

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)

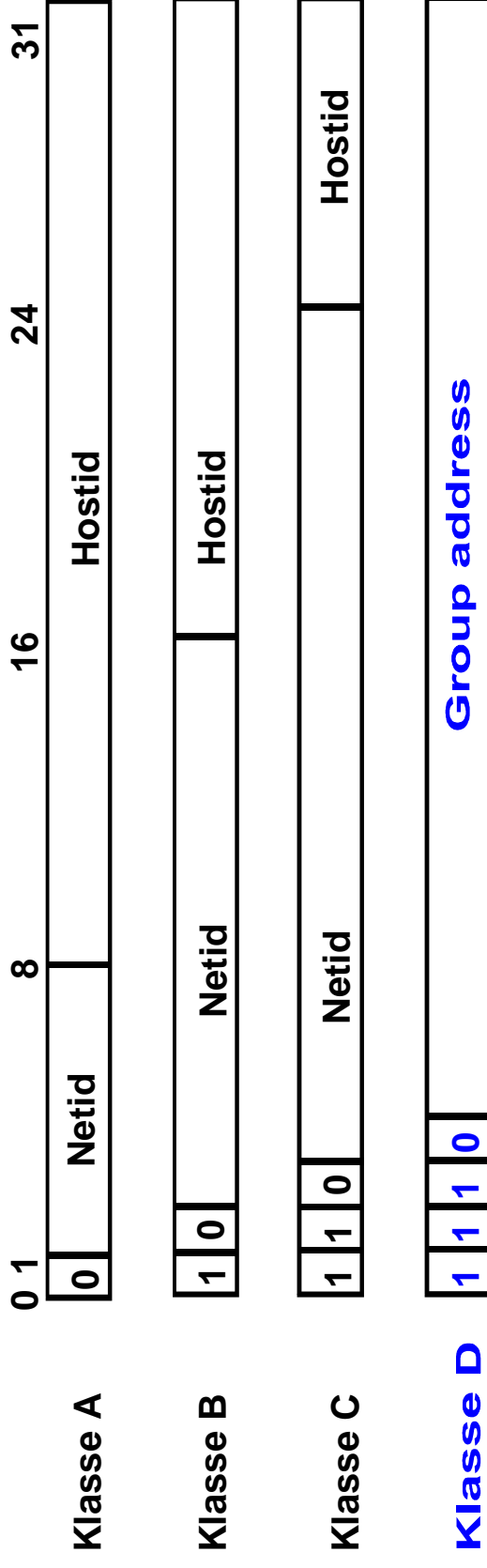
0	4	8	16	19	24	31
VERS	LEN	TYPE OF SERVICE		TOTAL LENGTH		
IDENT		FLAGS		FRAGMENT OFFSET		
TIME	PROTO		HEADER CHECKSUM			
SOURCE IP ADDRESS						
DESTINATION IP ADDRESS						
OPTIONS				PADDING		
DATA						
...						

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)

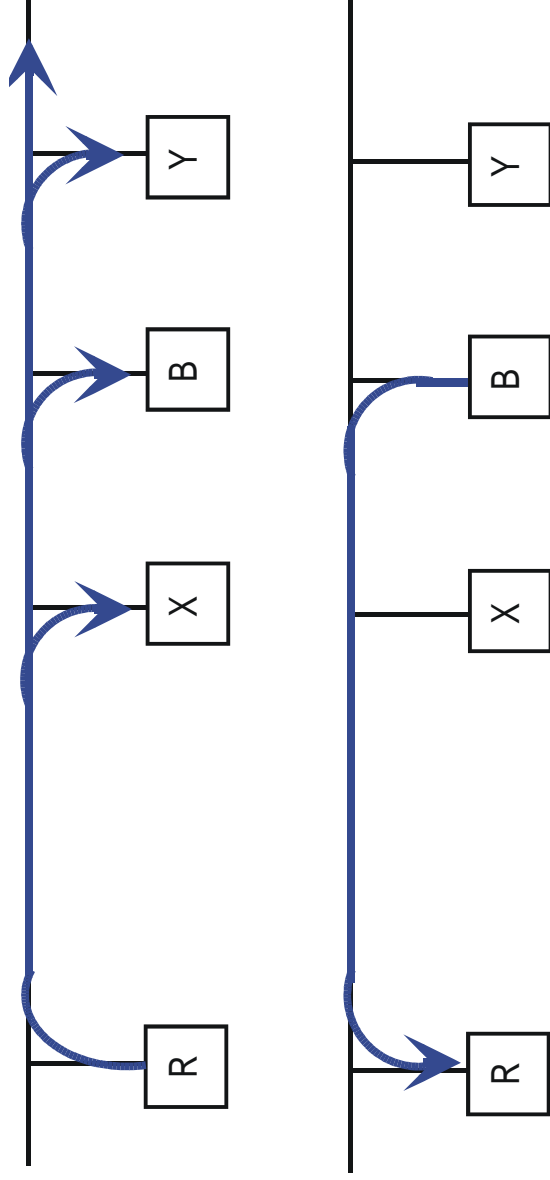
Protokoll im Router

- 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)

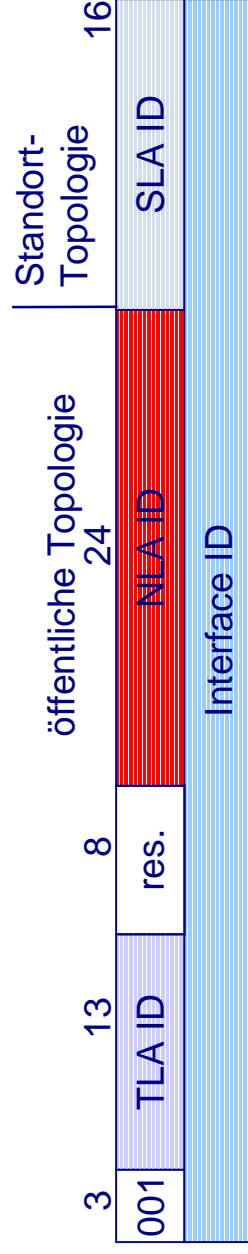
- grosse Internet-Service-Provider (ISPs) mit Transitnetzen, an die andere ISPs angeschlossen sind

Next Level Aggregation (NLA)

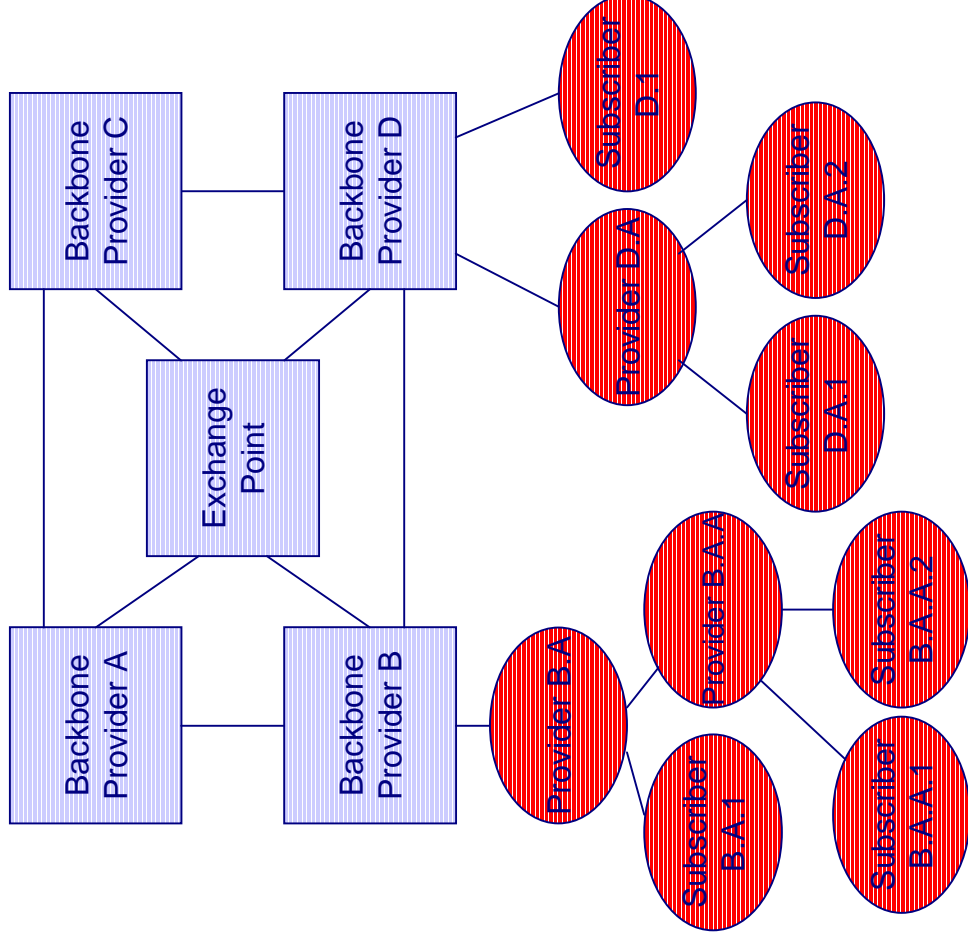
- Organisationen auf einer niedrigeren Stufe
- mehrere NLA-Ebenen sind möglich

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: 11111101::/64
- Standort-lokal
 - für nicht an das Internet angeschlossene IP-Netze
 - beim Anschluss eines Standorts muss lediglich das Adresspräfix (11111101::/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

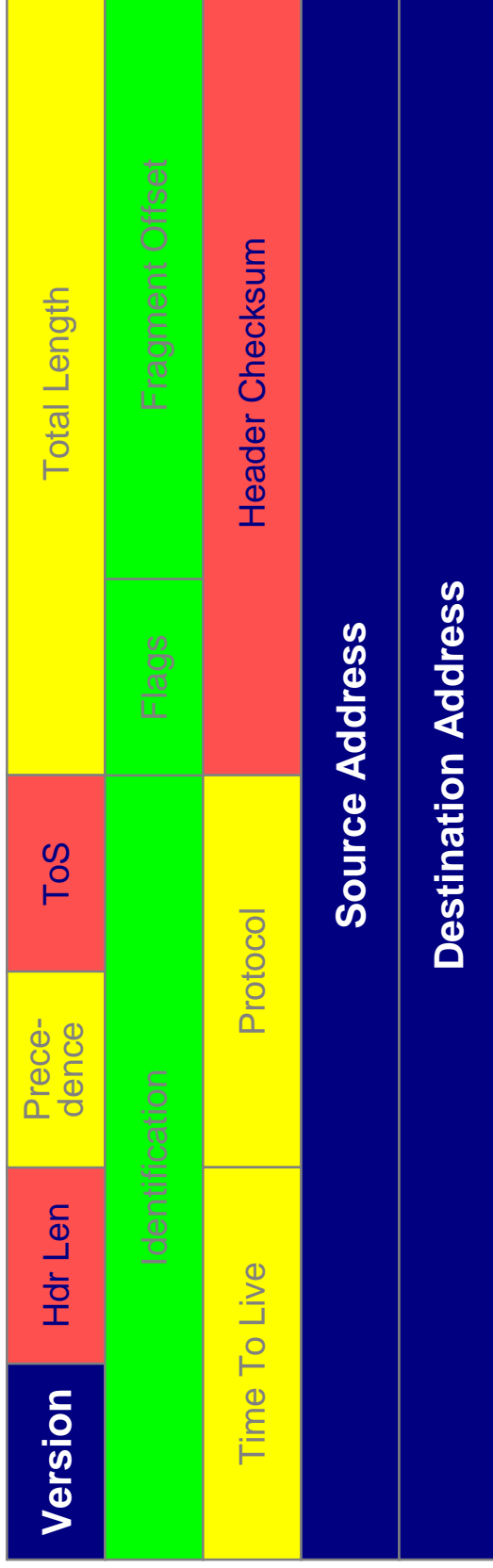
20 Bytes, 13 Felder

umbenannt

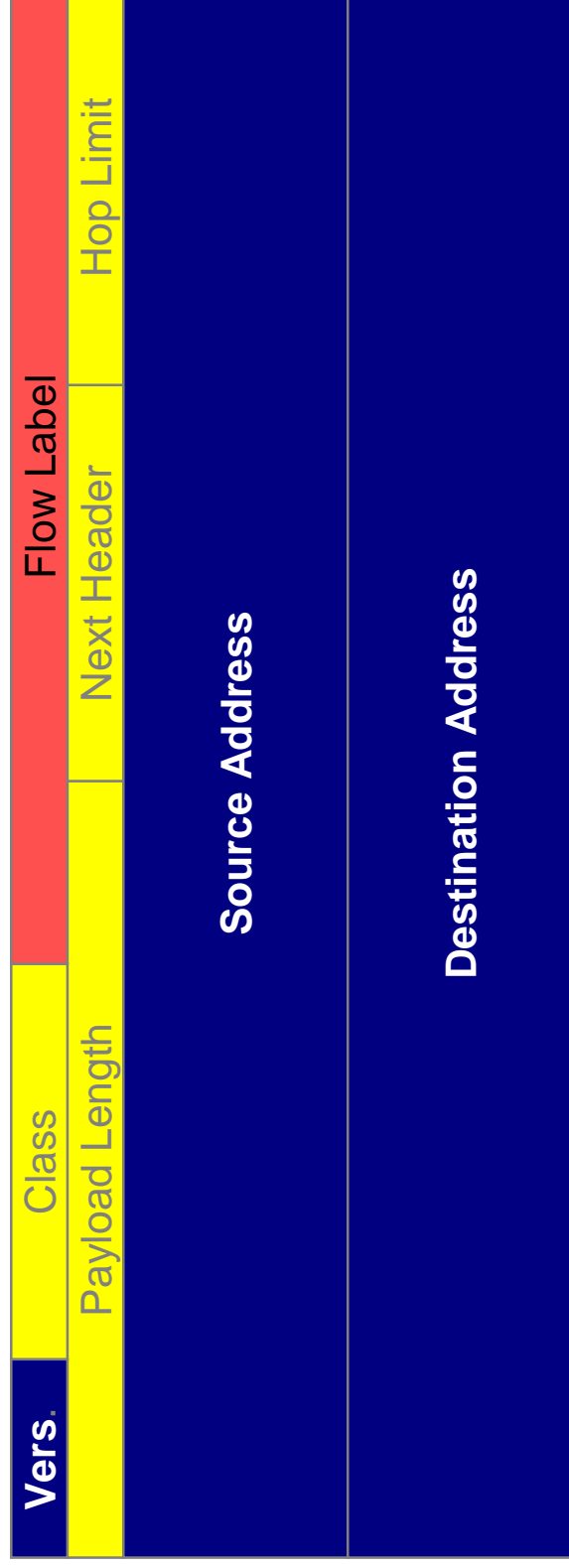
gestrichen

in den Erweiterungs-Header verschoben

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



IPv6 Header

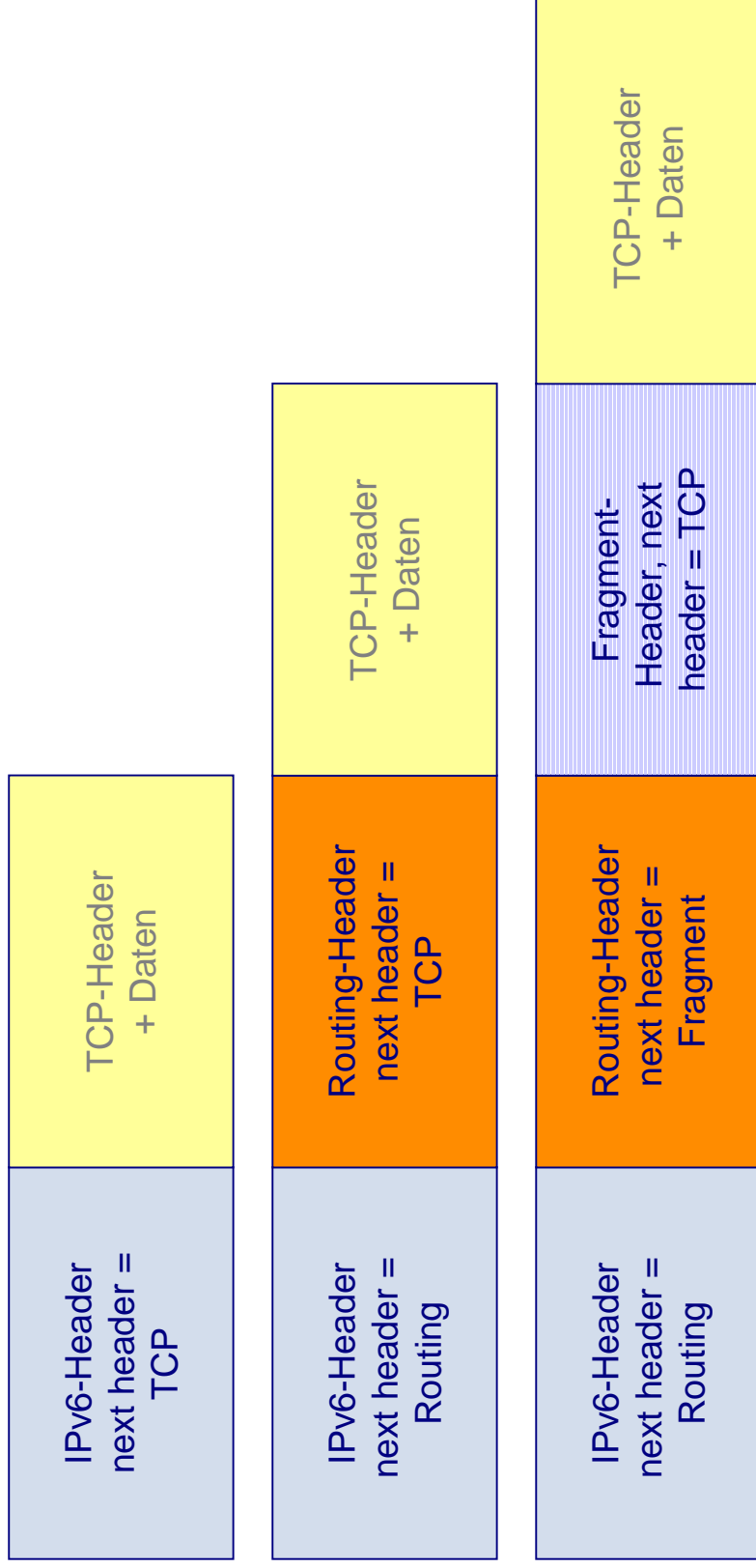


Konzept der Erweiterungs-Header

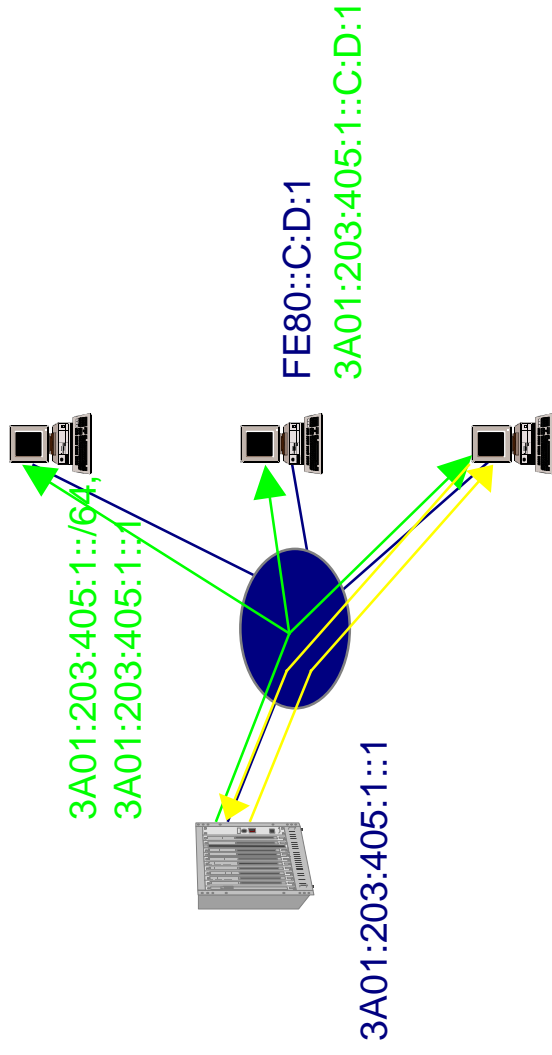
Kleiner Standard-Header und Erweiterungs-Header

- 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 *all* 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

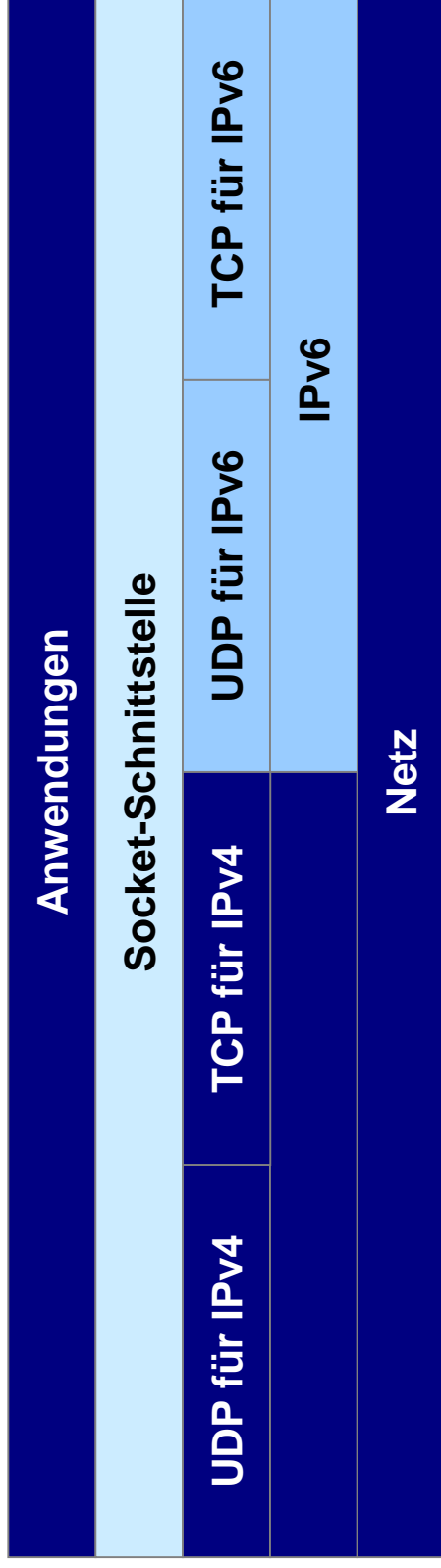
- Stateless IP/ICMP Translation (SIIT)
- No Network Address Translation (NNAT)
- Network Address Translation / Protocol Translation (NAT/PT)

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.

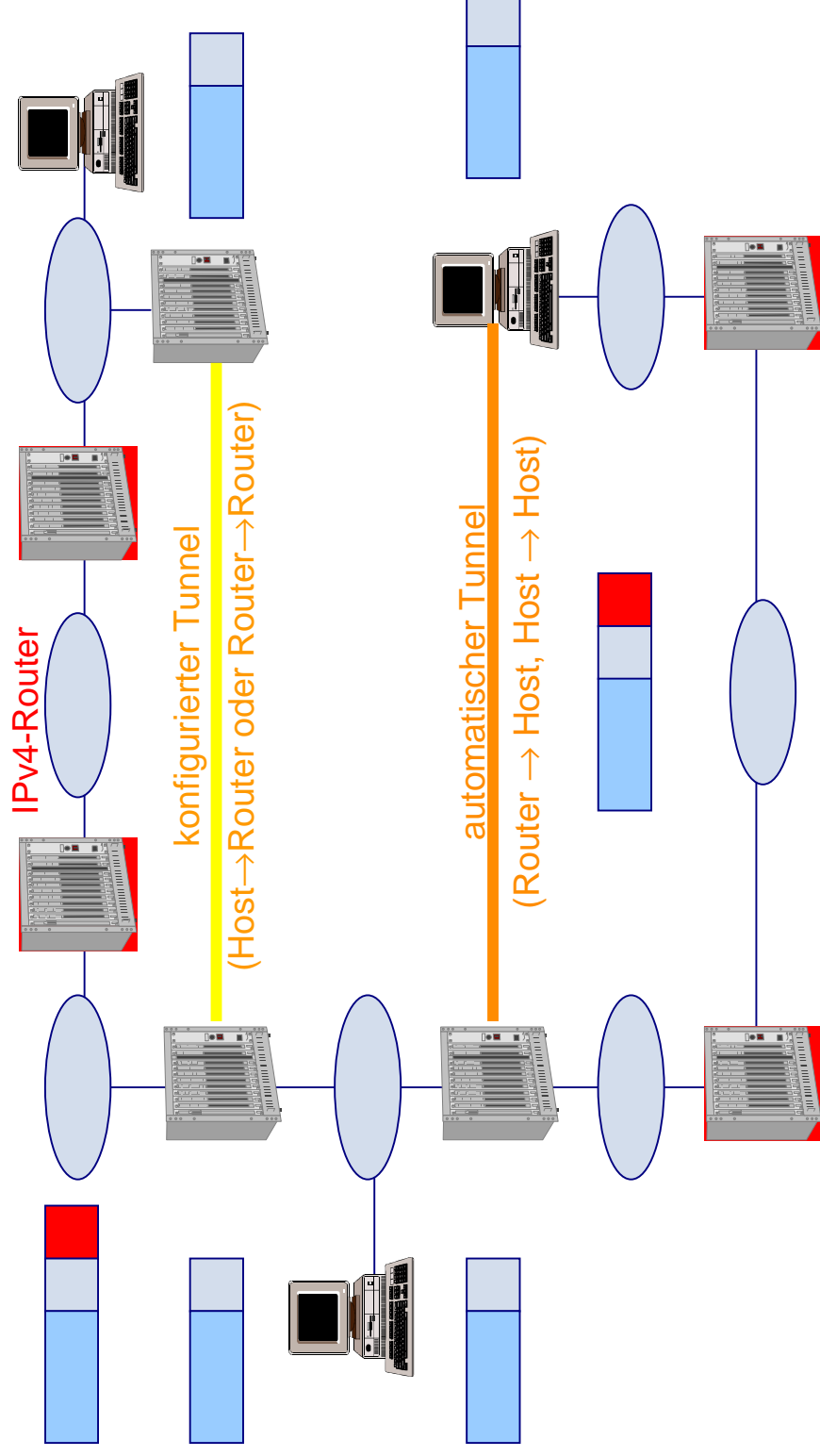
Nur nützlich in der frühen Übergangsphase; Verlust der Vorteile der IPv6-Adressierung

Tunneling

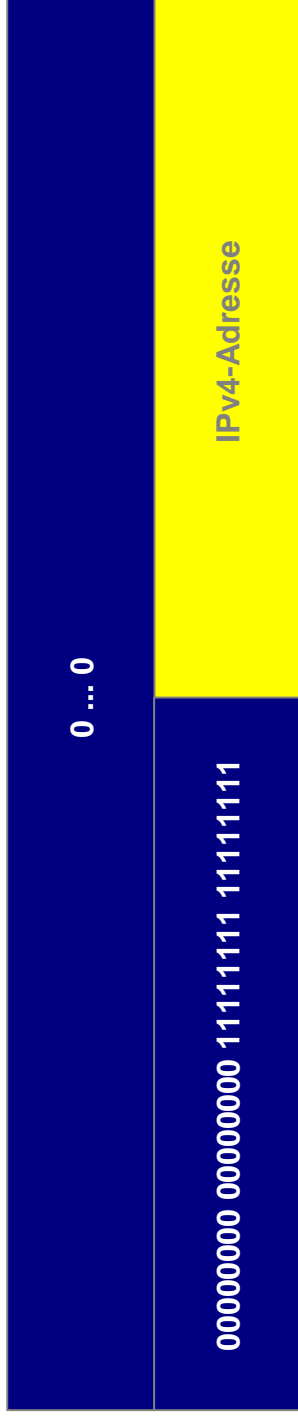
Unter **Tunneling** versteht man das Einpacken eines IP-Pakets in ein anderes IP-Paket, das eine neue, eigene IP-Zieladresse bekommt. Am Ende des Tunnels wird das innere IP-Paket wieder ausgepackt. So kann das ursprüngliche IP-Paket Teilnetz-Strecken „untertunneln“, die es anders nicht passieren könnte.

In der Regel werden IP-Tunnel von Hand konfiguriert.

IPv6-Tunnel



Adresse vom Typ „IPv4-Mapped“



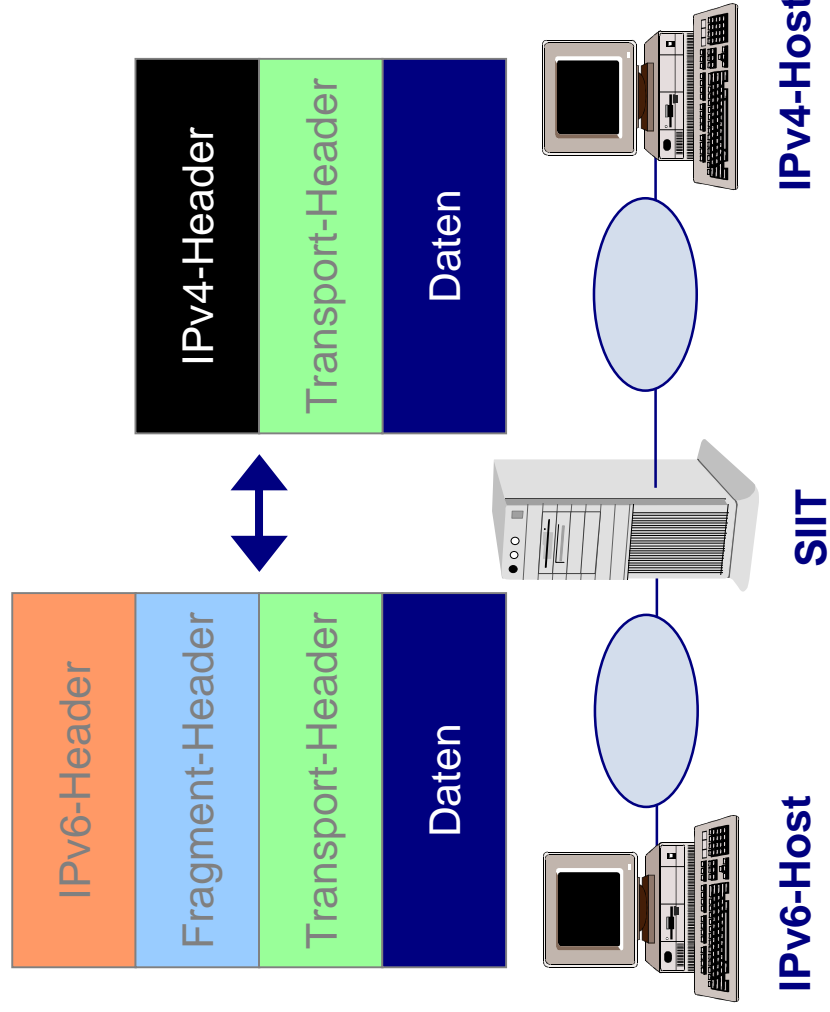
Kommunikation von IPv6-Systemen mit IPv4-Systemen

„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.

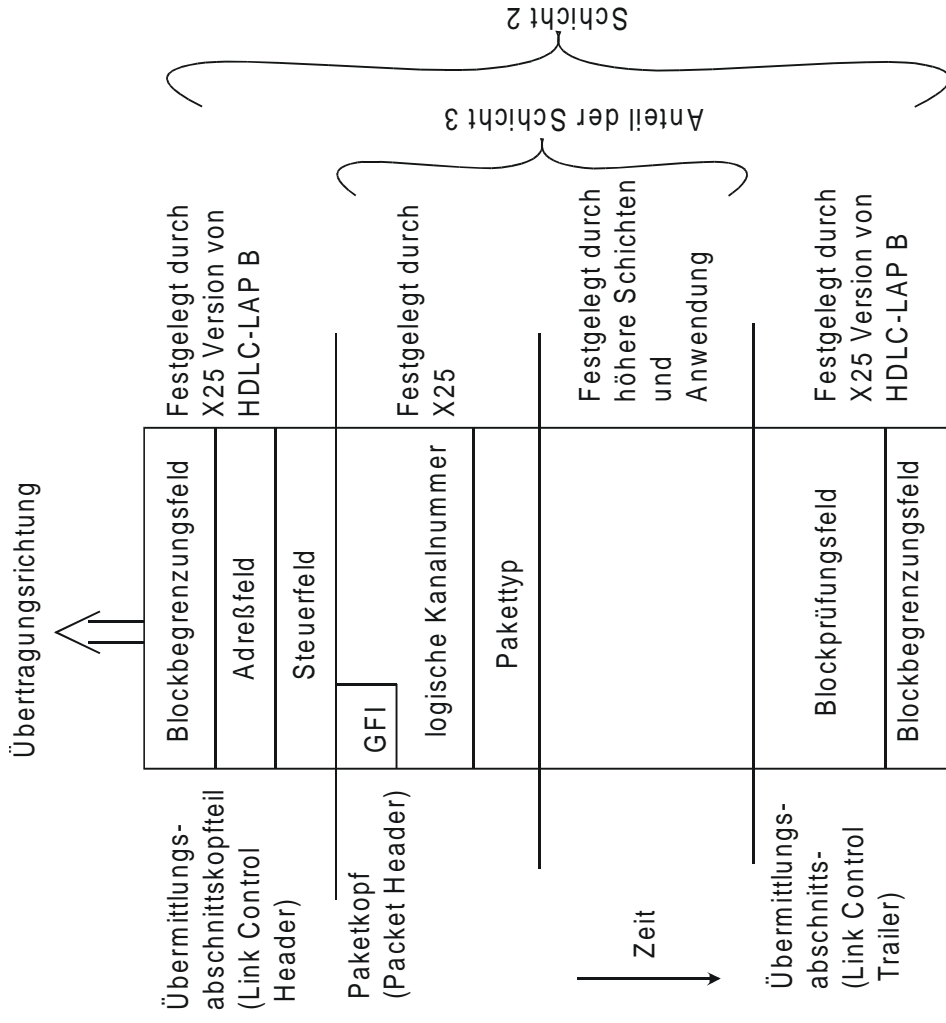
ITU-T Recommendation X.25

Der wichtigste internationale Standard für paketvermittelte Weitverkehrsnetze.

Ein Standard des CCITT (jetzt ITU-T).

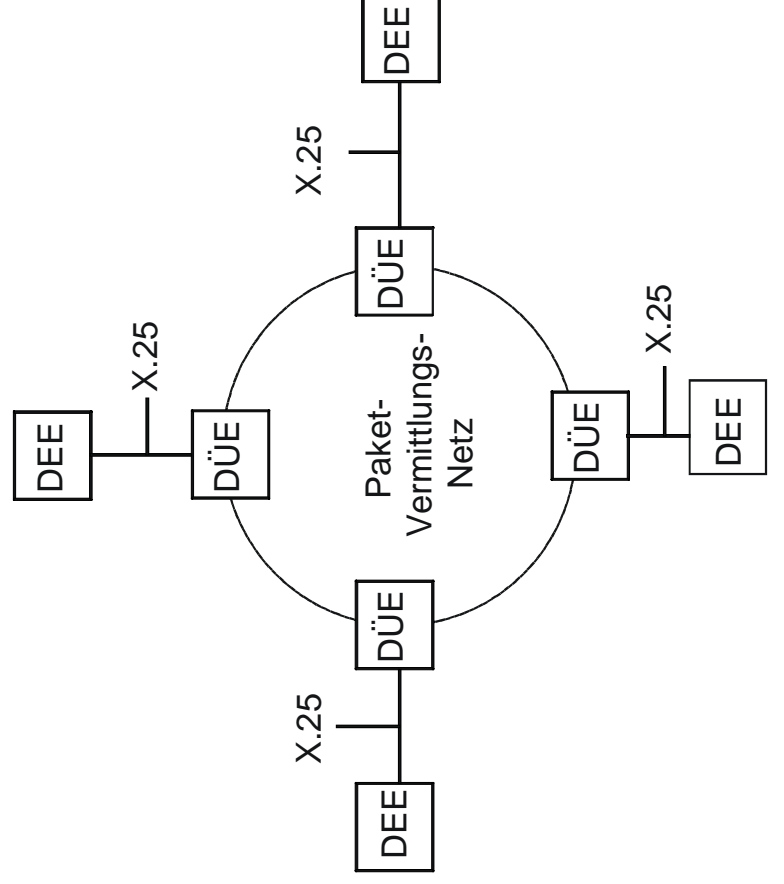
- Einsatz zur Vermittlung in öffentlichen Paketvermittlungsnetzen
- Umfasst die Schichten 1 bis 3 des Referenzmodells
- Verbindungsorientiert!
- Adressfeld: Ziel-/Herkunftsadresse des Pakets
- Steuerfeld: Unterscheidung Daten-/Steuerpakete
- Sequenznummern für Paketreihenfolge
- GFI: Kennung des Paketformats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

Paketstruktur von X.25

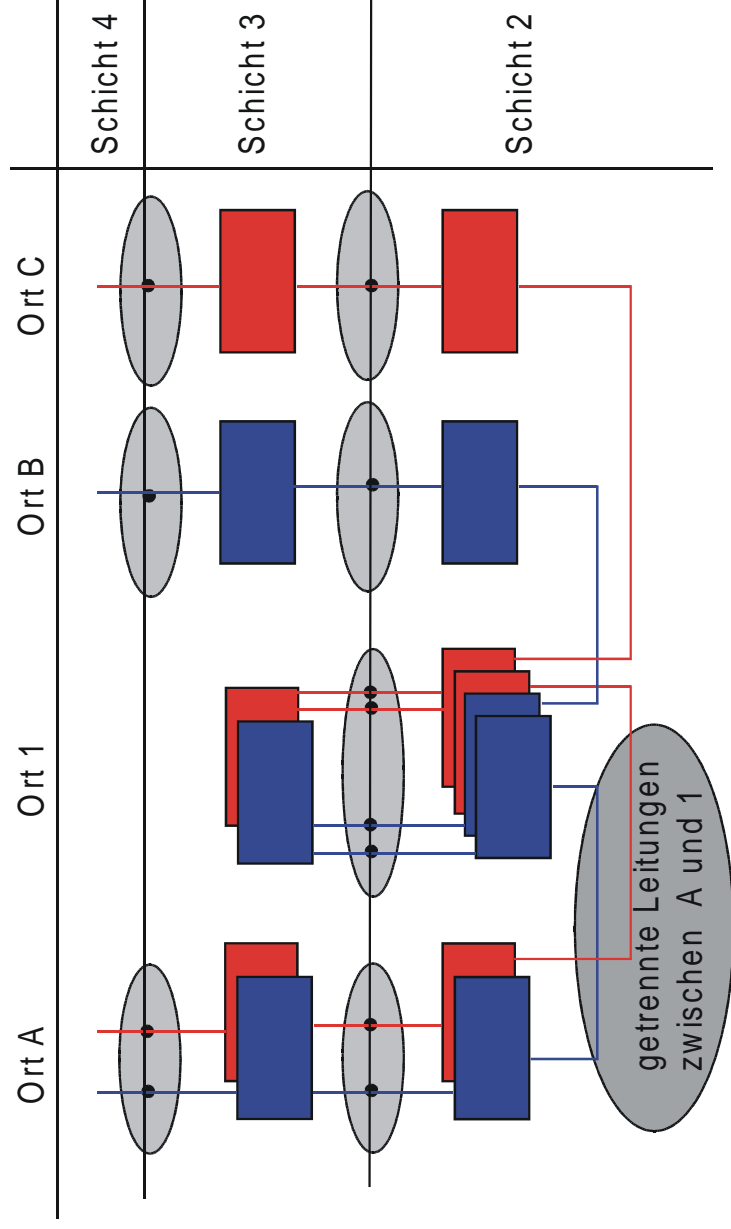


Einordnung von X.25

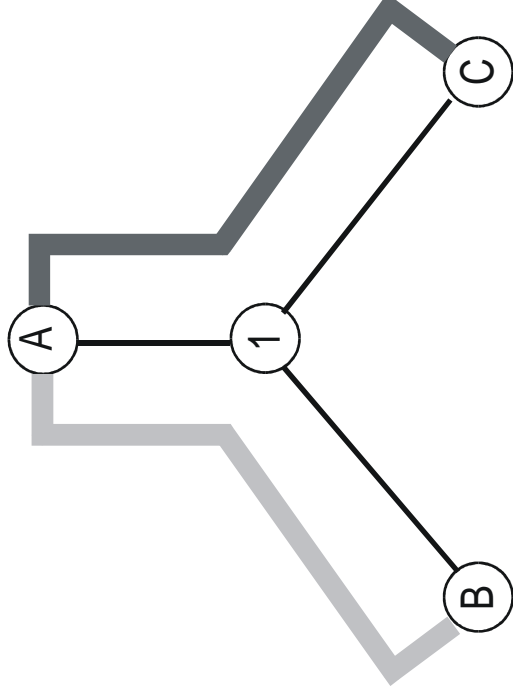
Standardisierung einer **Schnittstelle** zwischen einem privaten Endgerät (DEE=Dateneinrichtung) und dem öffentlichen Paketvermittlungsnetz (DÜE=Datenübertragungseinrichtung).



Beispiel: Vermittlung ohne Multiplexen



Zwei Schicht 3-Verbindungen über eine Schicht 2-Verbindung

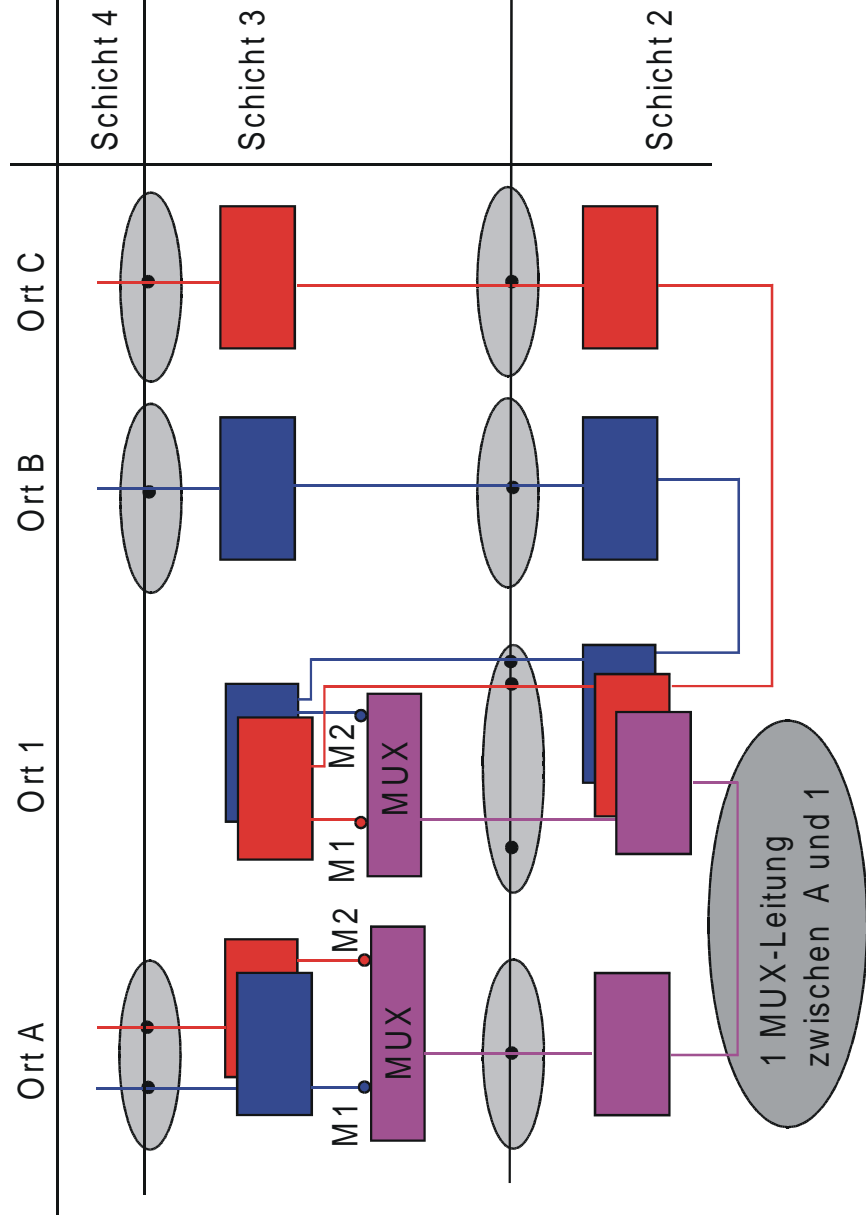


Schicht 1- und Schicht 2-
Verbindungen: A1, B1, C1

Schicht 3-Verbindung AC

Schicht 3-Verbindung AB

Beispiel: Vermittlung mit Multiplexen



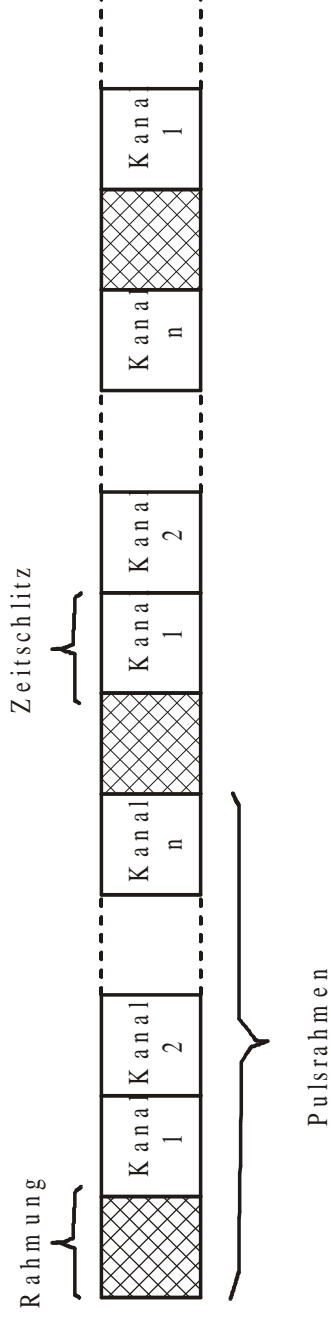
ATM (Asynchronous Transfer Mode)

Grundlagen

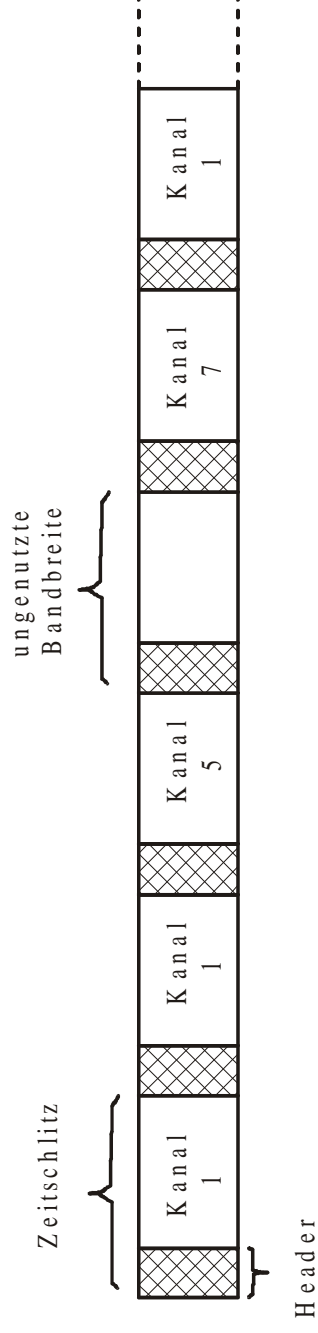
- Eine schnelle Paketvermittlungstechnik für Zellen fester Größe
- Basiert auf asynchronem (statistischem) Zeitmultiplexing; daher der Name ATM
- Verbindungsorientiert; unterscheidet virtuelle Pfade und virtuelle Verbindungen
- Implementierung der Vermittlungsrechner soll zwecks Erreichung hoher Zellraten 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

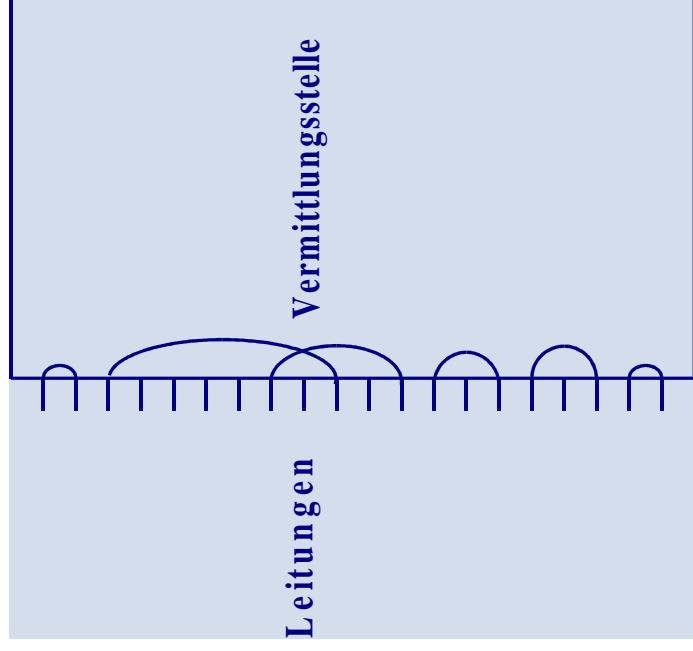


ATM - Zeitmultiplex

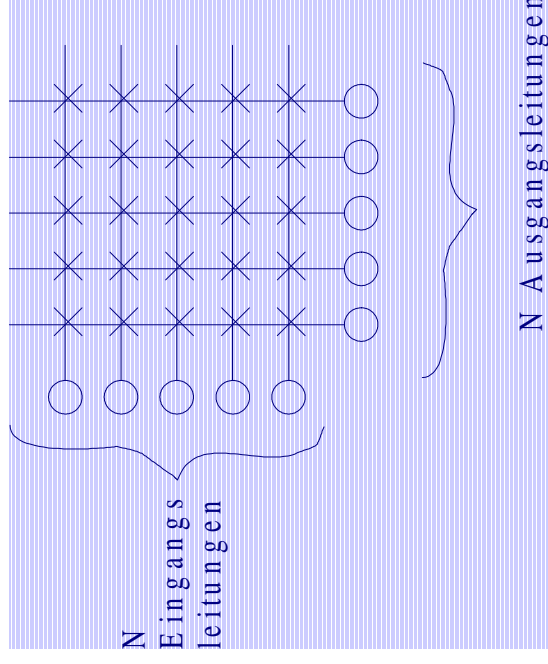


Vermittlungstechnik

Funktion einer Vermittlungsstelle (Switch), abstrakt



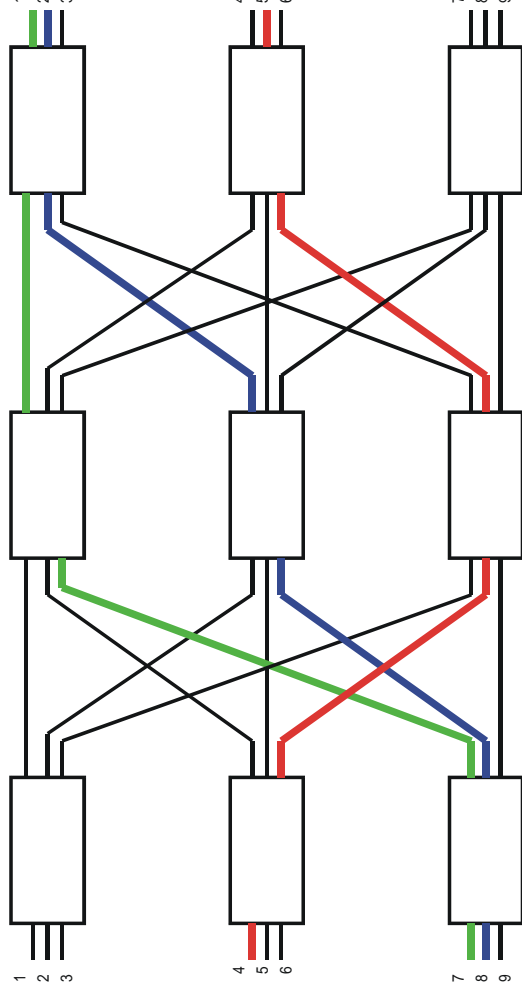
Raumvielfache (Space-Division Switch)



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!

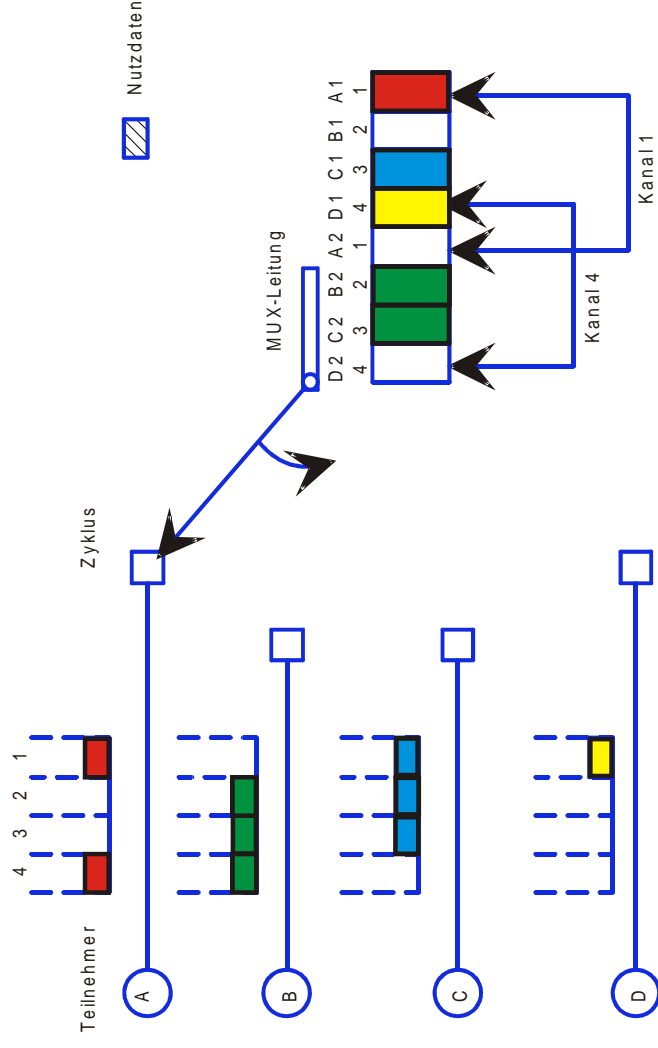
Multiplexing auf der Leitung und Vermittlungstechnik

Man kann konzeptionell unterscheiden:

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

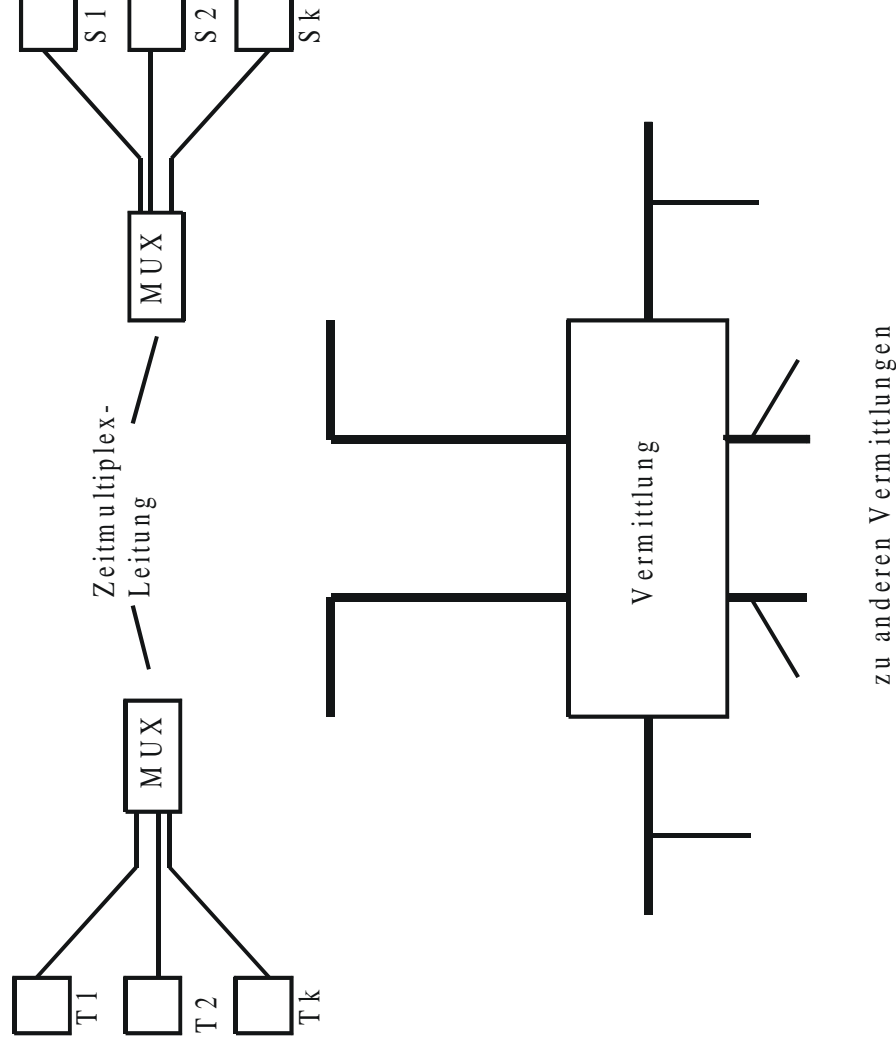
Synchrones Zeitmultiplexing

Synchronous Time-Division Multiplexing (STM)



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

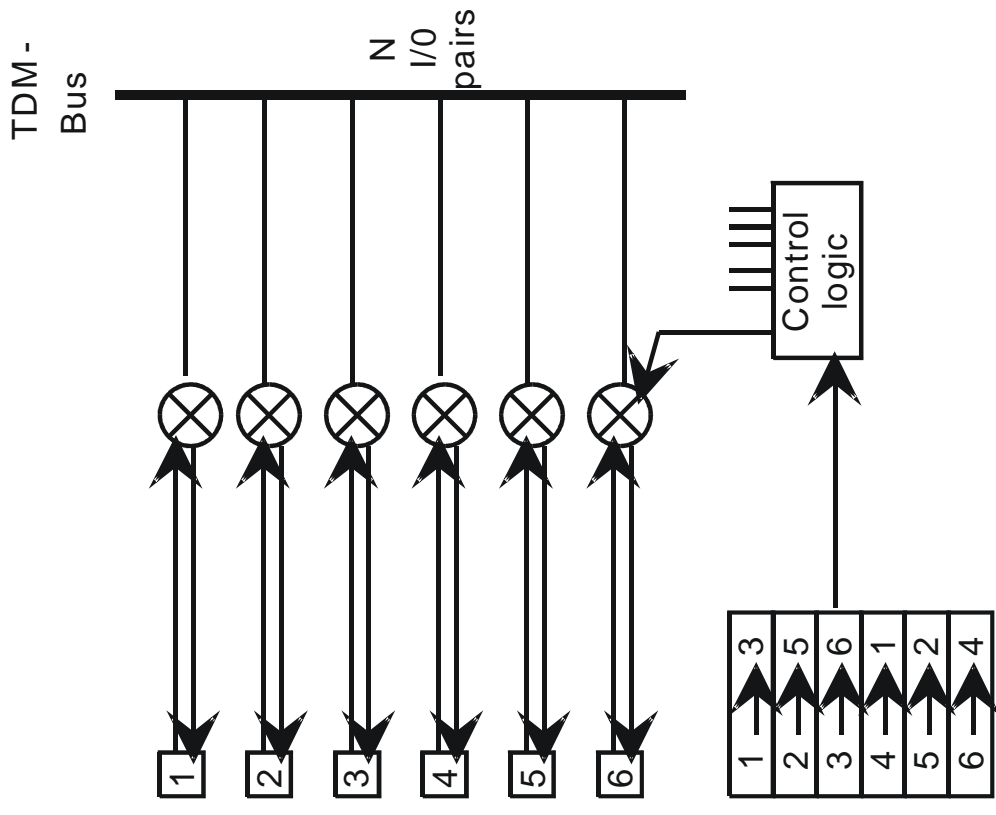
Übertragung und Vermittlung im Zeitmultiplexverfahren



Vermittlungsstelle mit internem TDM-Bus (1)

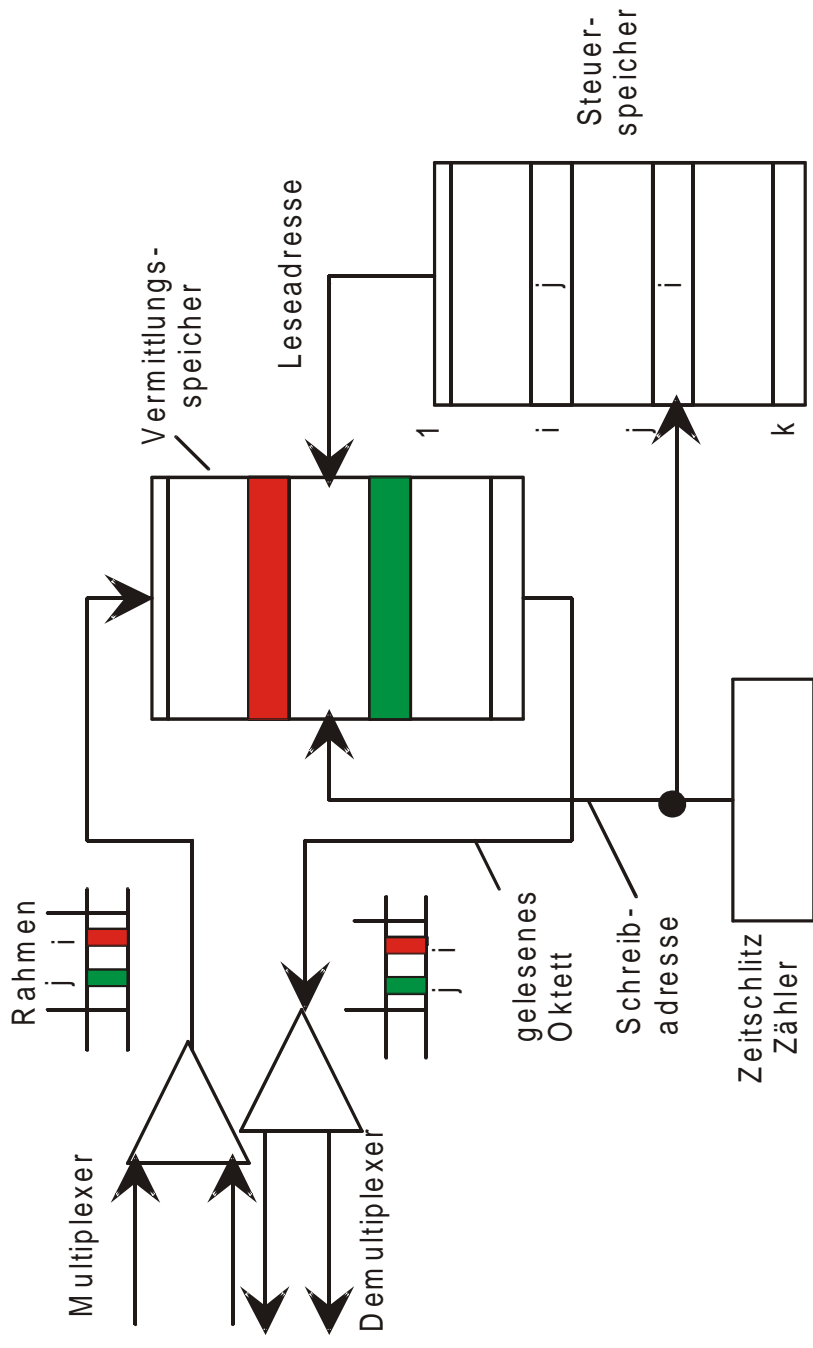
- Verwendung von STM auf einem schnellen Bus innerhalb des Vermittlungsrechners
- Jeweils eine Eingangs- und eine Ausgangsleitung werden für eine kurze Zeitperiode auf den Bus geschaltet
- Leitungspuffer dienen zum Geschwindigkeitsausgleich zwischen langsamen externen Leitungen und dem schnelleren TDM-Bus
- 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"



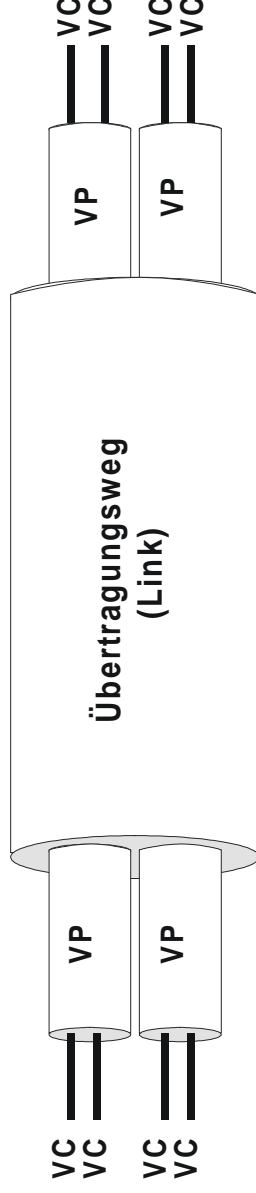
Virtuelle Kanäle und virtuelle Pfade in ATM

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

UNI			NNI		
GFC	VPI		VPI		
VPI	VCI		VPI	VCI	
VCI			VCI		
VCI	PT	CLP	VCI	PT	CLP
HEC			HEC		
Cell Payload 48 Bytes			Cell Payload 48 Bytes		

GFC: Generic Flow Control

VPI: Virtual Path Identifier

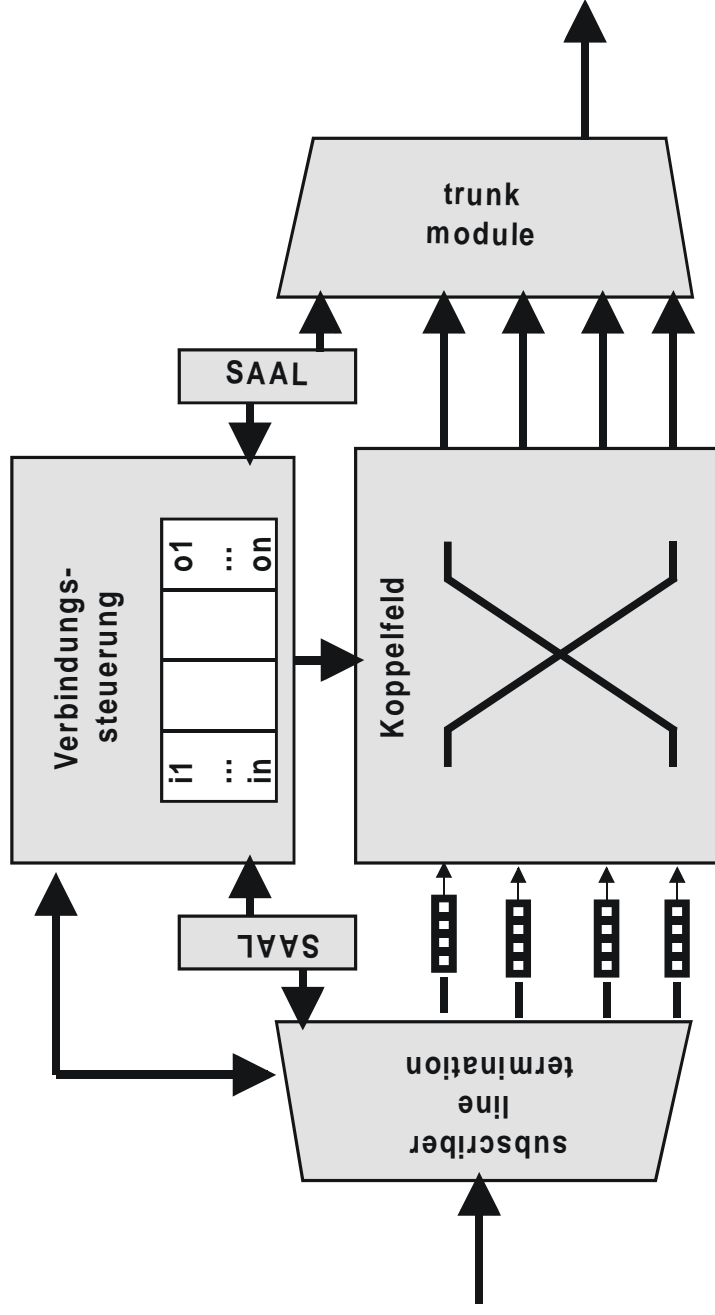
VCI: Virtual Circuit Identifier

PT: Payload Type

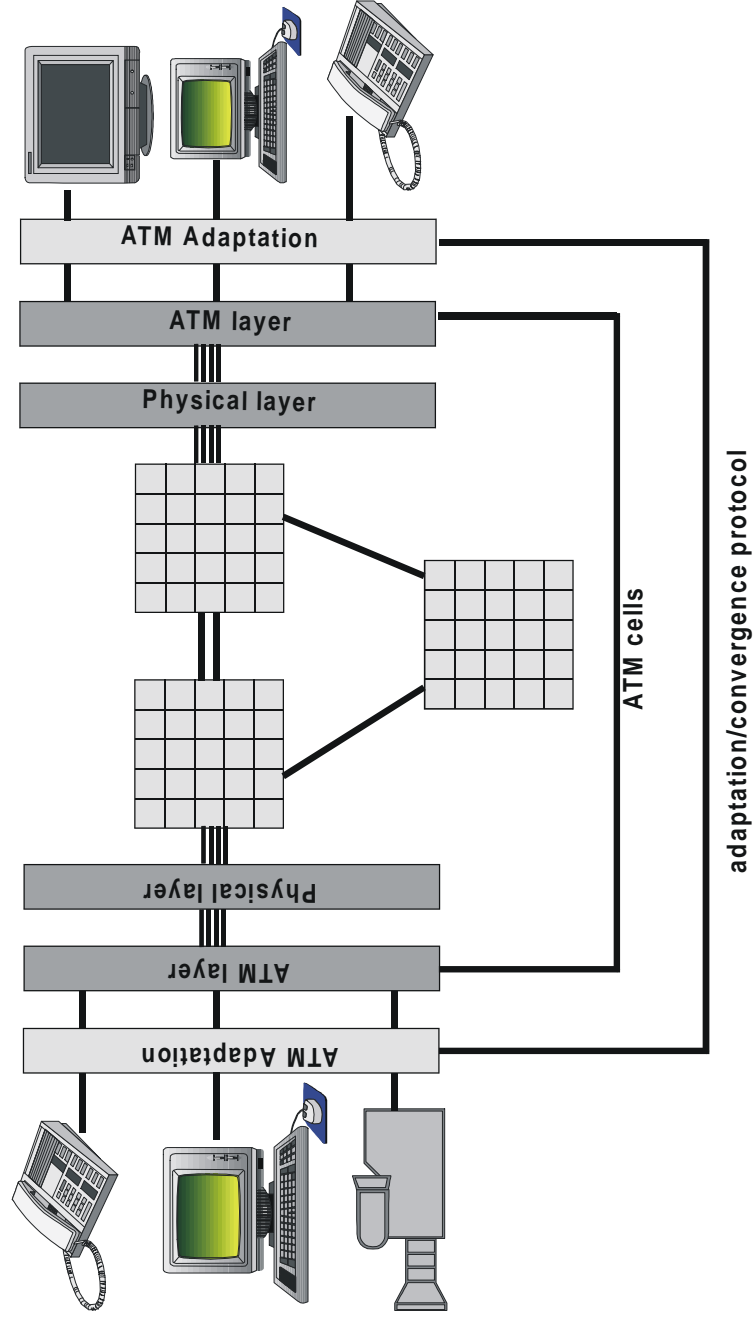
CLP: Cell Loss Priority

HEC: Header Error Check

Schema eines ATM-Vermittlungsknotens



ATM Adaptation Layer



ATM-Dienstklassen

	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
Synchronität	isochron		asynchron	
Bitrate	konstant		variabel	
Verbindungsmodus	verbindungsorientiert			verbindungslos
Anwendungen	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 Zellverluste

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

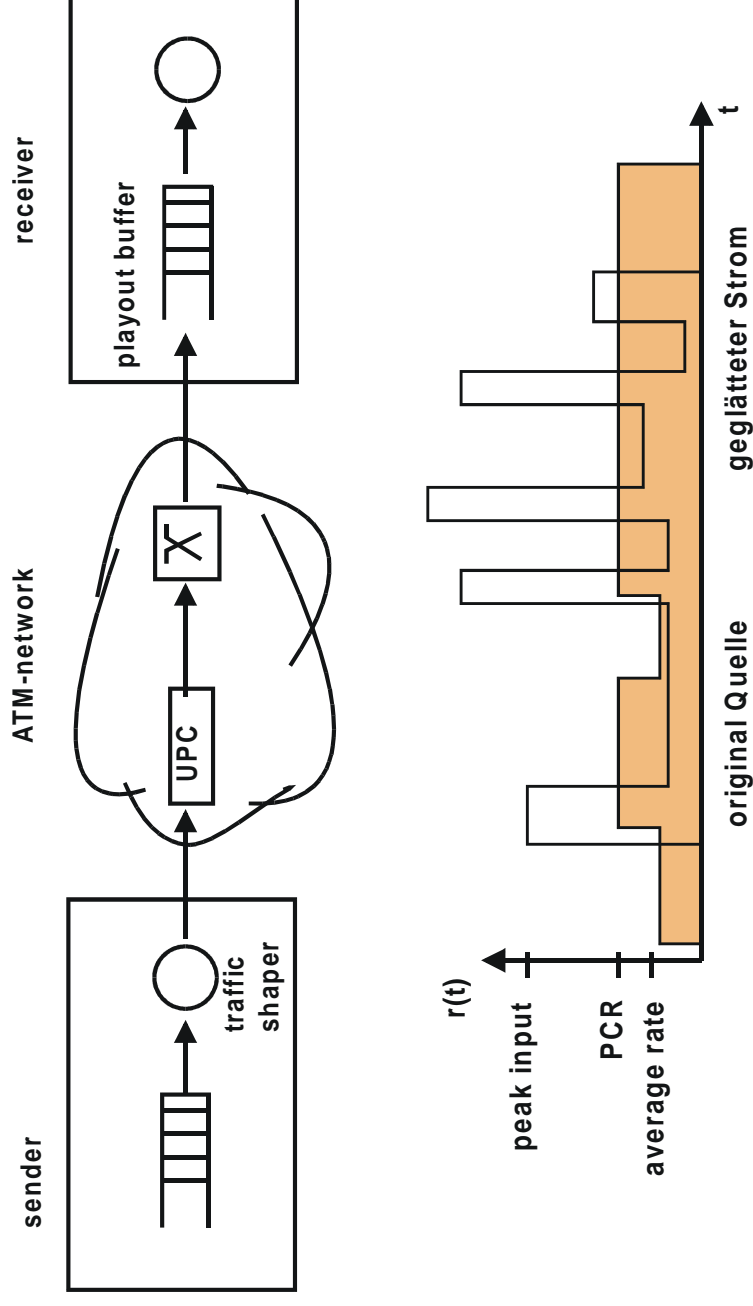
- **PCR:** Peak Cell Rate (cells/s)
- **SCR:** Sustainable Cell Rate (cells/s)
- **MBS:** Maximum Burst Size (cells), auch spezifiziert als **BT:** Burst Tolerance = $(MBS-1)/(1/SCR-1/PCR)$
- **MCR:** Minimum Cell Rate (nur für ABR)

Dienstqualitäten (QoS-Parameter)

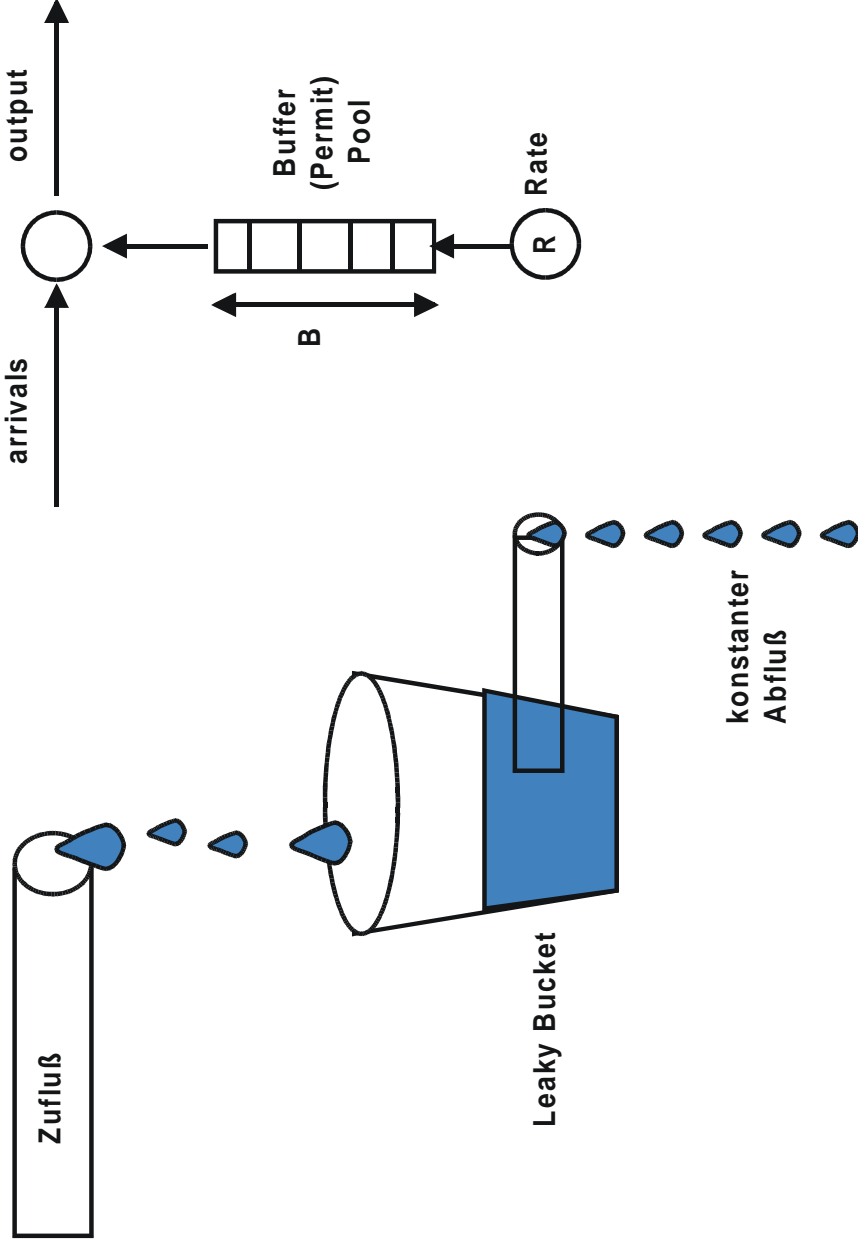
- **CLR:** Cell Loss Ratio (Anzahl der verlorenen Zellen/Anzahl der gesendeten Zellen)
- **CTD:** Cell Transfer Delay (vom Netzzugang bis zur Ablieferung beim Empfänger)
- **CDV:** Cell Delay Variation (CTD variance) (Delay Jitter)

Traffic Shaping

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



Verkehrsförmung durch "Leaky Bucket"



Bandbreitenaufteilung für die Verkehrsklassen

