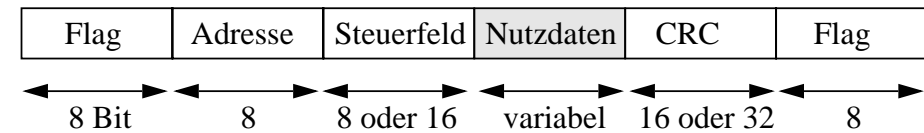


HDLC

High Level Data Link Control

- Weit verbreitetes Protokoll der OSI-Ebene 2 (“data link layer”); genormt von der ISO
 - sowohl für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (“balanced configuration”) als auch für Punkt-zu-Mehrpunkt mit einer Hauptstation (“primary”) und mehreren Sekundärstationen
- Einfache Variante des Sliding-Window-Protokolls
 - für Flusssteuerung, Reihenfolgeerhalt und Fehlerbehandlung
 - Pakete mit Bitfehlern (CRC!) werden vom Empfänger ignoriert; Sender fragt bei ausbleibender Bestätigung nach (“polling”); Empfänger antwortet dann i.a. mit der nächsten erwarteten Sequenznr.
- Viele ähnliche praktisch relevante Protokolle (z.T. etwas andere Funktionalität, unterschiedl. Adressschemata etc.)
 - SDLC (“Synchronous...”: IBM-SNA-Architektur)
 - LAPB (“Link Access Procedure, Balanced”): Teil des X.25-Paketvermittlungsstandards (X.25 wurde 1976 genormt)
 - LAPD (“..., D-Channel): Teil von ISDN
 - LAPF (“... for Frame-Mode Bearer Services”): Teil von “Frame Relay” (schnelles WAN-Paketvermittlungsprotokoll als Ersatz für X.25)
 - LLC (“Logical Link Control”): für LANs oberhalb der MAC-Ebene

HDLC-Rahmenformat



- Flag:
 - synchrone Datenübertragung; Flag 01111110 begrenzt den Rahmen
 - Bitmuster 01111110 wird i.a. auch in Pausen gesendet
 - bit stuffing, um Flag eindeutig zu halten
 - hunting-Modus des Empfängers, um Rahmenanfang zu finden
- Adressfeld
 - ohne Bedeutung bei direkter Punkt-zu-Punkt-Verbindung
 - “extended format” für längere Adressen
 - Broadcast-Adresse 11111111
- Steuerfeld
 - enthält Sequenznummer (bei Huckepackbestätigungen auch Nummer des letzten erhaltenen Rahmens) modulo 8 oder 128
 - diverse Bits zur Kennzeichnung von Kommandos

HDLC-Kommandos

Auswahl; es gibt noch einige mehr

- *Receive Ready* (RR): positive Bestätigung (mit Sequenznummer des zuletzt empfangenen Rahmens)
 - bereit, weitere Rahmen zu empfangen
- *Receive Not Ready* (RNR): wie RR, aber *nicht* bereit, weitere Rahmen zu empfangen
 - verwendet bei temporären Problemen des Empfängers
 - ein RR wird später (ggf. auf Nachfrage des Senders) verschickt
- *Reject* (REJ): Negative Bestätigung
 - wiederhole alle Rahmen ab der angegebenen Sequenznummer
- *Selective Reject* (SREJ)
 - wiederhole einen bestimmten Rahmen
- *Set Asynchronous Response Mode*: Verbindungsaufbau durch initiierende Station
- *Unnumbered Acknowledgement*: Bestätigt das letzte Kommando (z.B. Verbindungswunsch)
- *Disconnect*: Kann von beiden Seiten ausgelöst werden
 - Bestätigung durch ein Unnumbered Acknowledgement

Die meisten Kommandos können huckepack mit Informationspaketen in Gegenrichtung verschickt werden; falls keine Information in Gegenrichtung vorliegt aber auch mit eigenen "supervisory frames".

Lokale Netze

- Charakteristiken

- Ausdehnung max. einige km; mehrere Mb/s Übertragungsrate
- typischerweise innerhalb eines Gebäudes (bzw. Etage; bzw. "Campus")
- typisch: Broadcastfähigkeit; bitserielle Übertragung
- PCs, Workstations, Hosts, Drucker, Gateways zu WANs etc. sind flexibel und preiswert anschliessbar; Netz ist einfach erweiterbar

- "Typen" (Technologien, Protokolle...)

- Ethernet (Bus; 10 Mb/s)
 - Token-Ring (4 oder 16 Mb/s)
 - Token-Bus
 - ...
- } - Übergänge / Koppelung möglich (Gateway, Router etc.)
- } - Ethernet (in verschiedenen Varianten) am weitesten verbreitet

- Höhere Datenraten mit:

- Fast Ethernet, Gigabit Ethernet (100 / 1000 Mb/s)
- FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
- ATM (Asynchronous Transfer Mode: einheitl. WAN/LAN-Technik)

- Neuere Anforderungen

- Audio (Sprachübertragung, Telefonieren über das LAN...)
- Bilder, Animationen, Video
- benötigt kurze Verzögerungen und Varianzen (--> "jitter")

- Neuerdings auch drahtlos ("Wireless LAN")

- typisch: 20 - 100 m, ca. 10 Mb/s

- Netze grösserer Ausdehnung: Metropolitan Area Networks (MAN)

Ethernet

“Äther”

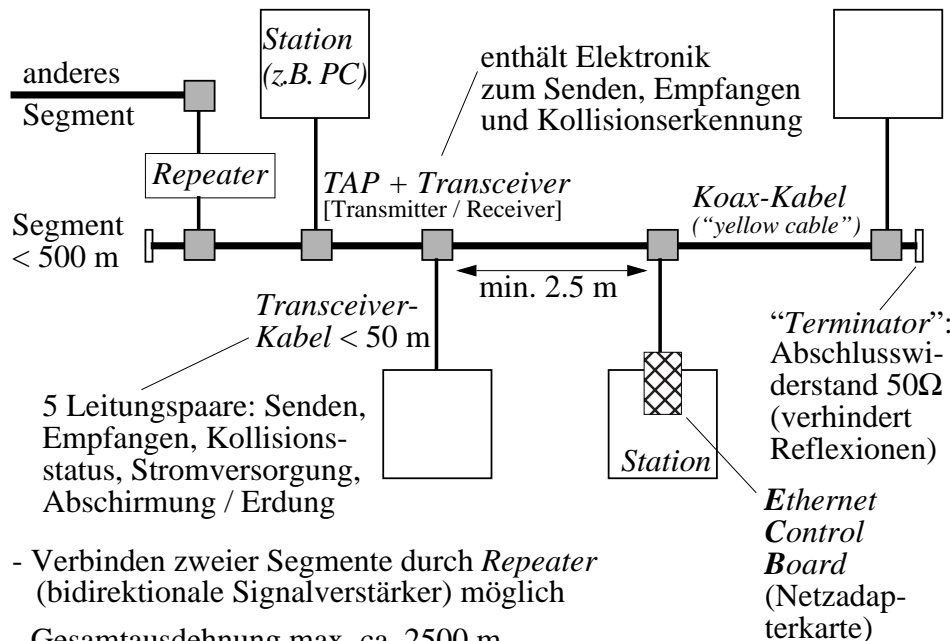
- > gemeinsames Medium
- > broadcast der Nachrichten

Carrier Sense Multiple Access

Collision Detection

- Bus mit dezentraler Zugangskontrolle (CSMA/CD-Prizip)
- Industriestandard seit 1980 (XEROX ab Mitte 1970)
- Genormt durch IEEE 802.3
- Relativ unempfindlich gegenüber Ausfall einer Station
- Preiswert, einfach ausbaufähig, wenig Administration

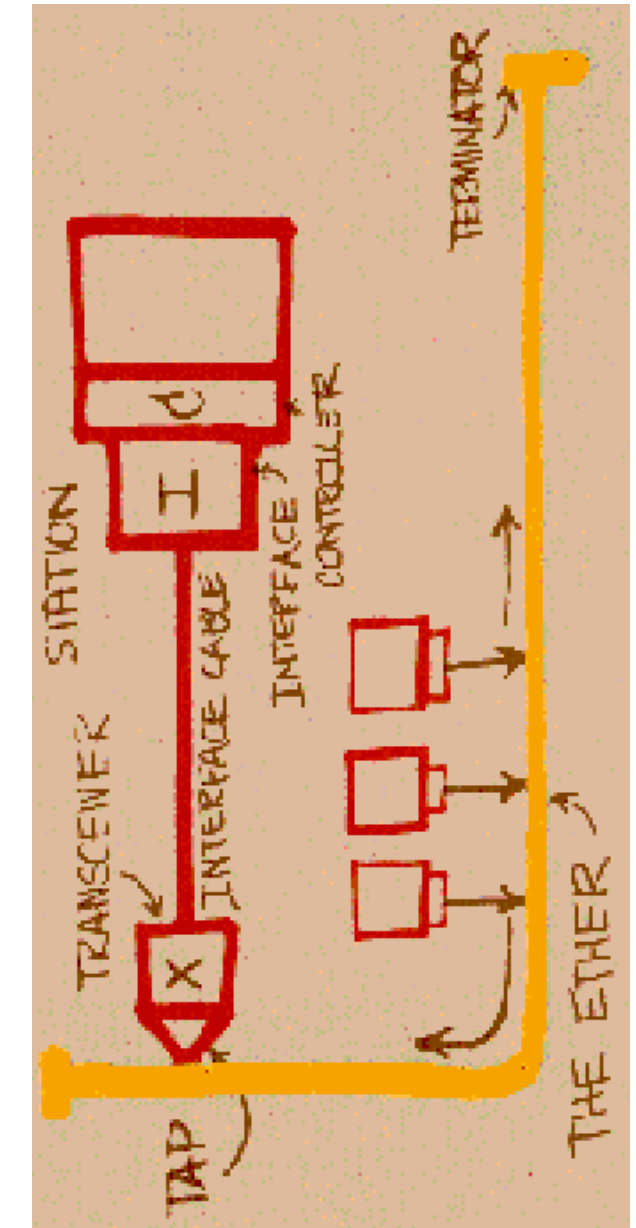
Klassische Konfiguration (“thick wire”; 10 Base 5):



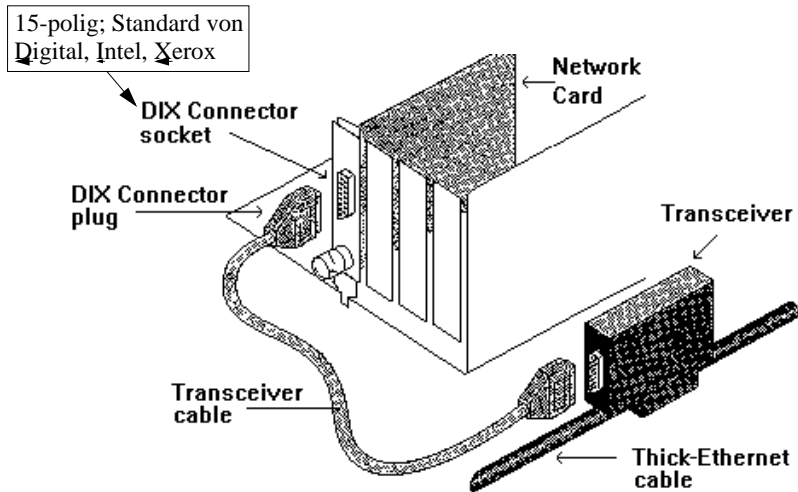
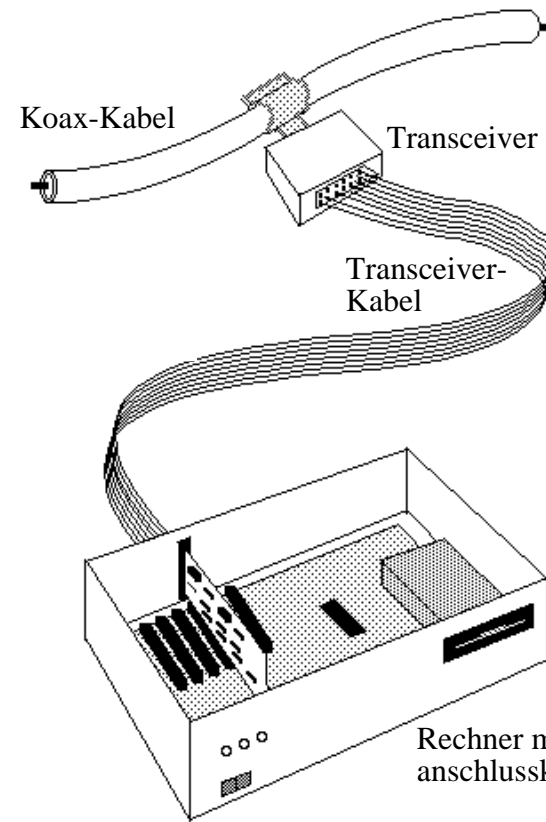
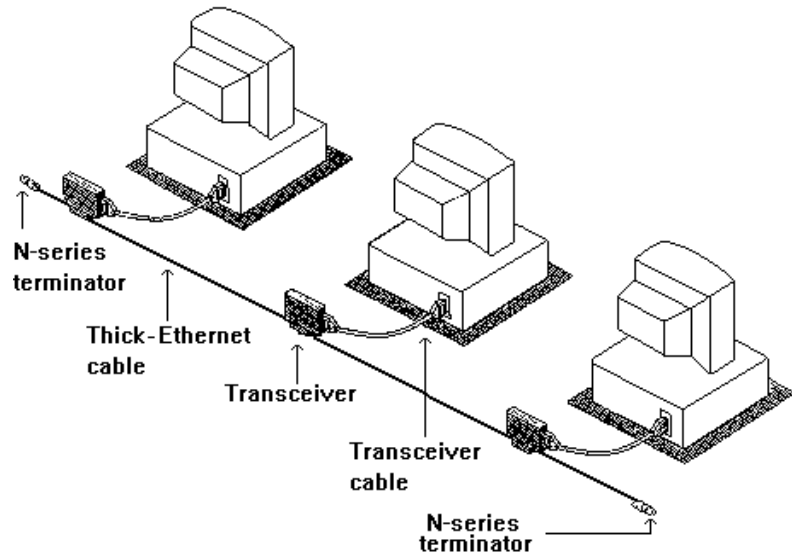
Das “klassische” Ethernet

XEROX

The diagram ... was drawn by Dr. Robert M. Metcalfe in 1976 to present Ethernet for the first time. It was used in his presentation to the National Computer Conference in June of that year. On the drawing are the original terms for describing Ethernet. Since then other terms have come into usage among Ethernet enthusiasts.



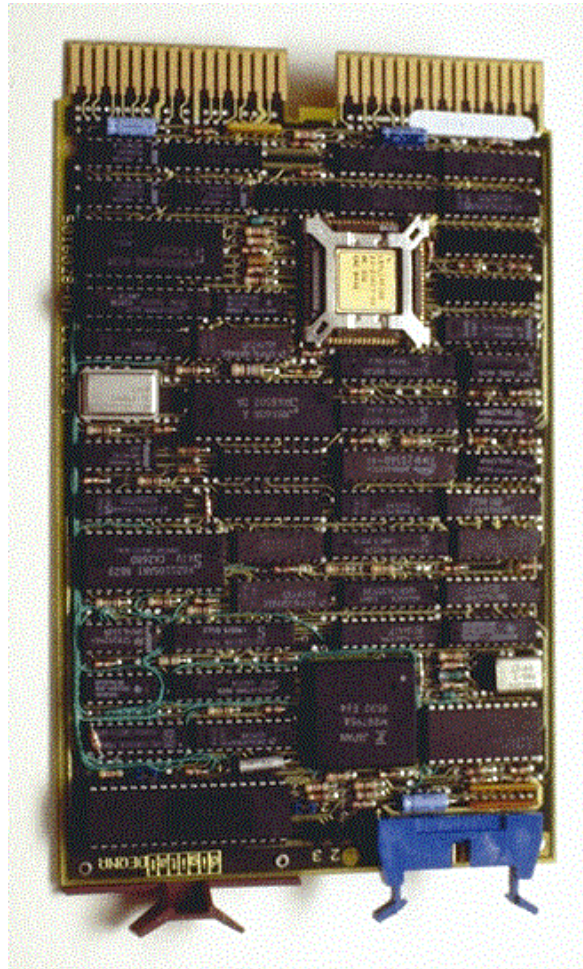
10 Base 5 - Ethernet



Ethernet yellow cable

Ethernet-Netzanschlusskarte

- Network Interface Card (“NIC”)
- Heute allerdings oft auf kleinerer PCMCIA-Karte



Transceiver-Kabel (“AUI-Kabel”) wird an den blauen Stecker angeschlossen



Plug and Play...

Betrachtungen beim Einbau einer Netzkarte

von Herbert Hrachovec

(c) DIE ZEIT/Ausgabe Nr. 18 vom 26.4.1996

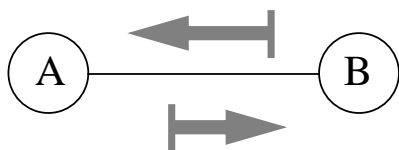
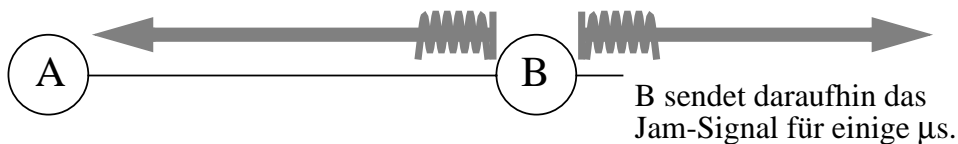
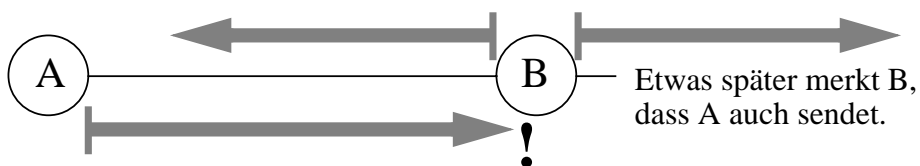
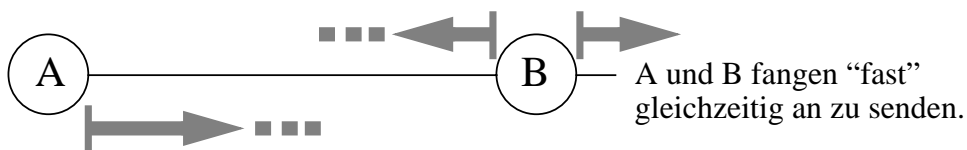
...Bloss wie kommt er ans Netz? Die Hilfsbereitschaft der Techniker ist schon lange überstrapaziert. Ihnen ist zu verdanken, dass der Betrieb mit den vorhandenen Geräten klappt. Sie kamen mit einem Zauberstab, murmelten einige Beschwörungsformeln - dann konnte man die erste elektronische Post verschicken. Das muss auch ohne fremde Hilfe gehen...

Zum Datenaustausch über ein Netz braucht der Computer ein Steckmodul, eine sogenannte Netzkarte, und Software, um mit ihr in Verbindung zu treten... Am einfachsten fällt es noch, die Karte physisch in den rechten Schlitz zu drücken, dann beginnt ein nervenaufreibendes Spiel. In rasanter Folge laufen Fehlermeldungen über den Bildschirm. Das Steckmodul und die Steuerung wollen sich nicht miteinander anfreunden. Stunden vergehen mit fruchtlosen Vermittlungsversuchen...

Ethernet: Prinzipien

- 10 Mb/s; Manchester-Kodierung (20 MHz; +/- 0.85V)
 - Nachricht wird in Pakete ("frames") fester Länge zerteilt
 - bei einem Übertragungsproblem lediglich (kurzes) Paket wiederholen
 - Paketbildung, Bitfehlerprüfung durch die Netzadapterkarte
-
- Sendewillige Station horcht am Bus ("Carrier Sense") und sendet, falls Medium frei
 - ansonsten warten bis frei und dann sofort senden
 - Problem: Tun das dann nicht oft mehrere Stationen gleichzeitig?
 - nach Senden eines Paketes einige μ s warten (Lücke ist Chance für andere sendewillige Stationen)
 - Sendende Station horcht während des Sendens Bus ab; Kollisionen mit anderen Stationen werden vom zugehörigen Transceiver erkannt ("Collision Detection")
 - endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit --> minimale Paketlänge
 - bei Kollision: Senden abbrechen und Aussenden eines "Jam-Signals" (damit auch weiter entfernte Stationen die Kollision erkennen, da abgebrochene Datenpakete evtl. zu kurz dafür sind)
 - Bei Kollision neuer Sendeversuch nach zufällig bestimmter Zeit aus einem Intervall
 - bei jeder erfolglosen Wiederholung wird Intervall verdoppelt ("binary exponential backoff"); initial: 51.2 μ s
 - Abbruch nach 16 Fehlversuchen (Paket hätte ja auch sonstwie verloren gehen können --> Behandlung auf höherer Ebene)
 - Neubewerber sind bei diesem Verfahren im Vorteil

Kollisionen



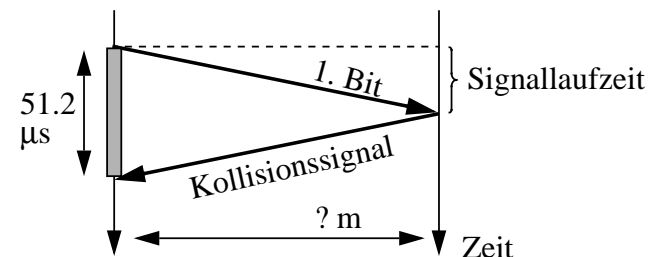
Das darf nicht auftreten: Keine Station merkt (während sie sendet!), dass eine andere ebenfalls sendet.
 --> "Kollisionsfenster" = 2 Mal die Zeit, die ein Signal von A nach B braucht.
 Daher auch abgebrochene Pakete nach einer Kollision durch "Jam" verlängern.

- Kollision wird erkannt:

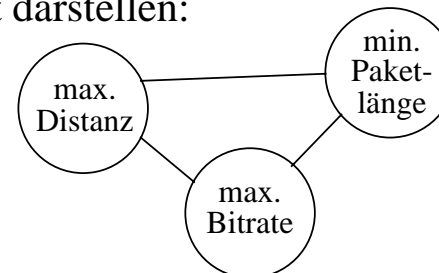
- bei ungewöhnlich hoher Spannung, erzeugt durch mehr als einen Sender (wegen Signaldämpfung ist Segment auf 500 m beschränkt!)
- bei falscher Impulsbreite
- ggf. auch durch Vergleich gesendete / empfangene Daten

Kollisionsfenster

- Mindestpaketlänge (nach IEEE 802.3-Standard): 64 Byte
 - kürzere Nachricht (z.B. bei Abbruch eines Sendevorgangs) werden künstlich verlängert
- Sendevorgang dauert also mindestens $51.2 \mu\text{s}$
- Zur sicheren Kollisionserkennung muss Kollisionssignal ankommen, bevor das letzte Bit des Paketes versendet wird

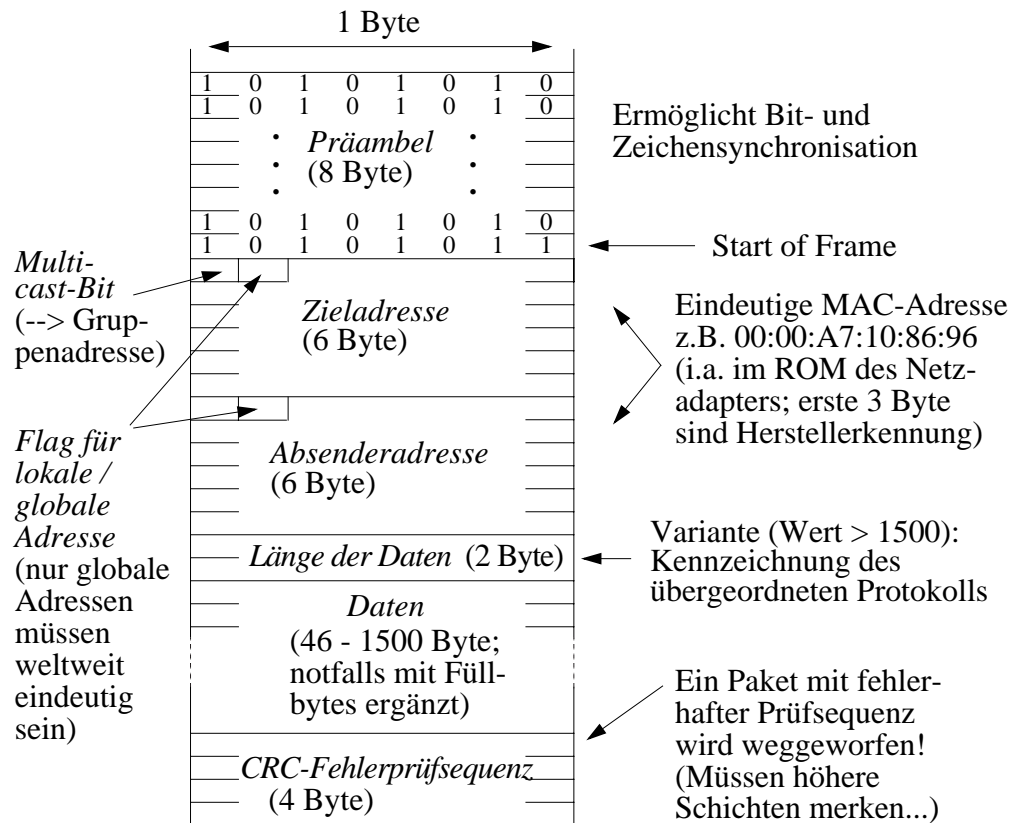


- Bei Signalgeschwindigkeit $> 0.6c$ --> ca. 4500 m, die zwei Stationen maximal auseinanderliegen dürfen
 - tatsächlich laut Standard: 2500 m
 - Repeater verzögern geringfügig (max. 8 Bitzeiten = einige 100 m)
- Es ergibt sich damit eine Anhängigkeit von drei Größen, die bzgl. Erweiterung von Ethernet einen Zielkonflikt darstellen:



- Frage: Ist das Prinzip für Gb/s-Netze noch praktikabel?

Ethernet - Paketformat



- Minimale Paketlänge = 64 Byte (ohne Präambel), damit Kollisionen sicher erkannt werden
 - wenn eine gewisse Zeit (= Mindestzahl gesendeter Bits!) seit Beginn der Sendung vergangen ist (und keine Kollision entdeckt wurde), kann der Sender wegen der Maximallänge des Netzes sicher sein, dass er das Medium exklusiv hat...
 - grosser Overhead bei einzelnen Zeichen (z.B. Tastatureingabe)
 - bei fehlendem Längensfeld wird Paketende an nachfolgender Sendepause erkannt (min. 9.6 µs; entspricht 12 Byte)

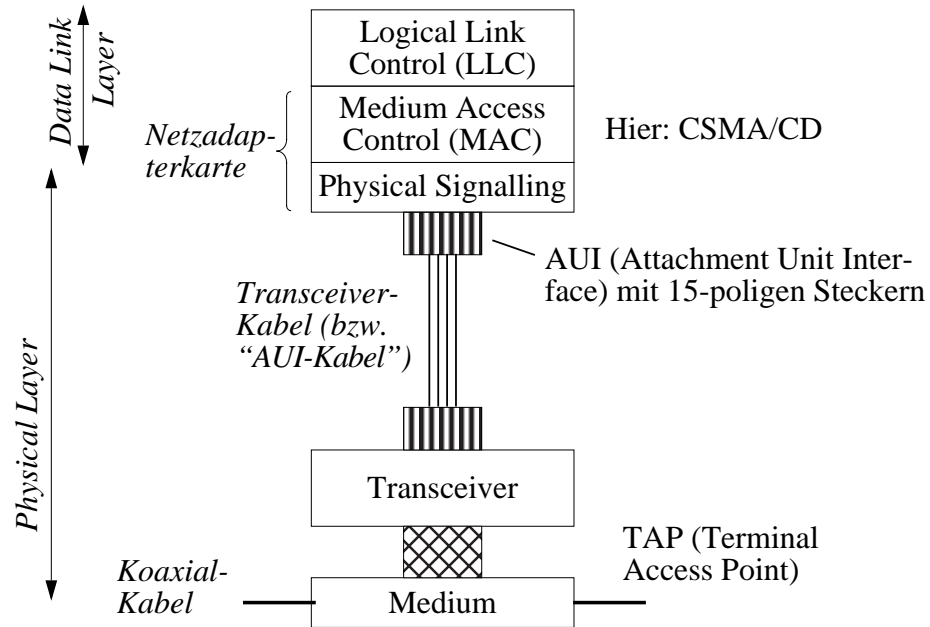
MAC-Adressen

- MAC (= Medium Access Control) ist die untere Hälfte der Schicht-2-Protokolle bei LANs
 - obere Hälfte: LLC (Logical Link Control)
- MAC-Adresse: 6 Byte (= 48 Bit) lang
 - andere Namen: Ethernet- bzw. Hardware-Adresse, physische Adresse...
 - Beispiel: 00:00:A7:10:86:96
- Hersteller von Netzkarten kaufen einen Adressblock und vergeben eindeutige Adressen (zweite 3-Byte-Gruppe)
- Geeignete Netzkartentreiber können ursprüngliche MAC-Adresse überschreiben
 - ermöglicht strukturierte lokale Adressen
- Es gibt einige spezielle ("funktionale") Adressen
 - z.B. Gruppenadresse für alle Bridges; für den aktiven Ringmonitor etc.
- Netzkarte des Empfängers akzeptiert folgende Pakete (d.h. leitet sie an die höhere Schicht weiter):
 - Zieladresse = eigene Adresse
 - Zieladresse = Broadcast-Muster (alle Bits der Zieladresse = 1)
 - Zieladresse = eine Multicastadresse, auf die der Netzadapter des Empfängers programmiert wurde, und Multicast-Bit = 1 (Multicast = Teilmenge aller Stationen, z.B. alle Dateiserver)
 - alle Pakete, falls der Empfänger im "promiscuous-Modus" ist (Netzadapter lässt sich in diesen Modus versetzen, z.B. um Fehler in einem LAN zu analysieren oder um Bridges und Gateways realisieren zu können --> beliebiger Modus für Hacker...)

Transceiver

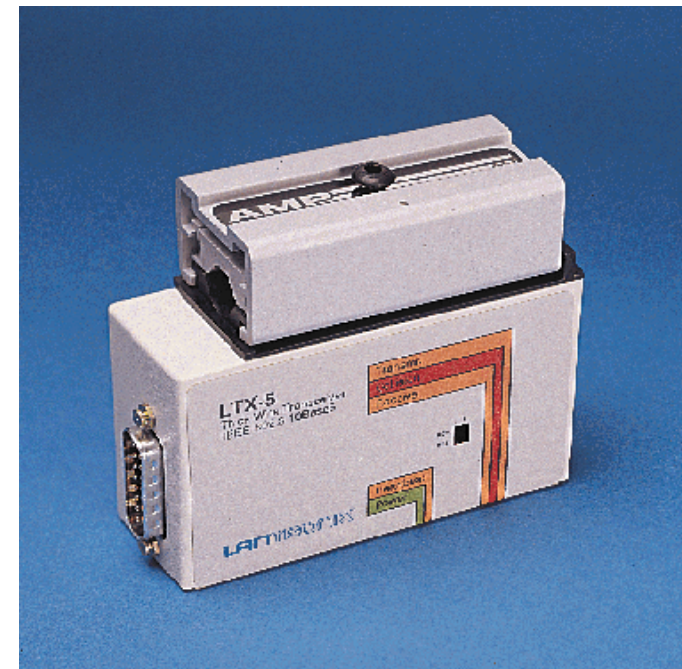
Transmitter / Receiver

- Sende- und Empfangslogik
- Kollisionsentdeckung



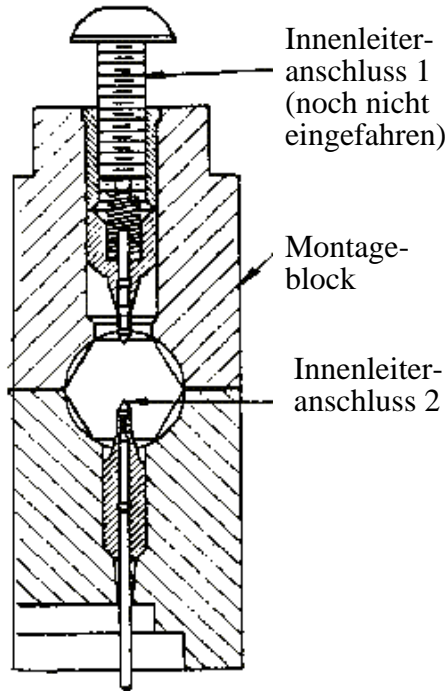
- Transceiver-Kabel aus (mind.) 9 einzelnen Leitungen
 - 2 × transmit; 2 × receive; 2 × collision presence; 2 × power; shield
 - 15-Pin-Stecker ("DIX")

Frühe Transceiver

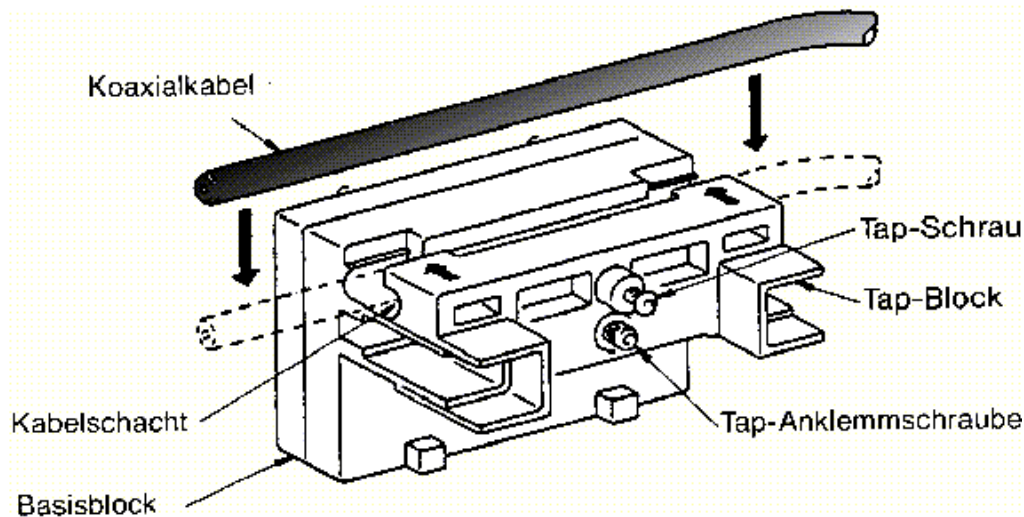
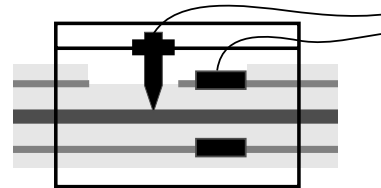


Ethernet-Anschluss mit TAP-Vampir клемme

Terminal Access Point

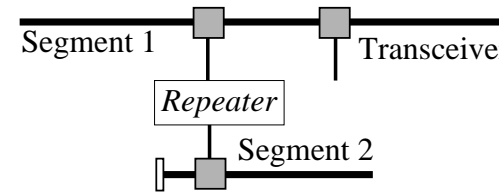


- spitze Sonde wird an den Innenleiter gepresst
- Klemme als Kontakt zum Aussenleiter



Repeater

- Bidirektionaler Signalverstärker auf dem Physical Layer
- Zweck: Koppeln bzw. Segmentieren von Ethernets

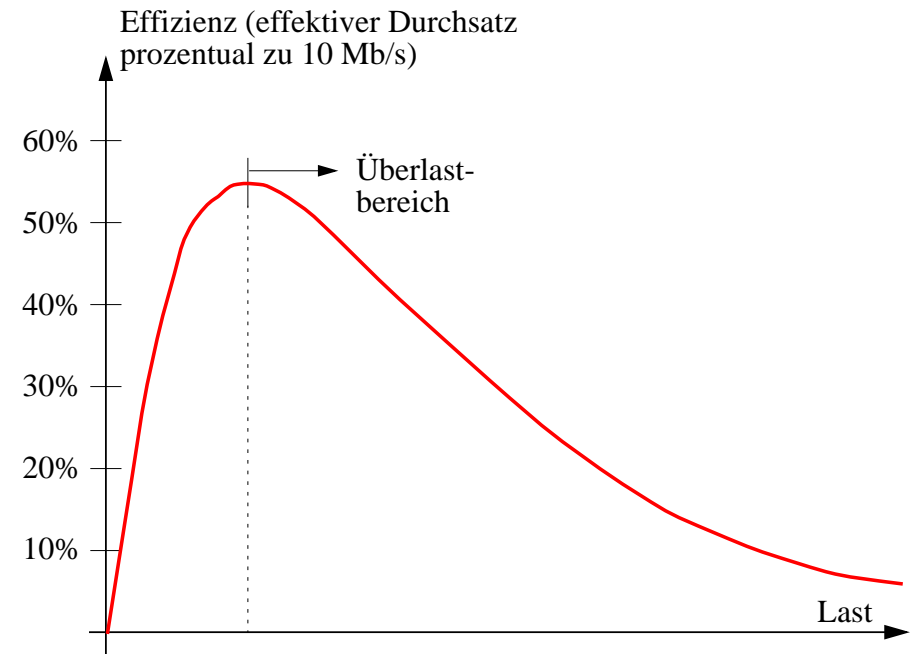


- Aufgabe u.a.:
 - taktgerechte Signalregenerierung
 - Kollisionserkennung
 - Erzeugung von Jam-Signalen
 - Abtrennen fehlerhafter Segmente (z.B. bei Dauerkollisionen wegen fehlerhaftem Abschlusswiderstand)
- Verzögerung sollte kleiner als ca. 8 Bitzeiten sein
 - entspricht wenigen hundert Meter Kabel
- Beachte beim Koppeln von Ethernet-Segmenten:
 - es dürfen keine Schleifen erzeugt werden (Topologie also: Baum)
 - Multisegment-Ethernet bildet eine einzige "Kollisionsdomäne"
 - max. 2 Repeater auf dem Weg zwischen 2 Stationen

Ethernet: Stabilität, Durchsatz

- Ein Paket kann “zufällig” beliebig lange verzögert werden
 - Abbruch nach einer bestimmten Anzahl von Versuchen (--> “Fehler”)
 - Nicht für (“harte”)Realzeitanwendungen geeignet
 - Zugangsverfahren nicht fair oder deterministisch
- Bei hoher Eingangslast wird das System instabil
 - Hohe Kollisionszahl } --> sinkender Gesamtdurchsatz
 - Viele Wiederholungen } (Vgl. Staus auf Autobahn bei Überlast)
 - Höchstens 30-50% Auslastung (sonst überlastet)
- Durchsatz von 10 Mb/s gilt nur bei schwacher Gesamtauslastung (wenig Sender, wenig Pakete auf dem Netz)
 - Bei mehr als 5% Kollisionen (aller gesendeten Pakete) sollten Massnahmen getroffen werden (z.B. Aufteilung des Netzes)
 - Typischerweise können die 10 Mb/s nur etwa zur Hälfte effektiv genutzt werden (Rest: Kollisionen, Wartezeiten, Retransmissionen; geringers Problem, wenn man das Netz für sich alleine hat)
 - Theoretische Bandbreite wird ausserdem beschränkt durch:
 - Flusssteuerung höherer Protokolle
 - Overhead durch zu kleine Pakete (Paketkopf!)
 - Overhead der Kommunikationssoftware in den Stationen
 - Typische Ethernetsegmente sollten nicht mehr als 10 - 20 Stationen haben (äusserstenfalls ca. 200)

Durchsatz und Überlastverhalten



- Typisches Verhalten, wenn mehrere Stationen unabhängig voneinander Last (= zu sendende Pakete) erzeugen
 - lässt sich analytisch, simulativ und experimentell ermitteln
- Der Überlastbereich ist typischerweise schon erreicht, wenn es zu 5 - 10% Paketwiederholungen kommt