

## 5.6 Beispiele: IP, IPv6, X.25, ATM

### IP (Internet Protocol)

Das Protokoll der Schicht 3 im Internet.

- Ein Datagramm-Protokoll (verbindungslos)
- Implementiert Routing im Internet
- Handhabt die Fragmentierung großer Pakete: große Dienst-Datagramme können in kleinere Protokoll-Datagramme „fragmentiert“ werden.
- Macht sonst nicht viel!

Wenn wir hier „IP“ sagen, meinen wir IP Version 4. IP Version 6 wird später besprochen.

### Format von IP-Datagrammen (1)

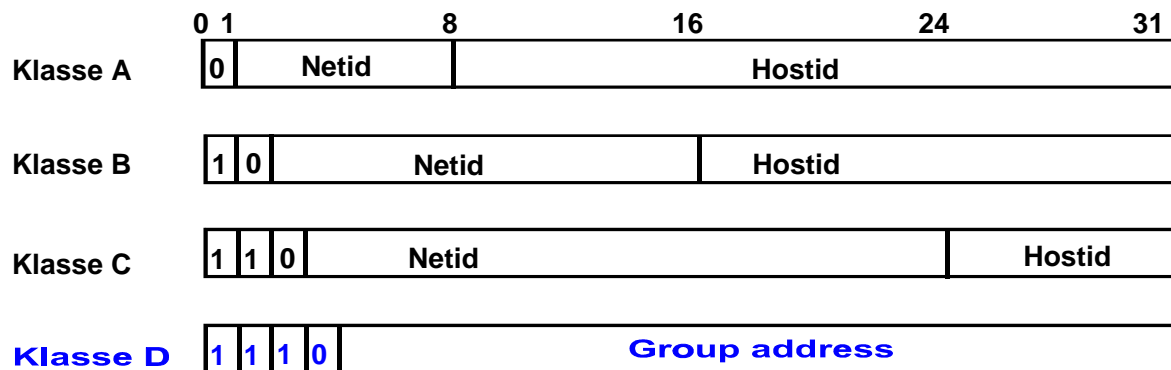
0	4	8	16	19	24	31
VERS	LEN	TYPE OF SERVICE	TOTAL LENGTH			
IDENT			FLAGS	FRAGMENT OFFSET		
TIME	PROTO		HEADER CHECKSUM			
SOURCE IP ADDRESS						
DESTINATION IP ADDRESS						
OPTIONS					PADDING	
DATA						
...						

## Format von IP-Datagrammen (2)

VERS	Protokollversion
LEN	Länge des Headers (Wörter)
TYPE OF SERVICE	QoS (Priorität und D/T/R)
TOTAL LENGTH	Länge incl. Daten in Bytes
IDENT	Identität des Datagramms
FLAGS	"nicht fragmentieren/letztes Fragment"
FRAGMENT OFFSET	Offset dieses Teils
TIME	Lebensdauer in Sekunden ("time to live")
PROTO	Type des höheren Protokolls
HEADER CHECKSUM	EXOR der Header-Wörter
SOURCE ADDRESS	IP-Adresse des Quell-Hosts
DEST ADDRESS	IP-Adresse des Ziel-Hosts
OPTIONS	Kommandocode für Netzmanagementdatagramme
PADDING	Auffüllen auf Wortgrenze
DATA	Nutzdatenfeld

## Adressierung im Internet (1)

Die IP-Adresse ist eine hierarchische Adresse mit Netz- und Hostidentifikationsnummer (netid und hostid). Es gibt drei Formate für Subnetze unterschiedlicher Größe sowie ein Format für Multicast:



## Adressierung im Internet (2)

Gebräuchlich ist seltsamerweise eine dezimale Schreibweise mit einer Zahl pro Byte. Beispiel:

10.0.0.0            für Arpanet

128.10.0.0        für ein großes Ethernet-LAN

192.5.48.0        für ein kleines Ring-LAN

(hostid = 0 bezeichnet ein Netz aus einem Host)

## Adressauflösung im LAN

### Problem

Wie erfolgt die Abbildung der Internet-Adresse (IP-Adresse) eines Rechners auf die physikalische Stationsadresse im LAN (IEEE 802-Adresse)?

### Lösung

Das Address Resolution Protocol (ARP)

# Address Resolution Protocol ARP (1)

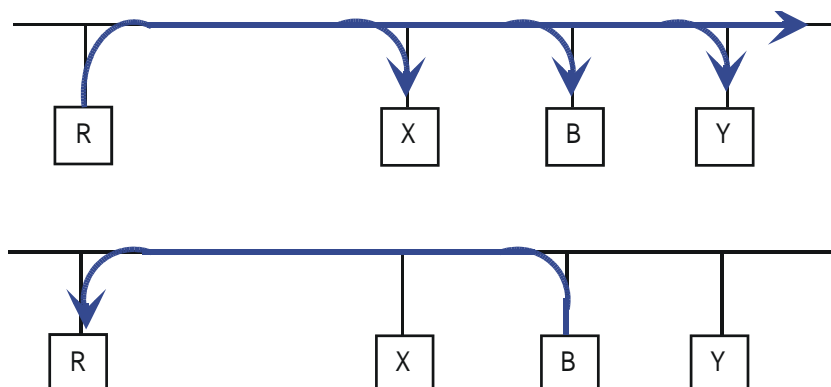
## Protokoll im Router

- Sende mittels Broadcast auf dem LAN ein ARP-Request-Paket, welches die physikalische Adresse nach 802.2 und die Internet-Adresse des Senders und die Internet-Adresse des gesuchten Empfängers enthält.
- Warte auf die Antwort des Empfängers durch ein ARP-Reply-Paket, welches seine physikalische Adresse enthält.
- Unterhalte einen Cache aus (IP, 802.2)-Adresspaaren für spätere Anfragen.

Verbesserung: Der Empfänger des ARP-Requests speichert das (IP, 802.2)-Adresspaar des Senders auch in seinem Cache.

# Address Resolution Protocol ARP (2)

## Ablauf des ARP-Protokolls im LAN



# IP Version 6 (IPv6)

## Motivation: Adressierungsprobleme

- IP-Adressraum wird irgendwann auslaufen
- Klasse-B-Adressen sind nahezu erschöpft.
- CIDR (classless inter-domain routing) wurde als kurzfristige Lösung eingeführt
- Routing-Tabellen wachsen sehr schnell: es wird eine Adressierungshierarchie mit zusätzlichen Ebenen erforderlich
- (Mobile) Internet-Geräte in Autos, Haushalten etc.  
→ 10 Milliarden Menschen im Jahr 2020 und  
100 IP-Adressen pro Person sind nicht unrealistisch.

## Lösung

Neues IP-Protokoll Version 6 (IPv6) mit grösserem Adressraum soll IPv4 ersetzen.

\*) Ich danke Prof. Torsten Braun (Universität Bern) für die Überlassung seiner Folien zum Thema IPv6.

# Geschichte von IPv6

## 1992

IETF publiziert Call for Proposals für ein "IP next generation" (IPng), um die aktuelle IP Version 4 zu ersetzen

## 1994

SIPP (Simple Internet Protocol Plus) wird als Grundlage für das neue IPng vorgeschlagen

## 1995

Internet Draft „Internet Protocol, Version 6 (IPv6)“ wird Proposed Standard“ (9/95) und RFC1883 (12/95). Erste prototypische Implementierungen

## 1996

Aufbau des IP Version 6 Backbones (6Bone) zwischen Forschungslabors, erste Produkte im Markt

## 1998

RFC 2460, Draft Standard

## 2002

Noch immer nicht sehr weit verbreitet in Produkten und bei ISPs

## Eigenschaften von IPv6 (1)

### Erweiterte Adressierungsmöglichkeiten

- 128-Bit-Adressen (eine Adresse pro Atom im Weltall)
- Adresshierarchieebenen für IP (Registrierungsinstanz, Provider, Subscriber, Subnetz, Interface)
- automatische Adresskonfiguration (ähnlich DHCP)

### Neues IP-Header-Format

- vereinfachter, minimaler IP-Header
- verbesserte Unterstützung neuer Optionen und Erweiterungen: Erweiterungs-Header
- Segmentieren und Reassemblieren von Fragmenten in Endsystemen

## Eigenschaften von IPv6 (2)

### Quality-of-Service-Unterstützung

- "Flow Labels" erlauben Markierung von Anwendungsdatenflüssen auf IP-Ebene
- "Traffic Classes" für Differentiated Services

### Multicast-Integration

- vordefinierte Multicast-Gruppen für Kontrollfunktionen
- IGMP (Internet Group Management Protocol) in ICMP (Internet Control Message Protocol) integriert
- spezielles Multicast-Adressformat
- Alle Router und Endsysteme unterstützen Multicast, so dass keine speziellen Massnahmen für Multicast-Verbindungen mehr erforderlich sind.

### IP Security

- Authentifizierung und Verschlüsselung sind Bestandteil des Protokolls.

# Aggregierbare globale Unicast-Adresse

## Top Level Aggregation (TLA)

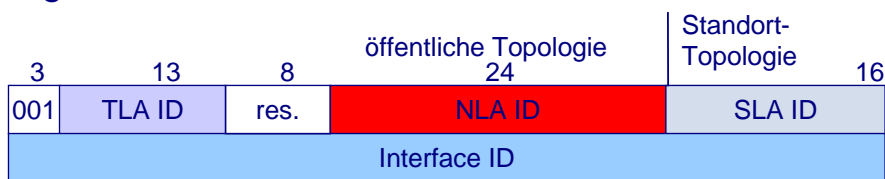
- grosse Internet-Service-Provider (ISPs) mit Transitnetzen, an die andere ISPs angeschlossen sind

## Next Level Aggregation (NLA)

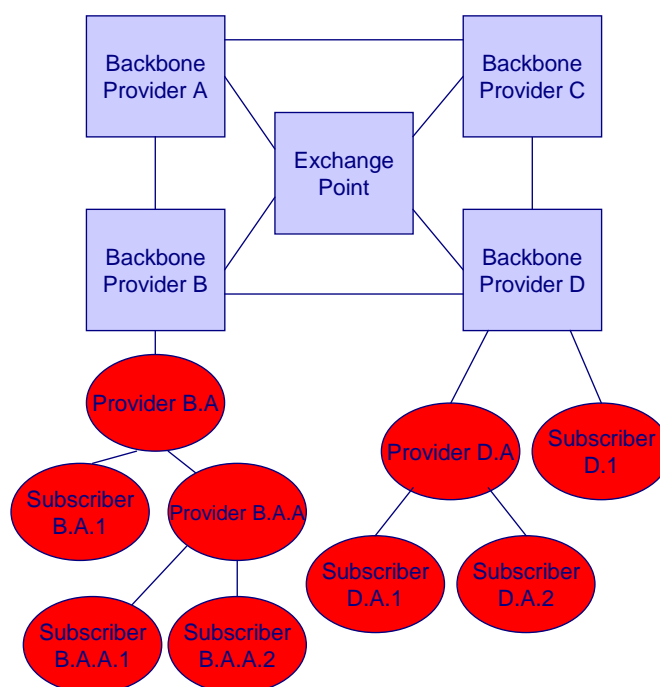
- Organisationen auf einer niedrigeren Stufe
- mehrere NLA-Ebenen sind möglich

## Site Level Aggregation (SLA)

- individuelle Adressierungshierarchie einer einzelnen Organisation



# TLA, NLA und SLA



## Spezielle Unicast-Adressen (1)

### Lokale Unicast-Adressen

- Link-lokal
  - für Konfigurationszwecke oder IP-Netze ohne Router
  - Präfix: 111111101::/64
- Standort-lokal
  - für nicht an das Internet angeschlossene IP-Netze
  - beim Anschluss eines Standorts muss lediglich das Adresspräfix (1111111011::/48) ersetzt werden
  - SLA und Interface ID bleiben unverändert

## Spezielle Unicast-Adressen (2)

### Kompatible Unicast-Adressen

- IPv4-kompatibel
  - Präfix (96 0-bits) + IPv4-Adressen
- IPv4-mapped
  - Präfix (80 0-bits, 16 1-bits) + IPv4-Adressen
- IPX-kompatibel



# IPv4 Header

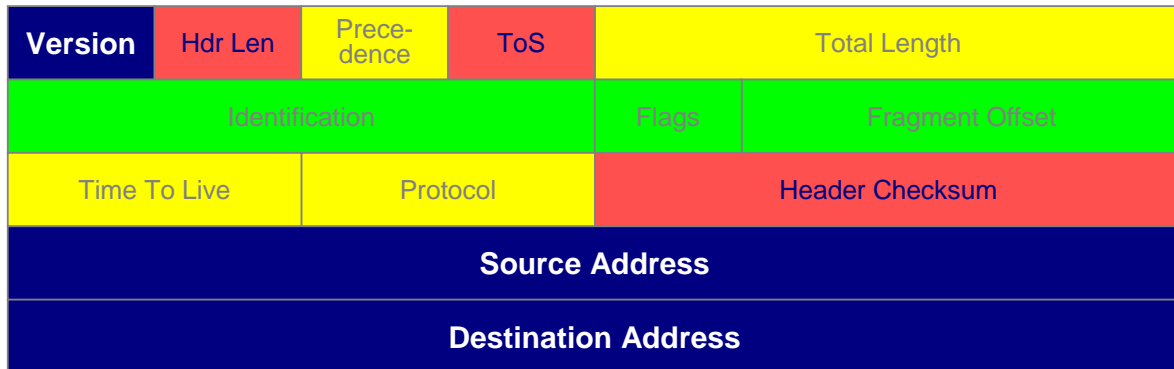
20 Bytes, 13 Felder

gestrichen

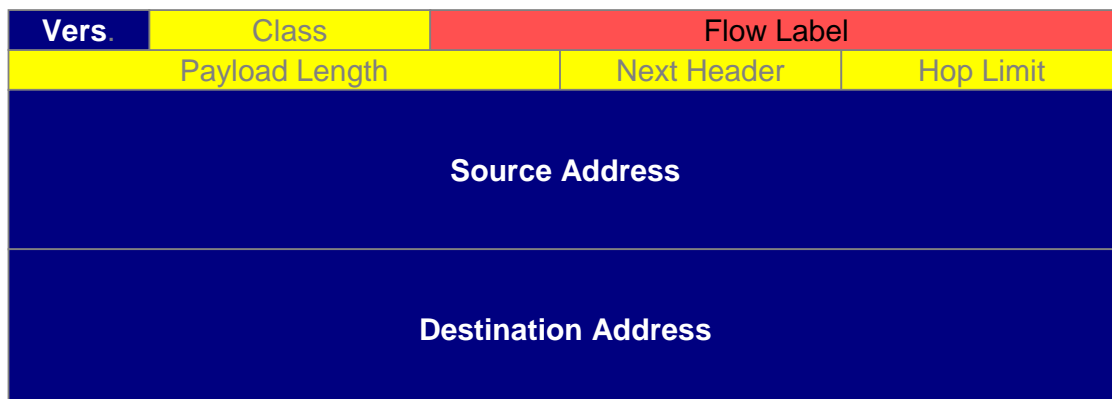
in den Erweiterungs-Header verschoben

umbenannt

- precedence → class
- total length → payload length
- time to live → hop limit
- protocol → next header



# IPv6 Header

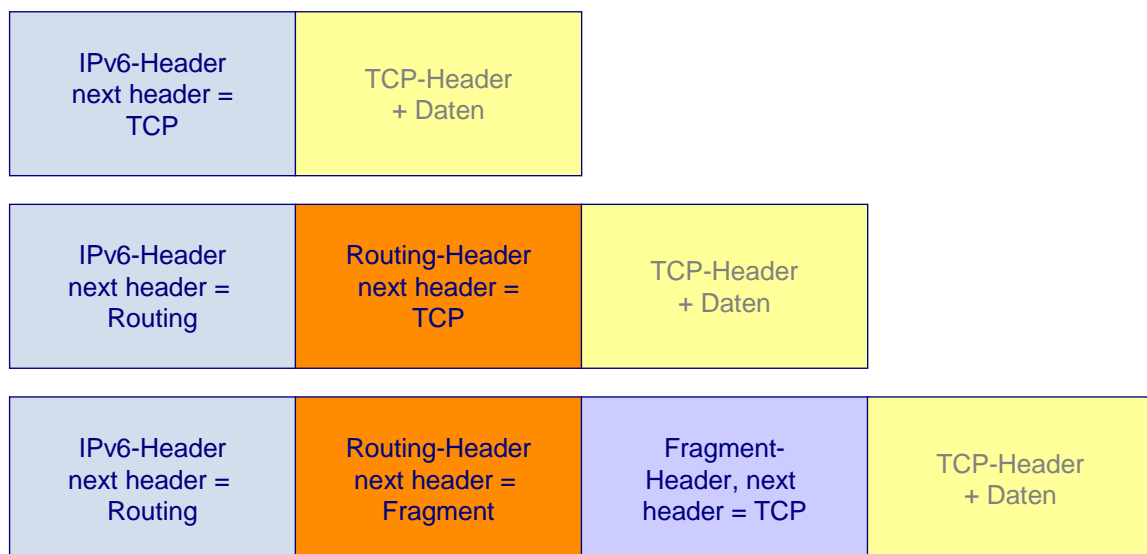


# Konzept der Erweiterungs-Header

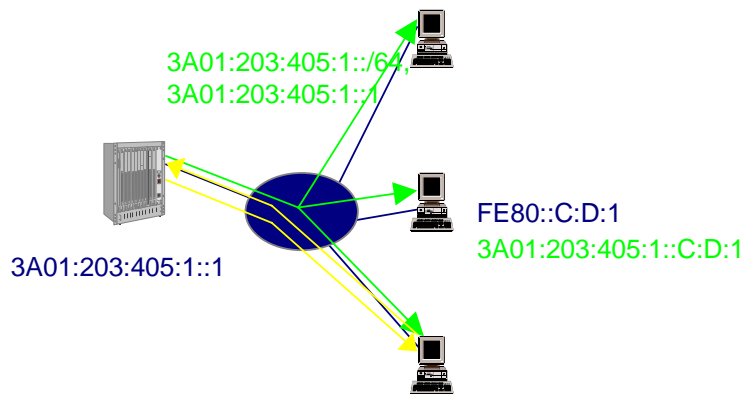
## Kleiner Standard-Header und Erweiterungs-Header

- kleiner minimaler Header
- flexible weitereHeader, abhängig von den Anforderungen der Anwendung oder den Eigenschaften der Netze
- einfache Einführung neuer zukünftiger Erweiterungen und Optionen

# Beispiele für Erweiterungs-Header



## Zustandslose automatische Adresskonfiguration



Der Router verbreitet Parameter periodisch an die Multicast-Gruppe *all* Hosts (Router Advertisement).

Jeder Host sendet eine "Router Solicitation" an die Multicast-Gruppe aller Router, es folgt eine direkte Antwort des Routers.

## Übergangsstrategien

IPv4- und IPv6-Systeme müssen miteinander kommunizieren können. Nach einer Übergangsphase sollen nur noch einige wenige reine IPv4-Systeme übrig bleiben.

### Basismechanismen

- Doppelte Protokoll-Stacks
- IPv6-in-IPv4-Tunneling

Die IPv6/IPv4-Header-Übersetzung ist nur für die Kommunikation zwischen reinen IPv4-Knoten und reinen IPv6-Knoten notwendig.

### Komplexere Mechanismen

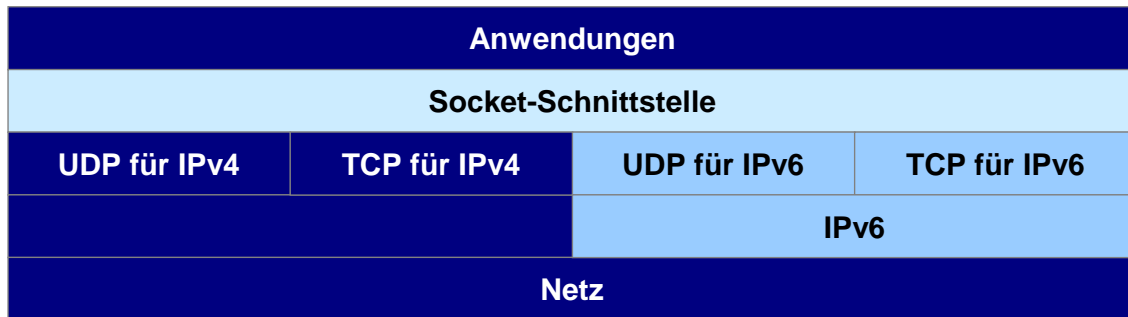
- Stateless IP/ICMP Translation (SIIT)
- No Network Address Translation (NNAT)
- Network Address Translation / Protocol Translation (NAT/PT)

## Doppelte Protokoll-Stacks

### Doppelte Protokoll-Stacks

- UDP/IPv4 und UDP/IPv6
- TCP/IPv4 und TCP/IPv6

Alle IPv6-Systeme werden während der Übergangsphase auch einen IPv4-Stack haben.



## IPv4-kompatible Adresse



Systeme verwenden ihre alte IPv4-Adresse, um eine IPv6-Adresse zu bilden.

Benutzung durch IPv6-Systeme zur Kommunikation mit anderen IPv6-Systemen unter Verwendung von automatischen Tunneln.

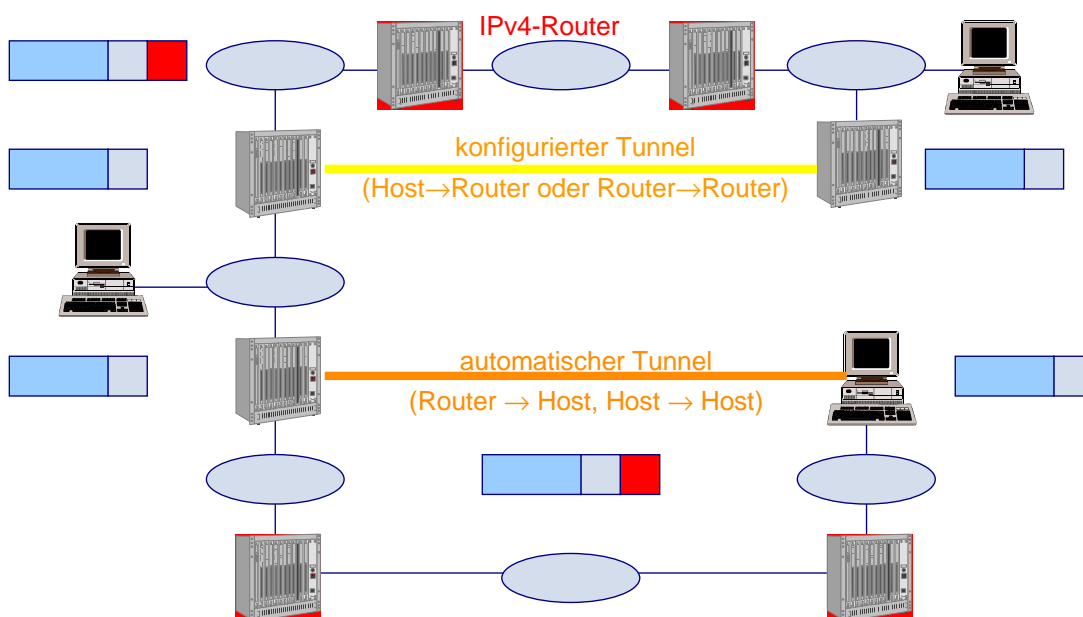
Nur nützlich in der frühen Übergangsphase; Verlust der Vorteile der IPv6-Adressierung

# Tunneling

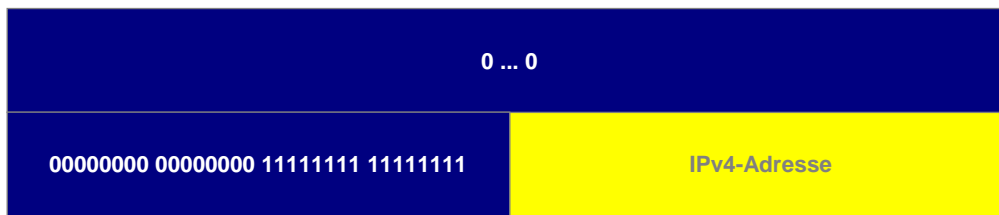
Unter **Tunneling** versteht man das Einpacken eines IP-Pakets in ein anderes IP-Paket, das eine neue, eigene IP-Zieladresse bekommt. Am Ende des Tunnels wird das innere IP-Paket wieder ausgepackt. So kann das ursprüngliche IP-Paket Teilnetz-Strecken „untertunneln“, die es anders nicht passieren könnte.

In der Regel werden IP-Tunnel von Hand konfiguriert.

# IPv6-Tunnel



## Adresse vom Typ „IPv4-Mapped“



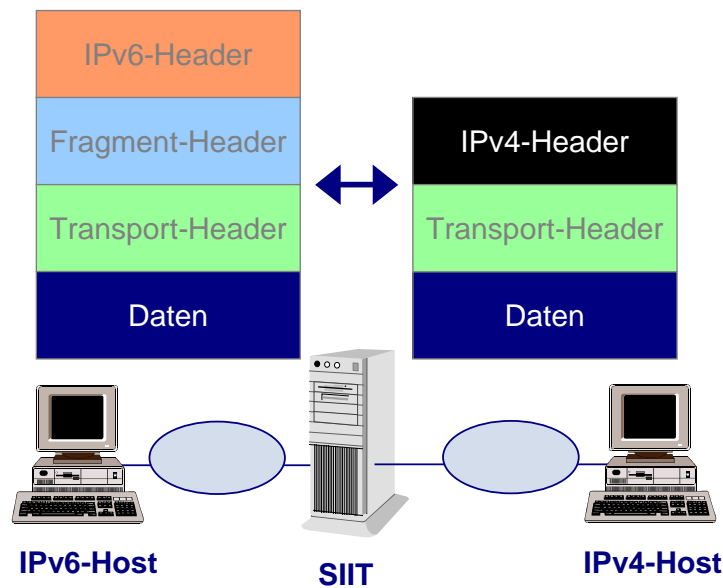
Kommunikation von IPv6-Systemen mit IPv4-Systemen

„IPv4-Mapped“-Adresse zeigt an, dass das adressierte IP-Zielsystem IPv6 nicht unterstützt. Deshalb Auswahl des IPv4-Protokollstacks.

## Stateless IP/ICMP Translation (SIIT)

- Setzt dynamische Allokation von IPv4-Adressen voraus!
- Unterstützt die Kommunikation zwischen reinen IPv6-Systemen und reinen IPv4-Systemen
- Zustandslose Übersetzung von IPv4/IPv6- und ICMPv4/ICMPv6-Paketen
- Keine Übersetzung von Routing-Headern, Hop-by-Hop-Optionen und Destination-Optionen

## Illustration von SIIT



## Auswirkungen von IPv6 auf andere Protokolle

### Routing-Protokolle

- Handhabung der längeren Adressen

### Transportprotokolle

- Reduzierte maximale Nutzdatenlänge wegen des grösseren IP-Headers
- Neuer IP-Pseudo-Header verändert die Implementierung der Prüfsummenberechnung in UDP (nun obligatorisch) und TCP
- TCP unterstützt gegenwärtig eine IP-Adressänderung während einer bestehenden TCP-Verbindung nicht.

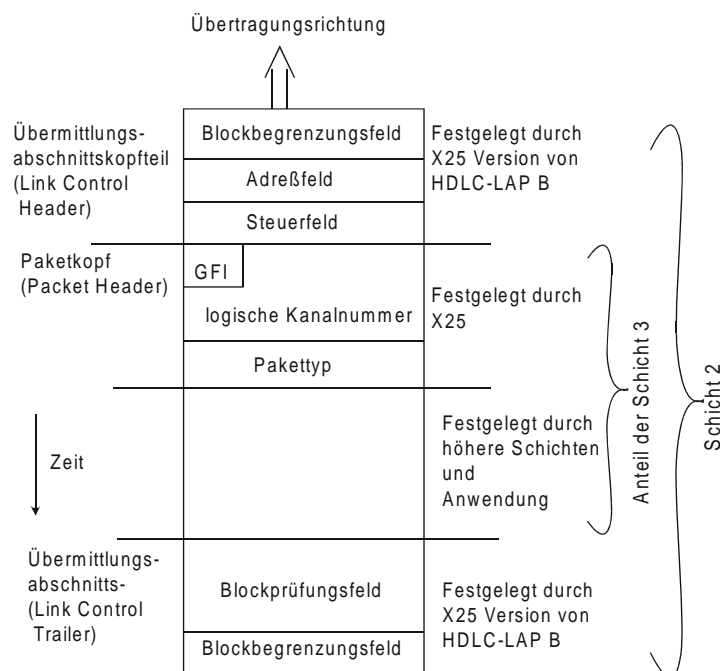
# ITU-T Recommendation X.25

Der wichtigste internationale Standard für paketvermittelte Weitverkehrsnetze.

Ein Standard des CCITT (jetzt ITU-T).

- Einsatz zur Vermittlung in öffentlichen Paketvermittlungsnetzen
- Umfasst die Schichten 1 bis 3 des Referenzmodells
- Verbindungsorientiert!
- Adressfeld: Ziel-/Herkunftsadresse des Pakets
- Steuerfeld: Unterscheidung Daten-/Steuerpakete
- Sequenznummern für Paketreihenfolge
- GFI: Kennung des Paketformats (General Format Identifier)
- **Logische Kanalnummer**: Unterscheidung verschiedener Verbindungen an einem Zugangspunkt
- Pakettypen: Auf-/Abbau der Verbindung, Daten, Interrupts, Flusssteuerung

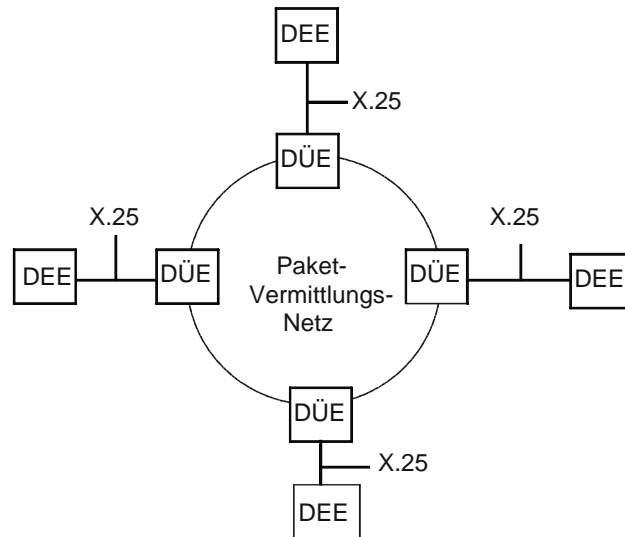
# Paketstruktur von X.25



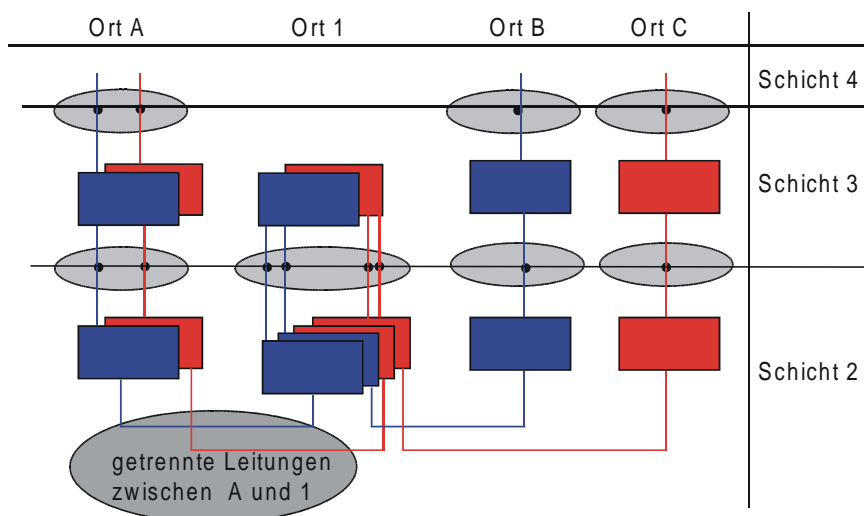


## Einordnung von X.25

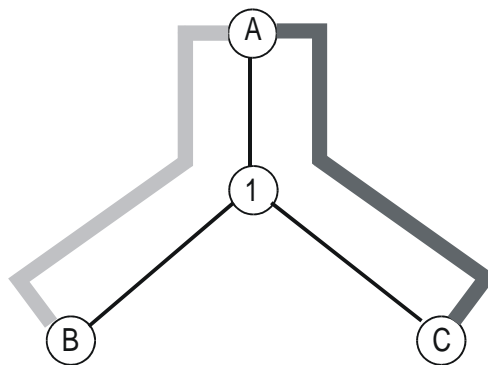
Standardisierung einer **Schnittstelle** zwischen einem privaten Endgerät (DEE=Datenendeinrichtung) und dem öffentlichen Paketvermittlungsnetz (DÜE=Datenübertragungseinrichtung).



## Beispiel: Vermittlung ohne Multiplexen



## Zwei Schicht 3-Verbindungen über eine Schicht 2-Verbindung



Schicht 1- und Schicht 2-Verbindungen: A1, B1, C1



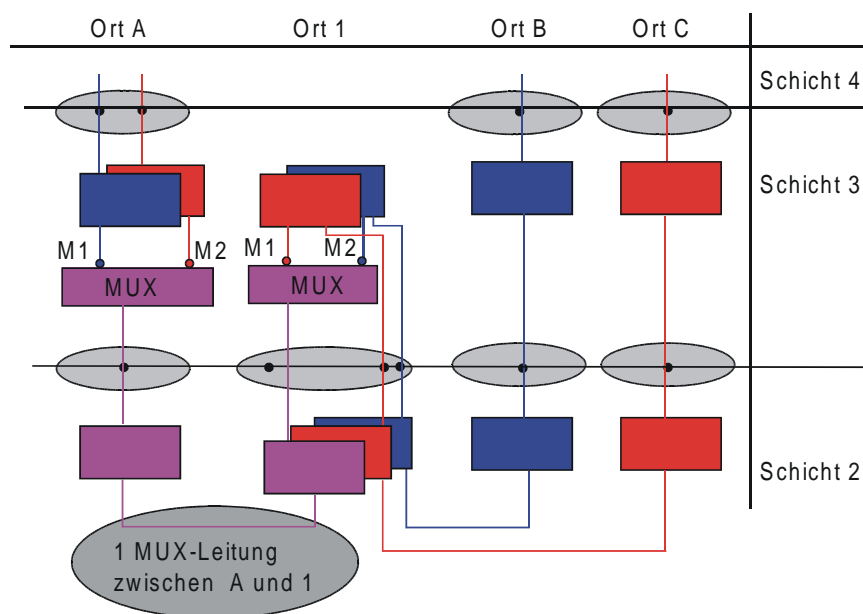
Schicht 3-Verbindung AC



Schicht 3-Verbindung AB



## Beispiel: Vermittlung mit Multiplexen



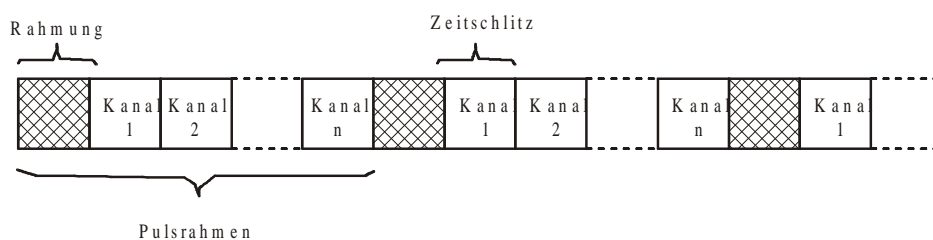
# ATM (Asynchronous Transfer Mode)

## Grundlagen

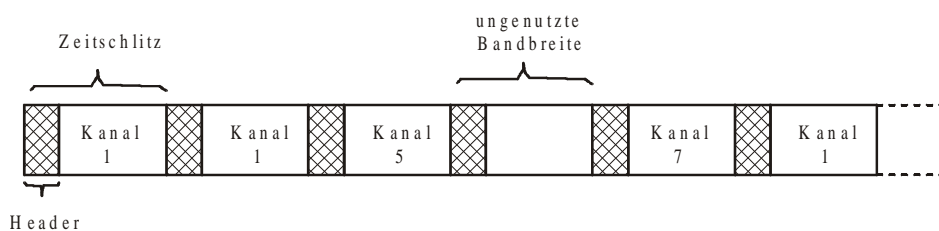
- Eine schnelle Paketvermittlungstechnik für Zellen fester Größe
- Basiert auf asynchronem (statistischem) Zeitmultiplexing; daher der Name ATM
- Verbindungsorientiert; unterscheidet virtuelle Pfade und virtuelle Verbindungen
- Implementierung der Vermittlungsrechner soll zwecks Erreichung hoher Zellraten möglichst weitgehend in Hardware möglich sein
- Verzicht auf Fehlererkennung, Flusskontrolle usw. in der Zellvermittlungsschicht
- Befriedigt ein breites Spektrum verschiedener Datenraten und ein breites Spektrum verschiedener Anwendungsanforderungen.

## Synchrones vs. asynchrones Zeitmultiplexing

### STM - Zeitmultiplex

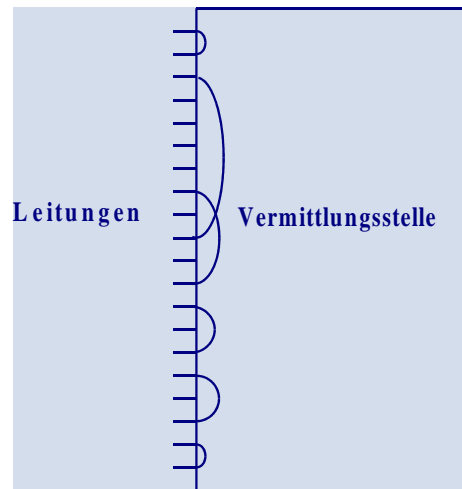


### ATM - Zeitmultiplex

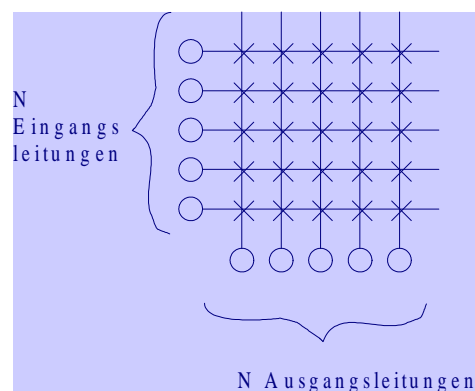


# Vermittlungstechnik

Funktion einer Vermittlungsstelle (Switch), abstrakt



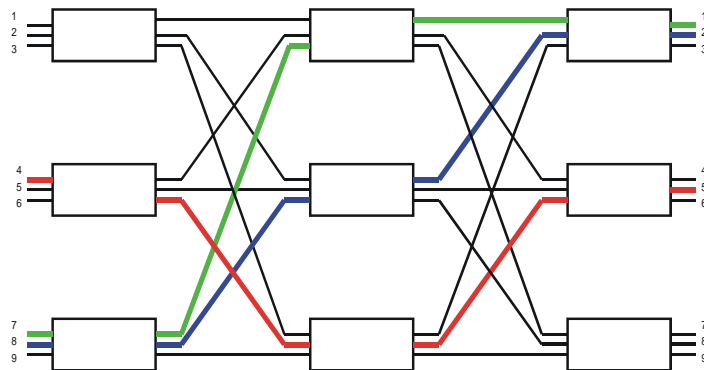
# Raumvielfache (Space-Division Switch)



Nachteile einer Implementierung als Matrix:

- Anzahl der Verbindungspunkte (crosspoints) wächst mit  $N^2$
- Defekter Verbindungspunkt macht eine bestimmte Verbindung unmöglich
- Schlechte Auslastung der Verbindungspunkte (maximal  $N$  aus  $N^2$  in Gebrauch)

## Mehrstufige Raumvielfache (multi-stage space division switches)



### Vorteile

- Geringere Anzahl von Verbindungspunkten
- Mehrere alternative Pfade zur Verbindung eines Eingangs mit einem Ausgang; dadurch höhere Zuverlässigkeit

### Nachteile

- Blockierung: keine Verbindungsmöglichkeit zwischen Eingang und Ausgang. Im obigen Beispiel: Eingang 9 kann mit Ausgang 4 oder 6 nicht verbunden werden!

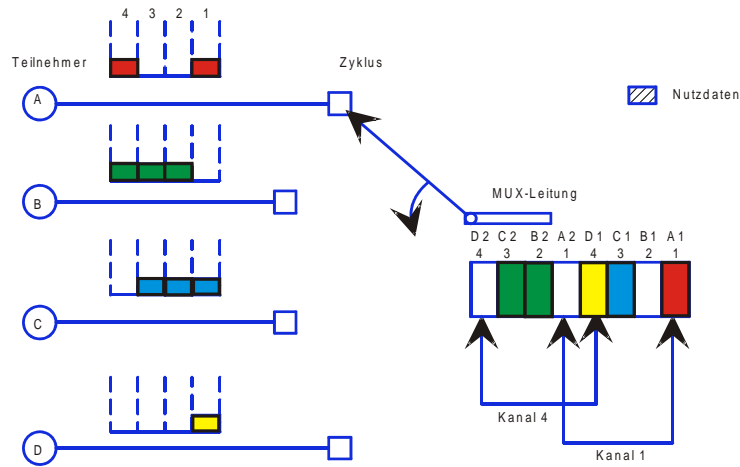
## Multiplexing auf der Leitung und Vermittlungstechnik

### Man kann konzeptionell unterscheiden:

- Synchrones und asynchrones Multiplexen auf der Leitung
- Synchrone und asynchrone Vermittlungstechnik

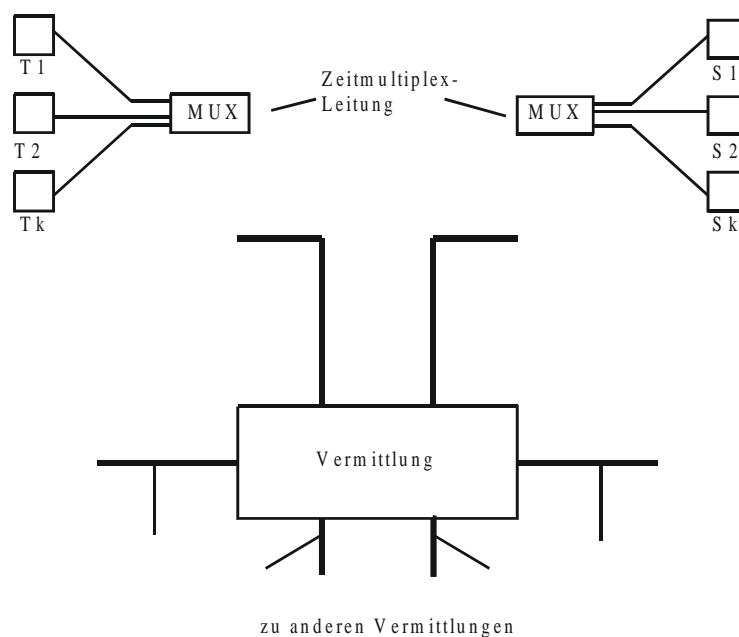
# Synchrones Zeitmultiplexing

## Synchronous Time-Division Multiplexing (STM)



Erkenntnis: Für **STM-Leitungen** besteht das Vermitteln im Umsortieren der Zeitschlitze!

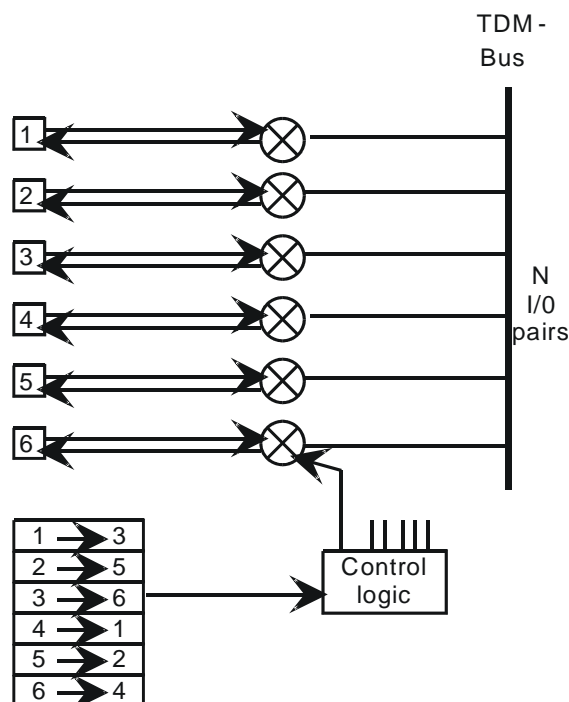
# Übertragung und Vermittlung im Zeitmultiplexverfahren



## Vermittlungsstelle mit internem TDM-Bus (1)

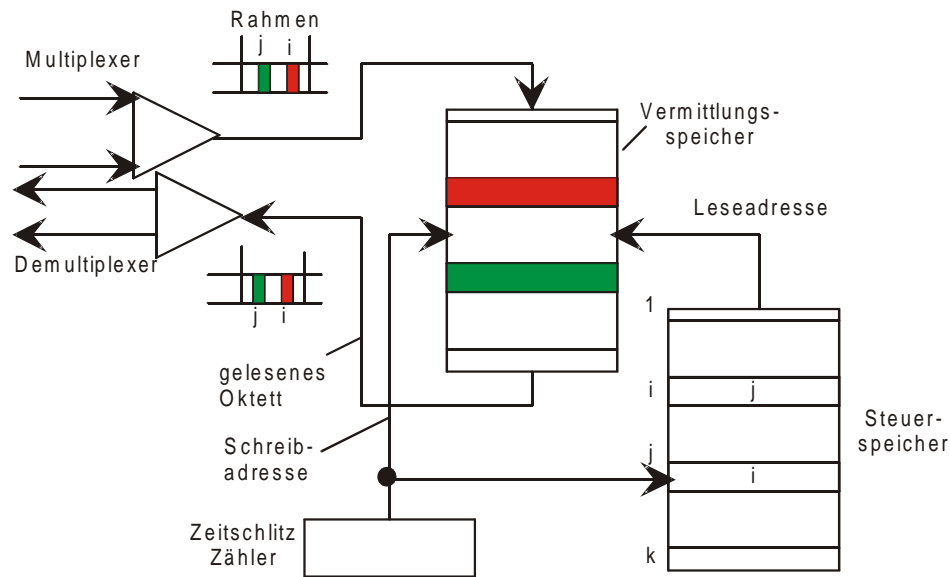
- Verwendung von STM auf einem schnellen Bus innerhalb des Vermittlungsrechners
- Jeweils eine Eingangs- und eine Ausgangsleitung werden für eine kurze Zeitperiode auf den Bus geschaltet
- Leitungspuffer dienen zum Geschwindigkeitsausgleich zwischen langsamen externen Leitungen und dem schnelleren TDM-Bus
- Nachteil: Der interne Bus muss so schnell sein wie die Summe der gleichzeitig aktiven Verbindungen

## Vermittlungsstelle mit internem TDM-Bus (2)



# Vermittlungsstelle mit internem Vermittlungsspeicher

## "Time Slot Interchange"



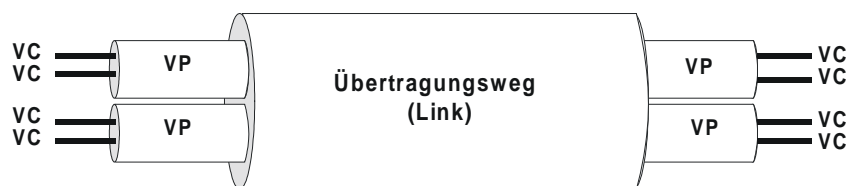
# Virtuelle Kanäle und virtuelle Pfade in ATM

## Virtueller Kanal (Virtual Circuit, VC):

- virtuelle Verbindung zwischen ATM-Endgeräten über mehrere Übertragungsabschnitte hinweg

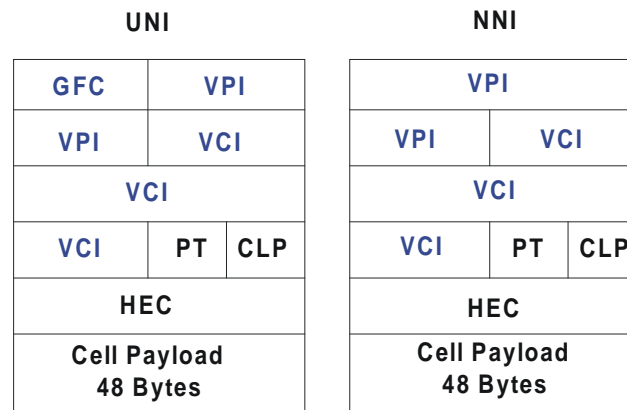
## Virtueller Pfad (Virtual Path, VP):

- auf einer (Teil-)Strecke gebündelte VCs



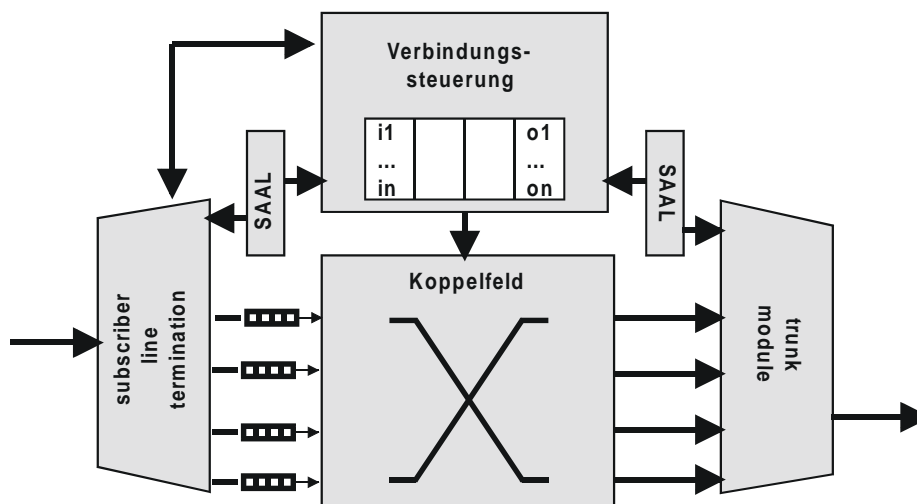


# ATM-Zellformate

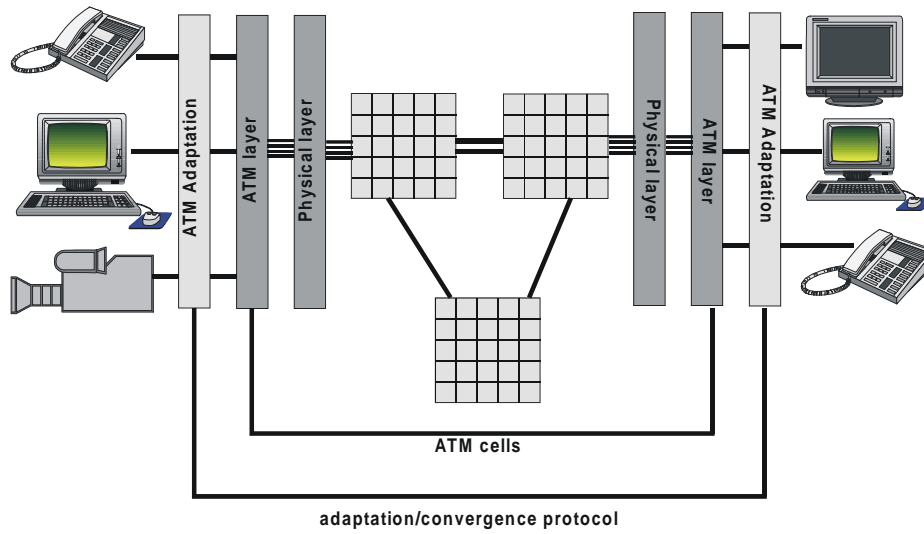


GFC: Generic Flow Control  
 VPI: Virtual Path Identifier  
 VCI: Virtual Circuit Identifier  
 PT: Payload Type  
 CLP: Cell Loss Priority  
 HEC: Header Error Check

# Schema eines ATM-Vermittlungsknotens



# ATM Adaptation Layer



# ATM-Dienstklassen

	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
<b>Synchronität</b>	isochron		asynchron	
<b>Bitrate</b>	konstant	variabel		
<b>Verbindungsmodus</b>	verbindungsorientiert			verbindungslos
<b>Anwendungen</b>	Emulation synchroner Dienste (ISDN)	variabel bitratiges Video (MPEG, ...)	Verbindungsorientierte Datenkommunikation	verbindungslose Datenkommunikation

## ATM-Adaptionsschichten

- AAL1: Constant Bit Rate (CBR) mit Synchronisation
- AAL2: Variable Bit Rate (VBR)
- AAL3/4: für Datenverkehr, überwiegend in öffentlichen Netzen
- AAL5: Standard-AAL für Datenverkehr

AALs beschreiben Ende-zu-Ende-Protokolle. Weitere AALs können definiert werden, ohne dass dies die ATM-Zellvermittlungsschicht betrifft.

## ATM-Verkehrsklassen

### UBR: Unspecified Bitrate

- Für Datenanwendungen, nutzt verfügbare (Rest-) Bandbreite
- Keine „admission control“ und kein „Policing“
- Bei Überlast hohe Zellverluste

### CBR: Constant Bitrate

- Für „Circuit Emulation Services“ mit festen PCR, CTD, CDV
- Minimale Zellverlustrate

### VBR: Variable Bitrate

- Zum Beispiel für komprimierte Videoströme mit variabler Bitrate

### ABR: Available Bitrate

- Zuverlässige Übertragung für Datenanwendungen
- Implementiert eine Flussregelung im ATM-Netz

# ATM-Verkehrsvertrag

- Benutzer und Netz schließen beim Verbindungsaufbau einen „Verkehrsvertrag“
- Der Benutzer liefert den beim Verbindungsaufbau spezifizierten Verkehr (*Verkehrsbeschreibung, traffic description*)
- Der Benutzer spezifiziert die für diese Verkehrsbeschreibung gewünschten Dienstqualitäten (*QoS: Quality of Service*)
- Das Netz prüft, ob der spezifizierte Verkehr mit der gewünschten Qualität noch transportiert werden kann (*admission control*)
- Das Netz kontrolliert während der Verbindung die Einhaltung der Verkehrsbeschreibung am Netzzugang (*UPC: usage parameter control oder source policing*)
- Nicht konforme Zellen werden:
  - am Netzeingang mit CLP=1 gekennzeichnet
  - Zellen mit CLP=1 werden bei Überlast am Netzeingang oder im Inneren des Netzes verworfen.

# Verkehrsparameter

## Verkehrsbeschreibung

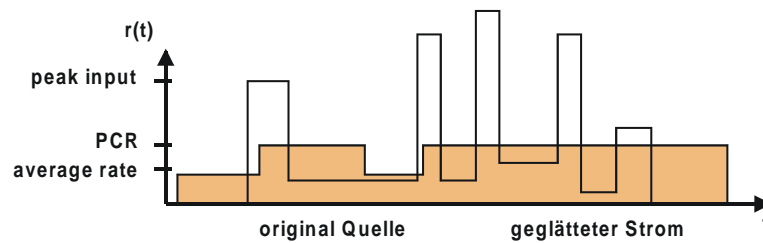
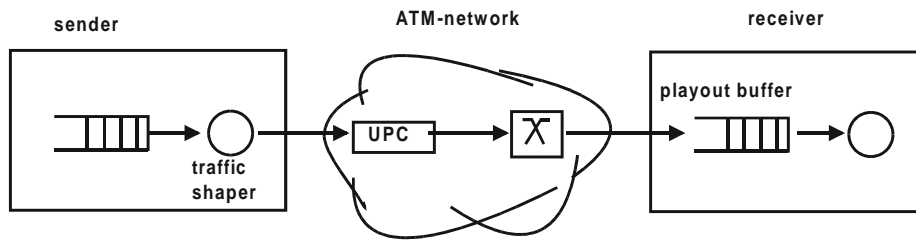
- **PCR**: Peak Cell Rate (cells/s)
- **SCR**: Sustainable Cell Rate (cells/s)
- **MBS**: Maximum Burst Size (cells), auch spezifiziert als **BT**: Burst Tolerance =  $(MBS-1)/(1/SCR-1/PCR)$
- **MCR**: Minimum Cell Rate (nur für ABR)

## Dienstqualitäten (QoS-Parameter)

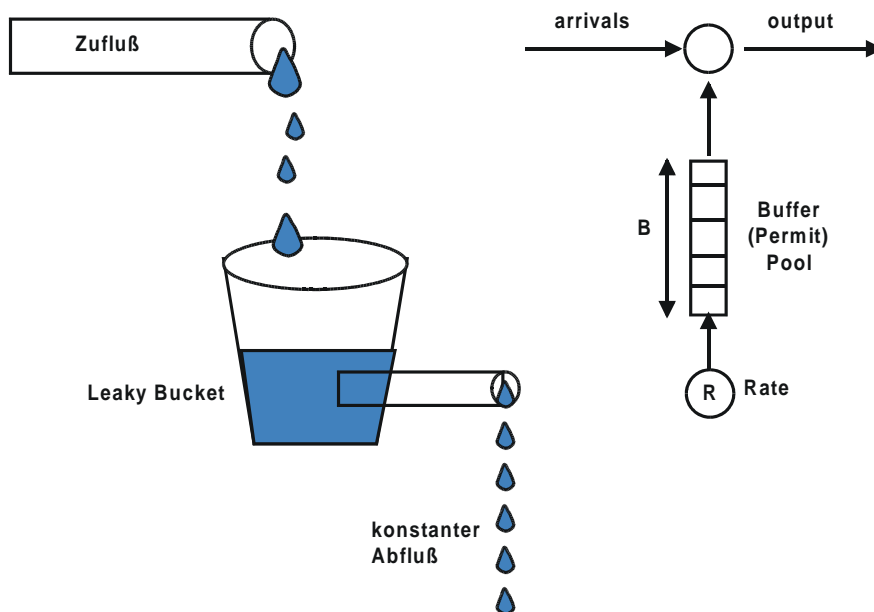
- **CLR**: Cell Loss Ratio (Anzahl der verlorenen Zellen/Anzahl der gesendeten Zellen)
- **CTD**: Cell Transfer Delay (vom Netzzugang bis zur Ablieferung beim Empfänger)
- **CDV**: Cell Delay Variation (CTD variance) (Delay Jitter)

# Traffic Shaping

Das ATM-Endgerät formt den Datenverkehr, um den Verkehrsvertrag einzuhalten ("traffic shaping").



# Verkehrsformung durch "Leaky Bucket"



# Bandbreitenaufteilung für die Verkehrsklassen

