

Kapitel 8: LANs und WANs

8.1 Kommunikationsmodelle / OSI-Referenzmodell

- die ersten Rechnernetze waren herstellerspezifische, geschlossene Netze
→ heute: vor allem **offene Netze**
- alle gängigen Kommunikationsarchitekturen: **Schichtenmodelle**
 - s. OSI-Referenzmodell, TCP/IP-Protokolle
 - Unabhängigkeit vom Aufbau anderer Schichten durch genormte Schnittstellen
 - klare Zuordnung von Funktionalitäten und Diensten zu einzelnen Schichten
- das wichtigste Referenzmodell zur Rechnerkommunikation wurde von der ISO (*International Standard Organisation - Institution der UNO*) 1984 nach Vorarbeiten d. CCITT veröffentlicht:
das **OSI-7-Schichtenmodell** (*Basic Reference Model for Open Systems Interconnection*)
(→ **ISO 7498-Norm**; später auch als **X.200-Norm** von CCITT übernommen)
- vier Abstraktionsniveaus:
 - **Schichten 1 und 2:** Informationen zur **gesicherten Übertragung** eines Bitstroms zwischen **zwei Netzwerkknoten**
 - **Schicht 3:** **Weg** der Daten durch das Netzwerk - *evtl. über mehrere Verbindungsrechner*
 - **Schicht 4:** gesicherte Verbindung zwischen den Kommunikationspartnern
 - **Schichten 5, 6 und 7:** koordinieren die Behandlung der Daten beim Empfänger

- jede Schicht kommuniziert logisch mit der gleichen Schicht des Kommunikationspartners
(→ **virtuelle Peer-to-Peer-Verbindung**)
- Referenzmodell: definiert nur die Aufgaben der Protokolle

Schicht	Name	Aufgabe
7	Anwendungsschicht (Application Layer) DIN: Verarbeitungsschicht	Festlegung des Dienstes des Kommunikationspartners für das jeweilige Anwendungsprogramm (z.B. Dateiübertragung, E-Mail, ...).
6	Darstellungsschicht (Presentation Layer)	Festlegung des Strukturen der Anwenderdaten (Datenformate) incl. Formatierung, Verschlüsselung, Zeichenersetzung, ...
5	Sitzungsschicht (Session Layer) DIN: Kommunikationssteuerschicht	Kommunikationsauf- und -abbau, d.h. Auf- und Abbau von logischen Kanälen auf dem physikalischen Transportsystem.
4	Transportschicht (Transport Layer)	Bereitstellen von fehlerfreien logischen Kanälen auf dem physikalischen Transportsystem.
3	Vermittlungsschicht (Network Layer)	Festlegung eines Weges für einen Datenstrom durch das Netzwerk.
2	Sicherungsschicht (Data Link Layer)	Sicherstellung eines korrekten Datenstroms durch Festlegung <ul style="list-style-type: none"> - der Kanalkodierung - der Zugriffsart auf das Netzwerk
1	Bitübertragungsschicht (Physical Layer)	Festlegung des Übertragungsmediums (→ elektrische und mechanische Eigenschaften)

Vergleich verschiedener Kommunikationsmodelle mit dem OSI-Schichtenmodell

OSI	ISO 7498 CCITT X.200	TCP/IP	Novell NetWare	IBM NETBIOS	Microsoft LAN	DEC DECNET
Anwendungs- schicht	- FTAM (File Transport Access and Management) - JTM (Job Transfer and Manipulation) - VTP (Virtual Terminal Protocol) - CCITT X.400	- NFS (Network File Service) - Telnet	- Anwenderprogramm - MS-DOS - OS/2	- Anwenderprogramm - MS-DOS	- Anwenderprogramm Microsoft LAN Manager	- Anwenderprogramm
Darstellungsschicht	- ISO 8822 - ISO 8823	- FTP (File Transfer Protocol)	- NetWare Shell - NetBIOS-Emulation	- NetBIOS	- NetBIOS	- Sitzung
Sitzungsschicht	- ISO 8326 - ISO 8327					

OSI	ISO 7498 CCITT X.200	TCP/IP	Novell NetWare	IBM NETBIOS	Microsoft LAN	DEC DECNET
Transportschicht	- ISO 8072 - ISO 8073	- TCP - UDP	- SPX (Sequenced Packet Exchange)	- PC LAN Support Program	- TCP	- Netzwerk und Transport
Vermittlung	- ISO 8473 - CCITT X.25	- IP	- IPX (Internetwork Packet Exchange)		- IP	
Sicherung	- CCITT X.25	- IEEE 802.2 / ISO 8802		- IEEE 802.3 (CSMA/CD)		
Bitübertragung		- Ethernet - CCITT X.21				

8.1.1 Punkt-zu-Punkt-Kommunikation auf der Sicherungsschicht (Data Link Layer)

- **Aufgabe:** - Datenblöcke gesichert von einer Station zu einer anderen transportieren
 → vgl. Sliding-Window-Protokoll (VL Systemsoftware).
 - Medienzugangskontrolle (nicht bei geschalteten Netzen)
 → bei busartigen Verbindungen muss die Busvergabe zusätzlich betrachtet werden

⇒ die OSI-Schicht 2 wird für solche Verbindungsmedien in zwei Teilschichten unterteilt

Beispiel: IEEE-802-Norm (→ Anfang 80er-Jahre veröffentlicht)

Vermittlungsschicht	Netzwerkverwaltung	802.1 (High Level Interface)					
Sicherungsschicht	Logische Verbindungssteuerung	802.2 (LLC: Logical Link Control)					
	Medium-Zugriffsteuerung	MAC: Medium Access Control					
Bitübertragungsschicht	elektronischer und mechanischer Anschluss	802.3	802.4	802.5	802.6	802.8	802.11
		Zugriff auf physikalisches Medium					
		802.3 CSMA/CD (Ethernet)	802.4 Tokenbus	802.5 Tokenring	802.6 MAN	802.8 Lichtwellenleiter	802.11 W-LAN

MAC-Schicht

- unterschiedliche physikalische Medien → gemeinsame LLC-Schnittstelle
- **Aufgaben:**
 - **MAC-Adressierung** (Adressierung einer einzelnen Station, Multicast bzw. Broadcast)
 - **Erkennung des Rahmentyps** (Daten/Token)
 - **Rahmenkontrolle** (Interpretation der Prüfsumme im Rahmen-Trailer)
 - ... (weitere Operationen auf Rahmen)
- **MAC-Adresse** = physikalische (Geräte-) Adresse jeder Station am Netzwerk/Bus
- **Beispiel:** Rahmenstruktur bei Ethernet

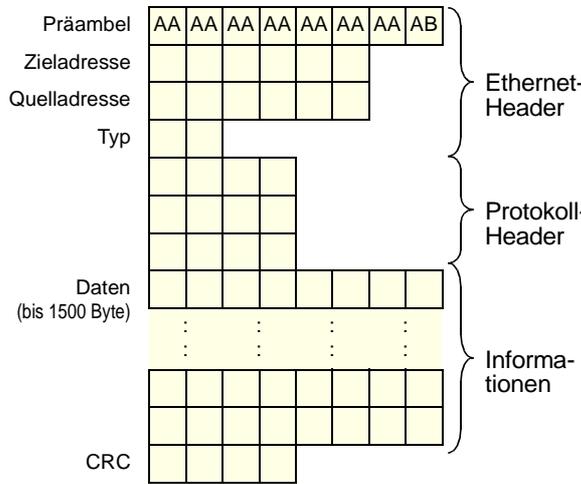
56	48	48	16	variabel	variabel	32
Präambel	Zieladresse	Quelladresse	Tag	LLC-Header	Datenbereich	CRC

Präambel: 101010.. → 5 MHz-Welle zur Regenerierung des Sendetaktes
 Zieladresse: 0xxx...xxx : individuelle Adresse
 → Xerox vergibt Ausschnitte aus dem 48-Bit-Adressbereich an Lizenznehmer
 1xxx...xxx : Multicast
 1111...111 : Broadcast
 Daten: transparent, d.h. alle Bitmuster sind erlaubt
 CRC: Prüfsumme über alle Felder außer Präambel und CRC-Feld

Praxis: mindestens 4 (leicht) unterschiedliche Rahmenformate

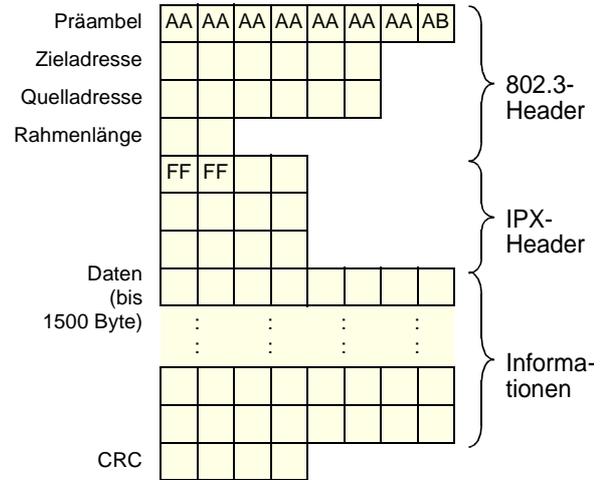
(→ Netztreiber müssen/können entsprechend konfiguriert werden)

- **Ethernet:** von Xerox entwickelt/geschützt und von TCP/IP verwendet



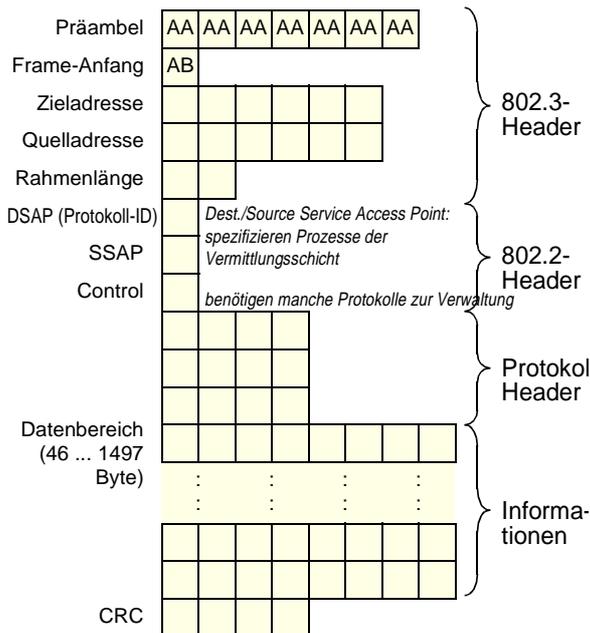
Typ-Feld: zur Unterscheidung verschiedener höherer Protokolle
(alle anderen Formate enthalten hier eine Längeninformation)

- **Novell 802.3 raw:** Novell NetWare mit IPX/SPX



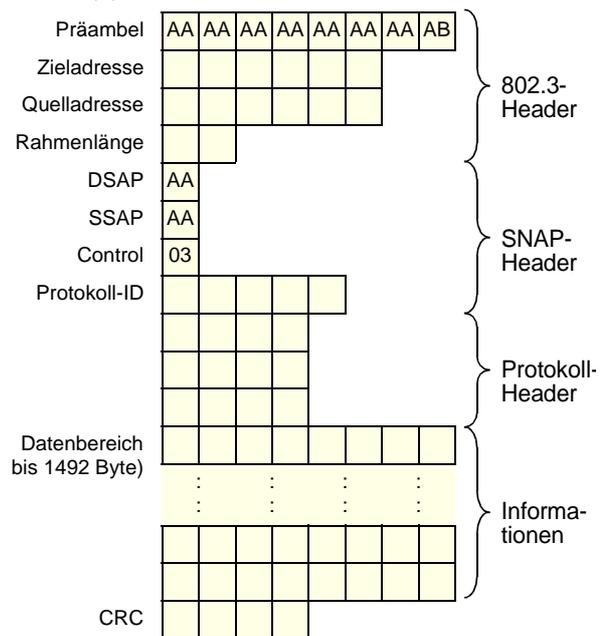
- vor IEEE 802 entwickelt, nicht (ganz) an Ethernet angepasst
- keine Protokoll-Kennung, d.h. nur IPX-Pakete möglich
- durch FFFF-Kennung nach Längenfeld aus anderen Rahmentypen herausfilterbar
- aktuelle Empfehlung von Novell: IEEE-802.3-Standard verwenden

- **IEEE802.3:** Norm (zunächst ohne große Bedeutung)



Ethernet-Typfeld mit Protokoll-ID ersetzt durch: DSAP, SSAP, Cont

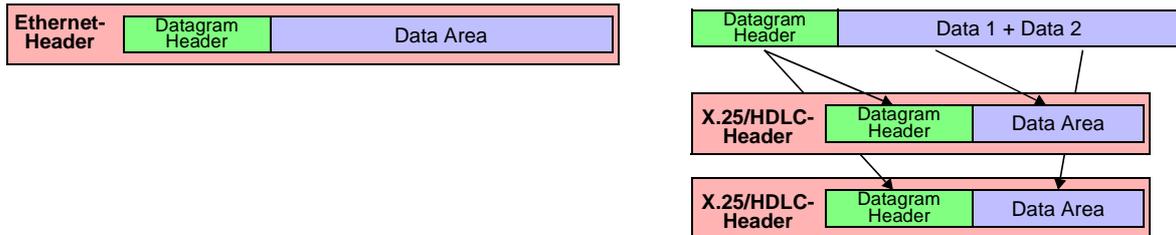
- **SNA(c)P** (Sub Network Access Protocol):



- notwendige Erweiterung von IEEE-802.3 (Typ-Code zu klein)
- ⇒ DSAP-Feld auf AA und 5 Byte für ID des höheren Protokolls
- TCP/IP (verwenden jedoch meist Ethernet)

8.1.2 Internet Protocol (IP)

- verbindungslose, ungesicherte Übertragung von Datagrammen (Paketen)
- IP kann Datagramme nur an „Schicht-3“-Stationen (Rechner oder Router - s.u.) senden
- Datagramme werden in Rahmen der Netzwerkschicht eingepackt (z.B. Ethernet-Rahmen, FDDI-Rahmen)
 - die Größe der Datagramme sollte so gewählt werden, dass sie vollständig in einen Rahmen passen (z.B. max. ca. 1500 Byte bei Ethernet, 4500 Byte bei FDDI)
 - sind die möglichen Rahmen zu klein (z.B. 128 Byte bei X.25), können Datagramme auch fragmentiert werden (wobei der Datagrammkopf in jeden Rahmen vollständig übernommen wird)



- fragmentierte Datagramme können auf verschiedenen Wegen verschickt werden und werden erst beim Empfänger wieder zusammengesetzt
- die Reihenfolge der Fragmente steht im Datagrammkopf
- geht ein Fragment verloren, gilt das gesamte Datagramm als verloren

- IP-Adressen:
 - 32-Bit-Adressen - eindeutig für jeden Rechner im Internet
 - Punktnotation: jedes Byte wird als Dezimalzahl geschrieben:
z.B. 10000000 00001110 00000001 00001101 ⇒ 128.14.1.13
 - hierarchisch strukturiert, da sonst Abbildungstabelle zu groß (vgl. hierarchische Telefonnummern)
 - Adressaufteilung in Netzadresse und lokale Rechneradresse
 - Flexibilität durch verschiedene Adressklassen:

Bit	0	1	2	3..7	8..15	16..23	24 ... 31
Klasse A	0	Netz-ID			Rechner-ID		
Klasse B	1	0	Netz-ID			Rechner-ID	
Klasse C	1	1	0	Netz-ID		Subnetz-ID	Rechner-ID

→ Klassen D und E z. Zt. in Erprobung

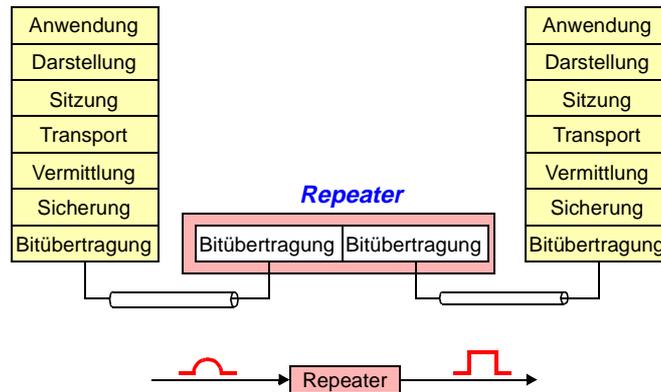
- alle Bits auf Eins → Broadcast an alle Netze bzw. alle Rechner
- alle Bits auf Null: → Broadcast an alle Rechner im lokalen Netz
- Netz-ID = 0; Rechner-ID ≠ 0: → bestimmter Rechner im lokalen Netz
- beim Umhängen eines Rechners in ein neues Netz, erhält er eine neue IP-Adresse, aber keine neue physikalische Adresse (Adresse der Sicherungsschicht - z.B. Ethernet-Adresse)

- **Adressierung im Internet: ARP** (*Address Resolution Protocol*)
 - will ein Rechner einem anderen eine Nachricht senden, muss er nicht nur die IP-Adresse, sondern aus dessen Hardware-Adresse kennen
 - hierfür besitzt jede Station eine mehr oder weniger große Tabelle mit der **Abbildung von IP-Adresse auf physikalische Adresse**
 - Tabelle ist nicht beliebig groß und am Anfang evtl. leer
 - ⇒ Abbildungsdaten müssen durch spezielles Protokoll/Verfahren besorgt werden:
 - die Hardwareadresse des Partners erhält der Sender durch **Broadcast der Partner-IP-Adresse** an alle Stationen im lokalen Netz (Broadcast enthält auch seine eigene IP- und physikalische Adresse)
 - die **angesprochene Station** erkennt als einzige ihre IP-Adresse und **sendet ihre physikalische Adresse** zurück
 - liegt die **IP-Adresse außerhalb des lokalen Netzes**, wird das IP-Paket (*Datagramm*) an den (Default-)**Router** (s.u.) gesendet, der das Paket mit Hilfe der Ziel-IP-Adresse weitergibt

8.2 Kommunikationsgeräte [6]

- **Verbindungsrechner** zwischen einzelnen Stationen oder Netzwerken
- unterscheiden sich in ihrer Einordnung im ISO-7-Schichten-Modell und damit in ihrer Funktionalität, Flexibilität und Geschwindigkeit
- die wesentlichen Gerätearten sind
 - **Repeater** (*Schicht 1*)
 - **Bridges** (*Schicht 2*)
 - **Router** (*Schicht 3*)
 - **Switches** (*Schicht 2 bzw. 3*)
 - **Gateways** (*evtl. alle 7 Schichten*)und Kombinationen
 - z.B. **BRouter** (*Bridgeable Router*)

8.2.1 Repeater



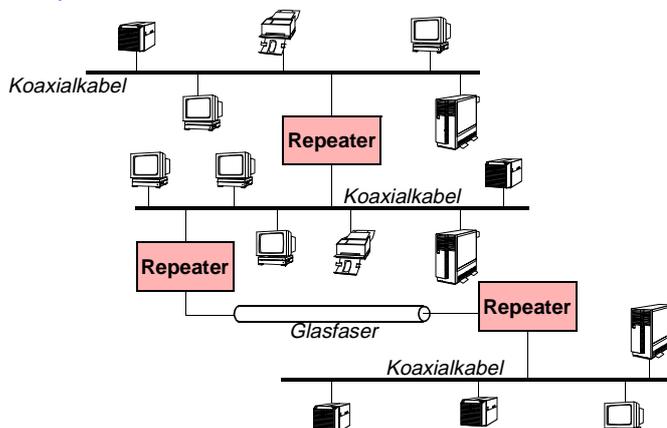
- einfachste Verbindungskomponente
- zugeschnitten auf das Transportmedium
- für Datenfluss transparent
nur gleichartige Netze verbindbar (z.B. Ethernet ↔ Ethernet, Tokenring ↔ Tokenring)
- zwei Klassen von Repeater:
 - elektrische Repeater
 - elektro-optische Repeater

elektrische Repeater

- regeneriert lediglich das Signal auf der Leitung
- trennt Übertragungsmedium in zwei Segmente
- das regenerierte Signal erfüllt wieder die Spezifikation der Schicht-1-Norm

elektro-optische Repeater

- setzen elektrische Signale in optische Signale um (und umgekehrt)
- Verlängerung der Leitungslänge durch weniger gedämpfte Lichtwellenleiterübertragung
- Beispiel

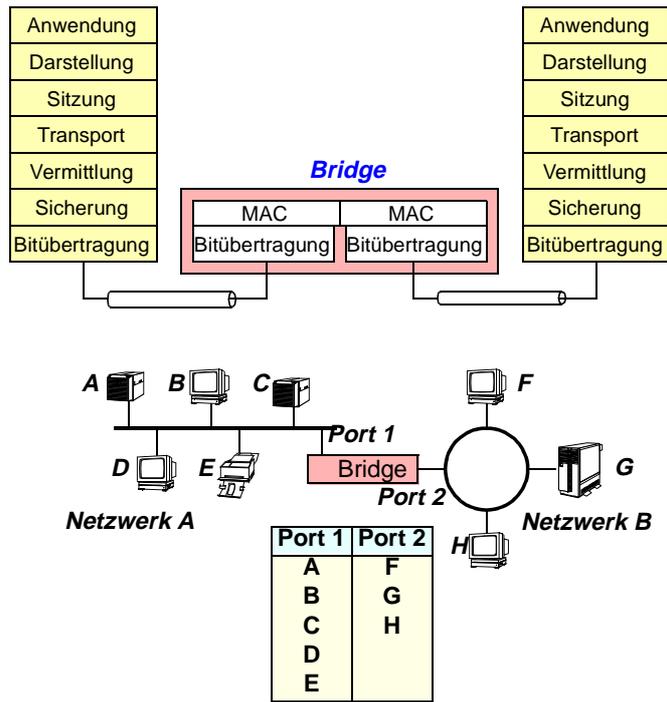


- zu einem Zeitpunkt: das selbe Signal auf allen Segmenten
- Repeater kann die Leitungslänge erhöhen
→ meist wird jedoch eine max. Obergrenze der Gesamtleitungslänge, evtl. auch der Anzahl von Segmenten festgelegt
(z.B. 50Ω-Koax-Ethernet: max. 2,3 km)
⇒ über Repeater gekoppelte Segmente erhöhen i. Allg. die Netzlast

8.2.2 Bridges

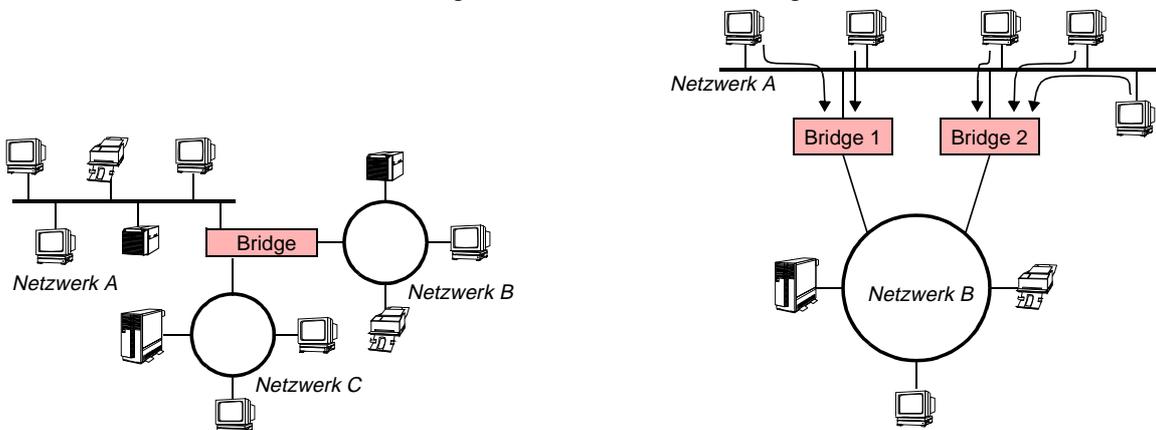
intelligenterer Geräte als Repeater - können gleichartige und verschiedenartige Netzwerke verbinden

- werden nicht adressiert/angesprochen
⇒ lesen alle Rahmen eines angeschlossenen Netzwerk und bauen aus MAC-Senderadressen in den Rahmen eine Tabelle mit allen Stationen des Netzwerks auf
- MAC-Zieladressen werden ausgewertet, um Stationen außerhalb des lokalen Netzwerkes zu identifizieren
(→ Adresse steht nicht in der Tabelle)
⇒ Rahmen wird auf die andere Seite der Bridge übertragen
(da Empfänger evtl. nicht im lokalen Netz)
- keine Weiterleitung von Rahmen mit Zieladressen in der Tabelle
→ Vorteil: reduzierte Netzlast



Eigenschaften von Bridges (bzw. Unterscheidungskriterien):

- Filtering/Forwarding: Filter- und Weitergabegeräten bezeichnen den Durchsatz und die Güte der Bridge
- Selective Forwarding: Festlegung logischer Wege über mehrere Bridges. Jede Station ist einer Bridge fest zugeordnet, um Zyklen und Rahmenduplikate zu vermeiden. Mehrere Bridges können die Geschwindigkeit erhöhen.



- Multiple-Port-Unterstützung: Verbindung von drei und mehr LANs

- **Klassifikationen:** – transparent ↔ übersetzend
– lokal ↔ remote

Transparente Bridges

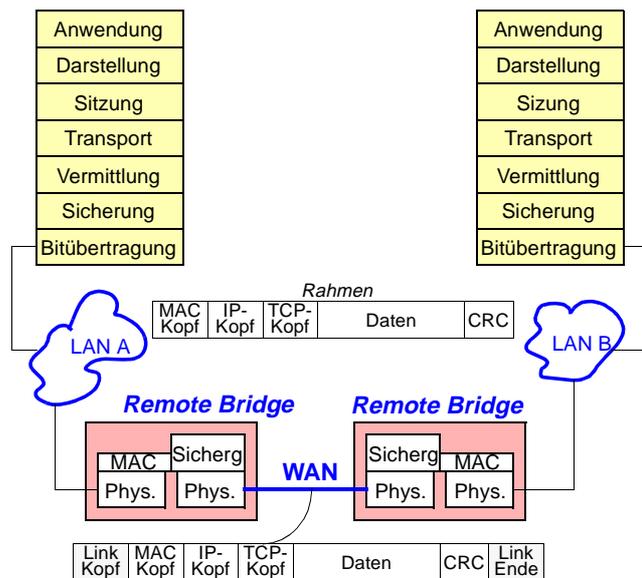
- Verbindung zweier lokaler Netze (LANs) mit dem **selben Data-Link-Protokoll** (Schicht-2-Protokoll)
⇒ z.B. Ethernet ↔ Ethernet
- Bridges können mehrere Ports für unterschiedliche Medien (Schicht-1) haben
⇒ transparente Bridges müssen auf physikalischer Ebene nicht transparent sein
- hohe Übertragungsleistung, wenn wenige Netzwerke angeschlossen sind
(Performance sinkt mit der Zahl von angeschlossenen Netzen)

Übersetzende Bridges

- Verbindung zweier lokaler Netze (LANs) mit **verschiedenen Data-Link-Protokollen**
⇒ z.B. Ethernet ↔ Tokenring (möglich, da alle 802.x-MAC-Protokolle einen einheitlichen Adressraum besitzen)
- meist auch unterschiedliche physikalische Anschlüsse
- Geschwindigkeitsanpassung, **Rahmenanpassung**
- Problem u.a. bei **Rahmengrößen** (z.B. Ethernet: max. 1500 Byte, Tokenring: max. 4500 Byte):
ist ein Tokenringrahmen größer als 1500 Byte, kann dieser nicht auf die Ethernet-Seite übertragen werden, da Fragmentierung erst auf OSI- Schicht 3 möglich ist
⇒ **Software aller Rechner/Stationen müssen min. Werte (Restriktionen) einhalten**

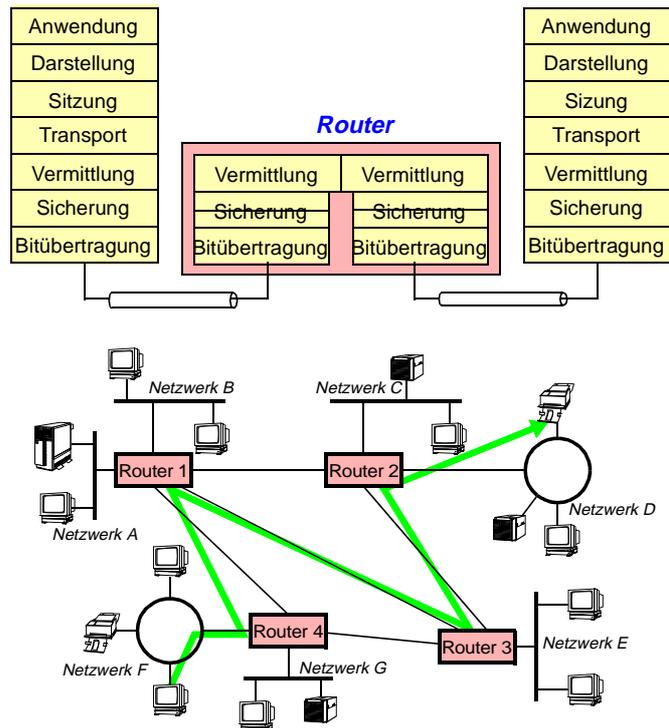
Remote-Bridges:

- Unterstützung der **Verbindung weit entfernter LANs über ein WAN**
- Datenübertragung über WAN mittels WAN-Protokoll
(→ Punkt-zu-Punkt - z.B. CCITT HDLC und X.25)
- bei Übertragung über WAN werden z. T. Komprimierungsverfahren eingesetzt
- Übersetzungsoperationen zur Verbindung unterschiedlicher Netzwerke
- bei Datenübertragung von einem LAN A zu einem andere LAN B werden **ein oder mehrere LAN-Frames** zur Übertragung über das WAN in **ein WAN-Pakete** gepackt und auf der Gegenseite wieder entpackt
⇒ **LAN-Rahmen "tunneln" durch das WAN**



8.2.3 Router

- Vermittlungsschicht
→ im Gegensatz zu Bridges werden Schicht-3-Adressen (z.B. die IP-A.) betrachtet
→ aktive Teilnehmer im Netz (mit eigener Adresse)
 - Bestimmung der **günstigsten Pfade** über eine Kette von Verbindungen zwischen Quelle und Ziel
 - **protokollabhängige Router**:
gleiches Protokoll im Quell- und Ziel-LAN (z.B. IPX/SPX, DECnet, IP)
 - **protokollunabhängige Router** können LANs mit unterschiedlichen Protokollen auf Schicht 3 verbinden
(→ verhalten sich wie intelligentere Bridges)
- Bem.:** Bridges können immer LANs mit unterschiedlichen Schicht-3-Protokollen verbinden
(→ betrachten nur das Schicht-2-Protokoll)



Router vs. Bridges

- **Bridges**: effizienter bei Verbindung mit **wenigen Pfaden**
- **Router**: effizienter in **komplexen Netzwerken**
→ da Router explizit über die eigenen MAC-Adresse angesprochen werden, müssen sie auch nur die für sie bestimmten Rahmen betrachten
- Router puffern alle Rahmen und interpretieren die logischen Schicht-3-Adresse (z.B. IP-Adresse)
- aufwändige Wegesuche:
während **Bridges** nach den **physikalischen Adressen** nur eine **binäre Entscheidung** treffen, verwenden **Router aufwändige Algorithmen**, um den günstigsten Weg zu einer Adresse zu finden
→ Zuordnung wird ebenfalls in Tabellen gespeichert
→ Anpassung der Wegewahl an Netzverkehr
z.B. ein Rechner im Netzwerk B will mit einem Rechner im Netzwerk F kommunizieren
⇒ günstigster Weg über Router 1 und 4
⇒ Leitung unterbrochen oder Verkehr zu hoch: Daten über Router 1-3-4 oder 1-2-3-4 transportieren
- **Pakete werden einzeln geroutet**
⇒ müssen nicht unbedingt in gleicher Reihenfolge ankommen wie sie abgesendet wurden
- **Pakete können fragmentiert werden**
⇒ im Gegensatz zu Bridges muss bei der Verbindung unterschiedlicher Netzwerkarten die Rechner nicht auf die max. Paket/Frame-Länge geachtet werden
(→ zu lange Pakete werden von Routern selbstständig aufgeteilt)

- **Nachteile gegenüber Bridges:**
 - Pakete werden zwischengepuffert ⇒ höhere **Latenzzeit**
 - aufwändigere Software und längere Bearbeitungszeit einzelner Pakete
(ca. 1/2 - 1/3 der Bridge-Geschwindigkeit)
 - höhere **Kosten**

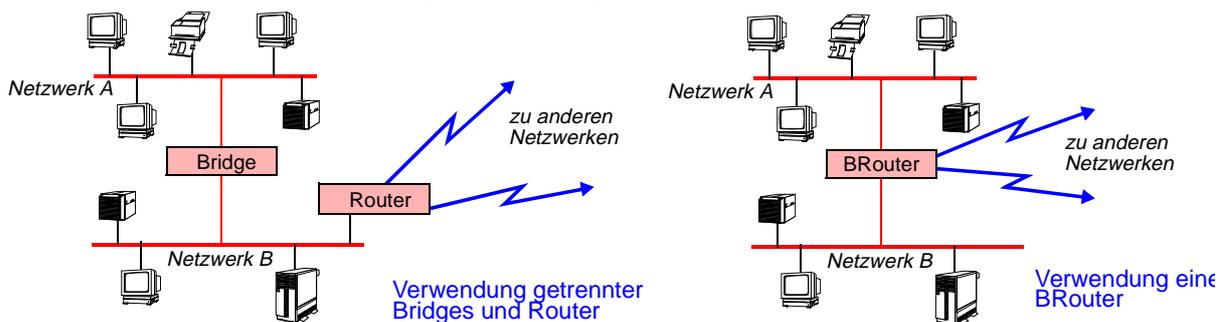
Eigenschaften	Bridge	Router
Routing basierend auf Algorithmen und Tabellen	i. allg. nein	ja
Schicht-3-Protokoll-Transparenz	ja	nur protokollunabhängige Router
Verwendung von Netzwerkadressen (Schicht-3-Adressen)	nein	ja
Mehrwegeübertragung	beschränkt	ja
Entscheidung der Paket-/Rahmenweitergabe	primitiv	kann komplex werden
Flusskontrolle	nein	ja
Rahmen-Fragmentierung	nein	ja
Durchsatz	hoch	mittel
Kosten	billiger	teurer

8.2.4 BRouter

- Hybrid-Device: Kombination zwischen Bridge und Router
- **BRouter testet zunächst, ob ankommender Rahmen für ein anderes LAN bestimmt ist**
wenn ja: Test des Schicht-3-Protokolls und Bestimmung, ob das Protokoll von einer Router-Funktion abgedeckt wird
 - wird das Protokoll unterstützt, verhält sich der BRouter wie ein Router
 - wird das Protokoll nicht unterstützt, wird der Rahmen auf Schicht 2 „gebridged“
(während normale Router solche Rahmen einfach ignorieren würden)

Vorteile: • Flexibilität

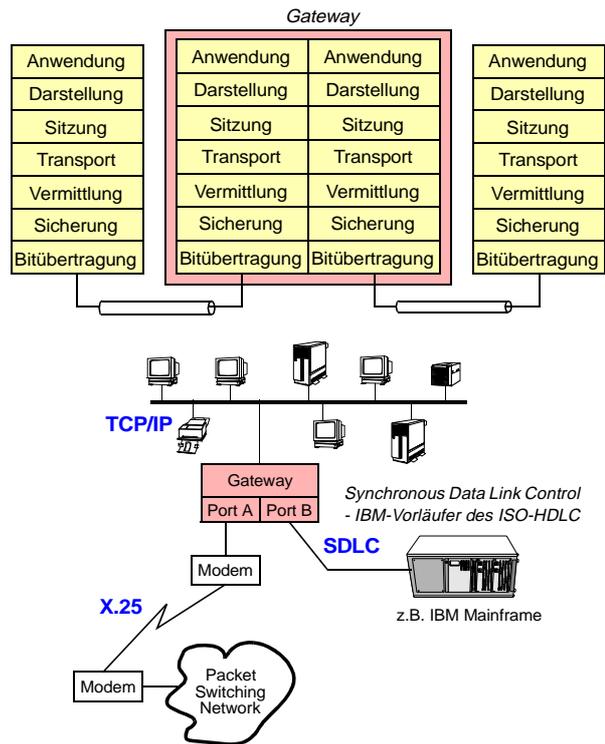
- kann teilweise zwei getrennte Bridges und Router ersetzen:



→ Beispiel funktioniert nur, wenn BRouter-Durchsatz für Verbindung der beiden benachbarten LANs groß genug ist

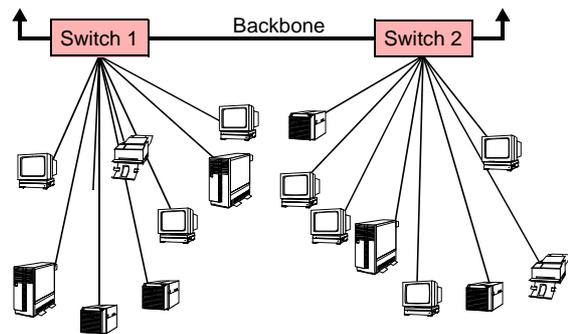
8.2.5 Gateways

- ursprünglich: Kommunikationsgerät zur Verbindung zweier LANs oder eines LANs mit einem Mainframe
→ **deckt alle 7 Schichten ab**
- ⇒ **Gateway = Router + Protokollumsetzung**
- Begriff 'Gateway' wird heute ganz unterschiedlich verwendet/eingeordnet
 - von Bridges, die LANs verbinden
 - bis zu Protokollumsetzer, die ganz unterschiedliche Netzwerke verbinden (s. Abbildung)
- Gateways
 - sind protokollspezifisch
 - unterstützen meist mehrere Protokolle
 - enthalten meist eigene Prozessoren (zur aufwändigen Protokollumsetzung)
 - wg. aufwändigen Funktionen ungeeignet (zu langsam) zur LAN↔LAN-Kopplung (hier genügen Router)



8.2.6 Switches

- im Prinzip **schnelle Multiport-Bridges / Router**
- sternförmige Anbindung mehrerer LAN-Segmente (meist an ein Backbone)
- **Erhöhung der Lokalität und Geschwindigkeit auf einzelnen Segmenten**
- höhere Schaltgeschwindigkeiten durch schnelle, leistungsfähige, in Hardware implementierte Bridging-Software
- 3 Klassen von Switches:
 - **Cut-Through**: – am schnellsten
 - **Schicht 2**
 - jeder Rahmen wird nur nach MAC-Ziel- und -Quelladresse analysiert
⇒ kann bereits nach 12 Byte durchschalten
 - **Latenzzeit unabhängig von Rahmenlänge**
 - Analyse der Quelladresse zum Aufbau der Adresstabellen
 - fehlerhafte Rahmen können nicht aussortiert werden
 - **CRC-Check erst nachdem Rahmen weitergesendet**



- **Store-and-Forward:** – agieren ähnlich wie Router
 - Schicht 3
 - gesamter Rahmen wird in internen Puffer geschrieben
 - Fehlererkennung und Paketbearbeitung des gepufferten Rahmens
 - etwa 10-fache Latenzzeit gegenüber Cut-Through-Methode
 - Latenzzeit abhängig von Rahmenlänge
 - ⇒ Beeinträchtigung der kontinuierlichen/ isochronen Übertragung von Bildern und Ton
- **Cell-Oriented:** – Vorteile der beiden anderen Verfahren durch Pipelining-Ansatz
 - Rahmen werden beim Empfang in 48 ... 64 Bytes (→ Zellen) zerlegt (abh. von Hersteller) und Weitertransport der Zellen
 - erste 48 Byte enthalten alle Informationen zur Filterung (Typfeld, Schicht-3-Adressen)
 - kürzere Latenzzeiten, da nur 48 Byte-Zellen gepuffert und bearbeitet (etwa 4-5 mal langsamer als Cut-Through-Methode)
 - kontinuierlicher Datenstrom aufgrund gleichlanger Zellen
 - ideal bei Einsatz von ATM-Backbones, da 48 Byte-Zellen in 53 Byte-ATM-Zellen (s.u.) einfach verpackbar sind

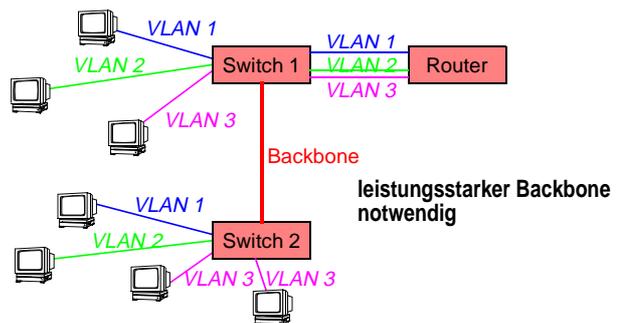
Virtuelle LANs (VLANs)

Ziele:

- Partitionierung des Netzwerkes in logische Cluster (Sub-LANs) nach Gesichtspunkten wie Arbeitsgruppen, Projekte, Aufgabenverteilung, und nicht nach geometrischen Aspekten (z.B. Raumzuteilung)
 - bei Umzug eines Mitarbeiters/Rechners soll die (logische) Zuordnung erhalten bleiben
 -
- ⇒ virtuelle Netze

→ Lösungsmöglichkeiten:

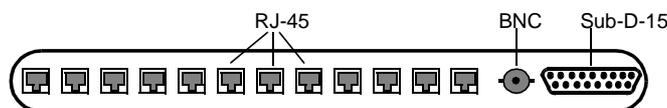
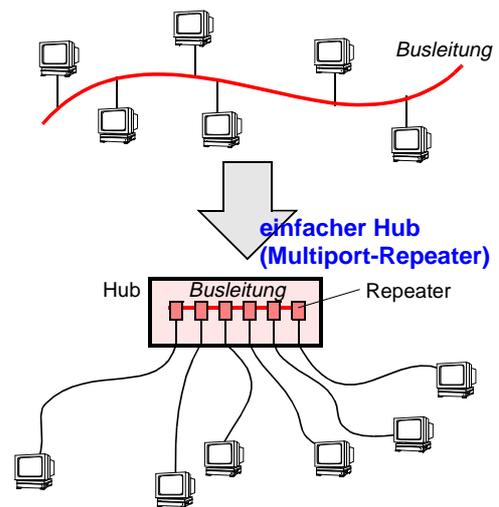
- Netzsegmentierung durch Router
 - theoretisch jeder Rechner ein eigenes Subnetz, aber alle Datenpakete über Router
 - Nachteile: Router sind teuer, Subnetzadressen (s. IP-Adressen) gehen aus



- **Virtuelle Netze durch Switches**
 - maximale Bandbreite an jedem Port und Kopplung durch schnelles Backbone
 - innerhalb von virtuellen Netzen werden Daten nur „gebridged“
(Router zur Kopplung mehrerer VLANs - s. Abbildung)
 - Realisierung durch um VLAN-Adressen erweiterte Adresstabellen in den Switches
 - Tabellen verschiedener Switches werden regelmäßig konsistent gehalten
(→ heute nur herstellergebundene Lösungen)
- heute: drei Ansätze zur Integration von VLAN-Informationen in bestehende LAN-Technologie:
- **regelmäßiger Abgleich der Tabellen**
 - Nachteil: Netzlast steigt durch häufige Abgleichnachrichten zwischen Switches
 - **Frame Tagging**
 - jeder Rahmen wird um VLAN-Informationen im Header erweitert
 - Nachteil: Frames werden länger *(evtl. länger als MAC-Protokoll erlaubt - daher nur herstellerabh. Lösungen)*
 - **Zeitmultiplexing**
 - jedes VLAN erhält einen (Time-) Slot mit fester Bandbreite des Backbone
 - Vorteil: kein Overhead für Abgleich oder längere Rahmen
 - Nachteil: ungenutzte Bandbreite einzelner Slot
- bei Verwendung von Schicht-3-Switches können mehrere VLANs mit unterschiedlichen Protokollen *(z.B. NetWare- und IP-Stationen)* gleichzeitig/örtlich verzahnt betrieben werden, da die Switches die Protokoll-Typ-Information der Schicht-3-Pakete auswerten

8.2.7 HUB-Technologie

- sternförmige Verkabelung der Busteilnehmer (10BASE-T Ethernet - s.u.), Konzentratoren
- anstelle einer verteilten Busleitung (Segment) werden die einzelnen Stationen direkt/einzeln mit einem Hub verbunden
- Busstruktur wird innerhalb des Hubs realisiert
- Vorteile:
 - einfachere Verkabelung *(s.u.)*
 - einfachere Netzadministration, durch zentralen Hub
(Netzwerk-Monitoring, -konfiguration zentral)
- typisch: 8, 10, 12 RJ-45-Ports (8-Pin-Buchse) zum Twisted-Pair-Anschluss einer Station und eine BNC- und/oder Sub-D-15-Buchse, um Hub an größeres LAN anzubinden



Intelligente Hubs

- beinhalten eigene Mikroprozessoren und Speicher
- enthalten meist **internen Backplane-Bus, über den die Bridges/Router gekoppelt sind**
- bieten **beliebigen/unterschiedlichen Grad an Komfort**, z.B.
 - zentrale Netzwerkmanagementunterstützung
 - Aktivierung/Deaktivierung einzelner Ports
 - Isolation einzelner Ports oder Bussegmente zu Testzwecken
 - individuelle Netzwerktopologien durch interne Bridges und Router

(→ Backplane ist wesentlich schneller als LAN und kann somit mehrere logische Busse/Segmente auf physikalische Leitungen abbilden)
- unterschiedliche Hubs sind auf den verschiedensten OSI-Schichten anzusiedeln
- durch zentrale Verdrahtung und interne Intelligenz können unterschiedlichste Protokolle an den Ports unterstützt werden *(z.B. Ethernet- und Tokenring-Stationen an einem Hub)*

8.3 LANs (Beispiele)

8.3.1 Ethernet

Varianten:

Eigen-schaften	Ethernet 10BASE-5	10BASE-2	10BASE-T 100BASE-T	10BROAD-36	10BASE-F	1000BASE-T 10000BASE-T	10GBASE-LX
MBit/s	10	10	10 / 100	10	10	1000 / 10.000	10.000
Signaltyp	Basisband	Basisband	Basisband	Breitband	Licht	Basisband	Licht
Segment-länge	500 m	185 m	100 m	1800 m	1800 m	100	1800 m
Stationen/ Segment	100	30	12 / Hub	100	2.000	?	2.000
Kabel	50 Ω Koax (dick)	50 Ω Koax (dünn)	Twisted Pair (Cat 5, 5e)	75 Ω Koax (CATV)	Lichtwellenleiter (Monomode)	Twisted Pair (Cat 6, ?)?	Lichtwellenleiter (Mono-/Multimode)
Topologie	Bus	Bus	Stern	Bus	Stern	Stern	Stern

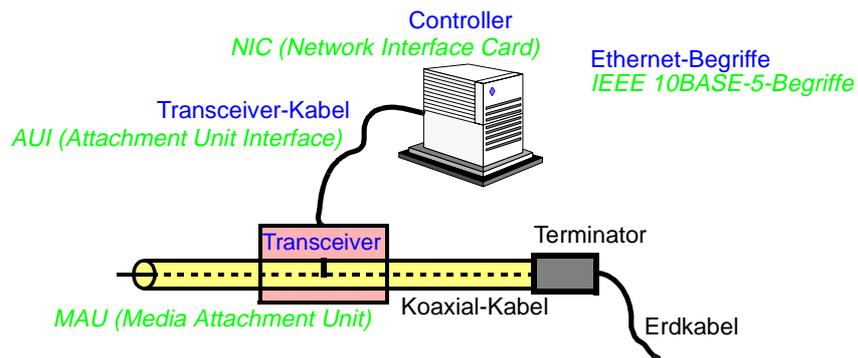
Namensgebung: **“Geschwindigkeit Typ - Länge”**

Geschwindigkeit: in MBit/s

Typ: BASE = Basisband; BROAD = Breitband

Länge: max. Segmentlänge / 100 m *(Ausnahme: T für Twisted Pair)*

Ethernet und 10BASE-5



- **Ethernet:** Original von Xerox, DEC, Intel
- **10BASE-5:** IEEE-Standard (→ Spezifikation sehr ähnlich - Unterschiede nur im Rahmenformat - s.o.)
- **'Thick-Ethernet':** Koaxialkabel (gelb mit Markierungen alle 2,5 m zum Anschluss ⇒ minimale Entfernung zweier MAUs)
- **max. 4 Repeater** im Pfad zwischen zwei Stationen
- **Transceiver** (Transmitter-Receiver): verantwortlich für Träger- und Kollisionserkennung (⇒ Aussenden des Jam-Signals)
- Transceiver-Kabel: max. 50 m
5 individuelle UTPs (⇒ Daten- und Kontrollsignale)

10BASE-2

- **'Thin-Ethernet', 'Thinnet', 'Cheapnet':** dünneres, billigeres Koaxialkabel
- **Transceiver in Controller-Karte integriert,** Kabel direkt an Station über BNC-T-Stecker angeschlossen (→ Kabel wird von Station zu Station geführt)
- **elektrisch äquivalent mit 10BASE-5,** daher leicht koppelbar
- max. 4 Repeater zwischen zwei Stationen; max. 30 Stationen je Segment

10BROAD-36

- **IEEE-Breitband-Standard** basierend auf CSMA/CD
- statt Manchester-Kodierung hier NRZ-Code auf Träger aufmoduliert
- 75 Ω Fernsehkabel (CATV - cable television)

10BASE-T

- **Low-Cost-Variante** über vorhandene UTP-Kabel (max. 100 m)
- zwei Paare von Twisted-Pair (jeweils für Senden und Empfangen - Empfangsleitung auch zur Kollisionserkennung)
- Hub-Technik zwingend

RJ-45-Stecker	10BASE-T
Pin	Signalname
1	Transmit Data +
2	Transmit Data -
3	Receive Data +
4	ungenutzt
5	ungenutzt
6	Receive Data -
7	ungenutzt
8	ungenutzt

Fast-Ethernet

- heute: 100 MBit/s (zukünftig: 1 GBit/s, 10 GBit/s)
- 100 MBit/s-Techniken:

nominelle Datenrate: 100 MBit/s				
IEEE-Standard	802.3			802.12
Standardname	100BASE-FL	100BASE-TX	100BASE-T4	100VG-AnyLAN
Zugriff	CSMA/CD			Handshake-Protokoll Round-Robin
Übertragungsart	Halbduplex			Halbduplex
unterstützte Verkabelung	2-Faser-LWL 62,5 / 125 µm	2 x 2 UTP Kategorie 5	4 x 2 UTP Kategorien 3..5	4 x 2 UTP Kategorien 3..5
Kodierung	NRZI	4B5B (RZ-Code)	?	NRZ
theoretische Bandbreite	60 ... 70 MBit/s			95 MBit/s
bisher erreicht	36 MBit/s		?	?

Beispiel: 100VG-AnyLAN

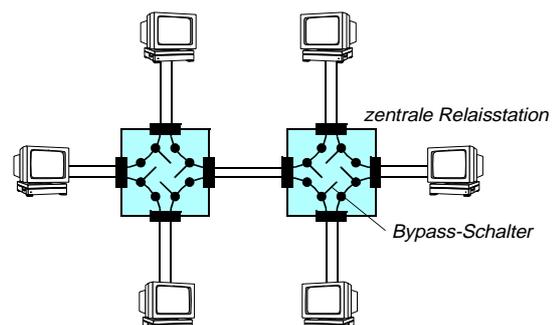
- entwickelt von HP und AT&T; durch IEEE genormt
 - Ziele:
 - möglichst viel "10MBit/s-Ethernet-Hardware" beibehalten
 - schrittweise Migration ermöglichen
- ⇒ Übertragung über **UTP-Leitungen** von 10BASE-T
- (CSMA/CD-Busarbitrierung wird schwierig, da Arbitrierungszeit von Leitungslänge abhängt und nicht verkürzt werden kann.
100VG-AnyLAN: sternförmige Verkabelungen mit intelligenterer Arbitrierung im Konzentrator)*
- **Glasfaserübertragung** (100BASE-FL, FDDI) **zu teuer** (→ FDDI: mehr als 10-fache Kosten für 10-fache Leistung)
 - **Lösungsansätze**:
 - **Quartet Signaling**:
 - Verwendung aller vier UTP-Leitungspaare zur Datenübertragung
 - **etwa gleiche Frequenz wie 10BASE-T**
 - ⇒ Leitungen und RJ-45-Stecker bleiben beibehalten
 - Verwendung einer **effizienteren NRZ-Leitungskodierung**
 - **Demand Priority**:
 - einfacheres CSMA/CD-Verfahrens zur Eliminierung von Kollisionen
 - *Ausnutzung der Sterntopologie: zentrale Busvergabe durch Hub*
 - ⇒ *Mischung aus Round-Robin und prioritätsgesteuerter Vergabe*
 - Hub leitet einen eintreffenden Rahmen an nur einen Ausgangsport
 - ⇒ alle anderen Hub-Ports bleiben unbelastet

8.3.2 Tokenring (→ IEEE 802.5)

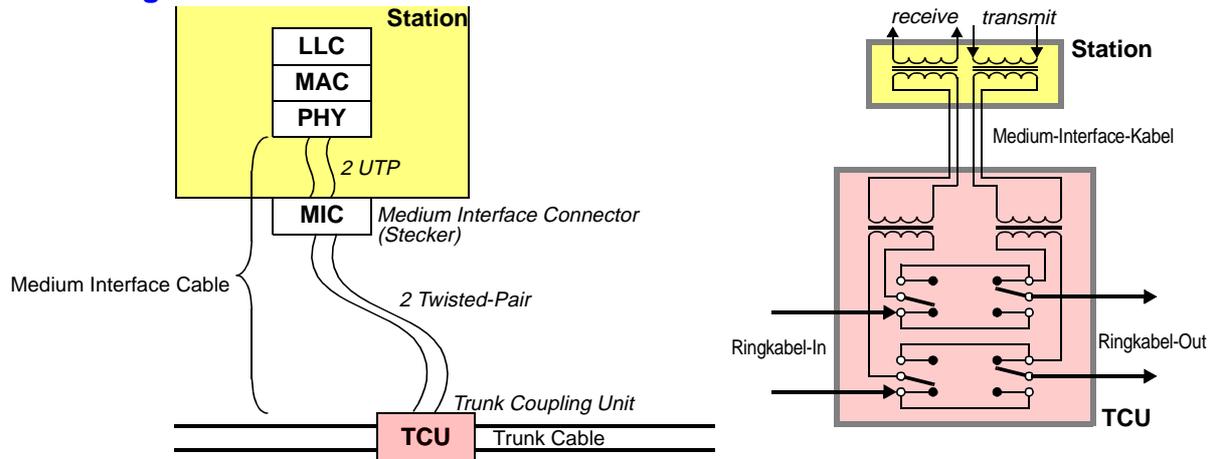
- IEEE-Standard basiert auf **IBM-Tokenring**: auf Ring kreisendes Token regelt die Busvergabe
- reine Punkt-zu-Punkt-Verbindung (im Gegensatz zum Tokenbus)
- Station, die das **Freitoken** erhält, darf Daten übertragen
 - Token wird **zu einer Rahmen-Startsequenz verändert**
 - direkt daran werden die Daten über den Ring gesendet
- alle Stationen im Ring leiten die empfangenen Daten unmittelbar an die Nachbarstation weiter (→ 1-Bit-Verzögerung)
- erkennt eine Station ihre eigene Adresse, **kopiert sie den Rahmen vom Ring**, quittiert dies in einem **Rahmenkontrollfeld** und sendet den geänderten **Rahmen zurück zur Sendestation**
- der **Rahmen wird von der Sendestation vom Ring genommen** und ein neues Freitoken generiert
Bem.: Sendestation muss die ersten zurückkommenden Bit wieder löschen, während der Übertragungsvorgang noch stattfindet (wegen der "Kürze" des Rings)
- **zwei Verfahren:**
 - **4 MBit/s:** neues Freitoken erst, wenn der aktuelle Rahmen entfernt wurde (s.o.)
 - **16 MBit/s (Early Token Release):** neues Freitoken bereits, wenn letztes Bit des aktuellen Rahmens ausgesendet wurde

- **Buszuteilung:** **dezentral, prioritätsgesteuert (3 Prioritätsbit im Token)**
 - ⇒ Station darf ein Frei-Token nur dann annehmen, wenn dessen Priorität nicht höher ist als die Priorität der Station (→ Prioritäten für Stationen können dynamisch vergeben werden)
 - ⇒ wenn eine Station mit höherer Priorität das nächste Token haben will, markiert sie dies im Prioritätsfeld des aktuellen Token
 - ⇒ Sender muss Token-Priorität zurücksetzen (wenn der hochpriorie Wunsch erfüllt wurde)
- **Problem:** Unterbrechung jeglicher Kommunikation im Ring, wenn nur eine Station ausfällt
 - ⇒ **Notwendigkeit einer ausgezeichneten Monitorstation im Ring** (überwacht - mittels Timer - den Ringverkehr und führt festgelegte Maßnahmen im Fehlerfall durch) (bei Ausfall einer Monitorstation übernimmt eine andere Station deren Monitoraufgabe)
- **Erhöhung der Ausfallsicherheit durch zentrale, Hub-artige Verdrahtung**

sollte eine Station ausfallen / Leitung zur Station unterbrochen sein, kann diese lokal im Hub aus dem Ring genommen werden



Medium-Zugriff



- **TCU (Trunk Coupling Unit):**
 - Schalter: entweder Signal über Station und verstärken (→ Repeater) oder Bypass (wenn keine Station angeschlossen ist)
 - wird von Station gesteuert
 - Gleichspannung auf Medium Interface Cable steuert Relais (Phantom-Spannung, da transparent für Wechselsignal bei Manchester-Kodierung)
 - da durch Bypass zwei Teilringe geschlossen werden, kann damit auch die Adapterkarte der Station lokal getestet werden

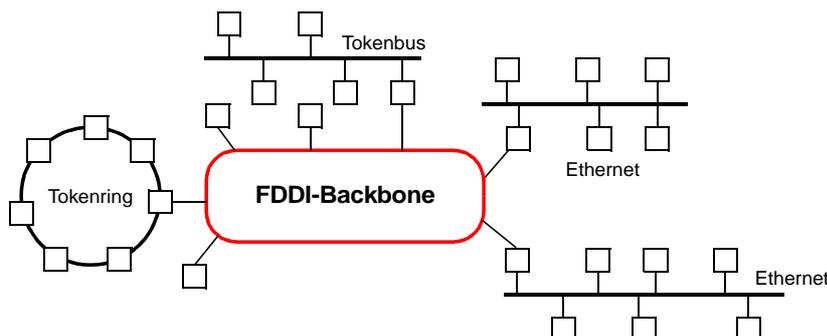
8.4 WANs

8.4.1 FDDI (Fiber Distributed Data Interface) [10]

von ANSI (American National Standards Institute) genormtes LAN/WAN mit folgenden Zielen/Eigenschaften:

- Ringtopologie (→ Tokenring-Protokoll)
- Doppelring, Glasfaser-Medium
- hohe Sicherheit durch Glasfaser und Doppelring (Bitfehlerwahrscheinlichkeit ca. $2,5 \cdot 10^{-10}$)
- 100 MBit/s auf jedem Ring
- hunderte von Stationen über mehrere 10 km ohne Leistungseinbuße
- i. Wesentl. geeignet für asynchronen Paketverkehr und nicht für isochrone Übertragung

→ heute meist als Backbone zur Kopplung von LANs verwendet



Einbettung von FDDI ins OSI-Referenzmodell

FDDI ist auf den untersten zwei Schichten angesiedelt

	FDDI	FDDI-II	
Sicherungsschicht	802.2 (LLC: Logical Link Control)	CS-MUX (Circuit Switching Multiplexer(s))	
	MAC (Media Access Control)	I-MAC (Isochronous MAC)	
	H-MUX (Hybrid Multiplexer)		
Bitübertragungsschicht	Kodierung und Zeitverhalten PHY (Physical Layer Protocol)		
	optische und mechanische Eigenschaften		
	PMD (Physical Medium Dependent Layer)	SMF-PMD (Single Mode Fiber PMD)	SPM (SONET Physical Layer Mapping)

die Bitübertragungsschicht unterteilt sich in zwei Teilschichten:

- **PMD** (Physical Medium Dependent Standard):
 - beschreibt die Punkt-zu-Punkt-Verbindung im Basisband
 - Wellenlängen, optische Eigenschaften des Lichtwellenleiters
- **PHY** (Physical Layer Protocol):
 - Datenkodierung, Zeitverhalten (z.B. Tokenumlaufzeit), Datenpufferung

die Sicherungsschicht unterteilt sich in zwei Teilschichten:

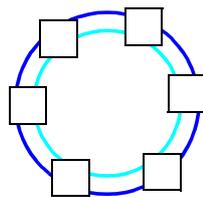
- **MAC** (Tokenring Media Access Control Standard):
 - Medienzugriff (Arbitrierung: *Token-Passing-Verfahren*),
 - Adressierung, Daten in Rahmen verpacken
- **LLC** (Logical Link Control):
 - Verwendung des IEEE 802.2-Standards

neben diesen Standard-Dokumenten gibt es bereits Erweiterungen, u.a.:

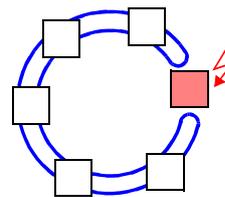
- **SMF-PMD** (Single Mode Fiber - PMD):
 - max. Entfernung zwischen zwei Stationen wird auf 60 km erhöht
- **SPM** (FDDI-to-SONET Physical Layer Mapping Function):
 - Abbildung von FDDI-Rahmen auf SONET (Synchronous Optical Network) -
(bedeutender US-Standard - vor allem im Zusammenhang mit ATM)
- **HRC** (Hybrid Ring Control):
 - aufwärtskompatible Version des FDDI-Protokolls (⇒ FDDI-II), die den asynchronen, paketorientierten Dienst um vermittlungsorientierte Dienste (zur isochronen Übertragung von Video und Audio) erweitert
 - realisiert durch ein Zeitmultiplexverfahren, das in den Protokollen H-MUX (Hybrid Multiplexer), I-MAC (Isochronous MAC) und CS-MUX (Circuit Switching Multiplexer) spezifiziert ist

PMD-Schicht: FDDI-Technik

- doppelte, gegenläufige Ringstruktur auf der Basis von Glasfaserleitungen
- max. 500 Stationen, max. 200 km, max. 2 km zwischen Stationen
- primärer Ring: Datenübertragung
sekundärer Ring: - verläuft in Gegenrichtung
- i. Allg. nur redundanter Sicherungsring
- zur Datenübertragung im Nicht-Fehlerfall nutzbar (⇒ 200 MBit/s)
- beim Ausfall einer Station werden beide Ringe zu einem langen Ring verbunden:

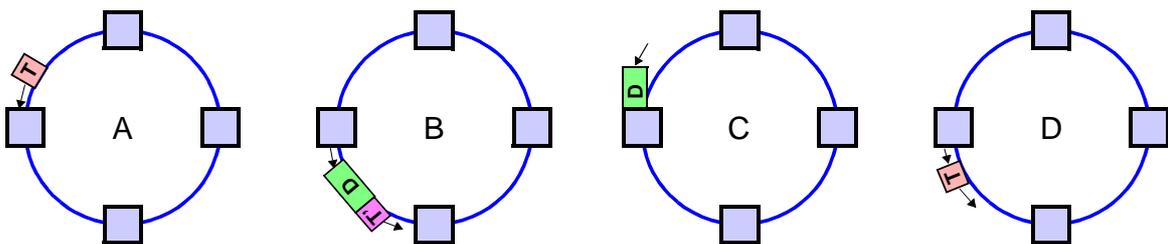


Normalzustand

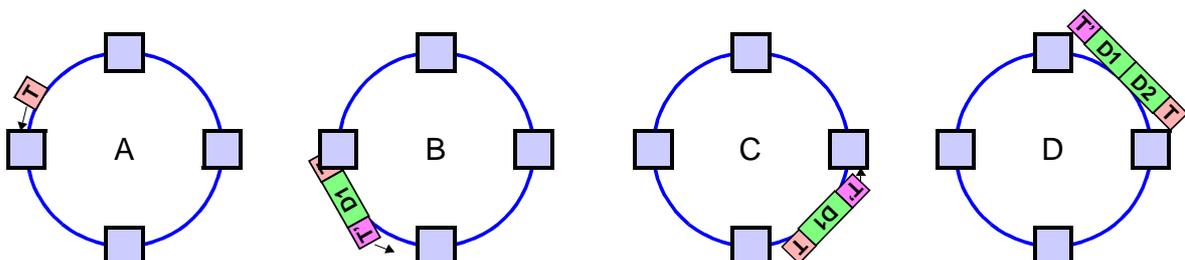


Fehlerfall
(eine Station ist ausgefallen)

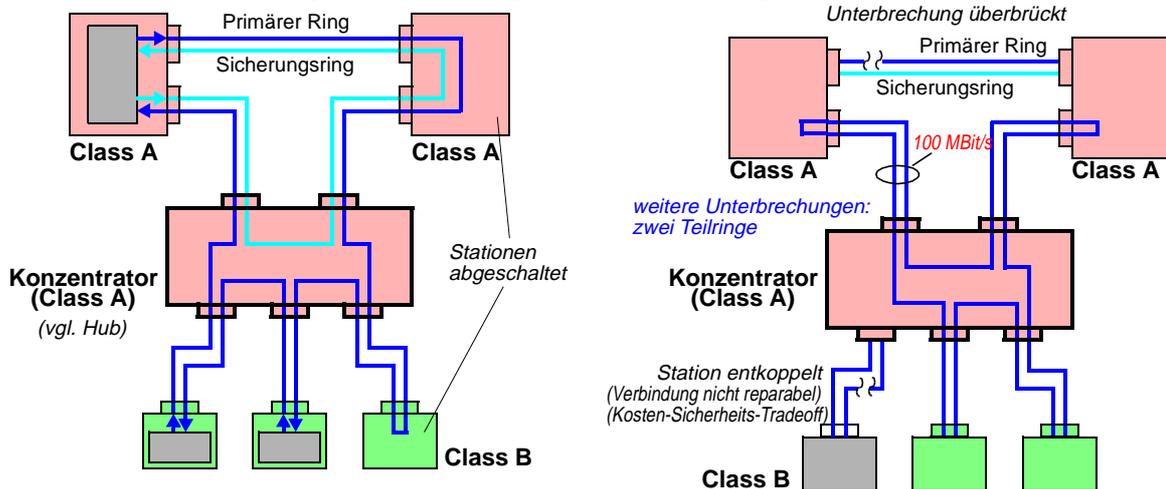
- Zugangskontrolle: "Early Token Release" zur schnellen Tokengenerierung auf langen Leitungen:
→ beim einfachen Token-Passing existiert nur ein Rahmen (Token und Daten) auf dem Ring,
der frühestens nach einem Umlauf wieder freigegeben wird (→ ausreichen für kürzere LANs)



- beim Early-Token-Release können mehrere Rahmen auf dem Ring existieren
→ sinnvoll, da FDDI-Ringe lang sein können - bis zu 200 km
→ max. Rahmenlänge: 4.500 Byte: bei 100 MBit/s belegt max. Rahmen etwa 10 km Lichtleiter (ohne Stationsverzögerung)

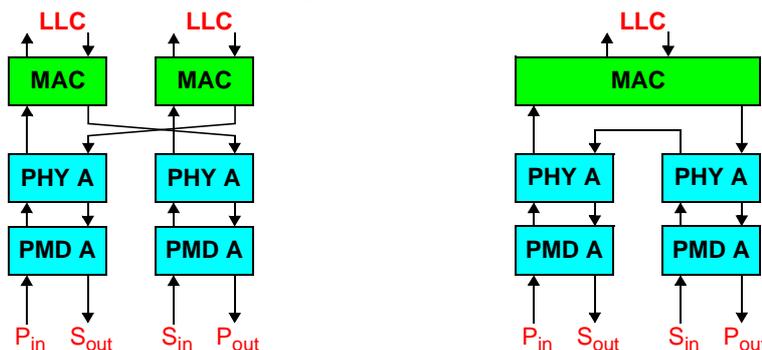


- **Stationsarten:**
 - **Class A (DAS - Dual Attachment Stations):**
normale Station mit Verbindung zu beiden Ringen und voller Funktionalität
 - **Class B (SAS - Single Attachment Stations):**
einfache, nicht an den Sicherungsring angeschlossene Station (z.B. Workstation)
 - **Class A - Konzentrator:**
bedient mehrere sternförmig angeschlossene (Class B-) Stationen
⇒ analog zu Hub: Bildung einer Stern-Topologie



DAS/SM, DAS/DM

- Class A-Stationen haben zwei Ports mit zwei PMD/PHY-Einheiten (PMD/PHY A, PMD/PHY B):
 PMD/PHY A: P_{in} und S_{out}
 PMD/PHY B: S_{in} und P_{out}
 → damit kann im Fehlerfall der Zusammenschluss zwischen primären und sekundären Ring auf den unteren Schichten realisiert werden
- Class A-Stationen werden unterschieden in Stationen mit einer bzw. zwei MAC-Einheiten
 - **DAS/DM (Dual MAC):** können auf beiden Ringen mit zusammen **200 MBit/s** übertragen
 - **DAS/SM (Single MAC):** eine MAC-Einheit überträgt nur auf primären Ring; der sekundäre Ring ist auf der PHY-Schicht gebrückt



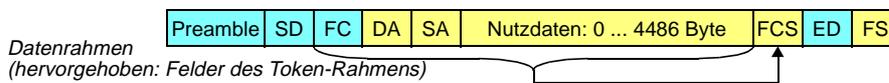
PHY-Schicht

- vom Übertragungsmedium unabhängig
- im Wesentlichen: Kodierung/Dekodierung, Synchronisation von Sender und Empfänger
- Signalkodierung: **Basisband - 4B/5B-Kodierung** (125 MBit/s Bruttorate)
 - ⇒ Taktrückgewinnung zur Synchronisation von Sender und Empfänger
(Signale werden auf PMD-Schicht mit 125 MHz abgetastet und an PHY-Schicht weitergegeben)
 - ⇒ neben den 16 Datensymbolen werden in die 5 Bit auch 8 Kontrollsymbole kodiert, so dass nur 8 Symbole nicht genutzt werden

MAC-Schicht

- wird von LLC-Schicht zur Datenübertragung angestoßen
- generiert aus Nachrichten/SDUs (Service Data Units) der LLC-Schicht **PDU**s (Protocol Data Units)

PDU (→ FDDI-Rahmenformate): **max. 4500 Byte / 9000 Symbole**



- Präambel: 16 oder mehr Idle-Symbole (11111) zur Synchronisation
- SD,ED: Start/End Delimiter (2 Symbole: 11000 10001 bzw. 01101 01101) → eindeutige Kombination
- FC: Frame Control (2 Symbole) → Festlegung der Übertragungsart, Adresslängen, Rahmenformat
- DA,SA: Destination/Source Address (4 oder 12 Symbole)
- FCS: Frame Check Sequence (32 Bit) → CRC-Check
- FS: Frame Status (3 oder mehr Symbole) → Anzeige einer erfolgreichen Übertragung / Fehler

8.4.2 Übertragungsbeispiele auf dem (ehemaligen) Uni-KL-LAN

→ eigenes Dokument

8.4.3 ATM (Asynchronous Transfer Mode)

[[ChL95] T.M. Chen, S.S. Liu, ATM Switching Systems, Artech House Inc., Norwood, 1995]

Probleme bei vorhergehenden Weitverkehrsnetzen:

- neue Multimedia-Anwendungen erreichen die Grenze herkömmlicher Netzwerke
- nicht vorhersagbare Übertragungszeiten für Datenpakete
- stark ausgelastete Netzwerke führen zu Aussetzern bei isochronen Daten
- Übergang von LAN ins WAN kappt oft die Echtzeitfähigkeit

Ziele von ATM:

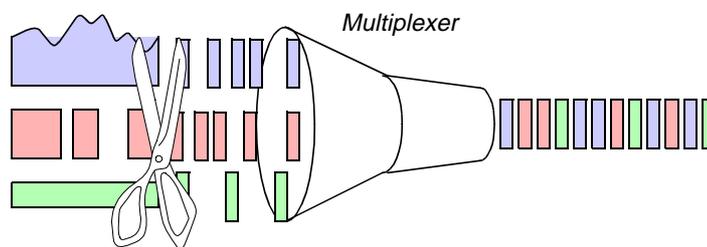
- **Paketvermittlungstechnik** - nur **Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung**
⇒ weniger abhöranfällig
- **Integration unterschiedlicher LANs in ein WAN**
- Transferraten von 64 kBit/s bis zu mehreren GBit/s
→ alle Medien für höhere Übertragungsarten (LWL, STP, UTP, ...)
- Kombination aus **Zeitmultiplex- und Konzentrierungsverfahren**
- nach CCITT¹ I.121-Empfehlung **Basis des Breitband-ISDN**
(urspr. Ende der 80er Jahre von CCITT als Switching-Methode für B-ISDN entwickelt)
- erste Forschungsversuche und Pilotprojekte: 1992

CCITT/ITU-T-Empfehlungen	
I.121	Breitbandaspekte des ISDN
I.150	funktionale Aspekte der ATM-Schicht von B-ISDN
I.211	Serviceaspekte von B-ISDN
I.311	allgemeine Netzwerkaspekte von B-ISDN
I.327	funktionale Architektur von B-ISDN
I.361	Spezifikation der ATM-Schicht von B-ISDN
I.362, I.363	ATM-Anpassungsschicht von B-ISDN

1. Seit 1993 umbenannt in: ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector)

Datenübertragung über ATM

- **Kombination von Zeitmultiplex- und Konzentrierungsverfahren:**
 - Zeitmultiplex:** Einteilen eines Übertragungskanal in Zeitschlitze (Time-Slots)
→ Zeitschlitze sind nicht bestimmten virtuellen Verbindungen fest zugeordnet
(→ STM - Synchronous Transfer Mode → ursprünglich für B-ISDN angedacht) -
 - Konzentrierung:** jeder Zeitschlitz kann prinzipiell jeder Verbindung zugeordnet werden
(→ Konzentrierung; *asynchrone Verteilung der Zeitschlitze*)



- **Netzwerk: Verbindungen von ATM-Switches**
Switches sind **komplexe dynamische Netzwerke** (z.B. Banyan-Netz) mit **Puffern** vor den Schaltern und schneller Kontrolllogik abhängig von den eintreffenden Zellen
→ ATM spezifiziert diese Ebene (*physikalische Ebene, Schalterebene*) nicht
→ zusätzliche Schalter erhöhen die Bandbreite des gesamten Netzwerkes

- ATM unterscheidet **vier Dienstklassen** ("Quality of Service QoS"):

	Class A	Class B	Class C	Class D
Verbindungsart	verbindungsorientiert			verbindungslos
Bitrate	konstant	variabel		
Zeitabhängigkeit zwischen Sender und Empfänger	notwendig		nicht notwendig	
Beispiele	- Sprachübertragung - virtuelle Datenverbindung	komprimiertes, variables Bewegtbild	verbindungsorientierte Dateiübertragung (z.B. X.25)	verbindungslose Dateiübertragung (meist LAN/MAN)
Bemerkung		Erwartungswert und Varianz der Übertragungsrate müssen bekanntgegeben werden		

→ Klassen werden auf der Anpassungsschicht (AAL) unterschieden (und auf den höheren Ebenen)

→ ATM-Schicht ist Service-unabhängig

- Auslastung einer Leitung **bis zu 200% der Spitzenübertragungsrate** ist möglich
(wäre bei STM - Synchr. Transf. Mode nicht möglich)
- einfaches Protokoll: **keine Flusststeuerung, Fehlerkorrektur und Quittungen**
→ Puffer auf einem Übertragungsweg können überlaufen, wobei Zellen verloren gehen
- ATM ist **verbindungsorientiert**:
 - Verbindungsaufbau vor eigentlicher Datenübertragung notwendig
 - Vergabe einer **virtuellen Kanalnummer** (s. ATM-Header), um mehrere virtuelle Kanäle auf einer Leitung zu unterscheiden
 - Reihenfolge der Zellen einer Informationssequenz bleibt auf dem virtuellen Kanal erhalten
 - in jeder Vermittlungsstation (→ ATM-Switch) wird die virtuelle Kanalnummer umgesetzt, da die gleiche Nummer bei weit entfernten Stationen mehrfach vergeben sein kann
(⇒ Kanalnummer ist nur zusammen mit der Verbindungsleitung eindeutig)
- **Informationsfeld wird transparent übertragen** (nicht betrachtet)
→ z.B. wird keine Fehlerprüfung über das Informationsfeld durchgeführt
- ATM-Endgeräte äußern beim Verbindungsaufbau **Übertragungswünsche** (QoS-Wunsch):
 - Spitzenbitrate, Burstiness
 - Durchschnitt, Varianz

Einordnung in das OSI-Referenzmodell

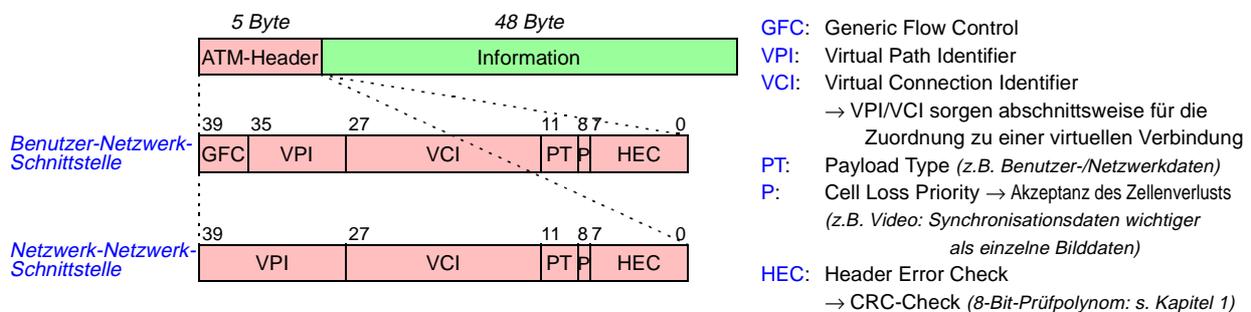
- ATM passt nicht ganz ins OSI-Modell, repräsentiert aber **im Wesentlichen die Schicht 1**
- **keine gesicherte Punkt-zu-Punkt-Verbindung auf ATM-Ebene**
- über eine **Anpassungsschicht** können LANs auf das ATM-WAN aufsetzen
- ATM stellt den höheren Ebenen eine exklusive, leistungsfähige Leitung zur Verfügung



- **Anpassungsschicht (AAL):**
 - unterstützt vier verschiedene Service-Klassen (s.o.) → MAC- und LLC-Protokoll gehören zur Class D
 - zwei Teilschichten:
 - **CS (Convergence Sublayer):**
 - Service-abhängig;
 - beinhaltet Multiplexing, Fehlerbehandlung, Entdeckung von Zellverlusten, ...
 - **SAR (Segmentation and Reassembly Sublayer):**
 - Service-unabhängig
 - teilt variabel lange Informationen der CS-Teilschicht in Zellen (und umgekehrt)

Aufbau der ATM-Zelle

- Informationsströme werden in Fragmente/**Zellen fester Länge** unterteilt
→ **Cell-Switching**
- **ATM-Zellen: 5 Byte Header und 48 Byte Informationsblock** (auch Payload-Field genannt)
→ Kompromiss zwischen ANSI-Vorschlag (5+64 Byte) und ETSI¹-Vorschlag (4+32 Byte)
- ATM-Schicht: ersten 4 Byte des Header und Segmentierung der Nutzdaten
→ die Prüfsumme (→ HEC) wird von der physikalischen Schicht eingesetzt

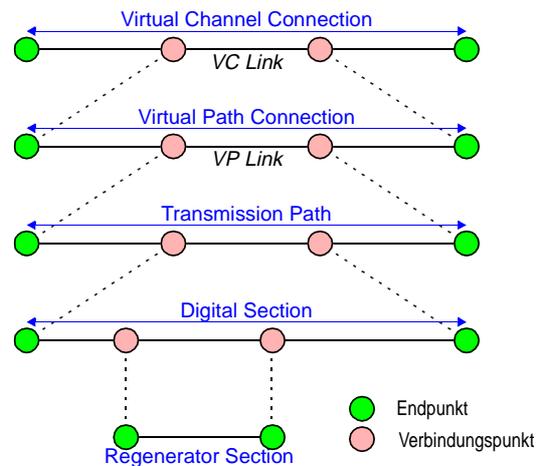


→ Service-Prioritäten nur implizit über VPI/VCI-Abbildungstabellen virtuellen Kanälen zugeordnet
→ Feld für die Flusskontrolle (GFC) dient der Einhaltung der Bandbreitenbeschränkung

1. European Telecommunications Standards Institute - europ. Gegenstück zur ANSI

Virtuelle Pfade und Virtuelle Kanäle

- Verbindungen in ATM sind hierarchisch untergliedert
- **ATM-Schicht:**
 - **virtueller Kanal:**
durch VPI/VCI-Felder definierter Abschnitt
→ den virtuellen Kanälen sind QoS-Attribute zugeordnet
 - **virtueller Pfad:**
durch VPI identifizierter Teilabschnitt eines VC
→ mehrere virtuelle Kanäle mit gleichen Teilwegen, leichter als Gruppe schaltbar werden
- **Physikalische Schicht:**
 - **Übertragungspfad:**
zwischen Punkten, an denen die ATM-Schicht auf die physikalische Schicht zugreift
→ an diesen Punkten wird der Zell-Header geprüft und die Informationen werden fragmentiert
 - **digitaler Abschnitt:**
Verbindung von Netzwerkelementen, die Bitströme transportieren
 - **Regenerationsabschnitt:**
Abschnitt zwischen zwei Verstärkern
→ analoger Abschnitt



Quellüberwachungsverfahren (Congestion Control)

Überwachung der Einhaltung der reservierten Bandbreite, damit die Puffer in den Vermittlungsstationen nicht überlaufen

→ verschiedene Verfahren, z.B.:

- **Minimum Distance-Verfahren:**
Überwachung des Mindestabstands zwischen zwei Zellen
⇒ kann nur die Übertragungsrates einer Station überwachen, ist jedoch nicht auf die unterschiedliche Belegung der Zeitschlitze zu unterschiedlichen Zeiten angepasst
- **Leaky Bucket-Verfahren:**
ein Zähler wird bei jeder abgesetzten Zelle einer Verbindung inkrementiert, in festen Zeitabständen aber wieder dekrementiert (nicht unter Null) -
⇒ überschreitet der Zähler eine Schranke, werden alle folgenden Zellen verworfen (entspr. Überlauf eines virtuellen Puffers)
- **Fixed/Moving Window-Verfahren:**
Überwachung der max. Anzahl von Zellen während eines Zeitintervalls (→ Fenster); Lage und Länge des Fensters kann fest (→ Fixed Window) oder variabel (→ Moving Window) sein