4 Lokale Netze (LANs)

4.1 Topologien für lokale Netze

4.2 Medienzugangskontrolle

4.3 ALOHA

4.4 CSMA/CD (Ethernet)

4.5 Token Ring

4.6 FDDI

4.7 Logical Link Control im LAN

4.8 Sternkoppler und LAN-Switching

Was ist ein LAN?

Ein LAN (Local Area Network) ist ein Netzwerk für bitserielle Übertragung von Informationen zwischen **unabhängigen**, untereinander verbundenen Stationen.

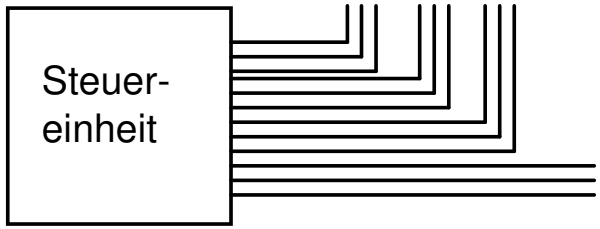
Es befindet sich rechtlich unter der Kontrolle des Benutzers und ist auf **den Bereich innerhalb der Grundstückgrenzen** beschränkt.

Merkmale eines lokalen Netzes

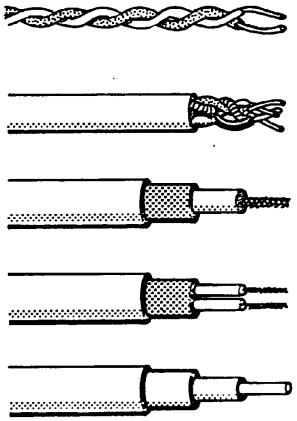
- Hohe Geschwindigkeit (10-100 MBit/s)
- Leichter, kostengünstiger Anschluß
- Keine Postregulierungen
- Anschluß unterschiedlicher Geräte
  - PCs
  - Workstations
  - Großrechner
  - Drucker und andere periphere Geräte
- Übergang auf Weitverkehrsnetze über Router und Gateways

Warum Lokale Netze?

Traditioneller Terminal-Anschluß: Hohe Leitungskonzentration, zentrale Rechnerkapazität



Unterschiedliche Medien



Verdrillte Leiter

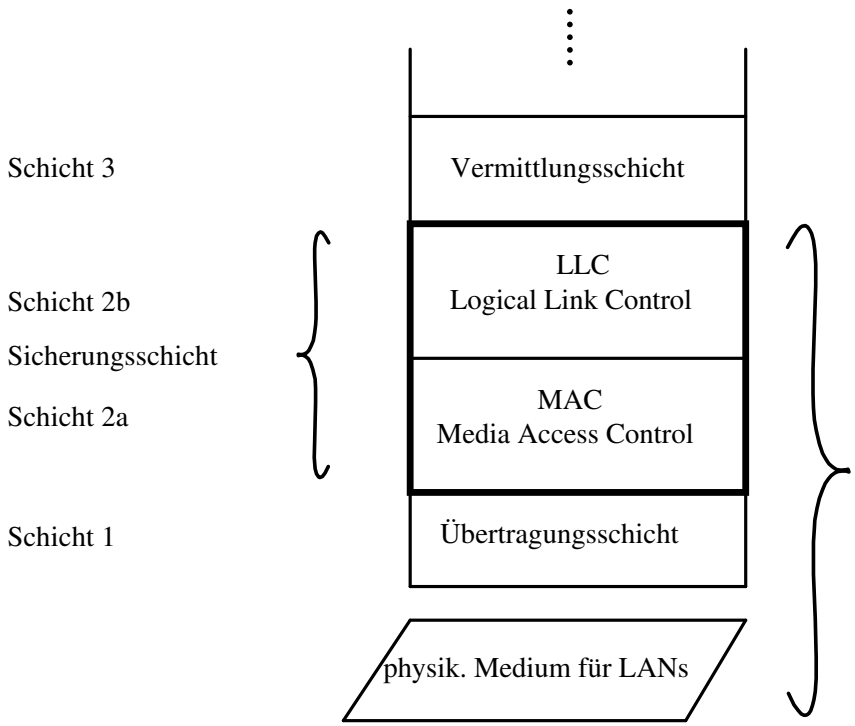
Abgeschirmte, mehrfach verdrillte Leiter

Koaxial-Kabel

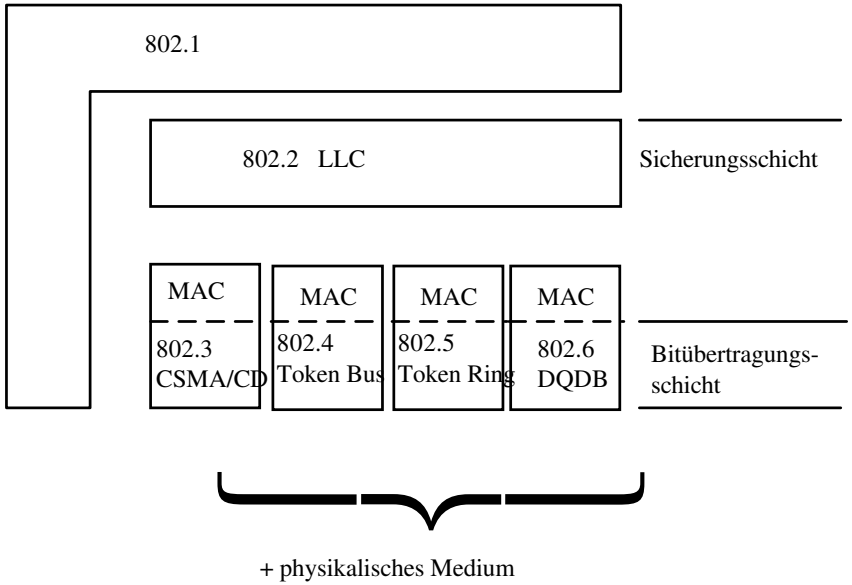
Twinax-Kabel

Glasfaserkabel

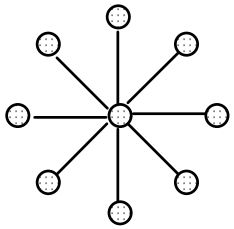
LANs im ISO-Referenzmodell



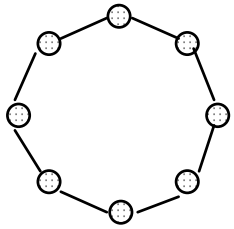
IEEE Standard 802



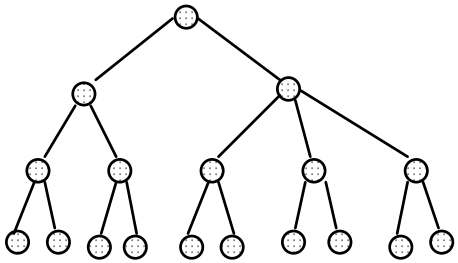
4.1 Topologien für lokale Netze



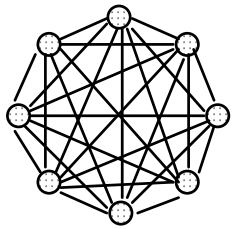
Stern



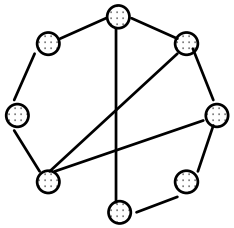
Ring



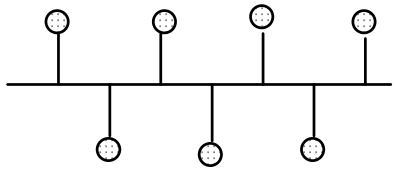
Baum



vollständig vermaschtes Netz



teilweise vermaschtes Netz



Bus

Punkt-zu-Punkt-Netze vs. Broadcast-Netze

Punkt-zu-Punkt-Netz

- Jeweils genau zwei Stationen sind physikalisch verbunden.
- Multicast und Broadcast erfordern die explizite Vervielfältigung der Nachricht in den Zwischenknoten.
- Im Weitverkehrsnetz, im teilweise vermaschten Graphen, muß eine explizite Wegewahl erfolgen, um einen bestimmten Empfänger zu erreichen.

Broadcast-Netz

- Mehrere Stationen teilen sich das physikalische Medium.
- Alle Stationen hören alle Nachrichten.
- Falls zwei Stationen gleichzeitig senden, werden beide Nachrichten verfälscht bzw. zerstört.
- Der Sender kann seine eigene Nachricht hören. Falls er genau das hört, was er gesendet hat, kann er annehmen, daß auch der Empfänger die Nachricht korrekt empfangen hat.
- Innerhalb eines LAN-Segments ist eine Wegewahl nicht erforderlich.

4.2 Medienzugangskontrolle

Medium Access Control (MAC)

Problem

- Broadcast-Medium
- Unabhängige Stationen

⇒ **Sendekollisionen**

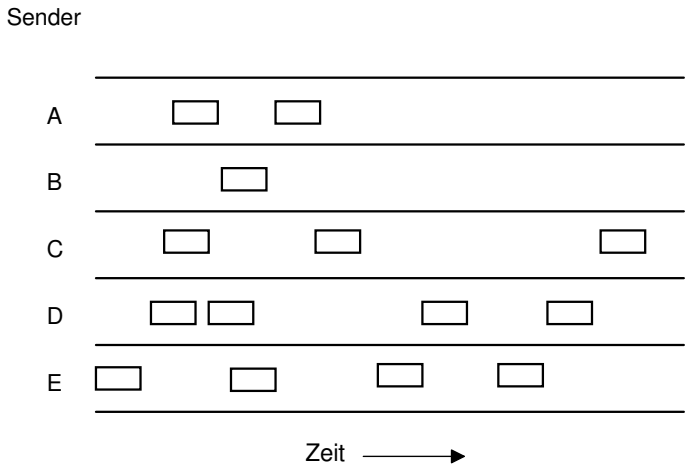
Lösung

- Medienzugangskontrolle
- Zwei Medienbelegungsprinzipien:

1. Kollisionsentdeckung
   Lasse Kollisionen stattfinden, entdecke sie, wiederhole Übertragung.
2. Kollisionsverhinderung
   Verwende ein zirkulierendes Token, um den Zugriff auf das Medium zu steuern.

4.3 ALOHA

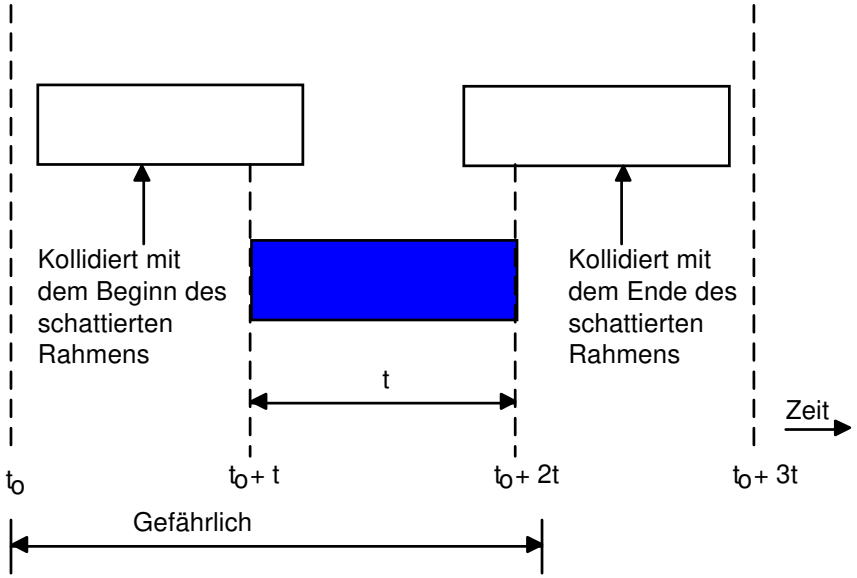
- Ein einfaches Protokoll zur Kollisionsentdeckung.
- Wurde beim "Packet Radio System" der Universität von Hawaii 1970 verwendet.
- Im reinen ALOHA werden die Rahmen zu willkürlichen Zeiten übertragen.



- Jede Station kann zu jeder Zeit senden. Falls der Sender eine Kollision entdeckt, wartet er eine durch Zufall bestimmte Zeitspanne und wiederholt die Übertragung.

Kollidierende ALOHA-Pakete

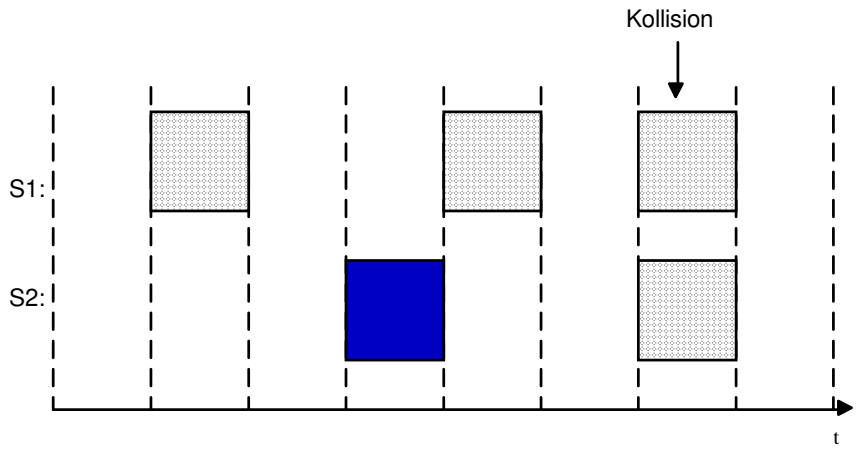
- Gefährliche Zeitspanne für den mittlerem Rahmen.



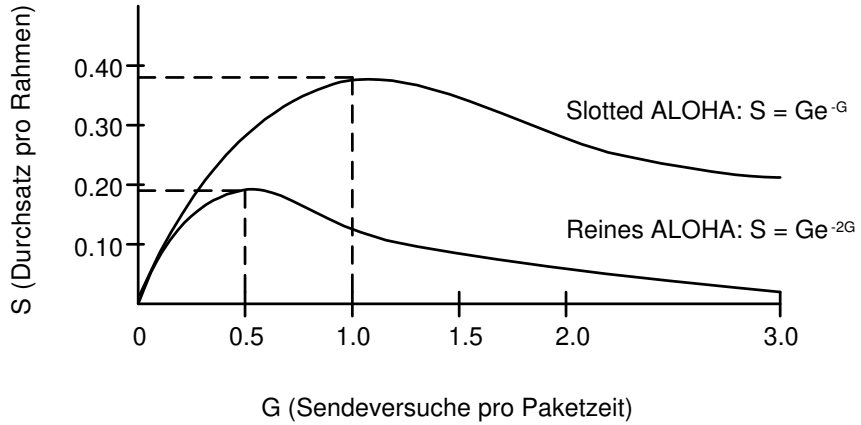
- Falls auch nur das erste Bit eines neuen Rahmens das letzte Bit eines fast beendeten Rahmens überschneidet, werden beide Rahmen total zerstört, und beide müssen später nochmals übermittelt werden. Eine Prüfsumme kann nicht (und sollte auch nicht) zwischen einem totalem und einem knappen Verlust unterscheiden. Knapp daneben ist auch vorbei!

Slotted ALOHA

- Die Zeit wird in einzelne Intervalle eingeteilt, die sogenannten Zeitschlitze (Slots). Jedes Intervall entspricht einem Rahmen. Die Übertragung erfolgt nur zu Beginn eines Zeitschlitzes. Kollisionen sind immer noch möglich.



Datendurchsatz bei ALOHA-Systemen



- Maximaler Durchsatz von reinem ALOHA:
  $\frac{1}{2e} \approx 0{,}18$ Pakete pro Zeitschlitz
- Maximaler Durchsatz von "slotted ALOHA":
  $\frac{1}{e} \approx 0{,}36$ Pakete pro Zeitschlitz

4.4 CSMA/CD (Ethernet)

Vielfach-Zugriffsverfahren: CSMA

Voraussetzung

Stationen können sich gegenseitig „hören“. Die Rahmen-Übertragungszeit muß sehr viel größer sein als die Laufzeitverzögerung zwischen den Stationen.

Verfahren

Carrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess (**CSMA**)
(auch **"l**isten **b**efore **t**alk" genannt)

Die sendewillige Station hört das Medium ab:

- Falls belegt, wird das Senden zurückgestellt
- Falls frei, wird mit dem Senden begonnen

Kollision

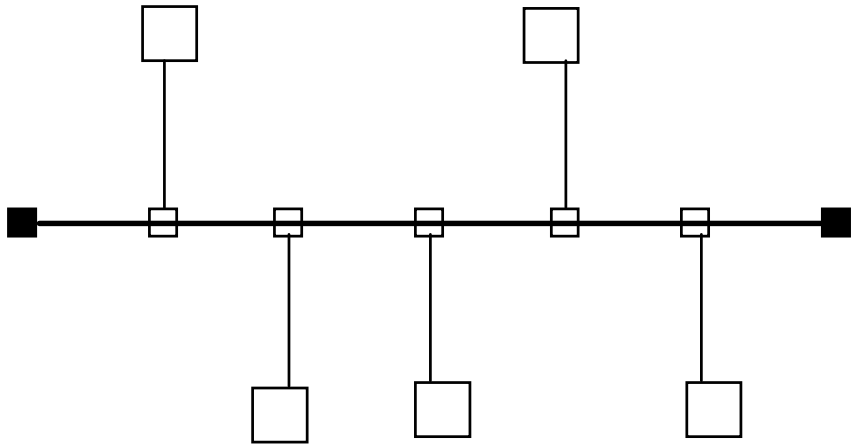
Beginnen zwei oder mehr Stationen **gleichzeitig** mit dem Senden, so tritt eine Kollision auf.

Erhöhte Kollisionsgefahr besteht nach Abschluß einer Übertragung: mehrere sendewillige wartende Stationen können bei der Feststellung „Medium frei“ gleichzeitig zu senden beginnen. Daher wird ein besonderer Algorithmus für das Sendebeginn-Verhalten nach Abschluß einer laufenden Sendung definiert (d.h. wenn das Medium vom Zustand "belegt" in den Zustand "frei" übergeht).

CSMA/CD: Topologie

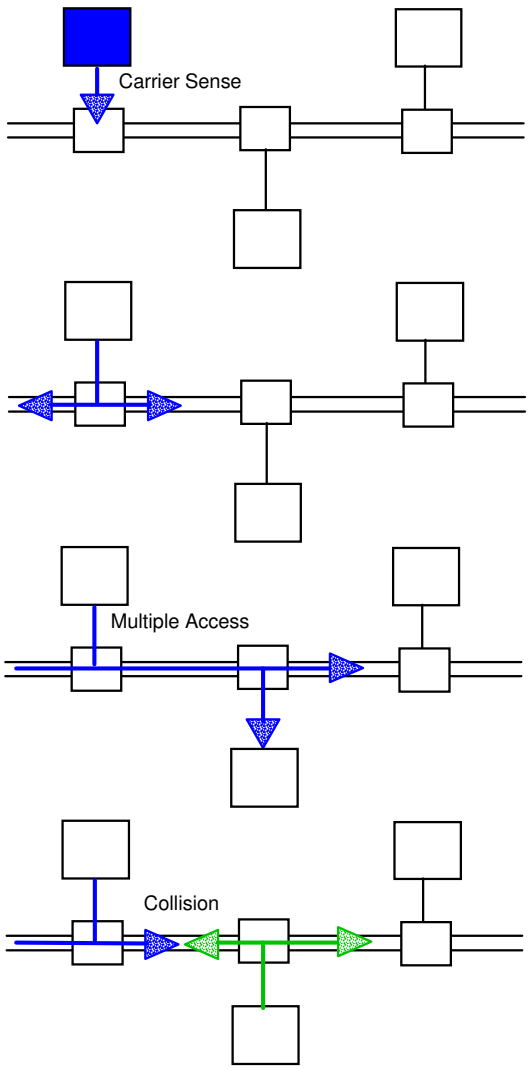
- CSMA/CD = **C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess **with Collision Detection**
- Standard: ISO IS 8802/3: MAC und Bitübertragungsschicht für CSMA/CD

Topologie: Bus



- Bidirektionaler Datenfluß
- Kurze Leitungsführung
- Busunterbrechung = Systemausfall
- Topologische Einschränkungen (Anschlußpositionen)

CSMA/CD: Protokoll



CSMA/CD: Wiederholungsstrategien bei belegtem Medium

- non-persistent
  Station wartet eine zufällig berechnete Zeitspanne ("backoff time") und startet dann einen neuen Übertragungsversuch.

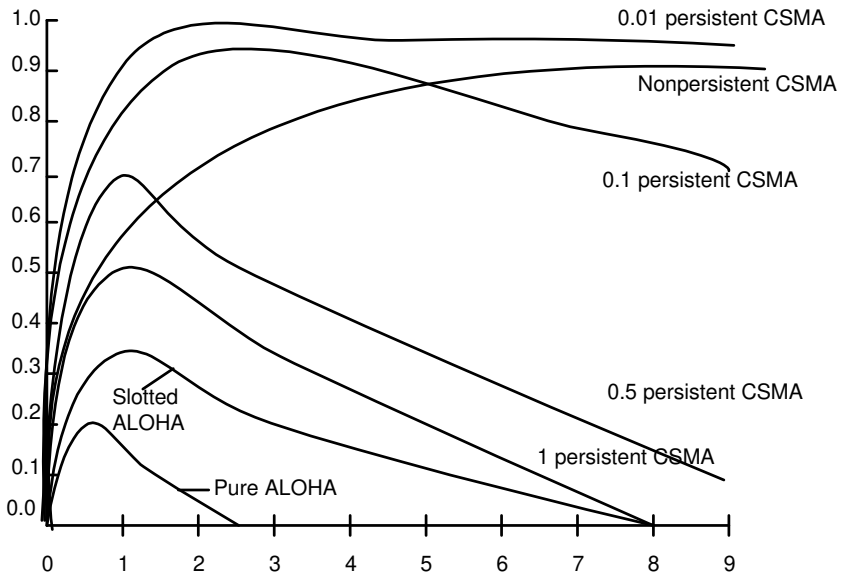
- 1-persistent
  Station hört das Medium ab und startet die eigene Übertragung sofort nach Abschluß der laufenden Übertragung (Sendewahrscheinlichkeit = 1)

- p-persistent ($0 < p < 1$)
  Station hört das Medium ab. Nach Ende der laufenden Übertragung sendet sie ihre Daten mit einer vorher festgelegten Wahrscheinlichkeit p oder wartet mit Wahrscheinlichkeit $1 - p$ eine festgelegte Zeitspanne.

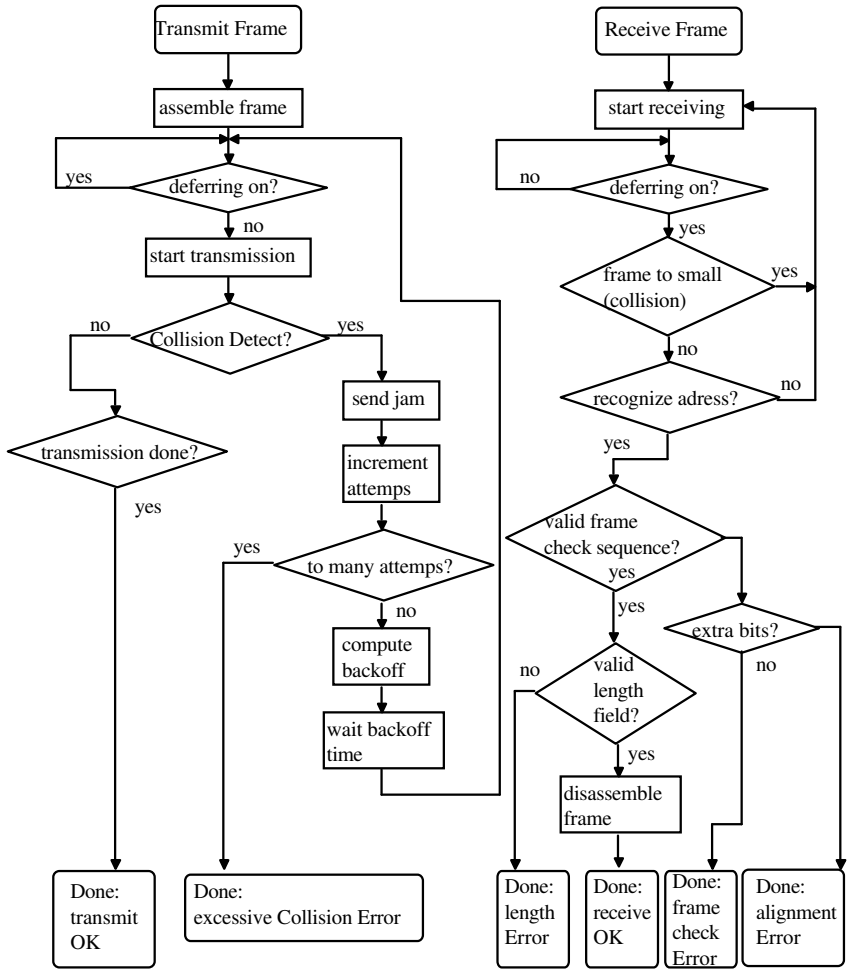
- Kompromiß
  - Minimierung der Anzahl Kollisionen
  - möglichst permanente Nutzung des Mediums

- IEEE/ISO CSMA/CD: 1-persistent

Ausnutzung der Kanalbandbreite bei steigender Last bei verschiedenen Wiederholungsstrategien



Funktion einer CSMA/CD Station



Frame Transmitter Process
(Invoking Media Access Transmit Frame Operation)

Frame Receiver Process
(Invoking Media Acess Receive Frame Operation)

CSMA/CD: Rahmenformat

Präambel	SD	DA	SA	INFO	FCS

Präambel = 7 Bytes
SD = Starting Delimiter (1 Byte)
DA = Destination Address (2 oder 6 Bytes)
SA = Source Address (2 oder 6 Bytes)
Info = n Bytes
FCS = Frame Check Sequence

CSMA/CD: Adreßfeldformat

Adreßformate nach IEEE 802

48 -Bit - Format

I/G	U/L	46 Bits Adresse

16 - Bit - Format

I/G	15 Bits Adresse

I/G = 0 individual address
I/G = 1 group address
U/L = 0 globally administered address
U/L = 1 locally administered address

Token Ring hat dasselbe Adreßformat!

CSMA/CD: Bitkodierung

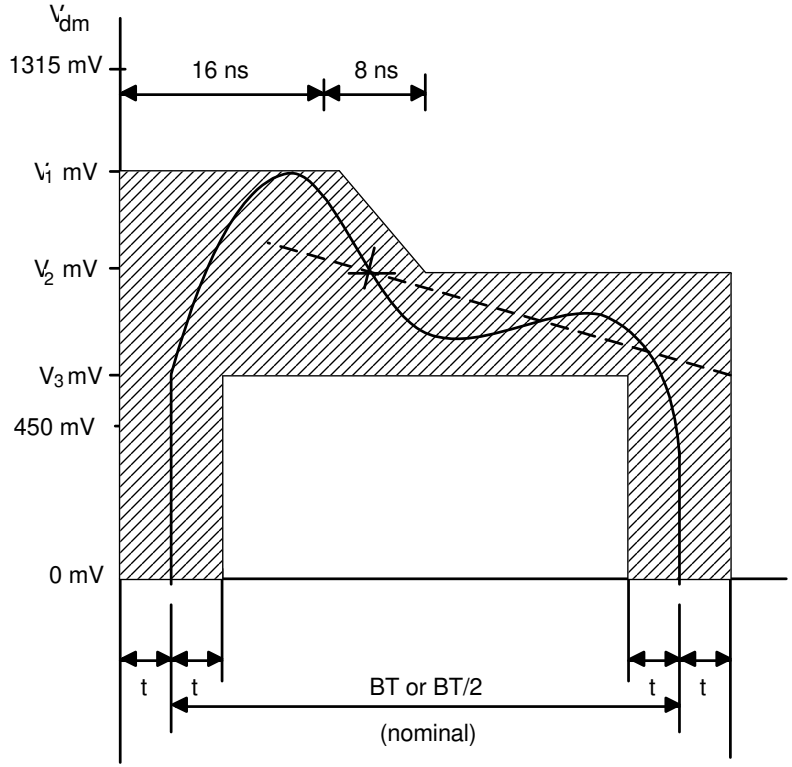
Die **Manchesterkodierung** ("Manchester Encoding") wird für die Datenübertragung auf dem Medium benutzt.

Die Manchesterkodierung ist ein binärer Leistungscode, **der Bitwert und Zeittakt in "Bitsymbolen" kombiniert**. Jedes Bitsymbol ist in zwei Hälften geteilt. In der Mitte jedes Bitssymbols findet ein Übergang statt. Während der ersten Hälfte des Bitsymbols ist das kodierte Signal das logische Komplement des kodierten Bitwertes. In der zweiten Hälfte des Bitsymbols entspricht das kodierte Signal dem Bitwert.

In anderen Worten: eine ansteigende Flanke in der Mitte des Zeitintervalls codiert eine 1, eine abfallende Flanke eine 0.

CSMA/CD: Bitübertragungsschicht

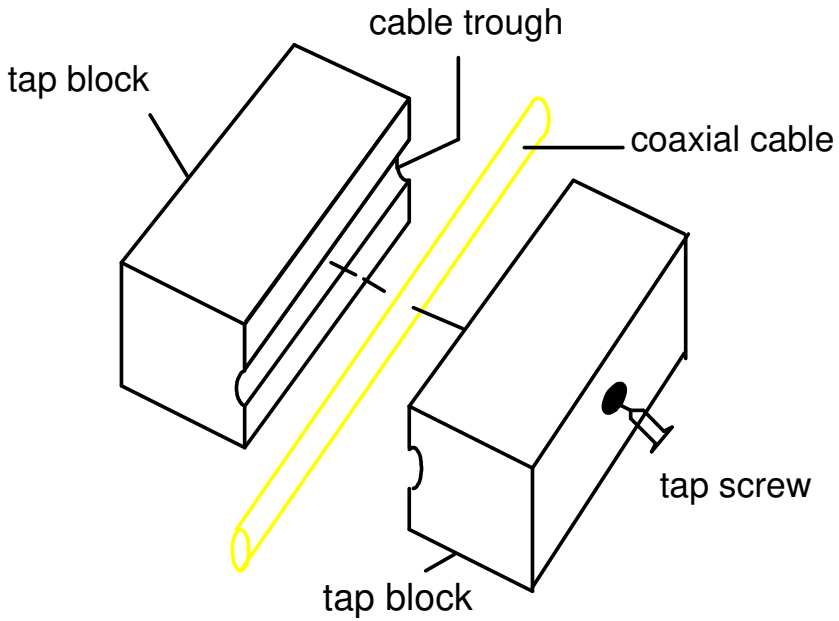
Toleranzgrenzen auf der physikalischen Ebene



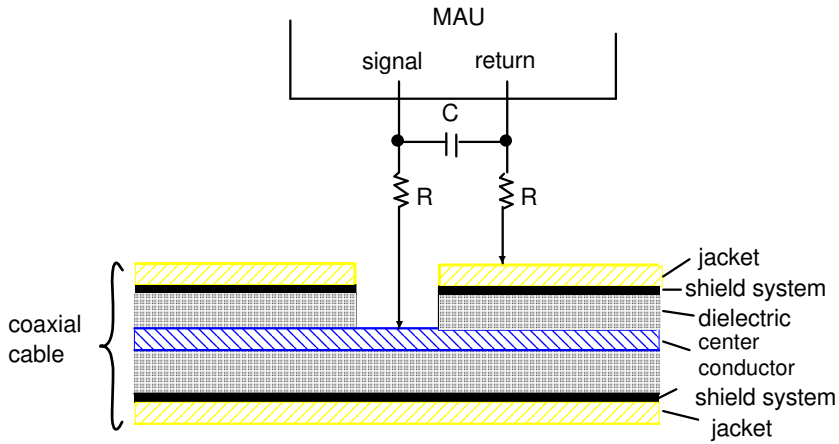
t = 2.5 ns AT 1-10 MHz data rates
V_2 = 0.89 V_1
V_3 = 0.82 V_2

CSMA/CD: Kabeltechnik

Frühe Technik: spezielles Koaxialkabel in Bus-Topologie im Kabelkanal. Nachträglicher Ausschluß am „gelben Kabel“ in jedem Büro möglich.



CSMA/CD: Bitübertragungsschicht



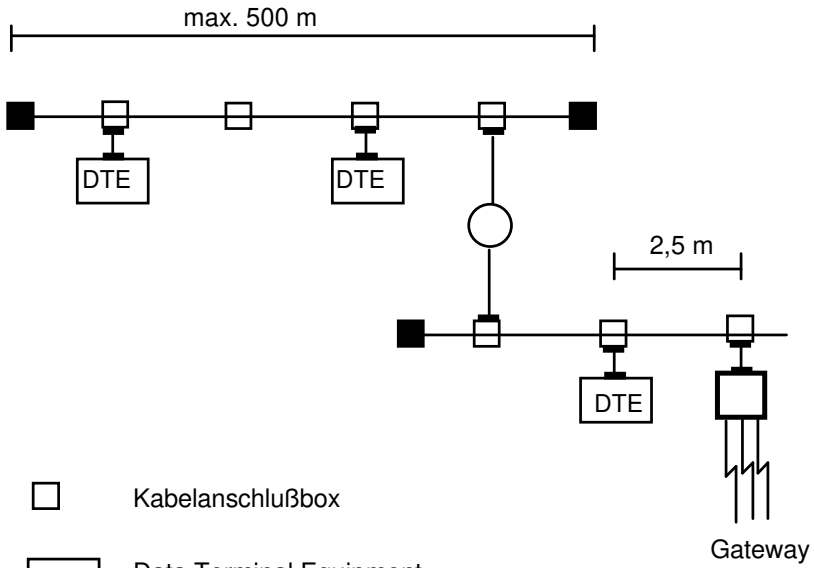
C = capacitive loading
R = contact resistance

Typical Coaxial Tap Connection Circuit

Vorteil: Man kann überall das Koaxialkabel anzapfen, auch nach der Installation.

Implementierung

Basisband-Bussystem mit 10 MB/s



Kabelanschlußbox

DTE — Data Terminal Equipment (Datenendeinrichtung)

Repeater

Kabelanschluß

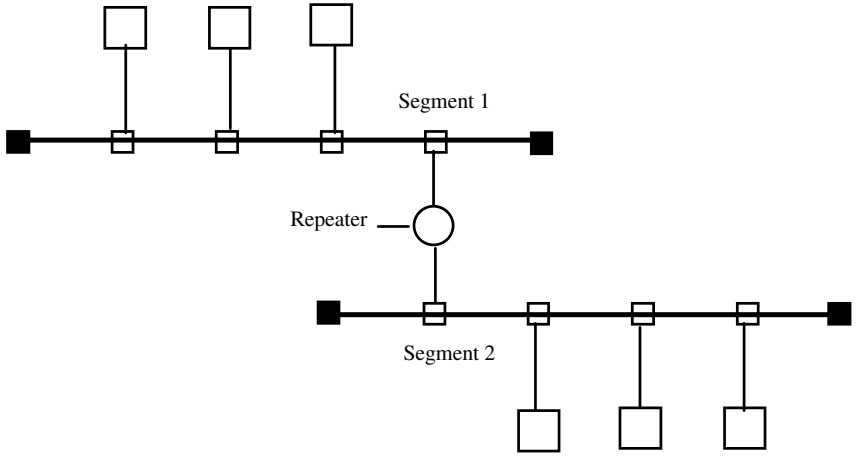
Spezifikationen

Koaxial-Kabel 50 Ω

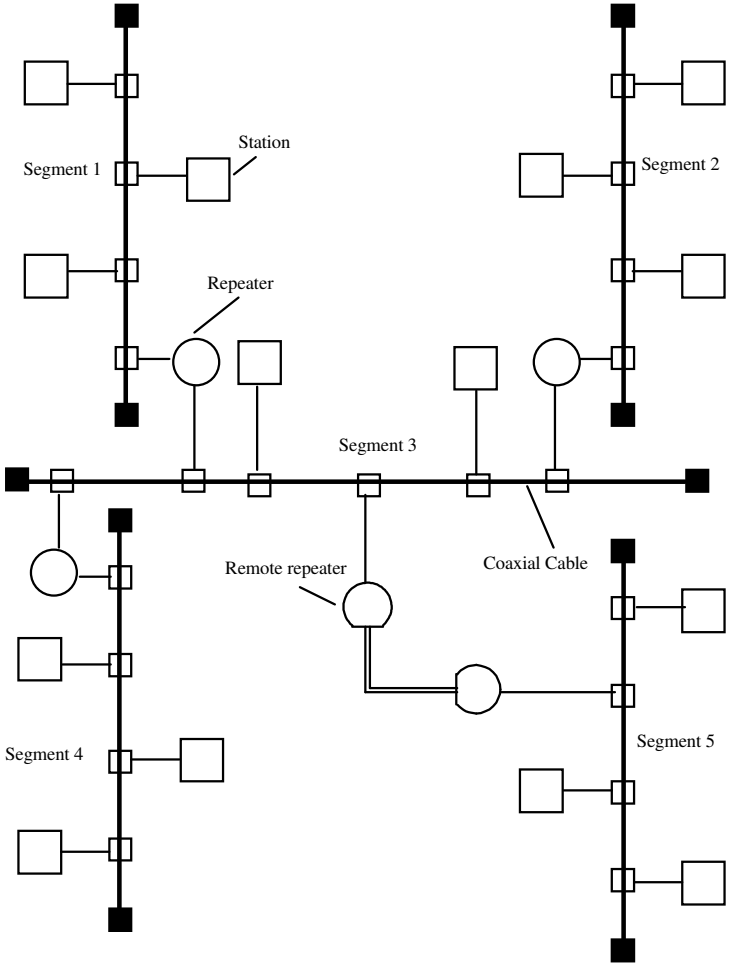
max. 100 Stationen pro Segment

max. 3 Segmente in Reihe (über Repeater)

Beispiel: Mittelgroße Konfiguration



Beispiel: Große Konfiguration



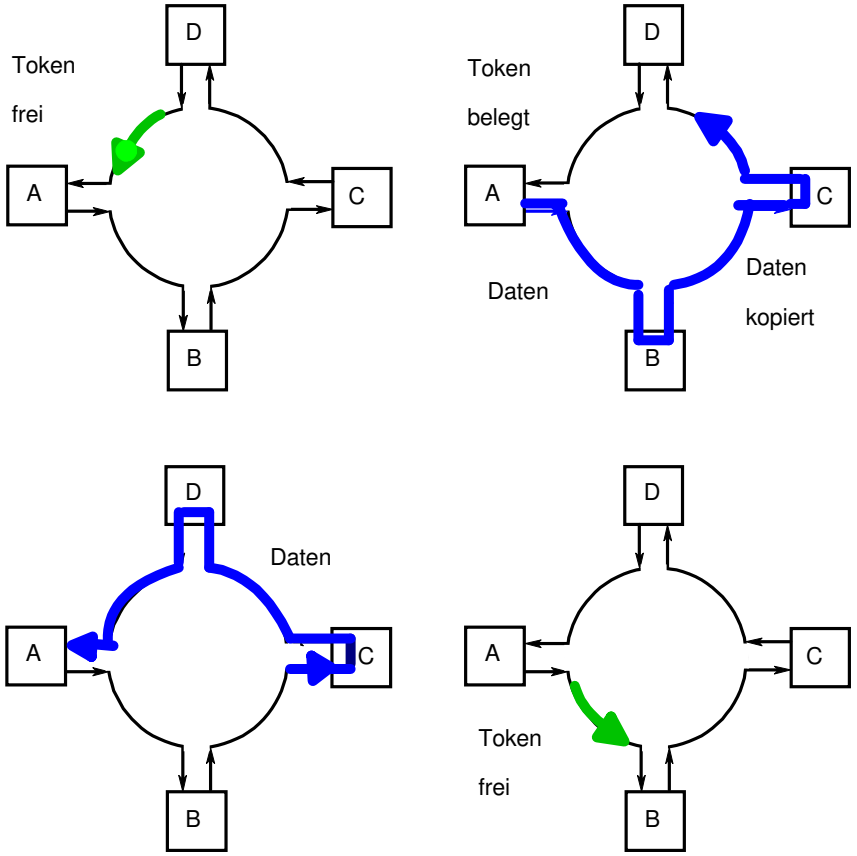
4.5 Token Ring

Standards

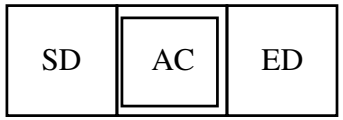
- IEEE 802.5
- ISO IS 8802/5

Hauptsächlich entwickelt im Hause IBM.

Token-Ring-Protokoll

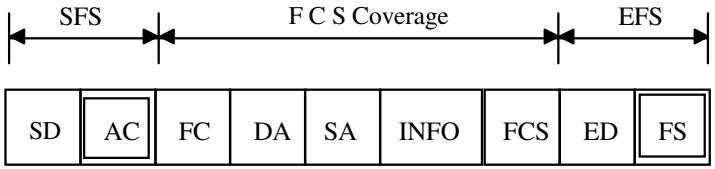


Token Ring: Token-Format



SD = Starting Delimiter (1 Byte)
AC = Access Control (1 Byte)
ED = Ending Delimiter (1 Byte)

Token Ring: Rahmenformat



SFS = Start-of-Frame Sequence
SD = Starting Delimiter (1 Byte)
AC = Access Control (1 Byte)
FC = Frame Control (1 Byte)
DA = Destination Address (2 or 6 Bytes)
SA = Source Address (2 or 6 Bytes)

INFO = Information (0 or more Bytes)
FCS = Frame-Check Sequence (4 Bytes)
EFS = End-of-Frame Sequence
ED = Ending Delimiter (1 Byte)
FS = Frame Status (Byte)

Token Ring: AC- und FS-Felder

Access Control (AC)

P P P	T	M	R R R

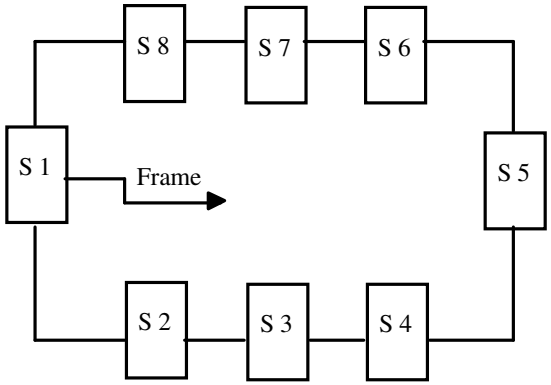
PPP = priority bits
T = token bit
M = monitor bit
RRR = reservation bits

Frame Status (FS)

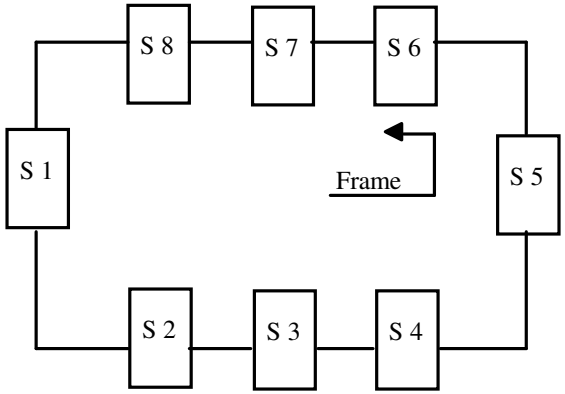
A C r r	A C r r

A = address-recognized bits
C = frame-copied bits
r = reserved bits

Token Ring: Prioritätsmechanismus (1)

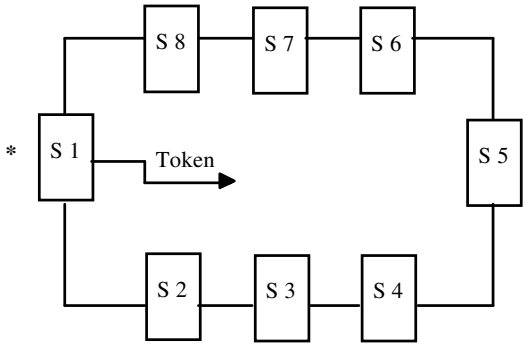


- Station S1 erhält das Token und überträgt ihren Rahmen mit normaler Priorität.

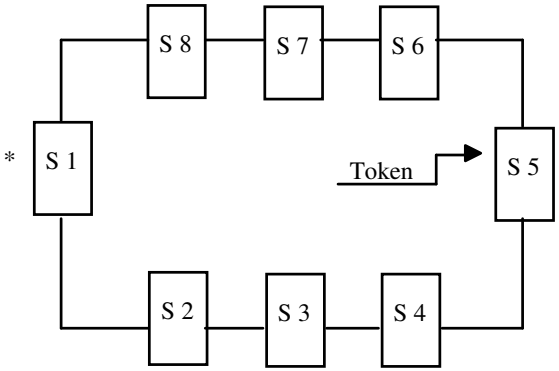


- S5 reserviert eine höhere Priorität im vorbeilaufenden Rahmen (RRR-Bits).

Token Ring: Prioritätsmechanismus (2)

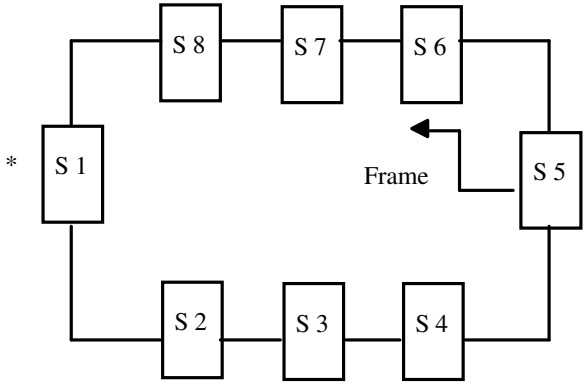


- S1 entfernt ihren Rahmen nach erfolgter Übertragung, erzeugt ein Token mit der von S5 reservierten Priorität und geht in den Zustand "priority-hold" über.

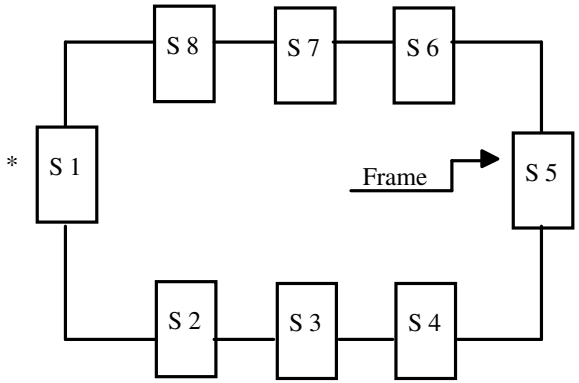


- S2, S3 und S4 haben keine Prioritätsrahmen, und das Token läuft weiter zu S5.

Token Ring: Prioritätsmechanismus (3)

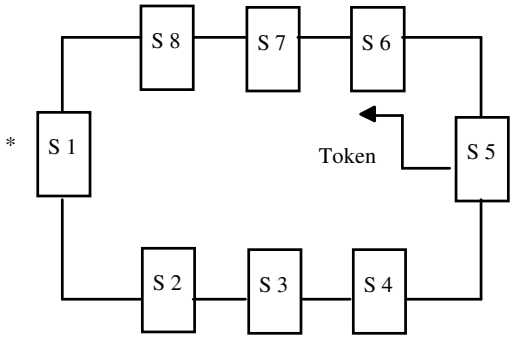


- S5 überträgt ihren Prioritäts-Rahmen.

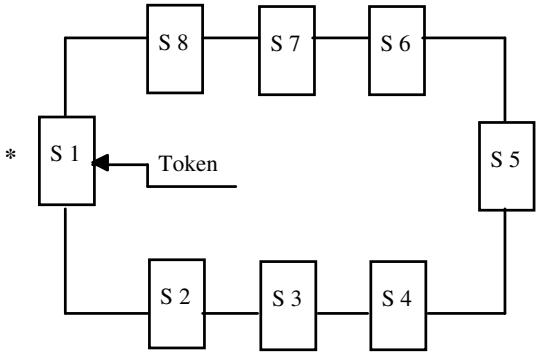


- Der Rahmen kommt zu S5 zurück.

Token Ring: Prioritätsmechanismus (4)

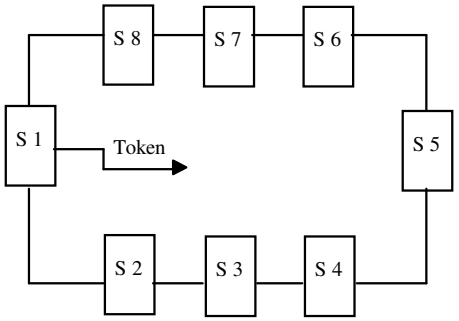


- S5 hat ihre Übertragung beendet und erzeugt ein Token mit der Priorität, die sie gerade benutzt hat (die höhere Priorität). S1, immer noch in "priority-hold", wartet auf ein Frei-Token mit dieser Priorität (die Priorität die S5 angefordert und S1 generiert hat).



- S1 empfängt das Frei-Token von S5 und erkennt die von ihr selbst erzeugte Priorität.

Token Ring: Prioritätsmechanismus (5)



- S1 verläßt den Zustand "priority-hold" (vorausgesetzt daß keine neue Prioritätsreservierung vorliegt) und erzeugt ein Token mit normaler Priorität. Falls S2 auf ein Token mit normaler Priorität wartet, kann sie jetzt mit der Übertragung beginnen.

Funktionen zur Fehlerkorrektur

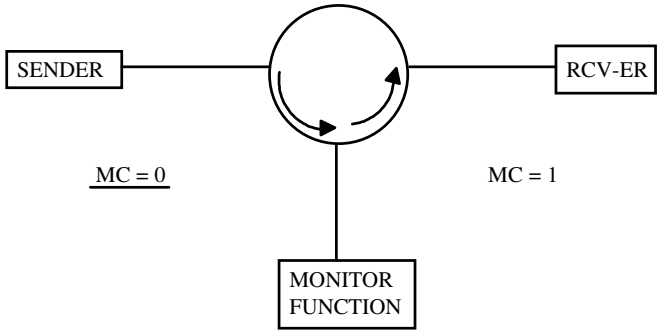
- Genau ein aktiver Monitor pro Ring zur effizienten Fehlerkorrektur.
- In jeder anderen Station ist ein Monitor in Bereitschaft, um größere Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu erreichen.
- Die Fehlerkorrekturfunktionen benutzen Verwaltungsrahmen ("management frames"):
  - Claim Token
  - Duplicate Address Test
  - Active Monitor Present
  - Standby Monitor Present
  - Beacon
  - Purge

Aktiver Monitor

Schützt vor den folgenden Fehlerbedingungen:

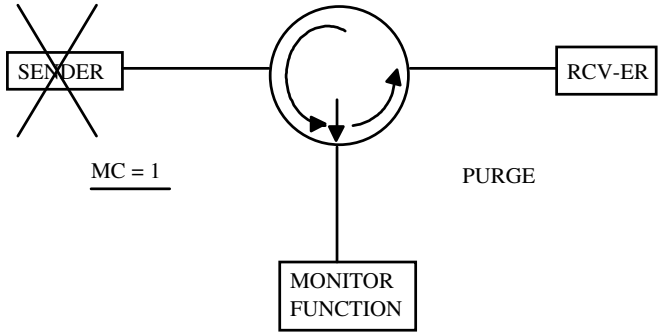
- Zirkulierender Rahmen
- Zirkulierendes Token mit hoher Priorität
- Verlorengegangenes Token
- Mehrere aktive Monitore

Zirkulierender Rahmen oder zirkulierendes Token mit hoher Priorität

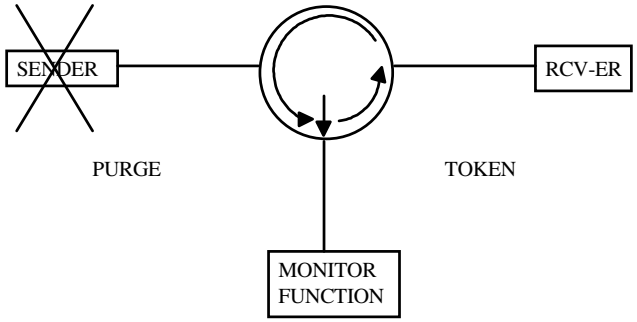


- Der Sender erzeugt einen Rahmen mit MC = 0
- Der Sender fällt aus
- Der aktive Monitor setzt das Monitorbit

Zirkulierender Rahmen (2)



Falls der aktive Monitor einen Rahmen mit MC = 1 sieht, löscht er alles auf dem Ring und initialisiert neu.



Nachdem der Ring neu initialisiert ist, erzeugt der aktive Monitor ein neues Token.

Verlorenes Token

- Der aktive Monitor benutzt einen Timer, um den Verlust eines Tokens oder eines Rahmens zu entdecken.
- Der Timer wird jedesmal neu gestartet, wenn ein Anfangsbegrenzer ("delimiter") wiederholt wird.
- Falls der Timer abläuft, löscht der aktive Monitor den Ring und erzeugt ein neues Token.

Mehrere aktive Monitore

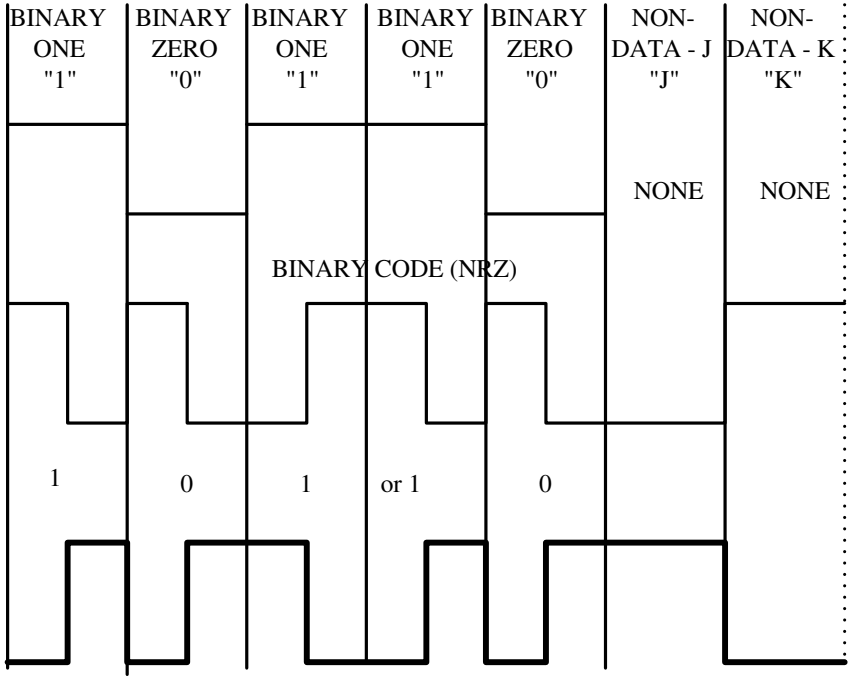
Ein aktiver Monitor zieht sich in die Bereitschaft ("stand-by") zurück, falls er einen

- Purge Frame oder
- Active Monitor Present Frame

empfängt, den er nicht selbst erzeugt hat.

Token Ring: Bitkodierung

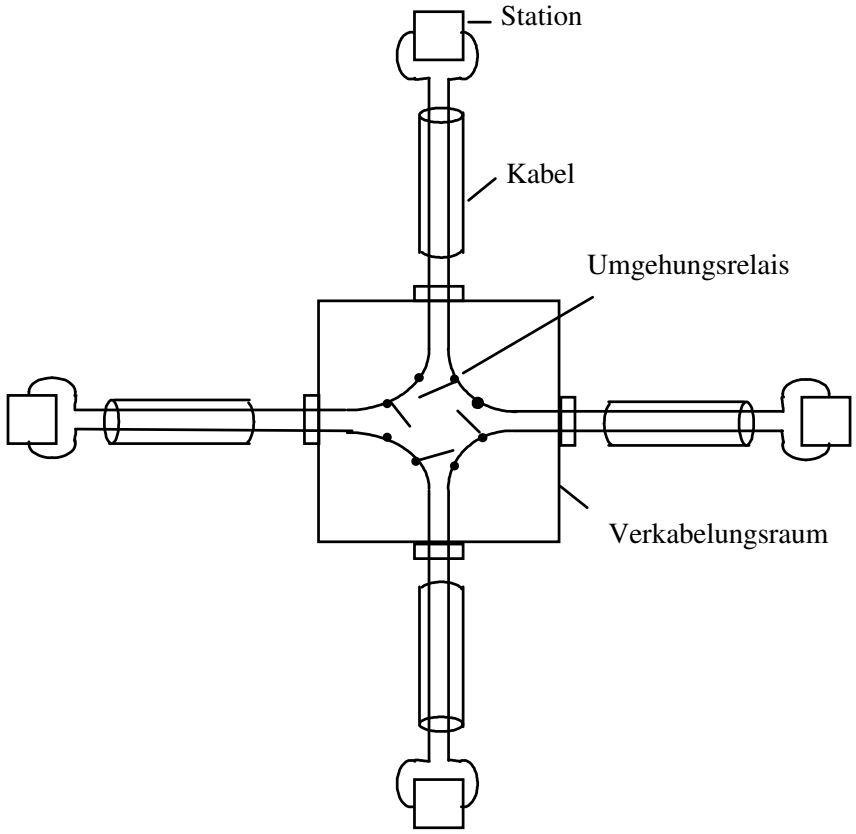
- Differential Manchester Encoding



0-Bit wechselt die Spannung am Anfang des Bitintervalls

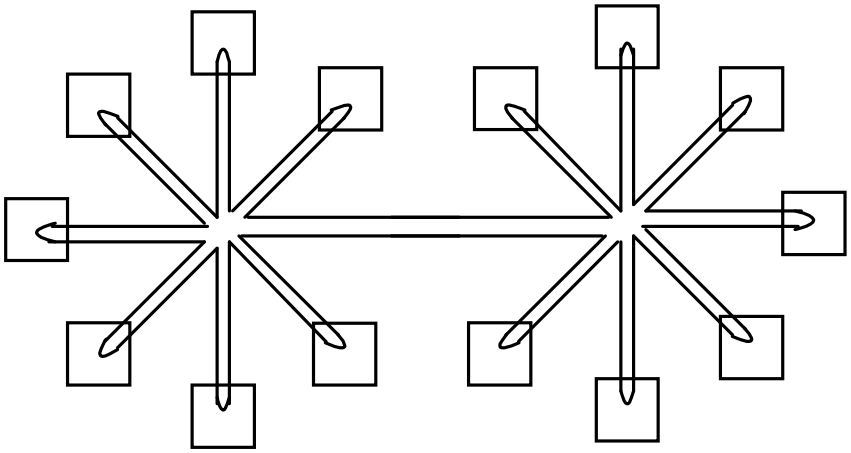
1-Bit behält den vorherigen Spannungspegel am Anfang des Bitintervalls bei

Sterntopologie für den Token Ring



Strukturierte Verkabelung

Möglichkeiten einer Ringverkabelung

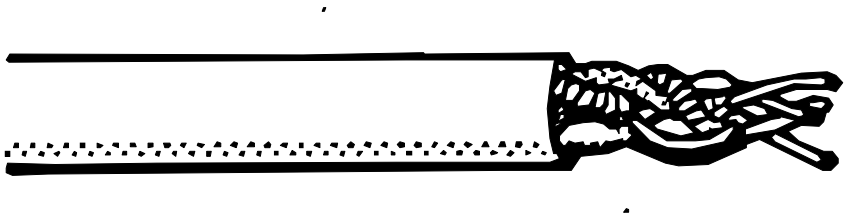


Logischer Ring **Physischer Stern**

Einheitliche Kabel

Beispiel: IBM-Verkabelungssystem

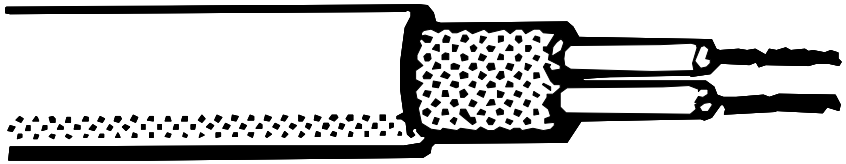
- Zwei verdrillte Kupferdoppeladern (Kupferdraht) mit Abschirmung



- Farbcodiert
- 3 Versionen
  - Standard
  - teflonummantelt
  - Außenkabel, wetterfest

Einheitliche Kabel

- Kabel mit zwei optischen Leitern



- für Innenraumsystem oder als Außenkabel (Erd- oder Freiluftkabel)

- Einsatzmöglichkeiten
  - Verbindungskabel zwischen Konzentrationspunkten
  - außerhalb von Gebäuden

Merkmale des Token Ring LANs

- Erlaubt die strukturierte Verkabelung von Gebäuden
- Fehlerhafte Stationen können isoliert und aus dem Ring ausgeschlossen werden, insbesondere bei sternförmiger Verkabelung
- Neugenerierung der Rechteckimpulse in jeder Station. Dadurch wenig rauschempfindlich. Große Ringe mit vielen Stationen möglich.
- Natürliche Anwendung für Glasfaser

4.6 FDDI

Fiber Distributed Data Interface

Motivation

- Netzwerktechnik folgt Leistungssteigerungen in der Rechnertechnologie
- Sprung von der 4-16 Mbit/s-Geschwindigkeitsklasse (mittelschnelle LANs) auf die 100 Mbit/s-Klasse
- größere räumliche Ausdehnung (100 km)
- große Anzahl an Stationen (500)

Topologie und physikalisches Medium

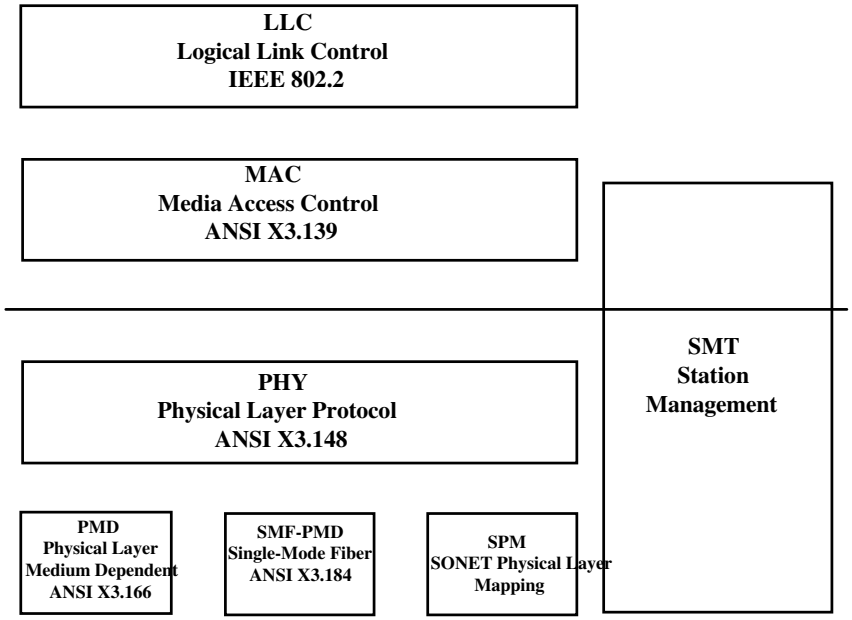
- Topologie: Doppelring
- Gradientenfaser oder Monomode-Faser
- Leuchtdioden, Wellenlänge 1300 nm
- Stecker mit zwei Glasfasern

FDDI

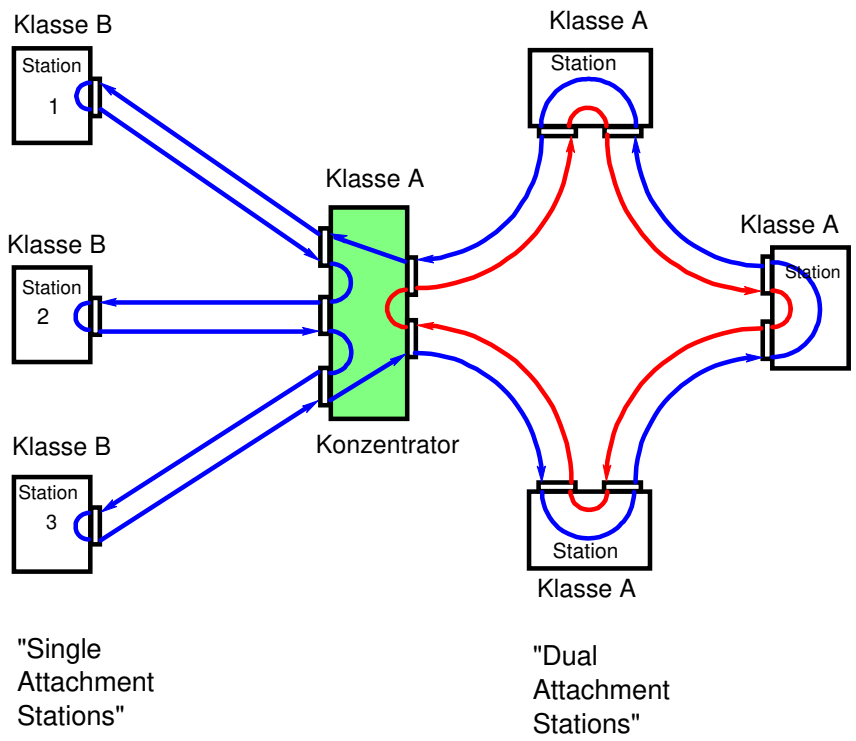
Eigenschaften

- Topologie:
  - Doppelter Ring
  - maximale Länge der Faser: 200km
  - Umfang des Doppelrings: 100km
  - maximale Anzahl der Stationen: 500
- Medium Access Control: Token mit Zeitlimit
- Datenrate: 100 Mbit/s
- Standard bei ANSI und ISO

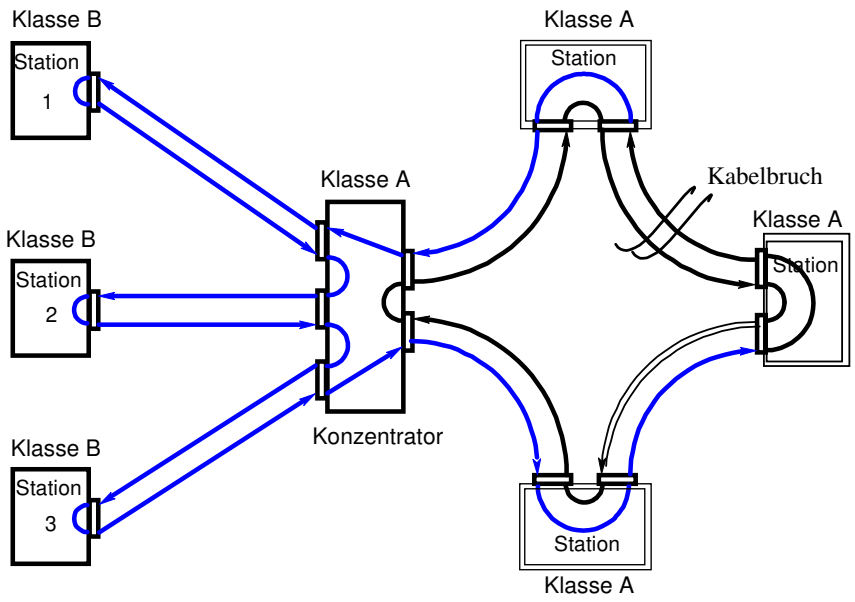
FDDI: Die einzelnen Standards



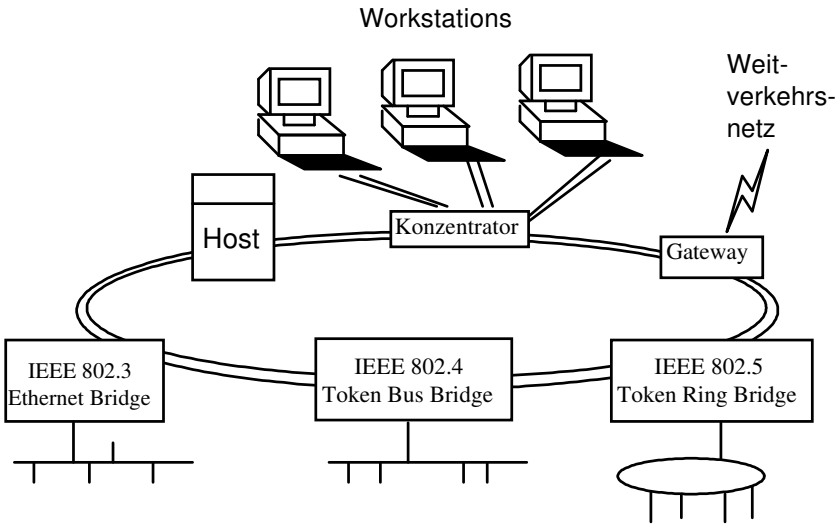
FDDI - Topologie



Fehlertoleranz durch Doppelring



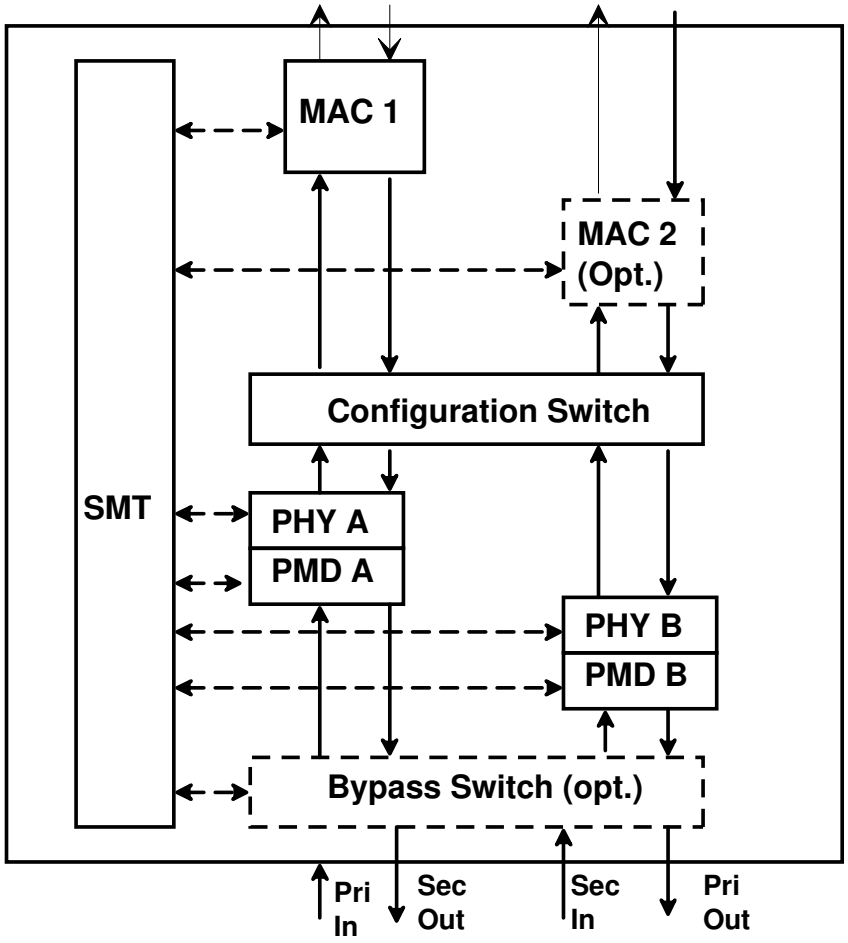
Typische FDDI-Konfiguration



FDDI - DAS

Dual Attachment Station (DAS)

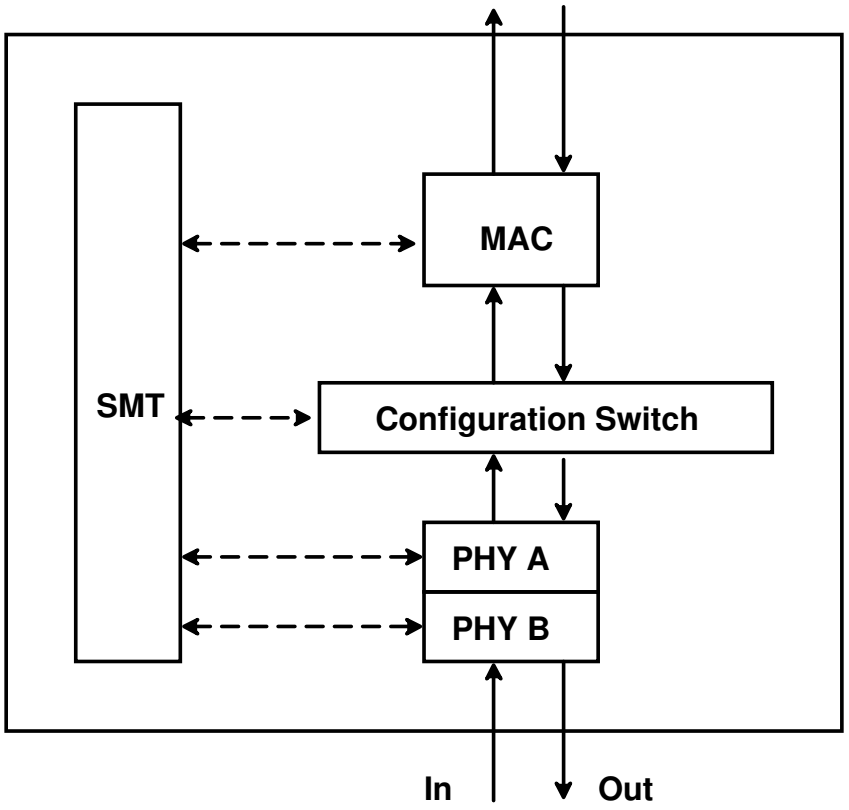
Eine Station am Doppelring (fehlertolerant)



FDDI - SAS

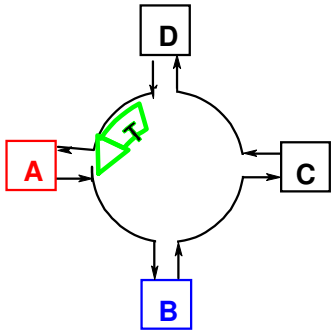
Single Attachment Station (SAS)

Eine Station am Einzelring (nicht fehlertolerant)

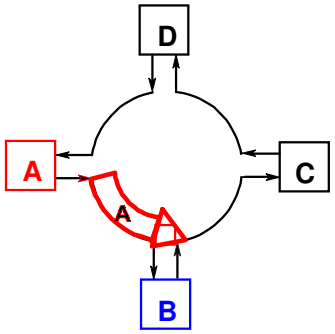


Zugangsprotokoll zum Medium (1)

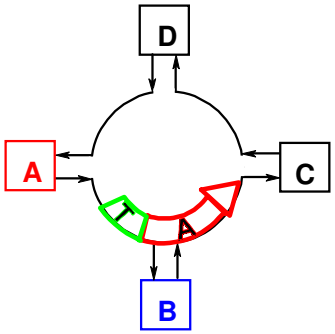
Token Passing mit "Early Token Release"



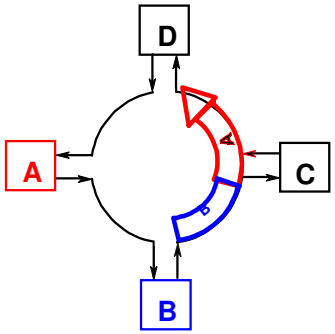
1. A wartet auf Token



2. A ergreift Token und überträgt Rahmen A

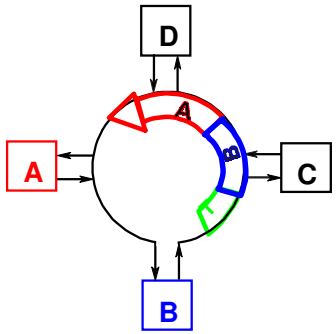


3. A hängt Frei-Token an

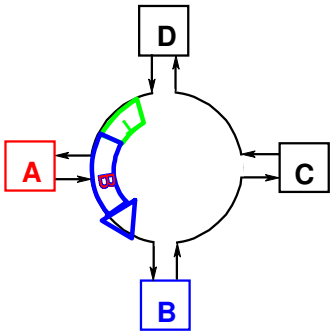


4. B ergreift Token und überträgt Rahmen B

Zugangsprotokoll zum Medium (2)

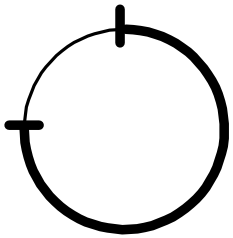


5. B hängt Frei-Token an,
   C kopiert Rahmen B,
   D kopiert Rahmen A

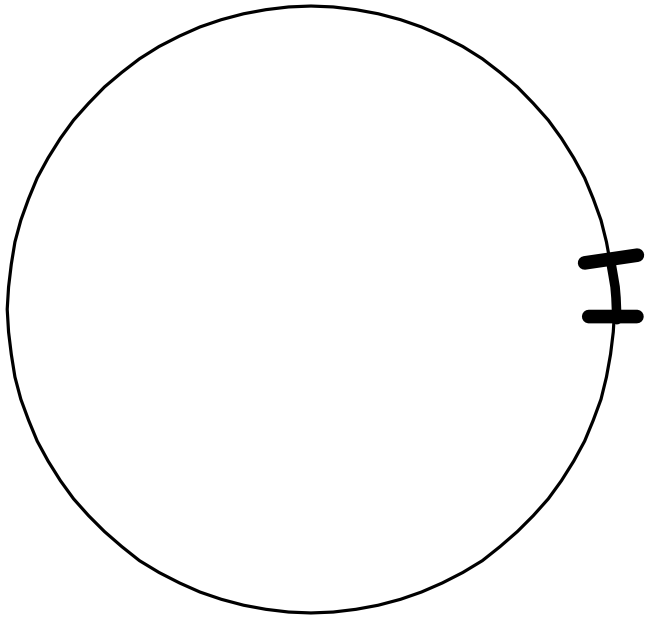


6. A entfernt Rahmen A usw.

Motivation für "Early Token Release"



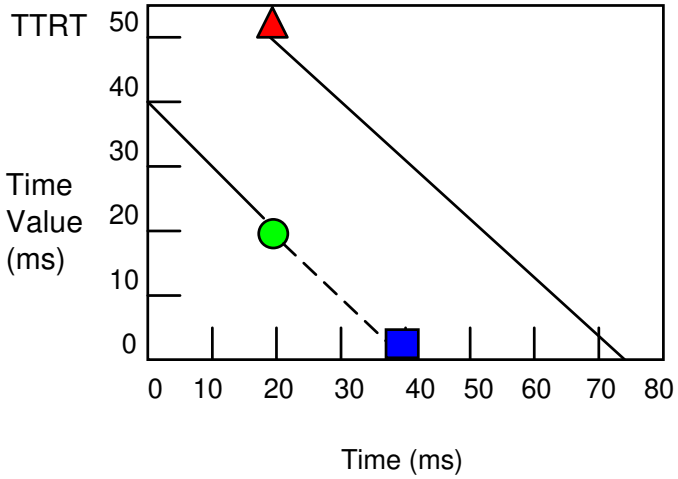
a) ISO 8802.5 Token Ring
4 MBIT/s, 100 m lang



b) FDDI
100 MBit/s, 100 km lang

Netzzugangsprotokoll: Token mit Zeitlimit

- Bei der Initialisierung des Rings wird eine maximale Rotationszeit für das Token vereinbart (TTRT = Target Token Rotation Time)
- Bei Eintreffen des Tokens darf eine Station senden, bis TTRT erreicht ist



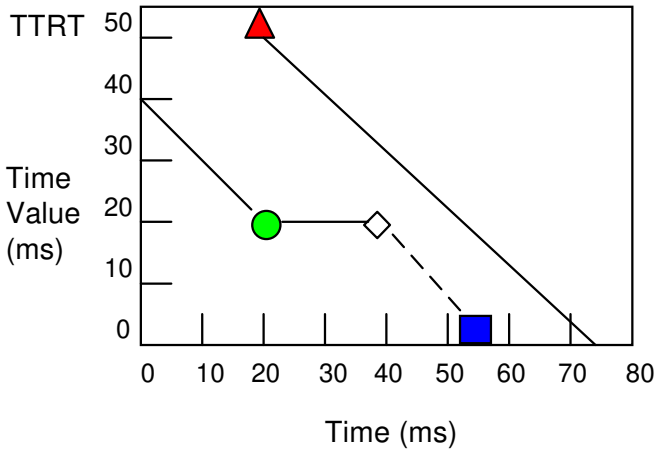
Token trifft ein, setze THT := TRT

TRT timer auf TTRT setzen

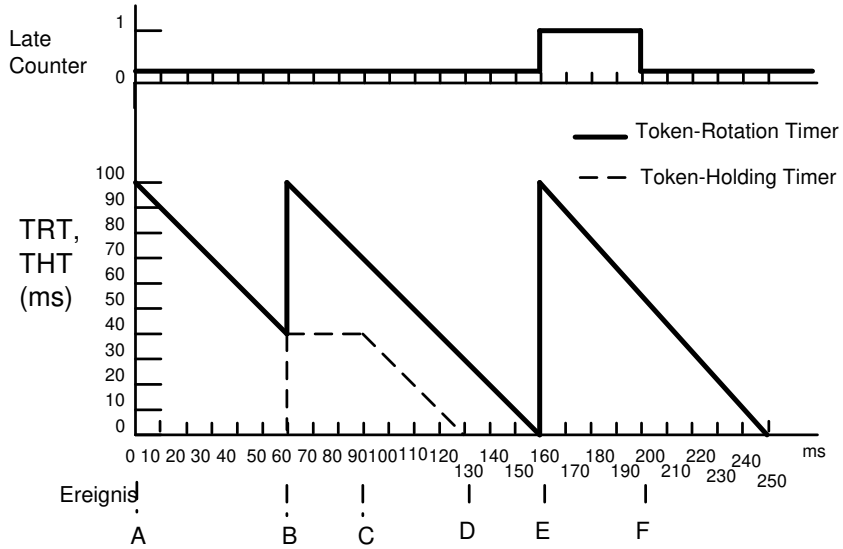
Token wird freigegeben

Vorab-Zuordnung von synchroner Bandbreite

- Garantiert eine Mindestsendezeit pro Rotation des Tokens und damit eine Mindestbandbreite pro Station
- Aber: die Rotationszeit variiert je nach Sendevolumen anderer Stationen
  ⇒ **synchrone**, aber **nicht isochrone** Übertragung



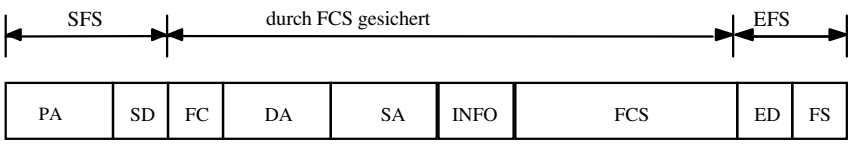
Netzzugangsprotokoll: Token mit Zeitlimit



A) Token trifft ein - "Aufziehen" des TRT-Timers
B) Token wird festgehalten - synchrone Übertragung beginnt
C) asynchrone Übertragung beginnt
D) Ablauf der Zeitschranke, Token wird generiert
E) TRT abgelaufen - "late counter" gesetzt
F) Token trifft ein. Asynchrones Senden verboten. "late counter" wird gelöscht, TR Timer akkumuliert die Verspätung

Im Beispiel: TTRT = 100 ms
Reservierung für synchrone Zeit: 20 ms

FDDI: Rahmenformat



SFS = Start-of-Frame Sequenz
- PA = Präambel (8 oder mehr Bytes)
- SD = Starting Delimiter (1 Byte)

FC = Frame Control (1 Byte)
DA = Destination Address (2 oder 6 Bytes)
SA = Source Address (2 oder 6 Bytes)
INFO = Information (0 oder mehr Bytes)
FCS = Frame-Check Sequenz (4 Bytes)
EFS = End-of-Frame Sequenz
- ED = Ending Delimiter (1 Byte)
- FS = Frame Status (12 Bits = 3 Symbole)

FDDI: Bitcodierung

4B/5B-Symbolcodierung

- 4 Datenbits werden in 5 Codebits übertragen
- 125 Mbaud
- 80% Effizienz
- zum Vergleich: Manchester-Code hat 50% Effizienz

Bitcodierung: Non-Return to Zero / Invert on Ones (NRZI)

- 1-Bit: Pegelwechsel; 0-Bit: kein Pegelwechsel
- Diese Bitcodierung in Verbindung mit der 4B/5B-Symbolcodierung stellt sicher, daß im Impulsstrom maximal drei Bitzeiten ohne Pegelwechsel vorkommen
- ⇒ Die Synchronisation bleibt gewährleistet, wenn die Uhren des Senders und des Empfängers mindestens drei Taktzeiten lang hinreichend gleich laufen!

4B/5B Symboltabelle (1)

DECIMAL	CODE GROUP	SYMBOL	NAME	ASSIGNMENT
00	00000	Q	QUIET	LINE STATE SYMBOL
31	11111	I	IDLE	“
04	00100	H	HALT	“
24	11000	J		STARTING DELIMITER
17	10001	K		“
05	00101	L		“
13	01101	T		ENDING DELIMITER
07	00111	R	RESET	CONTROL INDICATOR
25	11001	S	SET	“
30	11110	0		DATA 0000
09	01001	1		0001
20	10100	2		0010
21	10101	3		0011
10	01010	4		0100
11	01011	5		0101
14	01110	6		0110
15	01111	7		0111
18	10010	8		1000
19	10011	9		1001

4B/5B Symboltabelle (2)

22	10110	A		1010
23	10111	B		1011
26	11010	C		1100
27	11011	D		1101
28	11100	E		1110
29	11101	F		1111
01	00001	V	VIOLA-TION	NOT TRANSMITTED
02	00010	V	“	NOT TRANSMITTED
03	00011	V	“	NOT TRANSMITTED
06	00110	V	“	NOT TRANSMITTED
08	01000	V	“	NOT TRANSMITTED
12	01100	V	“	NOT TRANSMITTEL
16	10000	V	“	NOT TRANSMITTED

Glasfaserkabel für FDDI

Multimode-Faser (Gradientenfaser)

- 2 Kilometer maximale Länge zwischen zwei Stationen
- 62,5 µ Multimode - Faser
- LED - Sender (1300 nm Wellenlänge)
- 11 dB Dämpfung pro Link

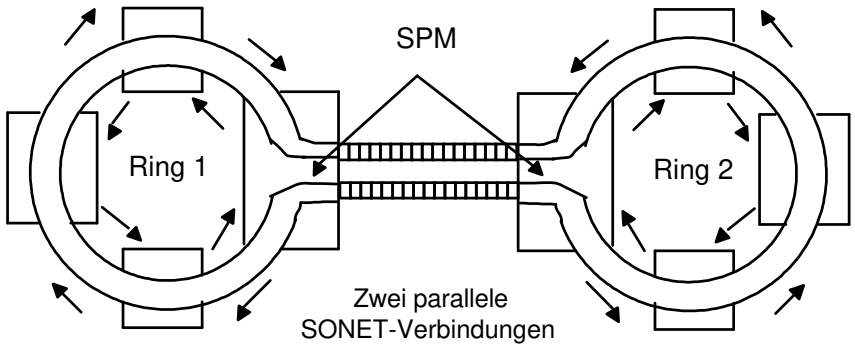
Monomode-Faser

- 50 Kilometer maximale Länge zwischen zwei Stationen
- 9 µ Monomode - Faser
- LASER - Sender (1300 nm Wellenlänge)
- 32 dB Dämpfung pro Link

SONET (Synchronous Optical Network)

- keine Höchstlänge zwischen zwei Stationen
- Ringumfang maximal 100 km muß weiter gelten wegen der Timer
- Verwendung des öffentlichen Trägernetzes SONET statt einer privaten Glasfaserstrecke

SONET als Bitübertragungsschicht



- Verbindung von zwei FDDI-LANs über SONET-Links
- Genutzte SONET-Bandbreite: 100 von 156 MBit/s

Zusammenfassung der Charakteristika

CSMA/CD

- Sehr gute Performance bei geringer bis mäßiger Belastung
- Einfaches Protokoll, leicht implementierbar
- Topologische Einschränkungen bei der Bus-Topologie
- Keine Prioritätssteuerung
- Keine maximale Verzögerung garantierbar

Token Ring

- Hohe Systemausnutzung
- Fehlerbehebung ("Token Recovery") aufwendig
- Flexible Verkabelung
- Prioritäten möglich
- Maximale Verzögerung garantierbar (außer beim Auftreten von Fehlern)

FDDI

- Eine schnelle Variante des Token Rings
- Kombiniert synchronen und asynchronen Verkehr auf demselben Medium

4.7 Logical Link Control im LAN

Die Sicherungsschicht in den LANs

Identisch für CSMA/CD, Token Ring, Token Bus, FDDI

LLC Typ 1: Unbestätigter verbindungsloser Dienst

- Unbestätigte Übertragung von Datenrahmen
- Höhere Schichten sind für die Erhaltung der Reihenfolge, Fehlerbehebung und Flußsteuerung verantwortlich

LLC Typ 2: Verbindungsorientierter Dienst (wie HDLC)

- Verbindungsauf- und abbau
- Datenübertragung mit Bestätigung
- Garantierte Ablieferung beim Empfänger
- Garantierte Reihenfolge der Rahmen
- Flußsteuerung

Logical Link Control (2)

LLC Typ 3: Bestätigter verbindungsloser Dienst

- Auf jedes Datagramm kann genau eine Bestätigung folgen
- Anwendung in der Fertigungssteuerung