

- **Koordination von Übertragungswiederholungen**

- ▶ p -persistent:

- Kleines p : eventuell lange Wartezeiten trotz freiem Medium
 - Großes p : hohes Risiko an Folgekollisionen

- ***BEB-Algorithmus:***

- ▶ Anpassung der Wartezeit an die Zahl wartender Stationen

- Nach der i -ten Kollision: ziehe Wartezeit x aus $[0, 2^i - 1]$
 - Wartezeit bis zum nächsten Carrier Sense: $x \cdot 51,2 \mu s$
 - Nach 10 – 15 Kollisionen konstantes Intervall $[0, 2^{10} - 1]$
 - Nach 16 Kollisionen gebe auf

- ▶ Jede Station verwaltet ihr i selbst

- Einzelne Stationen können benachteiligt werden!

Wenn eine sendende Station eine Kollision erkannt hat und aufhört zu senden, wartet sie eine gewisse Zeit lang und hört dann das Medium wieder ab, ob sie ihre Übertragung wiederholen kann. Es kann natürlich weiterhin zu Kollisionen kommen, vor allem weil während des Wartens noch einige sendewillige Stationen dazukommen können. Die Wartezeit einer Station nach einem erfolglosen Versuch errechnet sich nach dem exponentiellen Backoff-Algorithmus. Dieser berechnet die Anzahl der Slot-Times (die Slot-Time von $51,2 \mu s$ entspricht 64 Byte), die gewartet werden muss. Dies garantiert, dass, falls eine Station anfängt, das Medium zu nutzen, nach Ablauf einer Slot-Time auf jeden Fall alle anderen Stationen wissen, dass das Medium in Benutzung ist und weiterhin warten.

Man wartet somit immer ein Vielfaches der Slot-Time. Wenn zwei Stationen die gleiche Zufallszahl ziehen, dann gibt es wieder eine Kollision. Der exponentielle Anstieg des Bereichs, aus dem Zufallszahlen gezogen werden, garantiert, dass bei wenigen Stationen diese nicht allzu lange warten müssen (wir ziehen nur kurze Wartezeiten, die sich hoffentlich trotzdem unterscheiden). Warten viele Stationen, so wird das Intervall der Wartezeiten nach jeder Kollision vergrößert, so dass nach einigen Schritten jede voraussichtlich eine andere Zufallszahl ziehen: nach der ersten Kollision zieht die Station eine Zufallszahl aus dem Bereich $[0, 1]$ und wartet diese Anzahl von Slots. Nach der i -ten Kollision zieht sie eine Zufallszahl aus dem Intervall $[0, 2^i - 1]$ und wartet diese Anzahl von Slots. Ab dem 10ten Wiederholungsversuch bleibt das Intervall allerdings immer bei $[0, 2^{10} - 1]$. Nach 16 erfolglosen Versuchen bricht die Station ab und verwirft das Paket.

Rahmenformat nach IEEE 802.3

PR	SD	DA	SA	Länge	Data	PAD	FCS
7 Byte	1 Byte	2/6 Byte	2/6 Byte	2 Byte	≤1500 Byte	0-46 Byte	4 Byte

PR : Präambel zur Synchronisation (7 x 10101010)
SD : *Start-of-frame Delimiter* zeigt Blockbeginn an (10101011)
DA : *Destination Address*
SA : *Source Address*
Länge : Anzahl der Bytes im Datenfeld
Data : Datenfeld, das maximal 1500 Byte umfassen darf
PAD : *Padding*, um zu kurze Datenfelder auf die nötige Länge zu ergänzen
FCS : *Frame Check Sequence*, CRC

Wichtig:

Implementierungen von CSMA/CD (Ethernet) verwenden manche Felder in leicht unterschiedlicher Bedeutung!



III-86

802.3 – Rahmenformat

- Präambel: Dient zur anfänglichen Synchronisation der Stationen durch konstant auftretenden Pegelwechsel.
- Start Delimiter: zeigt den Beginn eines Rahmens an: 10101011.
- Zieladresse, Absenderadresse: laut ursprünglichem Standard: 2 oder 6 Byte; heute: 6 Byte MAC-Adresse.
- Längenfeld: gibt die Länge des Datenfelds (in Byte) an. Bei der Implementierung von 802.3 in Ethernet wird allerdings dieses Feld für einen anderen Zweck missbraucht: der Empfänger muss wissen, welcher Typ von Daten im Datenteil enthalten ist. Laut IEEE steht diese Angabe im LLC-Header, mit dem der Datenteil beginnt. In der Praxis verzichtet man aber auf den Einsatz von LLC, daher muss die Typangabe im 802.3-Rahmen selbst untergebracht werden. Bei Ethernet wird daher die Typangabe in das Längenfeld eingetragen; es werden nur Werte größer 1500 erlaubt, um eine Verwechslung mit einer Längenangabe zu vermeiden.
- Datenfeld: Die Daten werden ohne Bitstuffing o.ä. angefügt, da kein End Delimiter verwendet werden muss (Längenangabe). Bei Verwendung des Längenfelds für die Angabe des Typs von Daten erhält man die Datenfeldlänge implizit dadurch, dass es ein „Interframe Spacing“ gibt; eine Station, die feststellt, dass das Medium frei ist, muss noch für 9,6µs warten, bevor sie zu Senden anfangen darf. Zwei Rahmen können also nicht direkt aufeinander folgen. Die letzten 4 empfangenen Byte müssen also die FCS gewesen sein.
- PAD: Dieses Feld enthält eventuell Padding, d.h. wahllos eingefügt Bits. Zu kurze Datenfelder werden dadurch aufgestockt, damit die Rahmenlänge (ohne Präambel) mindestens 64 Byte beträgt, die vorgeschriebene Mindestlänge zur Kollisionserkennung.
- FCS: Dieses Feld dient zur Fehlererkennung: CRC-Verfahren mit 32 Bit-Polynom

Als Leitungscodierung verwendet 802.3 den Manchester-Code. Bei Überlagerung von Signalen kommt es zu Codeverletzungen, so dass alle Stationen Kollisionen erkennen können.

Neben IEEE 802.3 existiert noch eine weitere CSMA/CD-Variante, das „eigentliche“ Ethernet, welches von Xerox, Intel und DEC spezifiziert wurde und sich in einigen Details von IEEE 802.3 unterscheidet (siehe Folie „Rahmenformat CSMA/CD“). Wichtigster Unterschied ist die Tatsache, dass das Längenfeld von IEEE 802.3 durch ein 2 Byte langes Typ-Feld ersetzt wird, in dem der Typ des Payloads direkt eingetragen ist. Eine weitere LLC-Unterstützung existiert nicht (es wird also implizit vorausgesetzt, dass ein UI-Frame übertragen werden soll).

CSMA/CD

- **Vorteile**

- ▶ Einfaches Protokoll
- ▶ Installation im laufenden Betrieb einfach möglich
- ▶ Passive Kabel
- ▶ Nur geringe Verzögerung bei niedriger Last

Token Ring

- **Vorteile**

- ▶ Sehr guter Durchsatz und hohe Effizienz unter hoher Last
- ▶ Automatische Erkennung und Elimination von Kabelbruch
- ▶ Prioritäten möglich
- ▶ Kurze Rahmen möglich, Rahmenlänge nur durch THT begrenzt
- ▶ Echtzeitbetrieb möglich

CSMA/CD

- **Nachteile**

- ▶ Minimale Rahmengröße von 64 Byte, maximal 1500 Byte
- ▶ Keine Prioritäten
- ▶ Nicht deterministisch, deshalb kein Echtzeitbetrieb möglich
- ▶ Begrenzte Netzausdehnung
- ▶ Geringe Effizienz durch viele Kollisionen, problematisch bei höherer Last

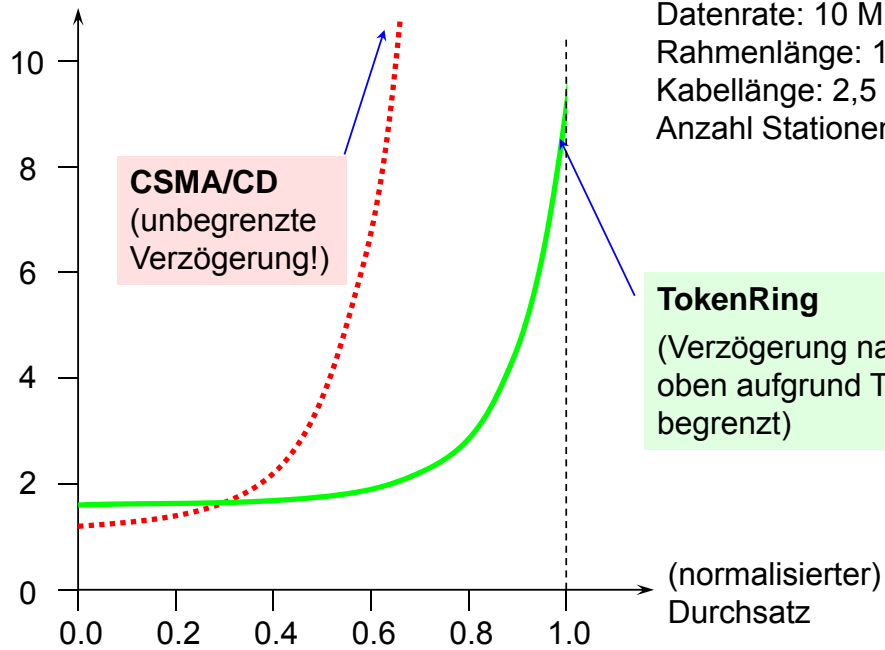
Token Ring

- **Nachteile**

- ▶ Komplexes Fehlermanagement (Token-Verlust, Monitorausfall)
- ▶ Unnötige Verzögerung unter niedriger Last

Verzögerungen von CSMA/CD vs. Token Ring

Mittlere Übertragungs-
verzögerung [ms]



CSMA/CD
(unbegrenzte
Verzögerung!)

Datenrate: 10 Mbit/s
Rahmenlänge: 1.500 Byte
Kabellänge: 2,5 km
Anzahl Stationen: 100

TokenRing
(Verzögerung nach
oben aufgrund THT
begrenzt)

- **Implementierung von CSMA/CD in der Praxis**

- ▶ 70er Jahre: experimentelles Netzwerk, Koaxialkabeln, Datenrate von 3 MBit/s; entwickelt von der Xerox Corporation als ein Protokoll für LANs mit sporadischem aber burst-artigem Verkehrsverhalten
- ▶ 1980: gemeinsame Weiterentwicklung durch DEC, Intel und Xerox zu einer 10 MBit/s-Variante
- ▶ Bus-Topologie mit einer maximalen Segmentlänge von 500 Metern, Anschlussmöglichkeit für maximal 100 passive Stationen; Repeater zum Zusammenschluss mehrerer Segmente
- ▶ Gängiges Medium: Kupferkabel; aber auch Glasfaser-Kabel kommen zum Einsatz (erhöht Segmentlänge)
- ▶ Frühe 90er Jahre: Bus-Topologie wird mehr und mehr von Stern-Topologie mit Hub oder Switch verdrängt (auf Twisted-Pair oder Glasfaserkabel basierend)

In den Anfangszeiten der lokalen Netze haben sich zwei Konzepte prominent entwickelt: 802.5 wurde unter dem Namen „Token Ring“ vertrieben, 802.3 mit leichten Variationen unter dem Namen „Ethernet“. Bitte beachten: Die 802.3/5 definieren den MAC-Layer – für konkrete Produkte werden auch Festlegungen für den Physical-Layer benötigt!

- **Ethernet: der heutige LAN-Standard**

- ▶ Einfach zu verstehen, umzusetzen und zu überwachen
- ▶ In der Anschaffung billig
- ▶ Bringt Flexibilität bzgl. der Topologie mit sich
- ▶ Über die Zeit Entwicklung von 4 Klassen von Ethernet-Varianten:

- (Classic) Ethernet → 10 Mb/s
- Fast Ethernet → 100 Mb/s
- Gigabit Ethernet → 1000 Mb/s
- 10Gigabit-Ethernet → 10000 Mb/s

- ▶ Des Weiteren:

- 40G-Ethernet, 100G-Ethernet

„Ethernet“ bezeichnet nicht einen einzelnen Standard, sondern wird im Sprachgebrauch für eine ganze Standardfamilie verwendet. Die Grundprinzipien sind bei allen Unterstandards gleich, sind aber auf unterschiedliche Medien angepasst und können durch weitere Anpassungen unterschiedliche Datenraten erzielen. Diese Unterschiede betreffen also im Wesentlichen die Umsetzung des Physical-Layers, während der MAC-Layer größtenteils gleich umgesetzt wird (~802.3).

Umsetzung bei Ethernet

Parameter	Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet
Maximale Ausdehnung	bis zu 2800 Meter	205 Meter	200 Meter
Datenrate	10 MBit/s	100 MBit/s	1000 MBit/s
Minimale Rahmenlänge	64 Byte	64 Byte	520 Byte
Maximale Rahmenlänge	1526 Byte	1526 Byte	1526 Byte
Signal-darstellung	Manchester-Code	4B/5B-Code, 8B/6T-Code, ...	8B/10B-Code, ...
Topologie	Bus oder Stern	Stern	Stern
Maximale #Repeater	5	2	1

Für einen konkreten Netzstandard werden die unteren beiden Schichten also gemeinsam standardisiert. Dies betrifft auf dem Physical-Layer die Art des physikalischen Mediums, seine Länge, Steckertypen zum Anschluss von Stationen, Topologie des Netzes, Codierung, Schrittgeschwindigkeit, ... - hier dargestellt ist nur eine Teilmenge der Möglichkeiten. Z.B. gibt es beim Classical Ethernet nicht nur die Möglichkeit, den Manchester-Code zu verwenden, sondern auch Modulationsverfahren. Hier dargestellt sind die gängigsten Varianten.

Dargestellt ist hier auch ein Aspekt des MAC-Layers: die erlaubte Rahmenlänge. Durch die Wahl von CSMA/CD als MAC-Verfahren ergibt sich die Notwendigkeit einer minimalen Rahmenlänge.

Die maximale Ausdehnung ist auch abhängig von CSMA/CD. Eine maximale Ausdehnung von 2800 Metern bei Ethernet auf Basis von Kupferkabel allerdings wäre zunächst nicht möglich, wenn auch durch CSMA/CD erlaubt: durch Signalabschwächung auf dem Medium können Kupferkabel nur über wenige 100 Meter die notwendige Bandbreite zur Verfügung stellen. Sollen größere Ausdehnungen erzielt werden, ist der Einsatz von Repeatern zur Signalauffrischung notwendig. Prinzipiell kann durch Repeater auch eine beliebig große Ausdehnung erzielt werden – aber durch CSMA/CD sind keine größeren Ausdehnungen erlaubt.

Die einzige „Optimierung“ beim klassischen Ethernet waren sogenannte *Brücken (Bridges)*, die Kollisionsdomänen auf unterschiedlichen Segmenten trennen sollten.

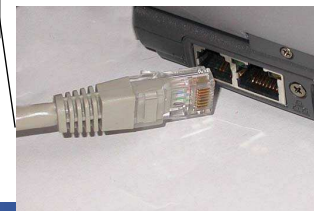
Man setzt zur Verbindung zweier Segmente nicht mehr einen Repeater zur puren Signalauffrischung ein, sondern implementiert in den Brücken auch Schicht-2-Protokolle. Hierdurch ist eine Brücke in der Lage, MAC-Adressen zu verstehen. Die Brücke kann lernen, welche Stationen mit welchen Adressen über welches der Segmente, die sie koppelt, erreichbar sind. Damit kann sie auch entscheiden, ob ein auf einem Segment empfangener Rahmen auf das andere Segment weitergeleitet werden muss oder nicht. Die Brücke führt also eine Weiterleitungstabelle zu allen ihr bekannten MAC-Adressen. Damit wird die Zahl von Kollisionen auch in ausgedehnten Netzen stark reduziert. Trotzdem darf die maximal erlaubte Ausdehnung nicht überschritten

werden, da miteinander kommunizierende Stationen natürlich auch in den am weitesten auseinanderliegenden Segmenten platziert sein können und die Rahmen auch durch die Brücken über alle Segmente hinweg weitergeleitet werden.

- **Benennung von Ethernet-Varianten:**
 - ▶ Datenrate in MBit/s (10, 100, **1000** oder 10G)
 - ▶ Übertragungstechnik (z.B. **Base** für Basisband, Broad für Broadband)
 - ▶ Maximale Segmentlänge á 100 Metern oder **Medientyp**
- **Beispiele:**
 - ▶ 10Base-T: 10 MBit/s, Basisband, Twisted-Pair-Kabel
 - ▶ 100Base-T2: 100 MBit/s, Basisband, 2 Adern des Twisted-Pair-Kabels
 - ▶ 1000Base-X: 1000 MBit/s, Basisband, Glasfaser-Kabel
- **Von der Variante hängen noch Parameter wie z.B. min. Rahmenlänge ab (Ausbreitungsgeschwindigkeiten):**
 - ▶ 1000Base-X: minimale Rahmenlänge 416 Bytes
 - ▶ 1000Base-T: minimale Rahmenlänge 520 Bytes

Übertragungsraten in LANs: 10, 100, 1.000, 10.000 MBit/s

Bezeichnung	Kabel / Topologie	Segmentlänge	Knoten pro Segment
10Base5 (Thick Ethernet)	Dickes Koax (Bus)	Max. 500m	Max. 100
10Base2 (Thin Ethernet)	Dünnes Koax (Bus)	Max. 185m	Max. 30
10/100/1000 BaseT	Twisted Pair (Stern)	Max. 100m	Max. 1.024
10/100/1000 BaseF/X	Glasfaser (Stern)	Max. 2.000m	Max 1.024

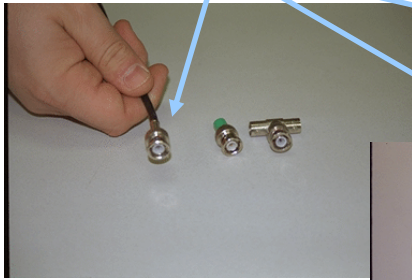


Technische Realisierungen von CSMA/CD

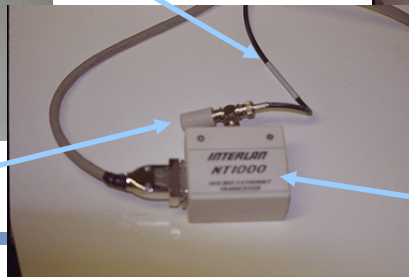
- **10Base5 Thick Ethernet:** Bus, dickes gelbes Koax-Kabel, 10 MBit/s Übertragungsrate, Segmentlänge = 500m, 100 Rechner pro Segment, max. 5 Segmente = 2500m Länge (wegen Signallaufzeit bzw. Slot-Time), über Repeater verbunden. Medienzugriff über Transceiver, den man ins Kabel einsticht. Extra Leitung (Attachment Unit Interface, AUI) zum Rechner (Transceiverkabel, max. 50m).
- **10Base2 Thin Ethernet (Cheapernet):** Bus, dünnes Koaxkabel, 10 Mbit/s Übertragungsrate, 185m pro Segment (höhere Dämpfung), max. 5 Segmente, 30 Rechner pro Segment, Anschluss direkt an Karte über T-BNC-Stecker (Transceiver in Adapterkarte integriert).
- **10BaseT Twisted Pair:** Sternförmige Kopplung über zentrale Komponente (z.B. Hub, Switch). 10 MBit/s Übertragungsrate, UTP-Kabel mit max. 100m von Station zur zentralen Komponente, theoretisch max. 1024 Stationen pro Segment, maximal 5 Segmente.
- **100BaseT/1000BaseT/10GBaseT Twisted Pair:** Ähnlich zu 10BaseT, mit zunehmend höheren Anforderungen an Kabelqualität, ab 1000BaseT auch Verwendung von mehr als 2 Aderpaaren zur gleichzeitigen Übertragung
- **10GBase:** Derzeit konkurrierenden Physical-Layer-Standards, noch geringe Verbreitung

- **10Base2, Thin Wire Ethernet, Cheapernet**

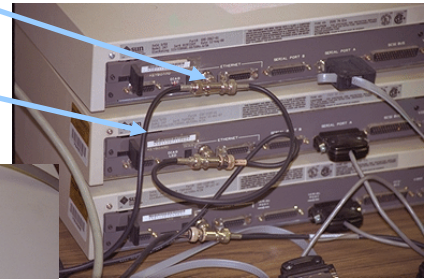
- ▶ 10Base2: 10 MBit/s, Basisbandübertragung, 185 Meter-Segmente
- ▶ 30 Teilnehmer pro Segment im Abstand von mindestens 0,5 m
- ▶ Transceiver meist direkt auf Ethernet-Adapter im Rechner (BNC-Buchse, T-Stück)
- ▶ Koaxialkabel



Abschlusswiderstand
zur Signalvernichtung



Transceiver



- **Sternförmige Verkabelung mit Hub/Switch**
 - ▶ Jede Station über Punkt-zu-Punkt-Verbindung an zentralem Verteiler
 - ▶ Verdrillte Leitungen
- **10BASE-T, Twisted Pair, 1980**
 - ▶ 10 MBit/s, Manchester-Codierung
- **Fast Ethernet, 100BASE-TX, 1995**
 - ▶ 100 MBit/s, 4B/5B-Kodierung, 1 Adernpaar je Richtung, 125 MBaud
 - ▶ Auch: Glasfaser
- **GBit-Ethernet, 1998**
 - ▶ 1 GBit/s, Twisted Pair (1000BASE-T) & Glasfaser (1000BASE-X)
 - ▶ 8B/10B-Code

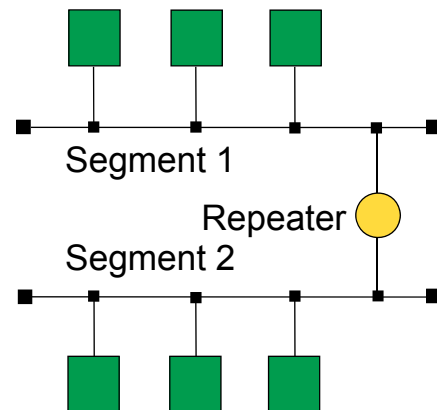
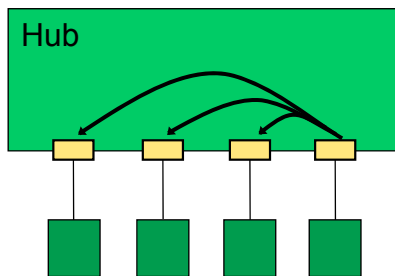


Alternative zum Bus: Stern mit zentralem Knoten zur Weiterleitung. Diese Ethernet-Variante wurde zur Beliebtesten; alle Weiterentwicklungen (Fast Ethernet, Gigabit-Ethernet, ...) basieren auf der Sterntopologie.

Zentrale Komponente: Hub

- **Nur Bitübertragungsschicht**

- ▶ *Empfang und Auffrischung von Signalen* (wie Repeater)
 - Kann auch zur Vergrößerung des Netzes verwendet werden
- ▶ Keine Unterbrechung der Kollisionsdomäne
 - Hub broadcastet empfangenes Signal auf allen anderen Ports
 - Nur eine Station zur Zeit kann senden

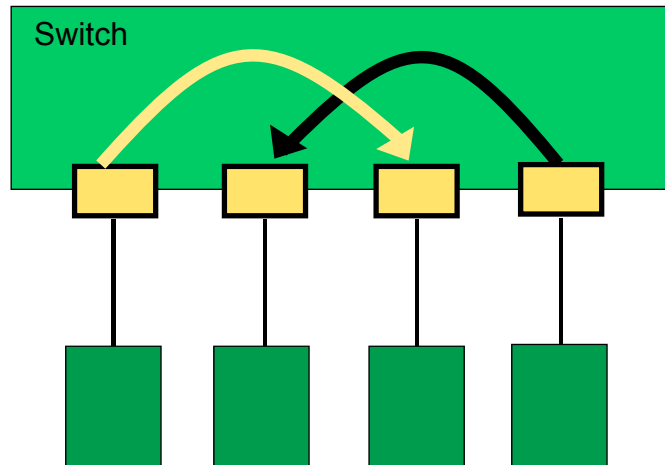


Die erste Komponente, die als zentrale Einheit im Stern eingesetzt wurde, war der Hub. Wie auch die Repeater hat er eine einfache Funktionalität: er empfängt auf einem Port (= Anschluss) Daten und leitet sie auf allen anderen weiter. Da die Signale auf dem empfangenen Port abgetastet und auf den anderen Ports neu erzeugt werden, nimmt er eine Signalauffrischung vor. Damit arbeitet der Hub auf der Bitübertragungsschicht.

Zentrale Komponente: Switch

- **Bitübertragungs- und Sicherungsschicht**

- ▶ *Punkt-zu-Punkt-Verbindungen* zwischen je zwei Stationen
- ▶ Lernt die Adressen angeschlossener Stationen
- ▶ Puffer für jeden Port
 - Keine Kollisionen mehr!
- ▶ Höherer Durchsatz als Hub
- ▶ Realisiert durch hochratigen internen Bus

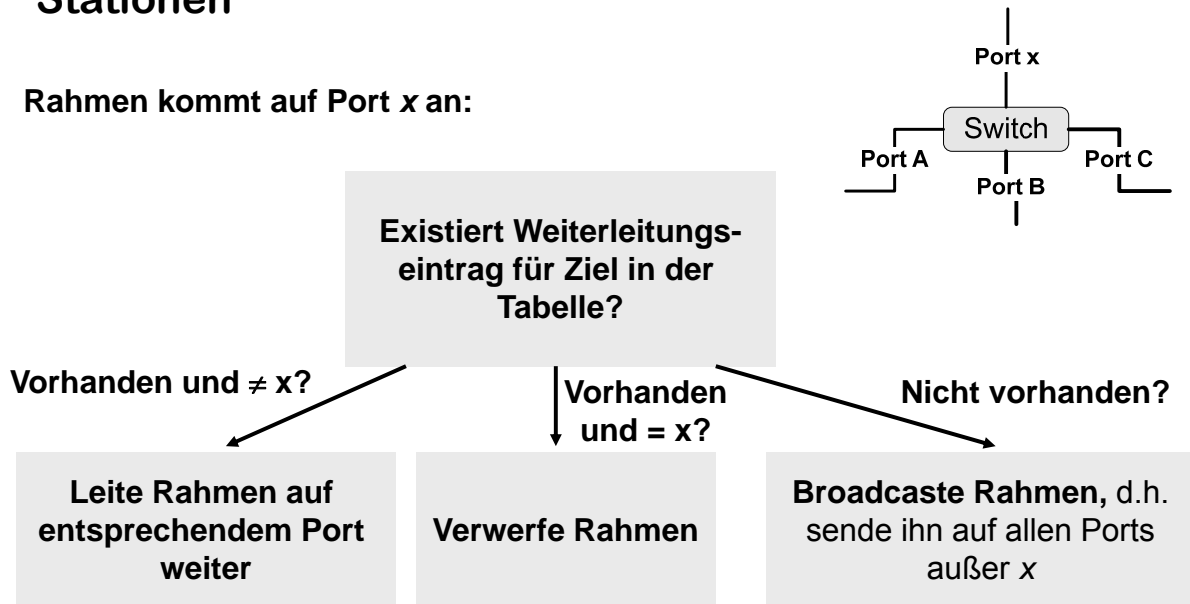


Der Switch wird mittlerweile (hoffentlich) überall als zentrale Komponente eingesetzt. Er verwaltet eine Weiterleitungstabelle und lernt die Adressen der angeschlossenen Stationen. Er kann auch zur Kopplung ganzer Netzsegmente eingesetzt werden (allerdings ohne Protokollwandlung, alle Segmente müssen das gleiche Protokoll einsetzen! Für eine zusätzliche Protokollwandlung würde man eine sogenannte Brücke benötigen), wird aber üblicherweise zur Kopplung einzelner Stationen eingesetzt – als Resultat können keine Kollisionen mehr auftreten und verschiedene Paare von Stationen können simultan Daten austauschen. Der Gesamtdurchsatz des Netzes wird gegenüber dem Hub deutlich erhöht.

Achtung, Falle: im heutigen Sprachgebrauch wird sehr viel als Switch bezeichnet, was eigentlich gar kein Switch mehr ist. Ein sogenannter „Layer-3-Switch“ ist ein Switch wie hier dargestellt, der über integrierte Routing-Funktionalität verfügt (siehe nächstes Kapitel). Wenn im weiteren Verlauf der Vorlesung/Übungen von „Switch“ die Rede ist, ist stets die eigentliche, hier dargestellte Ursprungsvariante gemeint.

- **Automatisches Lernen von Adressen angeschlossener Stationen**

Rahmen kommt auf Port x an:



Ein Switch verwaltet eine Weiterleitungstabelle, in der festgehalten wird, welche Rechner (bzw. Netzwerkkarten mit bestimmten MAC-Adressen) sich hinter welchem Anschluss (Port) befinden. In der Tabelle wird bei jedem Eintrag neben der MAC-Adresse und dem zugehörigen Port auch das Alter des Eintrags festgehalten.

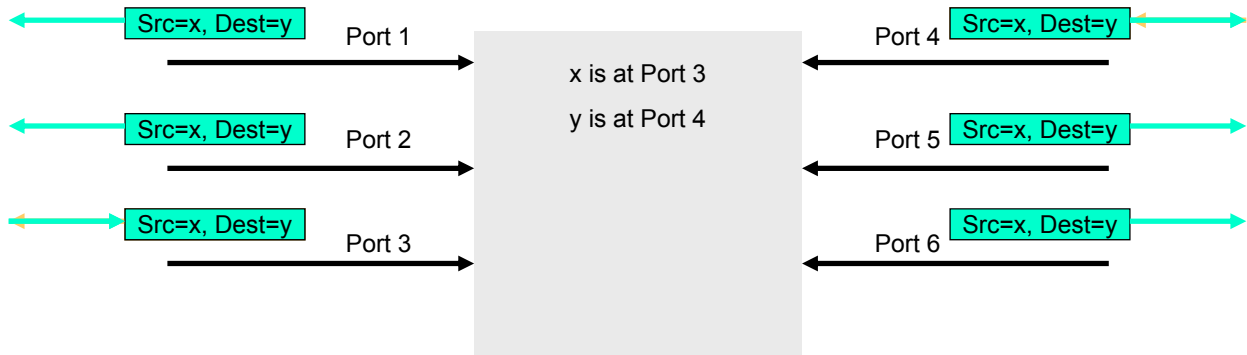
Die Weiterleitungstabelle des Switches muss nicht manuell konfiguriert werden. Statt dessen lernt der Switch, welche Stationen angeschlossen sind, im laufenden Betrieb. Empfängt der Switch einen Rahmen, schaut er sich zunächst die Zieladresse des Rahmens an und durchsucht seine bisherige Weiterleitungstabelle, ob er einen Eintrag für die entsprechende Adresse hat. Ist dies der Fall, wird das Rahmen über den im Eintrag angegebenen Port weitergeleitet. Eine Ausnahmefall ist, dass der Rahmen über den Port weitergeleitet werden müsste, über den der Switch ihn empfangen hat – in diesem Fall hat sich der Rahmen bereits in dem Segment, in dem das Ziel zu finden ist, ausgebreitet und braucht nicht noch einmal ausgesendet zu werden.

Ist kein Eintrag vorhanden, wird der Rahmen auf allen Ports (außer dem, über den er empfangen wurde) weitergeleitet, damit er auf jeden Fall beim Ziel ankommt.

Gleichzeitig untersucht der Switch auch bei jedem Rahmen, ob er einen neuen Weiterleitungseintrag anlegen muss, indem er sich die Absenderadresse des Rahmens anschaut. Existiert zu dieser Adresse bereits ein Eintrag, wird das Alter des Eintrags zurückgesetzt. Ist im Eintrag ein anderer Port abgespeichert als der, über den der aktuelle Rahmen empfangen wird, wird auch diese Angabe aktualisiert. Existiert noch kein Eintrag, wird ein neuer Eintrag mit der Absenderadresse und dem Port, auf dem der Rahmen empfangen wurde, angelegt.

Das Alter eines Eintrags wird mitgeführt, damit veraltete Einträge nach bestimmter Zeit automatisch gelöscht werden.

- **Daten für eine unbekannte Adresse auf einem Port empfangen**
 - ▶ Broadcast des Rahmens auf alle anderen Ports
 - ▶ Absenderadresse des Rahmens kann für den Port, über den er empfangen wurde, gespeichert werden



- **Behalte Ethernet bei, aber mache es „schneller“:**
 - ▶ Kompatibilität mit existierenden Ethernet-Netzen
 - ▶ 100 MBit/s Übertragungsrate, erreicht durch
 - Bessere Leitungen (dadurch kürzere Schritte möglich)
 - Effizientere Leitungscodes
 - Nutzung mehrerer Leitungspaare, ...
- **Problem:**
 - ▶ Minimale Rahmenlänge zur Kollisionserkennung ist 64 Byte
 - 100 MBit/s: Rahmen wird ca. 10 Mal so schnell abgesendet
 - Kollisionserkennung nicht mehr gewährleistet
 - ▶ Für Fast Ethernet musste die Ausdehnung ca. um den Faktor 10 auf etwas mehr als 200 Meter reduziert werden...
 - Daher: *Verwendung der Sterntopologie* mit Hub oder Switch

- **Einschränkung der Topologie**

- ▶ Sterntopologie
- ▶ Datenrate 100 MBit/s → Reduktion der Ausdehnung

Bezeichnung	Kabel	Segmentlänge	Vorteile
100Base-T4	Vier verdrehte Adernpaare Cat3	Max. 100m	Ältere Kabel wiederverwendbar
100Base-TX	Zwei verdrehte Adernpaare Cat5	Max. 100m	Vollduplex bei 100 Mbit/s
100Base-F	Glasfaser	Max. 800m	Vollduplex, längere Strecken

Fast Ethernet

Bei Fast Ethernet wurde das Konzept von IEEE 802.3 (insbesondere das Zugriffsverfahren) übernommen und die Datenrate auf 100 MBit/s erhöht. Bei einer Übertragungsrate von 100 MBit/s müsste man in einer Slot-Time von 51,2 μ s nun 640 Byte senden, um das ganze Kabel zu belegen. Diese minimale Rahmengröße ist aber zu groß. Deshalb wurde die maximale Ausdehnung auf 100m beschränkt und nur noch eine sternförmige Netztopologie (Anschluss erfolgt an einen Hub oder Switch - 100m Länge zum Hub entsprechen dann 200m Netzausdehnung) zugelassen. Folgende Kabelarten werden unterstützt:

- 100 Base-T4: 4 Adernpaare (UTP-3/4/5-Kabel). Drei Adernpaare werden zur Datenübertragung genutzt, eines zur Übertragung von Kontrollinformationen. Auf jedem Adernpaar erfolgt eine Übertragung mit 33.33 Mbit/s (8B6T Code). Die Übertragung erfolgt im Halbduplex-Modus.
- 100 Base-TX: 2 Adernpaare (UTP-5-Kabel, STP-1/2-Kabel). Man benutzt die 4B/5B-Codierung zur Übertragung (vollduplex).
- 100 Base FX: Hier verwendet man Multimode-Glasfaserkabel (jeweils eines pro Richtung) zur Vollduplexübertragung. Die maximale Länge der Übertragungsstrecke zum Hub beträgt 400m – was eigentlich länger ist als durch CSMA/CD erlaubt! Allerdings werden bei Verwendung von Glasfaser nur noch Switches eingesetzt, so dass keine Kollisionen mehr auftreten können und man auf Kollisionserkennung keine Rücksicht mehr nehmen muss.

► Weitere Steigerung der Datenrate

- Sterntopologie
- Datenrate 1.000 MBit/s → Ausdehnung?
- Auch UTP möglich (802.3ab)

Bezeichnung	Kabel	Segmentlänge
1000Base-T	4 ungeschirmte Adernpaare (UTP-5)	100m
1000Base-CX	2 geschirmte Adernpaare	25m
1000Base-SX	Multimode-Glasfaser	2 - 550 m
1000Base-LX	Multi-/Monomode-Glasfaser	2 - 5.500 m

Auch hier zu sehen: bei Glasfaserverkabelung wird vorausgesetzt, dass keine Kollisionen mehr verursacht werden können und die Kollisionserkennung wird ignoriert.

- **Wegen Verbreitung von UTP-5-Kabeln: Gigabit-Ethernet soll auch für diesen Kabeltyp möglich sein**
 - ▶ Kompatibilität: Länge von bis zu 100 m soll beibehalten werden
 - ▶ 8B/10B-Codierung: 1.250 MBaud zur Übertragung notwendig!
 - ▶ Probleme mit Übersprechen, Dämpfung, ...
 - **Lösung: *parallele Nutzung aller vier Doppeladern***
 - ▶ Steuerung des Senders durch Switch
 - ▶ Modulationsverfahren: PAM5 (Pulsamplitudenmodulation mit fünf Zuständen)
 - Über die 4 Adernpaare kann pro Signalschritt 1 Byte übertragen werden
 - ▶ Duplexbetrieb durch Echokompensation
- Reduktion auf 125 MBaud pro Adernpaar

Probleme beim Übergang zu Gigabit-Ethernet:

- Kompatibilität zu älteren Ethernet-Varianten sollte beibehalten werden, um ein gemischtes Zusammenschalten von Stationen zu ermöglichen. Damit darf sich auch das Rahmenformat nicht ändern, wodurch wieder die Netzausdehnung reduziert werden müsste (auf ca. 20 Meter... „Very local area network“???)
- Erreichen der nötigen Datenrate über relativ schlechte Kabel – was ermöglicht wurde, indem auf allen vier Adernpaaren parallel ein ganzes Byte codiert wird. Um Duplexbetrieb zu erreichen, werden alle vier Adernpaare simultan in beide Richtungen genutzt, was spezielle Filter nötig macht, damit die eigene Sendung nicht Störeinflüsse auf die empfangenen Signale ausübt.

- **Beibehaltung der Segmentlänge**

- ▶ Minimale Rahmenlänge von 64 Byte beibehalten → Reduktion der Netzausdehnung auf 20 Meter wäre erforderlich!
- ▶ Daher: größere minimale Rahmenlänge aber Beibehaltung des alten Rahmenformats durch eine *Carrier Extension*

PRE	SFD	DA	SA	Length /Type	DATA	Padding	FCS	nodata
-----	-----	----	----	-----------------	------	---------	-----	--------

- Padding auf 64 Byte innerhalb des Rahmens
- Padding auf 520 Byte außerhalb des Rahmens
- Entfernung des „nodata“-Anteils bei Übergang von Gigabit- in Fast-Ethernet

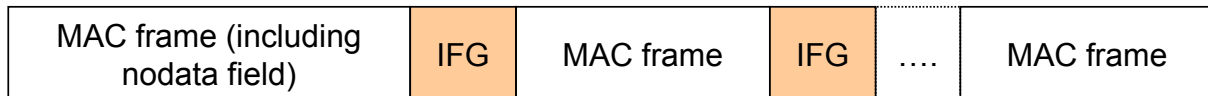
Um zu vermeiden, dass bei erneuter Steigerung der Datenrate um den Faktor 10 die Ausdehnung des Netzes für CSMA/CD um den Faktor 10 reduziert werden muss, hat man zu einem schmutzigen Trick gegriffen: führe ein zweites Padding-Feld außerhalb des Rahmens ein. Ist ein Rahmen kleiner als 64 Byte, wird das innere Padding-Feld genutzt, um den Rahmen auf 64 Byte aufzufüllen. Danach (oder falls ein Rahmen zwischen 64 und 520 Byte Größe hat) wird Padding hinter dem Rahmen vorgenommen (Nodata-Feld). Dieses Vorgehen wird Carrier Extension genannt.

Hierdurch ermöglicht man gemischten Betrieb von Fast- und Gigabit-Ethernet. Wird ein Rahmen < 520 Byte von einer Fast-Ethernet-Station über einen Switch (der beide Varianten spricht) an eine Gigabit-Station weitergeleitet, fügt diese ein Nodata-Feld an. Umgekehrt wird solch ein Feld beim Übergang von einem Gigabit- in ein Fast-Ethernet entfernt.

Da mittlerweile wohl nur noch Switches eingesetzt werden, ist eine Kollision mehr möglich, aber der Standard führt trotzdem noch diesen Trick für die Kollisionserkennung mit sich...

- **1500 Byte maximale Rahmenlänge sehr beschränkt**

- ▶ *Frame Bursting*: sende mehrere Rahmen ohne erneutes CSMA
- ▶ Senden von bis zu 5 Rahmen in Folge möglich, verbunden durch „Inter-Frame Gaps“ (IFGs)
 - Medium scheint für andere Stationen belegt
 - Beibehaltung des vorherigen Rahmenformats



Weiterer Trick: erhöhe virtuell die maximale Rahmenlänge. Der Wert von 1500 Byte ist recht antiquiert – im 10-Mbit-Netz sollte er vermeiden, dass eine Station zu lange das Netz blockiert und damit anderen Stationen den Zugriff aufs Netz verwehrt. Mit heutigen Datenraten ist der Wert eher klein... aber man modifiziert die Obergrenze nicht, um weiterhin Kompatibilität zu den älteren Varianten beizubehalten. Aber um den Durchsatz zumindest etwas zu steigern, hat man Frame Bursting eingeführt: sende mehrere Rahmen, ohne zwischendurch erneut CSMA durchführen zu müssen (was im Normalfall sowieso überflüssig ist, da Switches eingesetzt werden). Statt dessen sendet man mehrere Rahmen in Folge und um diese voneinander zu trennen, werden bestimmte Bitfolgen als Interframe-Gap eingefügt. Damit scheint das Medium für konkurrierende Stationen durchgehend belegt.

- **10-Gigabit-Ethernet (802.3ae)**

- ▶ Nur noch Switch als zentrale Komponente erlaubt
 - Keine Notwendigkeit mehr für CSMA/CD
 - Aus Kompatibilitätsgründen mit implementiert (Rahmenformat, Größen)
- ▶ Zwei Varianten der Bitübertragungsschicht
 - 10 Gbit/s für LAN
 - 9,615 Gbit/s zum Übergang zu SDH (WAN)
- ▶ Anfangs nur Glasfaser, mittlerweile auch Twisted Pair

- **Mittlerweile**

- ▶ 40G-Ethernet, 100G-Ethernet
 - Beibehaltung des Rahmenformats
 - 7 Meter über Twisted Pair, bis zu 40 km über Glasfaser
- ▶ EtherCAT, Ethernet Powerlink, ...

Bei 10G-Ethernet müsste man erneut die Ausdehnung verringern, da für die höheren Datenraten eine höhere Bandbreite benötigt wird – und höhere Frequenzen werden stärker gedämpft. Ziel war: 50m bei CAT6, 100m bei CAT7. Um dies mit 10 Gigabit zu erreichen, hat man einige Änderungen auf der Bitübertragungsschicht eingeführt: zum einen wird nicht mehr ein Signal über ein Adernpaar geschickt, sondern nur noch über eine Ader. Damit kann man die Daten auf 8 Adern verteilen. Als Resultat wird aber der Einfluss von Störungen durch das Verdrillen nicht mehr reduziert – daher fügt man dem Signal vor der Übertragung ein Rauschen hinzu: die Signale werden auf Senderseite so verzerrt, dass sie nach Dämpfung und Störeinflüssen auf Empfängerseite geschätzt so ankommen, wie es gewünscht ist. Zusätzlich wird PAM16 verwenden, also ein Code mit 16 Zuständen, so dass 4 Bit pro Signal pro Ader übertragen werden können.

Des Weiteren hat Ethernet sich mittlerweile auch in vielen anderen Bereichen durchgesetzt – beispielsweise auch in Busnetzen, bei denen die Zustellung von Daten zeitkritisch ist oder priorisiert werden können muss (wozu früher Token Bus konzipiert wurde). Hierzu gibt es eigene Mechanismen (beispielsweise EtherCAT, Ethernet Powerlink), die zumindest das Rahmenformat von Ethernet übernehmen.

- **Aufgabe der Sicherungsschicht**

- ▶ Gesicherte Übertragung von Daten zwischen benachbarten Stationen
 - Umfasst Rahmenbildung, Fehlererkennung/-behebung, Flusskontrolle, Medienzugriff
- ▶ Standardverfahren wie CRC (Fehlererkennung), Go-Back-N/Selective Repeat (Fehlerbehebung), Sliding Window (Flusskontrolle)
- ▶ Vielfältige Mechanismen zum Medienzugriff
 - Dezentral, geregelt/konkurrierend
 - Nur notwendig in Netzen mit geteiltem Medium
- ▶ Standard für lokalen Netze: Ethernet
 - DSL als Zuleitung zu Backbones