

# Chapter 5

## [Data] Link Layer

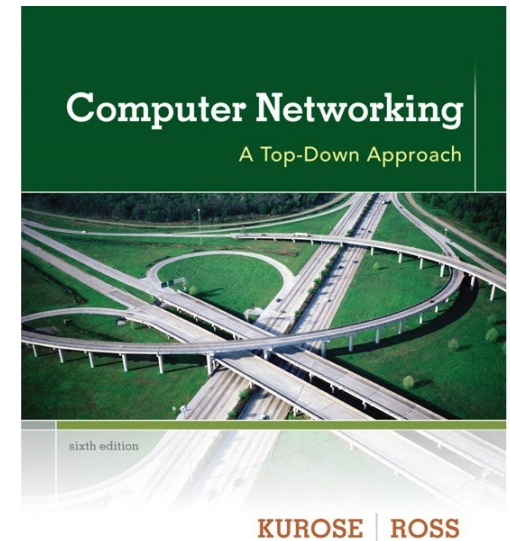
### A note on the use of these ppt slides:

We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you see the animations; and can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a lot of work on our part. In return for use, we only ask the following:

- ❖ If you use these slides (e.g., in a class) that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- ❖ If you post any slides on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

©All material copyright 1996-2012  
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



*Computer  
Networking: A  
Top Down  
Approach  
6<sup>th</sup> edition  
Jim Kurose, Keith Ross  
Addison-Wesley  
March 2012*

# Sicherungsschicht: Begriffe

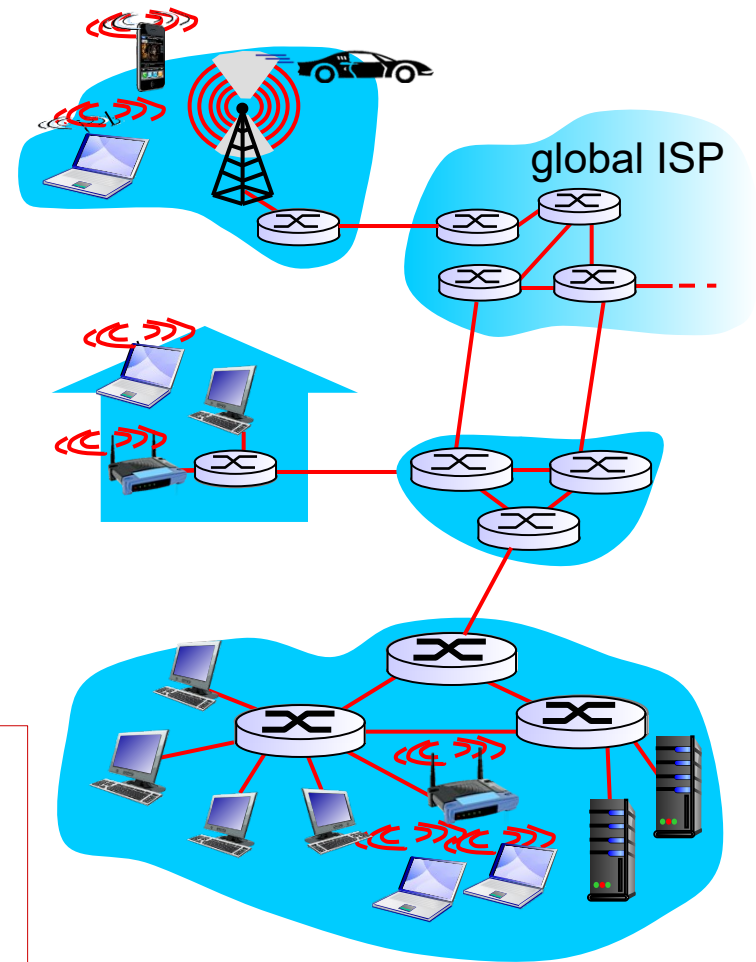
Hosts und Router: **nodes**  
(Node, Knoten)

Kommunikationskanäle: **links**  
(Link)

- drahtgebunden
- drahtlos

Schicht-2 Paket: **frame**  
(Frame, "Rahmen")

Die **Sicherungsschicht** sorgt für die Übertragung eines Datenpakets von **Knoten zu Knoten** (direkte über **einen Link** verbundene "Nachbarn")

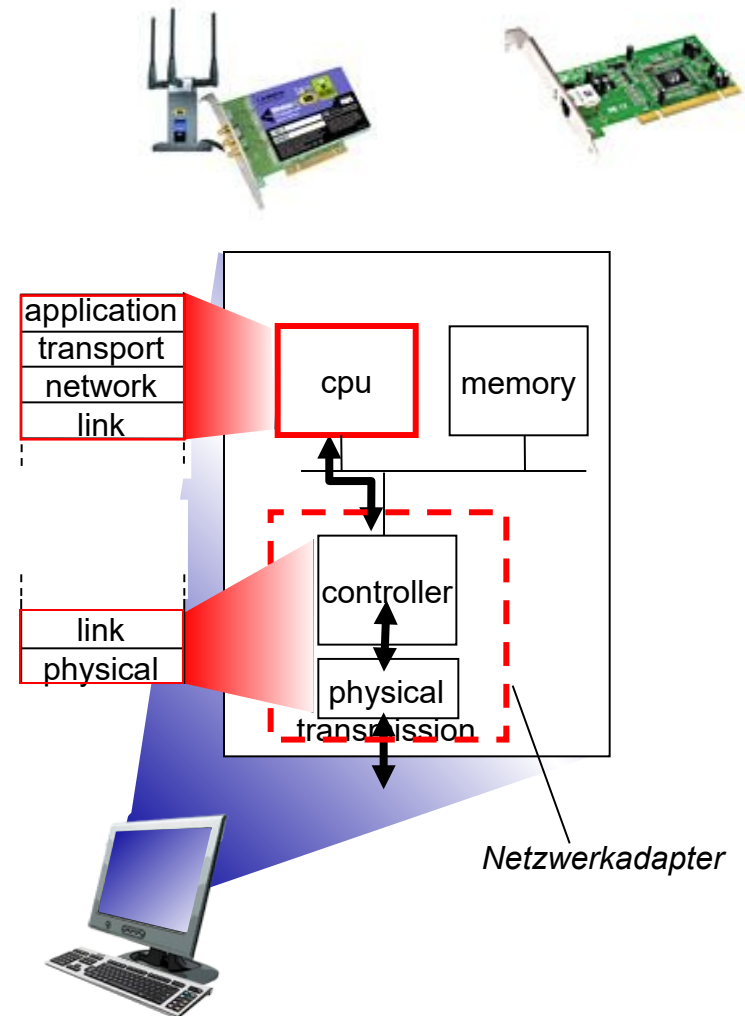


# Dienste der Sicherungsschicht

- ❖ Erzeugen von Frames
  - Kapseln der Pakete der Vermittlungsschicht
  - Header & Trailer
- ❖ Medienzugriff
  - MAC: medium access control
  - MAC-Adressen im Header der Frames
- ❖ Fehlererkennung und -korrektur
  - Paritätsbit, CRC
- ❖ zuverlässige Zustellung (nicht Ethernet!)
- ❖ Flusskontrolle
- ❖ Duplex und Halbduplex

# Wo ist die Sicherungsschicht implementiert?

- ❖ in jedem Knoten
- ❖ Netzwerkadapter = Netzwerkkarte (aka **network interface card** NIC)
  - Ethernet (802.3); WLAN/WiFi (802.11)
  - implementiert Sicherungs- **und** Bitübertragungsschicht
- ❖ Kombination aus Hardware, Software und Firmware



# Adressen der Sicherungsschicht

- ❖ **MAC-Adresse**, auch:

- physische Adresse
- Ethernet-Adresse

- ❖ **Funktion:**

*Wird "lokal" benutzt, um den Frame von einer Schnittstelle über eine physische Verbindung (drahtgebunden oder drahtlos) zur nächsten zu bringen.*

- ❖ 48 Bit im ROM der NIC gespeichert

- z.B.: 1A-2F-BB-76-09-AD

Hexadecimal  
(jede "Ziffer" steht für 4 Bit)

# MAC-Adressen

- ❖ weltweit eindeutig  
(aber manchmal per Software veränderbar!)
- ❖ verwaltet von der IEEE
- ❖ Hersteller kaufen Adressbereiche
- ❖ Analogie:
  - MAC-Adresse: wie Sozialversicherungsnummer
  - IP-Adresse: wie Postanschrift
- ❖ MAC-Adresse → portabel, wird mitgenommen
- ❖ IP-Adresse → nicht portabel
  - hängt IP-(Sub-)Netz ab, dem der Knoten angehört

# Mehrfachzugriff

## ❖ Punkt-zu-Punkt-Links

- Point-to-Point-Protocol (PPP) zum Einwählen in Netzwerk
- auch in Ethernet zwischen Switch und Host

## ❖ *Broadcast-Link (geteiltes Medium)*

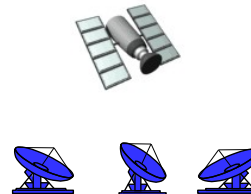
- klassisches (nicht geschwitchtes) Ethernet
- 802.11 WLAN
- **Kollision:** wenn 2 oder mehr Knoten gleichzeitig senden



geteiltes Kabel (z.B.  
klass. Ethernet)



geteilter Funkraum  
(z.B., 802.11 WiFi)



geteilter Funkraum  
(Satelliten)



geteilter Schallraum  
(z.B. Cocktail Party)

# Protokolle für Mehrfachzugriff

## ❖ *Kanalaufteilungsprotokolle*

- Kanal wird in kleine Teile "gestückelt"
  - TDMA, FDMA

## ❖ *Protokolle mit wahlfreiem Zugriff (random access)*

- wenn 2 oder mehr Knoten gleichzeitig senden → **Kollision**
  - slotted ALOHA, ALOHA
  - **CSMA: CSMA/CD** (Ethernet), **CSMA/CA** (drahtlos)

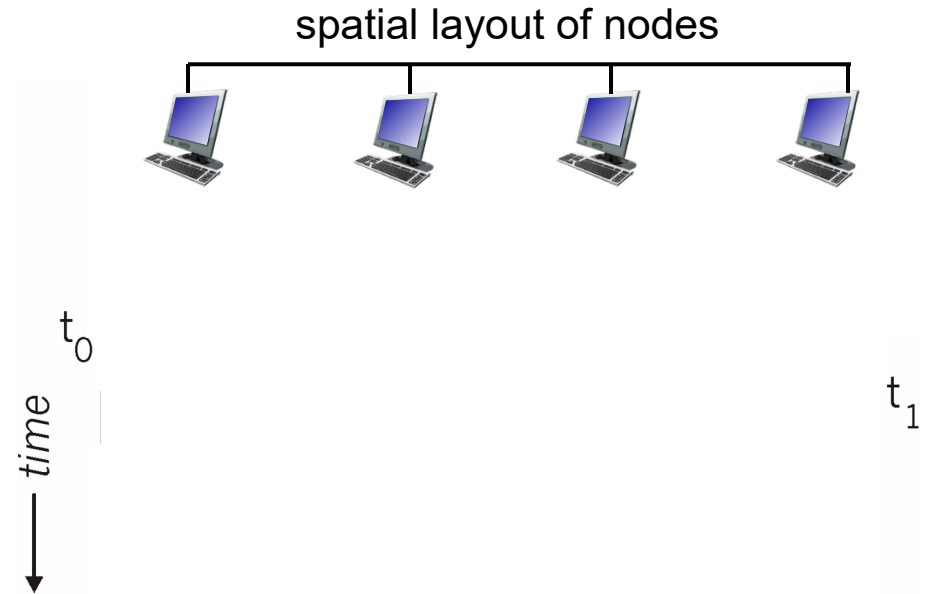
## ❖ *Protokolle mit abwechselndem Zugriff*

- Token-Passing
- Bluetooth
- FDDI



# Kollisionen

- ❖ Kollisionen können **immer** auftreten
- ❖ komplette Übertragungszeit verschwendet



# CSMA (carrier sense multiple access)

Kommunikationsregel:

Sei höflich und unterbrich deine  
Kommunikationspartner nicht!

also

## **CSMA**

listen before transmit = erst hören,  
dann reden

- ❖ ist der Kanal frei:  
übertrage kompletten Frame
- ❖ ist der Kanal belegt:  
verschiebe Übertragung

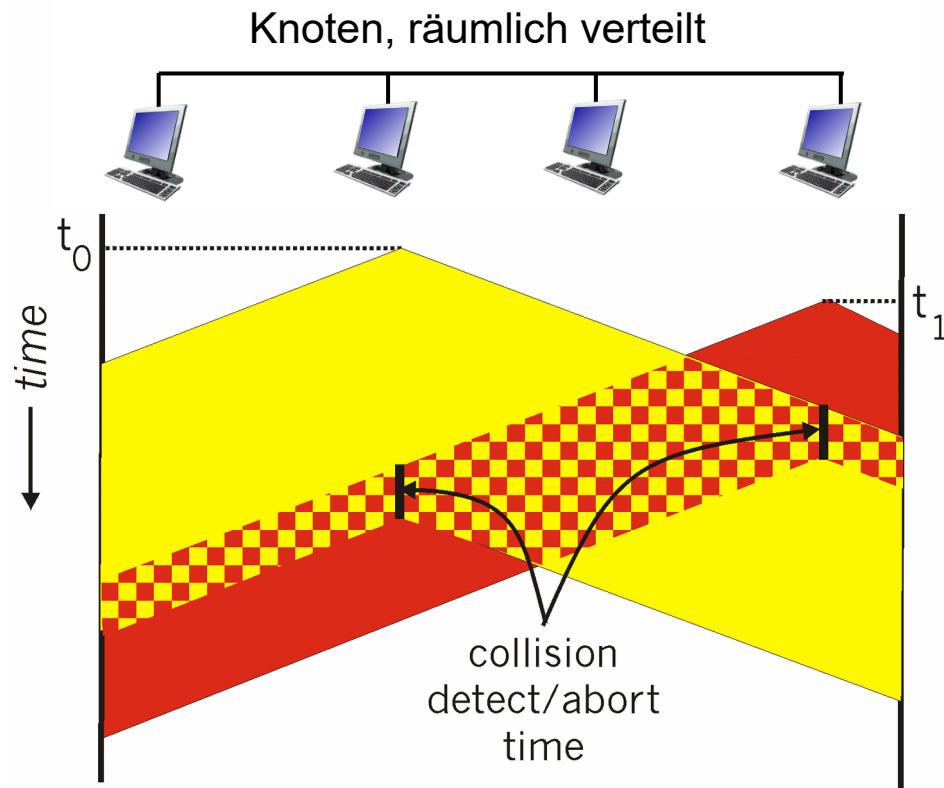
## **CSMA/CD (Kabel)**

- ❖ collision detection
- ❖ Übertragung  
abbrechen, wenn  
Kollision erkannt

## **CSMA/CA (drahtlos)**

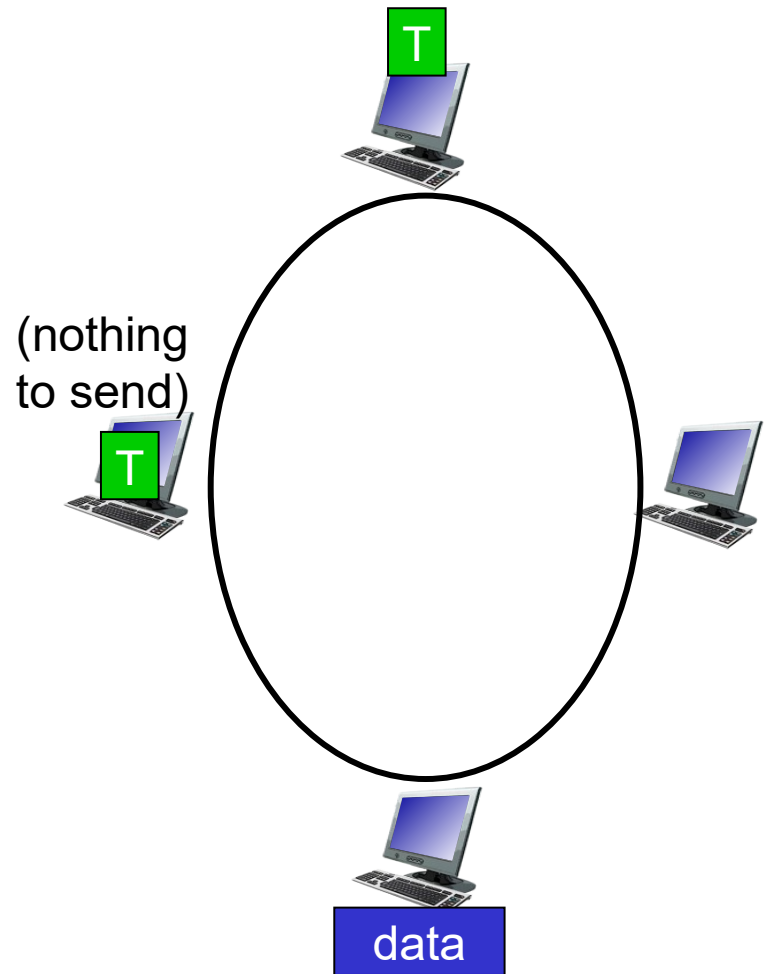
- ❖ collision avoidance
- ❖ Kollisionen von  
vornherein vermeiden

# CSMA/CD (collision detection)



# Token-Passing

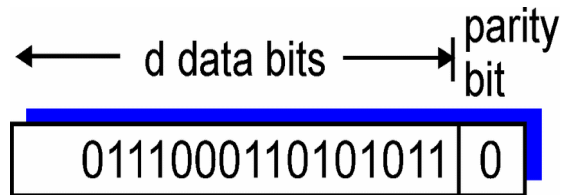
- ❖ Kontrol-*Token* wird von einem Knoten zum nächsten weitergereicht.
- ❖ Der Knoten, der das Token hält, darf Daten übertragen.



# Prüfsummen

## *Paritätsbit:*

erkennt einzelne Bitfehler



## *2-dimensionale Paritätsbits:*

erkennen und korrigieren Bitfehler

1	0	1	0	1		1
1	1	1	1	0		0
0	1	1	1	0		1
0	0	1	0	1		0

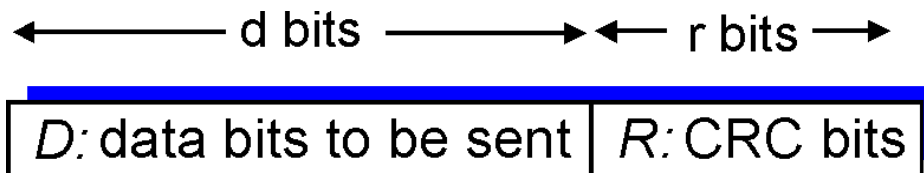
*no errors*

1	0	1	0	1		1
1	0	1	1	0		0
0	1	1	1	0		1
0	0	1	0	1		0

parity error

## *Cyclic Redundancy Check (CRC):*

- ❖ sehr leistungsfähige Fehlererkennung
- ❖ sehr weit verbreitet (Ethernet, WiFi, ATM)



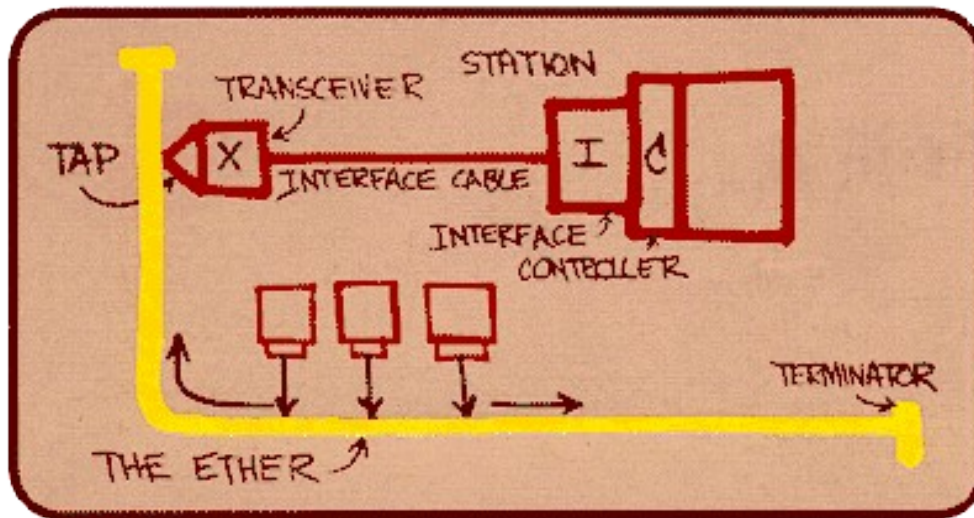
*bit pattern*

$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

*mathematical formula*

# Ethernet

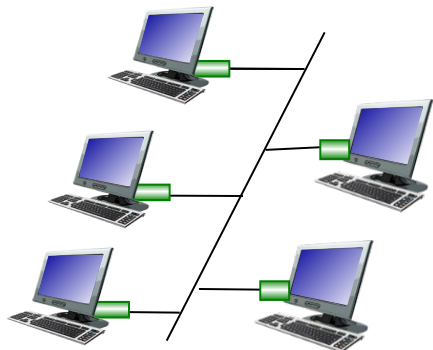
- ❖ dominierende LAN-Technologie
- ❖ kostengünstig und einfach (einfacher als Token-LANs)
- ❖ Übertragungsraten ständig weiterentwickelt (schneller)
- ❖ **verbindungslos und unzuverlässig**
- ❖ **nutzt CSMA/CD**



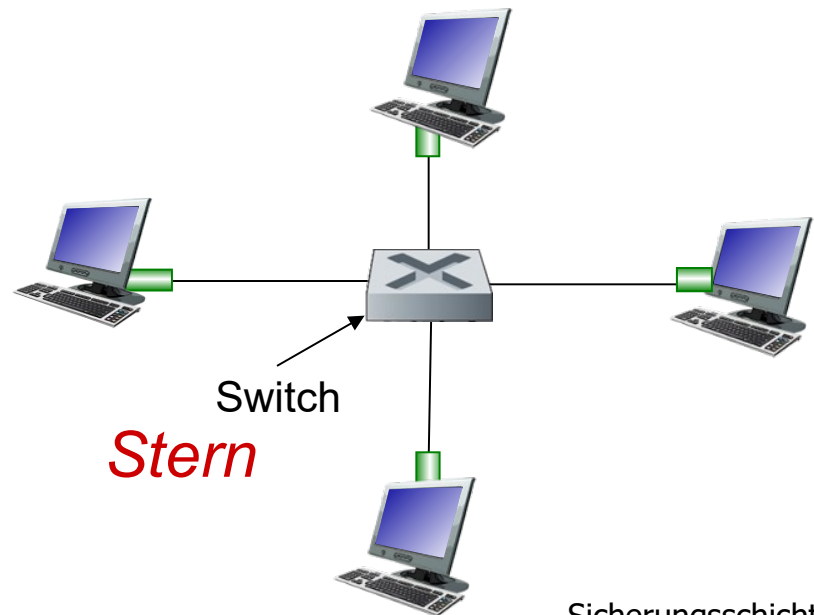
*Metcalfe's Ethernet sketch*

# Ethernet: physische Topologie

- ❖ *Bus*: während der 90er
  - alle Knoten in einer Kollisionsdomäne
- ❖ *Stern*: heute vorherrschend
  - *Switches* im Zentrum
  - jede Speiche (des Nabenrades = Hub) ist eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung (keine Kollisionen)



*Bus*: Koaxialkabel



# Ethernet Frame: Aufbau

NIC kapselt IP-Paket (oder Paket eines anderen Protokolls der Vermittlungsschicht) in einer **Ethernet Frame**





# Ethernet frame structure (more)

## ❖ *preamble*

- 7 Bytes der Form 10101010 und 1 Byte der Form 10101011
- synchronisieren Sender und Empfänger

## ❖ *addresses*

- 6 Byte MAC-Adressen für Empfänger und Sender

## ❖ *type*

- das Protokoll der höheren Schicht (meistens IP, aber andere möglich, z.B., Novell IPX, AppleTalk)

## ❖ *CRC*

- Prüfsumme zum Erkennen von Bitfehlern
- Fehler erkannt: Frame wird verworfen



# Ethernet Standards (IEEE 802.3)

- ❖ umfassen Spezifikationen der Sicherungs- **und** Bitübertragungsschicht
- ❖ es gibt *viele* verschiedene Ethernet Standards
  - allen gemein ist: MAC-Protokoll und Aufbau der Frames
  - Übertragungsraten: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10Gbps
  - Medien: Glasfaser, Kupferkabel (Koaxial, Twisted-Pair)

