5.6 Beispiele: IP, IPv6, ATM

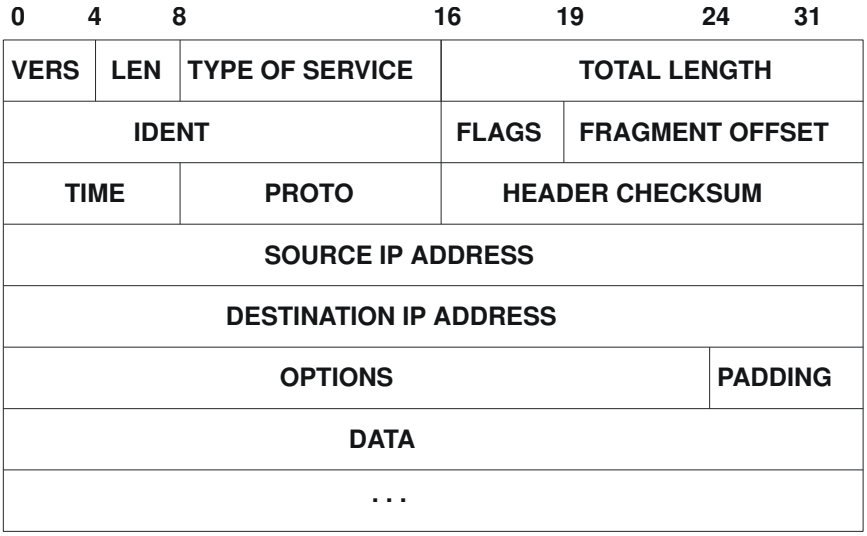
IP (Internet Protocol)

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!

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

Format von IP-Datagrammen (1)

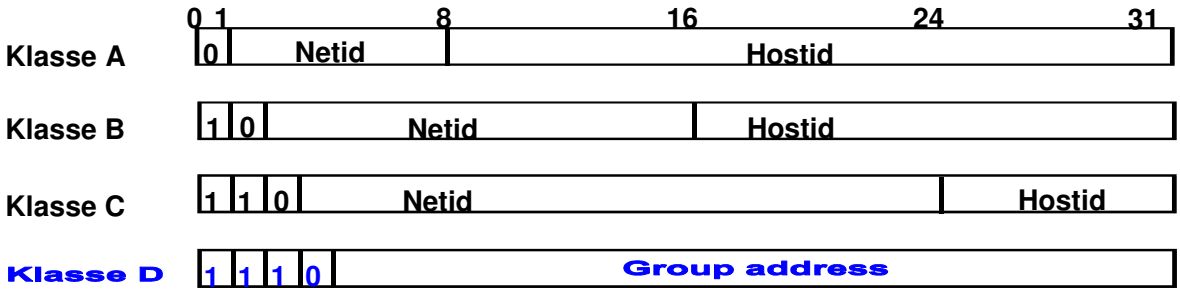


Format von IP-Datagrammen (2)

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	Typ 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)

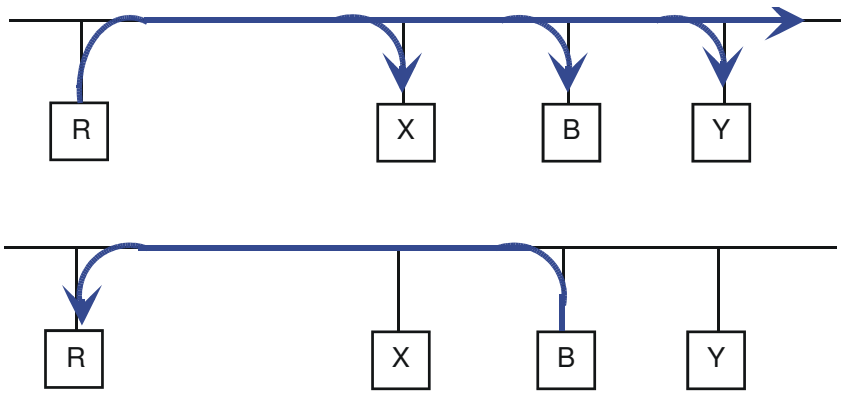
Protokoll im Router

- 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 ausgeschöpft sein
- 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, 10^{23} Adressen pro Quadratmeter Erdoberfläche)
- Adresshierarchieebenen für IP (Registrierungsinstanz, Provider, Subscriber, Subnetz, Interface)
- automatische Adresskonfiguration ins Protokoll eingebaut (ähnlich DHCP)

Neues IP-Header-Format

- vereinfachter, minimaler IP-Header
- verbesserte Unterstützung neuer Optionen und Erweiterungen: Erweiterungs-Header
- Segmentieren und Reassemblieren von Fragmenten nur noch 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 (z. B. Tunnel)

IP Security

- Authentifizierung und Verschlüsselung sind Bestandteil des Protokolls.

Aggregierbare globale Unicast-Adresse

Top Level Aggregation (TLA)

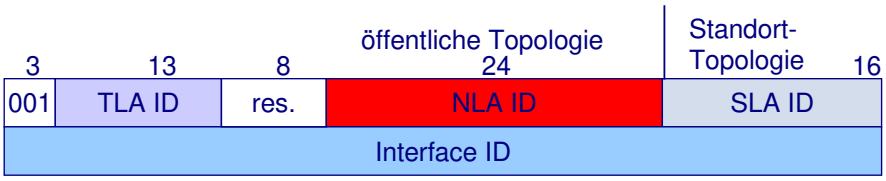
- grosse Internet-Service-Provider (ISPs) mit Transitnetzen, an die andere ISPs angeschlossen sind

Next Level Aggregation (NLA)

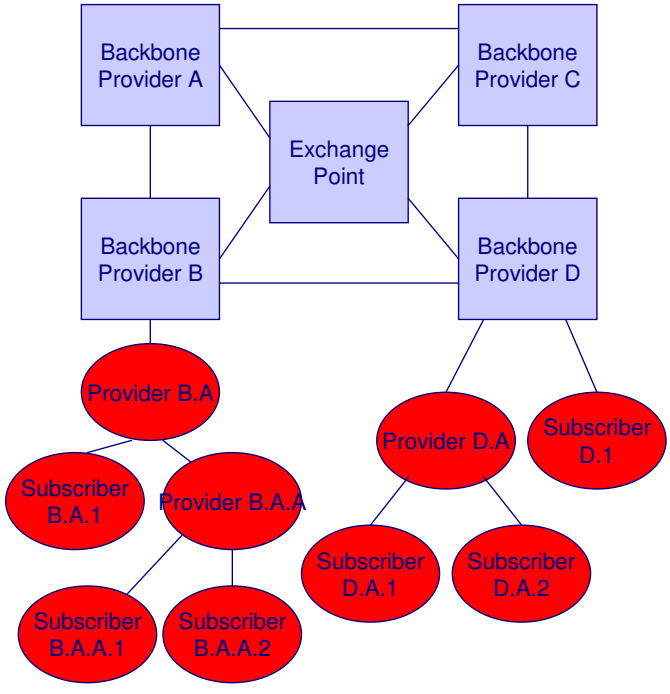
- Organisationen auf einer niedrigeren Stufe
- mehrere NLA-Ebenen sind möglich

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

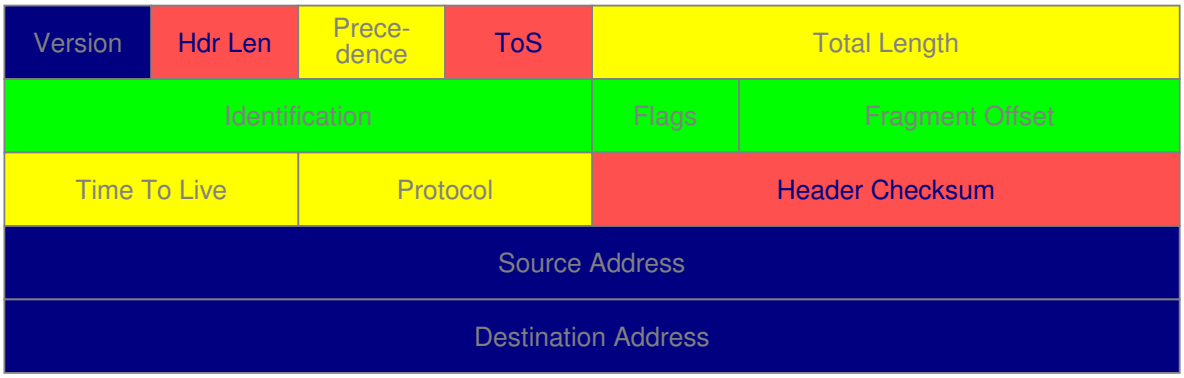
20 Bytes, 13 Felder

gestrichen

in den Erweiterungs-Header verschoben

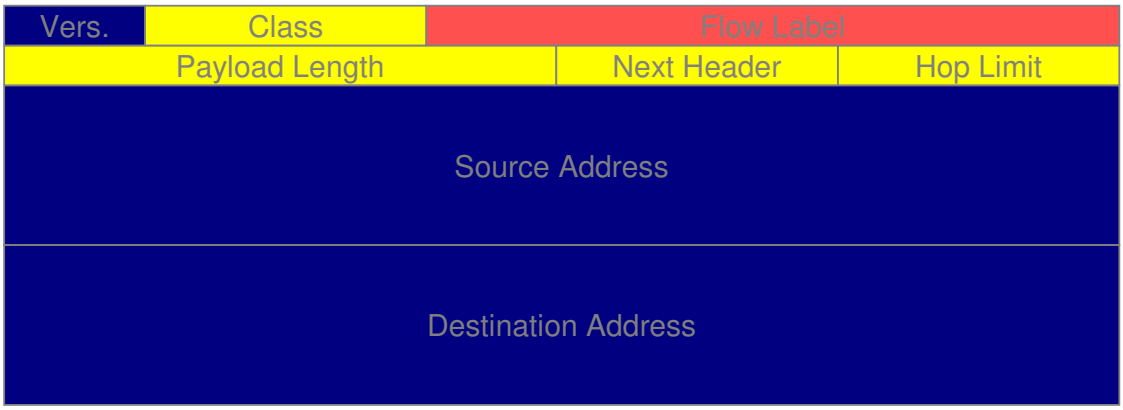
umbenannt

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



IPv6 Header

40 Bytes, 8 Felder

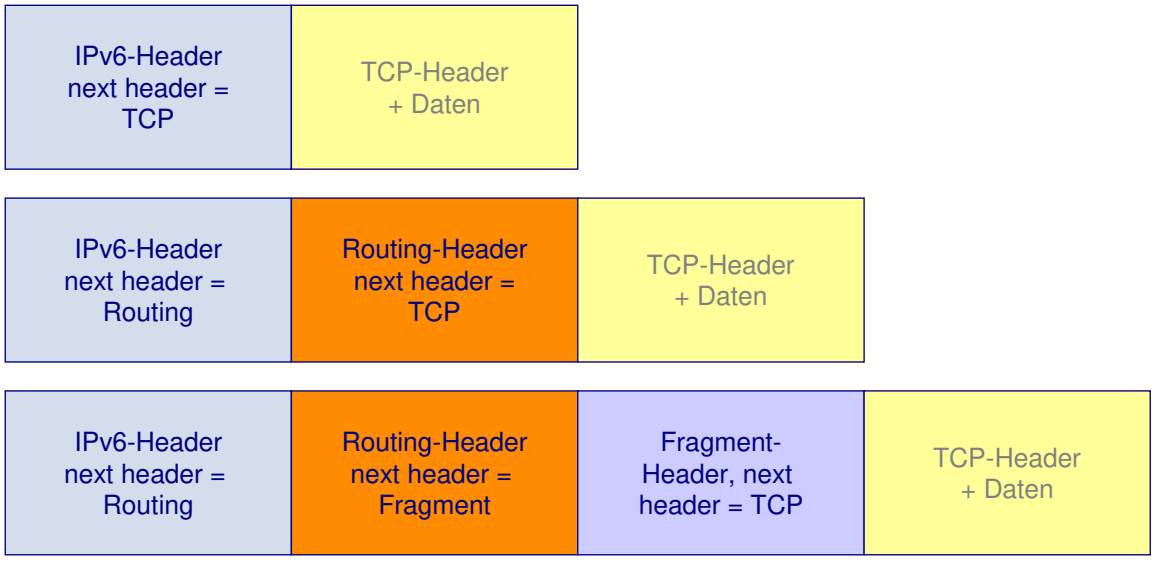


Konzept der Erweiterungs-Header

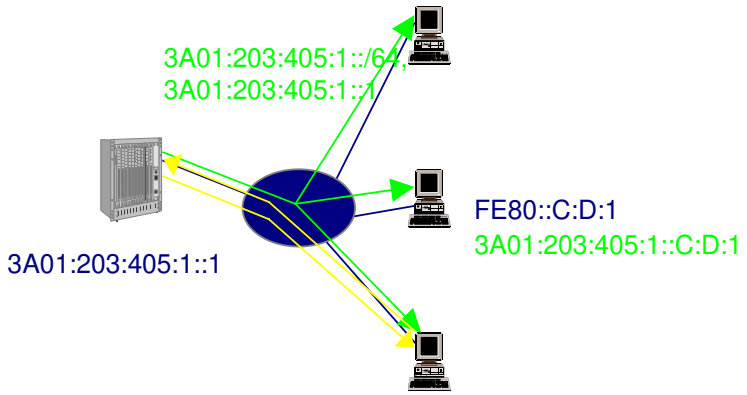
Kleiner Standard-Header und Erweiterungs-Header

- kleiner minimaler Header konstanter Größe
- flexible weitere Header, 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 *aller* Hosts (Router Advertisement), z. B. den Präfix des lokalen Links

Jeder Host kann eine “Router Solicitation“ an die Multicast-Gruppe aller Router senden, 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

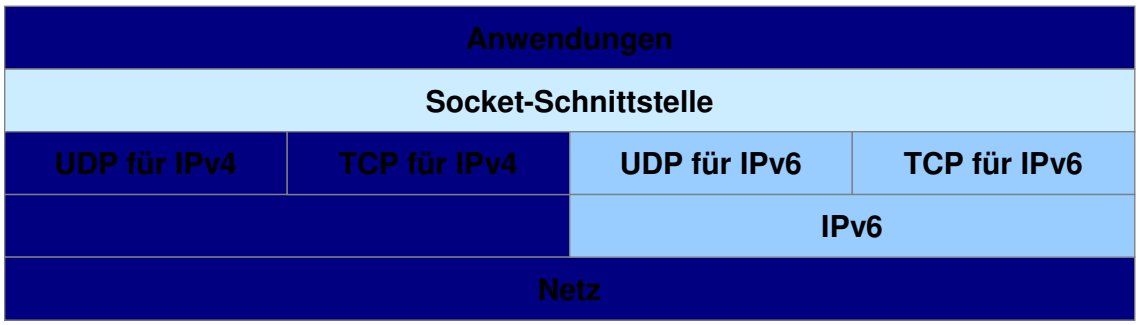
- Stateless IP/ICMP Translation (SIIT)
- No Network Address Translation (NNAT)
- Network Address Translation / Protocol Translation (NAT/PT)

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.

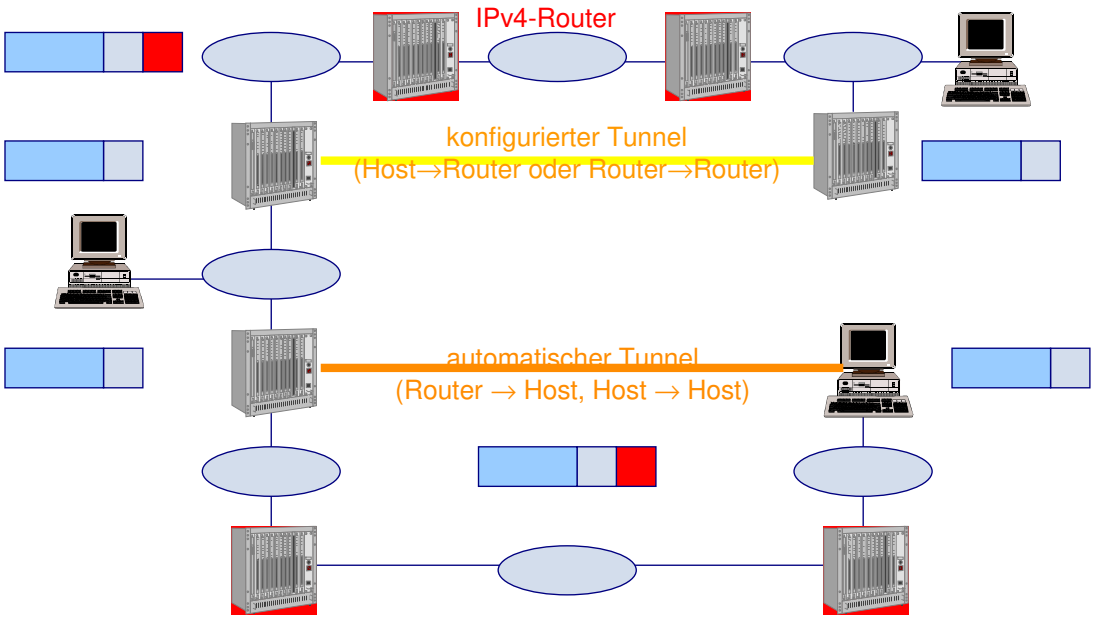
Nur nützlich in der frühen Übergangsphase; Verlust der Vorteile der IPv6-Adressierung

Tunneling

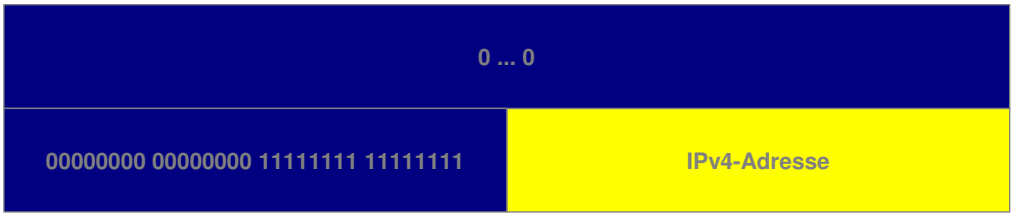
Unter **Tunneling** versteht man das Einpacken eines IP-Pakets in ein anderes IP-Paket, das eine neue, eigene IP-Zieladresse bekommt. Am Ende des Tunnels wird das innere IP-Paket wieder ausgepackt. So kann das ursprüngliche IP-Paket Teilnetz-Strecken „untertunneln“, die es anders nicht passieren könnte.

In der Regel werden IP-Tunnel von Hand konfiguriert.

IPv6-Tunnel



Adresse vom Typ „IPv4-Mapped“



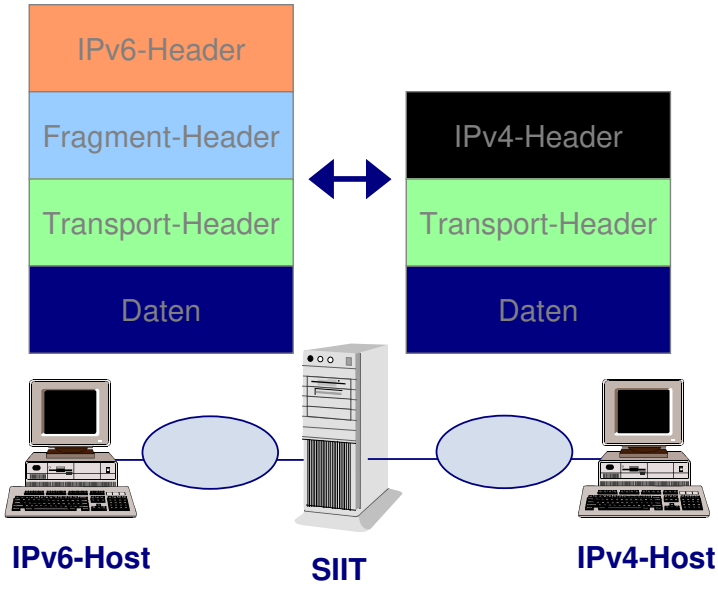
Kommunikation von IPv6-Systemen mit IPv4-Systemen

„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.

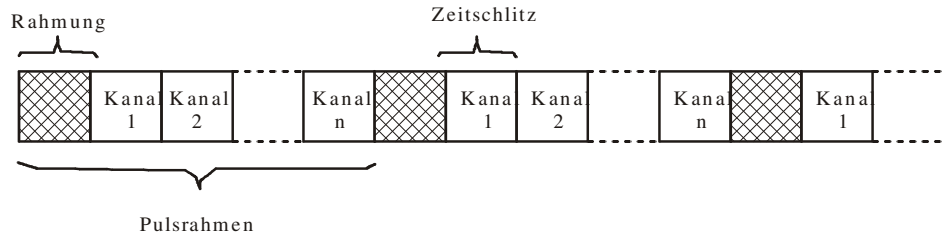
ATM (Asynchronous Transfer Mode)

Grundlagen

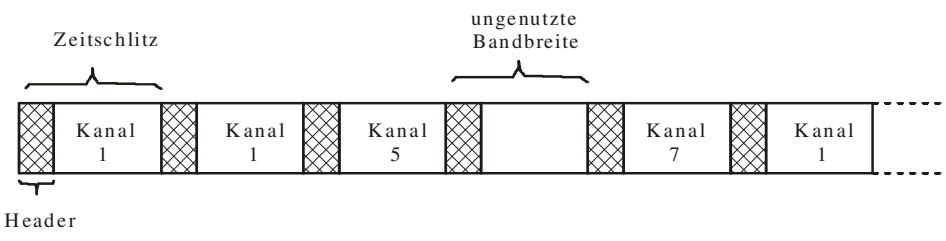
- Eine schnelle Paketvermittlungstechnik für Zellen fester Größe
- Basiert auf asynchronem (statistischem) Zeitmultiplexing; daher der Name ATM
- Verbindungsorientiert; unterscheidet virtuelle Pfade und virtuelle Verbindungen
- Implementierung der Vermittlungsrechner soll zwecks Erreichung hoher Zellraten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

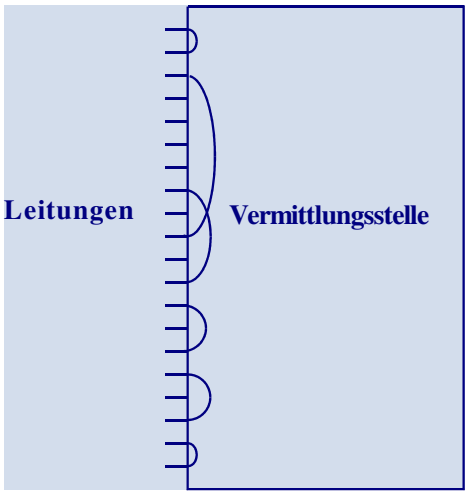


ATM - Zeitmultiplex

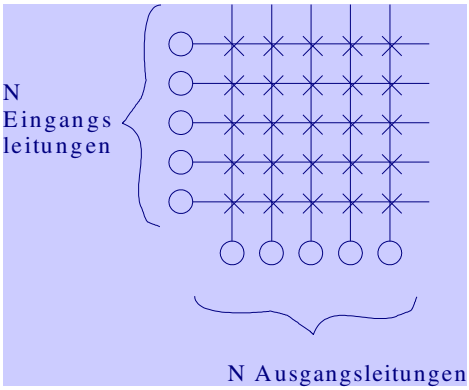


Vermittlungstechnik

Funktion einer Vermittlungsstelle (Switch), abstrakt



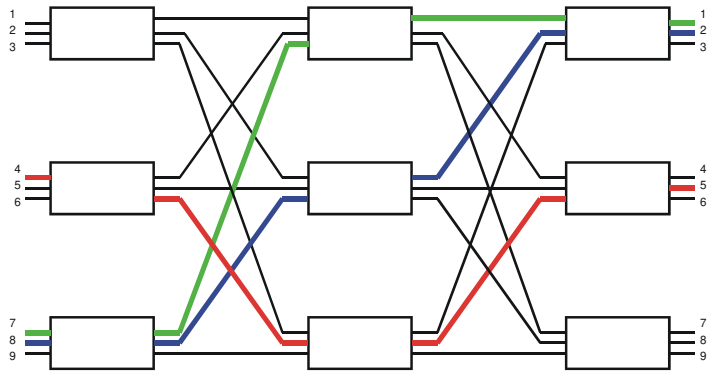
Raumvielfache (Space-Division Switch)



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!

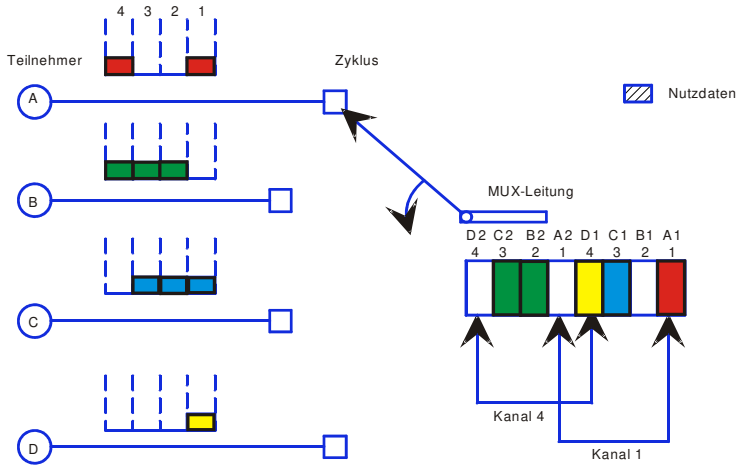
Multiplexing auf der Leitung und Vermittlungstechnik

Man kann konzeptionell unterscheiden:

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

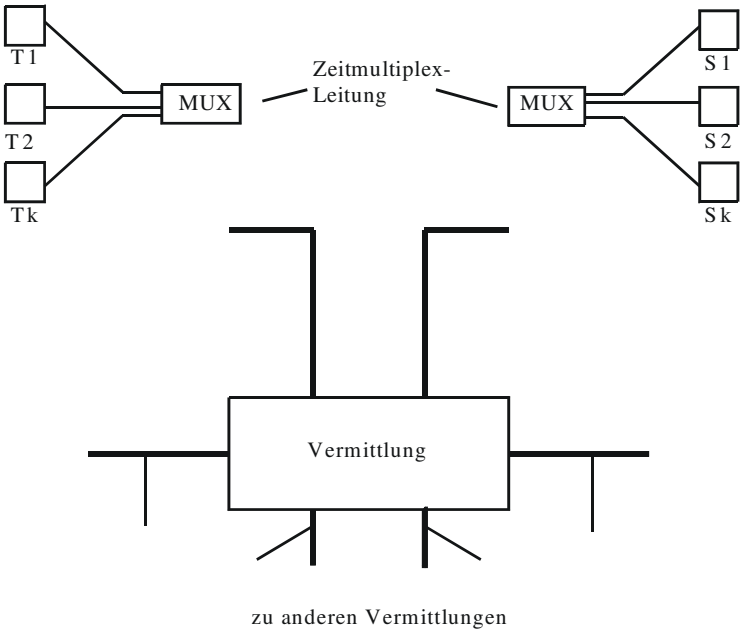
Synchrones Zeitmultiplexing

Synchronous Time-Division Multiplexing (STM)



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

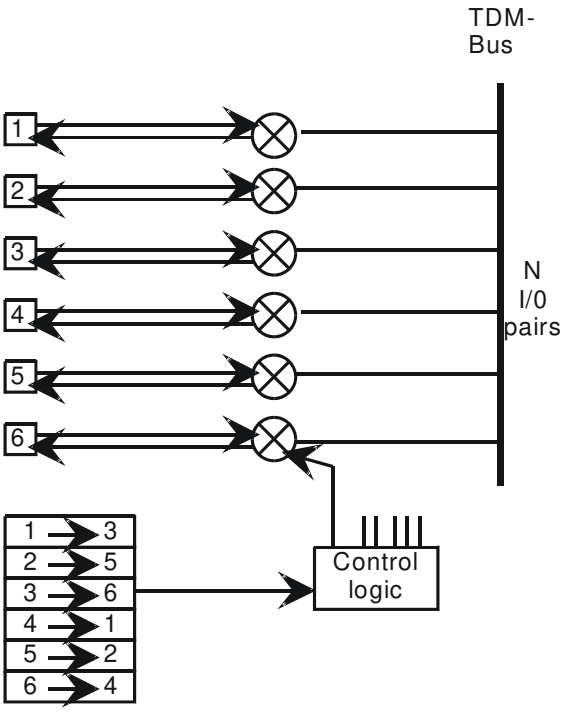
Übertragung und Vermittlung im Zeitmultiplexverfahren



Vermittlungsstelle mit internem TDM-Bus (1)

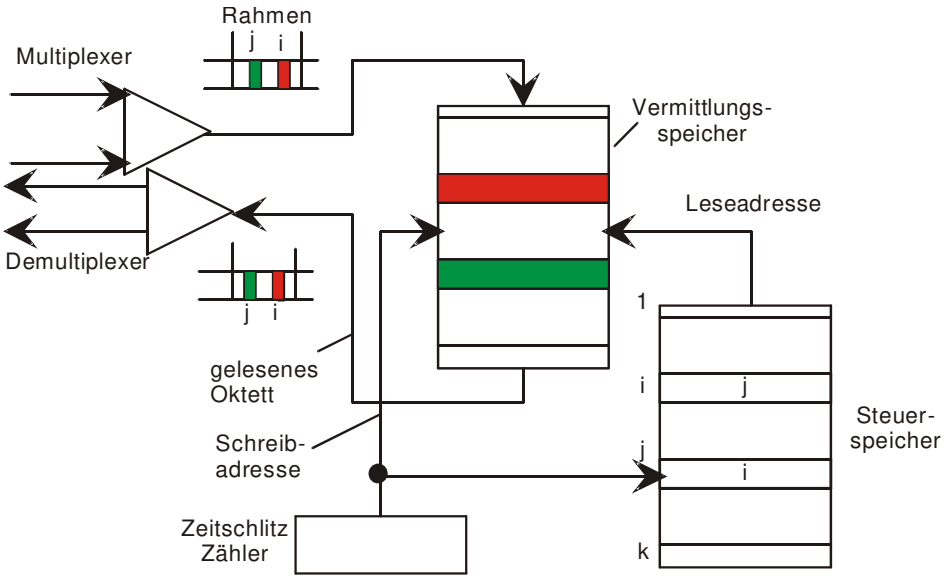
- Verwendung von STM auf einem schnellen Bus innerhalb des Vermittlungsrechners
- Jeweils eine Eingangs- und eine Ausgangsleitung werden für eine kurze Zeitperiode auf den Bus geschaltet
- Leitungspuffer dienen zum Geschwindigkeitsausgleich zwischen langsamen externen Leitungen und dem schnelleren TDM-Bus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



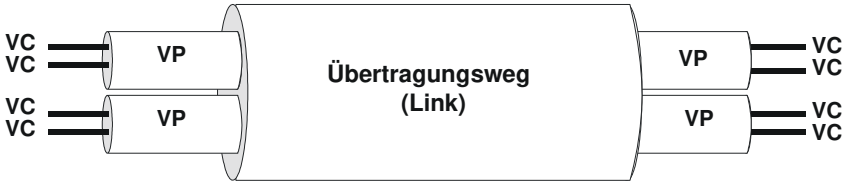
Virtuelle Kanäle und virtuelle Pfade in ATM

Virtueller Kanal (Virtual Circuit, VC):

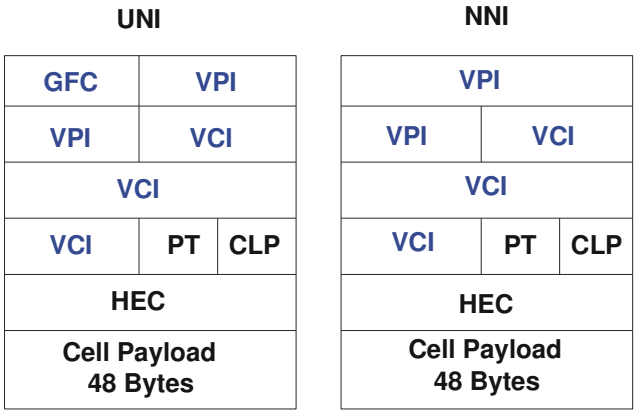
- virtuelle Verbindung zwischen ATM-Endgeräten über mehrere Übertragungsabschnitte hinweg

Virtueller Pfad (Virtual Path, VP):

- auf einer (Teil-)Strecke gebündelte VCs

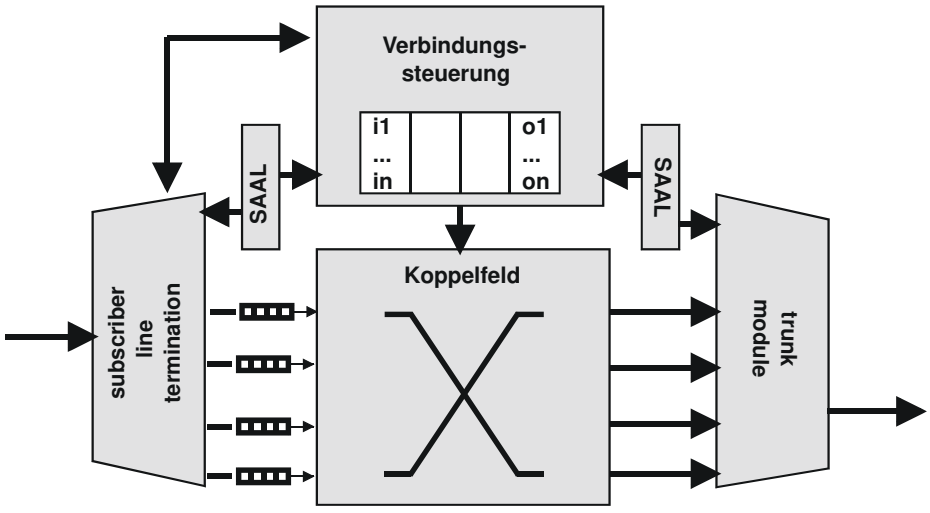


ATM-Zellformate

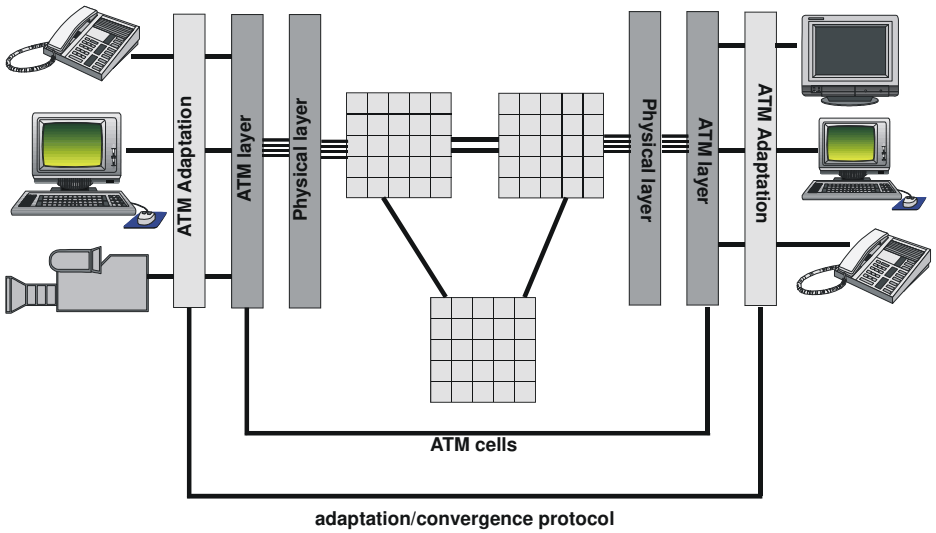


GFC: Generic Flow Control
VPI: Virtual Path Identifier
VCI: Virtual Circuit Identifier
PT: Payload Type
CLP: Cell Loss Priority
HEC: Header Error Check

Schema eines ATM-Vermittlungsknotens



ATM Adaptation Layer



ATM-Dienstklassen

	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
Synchronität	isochron		asynchron	
Bitrate	konstant	variabel		
Verbindungs-modus	verbindungsorientiert			verbindungslos
Anwendungen	Emulation synchroner Dienste (ISDN)	variabel bitratiges Video (MPEG, ...)	Verbindungs-orientierte Da-tenkommu-nikation	verbindungs-lose Daten-kommunikaton

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

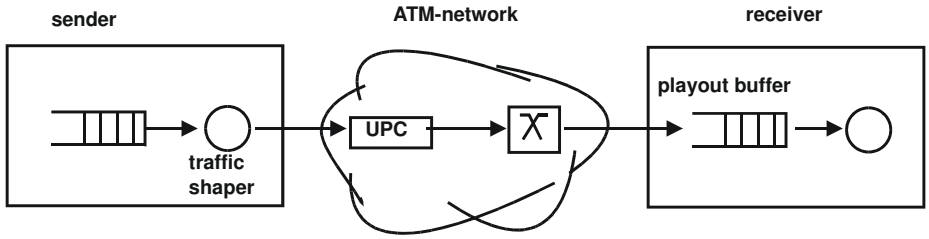
- **PCR**: Peak Cell Rate (cells/s)
- **SCR**: Sustainable Cell Rate (cells/s)
- **MBS**: Maximum Burst Size (cells), auch spezifiziert als **BT**: Burst Tolerance = (MBS-1)/(1/SCR-1/PCR)
- **MCR**: Minimum Cell Rate (nur für ABR)

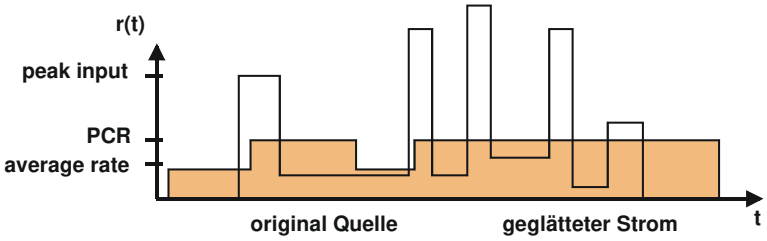
Dienstqualitäten (QoS-Parameter)

- **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)

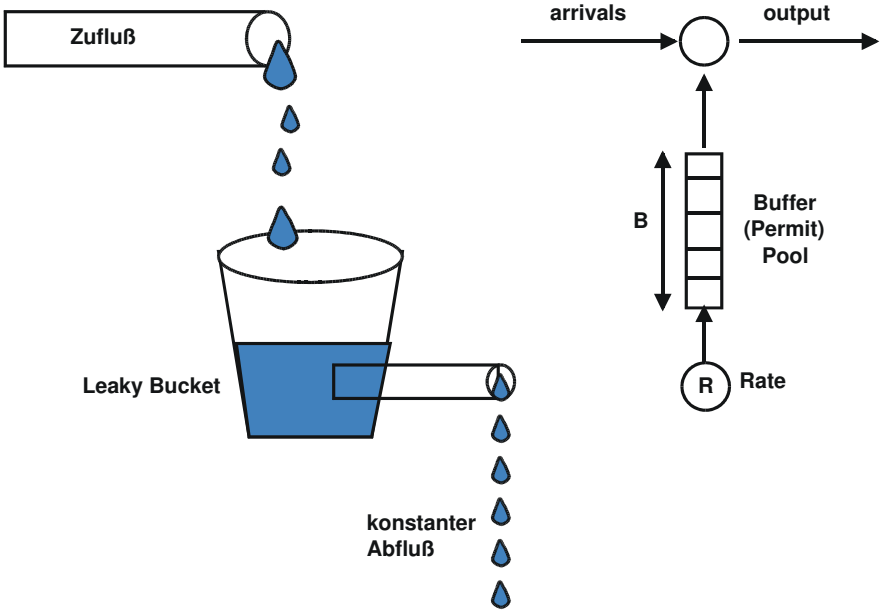
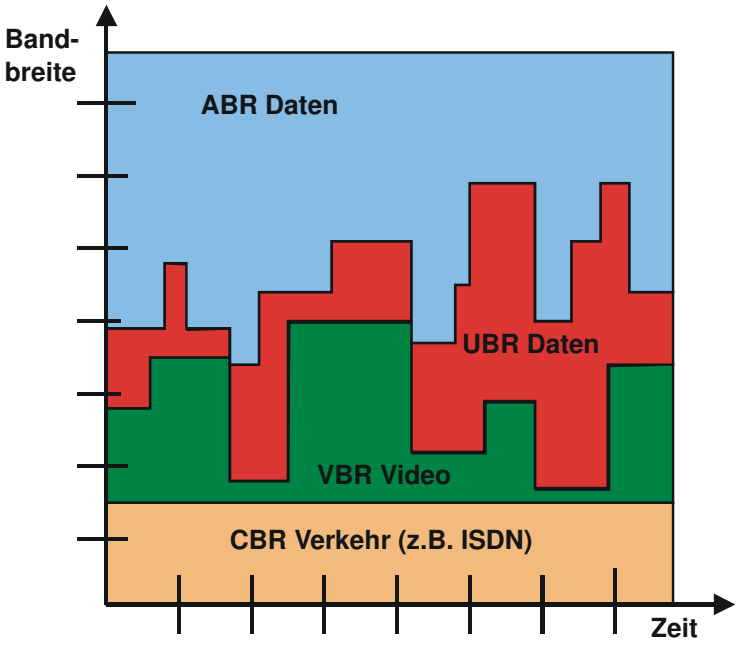
Traffic Shaping

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





Verkehrsformung durch "Leaky Bucket"



Bandbreitenaufteilung für die Verkehrsklassen