

5 B-ISDN: SDH und ATM

5.1 Einführung

Der allgemeine Fortschritt der Telekommunikationstechnik hat neue Bedürfnisse und Erwartungen bei den Teilnehmern geweckt, wie beispielsweise Internet-Sitzungen mit Multimedia-Anwendungen. Auch Netzbetreiber und Dienstanbieter versprechen sich von den wachsenden technischen Möglichkeiten neue lukrative Geschäftsfelder, wie z. B. die Verteilung von Video-programmen (Video-on-Demand).

Unter dem Schlagwort Breitband-ISDN wurden bereits in den 1980er Jahren Konzepte für ein zukünftiges diensteintegrierendes digitales Netz (ISDN, Integrated Services Digital Network) mit breitbandigen Teilnehmeranschlüssen (B-ISDN) entwickelt. 1988 hat die ITU die ATM-Technik (Asynchronous Transfer Mode) als technische Grundlage festgelegt. In mehreren Pilotprojekten wurde in den 1990er Jahren ATM erfolgreich erprobt.

Anmerkungen: Eine Übersicht über relevante ITU-T Standards und Empfehlungen des ATM-Forums findet sich in [Rat97]. Weitergehende Darstellungen der Themen dieses Abschnittes geben [Kie97] [Rat97] [Sta95] [Sta00] [Con04].

Dienste, wie die Sprachtelefonie, die Verteilung von Videosignalen für das hochauflösende Fernsehen (HDTV, High Definition Television) und das Übertragen von Dateien (File Transfer), stellen unterschiedliche Anforderungen. Herkömmliche TK-Netze sind dafür nicht geeignet. So bietet der ISDN-Teilnehmeranschluss mit der U_{K0} -Schnittstelle nur zwei B-Kanäle und einen D-Kanal zur Übertragung von zweimal 64 kbit/s bzw. 9,6 kbit/s an, s. Abschnitt 4. Auch der Primärmultiplexanschluss mit der U_{K2} -Schnittstelle, über die dreißig B-Kanäle und ein D_{64} -Kanal gleichzeitig übertragen werden, reicht mit seinen 1,984 Mbit/s zum Transport von Fernsehsignalen üblicher Bildqualität nicht aus. Hinzu kommt, dass herkömmliche, leitungsvermittelte TK-Netze die Verkehrseigenschaften moderner Dienste nicht oder nur unzureichend berücksichtigen und so Kapazitäten verschwenden.

B-ISDN und ATM bilden den Schwerpunkt dieses Abschnitts. In Vorbereitung dazu wird zunächst eine breitere Einführung gegeben und die zurzeit eingesetzte Synchron Digital Hierarchy (SDH) vorgestellt.

Im analogen Sprachtelefonnetz (POT, Plain Old Telephony) sind die Teilnehmer (Telefonapparate) über den Nummerierungsplan eindeutig lokalisiert, s. Abschnitt 2.4. Gibt ein Teilnehmer die Telefonnummer des gewünschten Partners ein, so wird im Netz der Verbindungsweg über die Schaltungen der elektro-mechanischen Selbstwähler schrittweise physikalisch aufgebaut. Man spricht in diesem Fall von einer *Durchschaltevermittlung* (*Circuit Switching*).

Aus wirtschaftlichen Gründen werden im Fernverkehr die aktiven Telefonkanäle gebündelt und gemeinsam übertragen. Zwei wichtige Verfahren sind das *Frequenzmultiplex-* und das *Zeitmultiplex-Verfahren*.

Ein alltägliches Beispiel für die Anwendung des *Frequenzmultiplex-Verfahrens* (FDM, *Frequency Division Multiplexing*) liefert der Hör- und Fernsehrundfunk. Jedes Programm wird mit einer bestimmten Sendeträgerfrequenz ausgestrahlt. Bei der Programmwahl im Empfänger wird das Signal im zugeordneten Frequenzband „herausgefiltert“. Für die Sprachtelefonie

wurde ähnlich das *Trägerfrequenzsystem* entwickelt. In einem mehrstufigen Verfahren werden 12 bis 10⁸ Sprachkanäle gebündelt.

Heute ist das analoge Trägerfrequenzsystem in den meisten Ländern durch das digitale *Zeitmultiplex-Verfahren* (TDM, *Time Division Multiplexing*) ersetzt. Beim TDM werden die Kanäle zur Übertragung digitalisiert und die Bits zeitlich hintereinander geschachtelt.

Die Digitalisierung der Sprachsignale wird in der Telefonie im Fernverkehr seit Anfang der 1960er Jahre eingesetzt. Als *Pulse Code Modulation* (PCM) wurde sie von der ITU-T in der Empfehlung G.711 mit der Bitrate 64 kbit/s standardisiert. Mit der breiten Einführung der PCM-Technik in der Telefonie ab ca. 1970 begann der Wandel hin zu den modernen digitalen Telekommunikationsnetzen. Die PCM lieferte einen konstanten Bitstrom von 64 kbit/s für den Telefon-Sprachkanal. TDM bündelt die Kanäle zu Vielfachen dieser Bitrate und ermöglicht so einen wirtschaftlicheren Netzbetrieb. Zunächst entstand das TDM-System, die *Plesiochrone Digitale Hierarchie* (PDH), in Tabelle 5-1. Seit 1971 wird PCM 30 als 1. Hierarchiestufe in Deutschland eingesetzt. Anfang der 1990er Jahre begann die Ablösung von PDH durch die Synchron-Digitale Hierarchie (SDH).

Anmerkungen: (i) Eine Digitalisierung der Telefonsprache mit 8 kbit/s bei mit PCM (G.711) vergleichbarer Hörqualität ist heute Stand der Technik. (ii) Für eine Beschreibung der PDH-Technik siehe z. B. [Haa97] [Loc02] [Sta00]. (iii) Neben weniger Platz- und Energie, s. Abschnitt 2.4, benötigen digitale TK-Netze für die Bedienung und Wartung etwa 50% weniger Personal als die analogen Vorgänger [Con04].

Tabelle 5-1 Plesiochrone Digitale Hierarchie (PDH)

Stufe	Europa			USA, Kanada			Japan		
	System	Kanäle	Bitrate [Mbit/s]	System	Kanäle	Bitrate [Mbit/s]	System	Kanäle	Bitrate [Mbit/s]
1	E1	30 ¹⁾	2,048	T1	24	1,544	J1	24	1,544
2	E2	120	8,468	T2	96	6,312	J2	96	6,312
3	E3	480	34,368	T3	672	44,736	J3	480	32,064
4	E4	1920	139,264		4032	274,176	J4	1440	97,728
5		7680	564,992						

¹⁾ PCM 30 : 30 Nutzkanäle plus „2 Kanäle“ für Synchronisation und Meldungen.

Die Vermittlung bei PDH und SDH geschieht zeitschlitz-orientiert. Es werden die in den Rahmen der ankommenden Leitungen getragenen Informationen auf die Rahmen der abgehenden Leitungen abgebildet. Wegen der dazu erforderlichen zeitlichen Koordination der Rahmen spricht man vom *Synchronous Transfer Mode* (STM). Beim Verbindungsaufbau werden die Zuordnungstabellen angelegt und die Zeitschlitz-Reservierungen getroffen. Die Zuordnungen und Reservierungen bleiben während der gesamten Verbindungszeit fest und werden erst beim Verbindungsabbau gelöscht bzw. frei gegeben. Kommt die Verbindung zustande, wird während der gesamten Verbindungszeit eine transparente Übertragung gewährleistet.

Das STM-Prinzip veranschaulicht Bild 5-1. Den Kanälen werden auf den Leitungen in den periodisch wiederholten Rahmen Zeitschlitz zugeordnet. Im Beispiel arbeitet die Vermittlungsstelle die vier Eingänge pro Rahmen und Zeitschlitz ab und entnimmt jeweils die Informationen eines Zeitschlitzes, z. B. ein Bit oder ein Oktett, und bildet sie auf die in der Tabelle zugewiesenen Ausgänge ab. Im Bild wird der erste Zeitschlitz des Rahmens der Eingangsleitung 1 auf den zweiten Zeitschlitz des Rahmens der Ausgangsleitung 2 durchgeschaltet.

Die Durchschaltvermittlung zeichnet sich durch eine relativ einfache technische Realisierung und garantierten Dienstmerkmalen aus. Nachteilig sind jedoch die starren Kopplungen der Kanäle und die konstanten Bitraten.

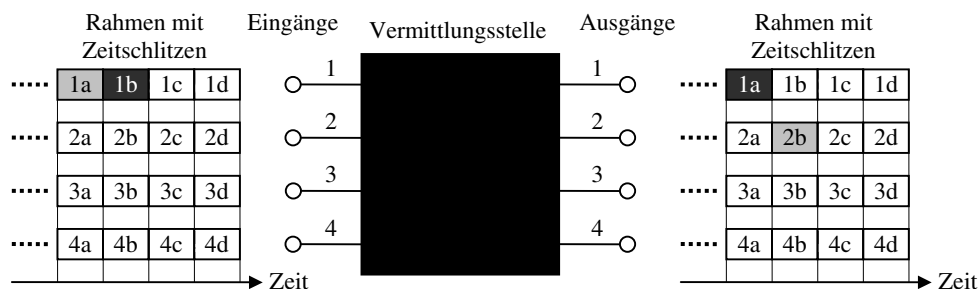


Bild 5-1 Funktionsprinzip der Vermittlung des Synchron Transfer Mode (STM)

5.2 Synchron Digital Hierarchy (SDH)

Der wachsende Bedarf an Übertragungskapazität, die unflexible und damit unwirtschaftliche Bündelung in den Hierarchiestufen und die raschen Fortschritte in der Mikroelektronik und der optischen Nachrichtenübertragungstechnik machte die PDH-Technik bald obsolet. 1988 wurden von der ITU die Empfehlungen für die *Synchrone Digitale Hierarchie* (SDH) auf der Grundlage des von ANSI (American National Standards Institute) spezifizierten *Synchronous Optical Network* (SONET) verabschiedet.

Anmerkungen: (i) ITU Empfehlungen G.707, G.708 u. G.709. (ii) National Standard for Telecommunications – Digital Hierarchy Optical Interface Rates and Formats Specifications ANSI Standard T1.105, 1988. (iii) Die industrielle Produktion von Lichtwellenleitern (LWL) begann ab 1975. Seit dem hat die optische Übertragungstechnik enorme Fortschritte gemacht.

Das Grundelement des SDH-Multiplexschemas ist das *Synchronous Transport Modul Level 1* (STM-1) mit der Bitrate 155,520 Mbit/s, s. Tabelle 5-2. Die Festlegung STM-1 geschah mit Blick auf die PDH-Systeme.

SDH wurde als weltweit einheitliche und zu den bestehenden PDH-Systemen abwärtskompatible Transportplattform konzipiert. Es lassen sich mit einem STM-1-System z. B. vier E3-Systeme oder drei T3-Systeme bündeln, s. Tabelle 5-1.

Tabelle 5-2 Stufen der Synchronen Digitalen Hierarchie (SDH)

System	Bitrate (brutto)	
	Mbit/s	Mbit/s
STM-1	155,52	150,336
STM-4	622,08	601,044
STM-16	2488,32	2405,376
STM-64	9953,28	9621,504

War es bei den PDH-Systemen

nicht möglich, Bitströme über mehrere Hierarchiestufen hinweg ein- und auszukoppeln, bietet SDH den wesentlichen Vorteil der flexiblen Bündelung von Bitströmen unterschiedlicher Raten von 2 bis zu 155 Mbit/s. Hinzu kommt der Transport von großen Bitraten die ein Mehrfaches von 155 Mbit/s betragen. Möglich wurde dies durch die Fortschritte in der Mikroelektronik und der optischen Nachrichtentechnik, die erst die technischen Voraussetzungen für die notwendigen Netzelemente schufen, s. a. Bild 2-10:

- ➔ *Terminal-Multiplexer* fassen mehrere Transporteinheiten mit 64 kbit/s (B-Kanal), 2 Mbit/s (Primärmultiplex), 34 Mbit/s (E3) oder 140 Mbit/s (E4) zu einem STM-*n*-Signal zusammen.
- ➔ *Add/Dropp-Multiplexer* fügen ein oder entnehmen einzelne Transporteinheiten aus den STM-*n*-Multiplexrahmen, s. Bild 5-2.
- ➔ Und ein *Cross-Connector* verbindet als Vermittlungsknoten STM-*n*-Eingangsleitungen mit STM-*n*-Ausgangsleitungen. Er wird durch Managementfunktionen dynamisch gesteuert.

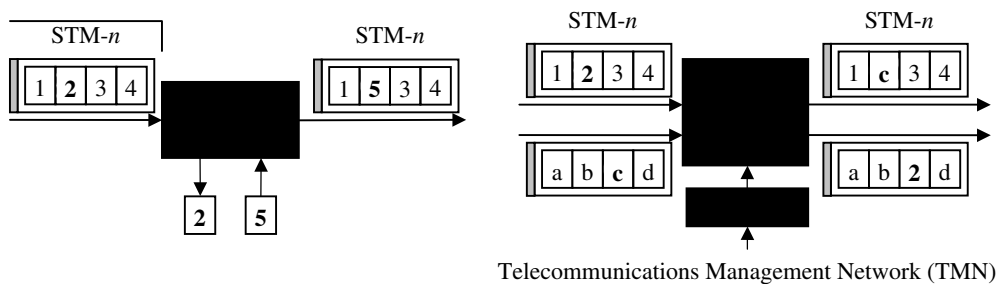


Bild 5-2 Funktionsprinzip des Add/Dropp-Multiplexers (ADM) und des Cross-Connectors (CC) in SDH-Netzen

Die Übertragung eines STM-1-Moduls zwischen zwei Netzknoten geschieht oktetorientiert in einer Rahmenstruktur mit neun Blöcken, wie in Bild 5-3 skizziert ist. Die Rahmendauer von 125 μ s harmoniert mit der Abtastfrequenz der PCM-Sprachübertragung von 8 kHz. Damit liefert ein Oktett pro Rahmen die Bitrate von 64 kbit/s. Im Rahmen werden insgesamt 2430 Oktette übertragen. Jeder Block besitzt ein Kopffeld (Header) mit neun Oktetten für die Steuerinformation und einen Rumpf mit 261 Oktetten für die zu transportierende Information (Payload). Dem logischen Aufbau des STM-1-Moduls liegt die Matrixstruktur in Bild 5-4 zugrunde mit jeweils einer der Blöcke als Zeilen. Jede Zeile (Block) beginnt mit neun Oktetten an Steuerinformation, *Section Overhead* (SOH) bzw. *Pointer* (PTR) genannt.

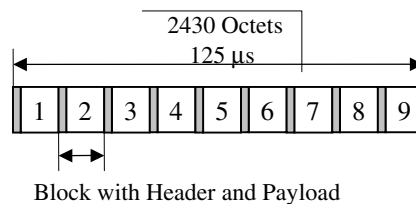


Bild 5-3 Blockstruktur des SDH-Transportmoduls STM-1

Der Header belegt mit neun Oktetten pro Block ca. 3,3% des Transportmoduls. Sie dient zur Rahmensynchronisation, Sicherung (Fehlerüberwachung), Dienstkommunikation (Meldungen, Alarmer und Signalisierung) und Sprachkommunikation für Wartung. Sie wird den konkreten Bedingungen der Anwendung angepasst. Bild 5-5 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Die Funktionen der gekennzeichneten Oktette erschließen sich aus ihren Bezeichnungen:

- A1, A2 Rahmenerkennungswörter ($F6_{\text{HEX}}$, 28_{HEX})
- B1 Bit-Interleaved Parity (BIP) Byte für gerade Parität über den vorhergehenden STM-*n*-Multiplexrahmen
- B2 BIP Byte zur Fehlerüberwachung zwischen Leitungsabschnitten
- C1 STM-1 ID (Kennzeichnung 1,...,N) im STM-*n*-Multiplexrahmen

- D1-D3 Datenkommunikationskanäle für Alarme, Steuerung und Wartung zwischen Multiplexeinheiten (192 kbit/s)
- D4-D12 Datenkommunikationskanäle für Alarme, Steuerung und Wartung zwischen Leitungsabschnitten (576 kbit/s)
- E1, E2 Dienstkommunikation (64 kbit/s, Sprache) zu Multiplexeinheiten bzw. zwischen Leitungsabschnitten
- F1 Kommunikationskanal für Netzbetreiber (64 kbit/s)
- K1, K2 Signalisierung für automatische Ersatzschaltungen zw. Leitungsabschnitten
- Z1, Z2 reserviert für zukünftige Verwendungen
- leer reserviert für nationale Verwendungen

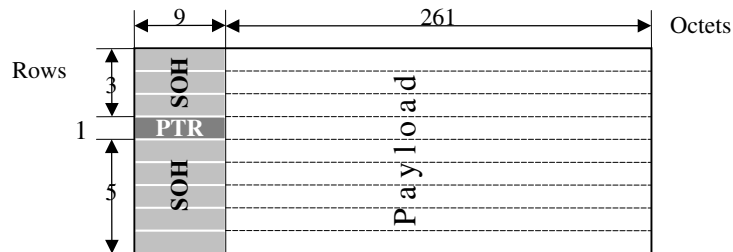


Bild 5-4 SDH-Transportmodul STM-1 (Matrixform mit Kopffeld Section Overhead (SOH) und Pointer (PTR))

Die Nachrichtenströme werden im STM-1 Modul im Feld *Payload*, der Nutzinformation, oktettweise verschachtelt übertragen. Wegen der notwendigen Rückwärtskompatibilität wird im Standard von PDH-Bündeln mit Bitraten von 1,544 bis 139,264 Mbit/s ausgegangen. (Die Stufe E2 wird nicht verwendet). Aus den Bitströmen werden im ersten Schritt Transporteinheiten, *Container* (C) genannt, gebildet, s. Bild 5-6. Hierzu fallen Zusatzinformationen an, die im zweiten Schritt als *Path Overhead* (POH) den Containern beigegeben werden, also ebenfalls im Feld Payload des STM-1-Moduls übertragen werden. (Und somit den allgemeinen Aufwand erhöhen.) Die Container werden damit zu *Virtual Container* (VC).

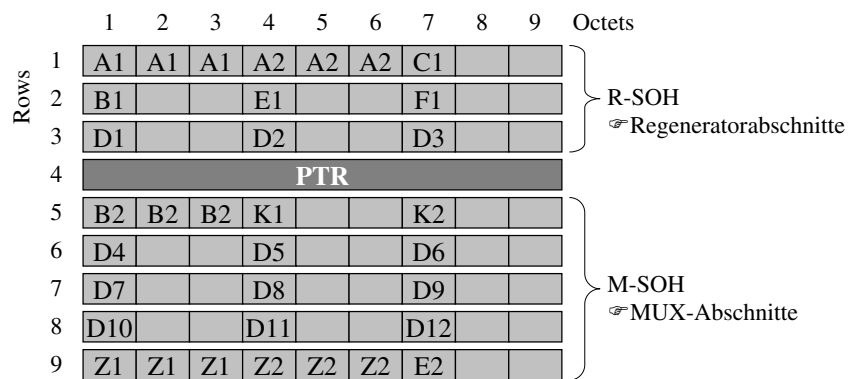


Bild 5-5 Organisation der Kopffelder Section Overhead (SOH) und Pointer (PTR)

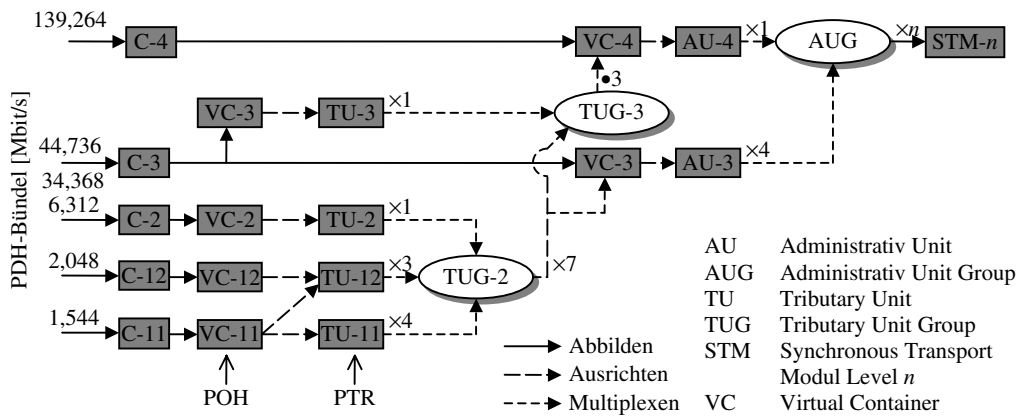


Bild 5-6 Multiplexschema der synchronen digitalen Hierarchie (SDH)

Die POH-Information eines VC kennzeichnet den Inhalt, den Benutzer und den Überrahmen. Sie bildet einen Paritätsblock und trägt Statusinformationen für den Übertragungsweg.

In den VC1 und VC2 besteht der POH aus einem Oktett und in den VC3 und VC4 werden 9 Oktette eingesetzt, s. Bild 5-7 und Bild 5-8.

Werden mehrere VC aus verschiedenen Zubringersystemen zusammengefasst, so sind die Rahmenanfänge in der Regel nicht synchron zum STM-*n*-Transportmodul. Deshalb müssen die Verschiebungen durch die Zeiger (PTR) signalisiert werden, s. Bild 5-9. Die Verschiebung geschieht gegebenenfalls um ein Oktett nach vorne (Negativstopfen) oder nach hinten (Positivstopfen). Die Änderung des Offset wird im Zeigerwert durch fünffache Angabe gegen Fehler geschützt, so dass im Empfänger eine relativ zuverlässige und eindeutige Mehrheitsentscheidung durchgeführt werden kann.

Anmerkung: Eine perfekte Synchronisierung der Ein- und Ausgangsleitungen ist – trotz des Namens SDH – technisch nicht realisierbar. Ein Taktunterschied von nur etwa $5 \cdot 10^{-8}$ bezogen auf 155 Mbit/s lässt die Leitung mit höherem Takt pro Sekunde ein zusätzliches Oktett anliefern bzw. abführen.

LO-POH								Bits
1	2	3	4	5	6	7	8	
BIP		FEBE		VC-PT	VC-SL		FEBR	

- BIP Prüfwort für die Bitfehlerermittlung
- FEBE Far-End Block Error (Blockfehler-Rückmeldung)
- VC-PT Path-Trace (Pfadkennung, Überwachung des Verbindungsweges)
- VC-SL Signal Label (Nutzsinalkennung, VC-Belegung)
- FEBR Störungsrückmeldung

Bild 5-7 Kopffeld LO-POH (Low Order Path Overhead) für die virtuellen Container VC-11, VC-12 und VC-2)

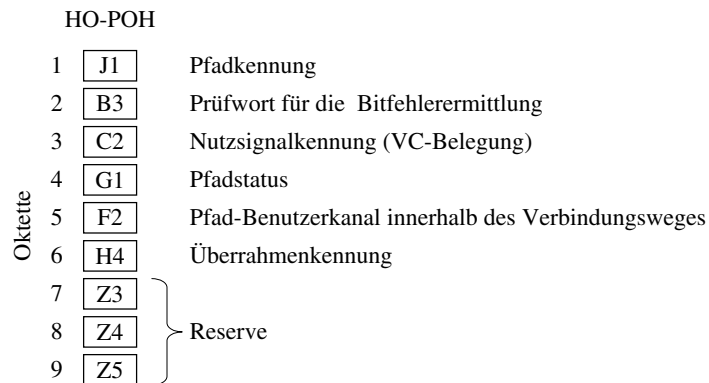
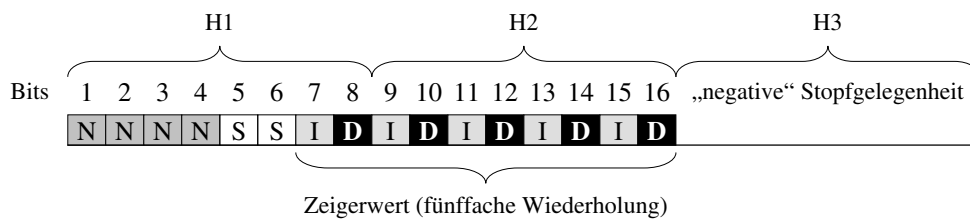


Bild 5-8 Kopffeld HO-POH (High Order Path Overhead) für die virtuellen Container VC-3 und VC-4

Mit der Zusatzinformation werden aus den VC sogenannte *Tributary Units* (TU) bzw. *Administrativ Units* (AU). Mehrere TU oder AU werden zu Gruppen, den *TU Groups* (TUG) bzw. *AU Groups* (AUG) zusammengefasst. Danach können sie gegebenenfalls zu einem neuen VC zusammengefasst werden.

Auf diese Weise kann in mehreren Schritten das STM-1-Transportmodul aufgebaut werden. Da die innere Struktur des Transportmoduls über die POH-Information direkt ausgelesen werden kann, ist oktettweise ein „schneller“ Zugriff auf die VC und TU und deren Bestandteile möglich. Das SDH-Konzept erlaubt in Verbindung mit den neuen Netzkomponenten (Terminal-Multiplexer, Add/Dropp-Multiplexer und Cross-Connector) eine flexible Bündelung unterschiedlicher Multiplex-Bitströme.

Eine „einfache“ Einbindung von ATM-Zellen ist ebenfalls möglich, so dass die bestehende SDH-Infrastruktur als Transportmittel für das B-ISDN weiter genutzt werden kann.



- N New Data Flag (Kennzeichnung der Beginnposition des VC-Rahmens, Offset)
- SS Kennzeichnung des AU- bzw. TU-Typs („10“ für AU-4, AU-32, TU-32 und „01“ für AU-31 und TU-31)
- I Increment Bits (zur Werterhöhung des Offsets)
- D Decrement Bits (zur Werterniedrigung des Offsets)

Bild 5-9 Aufbau der Zeiger PTR (Pointer) mit „negativer“ Stopfgelegenheit

5.3 B-ISDN und ATM

5.3.1 Einführung

Planung, Aufbau und Betrieb von großen TK-Netzen sind relativ aufwändig und international abzustimmen. Entscheidungen haben eine lange Wirkung. Hierin unterscheiden sich öffentliche TK-Netze von privaten LANs mit PCs.

Gab es früher nur den Sprachdienst, so gilt es im ISDN Anwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen zu bedienen. Dies gilt umso mehr für das „*breitbandige*“ ISDN (B-ISDN). B-ISDN sollte deshalb die Flexibilität besitzen, bei seiner Einführung noch unbekannte Anwendungen später wirtschaftlich umsetzen zu können.

Vor diesem Hintergrund hat sich die ITU schon in den 1980er Jahren mit der Weiterentwicklung des ISDN beschäftigt und 1988 eine Grundsatzentscheidung für *ATM (Asynchronous Transfer Mode)* als Transportplattform getroffen. Ausschlaggebend waren die Forderungen nach

- flexiblen Netzzugang,
- dynamischer Bitratenzuteilung,
- effizienter Vermittlung
- und weitgehender Unabhängigkeit vom physikalischen Übertragungssystem.

5.3.2 Protokoll-Referenzmodell

Einen Überblick über das ATM-Transportnetz für das B-ISDN liefert das dreidimensionale *Protokoll-Referenzmodell* in Bild 5-10. Wie im OSI-Referenzmodell, werden die Funktionen in Schichten getrennt.

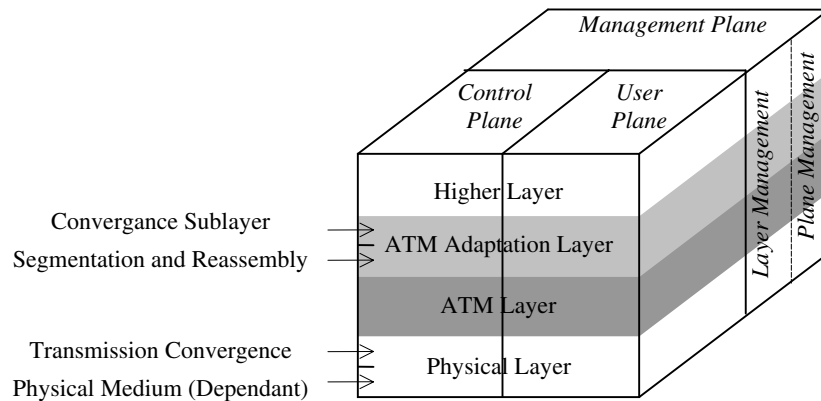


Bild 5-10 Protokoll-Referenzmodell des B-ISDN

Die unterste Schicht *Physical Layer* hat die Aufgabe den Transport der ATM-Zellen auf das gegebene Übertragungssystem so anzupassen, dass die darüber liegenden Schichten unabhängig vom physikalischen Übertragungssystem sind. Dabei sind zwei Varianten besonders wichtig, der Transport über SDH-Systeme und die direkte Übertragung als ATM-Zellenstrom.

Die Funktionen der Schicht Physical Layer können in zwei Bereiche sortiert werden: „Bitstrom“ und „Zellenstrom“. Funktionen, die mit dem Bitstrom bzw. der physikalischen Übertragung direkt zu tun haben, werden im *Physical Medium (Dependant) Sublayer* (PM) zusammengefasst. Funktionen, die den Zellenstrom betreffen, finden sich im *Transmission Convergence Sublayer* (TC). In der TC-Teilschicht werden sendeseitig die Prüfsummen für die Kopffelder (HEC) hinzugefügt und falls notwendig auch Stopfzellen.

Anmerkung: Häufig wird zusätzlich die Nutzinformation der ATM-Zellen mit einem Scrambler pseudozufällig verwürfelt, um Fehlsynchronisationen zu vermeiden.

Im Empfänger formt die TC-Teilschicht aus dem Empfangsbitstrom wieder die ATM-Zellen. Das Kopffeld wird auf Fehler geprüft. Gegebenenfalls werden Fehler korrigiert oder gestörte ATM-Zellen verworfen, s. Abschnitt 5.3.5.

Die *ATM-Schicht (ATM Layer)* baut auf dem Physical Layer auf. Sie ist unabhängig vom Dienst und Übertragungssystem. Ihre Aufgabe ist die Vermittlung und das Multiplexing der ATM-Zellen für ihren Transport durch das Netz. Die ATM-Schicht bildet den Kern des ATM-Transportnetzes und basiert auf virtuellen Verbindungen, um u. a. geforderte Dienstgüteparameter (QoS, *Quality of Service*) garantieren zu können. Die ATM-Schicht führt keine Fehlersicherung der Nutzinformation durch. (Allein die Steuerinformation im Zellkopf wird in der TC-Teilschicht geprüft.) Die ATM-Schicht garantiert nur die richtige Reihenfolge der Zellen. Falls eine Fehlersicherung der Nutzdaten erwünscht ist, muss sie in einer der höheren Schichten erfolgen.

Die Anpassung der dienstabhängigen Nachrichtenströme an das ATM-Transportnetz erledigt die *AAL-Schicht (ATM Adaptation Layer)*. Sie regelt insbesondere den Netzzugang auf der Sendeseite. Dazu gehören die Festlegung der Dienstgüteparameter und die Überwachung der Flusskontrolle. Auf der Empfängerseite wird aus dem übertragenen Zellenstrom die Nachricht entnommen und der höheren Protokollschicht passend übergeben. Die AAL-Schicht wird i. A. in zwei Teilschichten unterteilt: *Segmentation and Reassembly Sublayer* (SAR) und *Convergence Sublayer* (CS). Für die AAL-Schicht sind fünf Dienstklassen mit entsprechenden Protokollen definiert.

Wie bei der ITU-T bereits bei ISDN üblich, wird das OSI-Präferenzprotokoll mit seinen übereinander liegenden Schichten durch hintereinander liegende Ebenen um eine Dimension erweitert. Die Ebenen durchziehen alle Schichten (und umgekehrt). Sie fassen jeweils alle Funktionen zusammen, die die drei Bereiche betreffen: *Benutzerebene (U-Plane, User)*, *Steuerebene (C-Plane, Control)* und *Managementebene (M-Plane, Management)*.

5.3.3 ATM-Zellen

Der Forderung nach Flexibilität gehorchend, werden die Informationsflüsse der Protokollebenen in elementarer Weise zusammengeführt. Kernstück des ATM-Transportsystems ist die *ATM-Zelle* in Bild 5-11. Sie umfasst 53 Oktette: Fünf Oktette für den Zellkopf (Header) und 48 Oktette für das Informationsfeld (Information Field). Die relativ kleine und feste Zellengröße ist hervorzuheben.

Anmerkungen: (i) Im Vergleich dazu sind in LANs (Ethernet) und im Internet (TCP) variable Paketgrößen bis zu 1500 bzw. 65'535 Oktette vorgesehen. (ii) Wenige große Pakete statt vieler kleiner reduzieren die zusätzliche Last durch die Paketköpfe und den Vermittlungsaufwand. Die maximalen Paketgrößen in den Netzen sind z. B. durch den vorhandenen Speicher in den Netzknoten beschränkt. Pakete, die über mehrere (Teil-)Netze übertragen werden können, müssen deshalb von vorn herein eher klein gewählt oder zerlegt und wieder zusammengesetzt (Fragmentation and Reassembly) werden. Letzteres kann zu einem

erheblichen Mehraufwand und Fehlern führen. Dazu kommt, dass die Übertragung großer Pakete relativ lange dauern kann, so dass die schnelle Übertragung von Steuerinformationen blockiert wird.

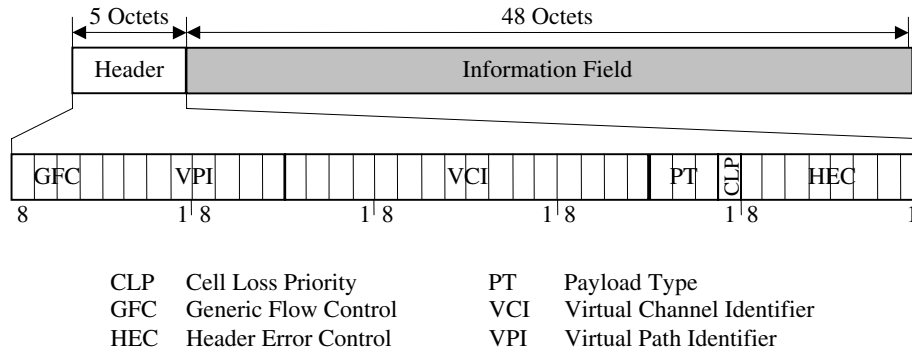


Bild 5-11 Aufbau der ATM-Zellen

Für das ATM-Transportsystem im B-ISDN wurde die Zellengröße von 53 Oktetten festgelegt, um die Vermittlung zu vereinfachen. Eine schnelle Zellenvermittlung kann somit relativ aufwandsgünstig durch Hardware realisiert werden, was für die bei B-ISDN vorgesehenen Nachrichtenflüsse mit hohen Bitraten erforderlich ist. Die Zellengröße stellt einen „fairen Kompromiss“ dar. Sie ist zu allen Rahmenformaten bestehender Weitverkehrssysteme inkompatibel. ATM-Zellen müssen durch *Cell Mapping* jeweils in die vordefinierten Rahmenstrukturen der benutzten Transportsysteme, z. B. PCM 30 System, eingepasst werden.

Die kleine Zellengröße bietet weitere Vorteile. Bitraten unterschiedlicher Nachrichtenströme können durch den Zellenstrom feinstufig angenähert werden. Es lassen sich auch kurze Steuerungsnachrichten effektiv einfügen und rasch übertragen, da keine großen Pakete die Übertragung lange blockieren.

Der Nachteil einer kleinen Zellengröße besteht im relativ großen Overhead durch den Zellkopf; bei ATM etwa 10%.

Anmerkung: Man spricht in der Informationstechnik kurz vom „Overhead“ im Sinne von allgemeinem Betriebsaufwand; in der Betriebswirtschaft vergleichbar den indirekten Kosten (Gemeinkosten), engl. Overhead.

Der Zellkopf bei ATM beschränkt sich auf das Nötigste: Weginformation (GFC, VPI, VCI), Zellcharakterisierung (PT, CLP) und Prüfsumme (HEC). Bei der Übertragung werden die Bits in Bild 5-11 von links nach rechts gesendet.

➤ *Generic Flow Control (GFC)*

Die ersten vier Bits des Zellkopfes ermöglichen die lokale Steuerung des Zellflusses am Zugang der ATM-Netze, der *UNI-Schnittstelle (User-Network Interface)*. Durch GFC-Nachrichten können beispielsweise Maßnahmen bei kurzzeitigen Überlastsituationen ausgelöst werden.

Netzintern, d. h. auf der *NNI-Schnittstelle (Network Node Interface)*, sind die ersten vier Bits dem VPI zugeordnet.

➤ *Virtual Path Identifier (VPI) und Virtual Channel Identifier (VCI)*

Die acht bzw. zwölf Bits des VPI und die 16 Bits des VCI identifizieren die virtuelle Verbindung und werden innerhalb des ATM-Netzes zur Wegelenkung mit Routing-Tabellen benutzt. Sie sind keine Adressen und nicht netzweit gültig. ATM arbeitet verbindungsorientiert. Zwischen den Kommunikationspartnern wird eine *virtuelle Verbindung (VCC, Virtual Channel Connection)* aufgebaut. Die Übertragung der Zellen geschieht abschnittsweise zwischen den Netzknoten auf virtuellen Strecken (*VCL, Virtual Channel Link*).

Die Unterteilung der Routing-Information in VPI und VCI entspricht einem hierarchischen Netz mit zwei Ebenen. *VP-Vermittlungsknoten (VP-Switches, Cross-Connects)* werten nur die Pfadinformation aus. Der Aufwand wird dadurch deutlich reduziert. *VC-Vermittlungsknoten (VC-Switches)* berücksichtigen VPI und VCI.

Das Konzept der virtuellen Verbindungen schließt Zeichengabekanäle und den Austausch von Betriebsführungsinformation (OAM, Operation, Administration and Maintenance) mit ein. Spezielle VCI-Werte werden hierfür verwendet.

➤ *Payload Type (PT)*

Mit drei Bits wird im Feld PT der Zellentyp angezeigt. Es werden Benutzerzellen (*User Data Cell*), *OAM-Zellen* (Operation, Administration and Management) und *RM-Zellen* (Resource Management) unterschieden, s. Tabelle 5-3.

Die Übertragung von Benutzerzellen wird durch die führende „0“ im Feld PT angezeigt. Im zweiten Bit wird mit „1“ das Auftreten einer *Überlast (Congestion, Verstopfung)* signalisiert. Man spricht auch vom *Explicit Forward Congestion Indication (EFCI)*. Schließlich ermöglicht das dritte Bit, das *AUU-Bit (ATM User-to-User Indication Bit)*, je nach Nutzung zwischen zwei Zuständen zu unterscheiden.

Anmerkungen: (i) ITU-T verwendet den Begriff AUU, während das ATM-Forum synonym SDU (*Service Data Unit*) benutzt. (ii) Eine Unterscheidung von Benutzerzellen und OAM-/RM-Zellen nur durch VPI und VCI reicht nicht aus. Um beispielsweise bestimmte Verbindungen zu testen, müssen die „Probe“-ATM-Zellen die gleiche Wegeinformation haben wie die Benutzerzellen.

Tabelle 5-3 Codierung des Feldes PT

PT Code	Interpretation
000	User Data Cell, congestion not experienced, AUU ¹ = 0
001	User Data Cell, congestion not experienced, AUU = 1
010	User Data Cell, congestion experienced, AUU = 0
011	User Data Cell, congestion experienced, AUU = 1
100	OAM segment associated cell
101	OAM end-to-end associated cell
110	Resource management cell
111	Reserved for future function

¹⁾ ATM User-to-User Indication Bit

➔ *Cell Loss Priority (CLP)*

Im Gegensatz zur transparenten Übertragung in leitungsvermittelten Netzen, ist bei der Paketvermittlung (Speichervermittlung) mit dem Verlust von Zellen zu rechnen. Ein Paketverlust tritt typischer Weise in Überlastsituationen auf, wenn die Speicher in den Netzknoten (Warteschlangen) überlaufen. Paketverlust durch Übertragungsfehler kann im Normalbetrieb mit Bitfehlerquoten von 10^{-9} oder kleiner vernachlässigt werden.

Mit dem CLP kann hier steuernd eingegriffen werden. Zellen mit CLP-Bit gleich eins werden – falls notwendig – vorrangig gelöscht. Das CLP-Bit kann nicht nur zur Unterscheidung zwischen virtuellen Verbindungen, z. B. zwischen Premiumdiensten und „einfachen“ Diensten (*Best Effort Service*), sondern auch von Zelle zu Zelle, z. B. zur Kennzeichnung von verzichtbarer Zusatzinformation, wie eine höhere Bildauflösung, eingesetzt werden.

➔ *Header Error Control (HEC)*

Die 8-Bit-Prüfsumme im HEC schützt das System gegen Übertragungsfehler im Zellkopf. Es wird ein *CRC-Code* (Abramson-Code) mit dem Generatorpolynom $g(X) = 1 + X + X^2 + X^8$ eingesetzt, s. Abschnitt 3.8. Der Code wird primär zur Fehlererkennung und Synchronisation des Zellenstroms benützt. Die Anwendung des HEC wird in Abschnitt 5.3.6 genauer beschrieben.

5.3.4 Dienstklassen

Der Name Broadband Integrated Services Digital Network (B-ISDN) ist Programm. Das von der ITU-T ursprünglich definierte Ziel war Anwendungen mit Bitraten größer dem des Primärratenmultiplex-Anschlusses von 2,048 Mbit/s zu unterstützen. Die Entwicklung hat schließlich dazu geführt, auch vollduplexfähige Anschlüsse mit 155,52 Mbit/s und 622,08 Mbit/s zu berücksichtigen, s. a. SDH-System mit STM-1 und STM-4. Entsprechend groß ist die Variation der möglichen Dienste und Anforderungen.

Bei B-ISDN kommt das Prinzip der Verkehrssteuerung durch *Verkehrsverträge* zwischen Teilnehmern und Netz zur Anwendung. Durch die Teilnehmer werden die gewünschten Dienste und Verkehrsparameter mitgeteilt. Das Netz antwortet mit Angeboten. Kommen Verkehrsverträge zustande, garantiert das Netz die vereinbarten Verkehrsparameter.

Grundsätzliche Überlegungen zu den möglichen Anforderungen an das B-ISDN haben zur Definition der fünf Dienstklassen in Bild 5-12 geführt. Die Zeitbeziehung zwischen Quelle und Senke und die Dynamik der Bitrate sind von besonderer Bedeutung:

① *Constant Bit Rate (CBR)*

Die Dienstklasse CBR unterstützt Anwendungen mit permanenter und fester Datenrate. Ein typisches Beispiel liefert die isochronen Übertragungen von Datenströmen, wie sie bei Audio- und Videoanwendungen auftritt, die keine Kompressionsverfahren einsetzen, wie z. B. die PCM-Sprachtelefonie mit der festen Bitrate 64 kbit/s.

② *Real-Time Variable Bit Rate (rt-VBR)*

Die Dienstklasse rt-VBR umfasst Dienste mit isochroner, aber variabler Bitrate. Hierzu gehören Audio- und Videoanwendungen mit Audio- und Videokompressionsverfahren, z. B. MPEG-Codierung (Motion Picture Expert Group). Abhängig von den Signalen treten zeitlich schwankende Bitraten auf.

Anmerkung: Werden zur gleichen Zeit viele derartige Signale übertragen, tritt in Summe ein Ausgleichseffekt ein. Man spricht von statistischem Multiplexing. So können mehr Verbindungen gleichzeitig angeboten werden als die nominelle, statische Übertragungskapazität erlaubt, s. a. Bündelgewinn. Bei Paketvermittlungssystemen lässt sich der Effekt des statistischen Multiplexing in natürlicher Weise nutzen. Nachteilig ist, dass der Verkehr stoßartigen Charakter annehmen und zu Überlastsituation mit Blockaden führen kann. Für den Betrieb sind deshalb besondere Maßnahmen zu treffen, um einer Überlast vorzubeugen bzw. sie abzubauen.

	Real-time Service (rt)		Non-real-time Service (nrt)	
Constant Bit Rate	<i>Constant Bit Rate</i> CBR			
Variable Bit Rate		<i>Real-time Variable Bit Rate</i> (rt-VBR)	<i>Non-real-time Variable Bit Rate</i> (nrt-VBR)	
			<i>Available Bit Rate</i> (ABR)	<i>Unspecific Bit Rate</i> (UBR)

Bild 5-12 Die fünf Dienstklassen des ATM-Forums

③ *Non-Real-Time Variable Bit Rate* (nrt-VBR)

Die Dienstklasse nrt-VBR ist für Anwendungen vorgesehen, bei denen die Informationen stoßartig im Bündel (Burst) übertragen werden und nur gemäßigte Anforderungen bzgl. der Dauer (Delay) und Schwankungen der Paket-Zustellzeiten (Jitter) gestellt werden. Beispiele sind die Online-Registrierung für Bahn und Flugreisen, das Telebanking und allgemein die Datenkommunikation bei der „hochwertige“ asynchrone Übertragungen bereitgestellt werden müssen.

④ *Unspecific Bit Rate* (UBR)

Diese Dienstklasse ergänzt die oben genannten im Sinne eines Best-Effort-Paketnetzes. D. h., es werden den Anwendungen freie Übertragungskapazitäten ohne Garantie der Dienstgüte angeboten. Datenanwendungen, ähnlich wie in TCP-Netzen, werden unterstützt.

Im Falle von Überlast im Netz werden zuerst Zellen der UBR-Dienste verworfen. Der Verlust einer ATM-Zelle kann u. U. durch die externe Flusskontrolle zum Nachsenden eines größeren Datenblocks – also vieler ATM-Zellen – durch die Quelle führen, so dass ein sich aufschaukelnder Effekt einsetzt und die Überlastsituation verschärft.

⑤ *Available Bit Rate* (ABR)

Mit der Dienstklasse ABR sollen Nachteile von UBR vermieden werden. Ziel ist, die von den anderen Dienstklassen nicht genutzte Übertragungskapazität im Netz fair zwischen den Teilnehmern aufzuteilen und dabei Überlastsituationen zu vermeiden. Hierfür werden bei ABR-Diensten im ATM-Transportsystem Flusskontrollen eingeführt und Dienstgüten vereinbart.

Die Idee der verbesserten Nutzung der Übertragungskapazität durch die Dienstklassen spiegelt Bild 5-13 wider. Je nach Netzbelastung durch CBR- und VBR-Dienste kann die noch verfügbare Kapazität ABR- und UBR-Diensten zur Verfügung gestellt werden. Für ABR-Dienste werden spezielle Verkehrsparameter vereinbart: Die minimale und maximale Zellenrate (*Minimum Cell Rate, Peak Cell Rate*) und eine Quote für den Zellverlust (*Cell Loss Ratio*). Die maximale Zellenrate ist nicht verbindlich. Die Zellenrate kann durch das Netz bei Bedarf bis zur minimalen Rate reduziert werden.

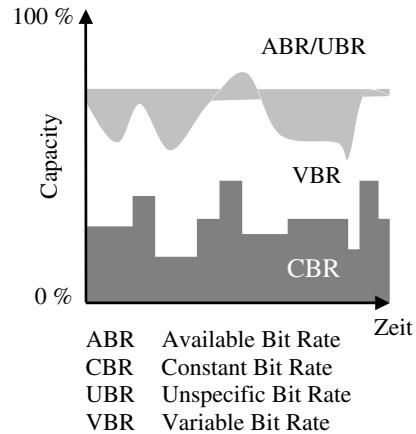


Bild 5-13 Verbesserte Nutzung der Übertragungskapazität durch die ATM-Dienstklassen

5.3.5 ATM-Anpassungsschicht

Dienstklassen, Verkehrsverträge mit Verkehrsparametern einerseits und die technische Infrastruktur andererseits stehen in engem Wechselspiel und stellen hohe Anforderungen an den Betrieb des B-ISDN. Eine herausragende Rolle nimmt dabei die Anpassung der Dienste an das ATM-Transportsystem in der *AAL-Schicht (ATM Adaptation Layer)* ein. Bild 5-14 veranschaulicht die Aufgabe.

In der AAL-Schicht stehen den Diensten Protokolle zur Verfügung, die an die Dienstklassen angepasst sind. Tabelle 5-4 zeigt eine strukturierte Übersicht mit Beispielen [Sta00] [MCDY99]. Die Anpassungsschicht schlägt die Brücke zwischen den Anwendungen an den Netzzugängen (AAL-SAP, Service Access Point) und dem ATM-Transportsystem. Ihre Aufgaben sind

- ✧ die Bereitstellung und Auswertung der Steuerungs- und Management-Funktionen
- ✧ die Flusskontrolle und Zeitsteuerung
- ✧ die Behandlung von Übertragungsfehlern, Verlust und falsches Hinzufügen von Zellen
- ✧ die Behandlung von größeren Datenblöcken der Anwendungen

Bei der Umsetzung der Aufgaben ist es günstig, die Funktionen nach anwendungsbezogen und transportbezogen zu trennen. Es werden zwei Teilschichten eingeführt: Die anwendungsbezogene CS-Teilschicht (*Convergence Sublayer*) und die transportbezogene SAR-Teilschicht (*Segmentation and Reassembly*). Die Kommunikation erfolgt

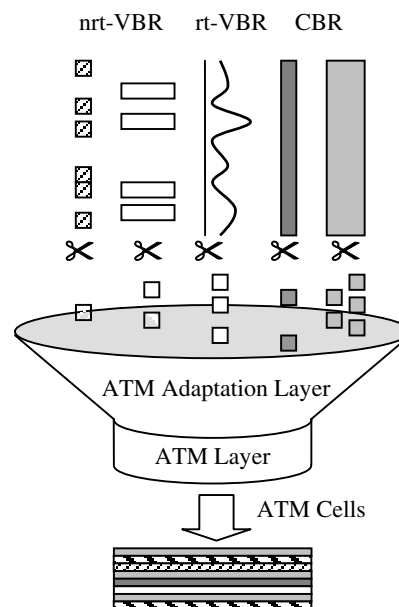


Bild 5-14 Anpassung der Dienste an das ATM-Transportsystem