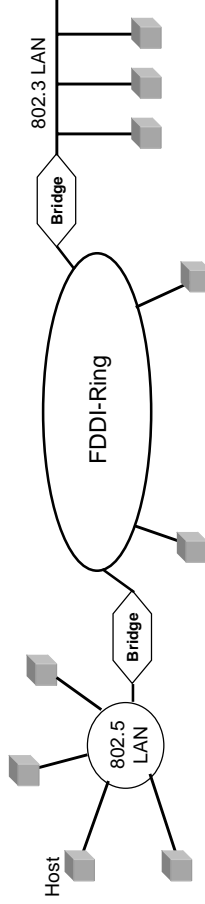


Fiber Distributed Data Interface (FDDI)

- FDDI ist ein leistungsstarkes Token-Ring-LAN basierend auf Lichtwellenleitern
- basiert auf ANSI-Standard X3T9.5
- Datenraten von 100 Mb/s
- Überbrückung von Entfernungen bis zu 200 km (MAN?)
- Unterstützung von bis zu 1000 Stationen, mit Abständen von maximal 2 km
- Wird (wurde) oft als Backbone für kleine LANs benutzt



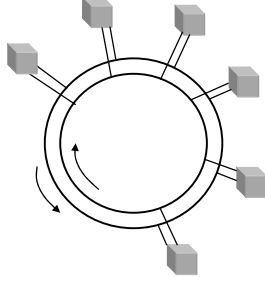
- Nachfolger: FDDI-II, unterstützt neben normalen Daten auch synchrone leitungsvermittelte PCM-Daten (Sprache) und ISDN-Verkehr
- Variante: CDDI (Copper Distributed Data Interface), mit 100 Mb/s über Twisted-Pair-Kupferkabel

Zusatzfolien

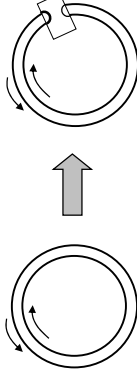
1

Aufbau von FDDI

Verkabelung bei FDDI: 2 Glasfaserringe mit gegensätzlicher Übertragungsrichtung



- Im Normalbetrieb wird nur der primäre Ring verwendet, der Sekundärring bleibt in Bereitschaft
- Bricht ein Ring, kann der andere als Reserve (Schutzring) benutzt werden.
- Brechen beide Ringe oder fällt eine Station aus, können die Ringe zu einem einzigen zusammengefasst werden, der die doppelte Länge hat:



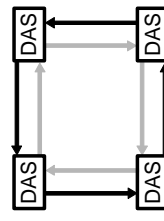
Es existieren zwei Klassen von Stationen: DAS-Stationen (Dual Attachment Station) können an beide Ringe angeschlossen werden, die billigeren SAS-Stationen (Single Attachment Station) nur an einen Ring.

Zusatzfolien

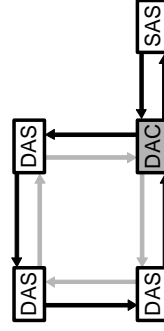
2

FDDI-Konfigurationen

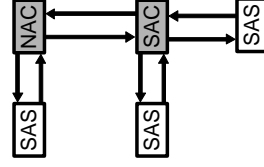
Normaler Doppel-Ring



Doppelter Ring mit Einzelring-Erweiterung



„Einfacher“ FDDI-Ring



DAS = Dual Attachment Station
SAS = Single Attachment Station
DAC = Dual Attachment Concentrator
NAC = Null Attachment Concentrator
SAC = Single Attachment Concentrator

Mittels der Konzentratoren können mehrere Ringe verknüpft werden.

Zusatzfolien

3

Übertragung bei FDDI

Kodierung

4B/5B-Code, also Kodierung von 4 Bit Daten in 5 zu übertragende Bit

Taktung

Sendung einer langen Präambel, um den Empfänger auf den Sendertakt zu synchronisieren. Weiterhin müssen alle Uhren der Stationen auf mindestens 0,005% stabil laufen. Bei einer solchen Stabilität können Rahmen mit bis zu 4500 Byte Daten übertragen werden, ohne dass der Empfänger den Takt verliert.

Protokolle

Grundlegende Protokolle von FDDI lehnen sich eng an IEEE 802.5 (Token Ring) an: um Daten übertragen zu dürfen, muss eine Station zunächst das Token besitzen. Dann überträgt sie ihren Rahmen und nimmt ihn wieder vom Ring, wenn er zu ihr zurückkommt. Bei der Ausdehnung von FDDI ist ein einzelnes Token unpraktikabel. Daher überträgt FDDI im Multiple-Token-Betrieb.

Zusatzfolien

4

Synchrone Übertragung von Daten

Ursprüngliches Sendep Prinzip bei FDDI: Verwendung *asynchroner* Rahmen, d.h. es kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt losgesendet werden.

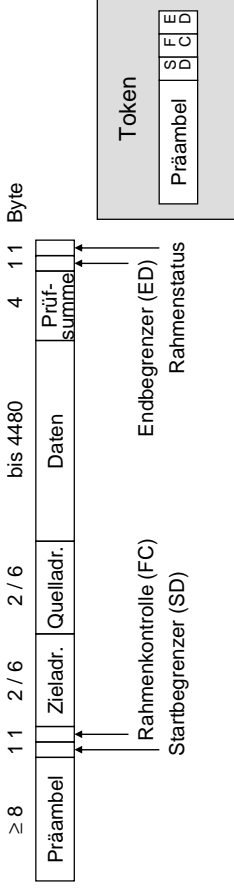
- Zusätzlich ist auch die Verwendung *synchroner* Rahmen für leitungsvermittelte PCM- oder ISDN-Daten möglich (FDDI-II):
- alle 125 µs erzeugt eine Masterstation synchrone Rahmen, um die für PCM benötigten 8000 Abtastungen/Sekunde zu erreichen.
- Jeder der Rahmen besteht aus 16 Byte für nicht-leitungsvermittelte Daten und bis zu 96 Byte für leitungsvermittelte Daten (bis zu 96 PCM-Kanäle pro Rahmen).
- verwendet eine Station einmal bestimmte Zeitslots in einem Rahmen, gelten diese als für sie reserviert, bis sie sie ausdrücklich freigibt.
- die von den synchronen Rahmen nicht benutzte Bandbreite wird auf Anfrage geteilt.

Zusatzfolien

5

Datenrahmen bei FDDI

Die Datenrahmen sind ähnlich zu denen beim Token Ring:



- Die *Präambel* wird zur Synchronisation verwendet sowie zur Vorbereitung der Stationen auf eine folgende Sendung
- Start- und Endbegrenzer* dienen zur Rahmenmarkierung
- Rahmenkontrolle* kennzeichnet die Art des Rahmens: Daten, Steuerung, synchron/asynchron, ...
- Hier werden auch verschiedene Token unterschieden.
- Rahmenstatus* enthält wie bei IEEE 802.5 Bestätigungsbits
- Adressen* und die *Prüfsumme* sind wie bei IEEE 802.5

Zusatzfolien

6

Token-Management bei FDDI

Zur reibungslosen Abwicklung der Kommunikation verfügt das MAC-Protokoll über 3 Timer:

- Token Holding Timer*: dieser Timer bestimmt, wie lange eine Station übertragen darf, nachdem sie das Token bekommen hat.
- Token Rotation Timer*: diesen Timer startet eine Station, wenn das Token sie passiert. Läuft der Timer ab, bevor das Token wieder ankommt, ist es wahrscheinlich verlorengegangen.
- Valid Transmission Timer*: dieser Timer dient zur Wiederherstellung des normalen Übertragungsbetriebs nach einer kurzen Störung. Dieser Timer erfasst das Intervall zwischen korrekten Übertragungen. Wenn er abläuft, liegt vermutlich eine Störung des Rings, ein Tokenverlust oder ähnliches vor. Der Ring wird neu initialisiert. Der Wert für diesen Timer wird auf das Doppelte der mittleren Tokenumlaufzeit festgelegt.

Zusatzfolien

7

Station Management bei FDDI

Um eine reibungslose Arbeit des Rings zu gewährleisten, muss einerseits die Arbeit innerhalb einer Station, andererseits aber auch das Zusammenspiel der Stationen mit dem Ring koordiniert werden. Dies betrifft:

- Einfügen und Entfernen von Stationen
 - Initialisierung von Stationen
 - Erkennen und Beheben von Fehlern
 - Netzmanagement
 - Sammeln von Statistikinformationen
- Um den Ring nicht von einer zentralen Komponente abhängig zu machen, werden dezentrale Lösungen eingesetzt. Beispielsweise hat der Token-Inhaber gewisse Sonderaufgaben, z.B. das Einfügen und Entfernen von Stationen. An anderen Aufgaben sind alle Stationen beteiligt: im Fehlerfall beispielsweise (d.h. wenn der Valid Transmission Timer abläuft) sendet jede Station einen Testrahmen an die nächste Station. Diejenige, die keinen Rahmen bekommt, kann davon ausgehen, dass der Ring vor ihr beschädigt ist und den Verkehr auf den Schutzring umleiten.

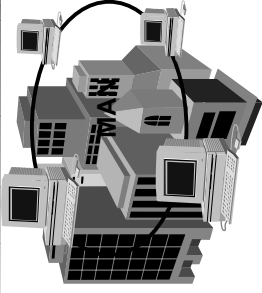
Zusatzfolien

8

Stadtnetze

Metropolitan Area Networks

- Überbrücken größere Distanzen als ein LAN, Einsatz z.B. im Stadtbereich.
- Nur ein oder zwei Kabel, keine Vermittlungselemente. Dadurch erreicht man ein einfaches Netzdesign.
- alle Rechner werden an ein Broadcast-Medium angeschlossen.
- Vorrangiger Grund für die Unterscheidung zwischen LAN und MAN: Ausarbeitung eines Standards für MANs: (IEEE 802.6) **DQDB**



Beispiele:

- **Distributed Queue Dual Bus (DQDB)**
- Gigabit-Ethernet

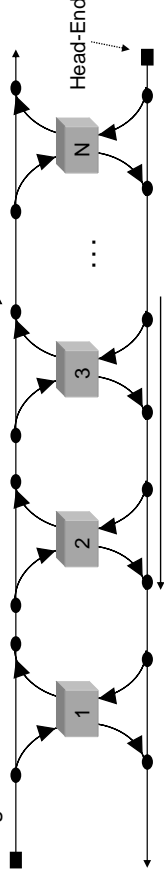
Zusatzfolien

9

Distributed Queue Dual Bus (DQDB)

Grundprinzip:

- zwei unidirektionale Busse (einfache Kabel) werden an alle Rechner angeschlossen:



- Jeder Bus ist für die Kommunikation in eine Richtung verantwortlich
- Jeder Bus hat ein Head-End, welches alle Übertragungsaktivitäten einleitet. Dazu wird ein ständiger Strom von Zellen der Größe 53 Byte erzeugt.
- Nutzdatenfeld jeder Zelle: 44 Byte
- zwei wesentliche Protokollbits: *Busy* zur Kennzeichnung einer belegten Zelle, *Request* zur Anmeldung einer Anfrage
- Ausdehnung bis 100 km zulässig
- Übertragungsraten bis zu 150 Mb/s (Glasfaser; bei Koaxialkabel nur 44 Mb/s)

Zusatzfolien

10

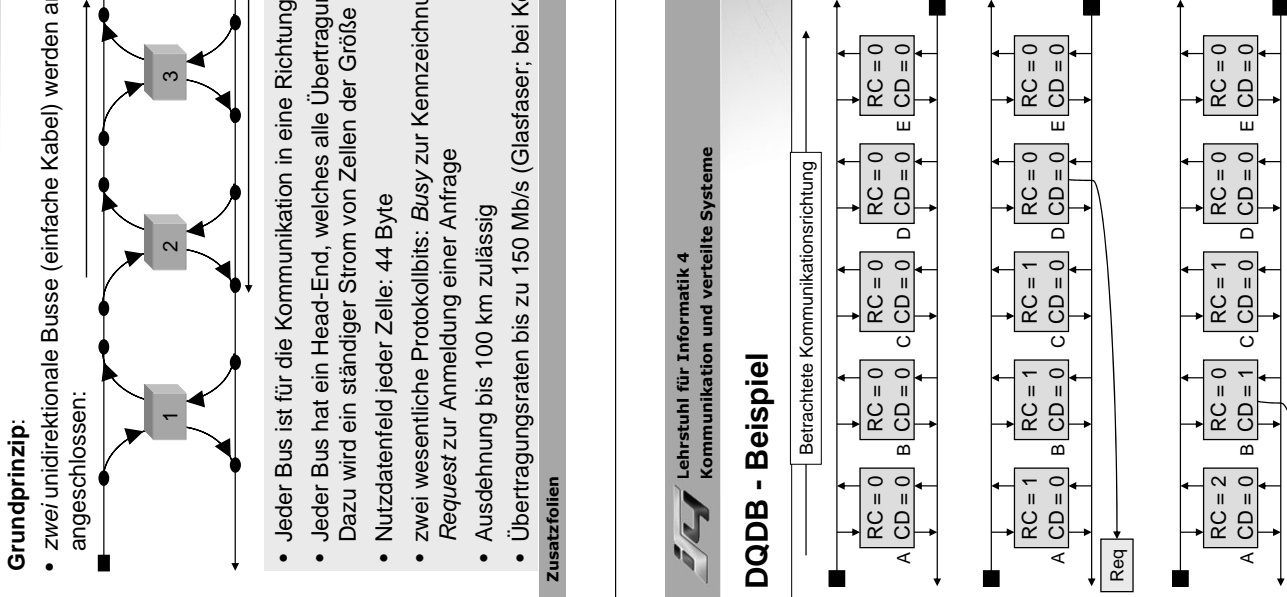
DQDB - Sendepinzip

- Bei einer Übertragung muss die sendende Station wissen, ob der Empfänger sich links oder rechts von ihr befindet.
- Vor einer Übertragung in die eine Richtung wird auf dem Bus in Gegenrichtung eine Zelle reserviert.
- Simulation einer FIFO-Warteschlange, um Stationen in der Reihenfolge ihres Kommunikationswunsches zu berücksichtigen:
 - jede Station führt 2 Zähler: *RC* (Request Counter) und *CD* (Down Counter)
 - *RC* zählt die Anzahl der Übertragungswünsche abwärts gelegener Stationen, die vor dem eigenen Übertragungswunsch eingetroffen sind.
 - *CD* dient als Hilfszähler. Will eine Station senden, stellt sie auf dem Bus in Gegenrichtung eine Anfrage mit gesetztem *Request-Bit*. Der aktuelle Wert von *RC* wird in *CD* kopiert (die Station darf erst die *RC*+1ste Zelle belegen).
 - *RC* wird wieder auf 0 gesetzt und zählt die Anzahl der weiteren eingehenden Kommunikationswünsche. Bei jeder in Kommunikationsrichtung passierenden freien Zelle wird *CD* um eins heruntergezählt. Ist *CD* = 0, darf die Station senden. Hat sie nun einen neuen Kommunikationswunsch, muss sie wieder *RC* Zellen warten.

Zusatzfolien

11

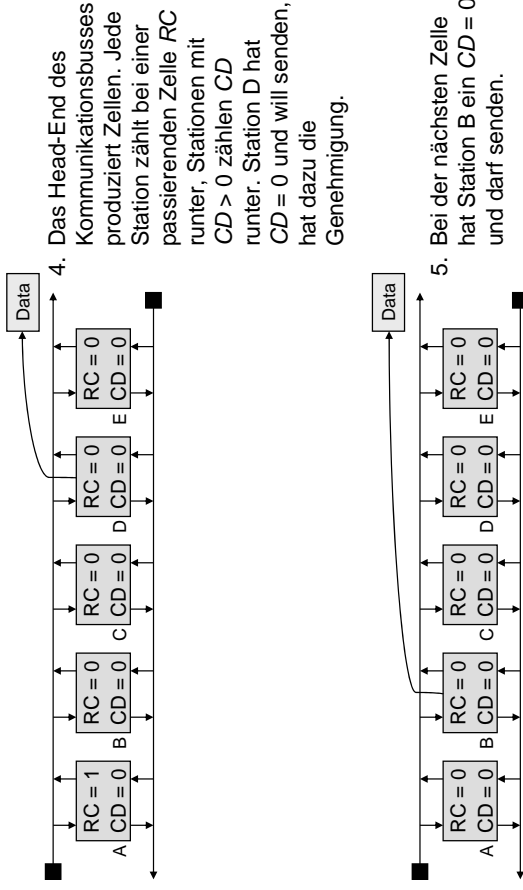
DQDB - Beispiel



Zusatzfolien

12

DQDB - Beispiel



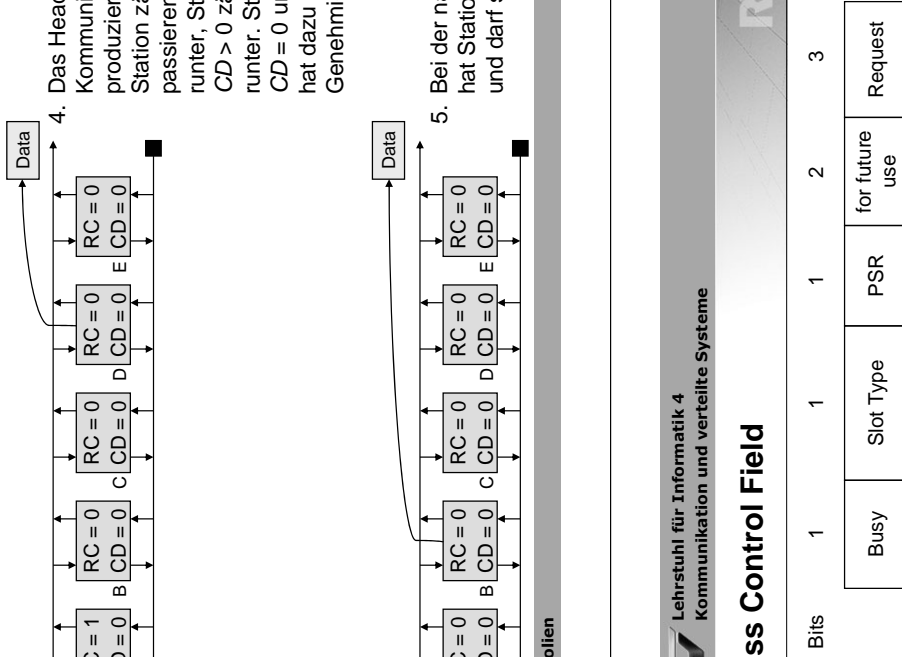
DQDB - Slot-Format

Bits	8	20	2	2	8	384 (48 Byte)
	Access Control Field	Virtual Channel Identifier	Payload Type	Segment Priority	Header Check Sequence	Daten

Access Control Field

- Regelt den Zugriff auf die Busse
 - Unterscheidet zwischen normalen und dauerhaft reservierten Slots
- #### Virtual Channel Identifier
- Enthält die Kanalnummer der jeweiligen Verbindung
- #### Payload Type
- Unterscheidet zwischen Benutzerdaten (00) und Steuerungsdaten
- #### Segment Priority
- Noch nicht definiert
- #### Header Check Sequence
- Checksumme, die einfache Bitfehler korrigieren, mehrfache erkennen kann

Access Control Field



- Busy zeigt an, ob der Slot belegt ist
- Slot Type unterscheidet zwischen normal zu reservierendem und fest reserviertem Slot
- Previous Slot Cleared (PSR): der Inhalt des vorhergehenden Slots darf gelöscht werden
- Request dient für Reservierungen

DQDB - Slot Reuse

Bits	8	20	2	2	8	384 (48 Byte)
	Access Control Field	Virtual Channel Identifier	Payload Type	Segment Priority	Header Check Sequence	Daten

Access Control Field

- Regelt den Zugriff auf die Busse
 - Unterscheidet zwischen normalen und dauerhaft reservierten Slots
- #### Virtual Channel Identifier
- Enthält die Kanalnummer der jeweiligen Verbindung
- #### Payload Type
- Unterscheidet zwischen Benutzerdaten (00) und Steuerungsdaten
- #### Segment Priority
- Noch nicht definiert
- #### Header Check Sequence
- Checksumme, die einfache Bitfehler korrigieren, mehrfache erkennen kann

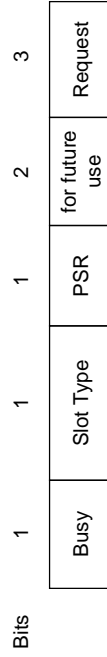
DQDB - Slot Reuse

Bits	8	20	2	2	8	384 (48 Byte)
	Access Control Field	Virtual Channel Identifier	Payload Type	Segment Priority	Header Check Sequence	Daten

Access Control Field

- Regelt den Zugriff auf die Busse
 - Unterscheidet zwischen normalen und dauerhaft reservierten Slots
- #### Virtual Channel Identifier
- Enthält die Kanalnummer der jeweiligen Verbindung
- #### Payload Type
- Unterscheidet zwischen Benutzerdaten (00) und Steuerungsdaten
- #### Segment Priority
- Noch nicht definiert
- #### Header Check Sequence
- Checksumme, die einfache Bitfehler korrigieren, mehrfache erkennen kann

Access Control Field



- Busy zeigt an, ob der Slot belegt ist
- Slot Type unterscheidet zwischen normal zu reservierendem und fest reserviertem Slot
- Previous Slot Cleared (PSR): der Inhalt des vorhergehenden Slots darf gelöscht werden
- Request dient für Reservierungen

DQDB - Slot Reuse

Problem bei DQDB:

Ein Slot ist auf dem gesamten Bus für eine Station reserviert, auch wenn beispielsweise Station A mit Station B kommunizieren möchte. Station C kann den Slot nicht wieder belegen.

Abhilfe: 'Slot Reuse'

Die Zellen laufen nicht mehr auf dem Bus weiter, sondern 'durch die Stationen hindurch'. Damit kann eine Station die für sie bestimmte Nachricht vom Bus nehmen und das Busy-Flag wieder entfernen. Abwärts liegende Stationen können den Slot wieder verwenden.

DQDB hat sich nie richtig durchgesetzt, da kurze Zeit nach der Einführung ATM aufkam.

Frame Relay

- Basiert auf Packet Switching, d.h. Übertragung von Datenpaketen
- Ursprünglich gedacht für den Gebrauch zwischen ISDN-Geräten, hat sich aber weiter verbreitet
- Die Pakete können variable Länge haben
- Statistisches Multiplexing (d.h. 'Mischen' verschiedener Datenströme) zur Kontrolle des Netzwerkzugriffs. Die ermöglicht eine flexible, effiziente Nutzung der verfügbaren Bandbreite
- Eine erste Standardisierung erfolgte 1984 durch die CCITT. Allerdings lieferte sie keine vollständige Spezifikation.
- Daher bildeten Cisco, DEC, Northern Telecom und StrataCom 1990 ein Konsortium, dass auf der unvollständigen Spezifikation aufbaute und Erweiterungen zu Frame Relay entwickelte, die einen Einsatz in komplexen Internet-Umgebungen ermöglichen sollten. Diese Erweiterungen wurden *Local Management Interface (LMI)* genannt. Da sie breiten Anklang fanden, standardisierten ANSI und CCITT eigene LMI-Varianten.
- International wurde Frame Relay schließlich durch die ITU-T, in der USA durch ANSI standardisiert.

Zusatzfolien

17

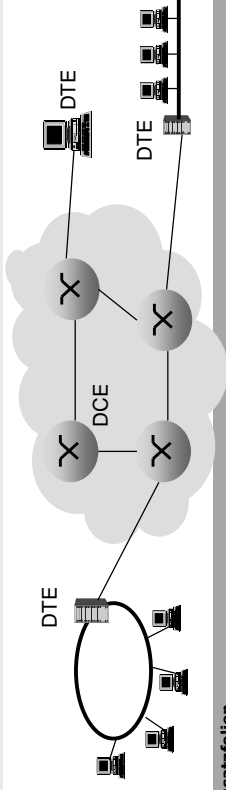
Aufbau von Frame Relay

Zweck: einfache, verbindungsorientierte Möglichkeit zur kostengünstigen Versendung von Daten mit akzeptabler Geschwindigkeit

- Übertragungsraten von 56 Kb/s bis 45 Mb/s können gemietet werden
- Wird meist für virtuelle Festverbindungen genutzt; bei denen keine Signalisierung für den Verbindungsaufbau erforderlich ist

Es werden zwei generelle Kategorien von Geräten unterschieden:

- *Data Terminal Equipment (DTE)*: typischerweise im Besitz des Endnutzers, beispielweise PCs, Router, Brücken, ...
- *Data Circuit-terminating Equipment (DCE)*: im Besitz eines Anbieters. DCEs realisieren die Datenübertragung. Meist sind es Packet Switches.



Zusatzfolien

18

Kommunikation bei Frame Relay

- Frame Relay bietet *verbindungsorientierte* Kommunikation auf der LLC-Schicht:
 - Zwischen zwei DTEs wird eine virtuelle Verbindung aufgebaut. Diese ist identifiziert durch einen eindeutigen Verbindungsbezeichner (*Data-Link Connection Identifier, DLCI*). Achtung: DLCIs beziehen sich nur auf eine Teilstrecke, nicht auf die gesamte Verbindung; außerdem sind sie nur in einem LAN eindeutig, nicht global:
-
- Die virtuelle Verbindung bietet einen bidirektionalen Kommunikationspfad.
 - Mehrere virtuelle Verbindungen können auf eine einzelne physikalische Verbindung gemultiplext werden (Reduktion von Ausrüstung und Netzkomplexität).
 - Frame Relay bietet die Möglichkeit, sowohl SVCs als auch PVCs zu verwenden.
 - Geringer Protokoll-Overhead, hohe Übertragungsraten

Zusatzfolien

20

Flusskontrolle bei Frame Relay

- Frame Relay besitzt *keinen* eigenen Flusskontroll-Mechanismus zur Kontrolle des Verkehrs jeder virtuellen Verbindung.
- Frame Relay wird typischerweise auf zuverlässigen Netzwerkmedien eingesetzt, daher kann die Flusskontrolle an höhere Schichten abgegeben werden.
- Statt dessen: **Notifikations-Mechanismus** (Congestion Notification) zur Meldung von Engpässen an höhere Protokollschichten und so zur Reduktion des Netzwerkverkehrs, falls ein Kontrollmechanismus auf einer höheren Schicht implementiert wird.

Es gibt zwei Mechanismen zur Congestion Notification

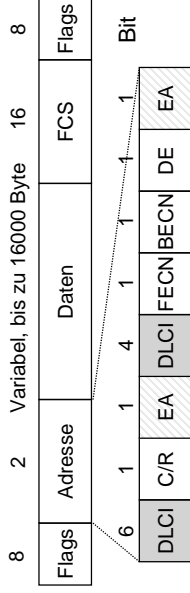
- *Forward-Explicit Congestion Notification (FECN)*
 - wird initiiert, wenn eine DTE Rahmen ins Netz sendet
 - Bei Überlast setzen die DCEs im Netz das FECN-Bit auf 1
 - Wenn der Rahmen beim Empfänger ankommt, erkennt dieser, dass eine Überlast auf der Übertragungsstrecke vorliegt
- *Backward-Explicit Congestion Notification (BECN)*
 - Analog zu FECN, aber das BECN-Bit wird gesetzt, wenn Rahmen in die entgegengesetzte Richtung von Rahmen mit gesetztem FECN-Bit laufen

Zusatzfolien

20

Header des Rahmens bei Frame Relay

Länge in Byte



Flags

- Kennzeichnung von Rahmenbeginn und -ende durch 01111110-Bytes

FCS:

- CRC-Checksumme

Header des Rahmens bei Frame Relay

Adresse

- Das Feld 'Adresse' setzt sich aus mehreren Bestandteilen zusammen:
 - *DLCI* (insgesamt 10 Bit). Kennzeichnet die virtuelle Verbindung. Nur lokal (d.h. auf dem jeweiligen physikalischen Medium zwischen zwei Geräten) eindeutig. Kommunikationspartner können daher unterschiedliche DLCIs für die gleiche virtuelle Verbindung haben.
 - *C/R*: Command/Response. Wird nicht verwendet.
 - *Extended Address (EA)*: jedes 8te Bit des Adressfeldes. Ist es auf 1 gesetzt, ist dies das letzte Byte, das zum Adressfeld gehört. Gängige Implementierungen nutzen zwei Byte zur Adressierung, allerdings können zwei weitere hinzugezogen werden, um mehr DLCIs zu realisieren.
 - *Congestion Control*: umfasst 3 Bits: FECN, BECN, DE. *DE* bedeutet *Discard Eligibility*. Kennzeichnet weniger wichtigen Verkehr, der bei Überlast verworfen werden kann. Es kann von der sendenden DTE gesetzt werden. Damit kann verhindert werden, dass kritische Daten zu früh verworfen werden. *FECN* (Forward-Explicit Congestion Notification) und *BECN* (Backward-Explicit Congestion Notification) dienen zur Erkennung von Überlast.