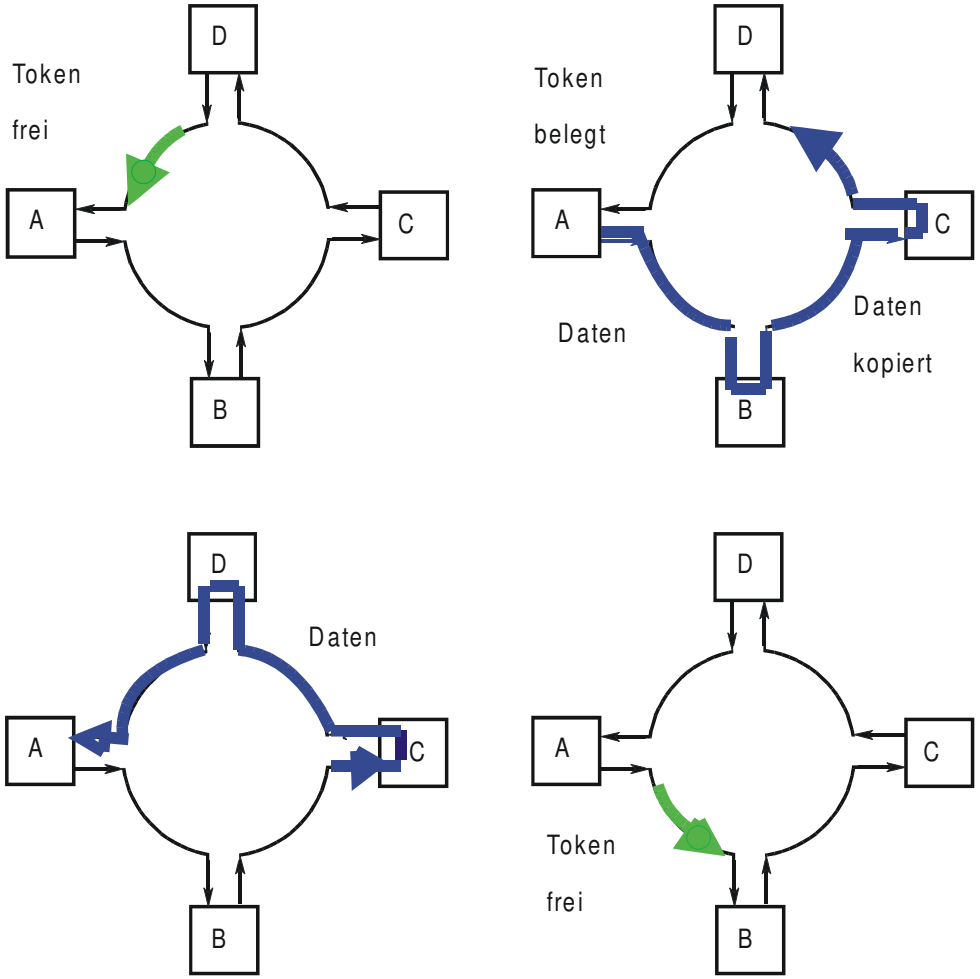
4.5 Token Ring

Standards

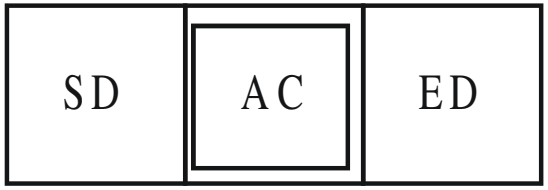
- IEEE 802.5
- ISO IS 8802/5

Hauptsächlich entwickelt im Hause IBM, ca. 1984 - 1992.

Medienzugriffsprotokoll des Token-Rings

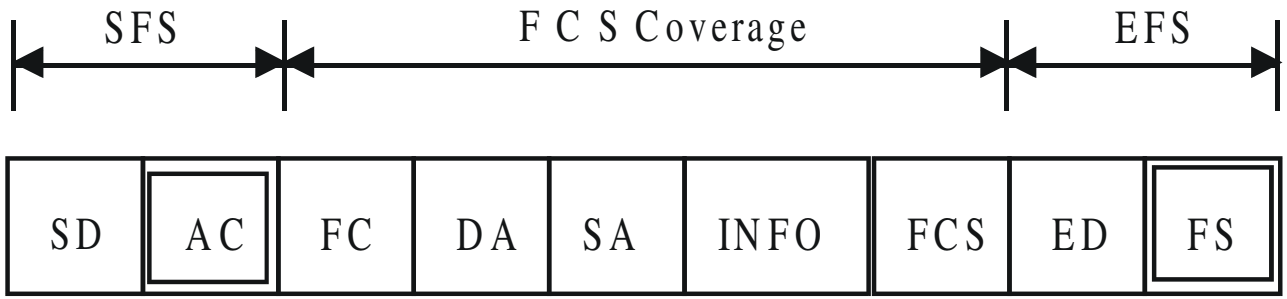


Token Ring: Format des Tokens



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

Token Ring: Format des Datenrahmens

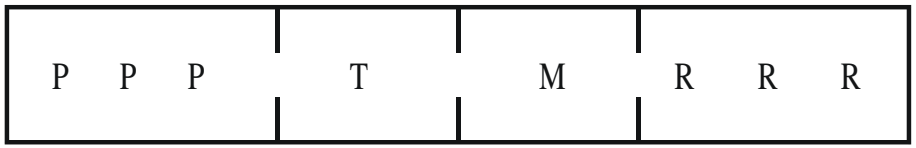


SFS = Start-of-Frame Sequence
SD = Starting Delimiter (1 Byte)
AC = Access Control (1 Byte)
FC = Frame Control (1 Byte)
DA = Destination Address (2 or 6 Bytes)
SA = Source Address (2 or 6 Bytes)

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)

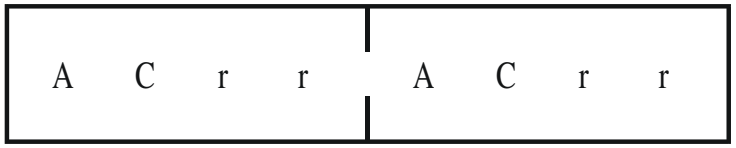
Token Ring: AC- und FS-Felder

Access Control (AC)



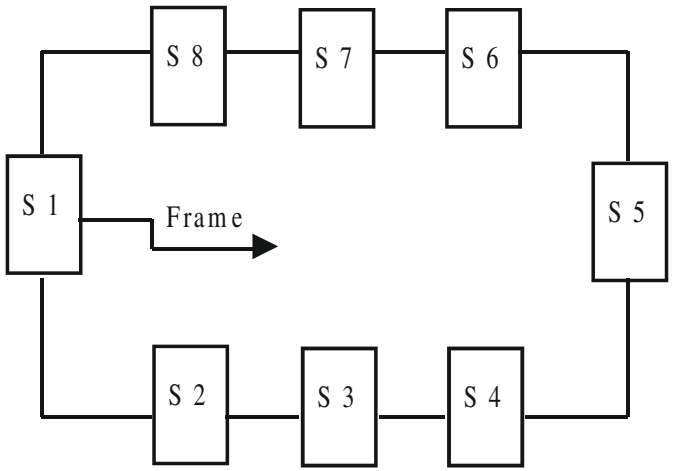
PPP = priority bits
T = token bit
M = monitor bit
RRR = reservation bits

Frame Status (FS)

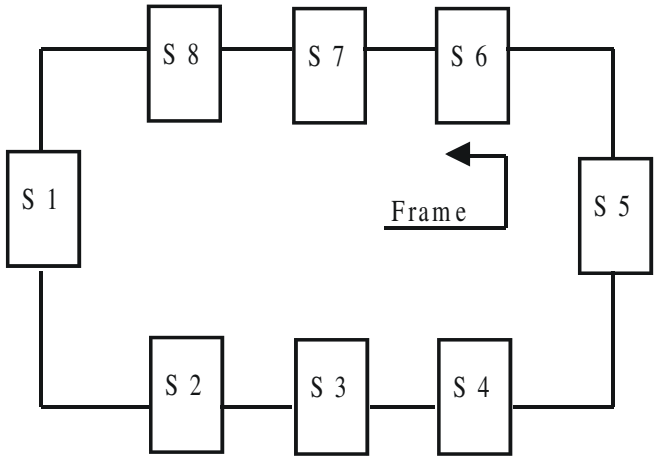


A = address-recognized bits
C = frame-copied bits
r = reserved bits

Token Ring: Prioritätsmechanismus (1)

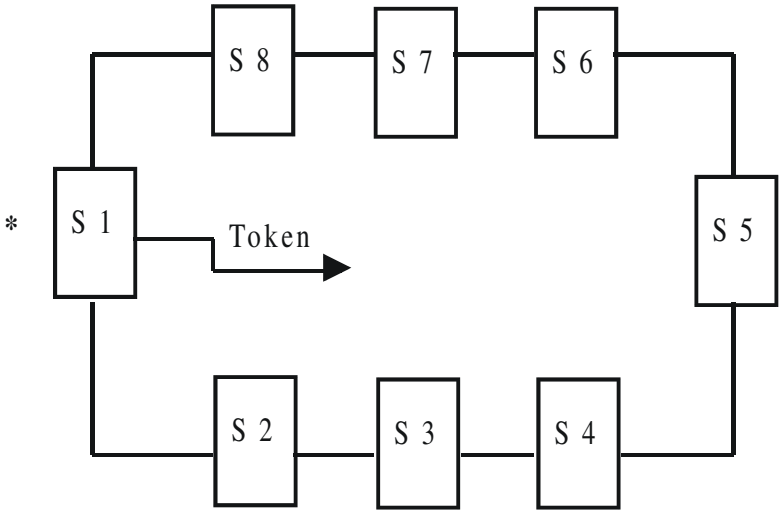


1. Station S1 erhält das Token und überträgt ihren Rahmen mit normaler Priorität.

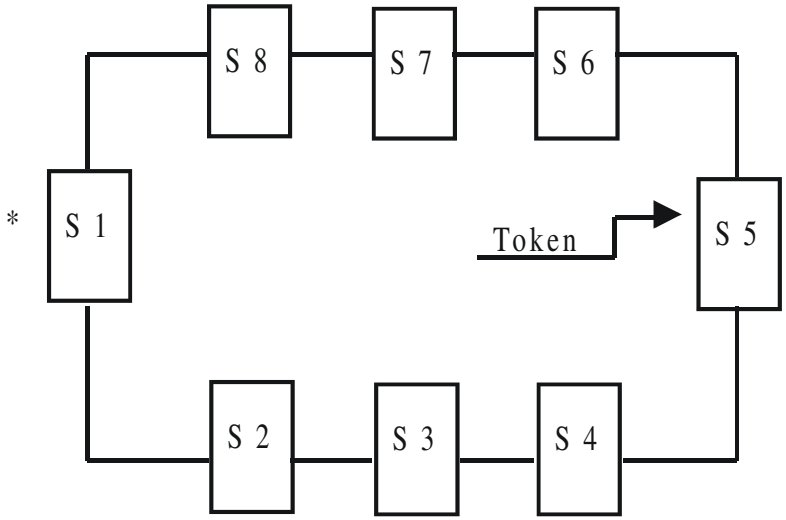


2. S5 reserviert eine höhere Priorität im vorbei laufenden Rahmen (RRR-Bits).

Token Ring: Prioritätsmechanismus (2)

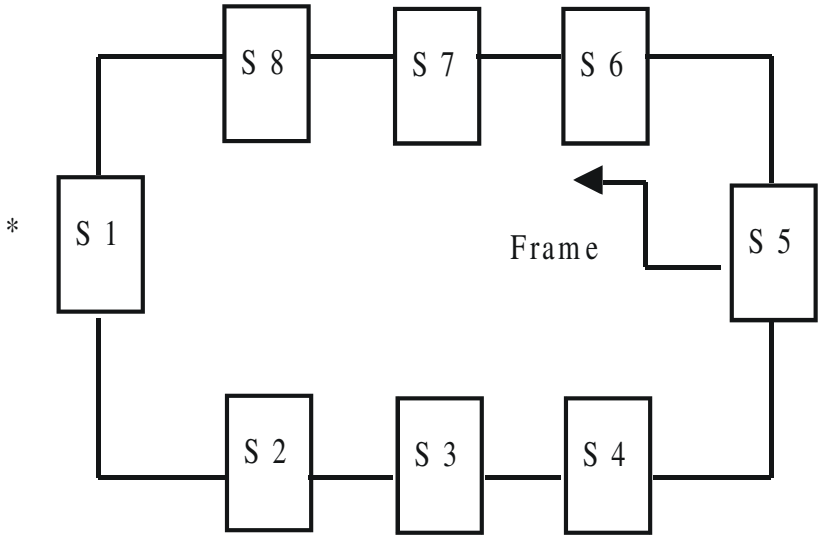


3. S1 entfernt ihren Rahmen nach erfolgter Übertragung, erzeugt ein Token mit der von S5 reservierten Priorität und geht in den Zustand "priority-hold" über.

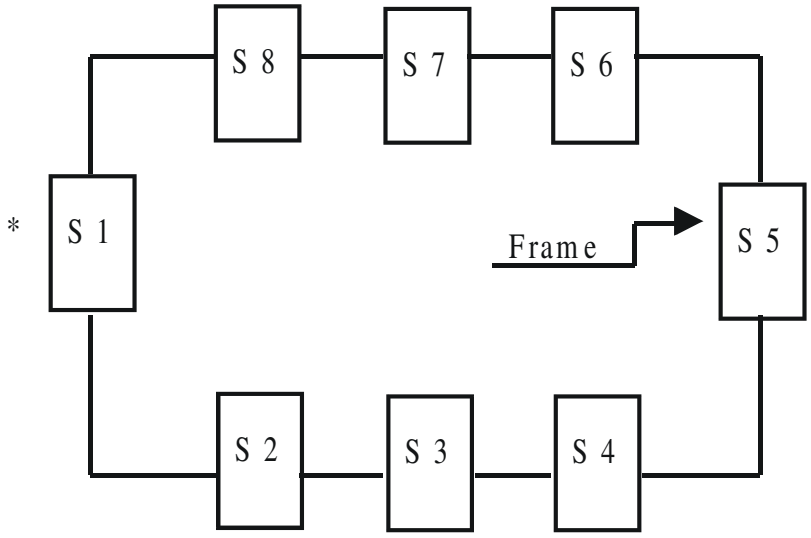


4. S2, S3 und S4 haben keine Prioritätsrahmen, und das Token läuft weiter zu S5.

Token Ring: Prioritätsmechanismus (3)

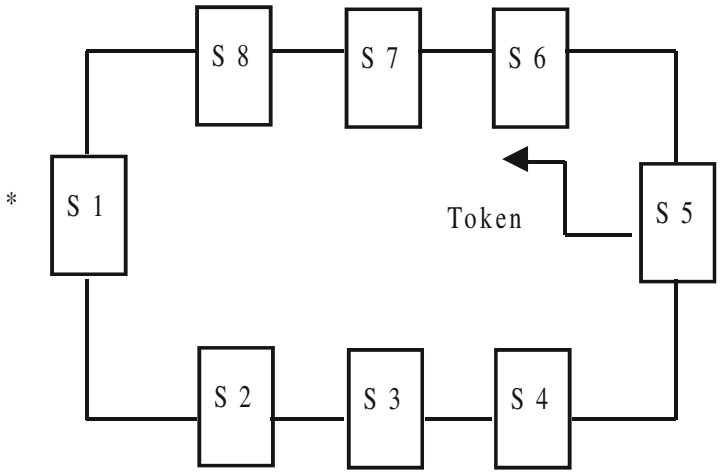


5. Station S5 überträgt ihren Prioritäts-Rahmen.

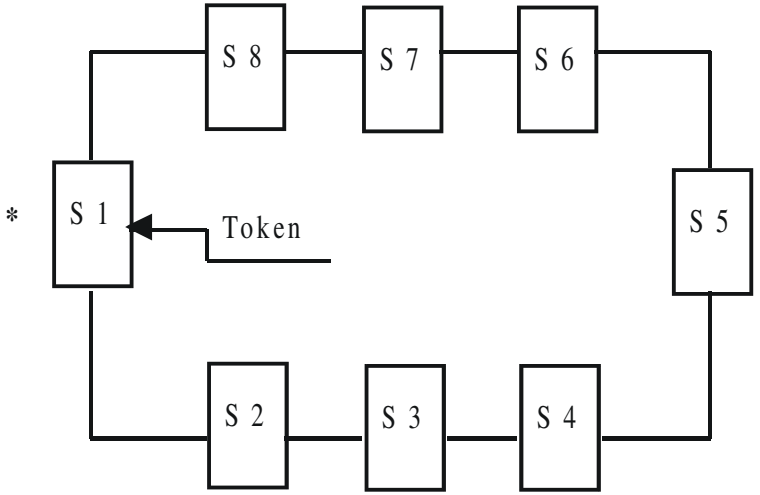


6. Der Rahmen kommt zu S5 zurück.

Token Ring: Prioritätsmechanismus (4)

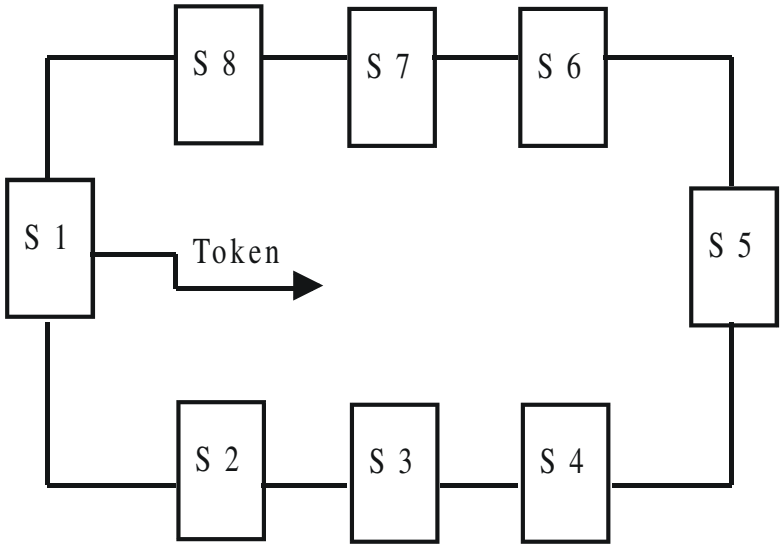


7. S5 hat ihre Übertragung beendet und erzeugt ein Token mit der Priorität, die sie gerade benutzt hat (die höhere Priorität). S1, immer noch in "priority-hold", wartet auf ein Frei-Token mit dieser Priorität (der Priorität, die S5 angefordert und S1 generiert hat).



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

Token Ring: Prioritätsmechanismus (5)



9. 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

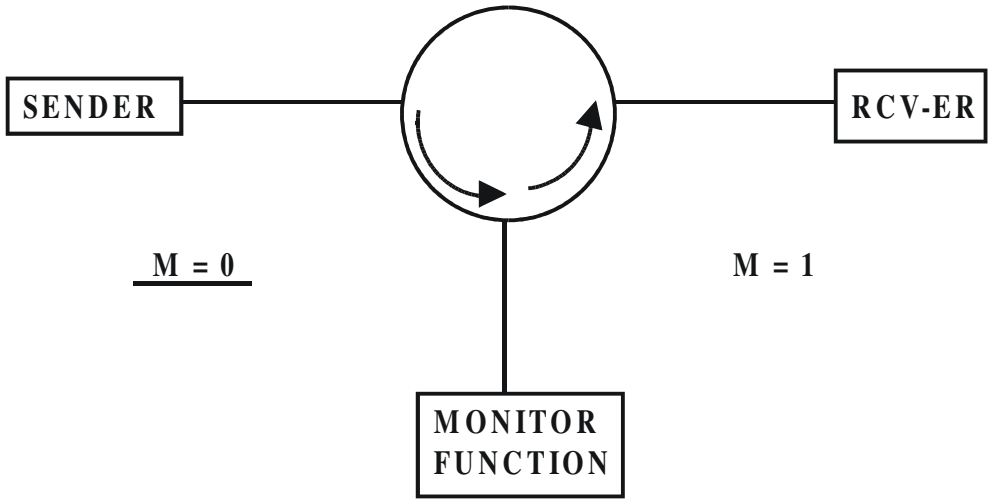
Aktiver Monitor

Jede Station im Ring kann die Rolle des aktiven Monitors spielen. Ein Auswahlverfahren stellt sicher, dass es zu jedem Zeitpunkt nur genau einen aktiven Monitor gibt.

Der aktive Monitor schützt vor den folgenden Fehlerbedingungen:

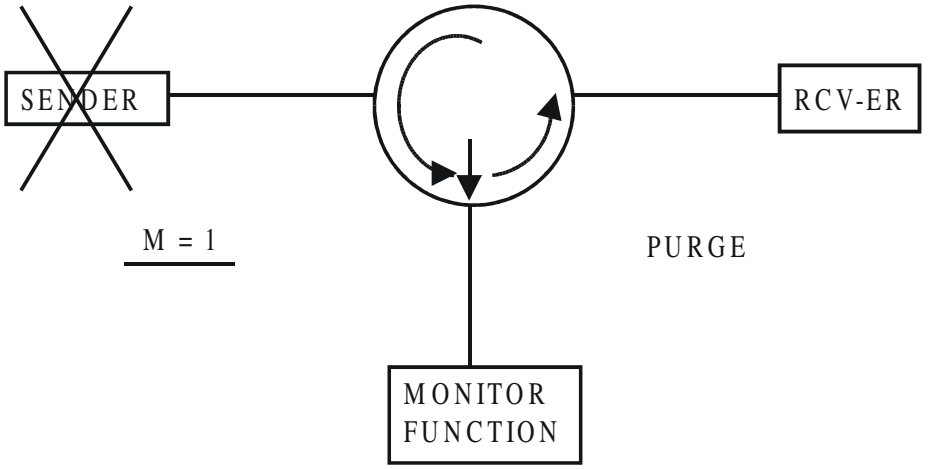
- zirkulierender Rahmen
- zirkulierendes Token mit hoher Priorität
- verloren gegangenes Token
- mehrere aktive Monitore.

Zirkulierender Rahmen (1)



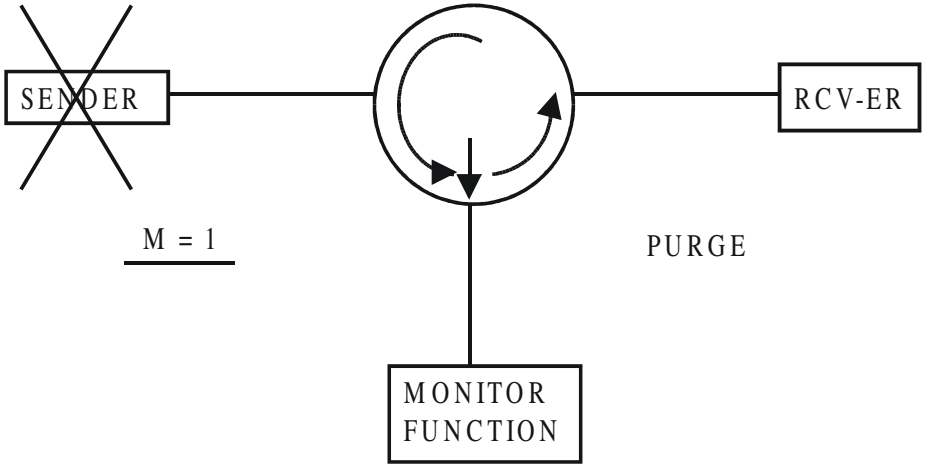
- Der Sender erzeugt einen Rahmen mit dem Monitor-Bit M = 0.
- Der Sender fällt aus.
- Der aktive Monitor setzt beim Durchlauf des Rahmens das Monitorbit M = 1

Zirkulierender Rahmen (2)



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

Zirkulierender Rahmen (3)



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 jedes Mal neu gestartet, wenn ein Anfangsbegrenzer ("delimiter") beim Durchlauf regeneriert wird.
- Falls der Timer abläuft, bevor erneut ein Anfangsbegrenzer erkannt wird, löscht der aktive Monitor alles auf dem 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

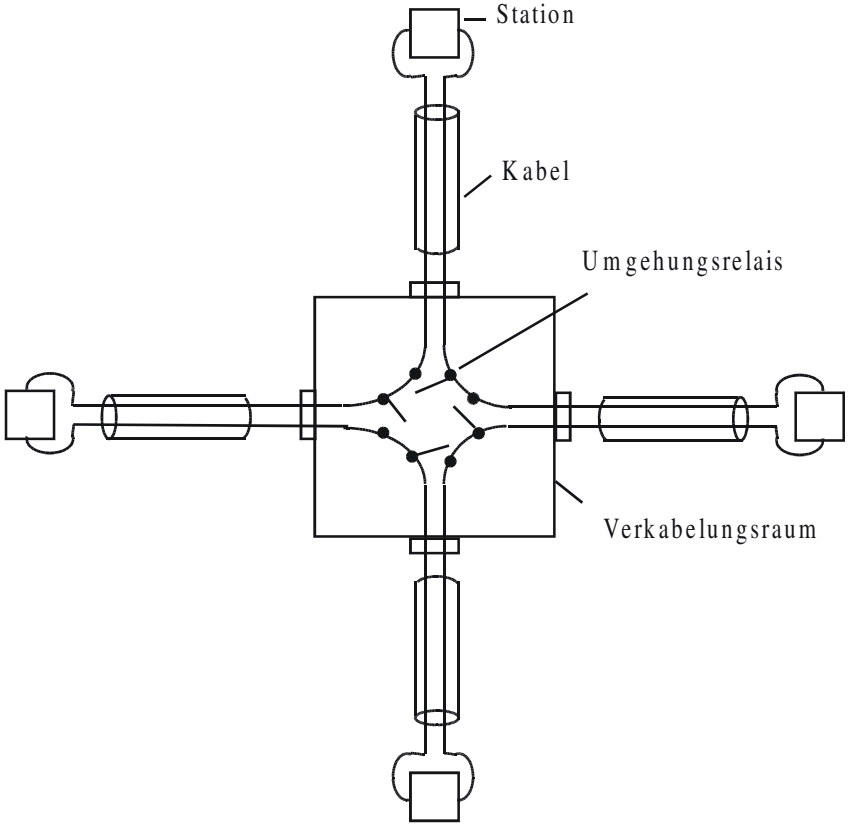
empfängt, den er nicht selbst erzeugt hat.

Token Ring: Bitkodierung

Der Token Ring verwendet in der Schicht 1 das Differential Manchester Encoding:

- 0-Bit wechselt die Spannung am Anfang des Bitintervalls.
- 1-Bit behält den vorherigen Pegel am Anfang des Bitintervalls bei.

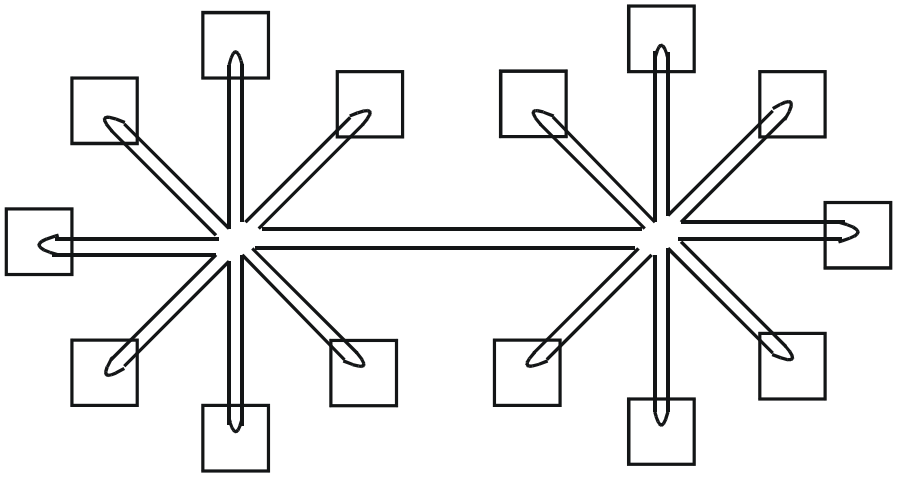
Sterntopologie für den Token Ring



Im zentralen Schaltschrank befindet sich das Relais, das bei Stationsausfall das Kabel zur defekten Station kurzschließt.

Strukturierte Verkabelung

Möglichkeiten einer Ringverkabelung

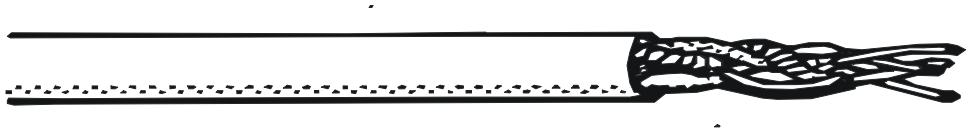


Logischer Ring **Physischer Stern**

Die Verkabelung in Form eines physischen Sterns erleichtert die Fehlersuche und ermöglicht eine flexiblere Nachverkabelung von neuen Stationen.

Kabel für den Token Ring

Zwei verdrillte Kupferdoppeladern (Kupferdraht) mit Abschirmung



Kabel mit zwei optischen Leitern

Zusammenfassung Token Ring LAN

- Neugenerierung der Rechteckimpulse in jeder Station. Dadurch wenig rauschempfindlich. Große Ringe mit vielen Stationen möglich.
- Natürliche Anwendung für Glasfaser, da die Signale nur an den Kabelenden eingespeist bzw. entnommen werden
- Fehlerhafte oder ausgefallene Stationen müssen isoliert und aus dem Ring ausgeschlossen werden, insbesondere bei sternförmiger Verkabelung.

4.6 FDDI (Fiber Distributed Dataa Interface)

Motivation

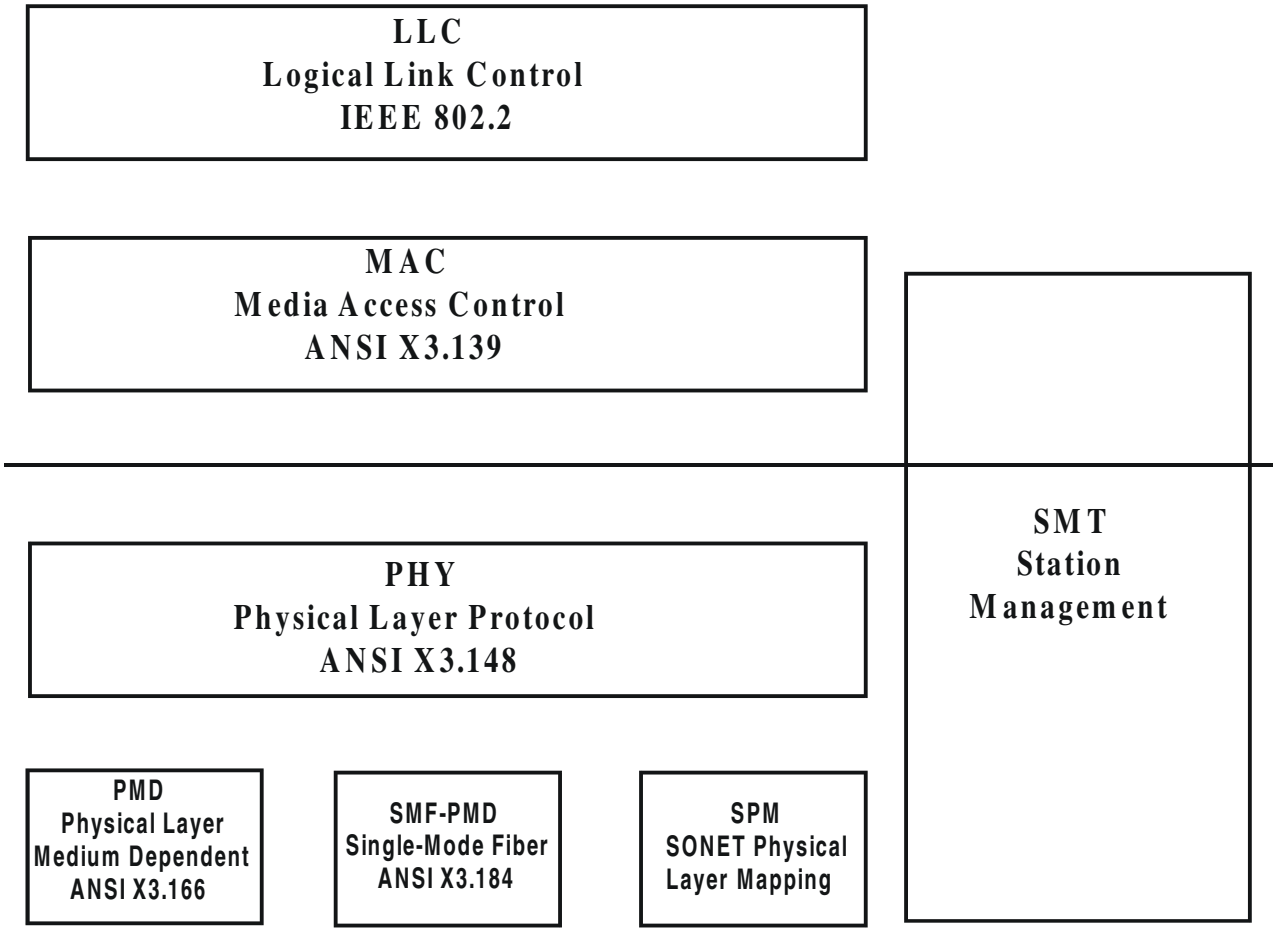
- FDDI macht als erste Netztechnik den Sprung von der 4-16 MBit/s-Geschwindigkeitsklasse (mittelschnelle LANs) auf die 100 MBit/s-Klasse (schnelle LANs, Metropolitan Area Networks (MANs))
- größere räumliche Ausdehnung (100 km)
- große Anzahl an Stationen (500)

FDDI: Eigenschaften

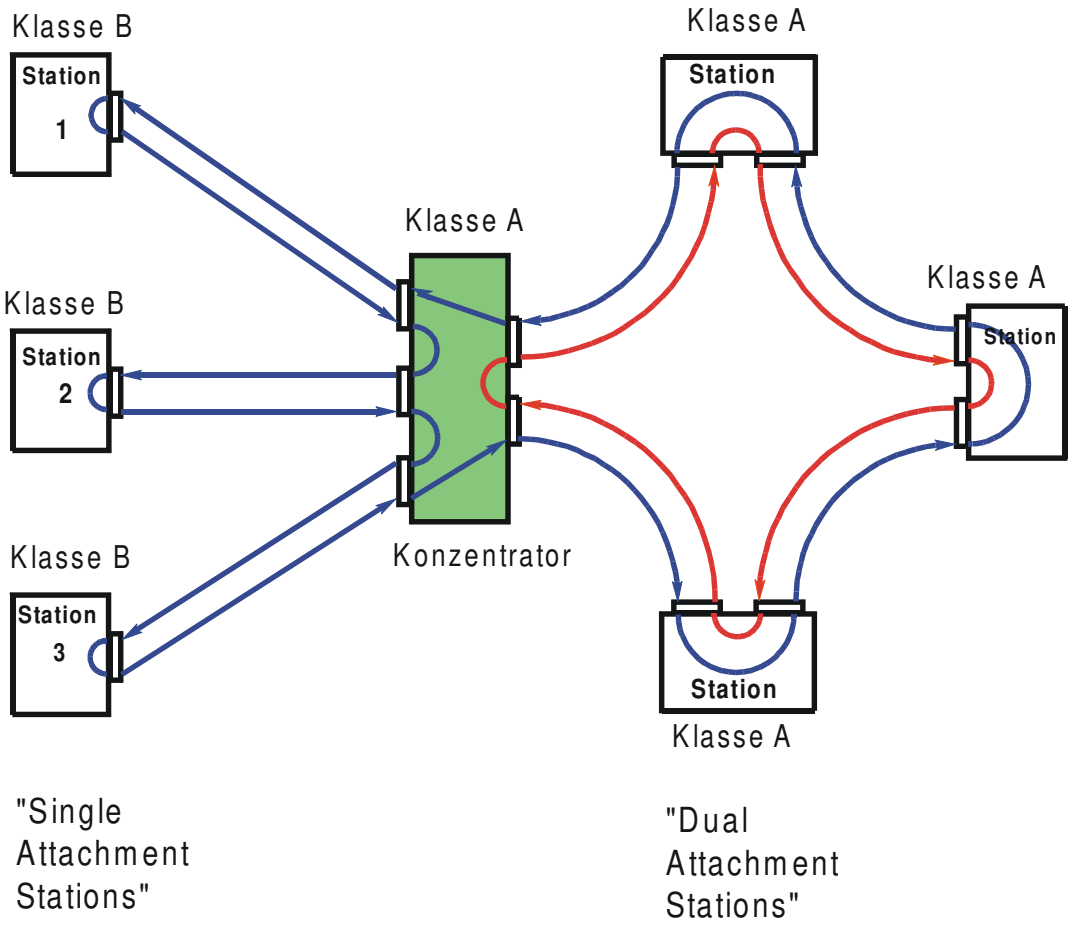
Eigenschaften

- Topologie: Doppelter Ring
- Gradientenfaser oder Monomode-Faser
- Leuchtdioden, Wellenlänge 1300 nm
- Stecker mit zwei Glasfasern
- maximale Länge der Faser: 200 km
- maximaler Umfang des Doppelrings: 100 km
- maximale Anzahl der Stationen: 500
- Medium Access Control: Token mit "**Early Token Release**" und Zeitlimit
- Datenrate: 100 MBit/s
- Standard bei ANSI und ISO

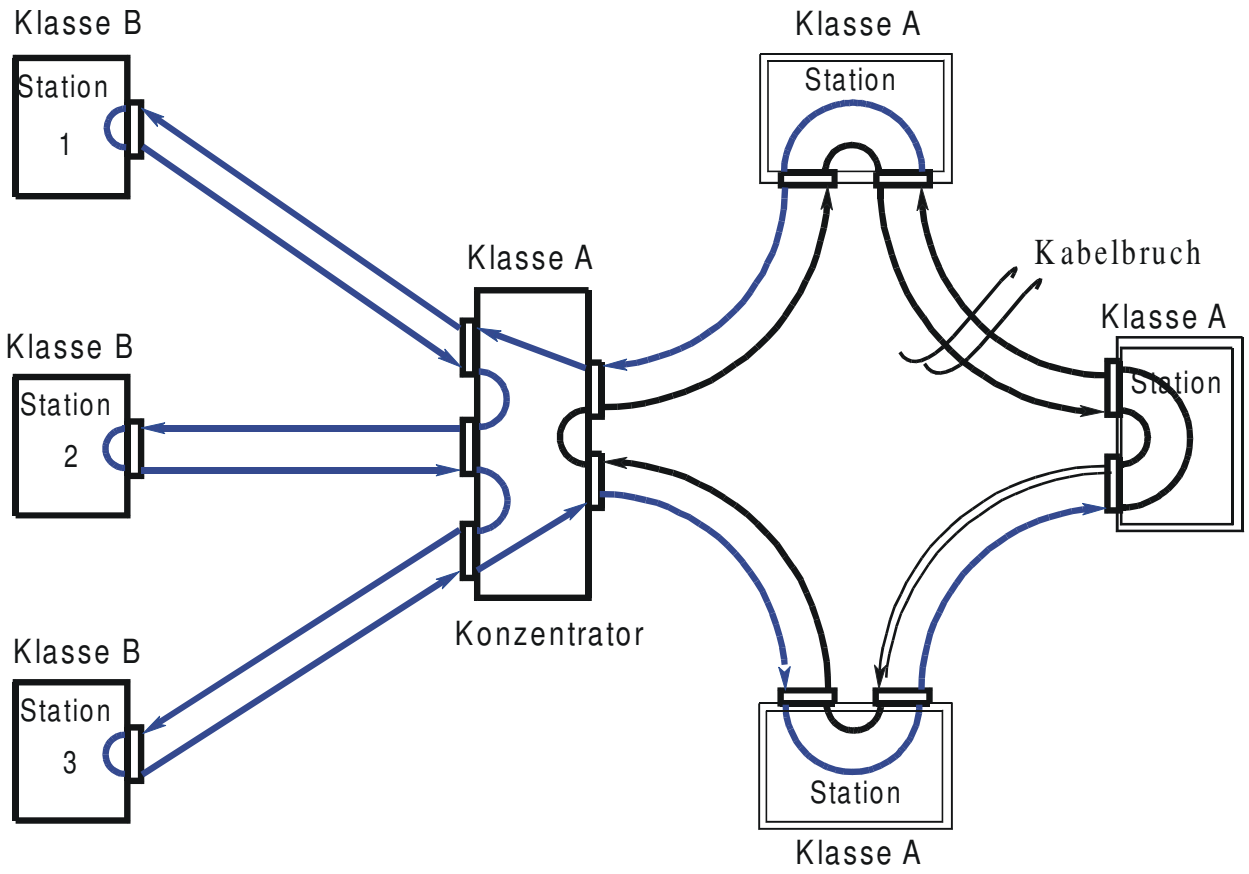
FDDI: Die einzelnen Standards



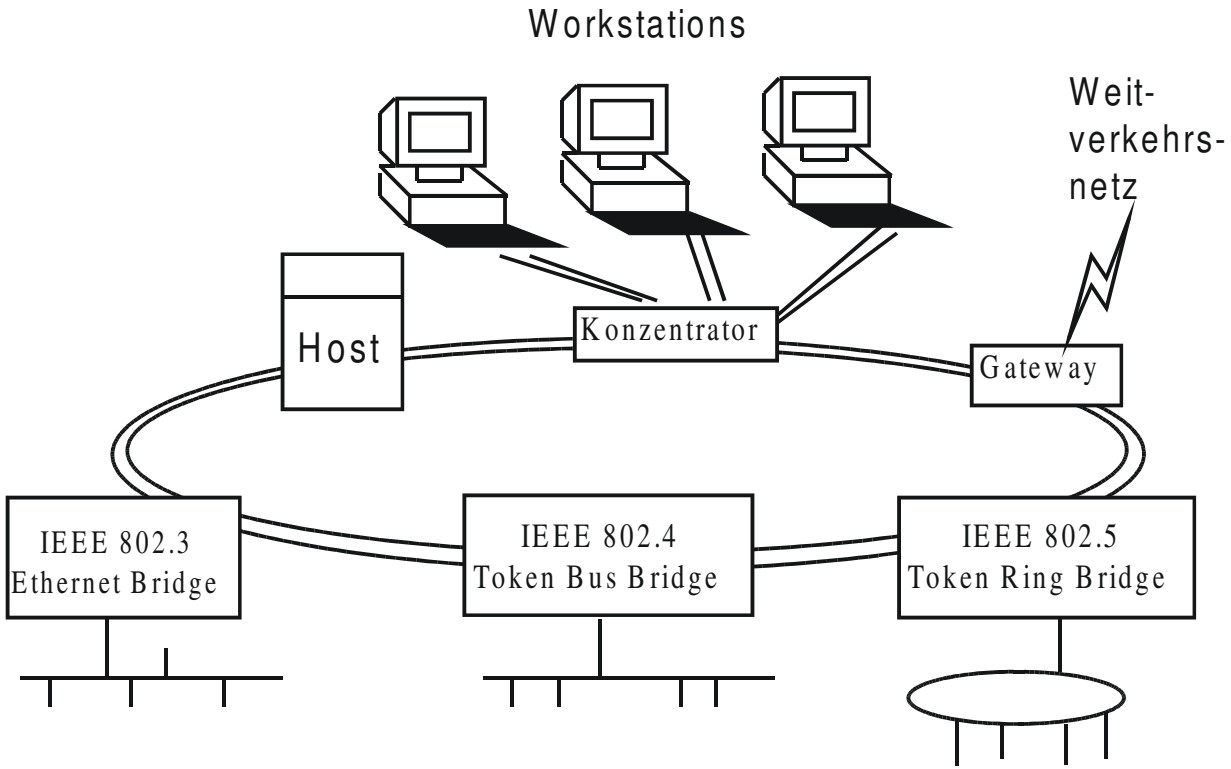
FDDI - Topologie



Fehlertoleranz durch Doppelring

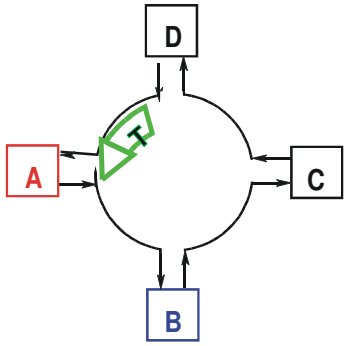


Typische FDDI-Konfiguration

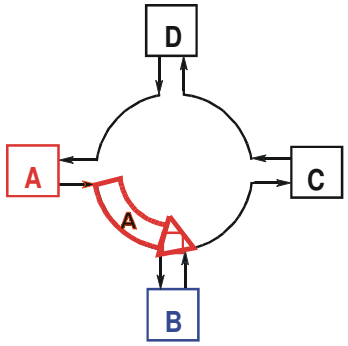


Zugangsprotokoll zum Medium (1)

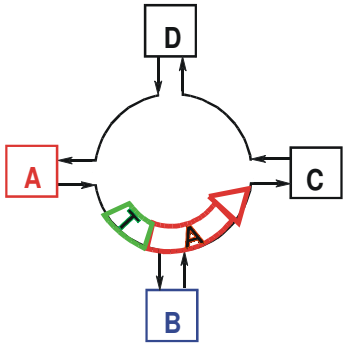
Token Passing mit "Early Token Release"



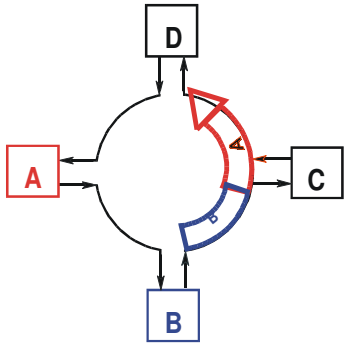
1. A wartet auf Token



2. A ergreift Token und überträgt Rahmen A

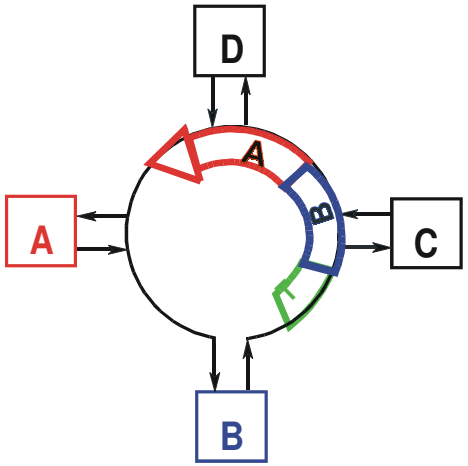


3. A hängt Frei-Token an

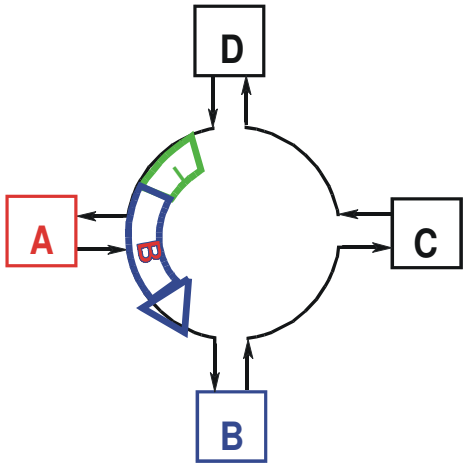


4. B ergreift Token und überträgt Rahmen B

Zugangsprotokoll zum Medium (2)

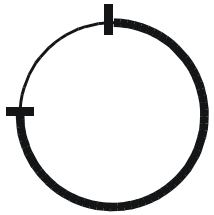


5. B hängt Frei-Token an,
   C kopiert Rahmen B,
   D kopiert Rahmen A

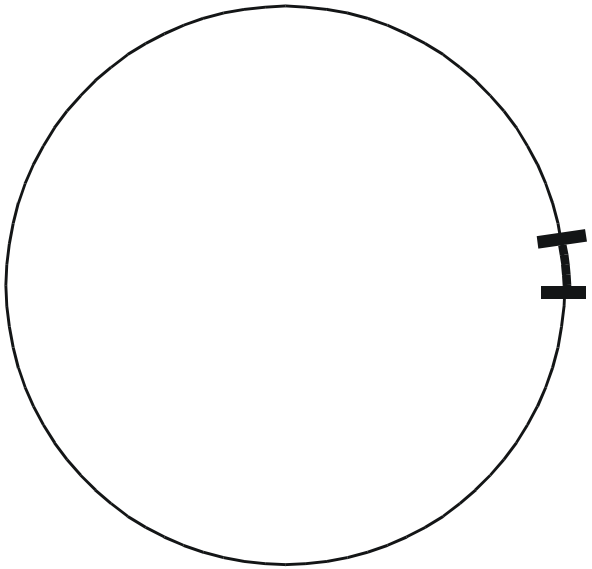


6. A entfernt Rahmen A
   usw.

Motivation für "Early Token Release"



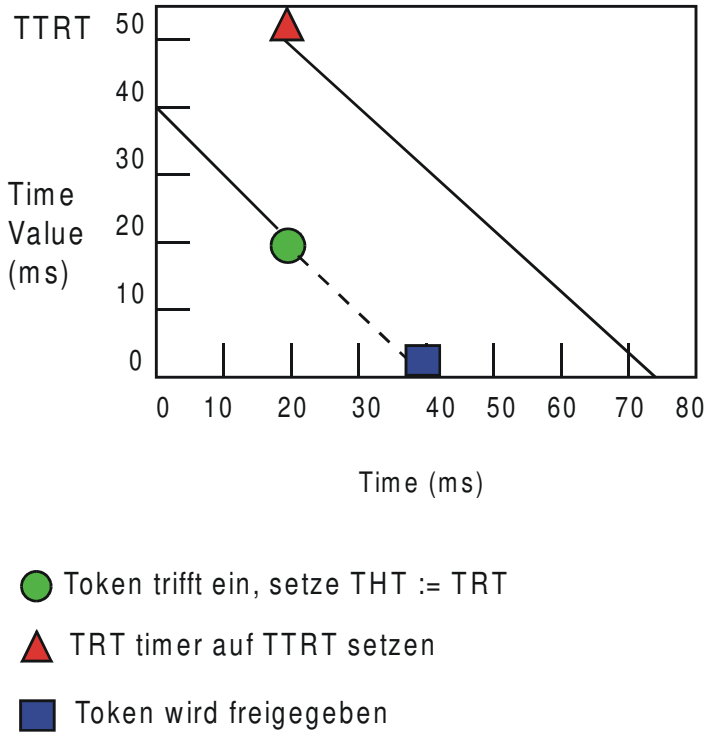
a) ISO 8802.5 Token Ring
4 MBIT/s, 100 m lang



b) FDDI
100 MBit/s, 100 km lang

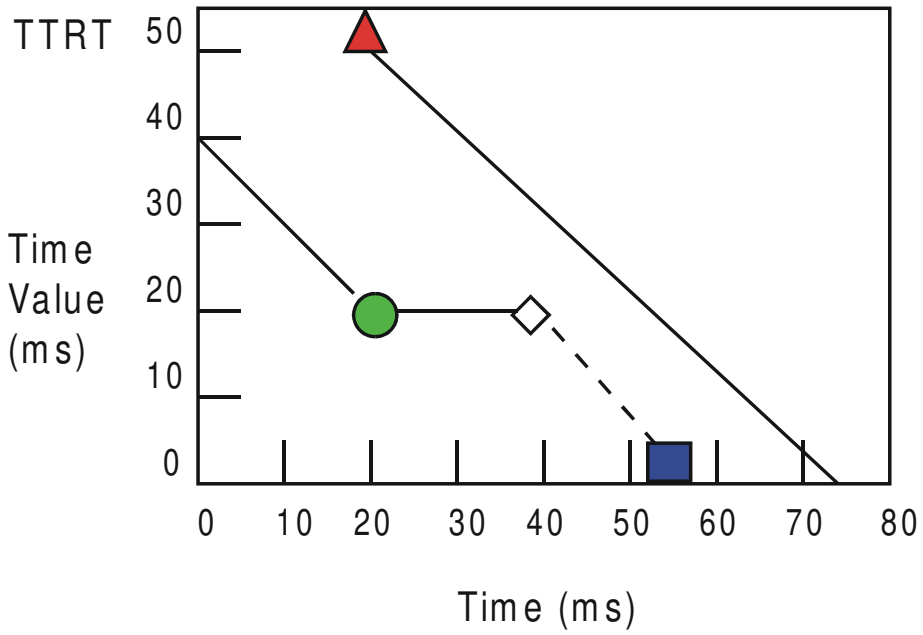
Netzzugangsprotokoll: Token mit Zeitlimit

- 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

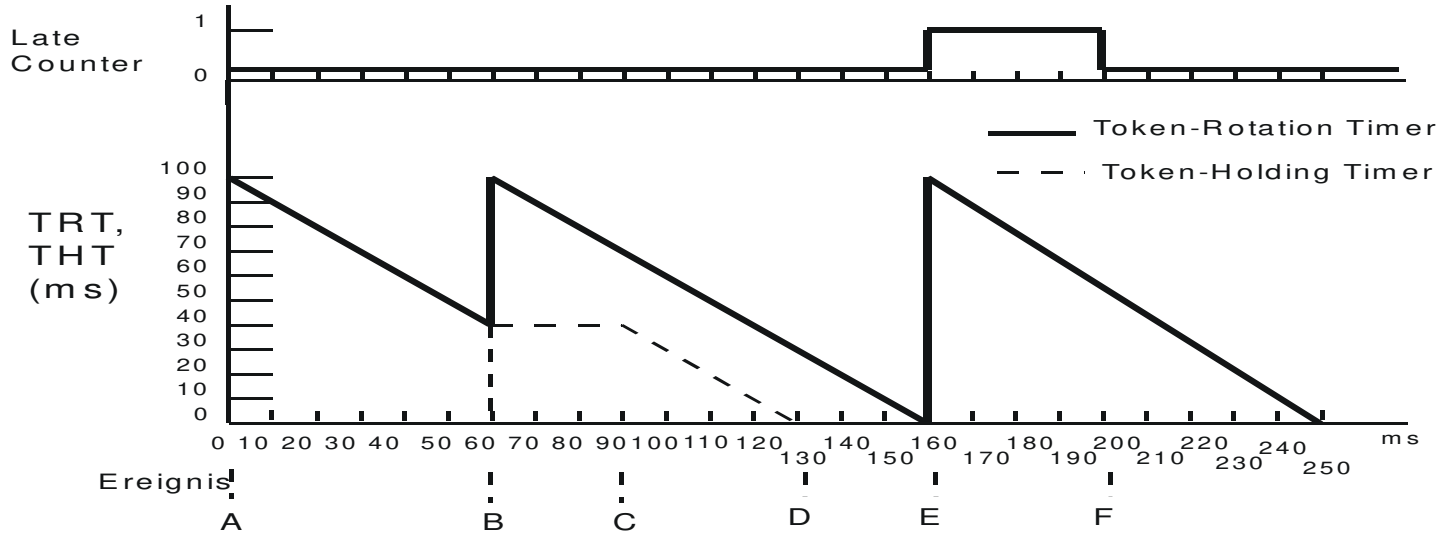


Vorab-Zuordnung von synchroner Bandbreite

- 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 (2)



A. Token trifft ein - "Aufziehen" des TRT-Timers

B. Token wird festgehalten - synchrone Übertragung beginnt

C. asynchrone Übertragung beginnt

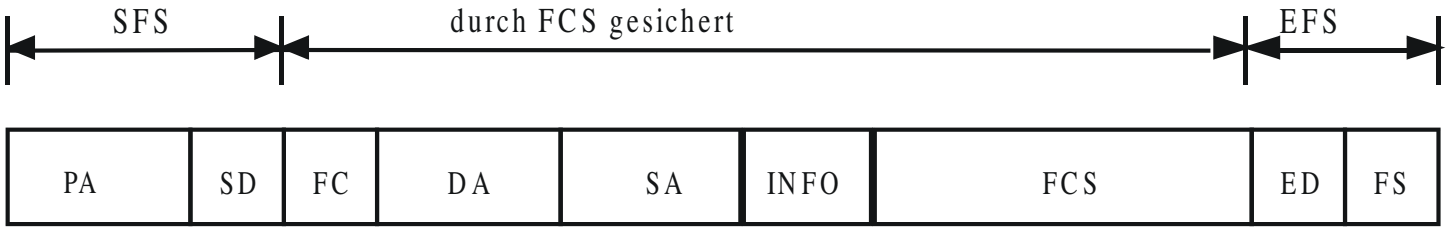
D. Ablauf der Zeitschranke, Token wird generiert

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: der 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!
- Deshalb bleibt die Synchronisation 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 TRANSMITTED
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)

- Verwendung des öffentlichen Trägernetzes SONET statt einer privaten Glasfaserstrecke
- Ringumfang maximal 100 km muss weiter gelten wegen der Timer

Zusammenfassung der LAN-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 Sternkoppler und LAN-Switching

Sternkoppler

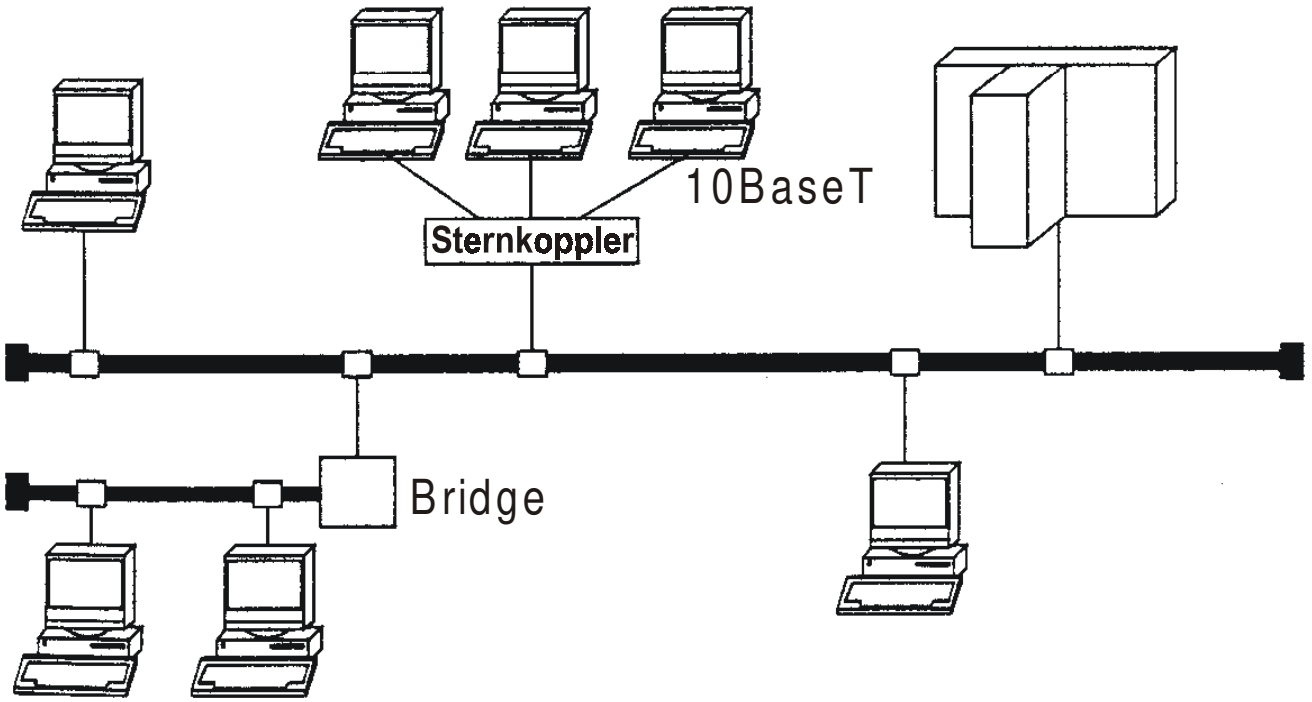
Das Ethernet-LAN hat sich in den letzten Jahren gegenüber dem Token Ring durchgesetzt.

In den frühen Jahren wurden die Ethernet-Kabel tatsächlich busförmig verlegt (gelbes Kabel oder Thin Ethernet mit handelsüblichen, vorkonfektionierten Koaxial-Kabeln), was sich aber aus Gründen der Fehlerlokalisierung, Nachverkabelung von neuen Stationen usw. als nachteilig erwiesen hat.

Heute sind **Sternkoppler (Hubs)** mit sternförmiger Verkabelung üblich, auch in Kabelkanälen („Cat5 cable“).

Das Medienzugangsprotokoll ist nach wie vor CSMA/CD! Allerdings finden das Carrier Sensing und die Kollisionserkennung jetzt im Sternkoppler (Hub) statt.

Ethernet-LAN mit Sternkoppler



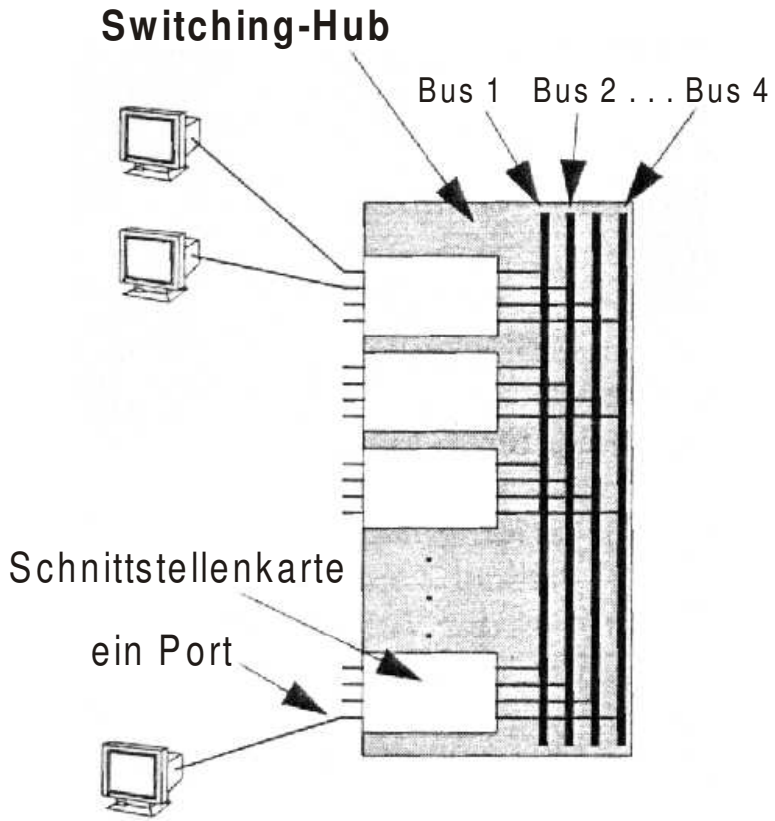
LAN-Switching

Durch **LAN-Switching** kann man den Durchsatz in einem Ethernet-LAN weiter erhöhen. Dabei wird der Sternkoppler durch einen Rahmen-vermittlungsknoten ersetzt, der die einzelnen Rahmen zwischen den einlaufenden Kabeln direkt durchschaltet. **Das Format der Ethernet-Rahmen bleibt vollständig erhalten**, deshalb können auch alle Endgeräte unverändert weiter betrieben werden.

Im Sternpunkt wird das CSMA/CD-Protokoll durch eine Frame-Switch ersetzt, der die MAC-Zieladresse (destination address) auswertet und den Rahmen entsprechend weiter leitet. Anders als beim Sternkoppler muss der LAN-Switch intern mit einem Mehrfachen der Leitungsgeschwindigkeit operieren, so dass mehrere eintreffende Rahmen ohne Kollision weiter geleitet werden können.

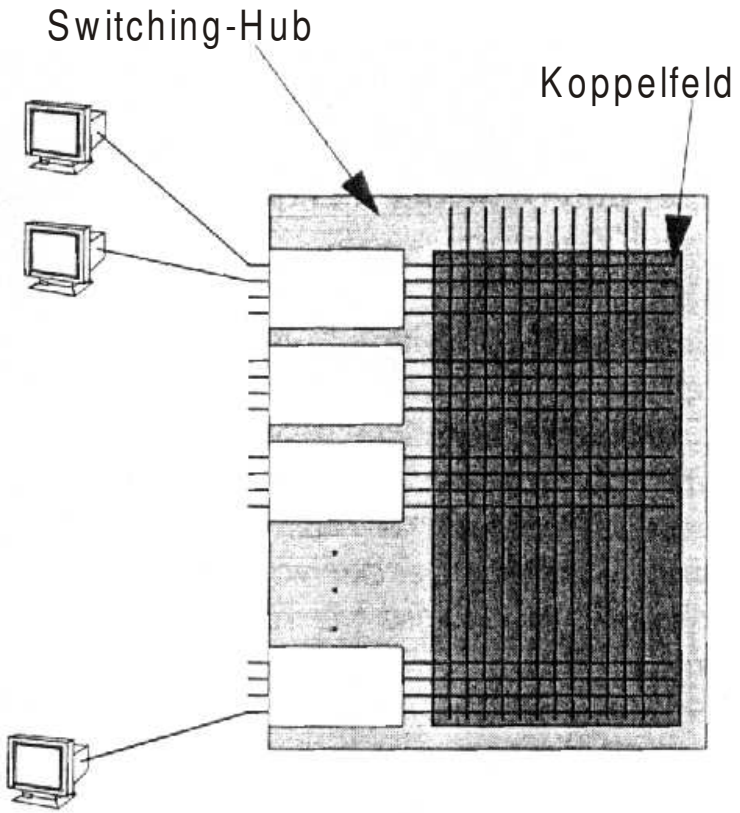
LAN-Switch: Implementierung mit Bussen

mehrere Busse als Koppelfeld



LAN-Switch: Implementierung mit einer Kreuzschiene

Crossbar-Koppelfeld



Kabeltypen für das Ethernet

Ethernet-Typ	Medium	Max. Länge	Bemerkungen
10Base5 (gelbes Koaxkabel)	Koaxialkabel	500 m	Die klassische Ethernet-Verkabelung. Der Anschluss erfolgt über Transceiver und Vampir-Klemmen am Koaxkabel
10Base2 (Thinnet oder Cheaper-Net)	Koaxialkabel	185 m	Verwendet wird ein dünnes Koaxialkabel. Der Anschluss erfolgt über Transceiver und BNC-Stecker.
10BaseT	Verdrilltes Kupferkabel (geschirmt – STP, oder ungeschirmt UTP)	100 m	Die Stationen werden in einer Sternkonfigruration an sog. Sternkoppler (engl. „Hub“ genannt) herangeführt.
10BaseFB	Lichtwellenleiter	2 km	Dieser Typ wird meist für Ethernet-Backbone-Netze zwischen Sternkopplern verwendet.
10BaseFL	Lichtwellenleiter	2 km	Dieser Typ wird hauptsächlich zwischen Regeneratoren eingesetzt

4.8 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
- Die höheren Schichten sind für die Erhaltung der Reihenfolge, Fehlerbehebung und Flusssteuerung verantwortlich

LLC Typ 2: Verbindungsorientierter Dienst (wie HDLC)

- Verbindungsaufbau und -abbau
- Datenübertragung mit Bestätigung
- Garantierte Ablieferung beim Empfänger
- Garantierte Reihenfolge der Rahmen
- Flusssteuerung

Logical Link Control

LLC Typ 3: Bestätigter verbindungsloser Dienst

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