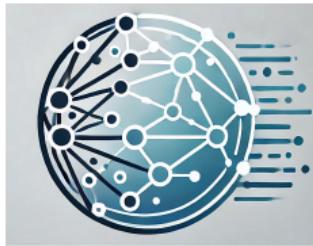

Netze

Modul 2: Übertragungsmedien und Verkabelung

▪ Prof. Dr. Michael Rademacher



8. April 2025

Semesterplanung — Vorlesungen

Modul	Dozent	Datum	Thema
1	Rademacher	2. Oktober 2025	Einführung, OSI-Referenzmodell und Topologien
2	Rademacher	9. Oktober 2025	Übertragungsmedien und Verkabelung
3	Rademacher	16. Oktober 2025	Ethernet und WLAN
4	Tschofenig	23. Oktober 2025	IPv4, Subnetze, ARP, ICMP
5	Tschofenig	30. Oktober 2025	IPv6 und Autokonfiguration
6	Tschofenig	6. November 2025	Netzwerksegmentierung
7	Tschofenig	13. November 2025	Routing
8	Rademacher	20. November 2025	Transportschicht und UDP
9	Rademacher	27. November 2025	TCP
10	Rademacher	4. Dezember 2025	DNS und HTTP 1
11	Tschofenig	11. Dezember 2025	HTTP 2 und QUIC
12	Tschofenig	18. Dezember 2025	TLS und VPN
/	/	8. Januar 2026	Bei Bedarf / TBA
13	Tschofenig	15. Januar 2026	Messaging
14	Rademacher	22. Januar 2026	Moderne Netzstrukturen

Semesterplanung — Übungen und Praktika

ID	KW	Art	Thema
	40	/	/
UE-1	41	Übung	Topologien und OSI
UE-2	42	Übung	Übertragungen bspw. Kabel
P-1	43	Praktikum	Laboreinführung, Netzwerktools und Adressierung
S-1	44	Video	IPv4
P-2a	45	Praktikum	Praktikum IPv4 und Autokonfiguration
P-2b	46	Praktikum	Praktikum IPv6 und Autokonfiguration
P-2c	47	Praktikum	IPv4 und IPv6 Diskussion
P-3	48	Praktikum	Routing
P-4	49	Praktikum	VLANs
P-5	50	Praktikum	Transportprotokolle
S-2	51	Experiment	VPN
S-2	52	Experiment	VPN
	2	/	/
P-6	3	Praktikum	DNS
P-7	4	Praktikum	Webkommunikation

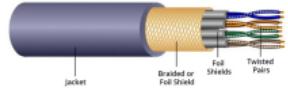
UE - Übung laut Stundenplan in den Seminarräumen

P - Praktikum in C055

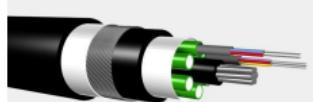
S - Selbststudium KEINE Präsenz

Wo sind wir?

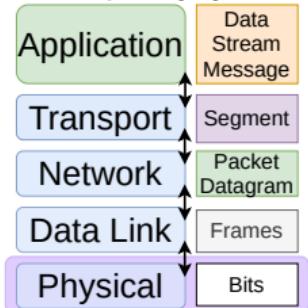
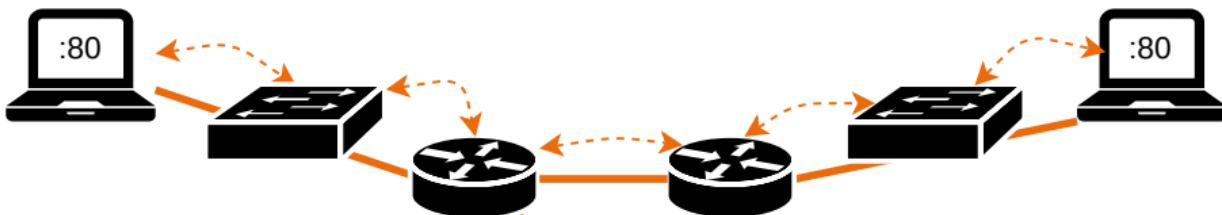
- Physical Layer/ Bitübertragungsschicht
- **Physikalische Übertragung der Daten**
- Umwandlung der Bits in
 - elektrische Signale (Kabel)
 - optische Signale (Glasfaser)
 - elektromagnetische Signale (Funk)
 - Schallwellen (Akustik)



Quelle: [3]



Quelle: [16]



Modul 2: Übertragungsmedien und Verkabelung

Signale

Kanalkapazität

Modulation

Codierung

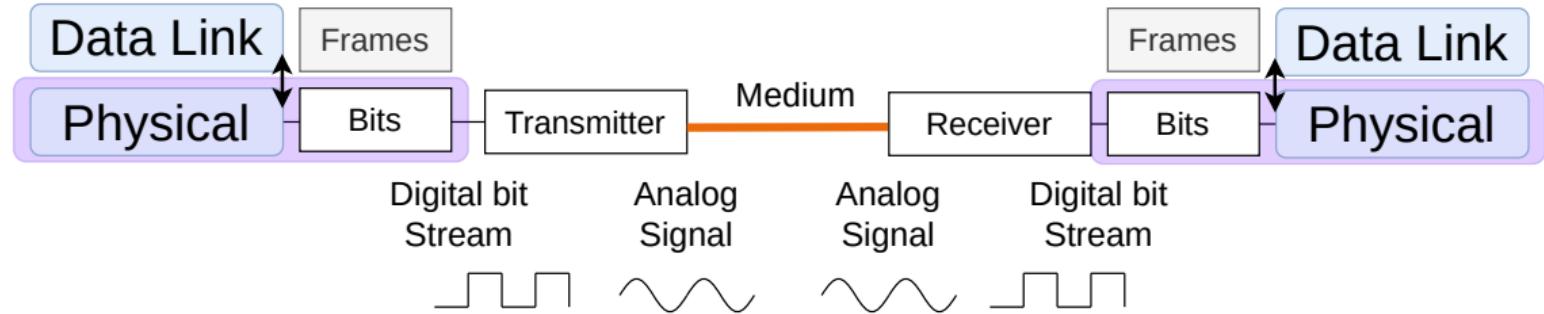
Link Kapazitäten

Kabel

Drahtlos

Quellen

Signale



- Auf der Bitübertragungsschicht werden Daten gesendet, indem ein Signal erzeugt und dieses Signal über ein Medium übertragen wird.

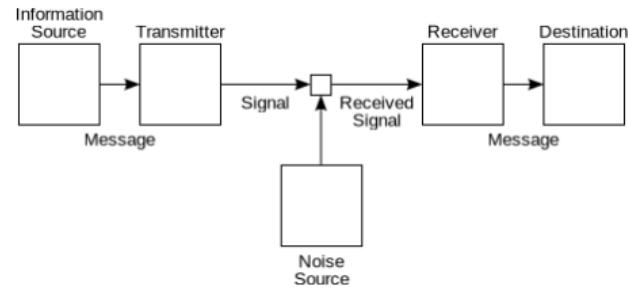
Signal

Ein Signal ist ein physikalisches Phänomen mit welchem sich verschiedene Zustände (bspw. 0 oder 1) darstellen lassen.

- Claude Elwood Shannon (1916-2001)
- 1948 veröffentlichte er seine **bahnbrechende** Arbeit "**A Mathematical Theory of Communication**" [9]
- In Shannons Arbeit [9] wurden die Grundelemente der heutigen Kommunikationstechnik beschrieben [15]:
 - Eine Informationsquelle, die eine Nachricht erzeugt
 - Ein Sender, der ein Signal zu erzeugt
 - Ein Kanal (das Medium) über welchen das Signal gesendet wird
 - Ein Empfänger, der das Signal umwandelt
 - Ein Informationsziel, für welche die Nachricht bestimmt ist
- Das "bit" wurde formell geprägt



Claude Shannon (um 1963) [10]



Quelle: [9]

Herausforderungen für die physikalische Übertragung

Ein empfangenes Signal unterscheidet sich von einem gesendeten Signal.

Die signifikantesten Unterschiede werden verursacht durch:

Dämpfung (engl. Attenuation)

Das Signal verliert an **Intensität** auf dem Weg vom Sender zum Empfänger.

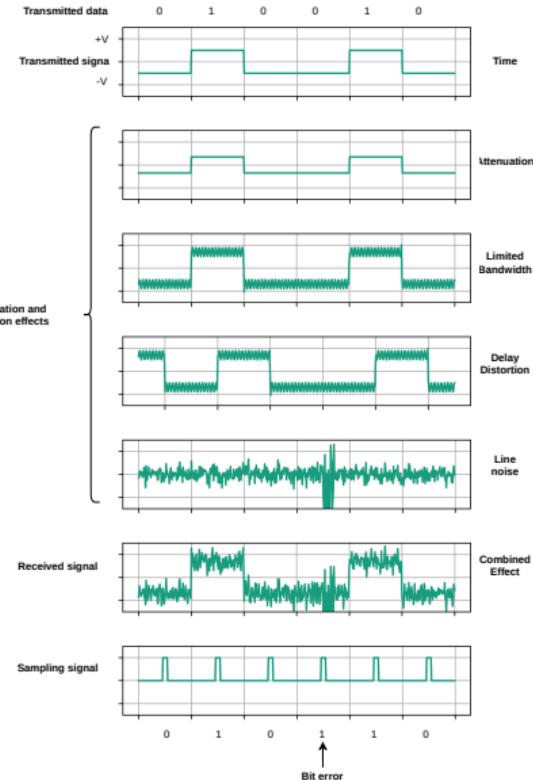
Verzerrung (engl. Distortion)

Das Signal wird auf dem Weg vom Sender zum Empfänger **deformiert**.

(Rauschen) (engl. Noise)

Das empfangene Signal enthält **Komponenten**, die nicht vom Sender übertragen wurden.

Bild basiert auf [5]



Dämpfung und Dezibel

- dB ist ein logarithmisches Verhältnis von bspw. Leistungen

$$\frac{P_1}{P_2}[\text{dB}] = 10 \log_{10}\left(\frac{P_1[W]}{P_2[W]}\right)$$

- oder von Spannungen

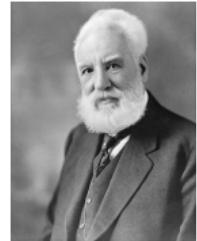
$$\frac{U_1}{U_2}[\text{dB}] = 20 \log_{10}\left(\frac{U_1[V]}{U_2[V]}\right)$$

Beispiel für die Dämpfung (=Leistungsverlust) einer Leitung:

$$a = 10 \log_{10}\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) = 20 * \log_{10}\left(\frac{U_{in}}{U_{out}}\right)$$

a = Dämpfung (eng. attenuation).

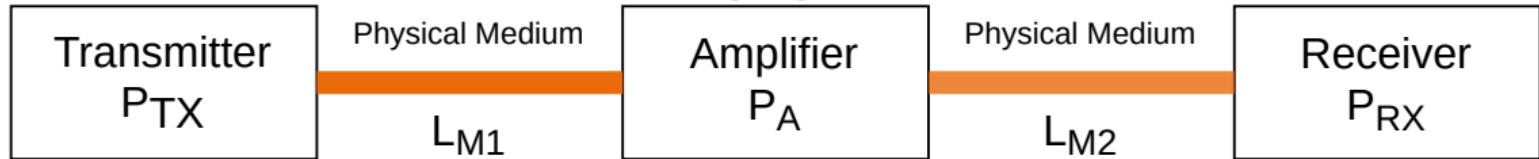
Typischerweise angegeben in dB/100m oder dB/km.



Alexander Bell [14]

Dämpfung: Verlust/Gewinn in kaskadierten Übertragungspfaden

Die Beschreibung der Signalstärke in dB ermöglicht eine einfache Berechnung entlang eines Übertragungspfades.



$$P_{RX} = P_{TX} - L_{M1} + P_A - L_{M2}$$

Beispiel:

- $P_{TX} = 100 \text{ mW}$
- $L_{M1} = 40 \text{ dB}$
- $L_{M2} = 30 \text{ dB}$
- $P_A = 10 \text{ dB}$

$$P_{RX} = 20 \text{ dBm} - 40 \text{ dB} + 10 \text{ dB} - 30 \text{ dB}$$

$$P_{RX} = -40 \text{ dB}$$

$$P_{RX} = 0.0001 \text{ mW}$$

Dämpfung

Dämpfung ist ein Problem. Signalübertragung braucht Signalstärke am Empfänger!

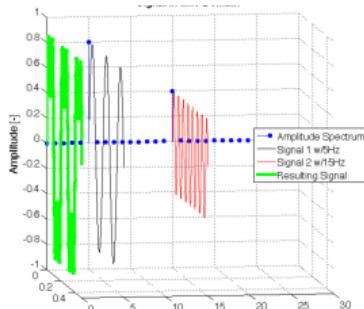
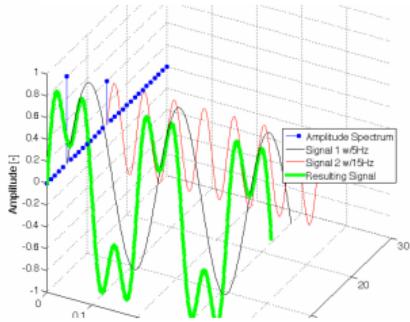
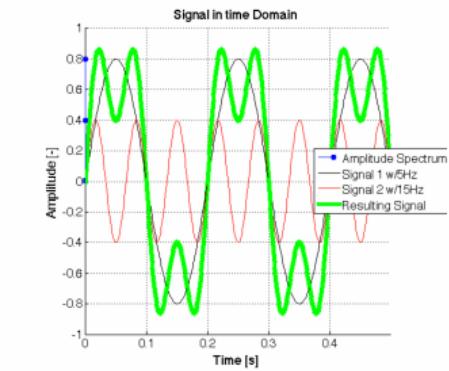
„Kannst du bitte lauter sprechen, das habe ich nicht verstanden.“

Ist Signalstärke der einzige wichtige Parameter?

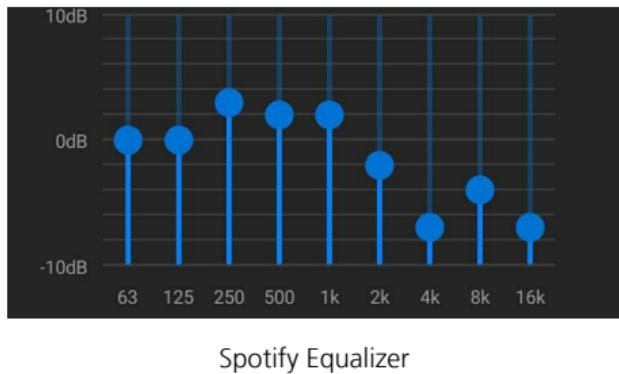


[1]

Zeitbereich zu Frequenzbereich (Bildbereich) Fourier-Transformation



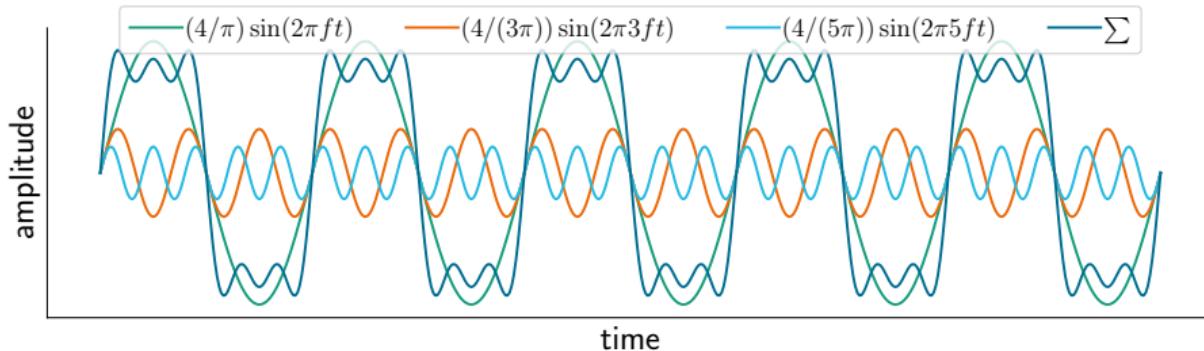
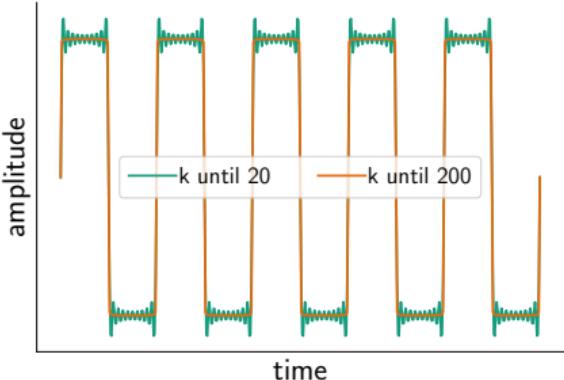
- **Intuitiv:** Ein Signal ist eine Funktion von Amplitude und Zeit.
- **Wichtig:** Ein Signal ist auch eine Funktion von Amplitude und Frequenz.
- Umrechnung durch Fourier-Transformation



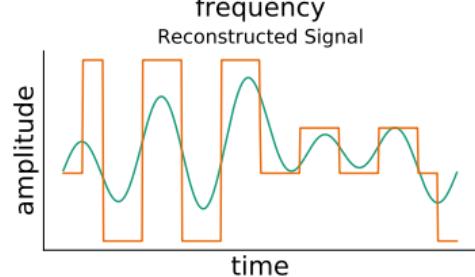
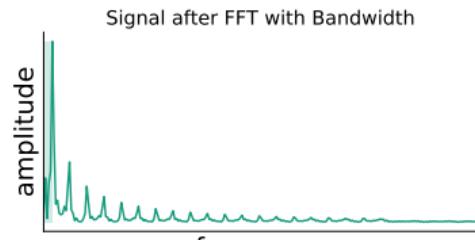
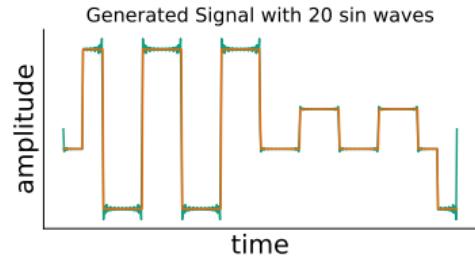
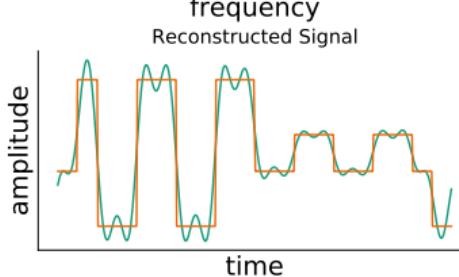
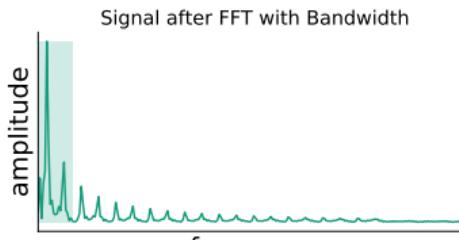
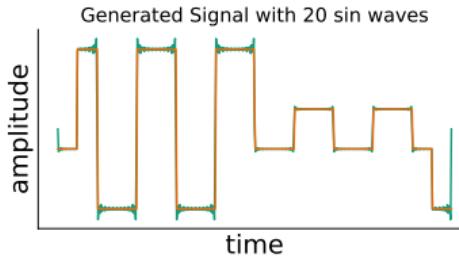
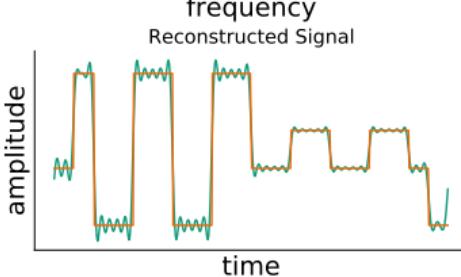
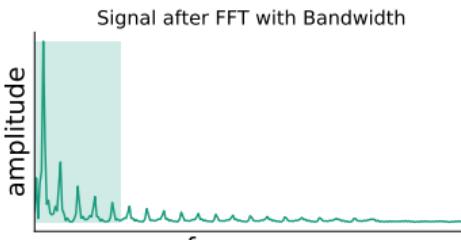
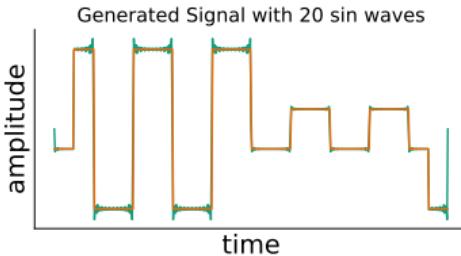
Grundlagen von Zeitbereich und Frequenzbereich

- Eine (periodische) Funktion kann als Summe von gewichteten Sinus- und Kosinus-Funktionen beschrieben werden [2].
- Um bits zu übertragen wäre eine Rechteck-Funktion sehr hilfreich.

$$s(t) = A * \frac{4}{\pi} * \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi k f t)}{k} |k \text{ is odd}$$



Signalübertragung braucht Bandbreite!



Wenn die Bandbreite fehlt, kann ein Signal nicht ausreichend rekonstruiert werden.



Gliederung

Modul 2: Übertragungsmedien und Verkabelung

Signale

Kanalkapazität

Modulation

Codierung

Link Kapazitäten

Kabel

Drahtlos

Quellen

Kanalkapazität — Bandbreite, Rauschen und Signalstärke

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S_P}{N_0 * B} \right)$$

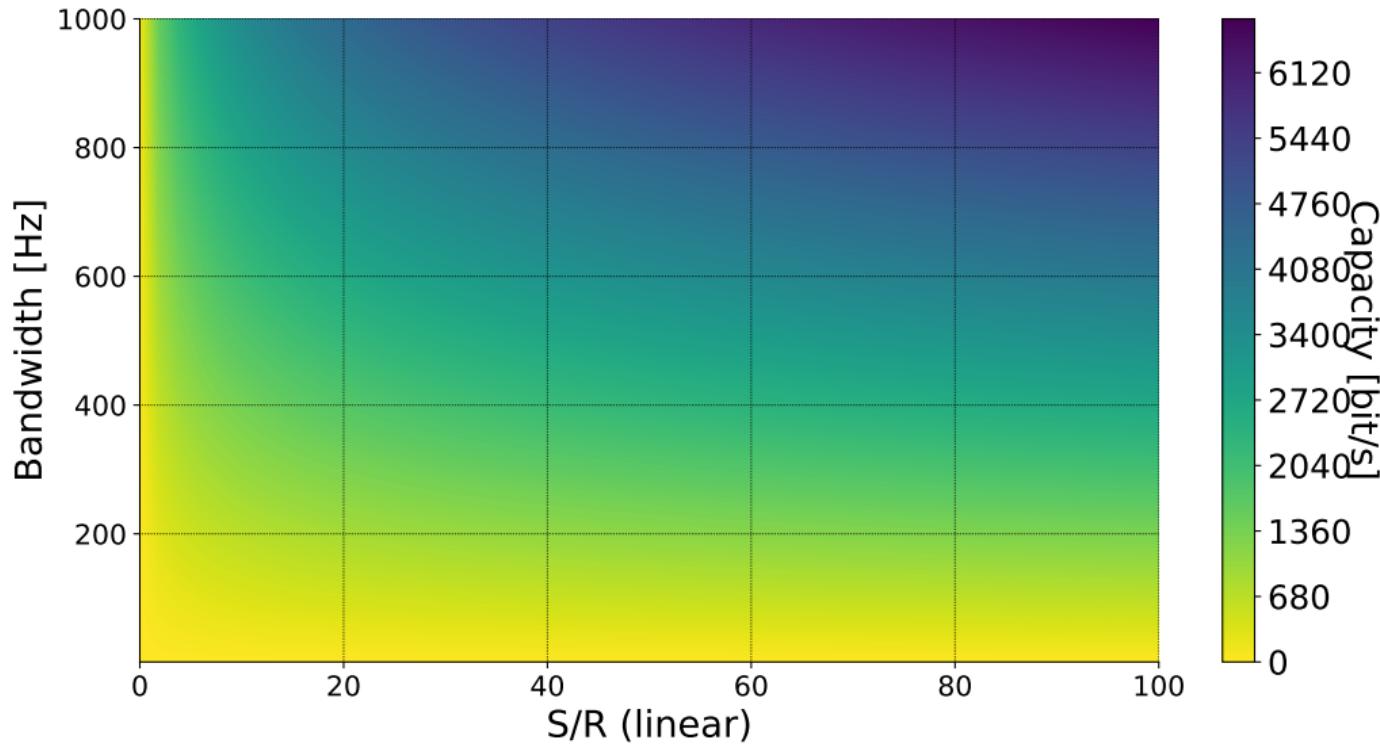
oder

$$C = B \log_2 (1 + S/R)$$

- C : Kapazität [bits/s]
- B : Bandbreite [Hz]
- N_0 : Rauschen [W/Hz]
- S_P : Signal Stärke [W]
- $\frac{S_P}{N_0 * B}$: S/R, ausgedrückt als lineares Leistungsverhältnis, nicht als logarithmische Dezibel

- Eine Erhöhung des **S/R**, erhöht die Kanalkapazität
- Eine Erhöhung der Bandbreite, erhöht die Kanalkapazität
- Je nachdem, ob B oder S_P wichtiger/teurer ist, können wir das eine erhöhen und das andere verringern, und dennoch die gleiche Kapazität beibehalten
- **Jedoch, es existieren Grenzen**

Kanalkapazität — zwei wichtige Dimensionen

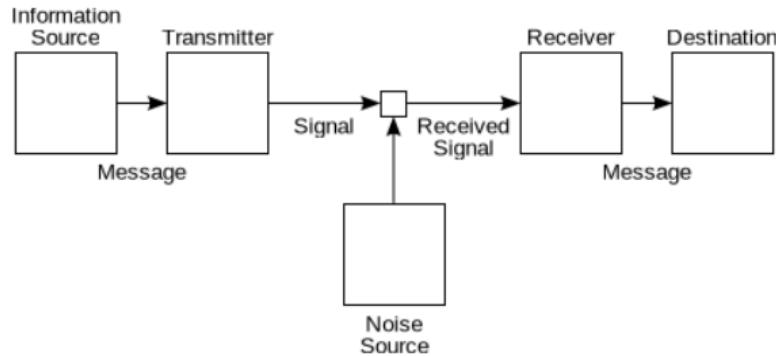


Abgrenzung und Beispiele

- Die von Shannon beschrieben Kanalkapazität funktioniert für eine bestimmte Art von Kanälen.
 - Sogenannte **additive white Gaussian noise (AWGN)-Kanäle.**
- Ein AWGN-Kanal ist ein idealisiertes Modell. Es können und werden weitere Parameter einen Einfluss haben.
- Manchmal funktioniert das AWGN-Kanal-Modell nur sehr begrenzt (bspw. bei Glasfasern).

WLAN (IEEE 802.11a)

- Bandbreite: 16.56 MHz
- Typischer S/R = 100
- $C \approx 110 \text{ MBit s}^{-1}$
- Wird in der Realität niemals erreicht!



Quelle: [9]

Modul 2: Übertragungsmedien und Verkabelung

Signale

Kanalkapazität

Modulation

Codierung

Link Kapazitäten

Kabel

Drahtlos

Quellen

Grundlagen einer Modulation

Modulation

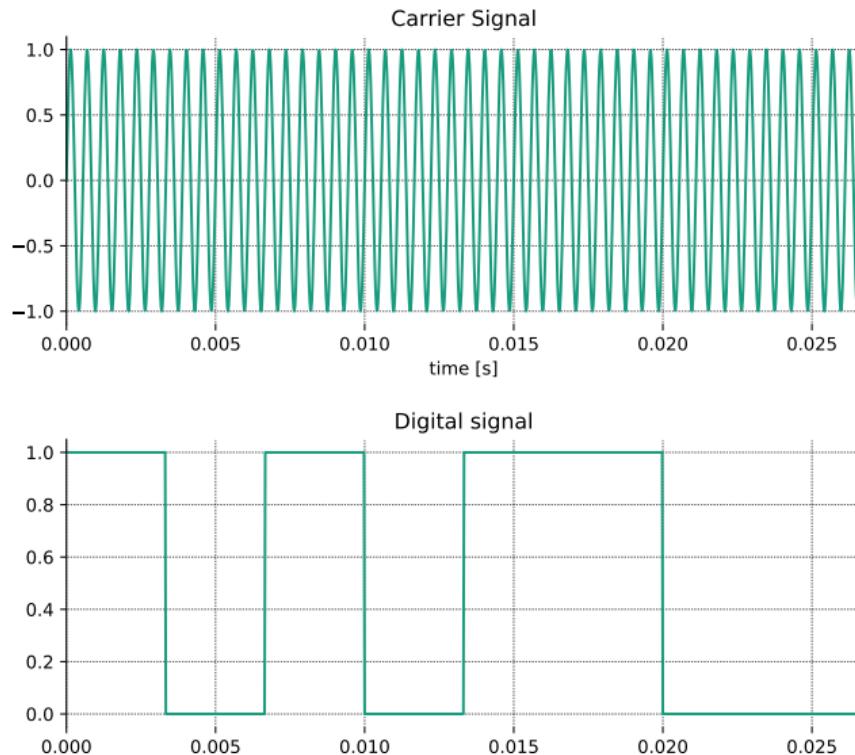
Modulation ist die Veränderung eines Signalparameters (oder: mehrerer Parameter) eines "Trägersignals" durch ein modulierendes Signal.

Demodulation

Demodulation ist die Wiederherstellung des ursprünglichen Signals aus dem modulierten Signal.

Beispiele für Modulationen:

- Amplitude-Shift Keying (ASK)
- Frequency-shift keying (FSK)
- Phase-shift keying (PSK)
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

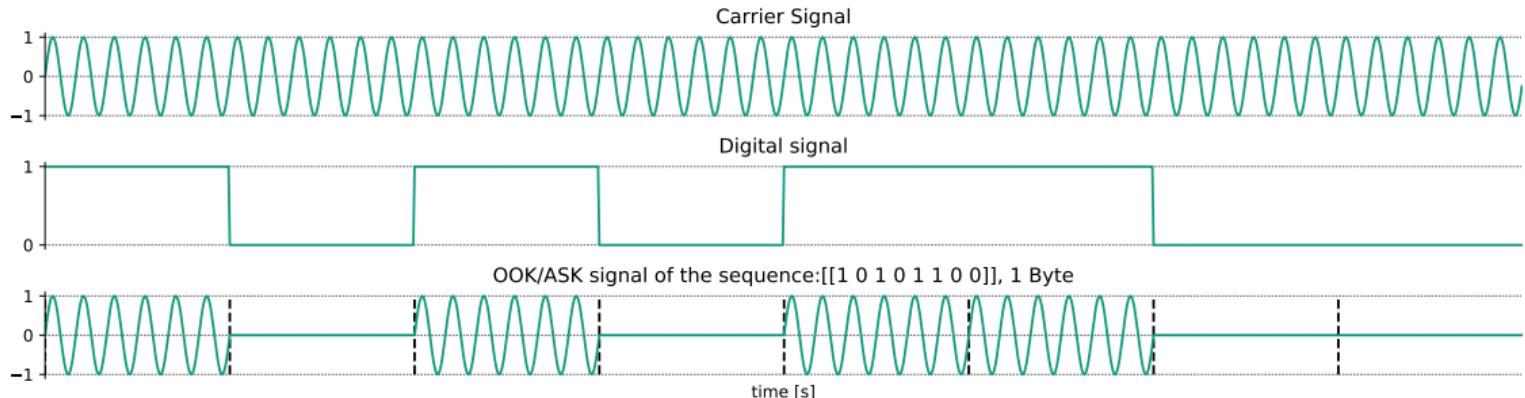


Amplitude-Shift Keying (ASK) — Amplitudenmodulation

- "0" und "1" werden durch unterschiedliche Signalpegel dargestellt (bspw. Spannungspegel).
- Häufig ist der Signalpegel für 0, kein Signal (On-Off Keying (OOK))

Beispiele:

- Daten über Glasfaser verwendet (Lichtimpuls = 1, kein Licht = 0)
- AM im Autoradio
- Ethernet (Kabel)

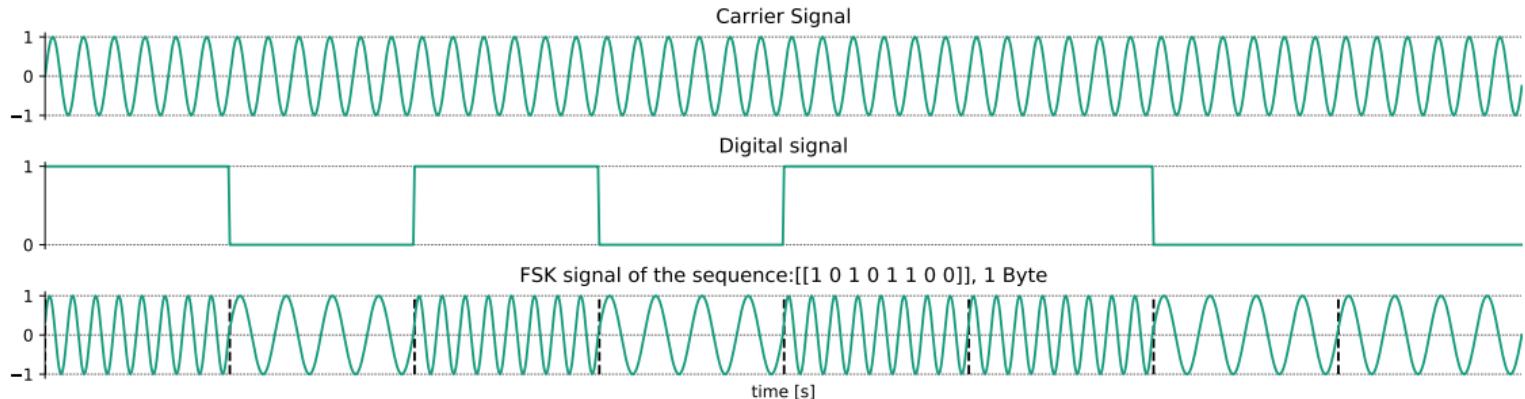


Frequency-shift keying (FSK) — Frequenzmodulation

- "0" und "1" werden durch zwei verschiedene Frequenzen in der Nähe der Trägerfrequenz dargestellt.

Beispiele:

- FM im Autoradio



Modul 2: Übertragungsmedien und Verkabelung

Signale

Kanalkapazität

Modulation

Codierung

Link Kapazitäten

Kabel

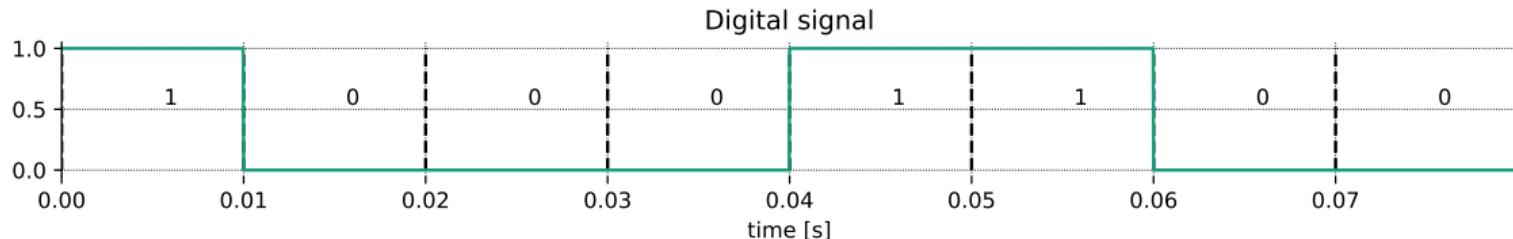
Drahtlos

Quellen

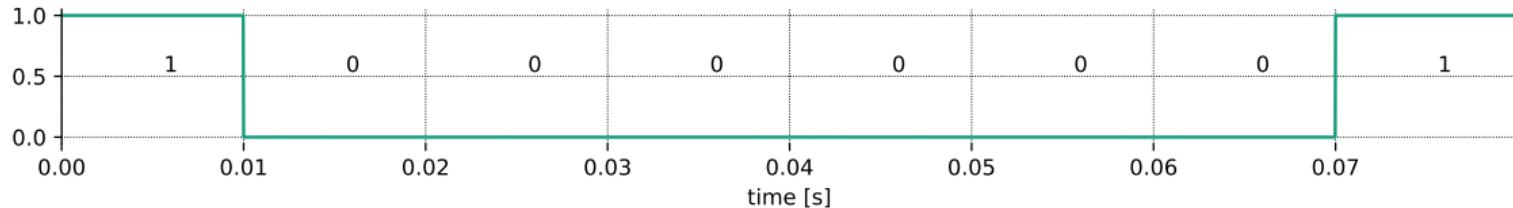
Kommunikation braucht Synchronisierung

- Die Repräsentation eines binären, digitalen Signals wirkt trivial:

- “0” $\hat{=}$ 0V $\hat{=}$ licht aus
- “1” $\hat{=}$ 5V $\hat{=}$ licht an



- Für eine fehlerfreie Dekodierung muss der Empfänger das Signal zur richtigen Zeit evaluieren
- Bei häufigen Wechseln bekommt der Empfänger automatisch einen **Takt**
- Was passiert jedoch bei längeren Folgen von “0” oder “1”?

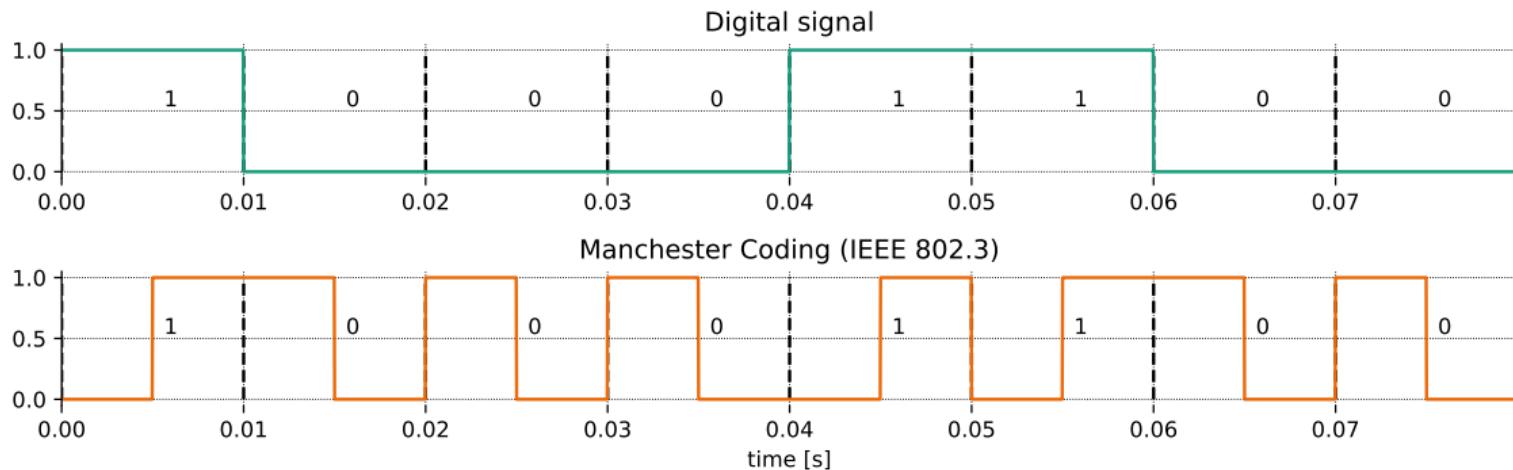


Strategien für eine Synchronisierung

1. Spezielle **Start-** und **Stop-Bits** definieren.
 - Dies kann bspw. ein spezielles Bitmuster (0110) sein, dass nicht verwendet wird.
 - Zwischen den Übertragungen gibt es eine Zeit ohne Daten.
2. Spezielle **Start-** und **Stop-Signale** definieren.
 - Dies kann bspw. ein spezielles Signallevel (3V) sein, das sonst nicht verwendet wird.
 - Zwischen den Übertragungen gibt es eine Phase ohne Daten.
3. Eine zusätzliche **Codierungen** verwenden.
 - Viele verschiedene Varianten denkbar.

Manchester Codierung

- In der Mitte der Übertragung des Bits findet ein Übergang statt.
- Die Repräsentation eines binären, digitalen Signals in Manchester Codierung:
 - "0": Erste Hälfte An, zweite Hälfte Aus
 - "1": Erste Hälfte Aus, zweite Hälfte An



- + **Inhärenter Takt**, keine Probleme mit langen Folgen gleicher Bits
- Theoretisch eine Halbierung der Kapazität

Wohldefinierte Codewörter (4B,5B)-code

Hex	Bin	4B5B
0	0000	11110
1	0001	01001
2	0010	10100
3	0011	10101
4	0100	01010
5	0101	01011
6	0110	01110
7	0111	01111
8	1000	10010
9	1001	10011
A	1010	10110
B	1011	10111
C	1100	11010
D	1101	11011
E	1110	11100
F	1111	11101

- Abbildung von vier Nutzdatenbits auf fünf Codebits.
- Es soll vermieden werden, dass sich lange Ketten von "0" und "1" bilden.
- Findet aktuell Einsatz im Ethernet.

Modul 2: Übertragungsmedien und Verkabelung

Signale

Kanalkapazität

Modulation

Codierung

Link Kapazitäten

Kabel

Drahtlos

Quellen

- Häufig wird der physikalische Link (das Medium) sehr vereinfacht dargestellt
- Die beiden wichtigsten Parameter sind:

1. Datenrate (Kapazität, Geschwindigkeit)

- Gemessen in bits/s (Bit s^{-1})
- Weitere wichtige Parameter sind die Fehlerrate (Bit Error Rate (BER)) und die Topologie
- Verschiedene Technologien unterscheiden sich in mehreren Größenordnungen

- k, **kilo**, 10^3
- M, **Mega**, 10^6
- G, **Giga**, 10^9

■ Wir legen fest:

- "b" entspricht bit, "B" entspricht Byte

2. Latenz (Verzögerungszeit)

- Gemessen in Sekunden
- m, **milli**, 10^{-3}
- μ , **micro**, 10^{-6}
- n, **nano**, 10^{-9}



Beispiele Datenrate

Wired communication technologies

Fiber optic	PON	155 Mbps–2.5 Gbps	Up to 60 km
	WDM	40 Gbps	Up to 100 km
	SONET/SDH	10 Gbps	Up to 100 km
DSL	ADSL	1–8 Mbps	Up to 5 km
	HDSL	2 Mbps	Up to 3.6 km
	VDSL	15–100 Mbps	Up to 1.5 km
Coaxial Cable	DOCSIS	172 Mbps	Up to 28 km
PLC	HomePlug	14–200 Mbps	Up to 200 m
	Narrowband	10–500 kbps	Up to 3 km
Ethernet	802.3x	10 Mbps–10 Gbps	Up to 100 m

Wireless communication technologies

Z-Wave	Z-Wave	40 kbps	Up to 30 m
Bluetooth	802.15.1	721 kbps	Up to 100 m
ZigBee	ZigBee	250 kbps	Up to 100 m
	ZigBee Pro	250 kbps	Up to 1600 m
WiFi	802.11x	2–600 Mbps	Up to 100 m
WiMAX	802.16	75 Mbps	Up to 50 km
Wireless Mesh	Various (e.g., RF mesh, 802.11, 802.15, 802.16)	Depending on selected protocols	Depending on deployment
Cellular	2G	14.4 kbps	Up to 50 km
	2.5G	144 kbps	
	3G	2 Mbps	
	3.5G	14 Mbps	
	4G	100 Mbps	
Satellite	Satellite Internet	1 Mbps	100–6000 km

Quelle: [7]



- Latenz ist die Verzögerung um eine Nachricht über einen Link zu versenden
- Auf der physikalischen Schicht hat Latenz zwei Hauptursachen

1. Übertragungsverzögerung

- Zeit die ein Node benötigt, um ein Paket abzuschicken.
- Ist unabhängig von der physikalischen Länge des Mediums.
- Hängt von der Anzahl der Bits und der Datenrate ab.

$$UEV = \frac{M[\text{bit}]}{R[\text{bit/s}]}$$

2. Ausbreitungsverzögerung

- Zeit, welche die Bits brauchen, um beim Empfänger anzukommen.
- Hängt von der physikalischen Länge des Mediums und der Ausbreitungsgeschwindigkeit ab.
- Bei Kupferkabel ca. $0,6 * c$ (Lichtgeschwindigkeit)

$$AV = \frac{\text{Länge[m]}}{v[\text{m s}^{-1}]}$$

$$\text{Latenz} = UEV + AV$$

Low Speed PAN (bspw. Bluetooth)

- $M = 1 \text{ MB}$
- $R = 1 \text{ MBit s}^{-1}$
- Länge = 1 m (Kopf – Hosentasche)
- $\text{UEV} = \frac{1 \text{ MB}}{1 \text{ MBit s}^{-1}} \approx 8 \text{ s}$
- $\text{AV} = \frac{1 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}} \approx 3 \text{ ns}$
- $Latenz \approx 8 \text{ s}$

High Speed WAN (bspw. Glasfaser)

- $M = 1 \text{ MB}$
- $R = 1 \text{ GBit s}^{-1}$
- Länge = 6000 km (New York – London)
- $\text{UEV} = \frac{1 \text{ MB}}{1 \text{ GBit s}^{-1}} \approx 8 \text{ ms}$
- $\text{AV} = \frac{6000 \text{ km}}{2 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}} \approx 30 \text{ ms}$
- $Latenz \approx 38 \text{ ms}$



Avian Carriers (Vogelladungsträger)

- SD-Karte (512 GB) und preisgekrönte Brieftaube (100 km h^{-1}).
- München – Frankfurt (400 km)
- Datenrate $\approx 285 \text{ MBit s}^{-1}$



Quelle: [12]

Festplatten per Post

- 50*8 TB Festplatten und dem Post-Express.
- München – Berlin (18 Stunden Lieferzeit)
- Datenrate $\approx 50 \text{ GBit s}^{-1}$



Modul 2: Übertragungsmedien und Verkabelung

Signale

Kanalkapazität

Modulation

Codierung

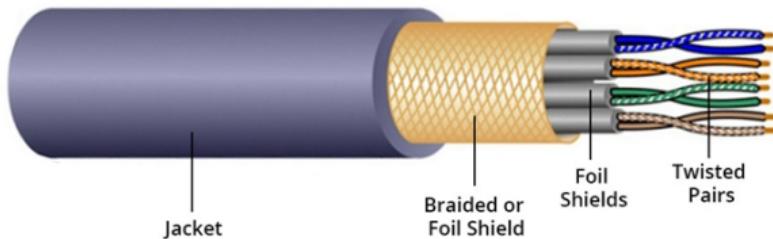
Link Kapazitäten

Kabel

Drahtlos

Quellen

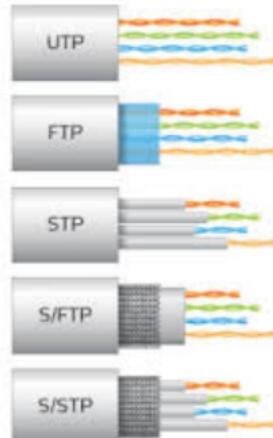
Twisted Pair



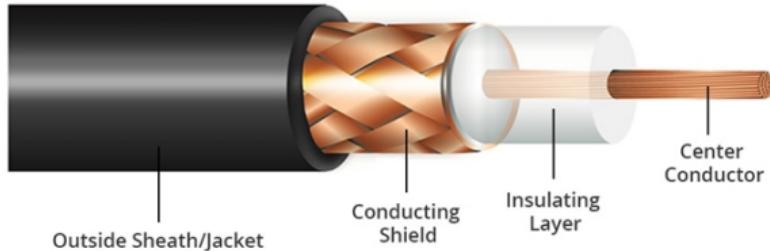
Quelle: [3]



- Sehr verbreitet. Die **Standardverkabelung**
- Die paarweise Verseilung vermindert störende Einflüsse von externen magnetischen Wechselfeldern
- Diese werden durch andere stromführende Kabel bspw. im selben Schacht hervorgerufen
- Außerdem wird eine Störung (Rauschen) zwischen benachbarten Adern-paaren innerhalb des Kabels reduziert



Koaxial Kabel ("Co-ax")



Quelle: [3]

- Ebenfalls sehr verbreitet. In Deutschland oft bekannt als "Antennenkabel"
- Sehr gute Eigenschaften (Distanz und Durchsatz oft besser als bei Twisted Pair)
- Schwierig zu installieren. Die Kabel sind nur begrenzt biegsam und die Verbindungen empfindlich



Quelle: [8]

Glasfaser (Lichtwellenleiter)



Quelle: [16]



Quelle: [6]

- Übertragung via Lichtimpulse (optische Signale) in einem sehr dünnen Glasstrang
- Im einfachsten Fall eine LED und eine Photodiode
- **Extrem hoher Durchsatz und extrem hohe Entfernungen möglich**
- Schwierige Installation (bspw. "splicing")

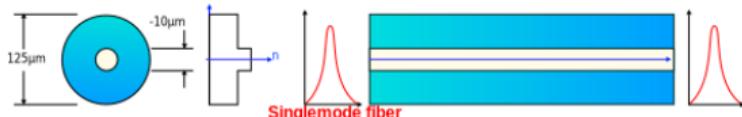


Quelle: [16]

Glasfaser — verschiedene Typen

Moden sind die verschiedenen Wege, dem die Photonen des Lichts innerhalb oder entlang der Faser folgen können.

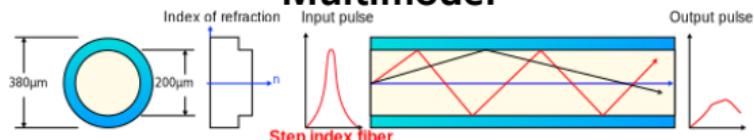
Monomode/Singlemode:



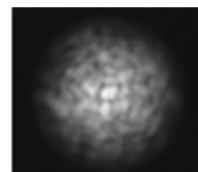
- Ausbreitung einer einzigen Mode
- Sehr geringer Durchmesser des Kerns $9\mu\text{m}$
- Schwierig zu fertigen und zu verarbeiten
- Betrieb mit einem Laser
- Lange Distanzen möglich, sehr hohe Datenraten



Multimode:



- Prinzip der Totalreflexion
- Größere Durchmesser des Kerns $50\mu\text{m}/62,5\mu\text{m}$
- Einfacher zu fertigen
- Betrieb mit einer LED möglich
- Kann auf kurzen Strecken eingesetzt werden



Quelle Bilder: [13]

Modul 2: Übertragungsmedien und Verkabelung

Signale

Kanalkapazität

Modulation

Codierung

Link Kapazitäten

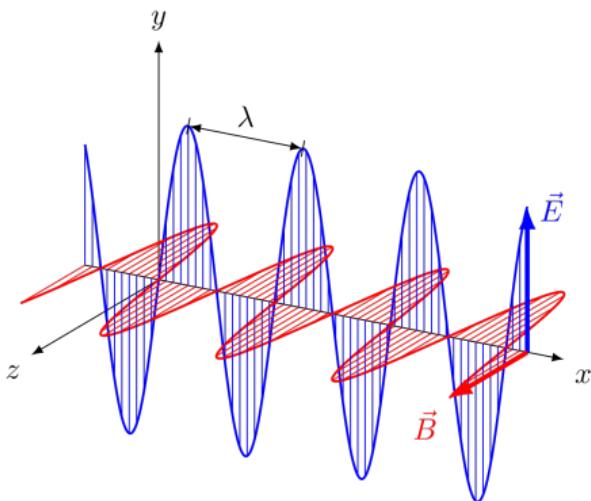
Kabel

Drahtlos

Quellen

Drahtlose Kommunikation

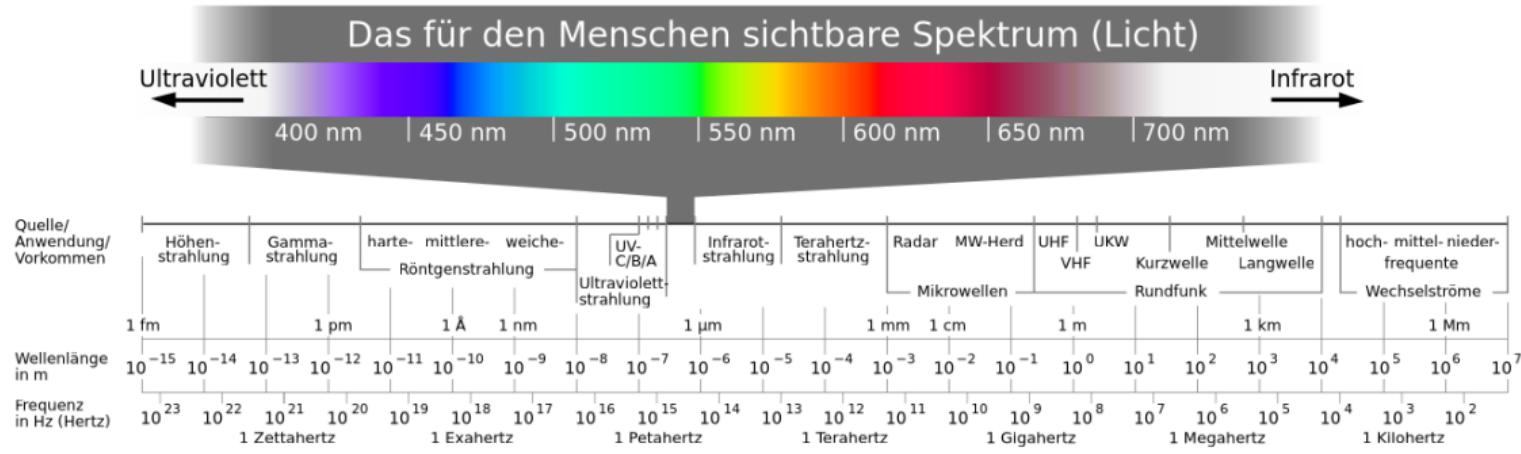
Drahtlose Kommunikation ist die Übertragung von Informationen zwischen zwei oder mehr Punkten, die nicht durch einen elektrischen Leiter verbunden sind, unter Verwendung **modulierter elektromagnetischer Wellen**.



$$c[m/s] = \lambda[m] * f[Hz]$$

- EM-Welle bewegt sich in Ausbreitungsrichtung mit Lichtgeschwindigkeit.
- Wir nehmen derzeit an (A. Einstein), dass die Lichtgeschwindigkeit konstant ist.
- $c \approx 3 * 10^8 [m/s]$ im Vacuum.

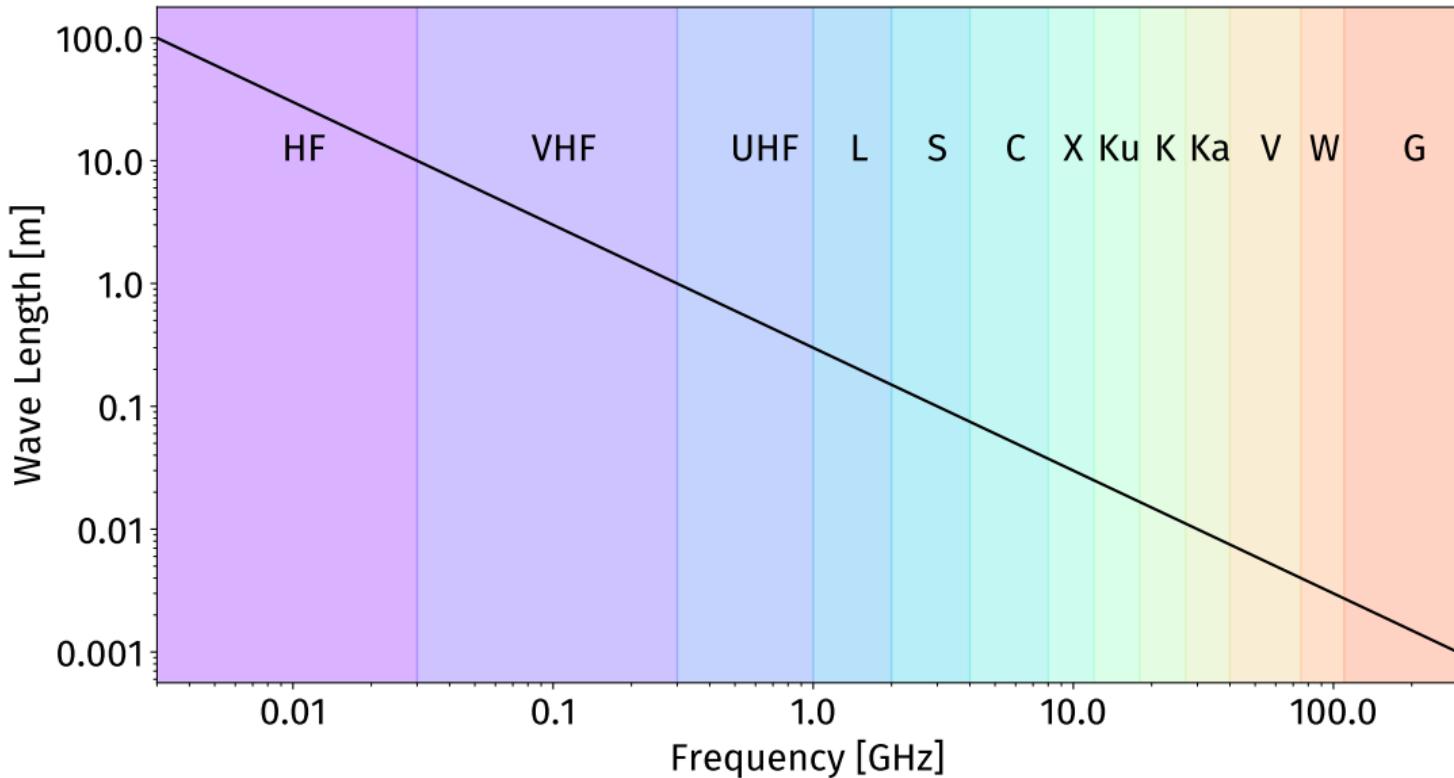
Das Elektromagnetische Spektrum in der Übersicht



[11]

- Für die Kommunikation ist der Bereich zwischen 10 MHz und 200 GHz relevant
 - In diesem Bereich liegen die meisten Funkbänder

Verschiedene Funkbänder (IEEE Std 521-2002) [4]



Ausbreitung von Elektromagnetischen Wellen

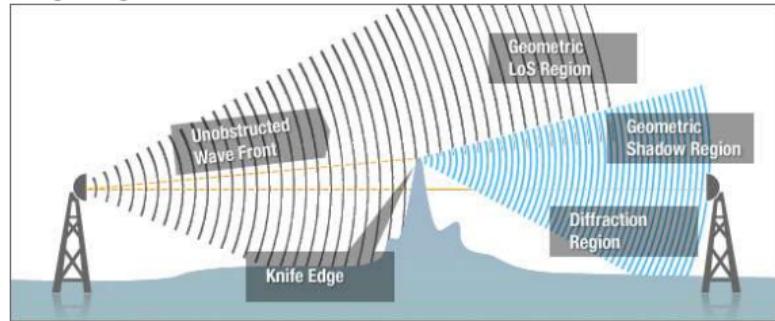
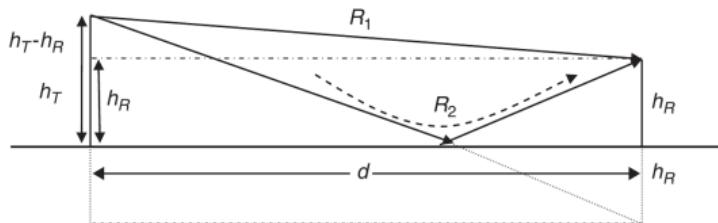
- Im freien Raum (Vakuum, keine Hindernisse) nimmt die Signalstärke am Empfänger (P_R) **quadratisch** mit der Entfernung vom Sender ab.

$$\frac{P_T}{P_R} = \left[\frac{4\pi d}{\lambda} \right]^2 = \left[\frac{4\pi d f}{c} \right]^2$$

...Umformung ...

$$L_f[dB] = 20 * \log_{10}(f[MHz]) + 20 * \log_{10}(d[km]) + 32.4[dB]$$

- Umso geringer die Signalstärke, umso geringer der Durchsatz (vgl. Shannon)
- Weitere Aspekte der drahtlosen Kommunikation in einer nicht idealen Welt: Reflexion, Diffraktion, Erdkrümmung, Witterungsbedingungen.



Quellen I

- [1] ams-grafik - freizeitlärm: Was ist wie laut? | ams-ratgeber 10/15 | aok-medien-service | presse | aok-bundesverband.
https://www.aok-bv.de/presse/medienservice/ratgeber/index_15519.html.
(Accessed on 10/11/2020).
- [2] Carslaw, H. S.
Introduction to the Theory of Fourier's Series and Integrals.
Macmillan and Company, limited, 1921.
- [3] FS.COM, J.
Fiber optic cable vs twisted pair cable vs coaxial cable | fs community.
<https://community.fs.com/blog/the-difference-between-fiber-optic-cable-twisted-pair-and-cable.html>, 2013.
(Accessed on 10/07/2020).
- [4] Group, W.-T. W., et al.
Ieee std 521-2002 (revision of ieee std 521-1984)-ieee standard letter designations for radar-frequency bands.
AES-IEEE Aerospace and Electronic Systems Society (2009).
- [5] Halsall, F.
Data communications, computer networks and open systems.
Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995.
- [6] Konnra, K.
The optical fiber connector. a fiber optic connector is a detachable... | by konnra konnra | medium.
<https://medium.com/@konnra2000/the-optical-fiber-connector-cd376ba97a7c>, Aug 2019.
(Accessed on 10/07/2020).
- [7] Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., and Rahman, S.
Communication network requirements for major smart grid applications in han, nan and wan.
Computer Networks 67 (2014), 74 – 88.
- [8] Limited, C. C.
Home - coax connectors.
<http://www.coax-connectors.com/>, 2017.
(Accessed on 10/07/2020).

Quellen II

- [9] Shannon, C. E.
A mathematical theory of communication.
The Bell system technical journal 27, 3 (1948), 379–423.
- [10] Wikipedia.
Claude shannon – wikipedia.
https://de.wikipedia.org/wiki/Claude_Shannon.
(Accessed on 10/28/2020).
- [11] Wikipedia.
Elektromagnetisches spektrum – wikipedia.
https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum.
(Accessed on 10/28/2020).
- [12] Wikipedia.
Maennchen der brieftaube - brieftaube – wikipedia.
https://de.wikipedia.org/wiki/Brieftaube#/media/Datei:M%C3%A4nnchen_der_Brieftaube.JPG.
(Accessed on 10/13/2020).
- [13] Wikipedia.
Optical fiber - wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber.
(Accessed on 10/28/2020).
- [14] Wikipedia.
Alexander graham bell – wikipedia.
https://de.wikipedia.org/wiki/Alexander_Graham_Bell, 2020.
(Accessed on 10/07/2020).
- [15] Wikipedia.
A mathematical theory of communication - wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/A_Mathematical_Theory_of_Communication, 2020.
(Accessed on 10/06/2020).

Quellen III

- [16] Wikipedia.
Optical fiber - wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber, 2020.
(Accessed on 10/07/2020).