
Rechnernetze II

SoSe 2025

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 22. April 2025

Rechnernetze II

SoSe 2025

2 Schnelles Ethernet



Inhalt

- ➔ 100 Mb/s
- ➔ 1 Gb/s
- ➔ 10 Gb/s

- ➔ Tanenbaum, Kap. 4.3.7-4.3.8
- ➔ Kurose, Ross, Kap. 5.5



Zur Erinnerung: Klassisches Ethernet (IEEE 802.3)

- ➔ Gemeinsam genutztes Medium mit CSMA/CD
 - ➔ (logische) Bus-Topologie
 - ➔ maximale Leitungs- und minimale Framelänge wegen Kollisionserkennung
- ➔ Leitungscodierung: Manchester-Code
 - ➔ erfordert 10 MHz Bandbreite für 10 Mb/s
- ➔ Varianten (Kabeltypen):
 - ➔ 10Base5, 10Base2: Koaxialkabel als gemeinsamer Bus
 - ➔ 10BaseT: UTP Kat. 3 Kabel (Telefonleitung, max. 16 MHz)
 - ➔ nur in Verbindung mit Hubs / Switches
 - ➔ 2 Adernpaare für Duplex-Betrieb, max. 100 m Länge



100 MBit/s Ethernet (IEEE 802.3u)

- ➔ Ziel: keine wesentlichen Änderungen am Standard
 - ➔ Kompatibilität zu existierender Soft- und Hardware (Kabel)
- ➔ Rahmenformat, Schnittstellen (LLC) etc. unverändert
- ➔ Bitzeit auf 10 ns verkürzt
- ➔ Busverkabelung nicht mehr unterstützt
 - ➔ max. Kabellänge zu gering
 - ➔ Sternverkabelung hat sich schon bei 10 Mb/s durchgesetzt
- ➔ Verbindung nur über Hubs und/oder Switches
- ➔ Viele Varianten für verschiedene Kabelarten



100BASE-T4

- ➔ Kann mit UTP Kat. 3 Kabeln arbeiten (Telefonkabel, max. 100m)
- ➔ Maßnahmen zur Erhöhung der Übertragungsrate:
 - ➔ andere Leitungscodierung: 8B6T statt Manchester
 - ➔ 8 Bits werden auf 6 Trits (ternäre Zeichen) abgebildet
 - ➔ Übertragung mit 3 Spannungspegeln
 - ➔ Verwendung aller 4 Adernpaare
 - ➔ 1 Paar zum Hub, 1 vom Hub, 2 umschaltbar
- ➔ Somit: max. 3 Adernpaare für eine Richtung
 - ➔ 3 Trits ($\hat{=}$ 4 Bits) pro Abtastung, 100 Mb/s bei 25 MBaud
- ➔ Zusätzlich 33 Mb/s Rückkanal (für Kollisionserkennung)



100BASE-T2

- ➔ 100BASE-T4 belegt alle Adernpaare
 - ➔ Nachteil bei Nutzung vorhandener Telefonkabel
- ➔ Daher: 100BASE-T2 (IEEE 802.3xy) später ergänzt
- ➔ Kommt mit 2 Paaren eines UTP Kat. 3 Kabels aus
- ➔ PAM 5x5 Codierung:
 - ➔ 4 Bit werden in zwei fünfwertige Signale codiert
 - ➔ Übertragung mit 5 Spannungspegeln auf jeder Leitung
 - ➔ ergibt 100 Mb/s bei 25 MBaud (halb- und vollduplex)
 - ➔ im Vollduplex-Modus: Echokompensation (*echo cancellation*)
- ➔ 100BASE-T2 hat sich (wie 100BASE-T4) nicht durchgesetzt



100BASE-TX

- ➔ Benötigt UTP Kat. 5 Kabel (100 MHz, max. 100 m)
 - ➔ je ein Adernpaar pro Richtung (vollduplex)
- ➔ 4B5B Leitungscodierung statt Manchester
 - ➔ ergibt 125 MHz Abtastrate (125 MBaud)

100BASE-FX

- ➔ Arbeitet mit Multimode-Glasfaser, max. 2 km
- ➔ Sonst wie 100BASE-TX

Rechnernetze II

SoSe 2025

22.04.2025

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 22. April 2025



100 Mb/s Ethernet: Besonderheiten und Gemeinsamkeiten

- ➔ Verwendung „ungültiger“ Leitungscodes für Steuerzwecke
 - ➔ u.a. Markierung der Frame-Grenzen
- ➔ Maximale Netzgröße bei Verwendung von Hubs nur ca. 200 m
 - ➔ auch bei 100BASE-FX nur max. 272 m (Kollisionen!)
- ➔ *Autonegotiation*
 - ➔ Geschwindigkeit (10 Mb/s, 100 Mb/s) und Duplexmodus können ausgehandelt werden (Bitübertragungsschicht)
 - ➔ Ethernet-Karten senden im Leerlauf *Link Pulses* zur Prüfung der Leitung
 - ➔ Konfigurierungsinformation wird in diese Pulse encodiert



1 Gb/s Ethernet (IEEE 802.3z)

- ➔ Ziel: Kompatibilität mit vorhandenen Standards
- ➔ Zwei Betriebsmodi für Netze mit Switches bzw. Hubs
- ➔ Vollduplex-Betrieb mit Switches
 - ➔ kein CSMA/CD nötig, da keine Kollisionen
 - ➔ Kabellänge nur durch Signalqualität beschränkt
- ➔ Halbduplex-Betrieb mit Hubs
 - ➔ Problem: Behandlung von Kollisionen
 - ➔ 64 Byte min. Framelänge \Rightarrow max. Netzgröße 25 m!?
 - ➔ Lösung: Hardware stellt Framelänge \geq 512 Byte sicher
 - ➔ *Carrier Extension*: Auffüllen des Frames
 - ➔ *Frame Bursting*: Zusammenfassen mehrerer Frames



1 Gb/s Ethernet: Varianten

- ➔ Glasfaser:
 - ➔ 1000BASE-SX: Multimode-Faser, 550 m
 - ➔ 1000BASE-LX: Mono- oder Multimode-Faser, max. 5000 m
 - ➔ 8B10B Codierung: jedes Byte wird mit 10 Bit codiert
 - ➔ max. 4 gleiche Bits nacheinander (Taktsynchronisation)
 - ➔ max. 6 Einsen / Nullen pro Wort (Gleichstromanteil)
- ➔ 1000BASE-CX: geschirmtes Twisted-Pair Kabel (STP), 25 m
- ➔ 1000BASE-T: UTP Kat. 5, 100 m
 - ➔ alle 4 Adernpaare genutzt
 - ➔ 2 Bit pro Zeichen (PAM 5, 5 Spannungspegel), 125 MBaud
 - ➔ Echokompensation für Vollduplex-Betrieb
 - ➔ keine Leitungscodierung (\Rightarrow komplexe Taktsynchronisation)



10 Gb/s Ethernet (IEEE 802.3ae, ak, an, ap, aq)

- ➔ Nur noch Vollduplex-Betrieb mit Switches
- ➔ Sehr viele Varianten:
 - ➔ Glasfaser: 10GBASE-SR, 10GBASE-LR, 10GBASE-LRM, ...
 - ➔ SONET-Interoperabilität (OC-192): 10GBASE-SW, ...
 - ➔ Backplane (z.B. Blade-Server): 10GBASE-KX4, 10GBASE-KR
- ➔ 10GBASE-T: UTP Kat. 6a, 100m (mit Kat. 6: 50m)
 - ➔ Kat. 6a Kabel: bis 500 MHz
 - ➔ alle 4 Adernpaare genutzt
 - ➔ PAM16-Modulation mit 16 Spannungspegeln
 - ➔ 3 Bit pro Zeichen (1 Bit Redundanz), 833 MBaud/s
 - ➔ Echokompensation, keine Leitungscodierung



Flußkontrolle

- ➔ Wegen hoher Datenrate: neue Ethernet-Standards unterstützen einfache Flußkontrolle
- ➔ Empfänger sendet PAUSE-Frame an Sender
 - ➔ gekennzeichnet durch speziellen Typ / Zieladresse
 - ➔ 16-Bit Parameter gibt Länge der Pause an (in Einheiten von 512 Bitzeiten)
 - ➔ Sender stellt für diese Zeit die Übertragung ein
- ➔ Möglich nur im Vollduplex-Modus



Fast Ethernet: Fazit

- ➔ Ziel: Kompatibilität
 - ➔ Software, Verkabelung
- ➔ Verschiedene Realisierungen auf Bitübertragungsebene
- ➔ Heute vorherrschend:
 - ➔ 100BASE-TX, 1000BASE-T/SX/LX
 - ➔ 10 Gb/s vorwiegend im Core-Bereich
- ➔ 40 und 100 Gb/s Ethernet Standard (2010):
 - ➔ Glasfaser, Backplane, Kupferkabel (twinax, 4/10 Bit parallel)
 - ➔ 40 Gb/s auch über Cat. 8 Kabel (max. 30m)
- ➔ 200 und 400 Gb/s Ethernet Standard (2017)
 - ➔ Glasfaser, 4 bzw. 8 Wellenlängen (CWDM)



- ➔ Ziel: Kompatibilität mit Software / Verkabelung
- ➔ Geschwindigkeitserhöhung durch
 - ➔ andere Übertragungsmedien (höhere Grenzfrequenz)
 - ➔ Nutzung mehrerer Adernpaare (parallele Übertragung)
 - ➔ effizientere Codierungen
 - ➔ mehr Bits pro Abtastung
- ➔ Wegen Kollisionen: nur noch Verwendung von Switches
 - ➔ ab 10 Gb/s kein CSMA/CD mehr