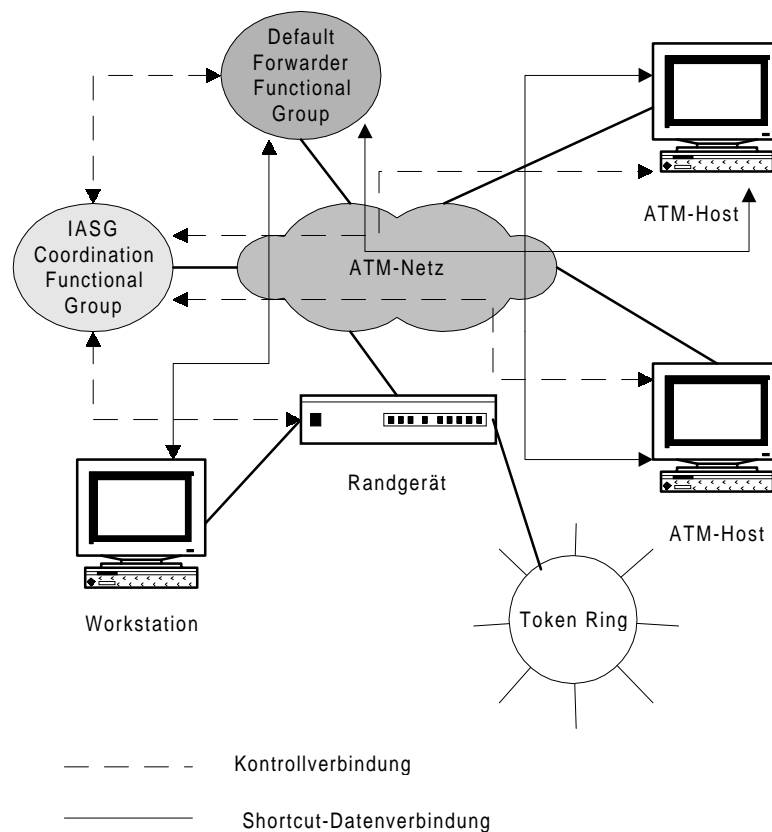


Abb.3.16: Grundstruktur von MPOA [Gate 4/97]

Detaillierte Beschreibungen der zu integrierenden Protokolle sind der Literatur zu entnehmen. Mit Hilfe von MPOA können virtuelle Netze gebildet werden, die es erleichtern, komplexe Netze zu konfigurieren und zu verwalten. Ein Client ist z.B. in der Lage, Router-Informationen zu nutzen, um zu Stationen in anderen Netzen eine Verbindung aufzubauen. Zusätzlich wird das Management großer Netze einfacher. Von Vorteil ist, daß durch die (logische) Zugehörigkeit zu einem VLAN die Zahl der Teilnehmer und damit der benötigte

IP-Adreßraum sinkt. Durch die Zuordnung der Teilnehmer mittels ihrer logischen Adresse verringert sich der Verwaltungsaufwand bei Netzerweiterungen. Der Einsatz des virtuellen Routers, über den die Stationen im Netz mit nur einem „Hop“ andere Teilnehmer erreichen können, garantiert hohe Datenübertragungsraten und geringe Verzögerungszeiten. Die direkte Abbildung der Netzwerkschicht auf die ATM-Schicht unterstützt die Umsetzung von Subnetzstrukturen in virtuelle LANs. Außerdem entfällt für den Verbindungsaufbau ein großer Teil des Overheads, da beispielsweise keine Broadcast-Meldungen versendet werden, um IP-ARPs aufzulösen.

[Bay 96], [Gate

4/97], [Gate 5/97]

3.5.3.5. Vergleich der Ansätze

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Classical IP over ATM	<ul style="list-style-type: none"> -stabiler Standard -direkte Nutzung von IP over ATM -Unterstützung von PVC- u. SVC-Verbindungen -höhere Paketbegrenzung ermöglicht bessere Effizienz 	<ul style="list-style-type: none"> -bisher keine Multicast/Broadcast-Unterstützung -Unterstützung anderer Protokolle fehlt -Verbindungsaufbau kann lange dauern -schlechte Skalierbarkeit (ungeeignet für große Netze) -keine direkte Verbindung über verschiedene Subnetze möglich -keine QoS-Unterstützung
LAN-Emulation	<ul style="list-style-type: none"> -universelle Implementierung (MAC-Schicht wird emuliert) -hohe Funktionalität -Migration bisheriger LANs auf ATM -zusätzliche Nutzung von Appletalk und IPX sowie weiterer LAN-Protokolle -kurzer Verbindungsaufbau -Nutzung der Anwendungsschicht ohne ATM-Konfigurierung -Unterstützung von PVC- und SVC-Verbindungen -IP-Multicasting wird unterstützt 	<ul style="list-style-type: none"> -bisher nicht endgültig standardisiert (L-NNI) -Nutzdatenrate zu niedrig -Paketbegrenzung auf 1500 Byte, dadurch größerer Overhead -gleiche Maximum-Transfer-Unit-Größe muß bei allen beteiligten Netzen vorhanden sein -Broadcast and Unknown als Einschränkung bei Multimedia-Anwendungen -LAN-Adapter herkömmlicher LANs begrenzen die Übertragung -schlechte Skalierbarkeit -keine QoS-Unterstützung -Brückenproblematik zw. Token-Ring und Ethernet wird nicht gelöst

Verfahren	Vorteile	Nachteile
MPOA	<ul style="list-style-type: none"> -Einbindung von Multiprotokollen in ATM-Netzwerke -Integration traditioneller LANs in ATM -bessere Ausnutzung der ATM-Eigenschaften (QoS) -Nutzung virtueller LANs -Vermeidung der durch Router verursachten Engpässe -ATM-Clients können Routing-Informationen nutzen -Verwaltung großer Netze möglich -kleinerer Overhead -geringe Verzögerungszeiten beim Verbindungsaufbau -IP-Multicasting, später ATM-Multicasting werden unterstützt 	<ul style="list-style-type: none"> -Standard nicht vor 1998 abgeschlossen -komplexe Protokollstruktur -Stabilitätsprobleme

Tab.3.4: Vergleich der Ansätze [Gate 7/97]

Classical-IP-Verfahren sind momentan die stabilste Alternative für die Übertragung von IP über ATM. LAN-Emulation findet in kleinen und mittleren Netzen Verwendung, um die höhere Geschwindigkeit im Backbone-Bereich auszunutzen. MPOA ist eine Alternative bei der Kombination von IP und ATM. Wenn die Standards fixiert sind, wird diese Technik in größeren Netzen zum Einsatz kommen. Die unterschiedlichen Eigenschaften der Verfahren können auch parallel genutzt werden. Zur Zeit gibt es ATM-Switches, die zwei Verfahren (Classical IP und LANE) unterstützen. [Gate 5/97]