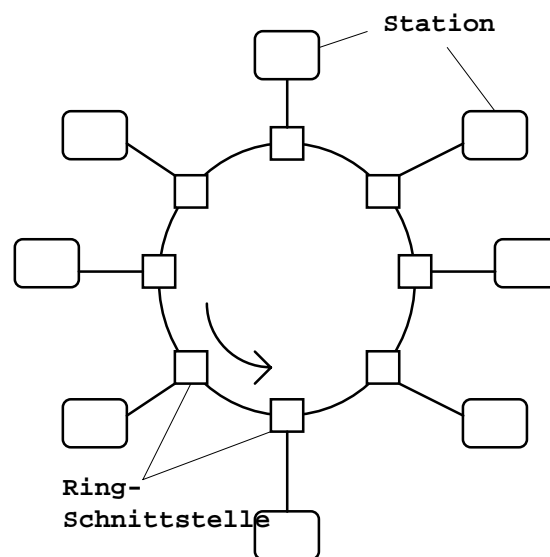


## Token-Ring

Token-Verfahren sind Zugriffsverfahren, die mittels einer *Sendeberechtigung*, repräsentiert durch ein spezielles Bitmuster "Token", den Zugriff auf das Medium regeln (Token=engl. für Pfand).

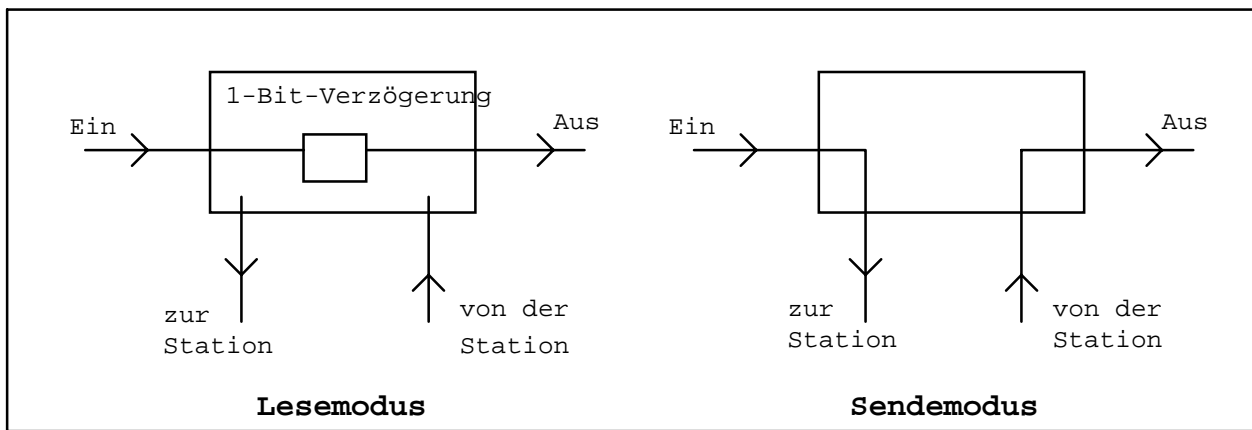
- Ein Ring besteht aus einer Ansammlung von Stationen, die mittels Ringschnittstellen (Ring-Interfaces) an den Ring angeschlossen werden.
- Die Ringschnittstellen sind durch Punkt-zu-Punkt-Kabel (verdrillte Kupferleitungen, Koaxialkabel oder Lichtwellenleiter) verbunden.
- Jedes Bit, das an einer Schnittstelle ankommt, wird in einem 1-Bit-Puffer zur Untersuchung und eventuellen Veränderung kopiert. Dieser Kopierschritt führt zu einer Verzögerung von einem Bit je angeschlossene Station.
- Eine Ringschnittstelle hat zwei Übertragungsmodi, die man als "Lesen" und "Senden" bezeichnen kann.

Im Lesemodus wird die Nachricht vom Eingang der Schnittstelle mit einer 1-Bit-Verzögerung auf den Ausgang kopiert. Im Sendemodus bricht das Interface die Verbindung zwischen Ring-Eingang und Ring-Ausgang auf und schreibt die Daten auf den Ring oder entfernt sie wieder von ihm



Ein Ringnetzwerk

- Bei der Form des Token-Rings, die wir hier besprechen, ist es durchaus möglich, daß eine Station abgeschaltet ist, während ihre Ringschnittstelle weiter in Betrieb ist. Es gilt grundsätzlich, daß die Ringschnittstellen immer in Betrieb sein müssen, da sonst kein Verkehr auf dem Ring möglich ist.



### Ring-Schnittstelle

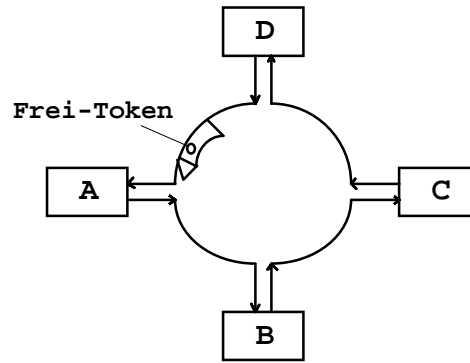
- Ein Token, bestehend aus drei Bytes, kreist im Ring und gibt den jeweiligen Stationen die Sendeerlaubnis.
- Es darf nur ein Token existieren, so daß zu einem Zeitpunkt nur eine Station, die das Token besitzt, senden kann (also **keine Kollisionen**).
- Im Token selbst befindet sich ein Steuerzeichen, welches signalisiert, ob das Token frei oder belegt ist.

~

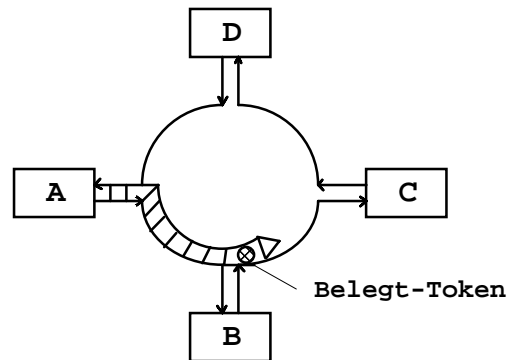
### Arbeitsweise des Token-Ring-Verfahrens:

- Wenn keine Station senden will, zirkuliert ein als "frei" markiertes Token auf dem Ring.
- Möchte eine Station eine Nachricht an eine andere Station senden (z.B. Station A an Station C ⇒ Abbildung), so wartet sie bis das Frei-Token an ihr vorbeikommt. Sie ändert das Token auf "belegt" (beide Token Formen unterscheiden sich durch ein Bit) und hängt die Absender- und Zieladresse und die zu übertragenden Daten an das Token an, wodurch dieses zu einem Rahmen wird.
- Dieser Rahmen, der aus dem Belegt-Token und verschiedenen anderen Daten besteht, wird dann in Kommunikationsrichtung von Ring-Schnittstelle zu Ring-Schnittstelle weitertransportiert.
- Der Empfänger (Station C) - durch die Zieladresse eindeutig identifizierbar - nimmt den Rahmen nicht vom Ring, sondern fertigt sich eine Kopie an und bestätigt dies durch das Setzen eines "kopiert"-Bit, das sich in einem Feld am Ende des Rahmens befindet.
- Der Rahmen wandert um den Ring herum bis zum Sender, der ihn wieder vom Ring entfernt.
- Der Sender überprüft die Korrektheit der Sendung durch Vergleich mit einer Kopie, die er behalten hat und generiert ein neues Frei-Token.

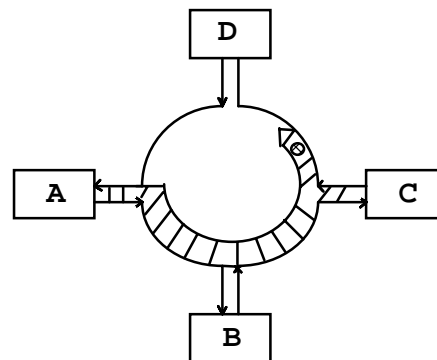
Station A möchte eine Nachricht an Station C senden. Sie wartet auf ein Frei-Token.



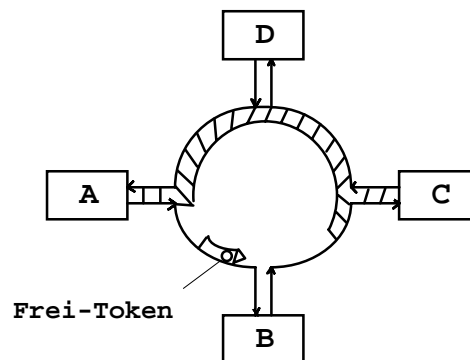
Sie ändert das Frei-Token in ein Belegt-Token und hängt ihre Nachricht an das Token an, wodurch dieses zu einem Rahmen wird. Station B lässt das Token passieren.



Station C kopiert die an sie adressierte Nachricht und bestätigt dies mit dem Setzen des "Kopiert"-Bits.



Station D lässt das Token passieren. Station A entfernt ihren eigenen Rahmen vom Ring und generiert ein neues Frei-Token.

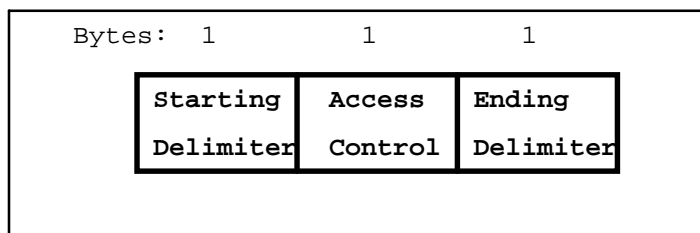


Das Prinzip des Token-Ring-Verfahrens

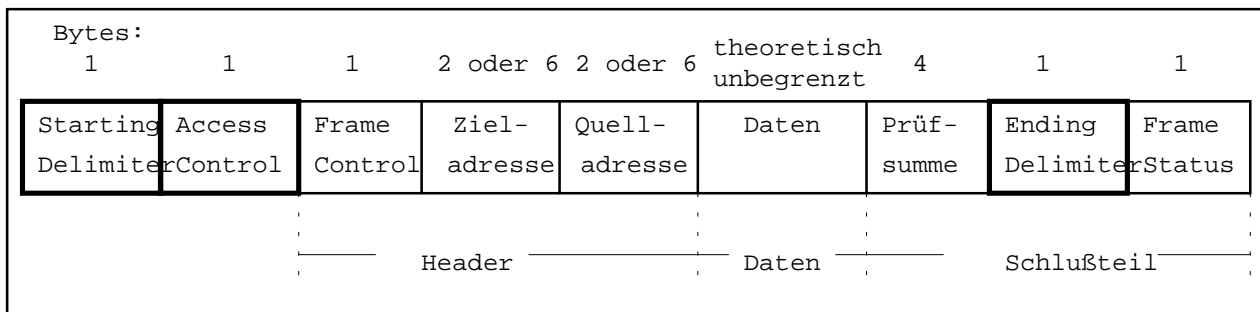
Das Frei- und das Belegt-Token unterscheiden sich nur jeweils um ein Bit, daher muß bei einem Sendeversuch die Ring-Schnittstelle dieses Bit erst lesen, um zu entscheiden, welches Token vorliegt, um die betreffende Reaktion durchzuführen. Bestandteil dieser Reaktion ist eine eventuelle Änderung der Form des Tokens, also des vorliegenden Bits. Die Ring-Schnittstelle muß also in der Lage sein, 1 Bit des seriellen Datenstroms zwischenzuspeichern.

### Rahmenformat

Ein Token-Ring-Rahmen besteht aus einem "Header", dem Datenteil und einem Schlußteil. Der Header enthält alle signifikanten Informationen für den Transport, also Quelladresse, Zieladresse und Rahmentypinformationen wie etwa Daten- oder Kontrollrahmen. Die Zieladresse kann auch eine Gruppenadresse sein. Nach dem Header folgt der Datenteil. Der Schlußteil enthält eine Prüfsumme und ein Feld für die Empfangsbestätigung.



Format eines Tokens



Format eines Rahmens

Die Felder **Starting Delimiter** (Startbegrenzer) und **Ending Delimiter** (Endbegrenzer) markieren den Anfang und das Ende eines Rahmens.

Das Byte **Access Control** (Zugriffssteuerung) enthält:

- Das **Token-Bit**: Dieses zeigt an, ob das Token frei oder belegt ist.
- Das **Monitor-Bit**: Dieses dient der Ringüberwachung (↻ Netzüberwachung).
- **Prioritäts- und Prioritätsreservierungs-Bits**.

Das Byte **Frame Control** (Rahmensteuerung) unterscheidet Datenrahmen von Steuer-  
rahmen. Stellerrahmen dienen der Unterstützung einer Ring-Überwachungsstation.

Die Felder **Zieladresse und Quelladresse** sind identisch mit denen in 802.3-CSMA/CD.  
Das **Datenfeld** ist theoretisch unbegrenzt. Um jedoch zu vermeiden, daß eine Station, die  
im Besitz des Tokens ist, eine unendlich lange Sendung aussendet und somit den Ring  
monopolisiert, wird eine **Token-Haltezeit** festgelegt. Danach darf eine Station das Token  
für die Dauer dieser Haltezeit, die normalerweise bei 10 ms liegt, behalten.

Das Feld **Prüfsumme** ist wie Ziel- und Quelladresse dasselbe wie in 802.3-CSMA/CD.  
Die Prüfsumme ermöglicht Empfänger und Sender zu überprüfen, ob der Rahmen während  
der Übertragung einen Schaden erlitten hat.

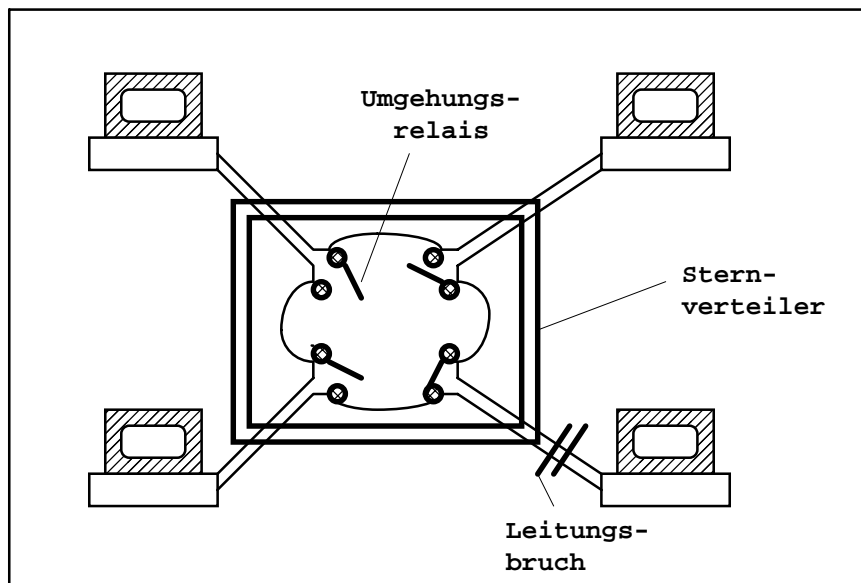
**Frame Status-Byte:** enthält unter anderem zwei Bits, die der Empfangsbestätigung dienen.  
Diese zwei Bits sind im Frame Status-Byte doppelt vorhanden, um die Sicherheit zu  
erhöhen, da beide durch die Prüfsumme nicht abgedeckt werden. Durch diese zwei Bits  
kann die Ring-Schnittstelle des Empfängers dem Sender folgende Mitteilungen zukommen  
lassen:

- Empfänger nicht vorhanden oder nicht eingeschaltet
- Empfänger ist anwesend, aber Rahmen nicht angenommen (Kopiervorgang aus  
verschiedenen Gründen fehlgeschlagen z.B. Puffer voll).
- Empfänger anwesend und Rahmen kopiert.

Wenn die sendende Station den Rahmen vom Ring zieht, untersucht sie diese zwei Bits und  
trifft neue Entscheidungen z.B. Rahmen erneut senden o.ä..

### **Leitungsunterbrechung**

Einer der Kritikpunkte von Ring-Netzwerken ist der Zusammenbruch des Rings im Falle  
eines Kabelbruchs. Dieses Problem kann durch eine physische Sternverkabelung gelöst  
werden. Obwohl logisch immer noch ein Ring existiert, wird physikalisch jede Station mit  
dem Sternverteiler verbunden. Jedes Kabel, das zu einer Station führt, enthält einen Pfad  
für den Hinweg und für den Rückweg.



Sternverkabelung

Innerhalb des **Sternverteilers** befinden sich Umgehungsrelais, die von den Stationen mit Strom versorgt werden. Falls der Ring unterbrochen wird oder eine Station ausgeschaltet wird, schließt sich durch die fehlende Versorgungsspannung das Relais und umgeht so die Station. Die Relais können auch per Software angesteuert werden, so daß Diagnostikprogramme die Stationen einzeln abtrennen können, um defekte Stationen oder Kabelsegmente aufzuspüren. In diesem Fall kann der Ring unter Umgehung der funktionsunfähigen Station weiterarbeiten. Falls ein Netzwerk aus vielen weit entfernten Stationsansammlungen besteht, kann eine Topologie mit mehreren Sternverteilern benutzt werden.

### Netzüberwachung

Ein Token-Ring arbeitet im Normalfall völlig dezentral. Manchmal können jedoch Probleme auftreten, die von der kooperierenden Gemeinschaft der angeschlossenen Stationen nicht behoben werden können. Dafür gibt es eine zentrale "Überwachungsstation", den **Monitor**. Der Monitor ist allein dafür verantwortlich, das korrekte Funktionieren des Rings zu überprüfen.

Wir wollen nun einige besonders typische Fehler und deren Behebung behandeln:

#### à **Verlust des (freien oder belegten) Tokens:**

Ein Monitor überwacht das Zirkulieren eines Tokens im Ring. Er setzt einen Timer, der auf das größtmögliche tokenlose Zeitintervall eingestellt ist. Wenn dieser Timer abläuft bevor ein neues Token den Monitor passiert hat, geht dieser in den Sendemodus über, reinigt den Ring durch Entfernen eventueller Rahmen oder Rahmenbruchstücke und bringt ein neues Token in Umlauf.

#### à **Endlos kreisender Rahmen (Belegt-Token):**

Dieser Fehler entsteht, wenn z.B. eine Station aus einem Frei-Token ein Belegt-

Token macht, ihre Daten anhängt und dann aussteigt oder abgeschaltet wird, bevor sie den Rahmen wieder entfernt. Bei einer normalen Arbeitsweise umrundet ein Belegt-Token den Ring nur einmal. Am Ende dieser Umrundung wird es von der Sendestation entfernt

Fehlerbehandlung: Der Monitor stempelt ein Belegt-Token ab, wenn es ihn zum ersten und normalerweise einzigen Mal passiert. Dies wird durch Modifikation eines bestimmten Bits im Token geschehen (☞ Monitor-Bit im Access Control-Byte). Wenn das "gestempelte" Token nochmal gesichtet wird reagiert der Monitor wie beim ersten Fehlerfall. Er leert den Ring und generiert ein Frei-Token.

à **Monitorausfall:**

Ein Monitor ist auch "nur" eine Station. Sobald eine Störung im Monitor zu einer unkorrekten Arbeitsweise führt, muß sofort eine andere Station seine Aufgaben übernehmen. Jede Station kann grundsätzlich zum Monitor werden.

Nun wie merken die anderen Stationen, daß der Monitor seinen Aufgaben nicht nachgeht?

Frame Control	Bedeutung
00000011	Eine Station versucht, Monitor zu werden.
00000101	Wird vom Monitor periodisch ausgegeben, damit die anderen Stationen wissen, daß der Ring überwacht wird.
00000110	Zeigt das Vorhandensein von potentiellen (Stand-By-Monitoren) an.

Einige Steuerrahmen

Wie Sie der Abbildung entnehmen können gibt es auch Stand-By-Monitore. Diese überprüfen den Ring ebenfalls nach den oben erwähnten Fehlerfällen und reagieren erst, wenn sie merken, daß der Monitor den Fehler nicht behoben hat. Es sind viele Verfahren zur Bestimmung des (nächsten) Monitors denkbar. Z.B. kann die erste Stand-By-Station, die den Ausfall des Monitors bemerkt hat, den Steuerrahmen (Versuch Monitor zu werden) mit ihrer Stationsadresse senden. Falls dieser Rahmen den Ring ganz umrundet, bevor eine andere Stand-By-Station reagiert, so wird sie zum neuen Monitor. Auf die gleiche Weise kann der Ring beim Systemstart oder beim Wiederaufsetzen nach schweren Fehlern initialisiert werden.



Eine weitere Funktion des Monitors betrifft die **Länge des Ringes**. Das Token ist wie bereits erwähnt 24 Bits lang. Geht man von einer typischen Ausbreitungsgeschwindigkeit

eines Signals von ungefähr  $200 \text{ m}/\mu\text{s}$  und einer Übertragungsrate von 4 Mbps aus, so belegt jedes Bit 50 m des Ringes. Das heißt, daß beispielsweise ein Ring mit einem Umfang von 1000 Metern nur 20 Bits gleichzeitig enthalten kann. Ein Ring muß also über genügend große Verzögerung verfügen, um ein ganzes Token kreisen zu lassen, wenn alle Stationen untätig sind.

Die Verzögerung besteht aus zwei Komponenten: die **1-Bit-Verzögerung** durch jede Station und die **Fortpflanzungsverzögerung** des Signals. Wenn diese Verzögerungen nicht ausreichen um ein Token kreisen zu lassen, so ist es die Aufgabe des Monitors, Verzögerungen in den Ring einzufügen.

es

#### **Technische Merkmale:**

- Die Datenübertragung erfolgt nach dem Basisbandverfahren mit einer Datenrate von **4 oder 16 Mbit/s**.
- Die Signalisierung erfolgt nach der **differenziellen Manchestercodierung** ( $\Rightarrow$  I-5.3.1.1); HIGH ' +3,0 V, LOW ' -4,5 V.



## Beurteilung und Vergleich zu Ethernet

- ❑ Das Token-Ring-Verfahren basiert auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen und damit auf einer einfachen und durchgehend digitalen Technik. *Im Vergleich dazu benötigt Ethernet eine wichtige analoge Komponente in der Schaltung zur Kollisionserkennung im Transceiver.*
- ❑ Ringe können theoretisch jedes beliebige Übertragungsmedium, von den einfachen verdrehten Leitungen bis hin zum Lichtwellenleiter, zum Transport ihrer Daten verwenden. Das standardmäßige verdrehte Doppelkabel ist billig und einfach zu installieren. *Bei Standard-Ethernet können keine Lichtwellenleiter verwendet werden, da es schwierig ist, Abzweigungen zu installieren.*
- ❑ Die Benutzung von Sternverteiltern ermöglicht dem Token-Ring als einzigem lokalen Netzwerk das automatische Erkennen und Beseitigen von Kabelbrüchen.
- ❑ Token-Ring-Systeme lassen sowohl kurze, als auch beliebig lange, nur durch die Token-Haltezeit begrenzte Rahmen zu. *Bei Ethernet beträgt die minimale Größe eines Rahmens wegen der Möglichkeit von Kollisionen 64 Bytes, was im Falle der Übertragung einzelner Zeichen durch ein Terminal beträchtlichen Mehraufwand bedeutet.*
- ❑ Der größte Nachteil eines Token-Rings ist die zentrale Überwachungsstation. Obwohl eine abgestürzte Überwachungsstation ersetzt werden kann, führt sie eine unsichere Komponente in das System ein.
- ❑ Ein wichtiges Kriterium, um sich für eines der beiden Systeme zu entscheiden, ist die zu erwartende Auslastung:
  - Bei hoher Auslastung** sind der Datendurchsatz und die Effizienz bei Token-Ring-Systemen sehr gut. *Bei Ethernet dagegen kann das Auftreten von Kollisionen den Datendurchsatz und damit die Effizienz des Systems stark beeinflussen.*
  - Bei niedriger Auslastung** ist die Verzögerung bei Ethernet gleich null. Beim Token-Ring muß ein potentieller Sender immer auf das Token warten.
- ❑ Unter der Voraussetzung der Beschränkung der maximalen Nachrichtenlänge (Token-Haltezeit) ist das Token-Ring-Verfahren in der Lage, jeder Station einen Zugang zum Netz nach endlicher Wartezeit in fairer Weise garantiert zuzuweisen (geeignet für Realzeitanwendungen). *Bei Ethernet kann eine maximale Übertragungszeit nicht gewährleistet werden.*

Der Vergleich der beiden Netzwerke läßt erkennen, daß die Entscheidung für eines der beiden Typen sich ausschließlich nach den individuellen Anforderungen, die an ein Netzwerk gestellt werden, richtet.