

# 1. Foliensatz Computernetze

Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences  
(1971–2014: Fachhochschule Frankfurt am Main)  
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften  
[christianbaun@fb2.fra-uas.de](mailto:christianbaun@fb2.fra-uas.de)

# Organisatorisches zur Vorlesung und Übung

- **E-Mail:** christianbaun@fb2.fra-uas.de

!!! Sagen Sie mir frühzeitig wenn es Probleme gibt !!!

- **Homepage:** <http://www.christianbaun.de>

!!! Schauen Sie regelmäßig auf die Vorlesungsseite !!!

- Die Homepage enthält u.a.
  - **Präsentationsfolien** in deutscher und englischer Sprache
  - **Klausuren**
  - **Musterlösungen**
- Die Übungsteilnahme ist keine Voraussetzung zur Klausurteilnahme
  - Die Teilnahme an den Übungen wird aber empfohlen

Der Inhalt der englischen und deutschen Vorlesungsfolien ist identisch, aber verwenden Sie bitte die englischen Folien für die Prüfungsvorbereitung, um sich mit den Fachbegriffen vertraut zu machen

# Situation heute und Ziel für dieses Semester

**STUDY COMPUTER SCIENCE AND USE  
COMPUTER NETWORKS EVERY DAY**



**DON'T KNOW THEIR  
FUNCTIONING**

**KNOW TO FUNCTIONING  
OF COMPUTER NETWORKS**

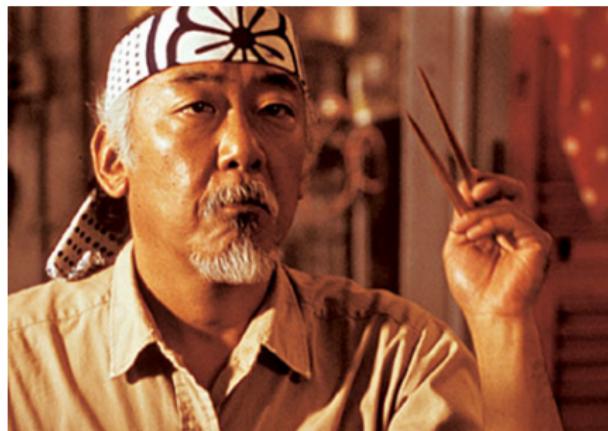


**PASSED THE COMPUTER  
NETWORKS EXAM**



# Wie gute Vorlesungen ablaufen... .

Bildquelle: Google



- Nehmen Sie aktiv an der Vorlesung und an der Übung teil!
- Zitat von Mr. Miyagi:  
*„Nicht nur der Schüler lernt von seinem Meister; auch der Meister lernt von seinem Schüler.“*

# Dinge, die in Vorlesungen schlecht sind...

(Regelmäßiges!) Zuspätkommen



⇒ nervig und respektlos

Lautes Essen während der Vorlesung



⇒ nervig

Riechendes Essen während der Vorlesung



⇒ wiederlich

Lautes Begrüßen von/durch Zuspätkommer



⇒ peinlich und respektlos

Gruppenarbeit am Laptop in der Vorlesung



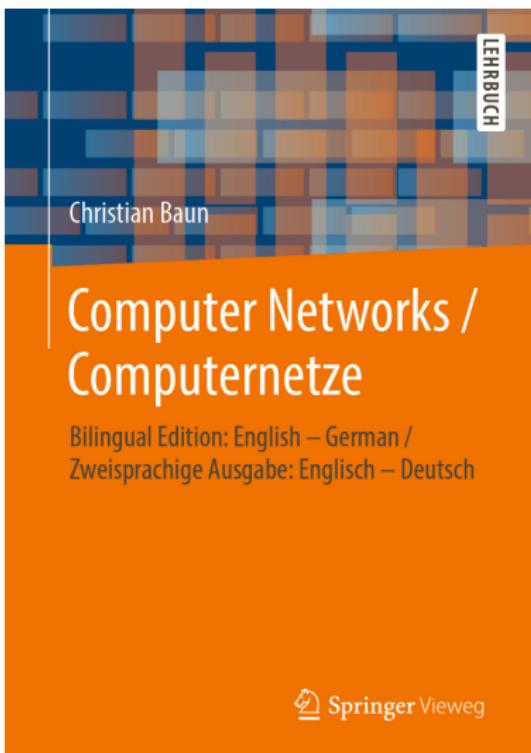
⇒ nervig für die Reihen dahinter

Filmen oder Fotografieren der Vorlesung



⇒ peinlich und respektlos

# Literatur



- **Computer Networks / Computernetze: Bilingual Edition,**  
*Christian Baun*, Springer Vieweg (2019)
  - Meine Vorlesungsunterlagen waren die Grundlage für dieses Buch
  - Der Download ist kostenfrei aus dem Intranet über die Bibliothek der FRA-UAS möglich
- **Computernetzwerke,** *Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall*, Pearson (2012)
- **Computernetzwerke: Der Top-Down-Ansatz,** *James F. Kurose, Keith W. Ross*, Pearson (2014)

Diese Bücher sind alle in deutscher und englischer Sprache verfügbar

# Lernziele dieses Foliensatzes

- Grundlagen der Computervernetzung
  - Netzwerkdienste, Rollen, Übertragungsmedien, Netzwerkprotokolle
  - Einteilung der Netzwerke
  - Parallele/serielle, synchrone/asynchrone Datenübertragung
  - Richtungsabhängigkeit der Datenübertragung
  - Topologien
  - Frequenz, Datensignal und Fourierreihe
  - Bitrate, Baudrate, Bandbreite und Latenz
- Protokolle
  - TCP/IP-Referenzmodell
  - Hybrides Referenzmodell
  - OSI-Referenzmodell

# Einordnung der Computernetze in die Informatik (1/2)

**Praktische  
Informatik**

**Technische  
Informatik**

**Theoretische  
Informatik**

**Mathematik**

**Neben-  
fach**

Wo würden Sie die Computernetze einordnen?

# Einordnung der Computernetze in die Informatik (2/2)

## Praktische Informatik

Programmieren  
(SW-Engineering, Modellierung)

Verteilte Systeme

Datenbanken

Compilerbau

Formale Sprachen

Berechenbarkeitstheorie

Automatentheorie

## Theoretische Informatik

## Technische Informatik

Robotik                      Sensorik

Betriebssysteme              Echtzeitsysteme

Rechner-  
architekturen              Hardwaredesign

Computernetze              Eingebettete Systeme

Analysis

Stochastik

Algebra

Optimierung

## Mathematik

## Nebenfach

E-Technik

BWL/VWL

Medizin

Computernetze gehören zur praktischen Informatik und technischen Informatik

# Zwingend nötige Elemente für Computernetzwerke

- Für den Aufbau und Betrieb eines Computernetzwerks sind nötig:
  - ① **≥ 2 Endgeräte mit Netzwerkdiensten**
    - Die Rechner in einem Computernetz sollen miteinander kommunizieren oder gemeinsam Ressourcen nutzen
    - Ein Netzwerkdienst stellt einen Dienst (Service) zur Kommunikation oder gemeinsamen Ressourcennutzung bereit
  - ② **Übertragungsmedium** zum Datenaustausch (siehe Foliensatz 2)
    - Gängige Übertragungsmedien für leitungsgebundene Netze sind elektrische Leiter (Twisted-Pair-Kabel oder Koaxialkabel) und Lichtwellenleiter
    - Auch nicht-leitungsgebundene (drahtlose) Übertragung ist möglich
  - ③ **Netzwerkprotokolle** (siehe Folie 34)
    - Regeln, die festlegen, wie Rechner miteinander kommunizieren können

Regeln (Netzwerkprotokolle) sind zwingend nötig. Ansonsten können sich die Kommunikationspartner *nicht verstehen*. Man stelle sich einen Telefonanruf ins Ausland vor. Die Verbindung kommt zustande, aber kein Teilnehmer versteht die Sprache des anderen. Nur wenn beide Kommunikationspartner die gleiche Sprache sprechen, ist Kommunikation möglich

# Parallele Datenübertragung

Bildquelle: <http://www.elektron-bbs.de> und Google

- Kommunikation zwischen Rechnern ist mit **paralleler** und **serieller** Datenübertragung möglich
- Bei **paralleler Datenübertragung** gibt es neben den Steuerleitungen mehrere Datenleitungen
- Beispiel: Parallel Schnittstelle zum klassischen Anschluss von Druckern
  - Darüber kann pro Zeiteinheit ein komplettes Byte an Daten übertragen werden
- Vorteil: Hohe Geschwindigkeit
- Nachteil: Es sind viele Leitungen nötig
  - Das ist bei großen Distanzen kostenintensiv und aufwändig
- Anwendung: Lokale Bus-Systeme

(z.B. ATA, SCSI, ISA, PCI, Front Side Bus, IEEE-1284 „Drucker-Port“)

Das Bild zeigt die parallele Schnittstelle (25-polig)

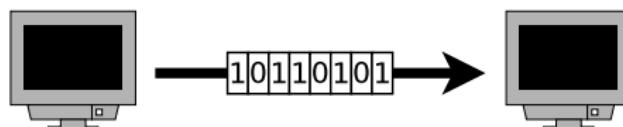
GND - Ground	25	SLCT - Select
GND - Ground	12	PE - Paper End
GND - Ground	24	BUSY
GND - Ground	10	ACK - Acknowledge
GND - Ground	23	D7 - Datenbit 7
GND - Ground	11	D6 - Datenbit 6
GND - Ground	22	D5 - Datenbit 5
GND - Ground	9	D4 - Datenbit 4
GND - Ground	21	D3 - Datenbit 3
GND - Ground	8	D2 - Datenbit 2
GND - Ground	20	D1 - Datenbit 1
GND - Ground	19	D0 - Datenbit 0
SCHILD	6	STB - Strobe
INIT	5	
ERROR	4	
ALF - Auto Line Feed	3	
	1	

SUB-D 25-polig weiblich  
Ansicht auf Buchenseite

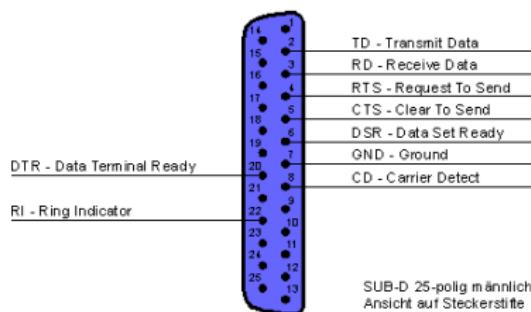
# Serielle Datenübertragung

Bildquelle: <http://www.elektron-bbs.de>

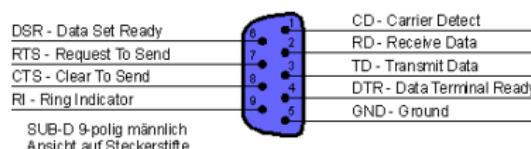
- Bei **serieller Datenübertragung** werden die Bits auf einer Datenleitung nacheinander übertragen
- Ein Byte übertragen dauert 8x so lange wie bei paralleler Datenübertragung
- Vorteil: Auch für große Distanzen geeignet, da nur wenige Leitungen nötig sind
- Nachteil: Geringerer Datendurchsatz
- Anwendung: Lokale Bus-Systeme und **Verbindungen in Computernetzen**



Das Bild zeigt die serielle Schnittstelle (25-polig)



Das Bild zeigt die serielle Schnittstelle (9-polig)



Einige Vernetzungstechnologien, die seriell arbeiten

Ethernet, USB, CAN, FireWire, Fibre Channel (für SAN), InfiniBand

# Richtungsabhängigkeit der Datenübertragung

## • Simplex

- Der Informationstransfer funktioniert nur in einer Richtung
- Nach dem Ende der Übertragung kann der Kommunikationskanal von einem anderen Sender verwendet werden
- Beispiele: Radio, Fernsehen und Funkmeldeempfänger (Pager)

## • Duplex (Vollduplex)

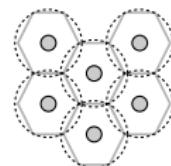
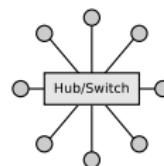
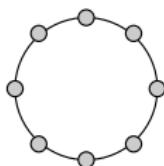
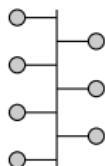
- Der Informationstransfer funktioniert in beide Richtungen gleichzeitig
- Beispiele: Telefon, Netzwerke mit Twisted-Pair-Kabeln, denn diese bieten separate Leitungen zum Senden und Empfangen

## • Wechselbetrieb (Halbduplex)

- Der Informationstransfer funktioniert in beide Richtungen, aber nicht gleichzeitig
- Beispiele:
  - Netzwerke auf Basis von Glasfaser- oder Koaxialkabeln, denn hier gibt es nur eine Leitung für Senden und Empfangen
  - Funknetze mit nur einem Kanal

# Topologien von Computernetzen

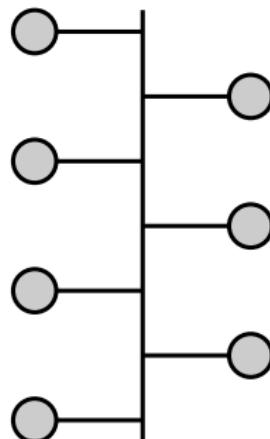
- Die Topologie eines Computernetzes...
  - legt fest, wie die Kommunikationspartner miteinander verbunden sind
  - ist entscheidend für die Ausfallsicherheit
- Die Struktur großer Netze ist oftmals aus mehreren unterschiedlichen Topologien zusammensetzt
- Physische und logische Topologie können sich unterscheiden
  - **Physische Topologie:** Beschreibt den Aufbau der Netzverkabelung
  - **Logische Topologie:** Beschreibt den Datenfluss zwischen Endgeräten
- Topologien werden grafisch mit Knoten und Kanten dargestellt



# Bus-Topologie

- Alle Knoten sind über ein Übertragungsmedium, den Bus, verbunden

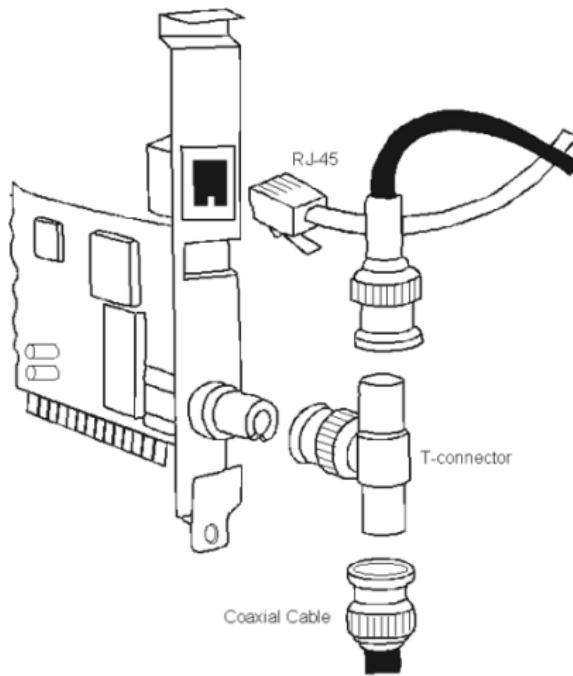
- Keine aktiven Komponenten zwischen Knoten und Medium
    - Der Ausfall einzelner Knoten führt darum auch nicht zum Ausfall des Netzes
  - Vorteil: Geringe Kosten für Aufbau
    - Hubs oder Switches waren mal teuer!
  - Nachteil: Unterbrechung des Bus führt zum Ausfall des Netzes
  - Zu jedem Zeitpunkt kann nur ein Teilnehmer Daten senden. Ansonsten kommt es zu Kollisionen
    - Ein Medienzugriffsverfahren wie CSMA/CD ist nötig (siehe Foliensatz 6)



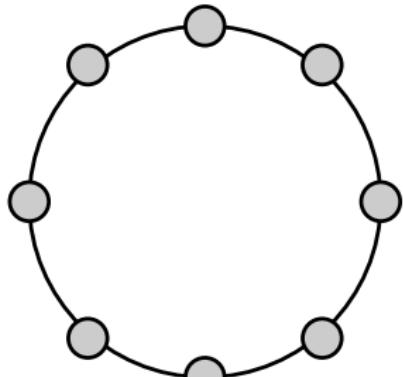
- Beispiele:

- 10BASE2 (Thin Ethernet) und 10BASE5 (Thick Ethernet): 10 Mbit/s

# 10BASE2 (Kleine Reise in die Vergangenheit)

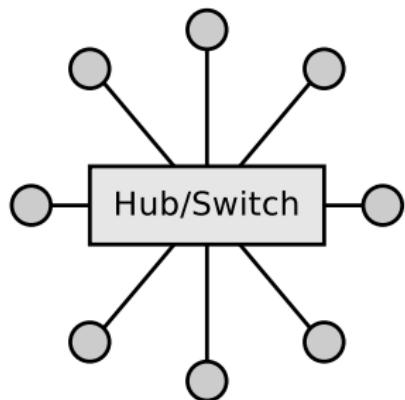


# Ring-Topologie



- Jeweils 2 Knoten sind direkt miteinander verbunden
- Die zu übertragende Information wird von Knoten zu Knoten weitergeleitet, bis sie ihren Bestimmungsort erreicht
- Eine Unterbrechung des Rings führt zum Ausfall des Netzes
- Jeder Teilnehmer ist gleichzeitig ein Signalverstärker (Repeater)
  - Darum sind große Ringlängen (abhängig vom Medium) möglich
  - Maximale Ringlänge bei Token Ring: 800 m
- Beispiele:
  - Token Ring (**logisch**): 4-16 Mbit/s
  - Fiber Distributed Data Interface (FDDI): 100-1000 Mbit/s
    - Bei FDDI ist der Ring doppelt ausgeführt, um für den Fehlerfall eine Redundante Leitung vorzuhalten

# Stern-Topologie



- Alle Knoten sind direkt an einer zentralen Komponente (Hub oder Switch) angeschlossen
- Ausfall der zentralen Komponente führt zum Ausfall des Netzes
  - Die zentrale Komponente kann redundant ausgelegt werden
- Ausfall eines Knotens führt nicht zum Ausfall des Netzes
- Vorteile: Erweiterbarkeit und Stabilität
- Beispiele:
  - Fast Ethernet: 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s, 10 Gbit/s
  - Token Ring (**physisch**): 4-16 Mbit/s
  - Fibre Channel (Speichernetzwerke): 2-16 Gbit/s
  - InfiniBand (Cluster): 10-40 Gbit/s

# Ringleitungsverteiler

Bildquelle: Google Bildersuche

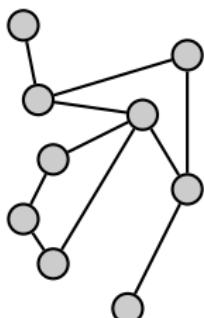
- Token Ring ist ein Beispiel dafür, dass sich die physische und die logische Topologie unterscheiden können
  - Token Ring basiert auf einer logischen Ring-Topologie
  - Wird aber meist als physische Stern-Topologie verkabelt
- Der Einsatz eines Ringleitungsverteilers (RLV), der sogenannten Media Access Unit (MAU) ist üblich
  - Jedes Gerät ist nur mit einem Kabel mit der MAU verbunden
  - **Technisch liegt eine Stern-Topologie und logisch eine Ring-Topologie vor**
  - Eine MAU ist ein *Ring in der Box*
  - Ist ein Knoten nicht angeschlossen oder ausgefallen, überbrückt die MAU den Knoten und die Ringstruktur ist nicht unterbrochen



# Maschen-Topologie

- In einem vermaschten Netzwerk ist jeder Teilnehmer mit einem oder mehreren anderen Teilnehmern verbunden
  - Ist das Netz **vollständig vermascht**, ist jeder Teilnehmer mit jedem anderen verbunden
- Fallen Teilnehmer oder Verbindungen aus, ist die Kommunikation meist durch Umleiten weiter möglich

- Vorteil: Ausfallsicher (abhängig vom Verkabelungsaufwand)
- Nachteile: Verkabelungsaufwand und Energieverbrauch
- Zudem ist in nicht vollständig vermaschten Netzen komplex im Zuge der Weiterleitung der Pakete vom Sender zum Empfänger den besten Weg zu ermitteln
- Beispiele:
  - Logische Topologie zwischen Routern
  - Ad-hoc-(Funk-)Netze



# Baum-Topologie

Bildquelle: Google Bildersuche

- Von einer Wurzel gehen eine oder mehrere Kanten aus
  - Jede Kante führt zu einem Blattknoten oder zu Wurzeln weiterer Bäume
- Mehrere Netze der Stern topologie sind hierarchisch verbunden
- Vorteile:
  - Ausfall eines Endgeräts (Blattknotens) hat keine Konsequenzen
  - Gute Erweiterbarkeit und große Entfernung realisierbar
  - Gute Eignung für Such- und Sortieralgorithmen
- Nachteile:
  - Fällt ein Knoten aus, ist der komplette davon ausgehende (Unter-)Baum nicht mehr erreichbar
  - Bei einem großen Baum kann die Wurzel zum Engpass werden, da die Kommunikation von der einen Baumhälfte in die andere Hälfte immer über die Wurzel geht



- Beispiel:
  - Verbindungen zwischen Hubs oder Switches via Uplink

# Zellen-Topologie

- Kommt bei drahtlosen Netzen zum Einsatz
- **Zelle:** Bereich, in dem Endgeräten mit der Basisstation kommunizieren können
- Vorteil: Keine Störung durch Ausfall von Endgeräten
- Nachteil: Begrenzte Reichweite der Basisstationen (abhängig von deren Anzahl und Positionen)

- Zu jedem Zeitpunkt kann nur ein Teilnehmer Daten senden. Ansonsten kommt es zu Kollisionen
  - Ein Medienzugriffsverfahren wie CSMA/CA ist nötig, um den Zugriff auf das Medium zu regeln (siehe Foliensatz 6)
- Beispiele:
  - Wireless LAN = WiFi (IEEE 802.11)
  - Global System for Mobile Communications (GSM)
  - Bluetooth-Hotspots als Funkzellen

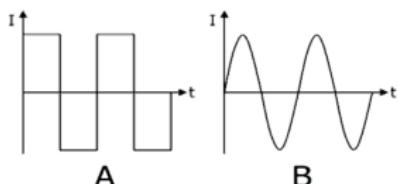
# Heutiger Stand

- Heute ist Ethernet (1-10 Gbit/s) mit Switches und damit die **Stern-Topologie** der Standard für Netzwerkverbindungen im LAN-Bereich
- Miteinander verbundene Hubs und Switches realisieren eine **Baum-Topologie**, wenn es keine Schleifen in der Verkabelung gibt
- Die **Zellen-Topologie** ist bei Funknetzen Standard
- Die **Maschen-Topologie** ist ein möglicher Anwendungsfall von Funknetzen und die logische Topologie zwischen Routern
- **Bus- und Ring-Topologien** spielen keine bedeutende Rolle mehr
  - 10BASE2 (Thin Ethernet) und 10BASE5 (Thick Ethernet) sind veraltet seit Mitte/Ende der 90er
  - Im Mai 2004 hat IBM seine Token-Ring-Produktpalette abgegeben

# Frequenz

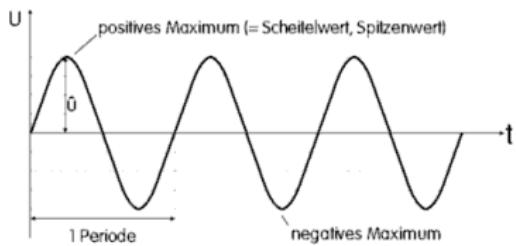
Bildquelle: <http://www.dj4uf.de>

- Die Elektrotechnik unterscheidet zwei Spannungsarten:
  - Gleichspannung:** Höhe und Polarität der Spannung sind immer gleich
  - Wechselspannung:** Höhe und Polarität ändern sich periodisch



- Abb. A: *Rechteckförmiger* theoretischer Wechselstrom
- Abb. B: *Sinusförmiger* Wechselstrom in der Praxis

- Periodendauer:** Zeit, die der periodische Spannungsverlauf benötigt
- Frequenz:** Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
- Je niedriger die Periodendauer, desto höher ist die Frequenz



$$\text{Frequenz [Hz]} = \frac{1}{\text{Periodendauer [s]}}$$

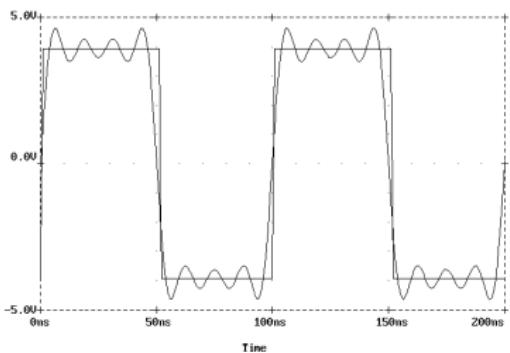
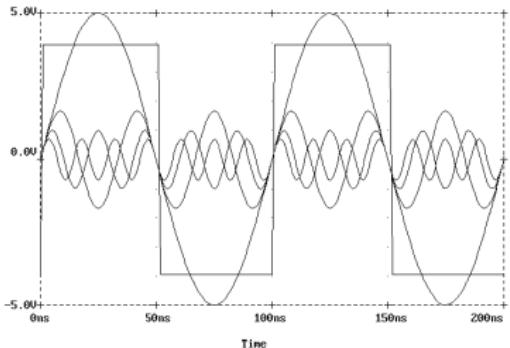
- Frequenzen gibt man in der Einheit Hertz (Hz) an
- 1 Hertz = 1 Schwingung pro Sekunde
- Beispiel: Wechselspannungsversorgung mit 50 Hz

# Datensignal

- Der Datenaustausch erfolgt durch den Austausch **binärer Daten**
  - Aber die Übertragungsmedien übertragen immer **analoge Signale**
- Die Signale unterliegen physikalischen Gesetzmäßigkeiten
  - Dazu gehört die **Dämpfung** (Signalabschwächung)
  - Durch die Dämpfung wird die Amplitude eines Signals mit zunehmender Wegstrecke auf allen Übertragungsmedien abschwächt
    - Hat die Amplitude eines Datensignals einen bestimmten Wert unterschritten, kann es nicht mehr eindeutig erkannt werden
  - Die Dämpfung begrenzt also die maximal überbrückbare Distanz bei allen Übertragungsmedien
  - Je **höher** die **Frequenz** ist, desto **höher** ist auch die **Dämpfung**

# Fourierreihe

Bildquelle: Jörg Rech. Ethernet. Heise



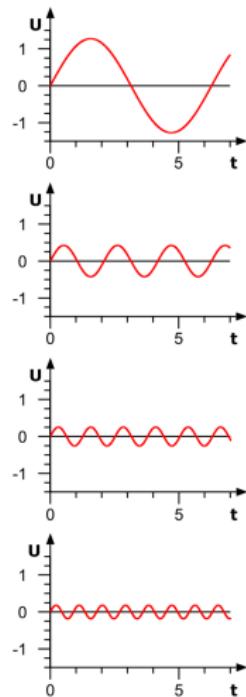
- Laut der **Fourierreihe** nach Jean Baptiste Joseph Fourier setzt sich ein Rechtecksignal – also auch ein Binärsignal – aus einer Überlagerung von harmonischen Schwingungen zusammen

- Ein Rechtecksignal besteht aus einer **Grundfrequenz** und aus Oberwellen
- Diese **Oberwellen** sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz und heißen **Harmonische**
  - Man spricht von Oberwellen der 3., 5., 7., usw. Ordnung
- Je mehr Harmonische berücksichtigt werden, umso näher kommt man einem idealen Rechtecksignal

# Fourierreihe und Bandbreite

Bildquelle: Wikipedia

- Um ein **Rechtecksignal eindeutig zu übertragen**, müssen über das Übertragungsmedium mindestens die **Grundfrequenz** und die **3. und 5. Oberwelle** fehlerfrei übertragen werden
  - Die 3. und 5. Oberwelle sind nötig, damit das Rechtecksignal noch seine rechteckige Form behält und nicht abgerundet aussieht (siehe nächste Folie)
  - In der Praxis werden die Oberwellen immer stärker gedämpft als die Grundfrequenz
- Die **Bandbreite** aus Sicht des Übertragungsmediums, ist der Bereich von Frequenzen, der über das Übertragungsmedium ohne Beeinflussung übertragen werden kann

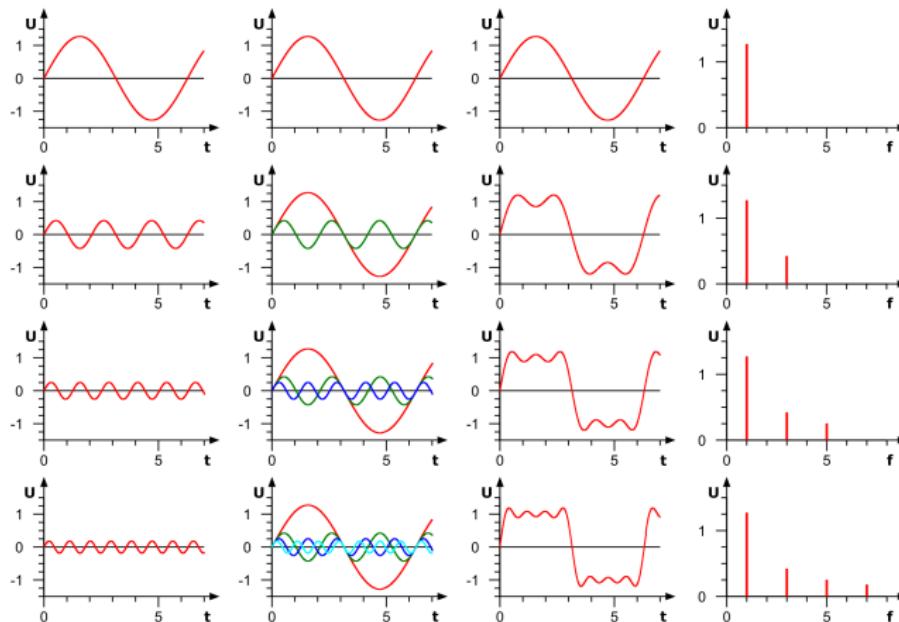


Wir wissen bereits...

Die Dämpfung des Datensignals steigt mit der Frequenz

# Fourier-Synthese einer Rechteckschwingung

Quelle: Wikipedia

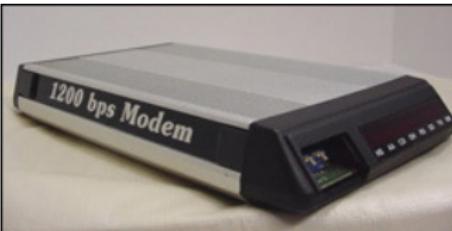


- Die Diagramme der ersten Spalte zeigen diejenige Schwingung, die in der jeweiligen Zeile hinzugefügt wird. Die Diagramme in der zweiten Spalte zeigen alle bisher berücksichtigten Schwingungen, die dann in den Diagrammen der dritten Spalte addiert werden, um dem zu erzeugenden Signal möglichst nahe zu kommen. Je mehr Harmonische (Vielfache der Grundfrequenz) berücksichtigt werden, umso näher kommt man einem idealen Rechtecksignal. Die vierte Spalte zeigt das Amplitudenspektrum normiert auf die Grundschwingung.

# Bitrate und Baudrate

Bildquelle: <http://maggiesfarm.anotherdotcom.com>

- **Bitrate:** Anzahl der übertragenen Nutzdaten in Bits pro Zeiteinheit
  - Typischerweise wird in Bit pro Sekunde (Bit/s) gemessen
- **Baudrate:** Anzahl der übertragenen Symbole pro Sekunde
  - Baud nennt man auch Schrittgeschwindigkeit oder Symbolrate
  - 1 Baud ist die Geschwindigkeit, wenn 1 Symbol pro Sekunde übertragen wird
  - Ursprünglich gab die Baudrate die Signalisierungsgeschwindigkeit beim Telegrafен an, also die Anzahl der Morsezeichen pro Sekunde
- Das Verhältnis zwischen Bitrate und Baudrate hängt vom verwendeten **Leitungscode** ab



## Leitungscode...

- Der Leitungscode legt in Computernetzen fest, wie Signale auf dem verwendeten Übertragungsmedium übertragen werden
- Den Leitungscode einer Netzwerktechnologie legt das verwendete Protokoll der Bitübertragungsschicht fest
- Weitere Informationen zum Thema Leitungscode enthält Foliensatz 3

# Bandbreite und Latenz (1/2)

- Entscheidend für die Leistungsfähigkeit eines Computernetzes:
  - **Bandbreite (Durchsatz)**
  - **Latenz (Verzögerung)**
- Die **Bandbreite** gibt an, wie viele Bits innerhalb eines Zeitraums über das Netzwerk übertragen werden können
  - Bei einem Netzwerk mit einer Bandbreite bzw. Durchsatzrate von 1 Mbit/s können eine Millionen Bits pro Sekunde übertragen werden
    - Ein Bit ist somit eine millionstel Sekunde, also  $1 \mu\text{s}$  breit
    - Verdoppelt sich die Bandbreite, verdoppelt sich die Bits, die pro Sekunde übertragen werden können

## Bandbreite und Latenz (2/2)

- Die **Latenz** eines Netzwerks ist die Zeit, die nötig ist, bis eine Nachricht von einem Ende des Netzwerks zum anderen Ende gelangt ist

$$\text{Latenz} = \text{Ausbreitungsverzögerung} + \text{Übertragungsverzögerung} + \text{Wartezeit}$$

$$\text{Ausbreitungsverzögerung} = \frac{\text{Entfernung}}{\text{Lichtgeschwindigkeit} * \text{Ausbreitungsfaktor}}$$

- Entfernung: Länge der Netzwerkverbindung
- Lichtgeschwindigkeit: 299.792.458 m/s
- Ausbreitungsfaktor (Verkürzungsfaktor): Vakuum = 1, TP-Kabel = 0,6, Glasfaser = 0,67, Koaxialkabel = 0,77

$$\text{Übertragungsverzögerung} = \frac{\text{Nachrichtengröße}}{\text{Bandbreite}}$$

Übertragungsverzögerung = 0, wenn die Nachricht nur aus einem einzigen Bit besteht

- Wartezeiten gegeben sich durch Netzwerkgeräte (z.B. Switches)
  - Diese müssen empfangene Daten vor dem Weiterleiten zwischenspeichern

Wartezeit = 0, wenn es sich bei der Netzwerkverbindung zwischen Sender und Empfänger um eine Direktverbindung handelt

Quelle: Larry L. Peterson, Bruce S. Davie. Computernetzwerke. dpunkt (2008)

# Bandbreite-Verzögerung-Produkt

- Berechnet das **Volumen einer Netzwerkverbindung**
  - Signale bewegen sich auf Übertragungsmedien nicht unendlich schnell
    - Die Ausbreitungsgeschwindigkeit wird in jedem Fall von der Lichtgeschwindigkeit begrenzt und hängt vom Ausbreitungsfaktor (Verkürzungsfaktor) des Übertragungsmediums ab
  - Das Produkt aus Bandbreite und Verzögerung (Latenz) entspricht der maximalen Anzahl Bits, die sich zwischen Sender und Empfänger in der Leitung befinden können
- Beispiel: Ein Netzwerk mit 100 Mbit/s Bandbreite und 10 ms Latenz

$$100.000.000 \text{ Bits/s} \times 0,01 \text{ s} = 1.000.000 \text{ Bits}$$

- Es befinden sich maximal 1.000.000 Bits auf der Netzwerkverbindung
  - Das entspricht 125.000 Bytes (ca. 123 kB)

# Protokolle

- Ein **Protokoll** ist die Menge aller vorab getroffenen **Vereinbarungen** zwischen Kommunikationspartnern
  - Zu den Vereinbarungen gehören:
    - Regeln zum Aufbau und Abbau von Verbindungen
    - Art und Weise der Synchronisation von Sender und Empfänger
    - Maßnahmen zur Erkennung und Behandlung von Übertragungsfehlern
    - Definition gültiger Nachrichten (Vokabular)
    - Format und Kodierung von Nachrichten
- Protokolle definieren...
  - die **Syntax** (= Format gültiger Nachrichten)
  - die **Semantik** (= Vokabular und Bedeutung gültiger Nachrichten)

# Schichtenmodelle

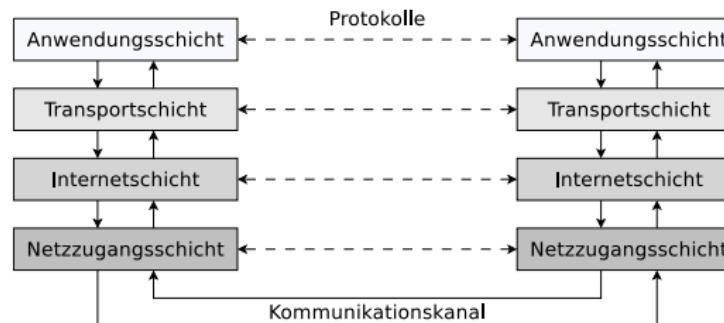
- Kommunikation in Computernetzen ist in **Schichtenmodelle** unterteilt
- Jede **Schicht (Layer)** behandelt einen bestimmten Aspekt der Kommunikation und bietet **Schnittstellen** zur darüberliegenden und darunterliegenden Schicht
- Jede Schnittstelle besteht aus einer Menge von **Operationen**, die zusammen einen **Dienst** definieren
- In den Schichten werden die Daten gekapselt (⇒ **Datenkapselung**)
- Weil jede Schicht in sich abgeschlossen ist, können einzelne Protokolle verändert oder ersetzt werden, ohne alle Aspekte der Kommunikation zu beeinflussen
- Die bekanntesten Schichtenmodelle sind...
  - das **TCP/IP-Referenzmodell**,
  - das **OSI-Referenzmodell**
  - und das **hybride Referenzmodell**

# TCP/IP-Referenzmodell bzw. DoD-Schichtenmodell

- Wurde ab 1970 vom Department of Defense (DoD) im Rahmen des Arpanet entwickelt
- Die Aufgaben der Kommunikation wurden in 4 aufeinander aufbauende Schichten unterteilt
- Für jede Schicht ist festgelegt, was sie zu leisten hat
- Diese Anforderungen müssen Kommunikationsprotokolle realisieren
  - Konkrete Umsetzung wird nicht vorgegeben und kann unterschiedlich sein
  - Daher existieren für jede der 4 Schichten zahlreiche Protokolle

Nummer	Schicht	Protokolle (Beispiele)
4	Anwendungsschicht	HTTP, FTP, SMTP, POP3, DNS, SSH, Telnet
3	Transportschicht	TCP, UDP
2	Internetschicht	IP (IPv4, IPv6), ICMP, IPsec, IPX
1	Netzzugangsschicht	Ethernet, WLAN, ATM, FDDI, PPP, Token Ring

# TCP/IP-Referenzmodell – Nachrichtenaufbau

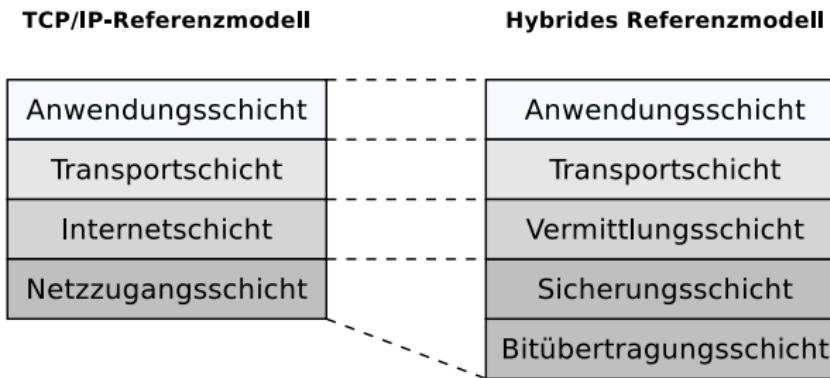


- Jede Schicht fügt einer Nachricht zusätzliche Informationen als **Header** hinzu
  - Einige Protokolle (z.B. Ethernet) fügen in der Netzzugangsschicht nicht nur einen Header, sondern auch einen **Trailer** am Ende der Nachricht an
  - Header (und Trailer) wertet der Empfänger auf gleicher Schicht aus



# Hybrides Referenzmodell

- Das TCP/IP-Referenzmodell wird in der Literatur häufig (u.a. bei Andrew S. Tanenbaum) als fünfschichtiges Modell dargestellt
  - Grund: Es ist sinnvoll, die **Netzzugangsschicht** in 2 Schichten aufzuteilen, weil diese völlig unterschiedliche Aufgabenbereiche haben
- Dieses Modell ist eine Erweiterung des TCP/IP-Modells und heißt **hybrides Referenzmodell**



Die Aufgaben der einzelnen Schichten werden anhand des hybriden Referenzmodells diskutiert

# Bitübertragungsschicht – Physical Layer (siehe Foliensätze 2+3)

- Überträgt die Einsen und Nullen
  - **Physischer Anschluss** an das Netz
  - **Umsetzung (Kodierung) der Daten in Signale**
- Protokoll und Übertragungsmedium bestimmen u.a.:
  - Wie viele Bits können pro Sek. gesendet werden?
  - Kann die Übertragung in beide Richtungen gleichzeitig stattfinden?
- Geräte: **Repeater, Hub** (Multiport Repeater)

## Hybrides Referenzmodell

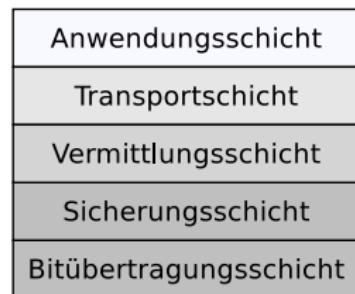


# Sicherungsschicht – Data Link Layer

(siehe Foliensätze 4+5+6)

- Ermöglicht fehlerfreien Austausch von **Rahmen** zwischen Netzwerkgeräten in physischen Netzen
  - Erkennt Übertragungsfehler mit **Prüfsummen**
  - Regelt den Zugriff auf das Übertragungsmedium (z.B. via CSMA/CD oder CSMA/CA)
- Definiert **physische Adressen (MAC-Adressen)**
- Beim Sender: Verpackt die Pakete der Vermittlungsschicht in Rahmen (*Frames*) und überträgt sie mit der gewünschten Zuverlässigkeit innerhalb eines physischen Netzes von einem Gerät zum anderen
- Beim Empfänger: Erkennt die Rahmen im Bitstrom der Bitübertragungsschicht
- Geräte: **Bridges, Layer-2-Switches** (Multiport-Bridges) und **Modems** verbinden physische Netze

## Hybrides Referenzmodell

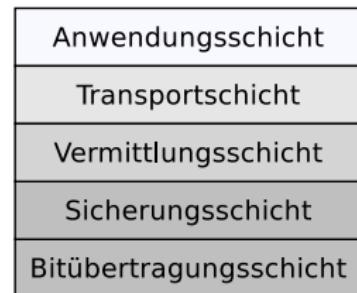


# Vermittlungsschicht – Network Layer

(siehe Foliensätze 7+8)

- Vermittelt (*routet*) **Pakete** zwischen logischen Netzen (über physische Netze)
  - Für dieses *Internetworking* definiert die Vermittlungsschicht **logische Adressen (IPs)**
  - Jedes Paket wird unabhängig ans Ziel vermittelt (*geroutet*) und der Pfad nicht aufgezeichnet
- Beim Sender: Verpackt die Segmente der Transportschicht in Pakete
- Beim Empfänger: Entpackt die Pakete aus den Rahmen der Sicherungsschicht
- **Router und Layer-3-Switches** verbinden logische Netze
- Meist wird das verbindungslose Internet Protocol (IP) verwendet
  - Andere Protokolle (z.B. IPX) wurden von IP verdrängt

## Hybrides Referenzmodell

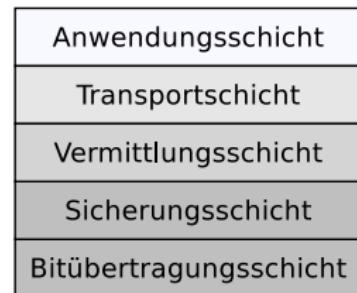


# Transportschicht – Transport Layer

(siehe Foliensatz 9)

- Transportiert **Segmente** zwischen Prozessen auf unterschiedlichen Geräten über sog. Ende-zu-Ende-Protokolle
- Beim Sender: Verpackt die Daten der Anwendungsschicht in Segmente
- Beim Empfänger: Entpackt die Segmente in den Paketen der Vermittlungsschicht
- Adressiert Prozesse mit **Portnummern**
  - Sicherungsschicht und Vermittlungsschicht adressieren Netzwerkgeräte physisch und logisch
- Verschiedene Protokolle bieten verschiedene Kommunikationsformen
  - UDP (User Datagram Protocol): Verbindungslose Kommunikation
  - TCP (Transport Control Protocol): Verbindungsorientierte Komm.
    - Kombination TCP/IP = de-facto Standard für Computernetze

## Hybrides Referenzmodell



# Unterschiedliche Kommunikationsformen

## • Verbindungslose Kommunikation

- Funktioniert analog zum Briefkasten
- Sender verschiickt Nachrichten, ohne zuvor eine Verbindung aufzubauen
- Nachteil: Keine Kontrolle, das ein Segment ankommt
  - Ist Kontrolle gewünscht, muss sie in der Anwendungsschicht erfolgen
- Vorteil: Höherer Datendurchsatz, da weniger Overhead anfällt

## • Verbindungsorientierte Kommunikation

- Funktioniert analog zum Telefon
- Vor dem Datenaustausch wird zwischen Sender und Empfänger eine Verbindung aufgebaut
  - Sie bleibt auch bestehen, wenn keine Daten übertragen werden
- Sobald alle Daten ausgetauscht wurden, wird einer der Kommunikationspartner die Verbindung abbauen
- Ermöglicht Datenflusskontrolle und Überlastkontrolle
  - Sichert die verlustfreie Lieferung der Segmente in korrekter Reihenfolge  
⇒ Es gibt somit eine Zustellungsgarantie

# Anwendungsschicht – Application Layer

(siehe Foliensatz 10)

- Enthält alle Protokolle, die mit Anwendungsprogrammen (z.B. Browser oder Email-Programm) zusammenarbeiten
- Hier befinden sich die eigentlichen Nachrichten (z.B. HTML-Seiten oder Emails), formatiert entsprechend dem jeweiligen Anwendungsprotokoll
- Beispiele für Anwendungsprotokolle: HTTP, FTP, SMTP, POP3, DNS, SSH, Telnet

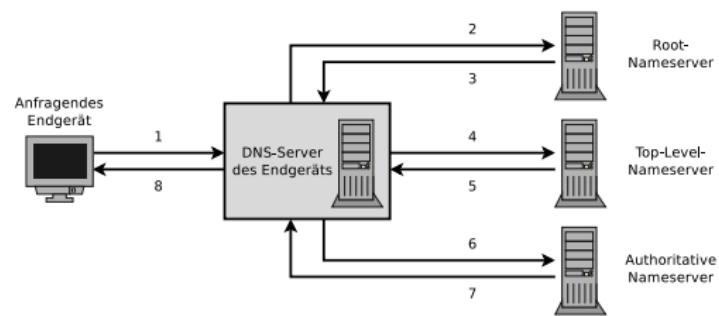
## Hybrides Referenzmodell



wikipedia.org (CC0)



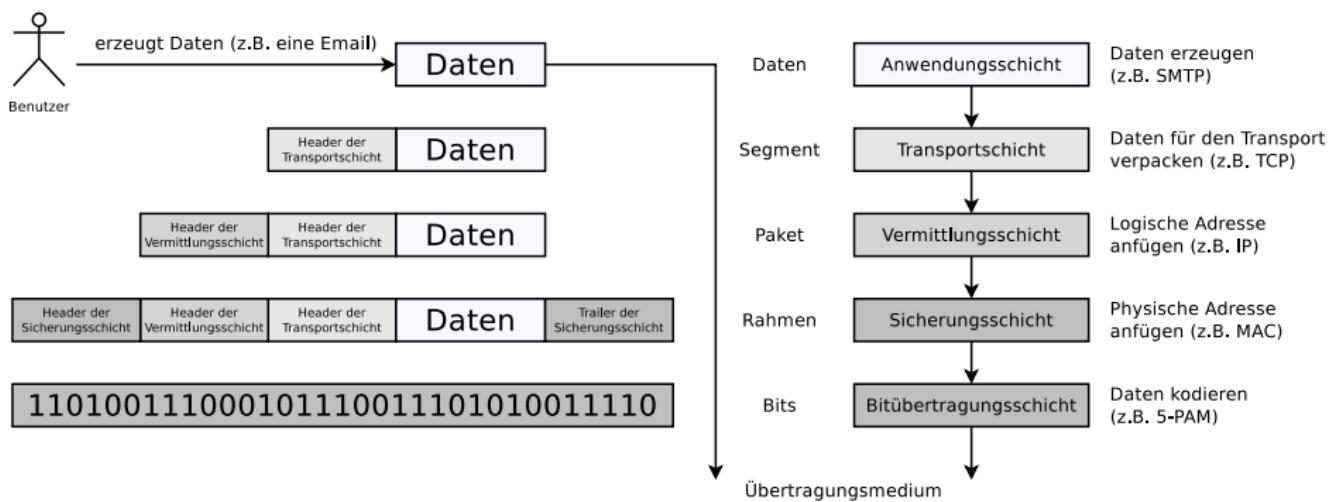
pixabay.com (CC0)



# Ablauf der Kommunikation (1/2)

## • Vertikale Kommunikation

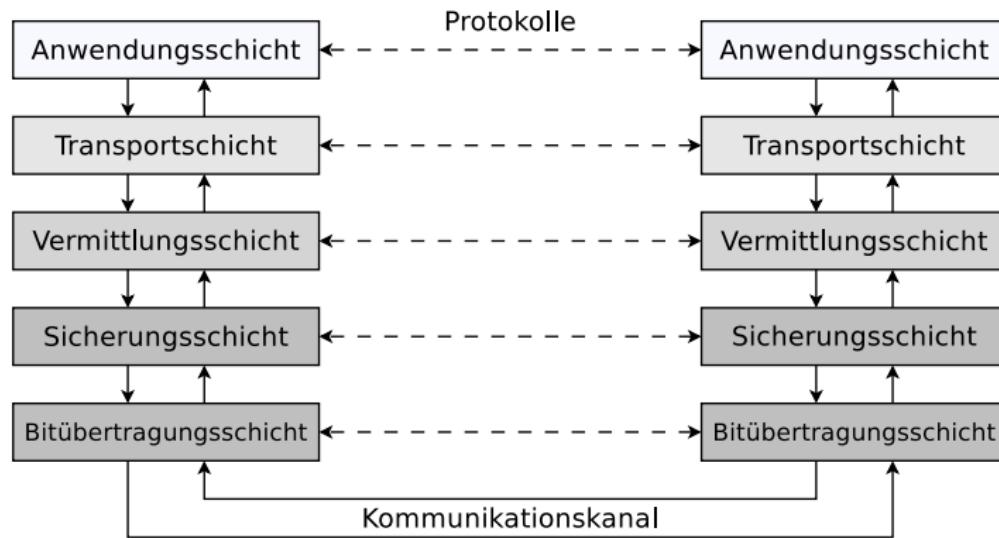
- Nachrichten werden von oben nach unten Schicht für Schicht verpackt und beim Empfänger in umgekehrter Schichtreihenfolge wieder entpackt
- **Data Encapsulation** (Datenkapselung) und **De-encapsulation**



# Ablauf der Kommunikation (2/2)

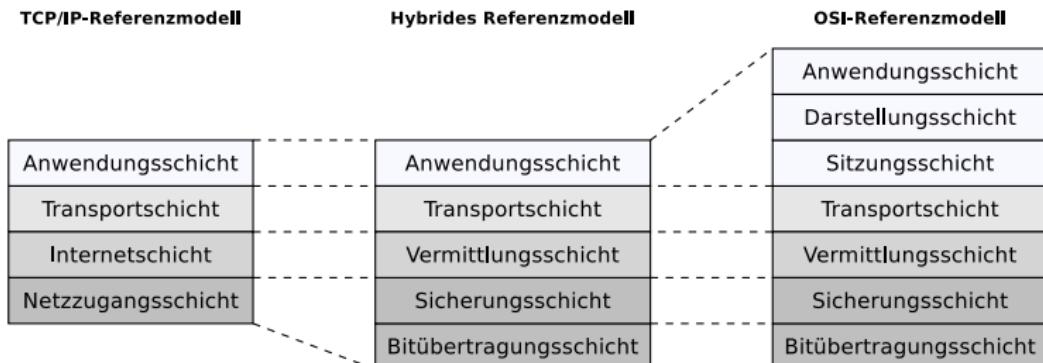
## • Horizontale Kommunikation

- Auf den gleichen Schichten von Sender und Empfänger werden jeweils die gleichen Protokollfunktionen verwendet



# OSI-Referenzmodell

- Einige Jahre nach dem TCP/IP-Referenzmodell (1970er Jahre) wurde das OSI-Referenzmodell ab 1979 entwickelt
  - 1983: Standardisiert von der Intern. Organisation für Normung (ISO)
  - OSI = Open Systems Interconnection
- Der Aufbau ist dem TCP/IP-Referenzmodell ähnlich
  - Das OSI-Modell verwendet aber 7 Schichten
- Im Gegensatz zum hybriden Referenzmodell sind die Aufgaben der Anwendungsschicht beim OSI-Referenzmodell auf 3 Schichten aufgeteilt



# Sitzungsschicht – Session Layer

- **Kontrolliert die Dialoge** (Verbindungen) zwischen Prozessen
  - Legt fest, welcher Teilnehmer als nächstes senden darf
- Ermöglicht Kontrollpunkte, die in längeren Datenübertragungen zur **Synchronisierung** eingebaut werden können
  - Beim Verbindungsabbruch kann zum letzten Kontrollpunkt zurückgekehrt werden und die Übertragung muss nicht von vorne beginnen
- Beispiele für Protokolle mit den geforderten Fähigkeiten: **Telnet** zur Fernsteuerung von Rechnern und **FTP** zur Übertragung von Dateien
  - Diese können aber auch der Anwendungsschicht zugeordnet werden
    - Die Anwendungsschicht enthält die Protokolle, die die Anwendungsprogramme verwenden
  - FTP und Telnet werden direkt von den Anwendungsprogrammen verwendet und nicht von abstrakteren Protokollen in höheren Ebenen
    - Darum ist es sinnvoller die Protokolle der Sitzungsschicht der Anwendungsschicht zuzuordnen

Die Sitzungsschicht wird in der Praxis kaum benutzt, da alle dieser Schicht zugedachten Aufgaben heute Anwendungsprotokolle erfüllen

# Darstellungsschicht – Presentation Layer

- Enthält Regeln zur **Formatierung (Präsentation)** der Nachrichten
  - Der Sender kann den Empfänger informieren, dass eine Nachricht in einem bestimmten **Format** (z.B. ASCII) vorliegt, um die eventuell nötige Konvertierung beim Empfänger zu ermöglichen
  - Datensätze können hier mit Feldern (z.B. Name, Matrikelnummer...) definiert werden
  - **Art und Länge der Datentypen** können definiert werden
  - Auch **Kompression und Verschlüsselung** sind der Darstellungsschicht zugesetzte Aufgabenbereiche

Die Darstellungsschicht wird in der Praxis kaum benutzt, da alle dieser Schicht zugesetzten Aufgaben heute Anwendungsprotokolle erfüllen

# Fazit zu den Referenzmodellen

- Fazit: Das hybride Referenzmodell bildet die Funktionsweise von Computernetzen realistisch ab
  - Es unterscheidet die Bitübertragungsschicht und Sicherungsschicht
    - Das ist sinnvoll, weil die Aufgabenbereiche so unterschiedlich sind
  - Es unterteilt die Anwendungsschicht nicht
    - Das wäre auch nicht sinnvoll, weil es in der Praxis nicht stattfindet
    - Funktionalitäten, die für Sitzungs- und Darstellungsschicht vorgesehen sind, erbringen heute die Protokolle und Dienste der Anwendungsschicht
- Es kombiniert die Vorteile des TCP/IP-Referenzmodells und des OSI-Referenzmodells, ohne deren jeweilige Nachteile zu übernehmen

