

Inhalt

- **Grundlagen**
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

# Kapitel 1

## Grundlagen der Datenübertragung

Inhalt

- **Grundlagen**
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

# Strukturierung in Schichten (Layers)

- Kommunikation
- Vorlesung

## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- Globale Kommunikation ist eine komplexe Aufgabe
- ... kann aber gut in einfachere Teilaufgaben zerlegt werden, deren Lösungen aufeinander aufbauen
- Beispiel: Kommunikation per Brief



**Kommunikation**



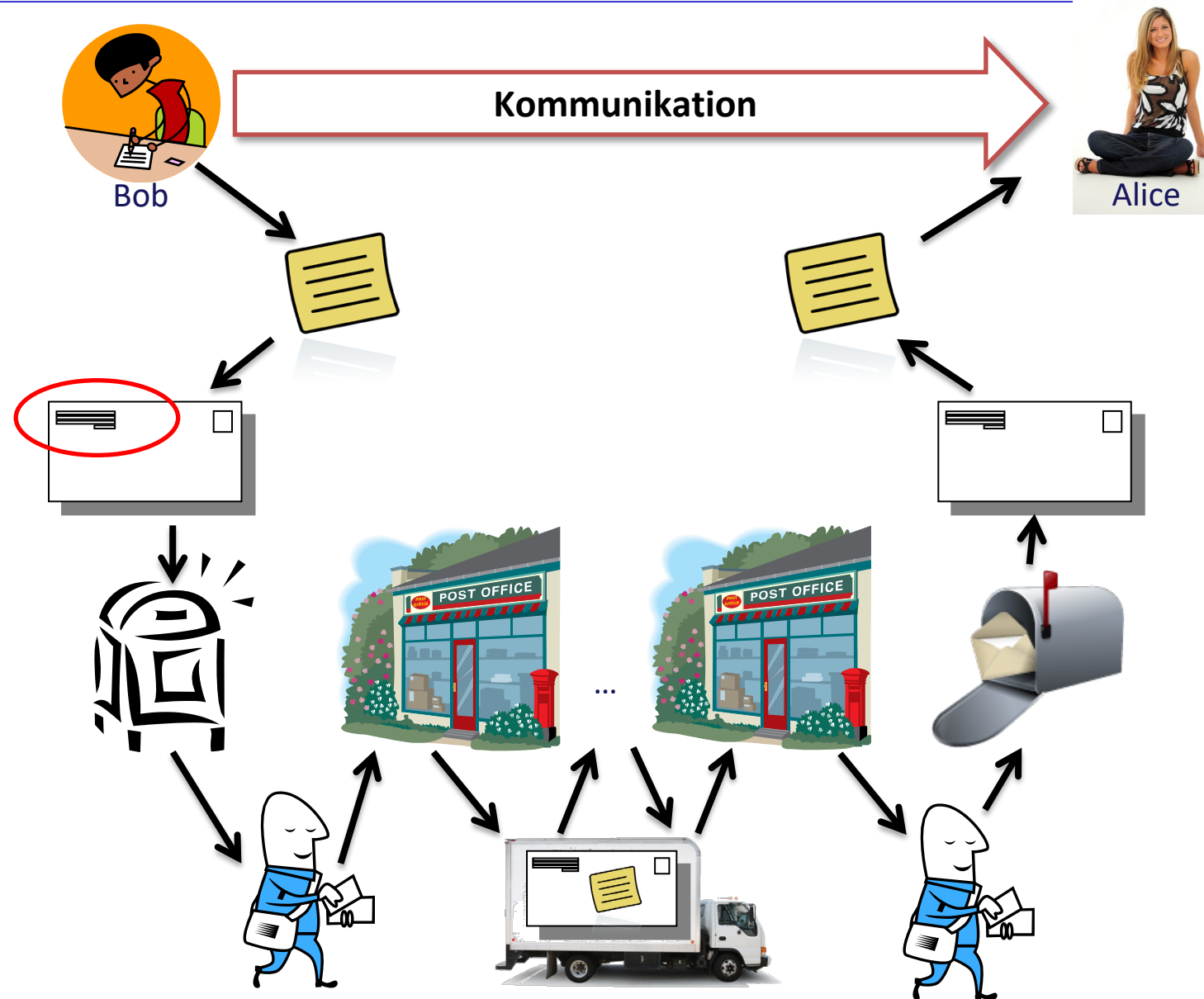
Welche Teilaufgaben laufen hier ab?

# 1.0 Strukturierung

## Brief: Analogie des Internets

### Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

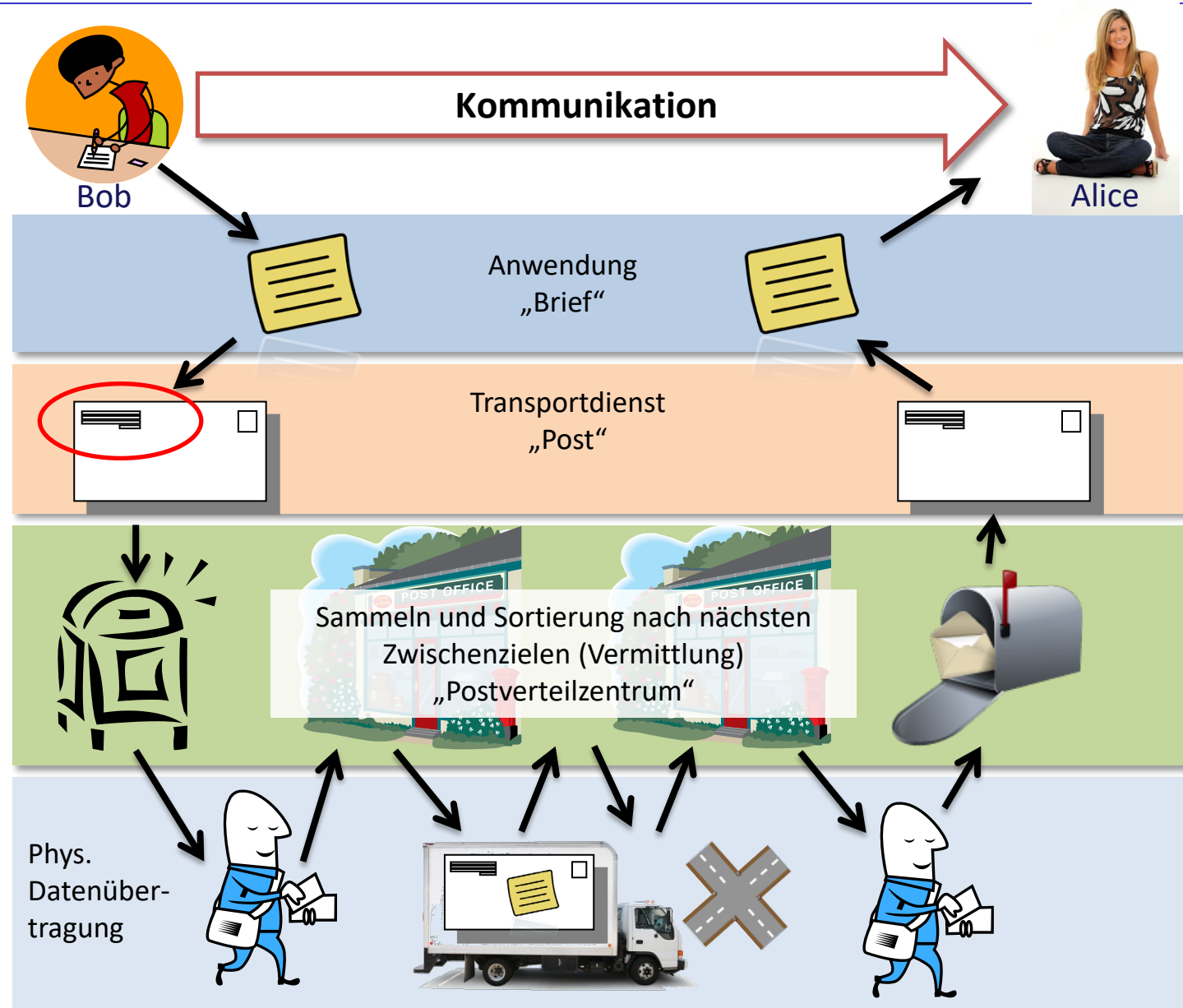


# 1.0 Strukturierung

## Brief: Analogie des Internets

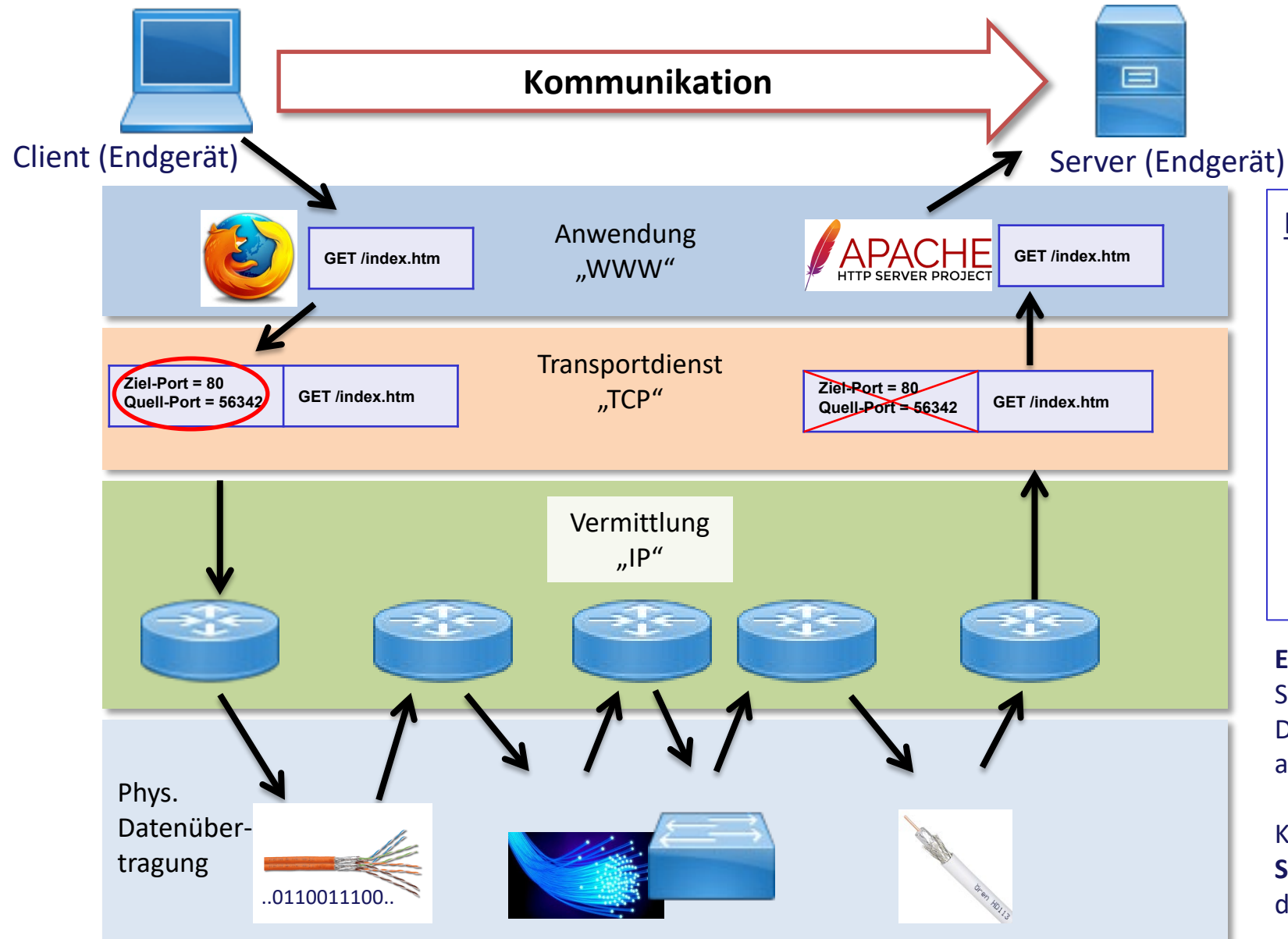
### Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)



## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)



## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- Weltweite Kommunikation zwischen Rechnern ist heute eine Selbstverständlichkeit – das **Internet**.
- Doch wie funktioniert das im Hintergrund?



Milliarden verbundener Geräte (**devices**):

- **Hosts** = Endsysteme
- führt Netzwerk-**“apps”** am Rande **“edge”** des Internets aus



**Packet switches**: leiten (**“forward”**) Pakete (Datenstücke) weiter

- Router, Switches

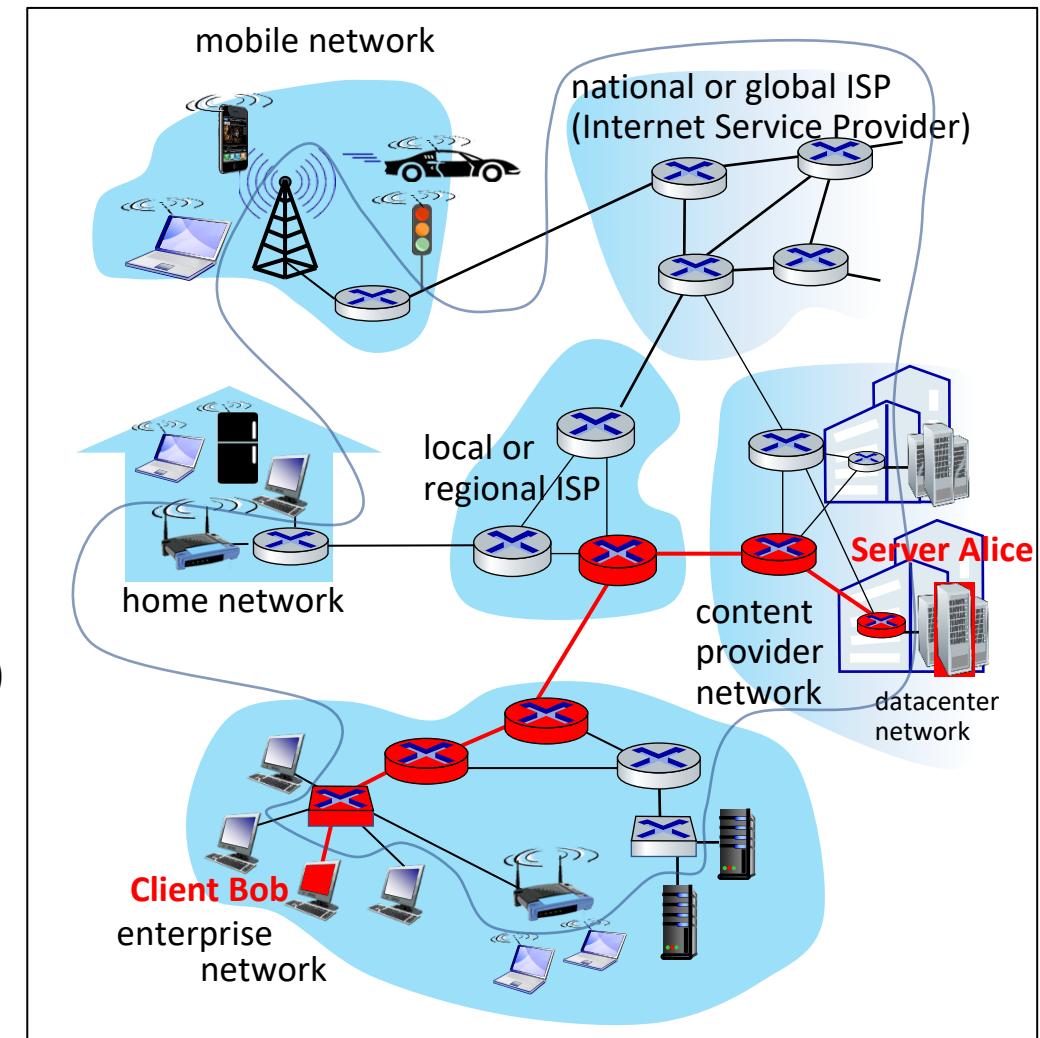


Kommunikationsleitungen (**“links”**)

- Glasfaser, Kupfer, Radio, Satellit
- Übertragungsrate: **bandwidth**

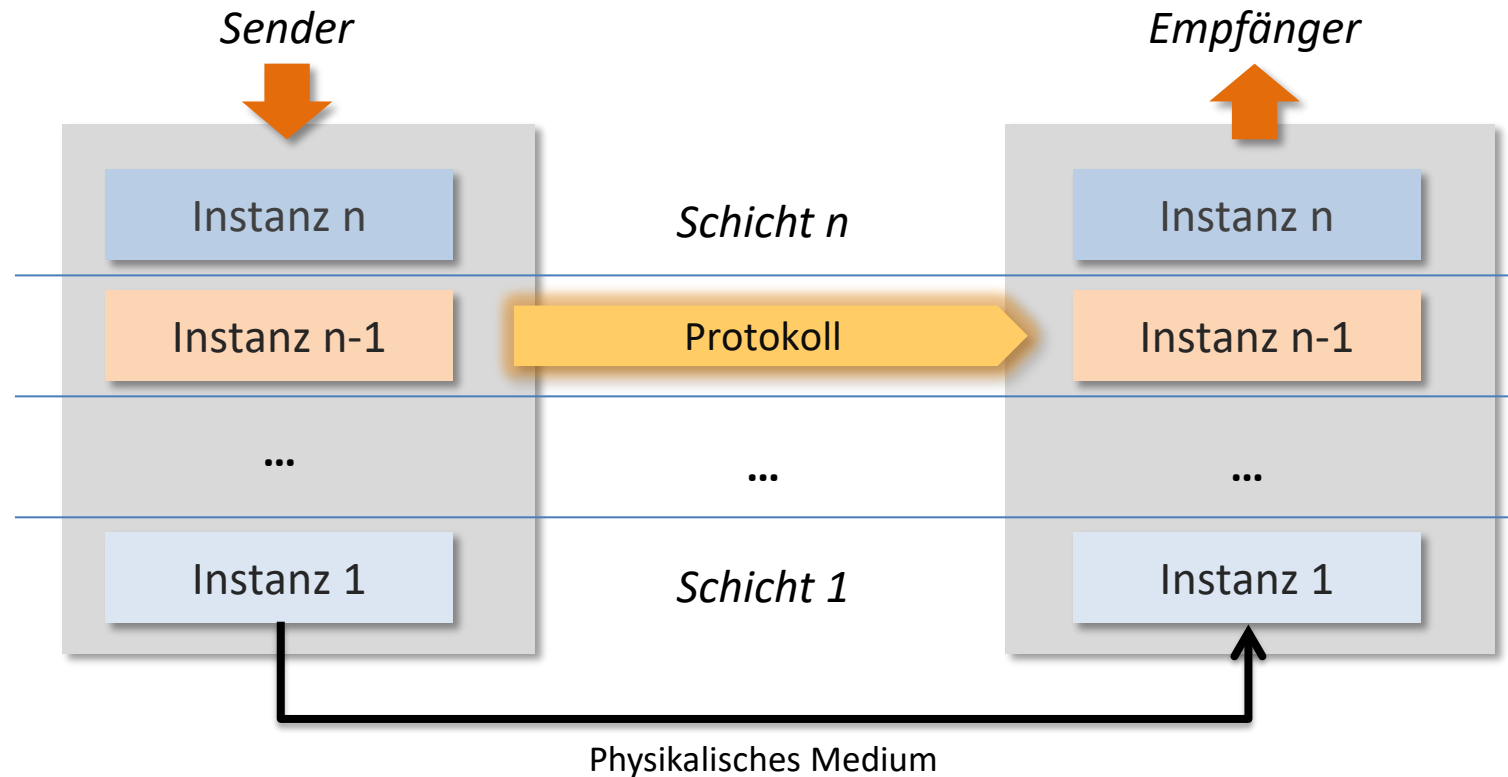
**Netzwerke**

- Menge an Geräten, Router und Switches: verwaltet durch eine Organisation



### Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)



- Strukturierte Einteilung von Aufgaben u. Vorgängen in Schichten.
- Jede Schicht bietet der darüber liegenden „*Dienste*“ an.
- Instanzen einer Schicht interagieren über spezifizierte „*Protokolle*“



### Inhalt

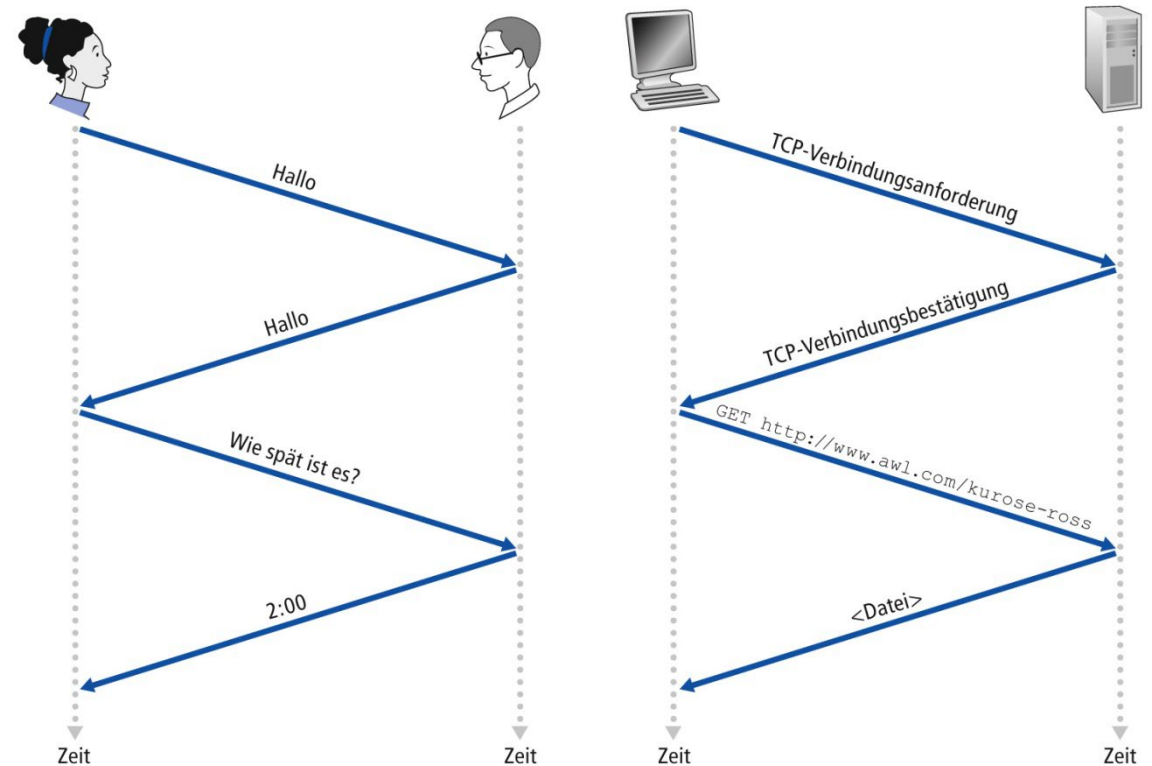
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- Dienste, die die Post dem Kunden anbietet (Beispiele):

- Eilzustellung
- Empfangsbestätigung
- Gewöhnlicher Briefdienst
- ...

- Protokoll

Ein **Protokoll** definiert das **Format** und die **Reihenfolge** des **Nachrichtenaustausches** zwischen kommunizierenden Entitäten sowie die **Handlungen**, die bei der Übertragung und/oder Empfang einer Nachricht oder anderer Ereignisse ausgeführt werden.  
(Aus Computernetzwerke von Kurose und Ross)



**Abbildung 1.2:** Vergleich zwischen einem menschlichen Protokoll und einem Netzwerkprotokoll.  
(Aus Computernetzwerke von Kurose und Ross)

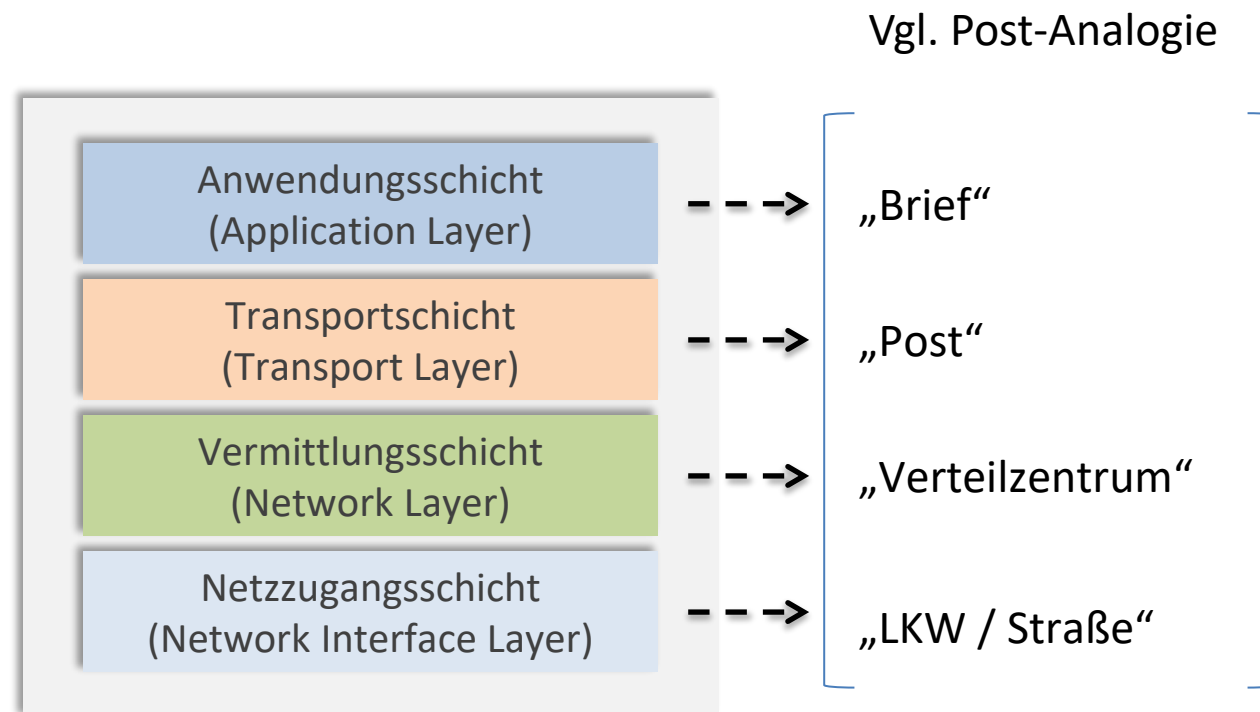
“**Ort-** (x-Achse) **Zeit-** (y-Achse) **Darstellung**”  
eines Nachrichtenaustausches

## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

## Referenzmodell des Internets (TCP/IP)

– Vier Schichten

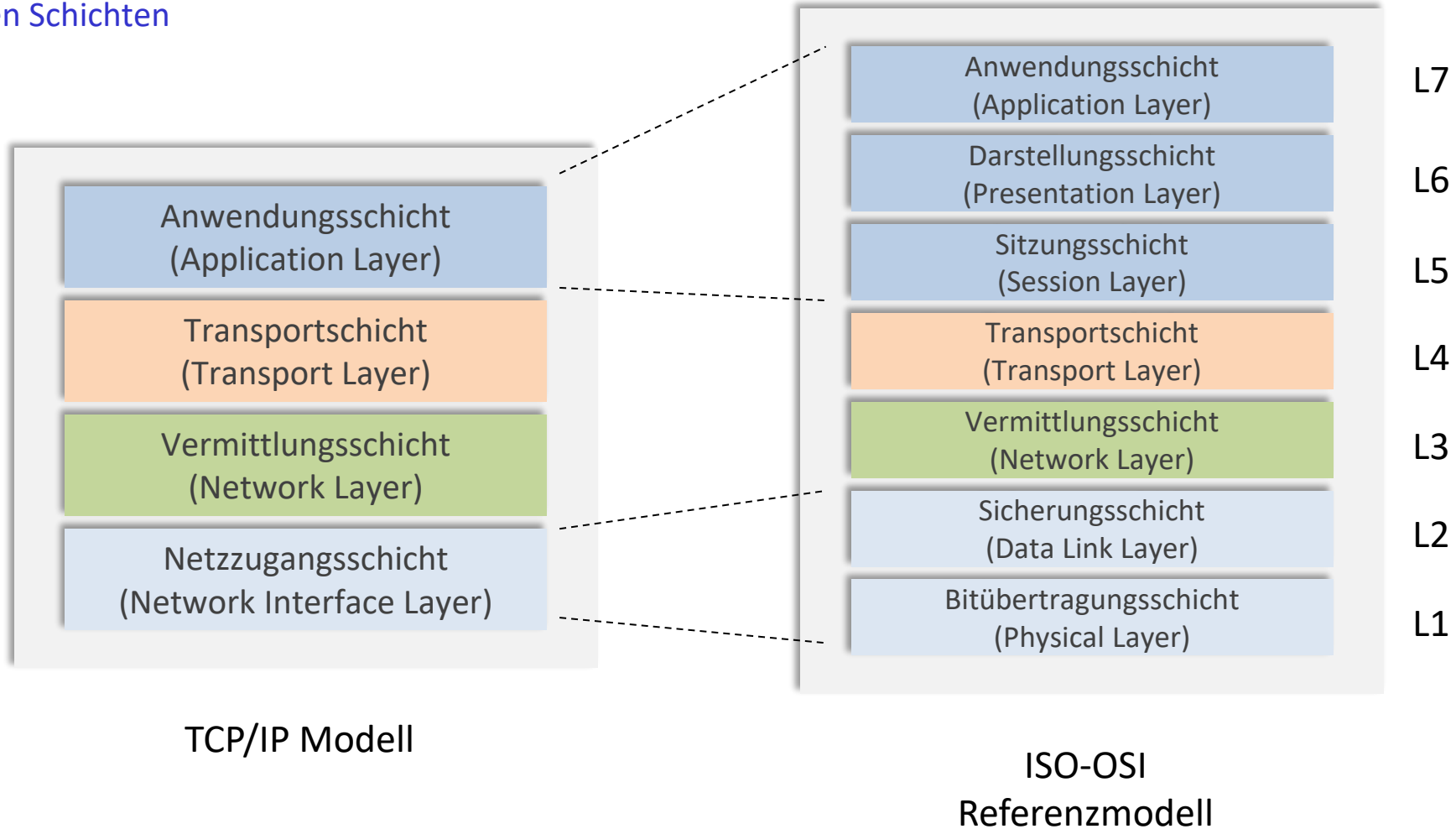


## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

## Referenzmodell ISO-OSI

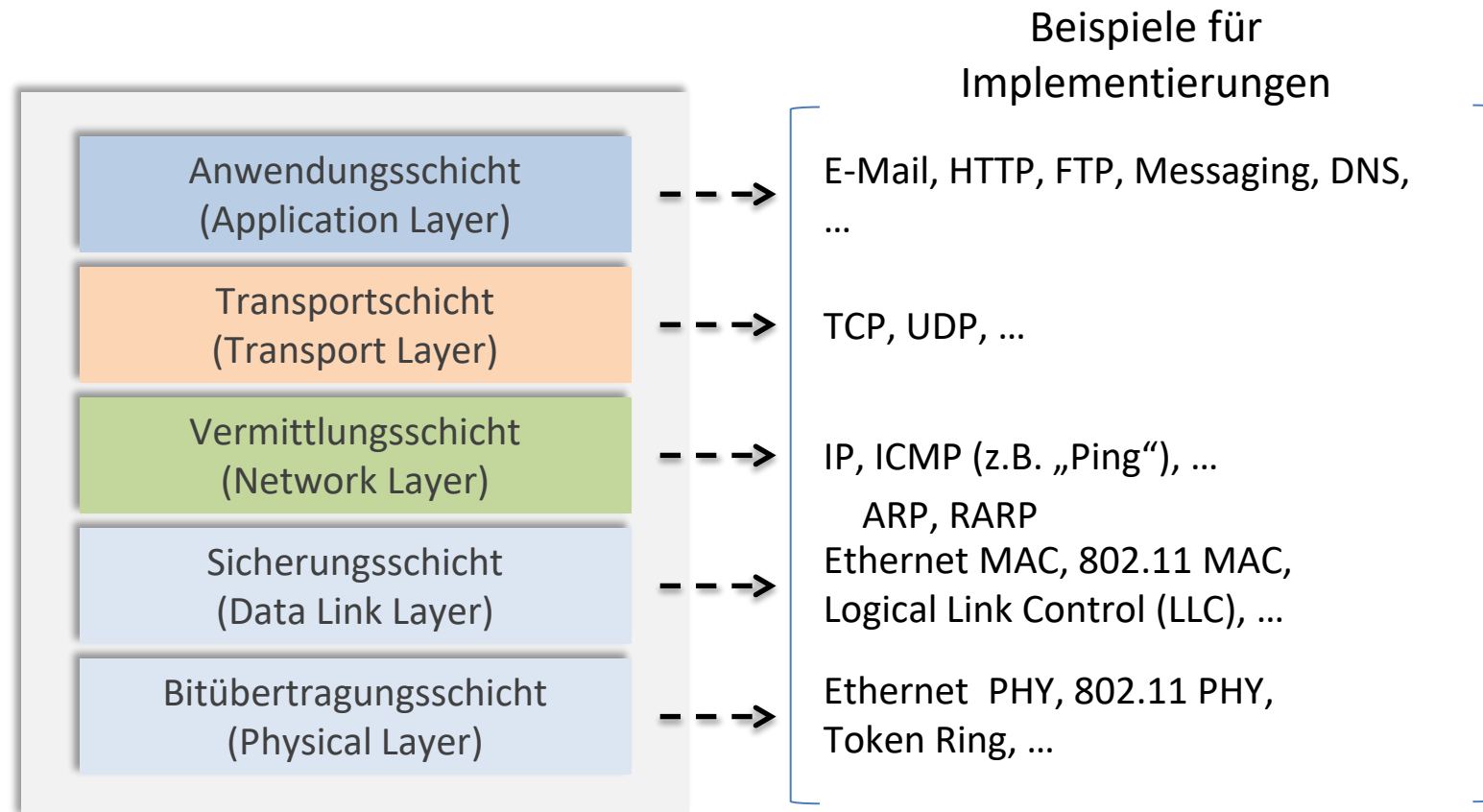
- „Open System Interconnect“
- Sieben Schichten



## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

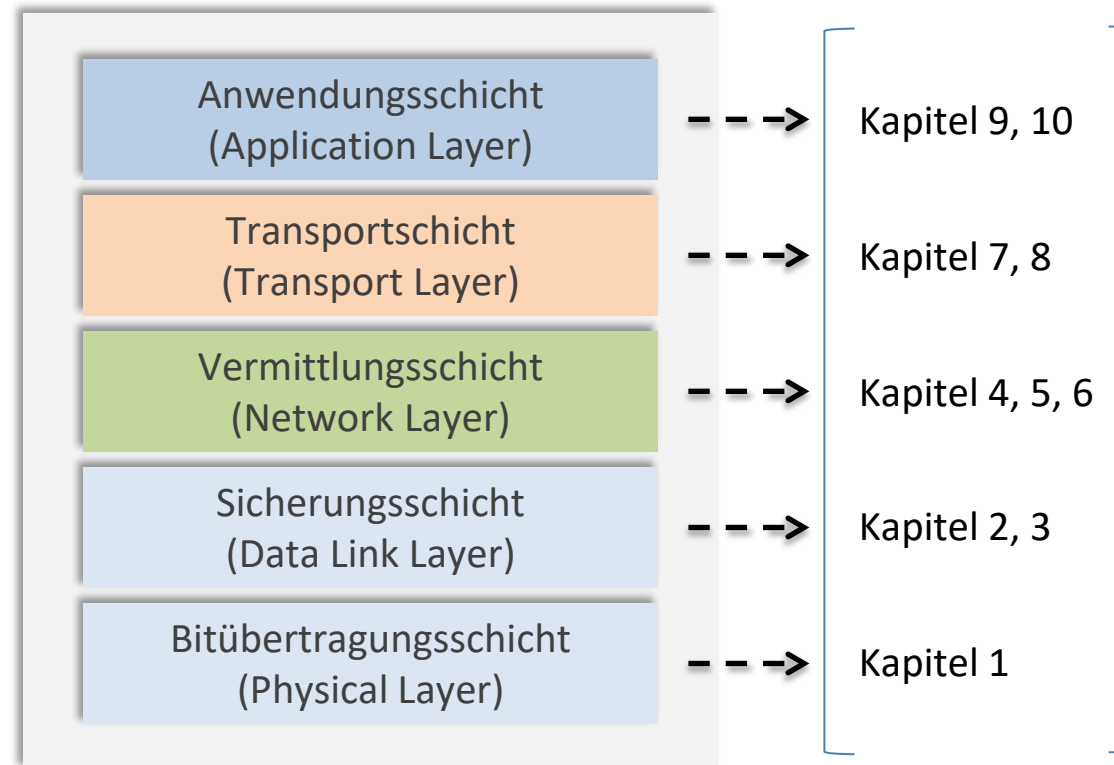
## Hybridmodell nach Andrew S. Tanenbaum: Verwenden wir in der Vorlesung



Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

## Aufbau der Vorlesung



# 1.0 Strukturierung

## Die Schichten und ihre Bedeutung

### Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

Nr.	Name	Bedeutung
7	Anwendung Applikation	Anwendungsspezifische Protokolle (z.B. HTTP, SMTP (E-Mail) oder FTP).
6	Darstellung	Betriebssystemunabhängige Formate zur Darstellung von Daten (z.b. Zeichenkodierung, String-Formate, Kompression ...).
5	Sitzung	Verwaltung von Sitzungen, z.B. Synchronisation, Checkpointing, Wiederherstellung bei Abbruch von Verbindungen...
4	Transport	Ende-zu-Ende Transportdienste zwischen Netzwerkteilnehmern u. Anwendungen (z.B. TCP, UDP). Verschiedene Diensklassen hinsichtlich Verbindung, Zuverlässigkeit, ... .
3	Vermittlung	Adressierung und Routing von Paketen durch das Netzwerk, nicht nur zwischen durch ein physikalisches Netzwerk verbundenen Rechnern.
2	Sicherung	Verpackung in Datenrahmen, Versenden der Datenrahmen über Netzwerkinterfaces an ein Netzwerk. Außerdem Prüfsummen, Fehlerkorrektur, ... → Gesicherte Kanäle zwischen Netzwerkknoten.
1	Bitübertragung	Datenübertragung über das Medium („Bits auf dem Draht“).

- Internet: Applikation muss sich selbst darum kümmern
- Notwendig?

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

# Layer 1

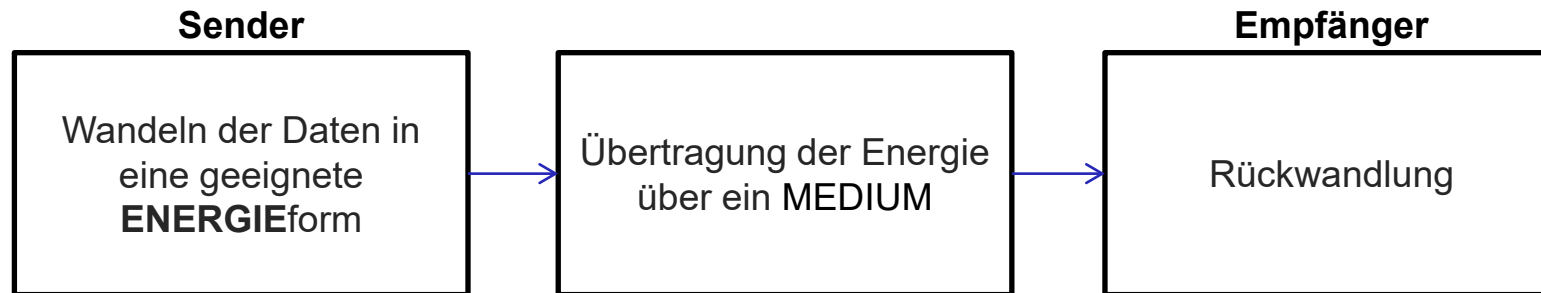
## Bitübertragungsschicht

# 1. Grundlagen der Datenübertragung – 1.1 Einleitung

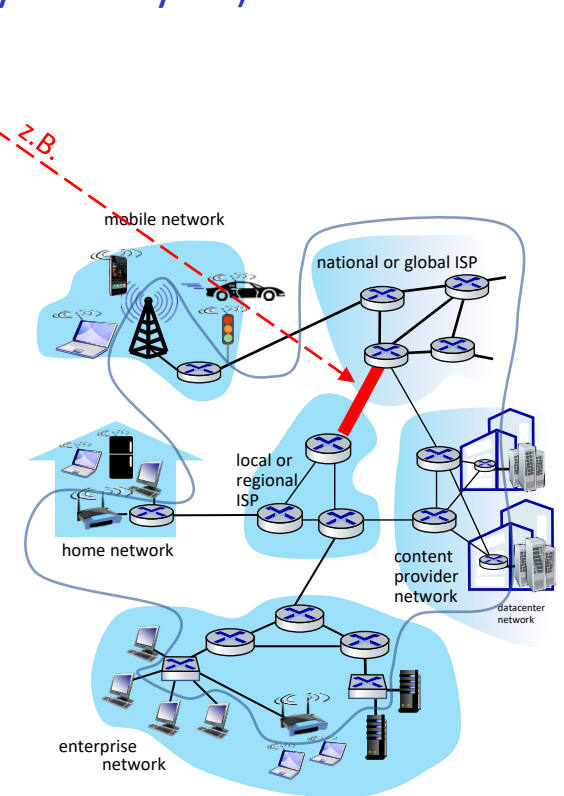
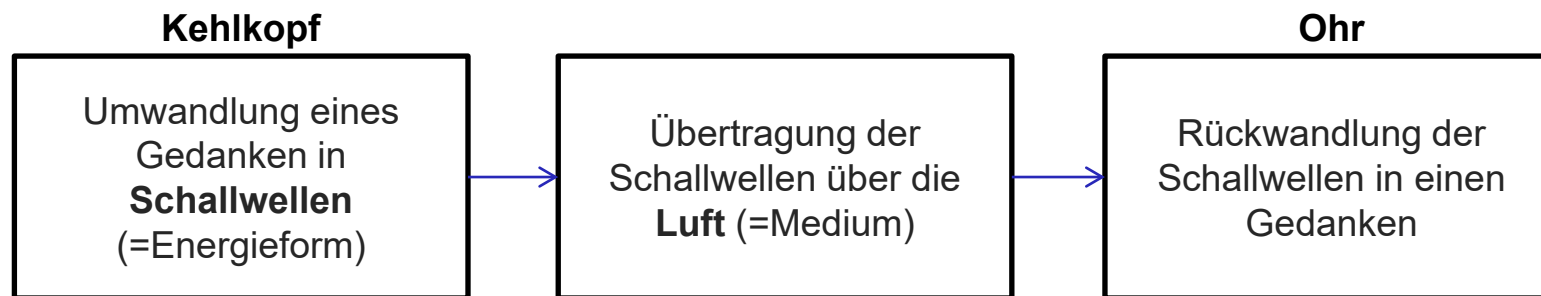
## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

Wie läuft Kommunikation technisch auf „unterster“ Ebene über einen **Link** ab („physical Layer“)?



Menschliches Beispiel: Sprechen





# 1.1 Einleitung

## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- Beispiele von Energieformen und zugehörigen Medien:

Energieform	Medium
Elektr. Strom	Kupferkabel
Radiowellen ( $\lambda = \text{cm} \dots \text{km}$ )	Luft, Vakuum
Licht ( $\lambda = \text{nm} \dots \mu\text{m}$ )	Lichtwellenleiter

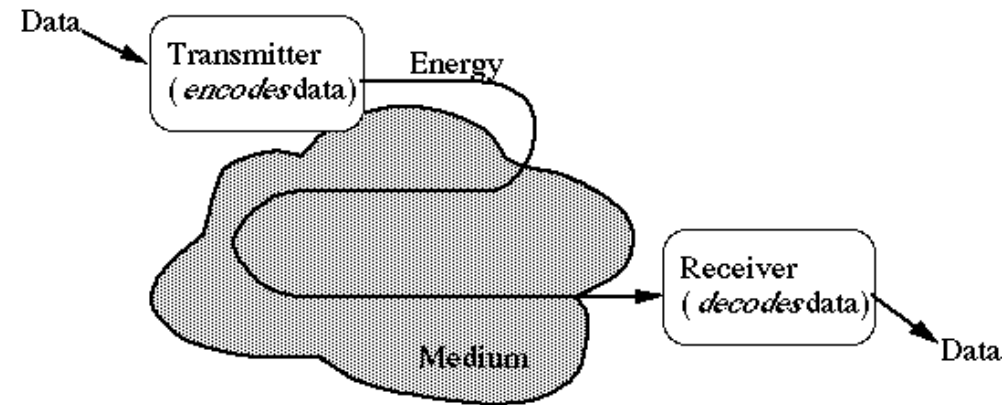
- Jede Energieform hat andere Eigenschaften
- Unterschiedl. Anforderungen an Sender und Empfänger je nach Energieform und Medium

Inhalt

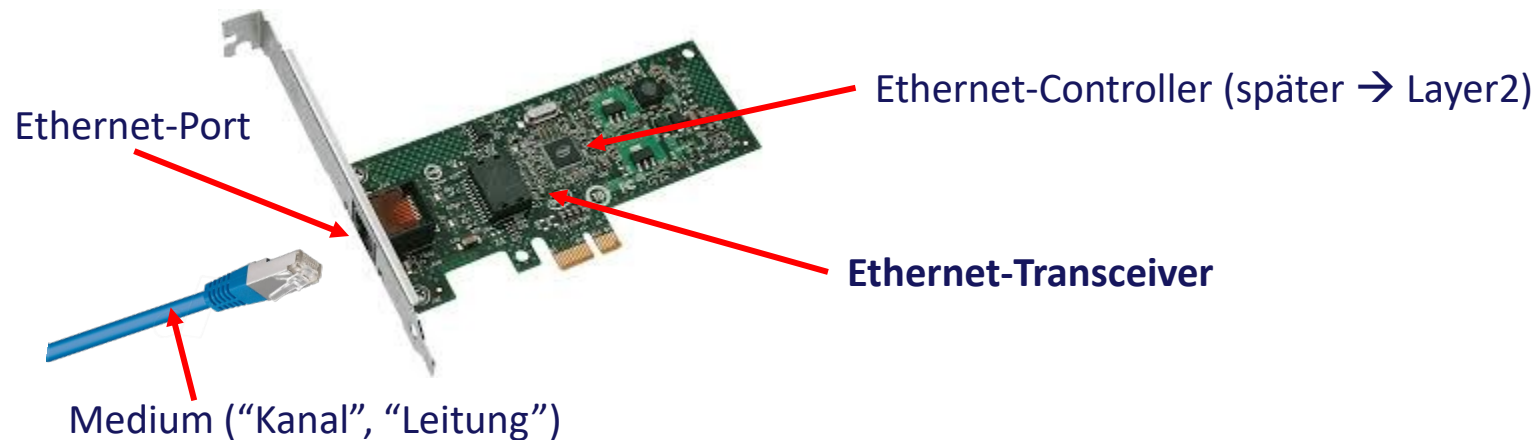
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

Umwandlung und Rückwandlung Daten  $\leftrightarrow$  Energie bedarf spezieller Hardware:

- **Transmitter** und **Receiver**; beides zusammen: **Transceiver**



- Teil der Netzwerkkarte (**NIC**: Network Interface Card)



## 1.2 Gängige Medien

### Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

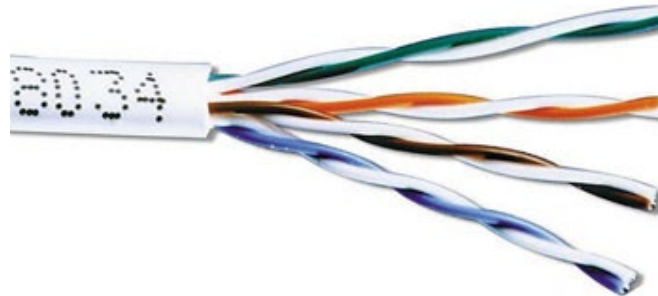
### Verdrilltes Kupferkabel (**TP**: Twisted Pair)



#### Shielded twisted pair (STP)



#### Unshielded twisted pair (UTP)



#### Vorteile:

- preisgünstig
- einfache Handhabung
- relativ einfache Verlegung (aber Wandarbeit nötig)
- $\geq 100\text{m}$  Signalstrecke möglich: reicht für Gebäudevernetzung
- Medium des klassischen Telefonnetzes:
  - große Installationsbasis

→ Derzeit primäres Übertragungsmedium für Gebäudevernetzung (LAN: Local Area Network)

Inhalt

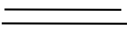

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

## Verdrilltes Kupferkabel – Fortsetzung



### Warum verdrillen?

- Interferenzproblem:

- Datenübertragung in einem Draht verursacht Störung im anderen
- Prinzip: Radiosender – Empfangsantenne
- Maximale Störung: paralleler Drahtverlauf 
- Minimale Störung: senkrechter Drahtverlauf 
- verdrillter Drahtverlauf: geringe Störung, beide Drähte lassen sich gemeinsam vom Empfänger zum Sender verlegen

**Inhalt**

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

## Verdrilltes Kupferkabel – Fortsetzung:

- Wie stark verdrillen?

Je stärker umso besser/teurer

- Kategorien:

– Cat 1 bis 7



UTP Kategorie 3



UTP Kategorie 5

1: analoge Sprachübertragung (Telefonnetz)

3: digitales Telefon (ISDN)

5: heutige LANs (bis Gbps)

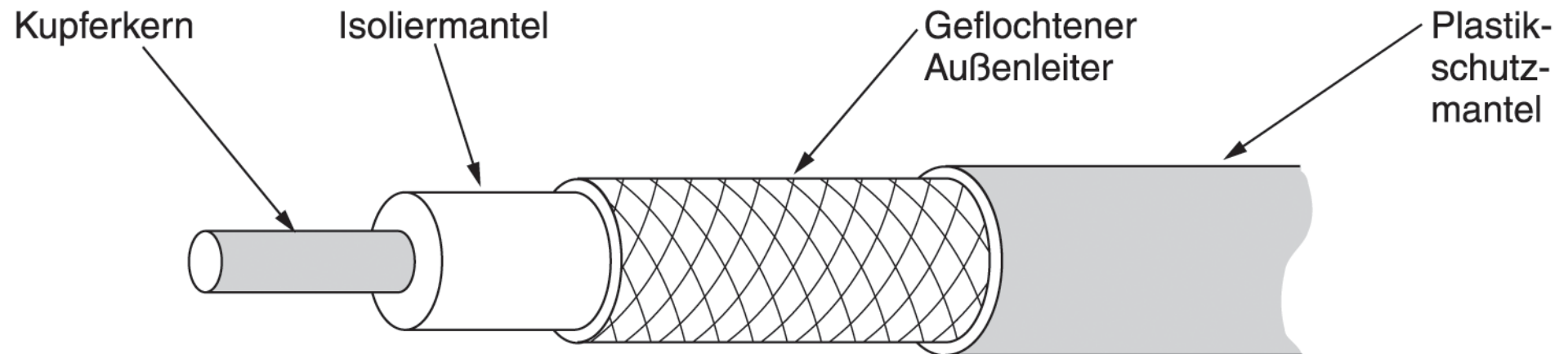
6/7: Zukunft (ab 10Gbps)

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

## Koaxialkabel

- Medium des klassischen Fernsehkabels
  - Konzept des abgeschirmten Drahtes → minimalste Interferenzen
  - teurer und schlechter zu handhaben als TP
  - Der Glasfaser technisch unterlegen
- heute kaum mehr verwendet (aber: Manche „Last-Mile“ Zugangsnetze wie „Vodafone Kabel Internet“ basieren auf vorhandene Fernsehkoaxialinfrastruktur)



Koaxialkabel

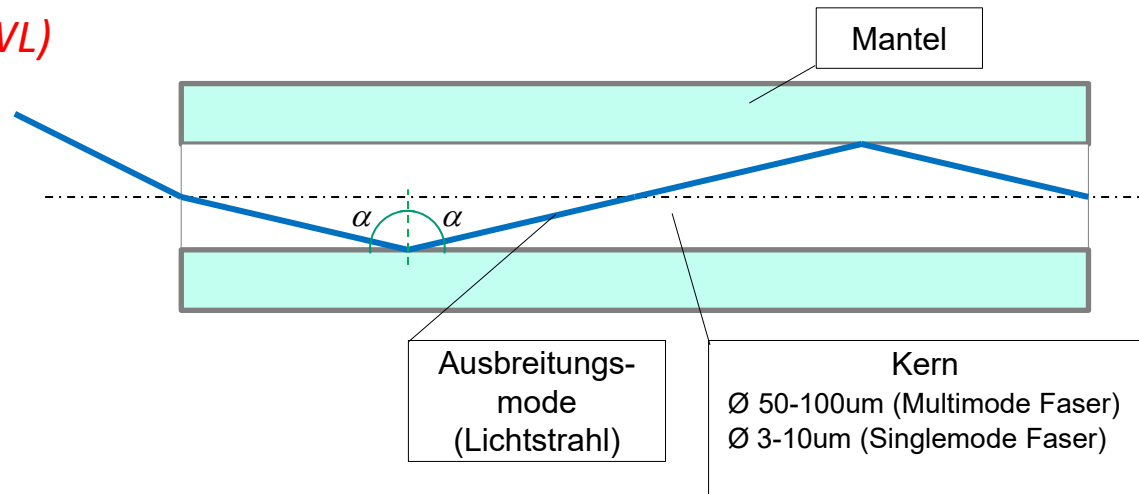
## 1.2 Gängige Medien

Inhalt

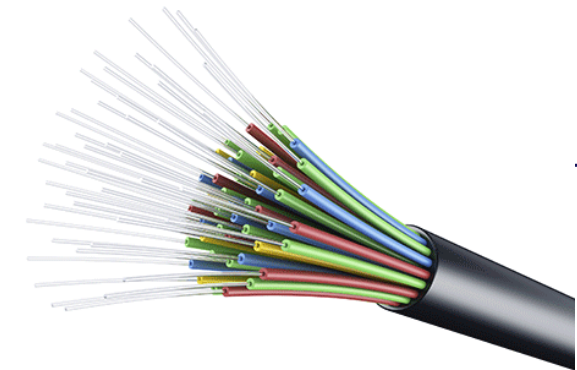
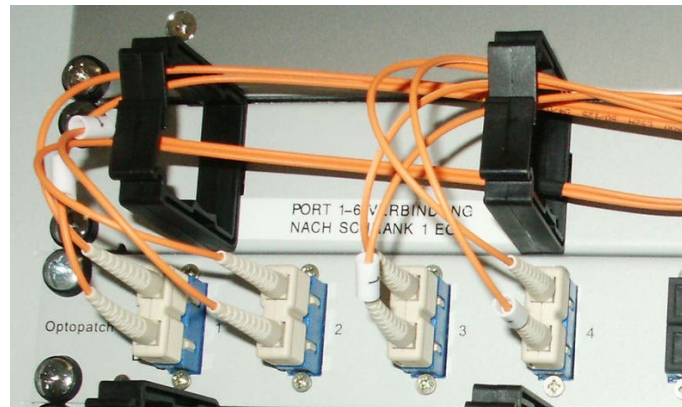
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

*Glasfaser bzw. Lichtwellenleiter (LWL)*

**Funktionsprinzip:**  
Lichtleitung durch  
Totalreflexion



- höchste Datenraten (Terabit/s möglich)
- längste Signalstrecken (~100km)
- Keine Abstrahlung (-> kann nur sehr schwer abgehört werden)
- teuer und schlechte Handhabung
- primäres kabelgebundenes Medium für WANs (Wide Area Network)
- Trend für LANs nimmt zu



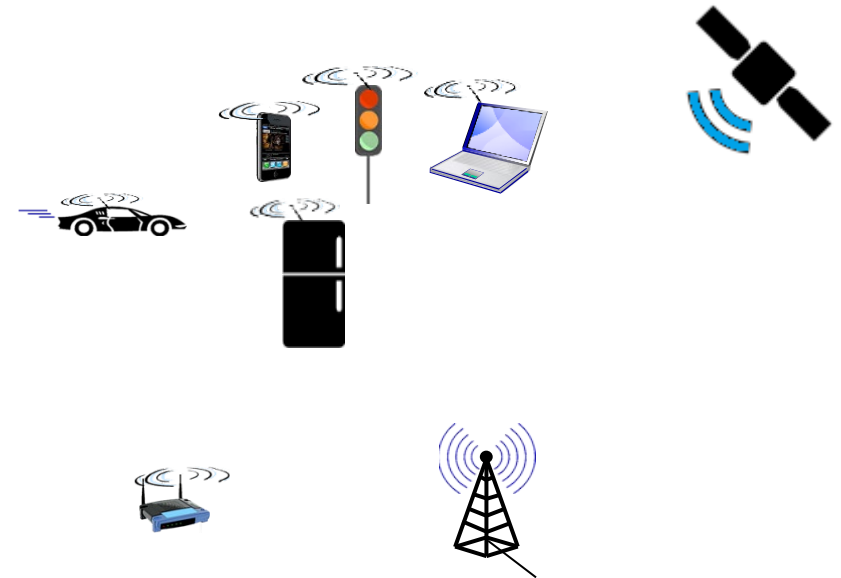
ein Bündel optischer Glasfasern

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

**Funk**

- Medium der klassischen Radio- und Fernsehübertragung
- Medium: Luft bzw. Vakuum  
→ keine Verlegung notwendig!
- Verwendung:
  - Satellitenübertragung
  - Mikrowellenübertragung in WANs
  - WLAN (drahtloses lokales Computernetz)
  - Bluetooth
  - Mobilfunk (GSM, UMTS, LTE, 5G, ...)
  - ...
- Nachteil: hohe Störempfindlichkeit
  - Reflexionen
  - Verschattungen
  - Interferenzen
  - Andere Sender
  - Störquellen (E-Motor,...)





Inhalt

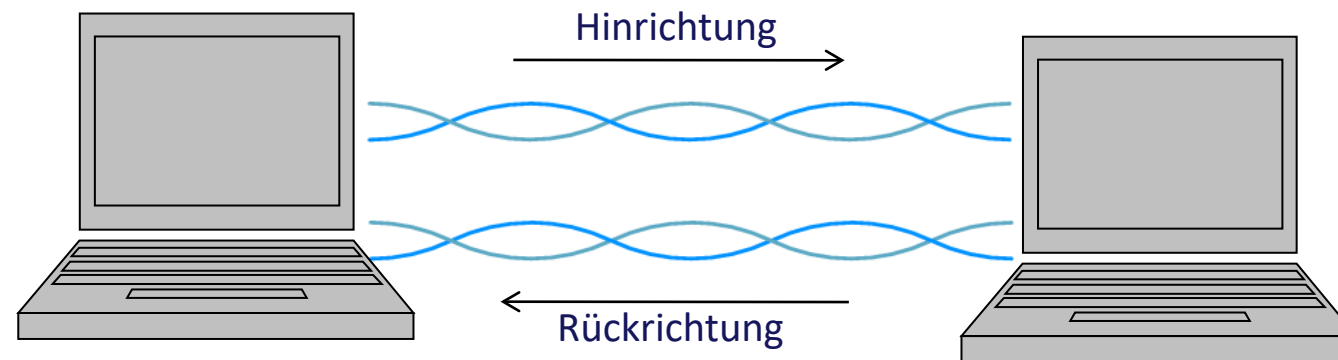
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- **Ausgangspunkt:**

Computer verwenden Binärziffern (0,1) zur Darstellung („Kodierung“) von Informationen

- **Szenario: (PTP: Point to Point Verbindung)**

zwei Geräte, die mittels eines Mediums verbunden sind



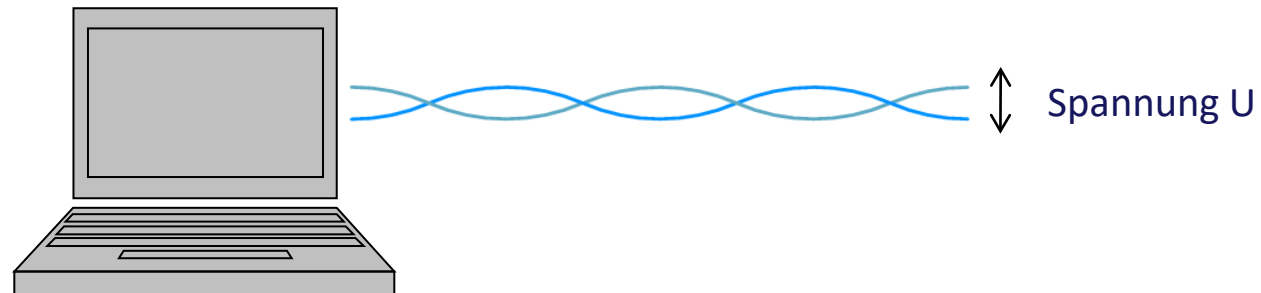
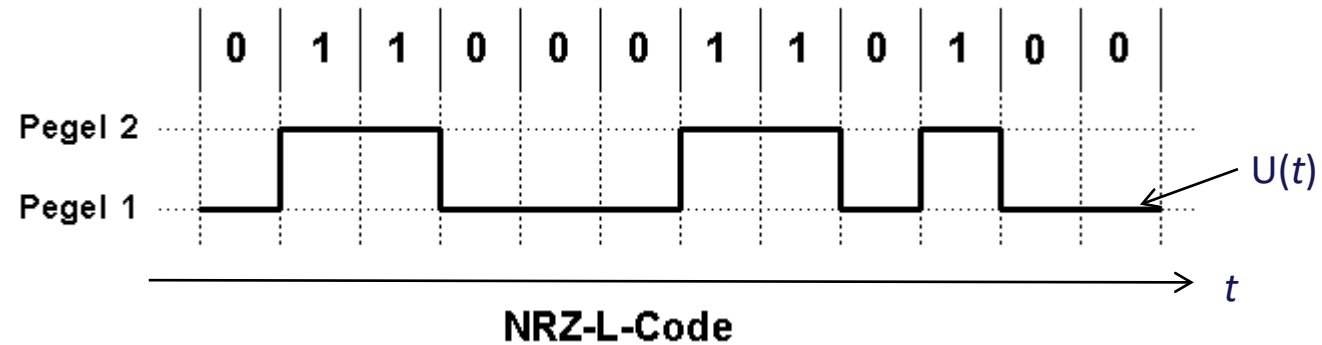
Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- Definition (NRZ: Non Return To Zero)

- Spannungspegel 2 = logische 1

- Spannungspegel 1 = logische 0



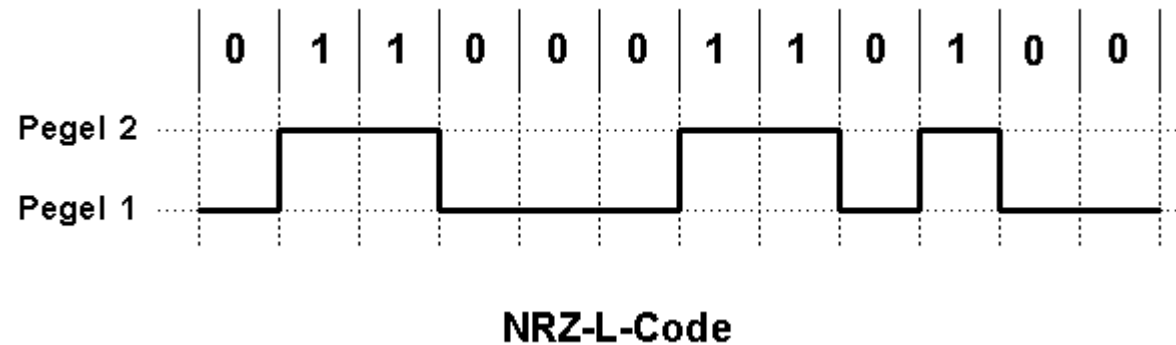
### Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

### •NRZ: einfach, aber der Teufel liegt im Detail:

#### Beispiel:

- Sender überträgt 1000 Einsbits, d.h. er legt lange Pegel 2 an.
- Empfänger misst lange Pegel 2. Waren es nun 999 oder 1000 Einsbits?
  - extrem genaue und synchronisierte Zeitgeber beim Empfänger und Sender notwendig
  - man verwendet meist aufwendigere/ kompliziertere Formen der Kodierung
  - andere Vorlesung: Signalverarbeitung



Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- Beispiel NRZ: Reihe von Detailfragen:
  - Wie lange dauert ein Bit genau?
  - In welchem Spannungsbereich darf der Pegel 2 liegen?
  - ....
- Detailfragen müssen herstellerübergreifend festgelegt werden, damit **verschiedene** Geräte miteinander kommunizieren können.
- Standardisierung

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

## •wichtige Standardisierungsgremien

### –ISO (International Organisation for Standardization)

- z.B. ISO OSI Model



International  
Organization for  
Standardization

### –IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers):

- Ethernet (IEEE 802.3)
- WLAN (IEEE 802.11)
- ....



### –IAB (Internet Architecture Board)/IETF (Internet Engineering Taks Force)

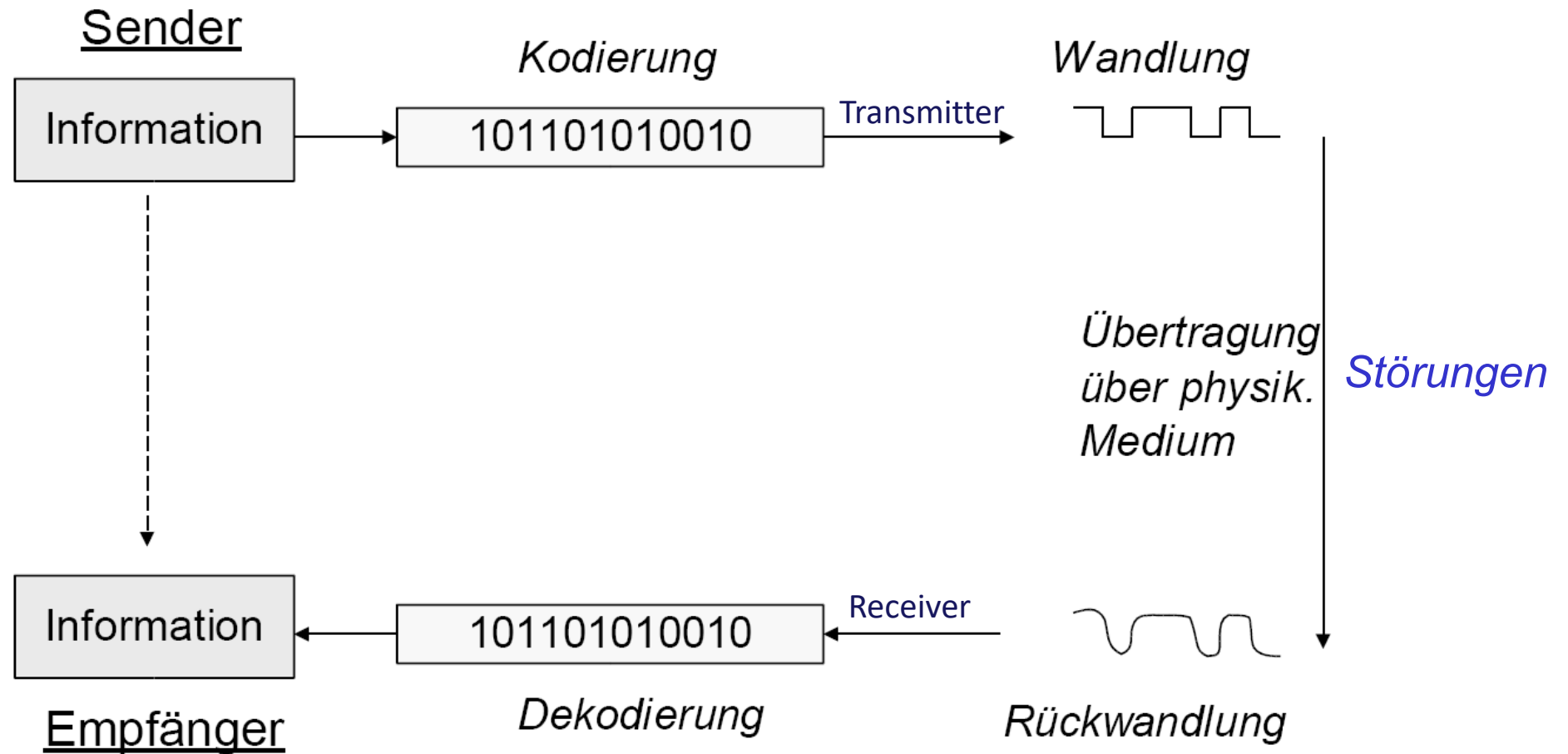
- IP: RFC 791
- HTTP: RFC 2616
- ....



# 1.5 Grundlegender Ablauf der Kommunikation

## Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)



Inhalt

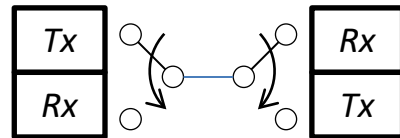
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

• Der *Duplex*begriff

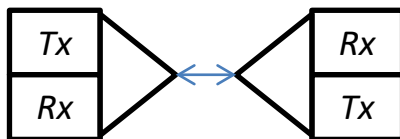
- Richtungen der Datenübertragung auf dem Medium
- Legende: TX = Transmitter, Rx = Receiver

Simplex-Verbindung:

- \* Daten unidirektional von Sender an Empfänger
- \* Kein Rückkanal
- \* Beispiel: Radio , Fernsehen

Halbduplex-Verbindung:

- \* Abwechselndes Senden und Empfangen
- \* Datenrichtung auf dem Medium ändert sich
- \* Beispiel: Walkie-Talkie, gute Vorlesung

Vollduplex-Verbindung:

- \* Gleichzeitiges Senden und Empfangen
- \* Medium wird bidirektional genutzt
- \* Beispiel: heutiges Ethernet, Telefon, Streitgespräch

## Inhalt

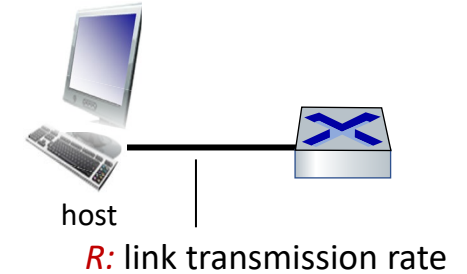
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

### • Datenübertragungsrate/Bitrate R:

$$R = \frac{N}{t}$$

[bit/s]  
[bps] (bits per second)  
[B/s] (1 Byte = 8 bit)

R: Bitrate  
N: Anzahl der gesendeten Bits  
t: Benötigte Sendezeit



## Zahlenpräfixe

Name	Symbol	Wert	Name	Symbol	Wert gemäß SI
kibi	Ki	$2^{10} = 1024^1 = 1.024$	Kilo	k	$10^3 = 1.000$
mebi	Mi	$2^{20} = 1024^2 = 1.048.576$	Mega	M	$10^6 = 1.000.000$
gibi	Gi	$2^{30} = 1024^3 = 1.073.741.824$	Giga	G	$10^9 = 1.000.000.000$
tebi	Ti	$2^{40} = 1024^4 = 1.099.511.627.776$	Tera	T	$10^{12} = 1.000.000.000.000$
pebi	Pi	$2^{50} = 1024^5 = 1.125.899.906.842.624$	Peta	P	$10^{15} = 1.000.000.000.000.000$
exbi	Ei	$2^{60} = 1024^6 = 1.152.921.504.606.846.976$	Exa	E	$10^{18} = 1.000.000.000.000.000.000$
zebi	Zi	$2^{70} = 1024^7 = 1.180.591.620.717.411.303.424$	Zetta	Z	$10^{21} = 1.000.000.000.000.000.000.000$
yobi	Yi	$2^{80} = 1024^8 = 1.208.925.819.614.629.174.706.176$	Yotta	Y	$10^{24} = 1.000.000.000.000.000.000.000.000$

### Beispiele für R:

- \*  $R = 100 \text{ Mbit/s} = 100 \cdot 10^6 \text{ bit/s} = (100 \cdot 10^6) / 8 \text{ B/s} = 12,5 \text{ MB/s}$  100BASE-TX Ethernet
- \*  $R = 1 \text{ Kibps} = 1024 \text{ bit/s} = 128 \cdot 8 \text{ bit/s} = 128 \text{ B/s}$
- \*  $R = 1,5 \text{ Mibit/s} = 1572864 \text{ bps} = 1,572864 \text{ Mbps} = 1,572864 \text{ Mbit/s} = 192 \text{ KiB/s}$



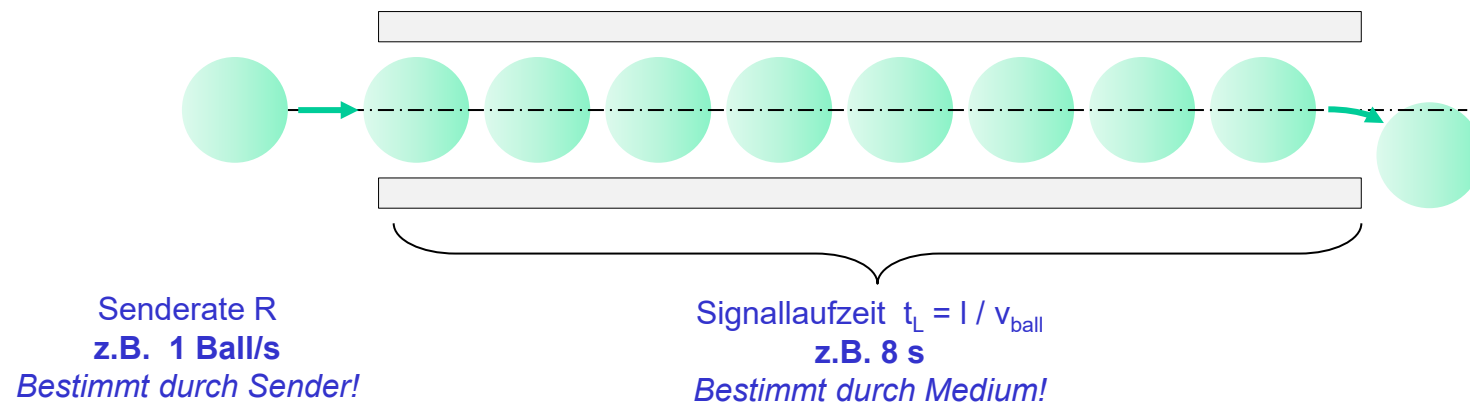
Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- **Verzögerungszeit/Laufzeit/Latenz:**

= Differenz zwischen Empfangs- und Sendezeit.

**Analogie:** Rohr mit Bällen, Senderate vs. Laufzeit



Es wird zwar jede Sekunde ein Ball gesendet ( $R = 1\text{Ball/s}$ ), aber laufzeitbedingt kommt ein Ball erst nach 8 s ( $t_L$ ) beim Empfänger an. Eine Sekunde später folgt dann der nächste Ball ,etc. Dabei befinden sich 8 Bälle gleichzeitig im Rohr (= auf dem Medium) und das Rohr ist nahezu voll (= das Medium ist fast ausgelastet).

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

• *Bitfehlerrate*

$$BER = \frac{N_{ERR}}{N_{TOTAL}}$$

BER: Bit Error Rate  
 $N_{ERR}$ : Anzahl der fehlerhaften Bits  
 $N_{TOTAL}$ : Anzahl der gesendeten Bits

–Gründe: Störeinflüsse (z.B. Elektromagnetische Strahlung bei elektrischen Signalen), Dämpfung durch langen Kanal, ... (Stichwort: Signalrauschabstand, SNR)

–Beispiel:

- $BER = 3 \cdot 10^{-6} = 3/1.000.000$ :  
von 1 Million übertragener Bits sind durchschnittlich 3 Bits falsch

Inhalt

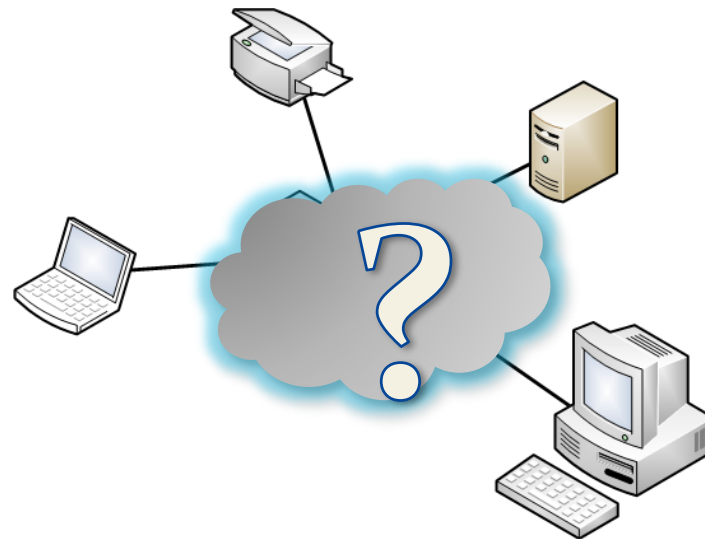
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- Behandelt:
  - Wie können Informationen übertragen werden
  - Gängige Übertragungsmedien
  - Bitwandlung
  - Punkt-zu-Punkt Übertragung (PTP) auf Bitebene
  - Wichtige Begriffe
- Die hier behandelten Detailfragen/Festlegungen ordnet man der sogenannten **Bitübertragungsschicht (physical layer)** zu. Sie ist die physikalische Grundlage der Computernetze.

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- Netzwerk-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- WWW
- (Socket Programmierung)

- Logik (=„Software“) für fehlerfreie und faire Übertragung.
- Ausweitung der Kommunikationsmöglichkeiten auf mehrere Teilnehmer (**Netzwerk**)
- Die dazu notwendige Hardware.



- Beides zusammen ordnet man der Sicherungsschicht (Data Link Layer) zu