

FI

Teil 1

Grundlagen der Kommunikationstechnik

klin, 11.10.2021

1	Grundlagen Kommunikationstechnik	3
1.1	Begriffe	3
1.2	Beispiel Fernsprechnet	3
1.3	Codierung	4
1.4	Daten und Telegramme	4
1.5	Darstellung von Texten und Zahlen	5
1.6	Übertragungsarten	7
1.7	Prinzipieller Ablauf einer gesicherten Datenübertragung	9
2	Signale und deren Übertragung	10
2.1	Digitalisierung analoger Daten	10
2.2	Joseph Fourier – 1822	12
2.3	Signal und Frequenzspektrum	12
2.4	Bandbreite eines analogen Übertragungskanal	13
2.5	Daten- oder Bitrate, Baudrate	15
2.6	Signalübertragung über ein Medium	16
2.7	Signalausbreitung und Beeinflussung	17
3	Übertragungsmedien	21
3.1	Arten von Übertragungsmedien	21
3.2	Anforderungen an das Übertragungsmedium	21
3.3	Leitungsgebundene Übertragungsmedien	21
3.4	Drahtlose Übertragung	25
4	Übertragungsverfahren und Umformung	27
4.1	Basisbandübertragung	27
4.2	Leitungscode	27
4.3	Modulation	30
4.4	Modulationstechniken in der digitalen Kommunikation	33
4.5	Mehrfachnutzung von Übertragungsmedien	33
5	RFID - Eine Anwendung der Modulationsverfahren	35
5.1	Aufbau	35
5.2	Ausführungsformen	35
5.3	Prinzipielle Funktionsweise	36
5.4	Near Field Communication (NFC)	39

1 Grundlagen Kommunikationstechnik

1.1 Begriffe

Informationen sind der Wissensinhalt von Nachrichten.

Nachrichten sind Folgen von Zeichen und Zuständen zur Übermittlung von Informationen.

Zeichen sind diskrete Werte von Signalen, z.B. Spannung in Stufen von 1V zwischen 0 und 9V.

Signale dienen zur physikalischen Übertragung einer Nachricht z.B. durch Spannung, Strom, Lichtstärke, elektrische oder magnetische Feldstärke.

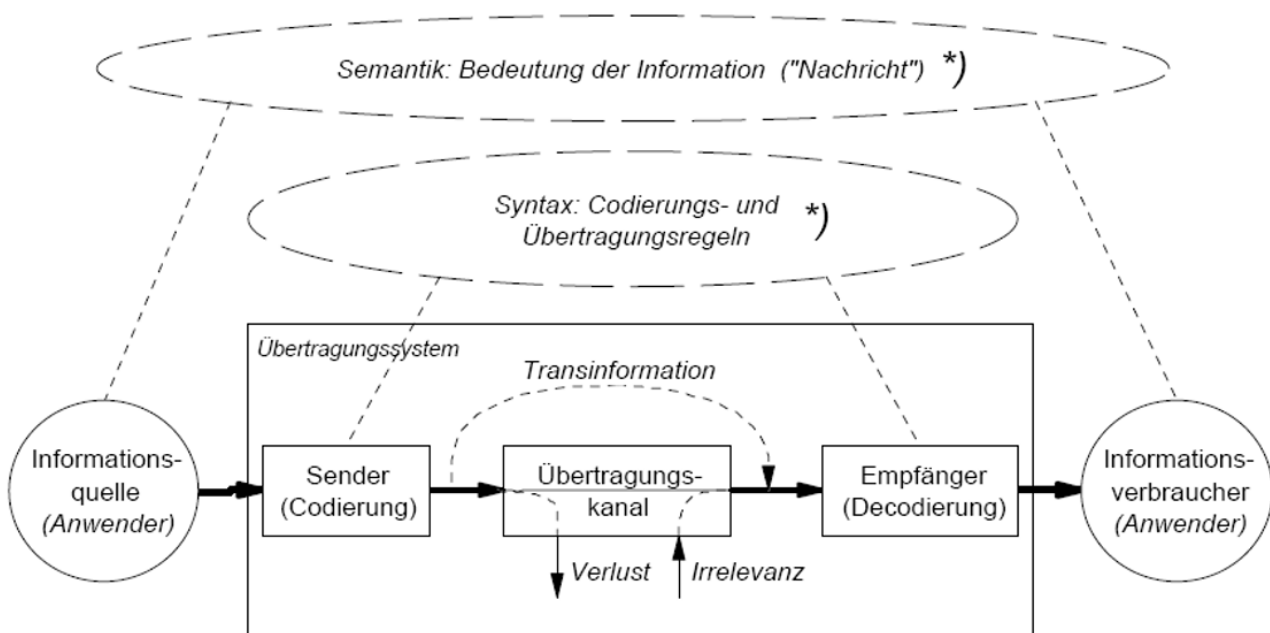


Abbildung 1 Nachrichtenübertragung nach Shannon

1.2 Beispiel Fernsprechnet



Abbildung 2 Nachrichtenübertragung im Fernsprechnet

Das akustische **Primärsignal** wird durch den Sender (Modulator) in ein elektrisches oder optisches Übertragungssignal umgewandelt. Das **Übertragungssignal** kann analog oder auch digital sein. Der Empfänger (Demodulator) wandelt das empfangene Signal wieder in ein akustisches Primärsignal.

1.3 Codierung

Ja nach Anwendung wird die Codierung der Quellsignale spezialisiert und auf mehrere Stufen aufgeteilt. Kann nach der Datenreduktion das ursprüngliche Signal wiederhergestellt werden, spricht man **verlustloser Codierung**. Um den Übertragungsaufwand klein zu halten, werden z.B. bei der Übertragung von Sprache oder Bilddaten Signalanteile weggelassen, die vom Menschen nicht wahrgenommen werden können (**verlustbehaftete Codierung**).

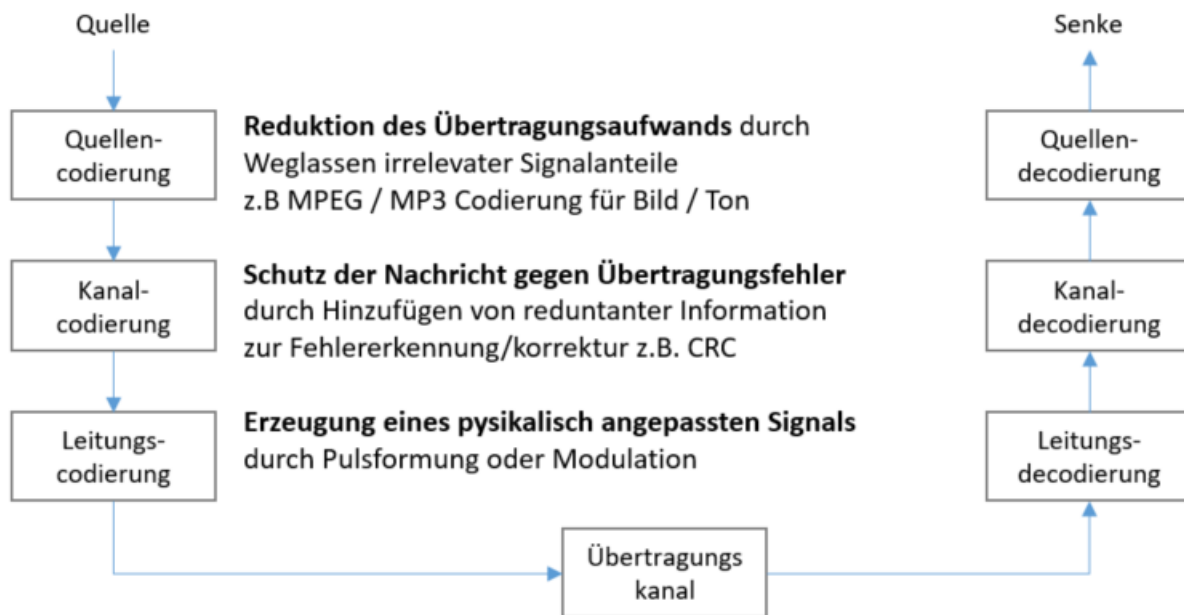


Abbildung 3 Komponenten zur Nachrichtencodierung

1.4 Daten und Telegramme

Daten in Computersystemen sind Informationen in dualer Codierung. Sie bestehen aus Folgen von Bits mit den Werten 0 und 1.

Telegramme sind Nachrichten zwischen Sender und Empfänger. Die auf dem Übertragungskanal ausgetauschten Daten werden in Telegrammen gemäß vereinbartem Code zusammengefasst.

Unterschieden wird dabei in

- **zeichenorientierte Codes**: besitzen einen festgelegten Zeichenvorrat z.B. ASCII-Code. Einzelne Datenbits werden zu Zeichen z.B. gemäß dem UART - *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* Protokoll gruppiert. Telegramme werden aus mehreren UART-Zeichen zusammengesetzt. Jedes Zeichen besitzt einen Rahmen (z.B. ein Start- und Stopbit)

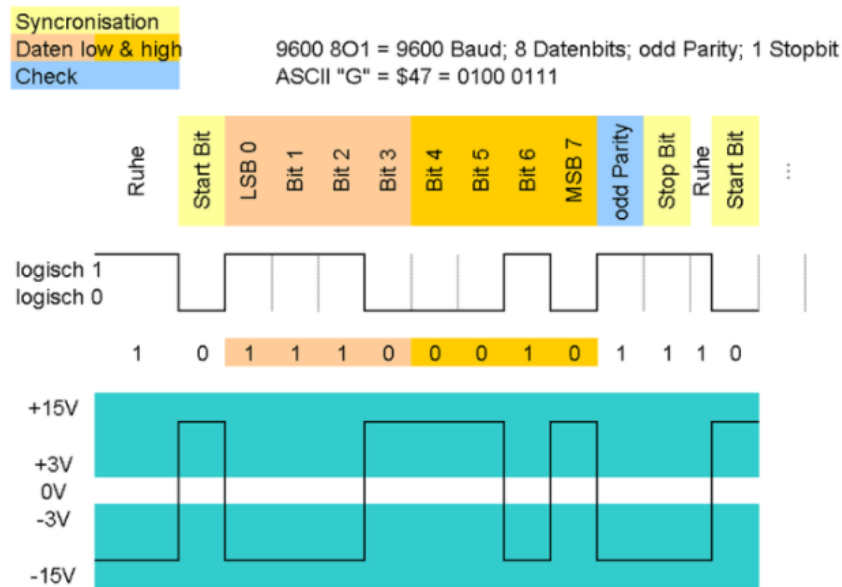


Abbildung 4 asynchroner serieller UART Datenstrom

- bitorientierte Codes:** Sendedaten werden direkt als Bitfolge ohne Gruppierung in Zeichen zu Telegrammen zusammengesetzt. Beginn und Ende jedes Telegramms werden durch festgelegte Bitmuster (**Flag-Bytes**) gekennzeichnet. Die Blockbegrenzungen dürfen in den Übertragungsdaten nicht vorkommen (erweiterte Codierung erforderlich).

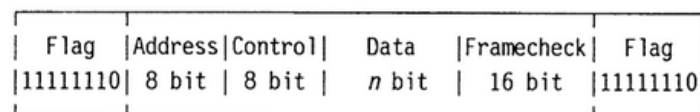


Abbildung 5 Aufbau eines bitorientierten Telegramms

1.5 Darstellung von Texten und Zahlen

Um Texte und Zahlen durch Daten darzustellen, kodiert man die Zeichen des **Alphabets** (Groß- und Kleinschreibung), die **Satzzeichen** wie Punkt, Komma und Semikolon, sowie einige **Spezialzeichen** wie +, %, & und \$ in Bitfolgen. Zudem benötigt man noch **Steuerzeichen** wie das Leerzeichen (SP) den Wagenrücklauf (CR) und das Tabulatorzeichen (TAB).

1.5.1 ASCII-Code

Die populärste Form der Kodierung ist der **American Standard Code for Information Interchange (ASCII)**

- 7-Bit-Zeichenkodierung für $2^7 = 128$ Zeichen
- Standard seit 1963 – letzte Aktualisierung 1968

Die nicht druckbaren Zeichen x00 bis x20 und x7F sind Steuerzeichen. ASCII ist nicht nur ein Standard zur Datenablage, sondern auch zur Datenübertragung geeignet. Anfang und Ende einer Datenübertragung markiert man z.B. mit dem Zeichen *Start of Text (STX)* bzw. *End of Text (ETX)*.

+	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30			!	"	#	\$	%	&	'	
40	()	*	+	,	-	.	/	0	1
50	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;
60	<	=	>	?	@	A	B	C	D	E
70	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
80	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
90	Z	[\]	^	_	`	a	b	c
100	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
110	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w
120	x	y	z	{		}	~			

Abbildung 6 ASCII Tabelle (dezimal: Werte 0..127)

1.5.2 Gray-Code

Der Gray-Code ist ein stetiger Code, bei dem sich benachbarte Codewörter nur in einer einzigen binären Ziffer unterscheiden. Übertragungsfehler bei sich kontinuierlich ändernden digitalen Signalen auf mehradrigen Leitungen werden so verringert, da sich unterschiedliche Signallaufzeiten nicht auswirken können.

Eine Anwendung finden Gray-Codes z.B. in Inkrementalgebern. Würde ein Inkrementalgeber eine herkömmliche Binärzahl als Position liefern, also etwa 101 für 5 und 110 für 6, dann gäbe es ein Problem, wenn nicht alle Bits absolut gleichzeitig ihre Wertigkeit änderten. In dem Fall könnten Phantomwerte wie 100 (4) oder 111 (7) auftreten. Der Gray-Code hat dieses Problem nicht, da sich benachbarte Werte nur in einem Bit unterscheiden.

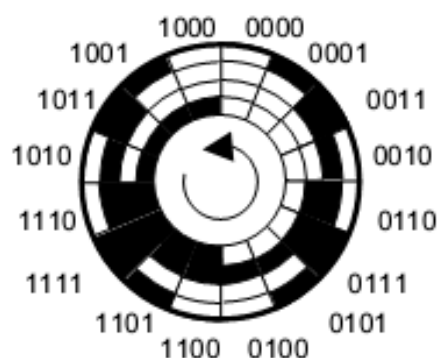


Abbildung 7 Drehgeber mit Gray Code Wertebereich 0..15

1.6 Übertragungsarten

1.6.1 Parallele Datenübertragung:

- Busse der Breite 8, 16, 32... für Daten + Steuerleitungen
- hohe Datenraten
- nur innerhalb eines Rechners oder über kurze Distanzen
- Laufzeitunterschiede auf Datenleitungen erfordern Zusatzsignal für Gültigkeit (z.B. Takt)
- Leitungskosten

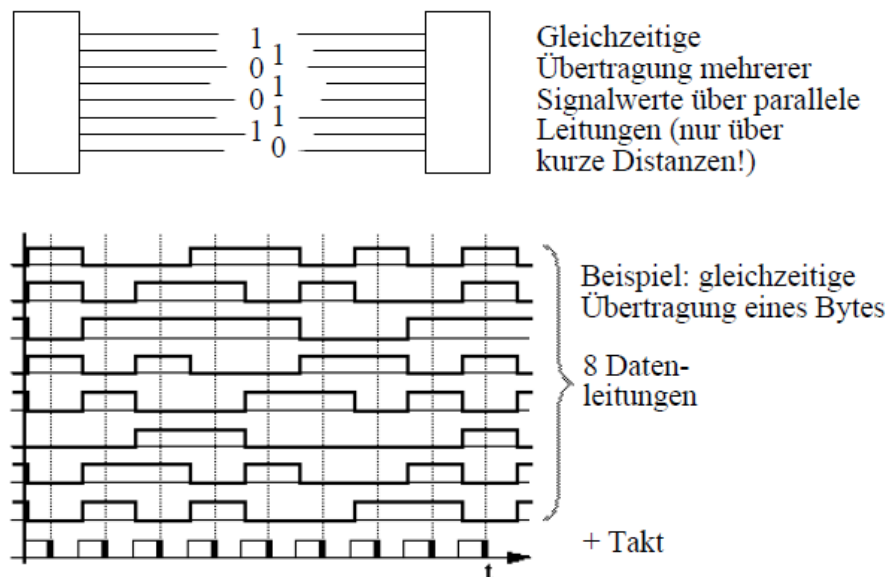


Abbildung 8 Parallele Datenübertragung

1.6.2 Serielle Datenübertragung

- große Entfernungen und hohe Datenraten realisierbar
- Empfänger muss im richtigen Moment abtasten
- Sender und Empfänger müssen gleich schnell und synchronisiert sein
- Takt in "versteckter" Weise mitübertragen und im Empfänger aus 0/1 Wechsel rückgewinnen
- Es müssen genügend 0/1 Wechsel stattfinden

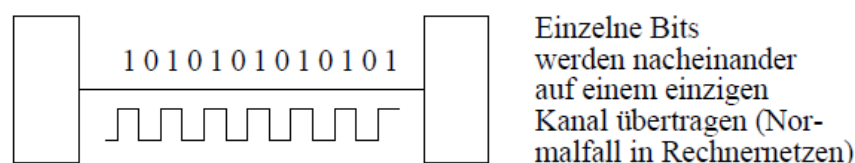


Abbildung 9 Bitserielle Datenübertragung

Die serielle Datenübertragung eignet sich sowohl für die Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern (Punkt-zu-Punkt) als auch für mehrere Teilnehmer. Charakteristisch für eine serielle Übertragungsstrecke ist Richtung des Datenverkehrs.

1.6.3 Betriebsarten



Abbildung 10 Betriebsarten der Datenübertragung

1.6.4 Synchrone Datenübertragung

Die Kommunikationspartner synchronisieren die Übertragung zeitlich mit einem **Taktsignal**. Das Taktsignal kann über eine eigene Schnittstellenleitung gesendet werden oder wird vom Empfänger aus dem Datensignal zurückgewonnen.

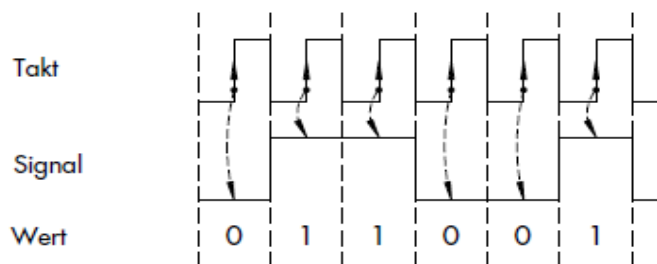


Abbildung 11 Synchrones Protokoll mit Takt- und Datenleitung

1.6.5 Asynchrone Datenübertragung

Die Kommunikationspartner verwenden voneinander unabhängige Taktquellen. Es wird kein Taktsignal übertragen. Das bedeutet, dass das Versenden eines Datenwortes zu jedem Zeitpunkt beginnen kann. Damit ein Empfänger den Beginn eines Zeichen oder Datenpakets erkennen kann, muss der Datenübertragung eine eindeutige **Startkennung** vorausgehen.

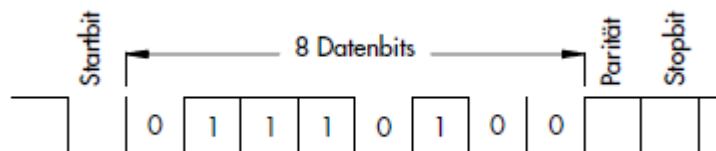


Abbildung 12 Asynchrones Protokoll mit Startbit

1.7 Prinzipieller Ablauf einer gesicherten Datenübertragung

1. Der **Sender** **initiiert** eine Übertragung durch eine **Startanfrage** an den Empfänger
2. Der **Empfänger** **signalisiert** mit einem Quittungstelegramm seine **Bereitschaft**
3. Der **Sender** **sendet** die **Telegramme** des Nachricht **zum Empfänger**
4. Der **Empfänger** **prüft** die empfangenen **Telegramme auf Richtigkeit**
5. Der **Empfänger** **quittiert den Empfang** mit OK oder NOK bei fehlerhaftem Telegramm
6. **Im Fehlerfall wiederholt der Sender** den Sendevorgang des fehlerhaften Telegramms

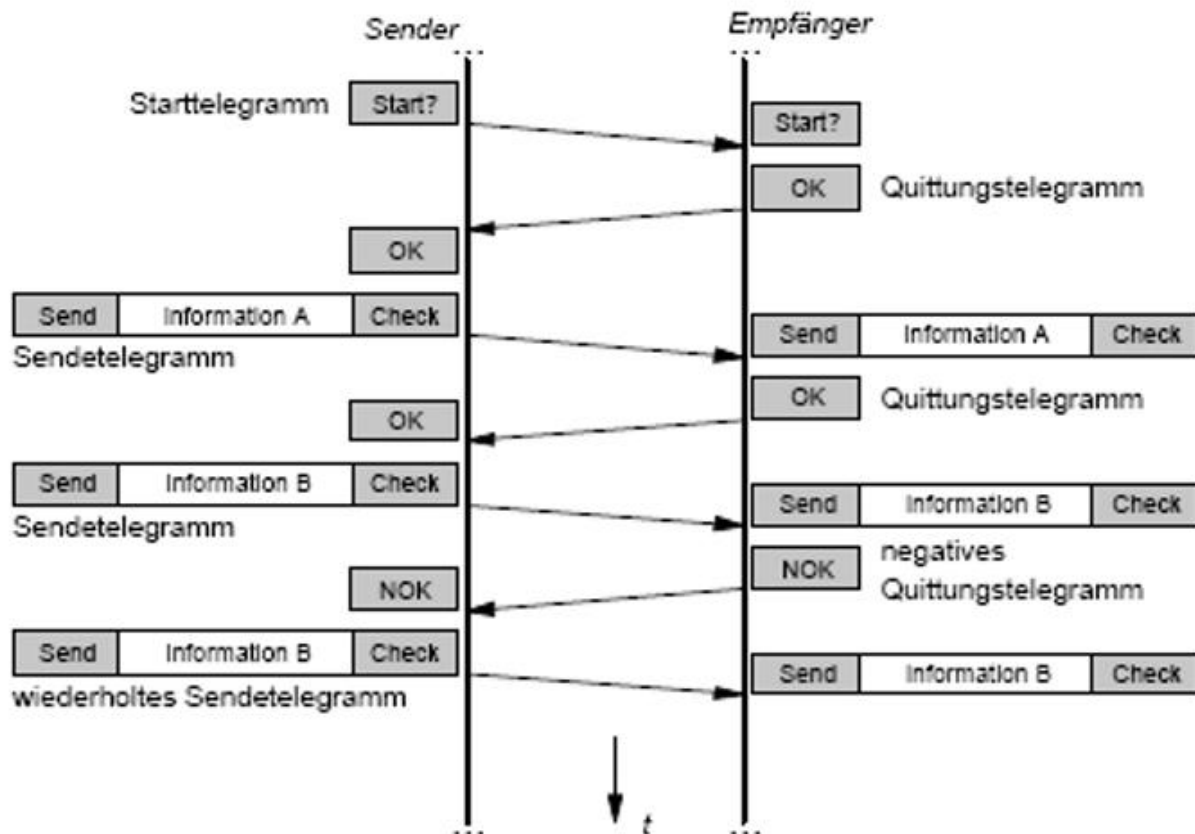


Abbildung 13 Sequenzdiagramm einer Datenübertragung

2 Signale und deren Übertragung

Einteilung der Signale in **Signalklassen**:

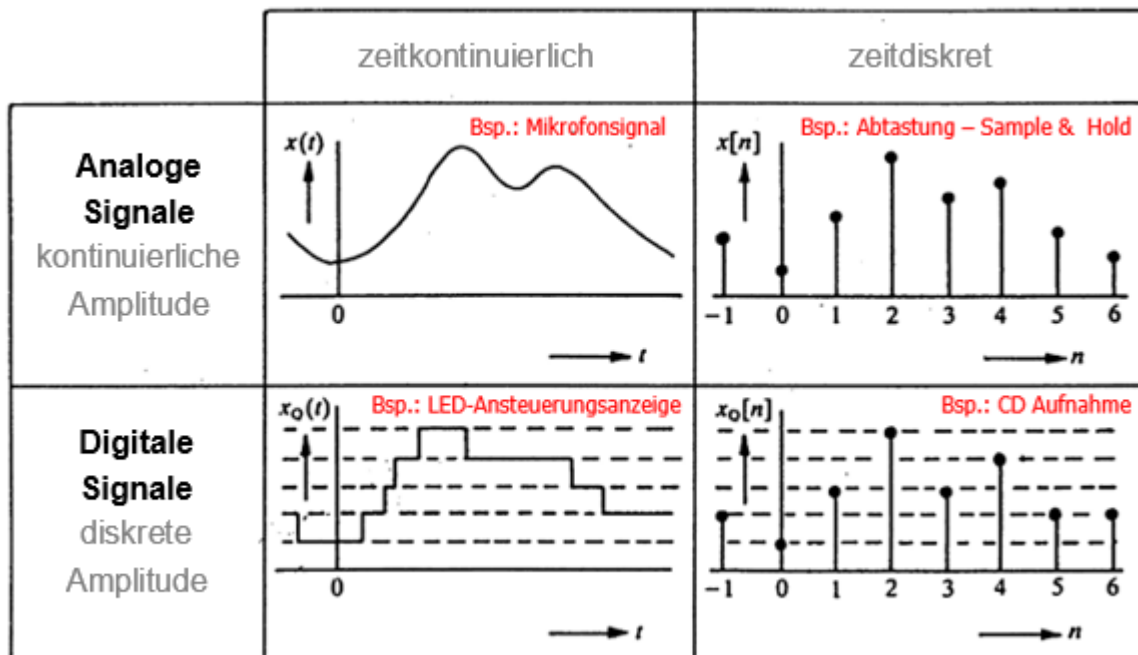


Abbildung 14 Signalklassen

Analoges Signal: Alle Amplitudenwerte innerhalb eines Wertebereiches sind möglich

Digitales Signal: Amplitudenwerte sind ganze Vielfache einer kleinsten Einheit
 (z.B. Wertebereich 10 Bit => 1024 Zustände, kleinste Einheit = 1/1024)

2.1 Digitalisierung analoger Daten

Beispiel Pulse Code Modulation (PCM)

Pulscodemodulation (PCM) ist ein Verfahren zur digitalen Übertragung von Nachrichten, die als analoge elektrische Signale vorliegen (Sprache, Musik, Messdaten). Die PCM basiert auf der PAM (Pulse Amplitude Modulation). PCM wandelt das wertkontinuierliche und zeitdiskrete PAM-Signal in ein wert- und zeitdiskretes (und somit digitales) PCM-Signal um.

Hierzu sind drei Schritte erforderlich:

1. **Periodische Abtastung:** Das analoge Signal wird zu diskreten Zeitpunkten abgetastet. Es entsteht ein zeitdiskretes PAM-Signal.
2. **Quantisierung der Abtastwerte:** Die Abtastwerte werden auf diskrete Amplitudenwerte abgebildet und gerundet. Es entsteht ein quantisiertes PAM-Signal, das wert- und zeitdiskret ist.
3. **Codierung der quantisierten Werte:** Die diskreten Amplitudenwerte des quantisierten PAM-Signals werden auf einen Binärcode (Pulse Code) codiert und als Pulsfolge übertragen.

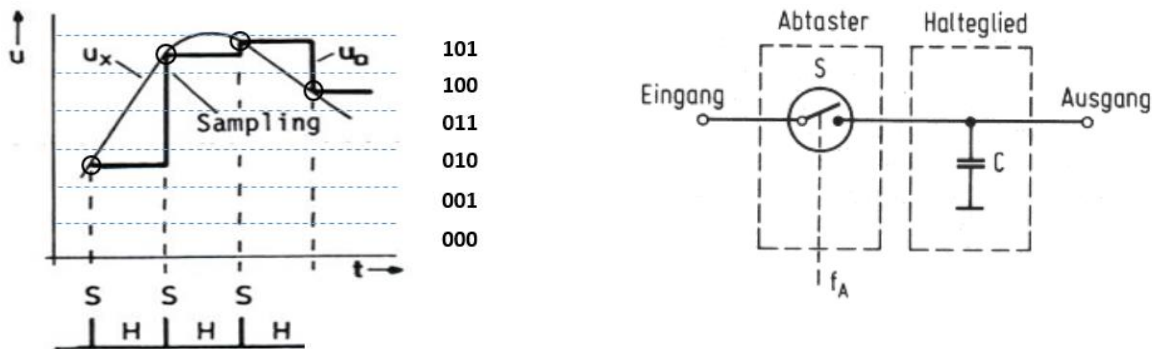


Abbildung 15 PAM Puls Amplituden Modulation, Sample & Hold Schaltung

Pulse Code Modulation für digitale Fernsprechübertragung:

1. **analoge Sprachsignal** mit Mikrofon erzeugt
2. Sprachsignal mit **Tiefpassfilter** auf 3,4 kHz begrenzen (Antialiasingfilter)
3. **PAM-Signal** durch Abtastung mit 8 kHz erzeugen (Sample & Hold)
4. PAM Analogwerte 256 **Quantisierungsstufen** zuordnen (8 Bit A/D Wandler)
5. 8 Bit quantisierte Signalwerte **Parallel-Seriell umsetzen** (P/S Wandler)
6. PCM Signal **elektrisch an die Leitung** anpassen und übertragen

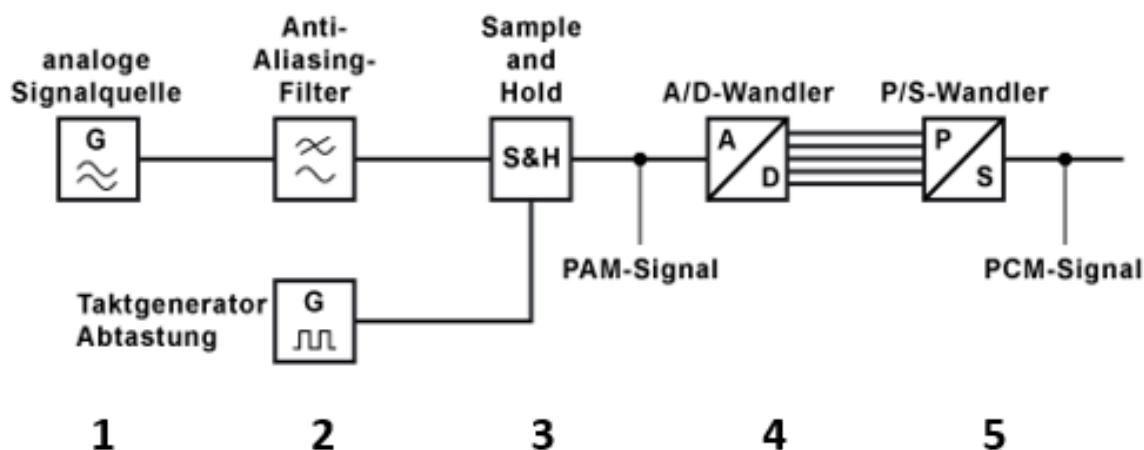


Abbildung 16 Pulse Code Modulation

Kenndaten der Pulse Code Modulation für digitale Fernsprechübertragung

- Grenzfrequenz: 3.400 Hz
- Abtastfrequenz: 8.000 Hz ($> 2 \times \text{Grenzfrequenz} = 6.800 \text{ Hz}$)
- Kodierung der Signalwerte: 8 bit
- Datenrate: $8000/\text{s} \times 8 \text{ Bit} = 64 \text{ k/s}$

2.2 Joseph Fourier – 1822

Jede beliebige periodische Funktion $s(t)$ lässt sich als Summe gewichteter Sinus- und Kosinus-Schwingungen darstellen. Die so entstehende Reihenentwicklung von $s(t)$ bezeichnet man als **Fourierreihe**.

$$s(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t)$$

a_0, a_n, b_n sind die Fourierkoeffizienten, a_0 ist der Gleichstromanteil

Rechteckspannung dargestellt als Fourier-Reihe für $n = 1, 3, 5$:

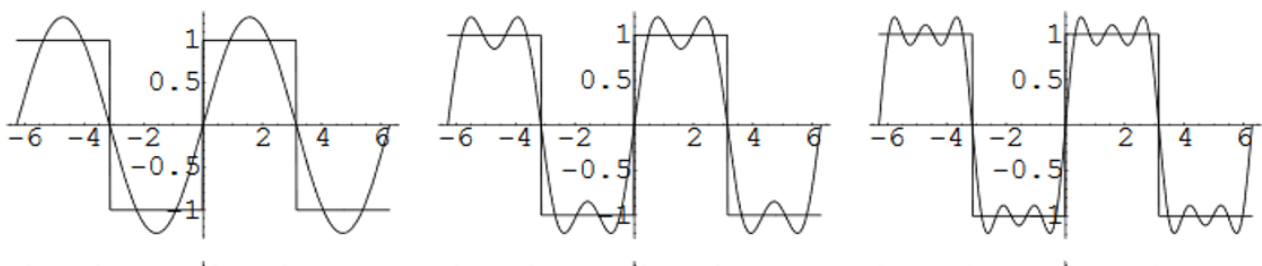


Abbildung 17 Fourier-Reihen einer Rechteckschwingung

2.3 Signal und Frequenzspektrum

Das Frequenzspektrum eines Signals gibt dessen Zusammensetzung aus verschiedenen Frequenzen an. Die Darstellung der Amplitudenwerte in Abhängigkeit der Frequenz nennt man Frequenzspektrum oder einfach **Spektrum**. Ein **periodisches** Signal besitzt ein **diskretes Spektrum**, ein **aperiodisches** Signal ein **kontinuierliches Spektrum**.

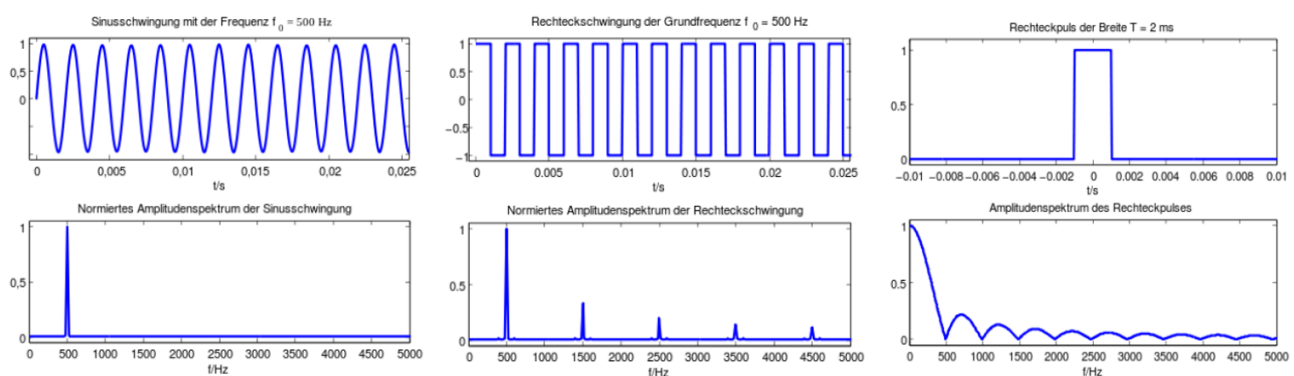


Abbildung 18 Spektrum eines periodischen Sinus- und Rechtecksignals und eines aperiodischen Rechteckimpulses

2.4 Bandbreite eines analogen Übertragungskanal

Unter Bandbreite versteht man den **Frequenzbereich**, in dem ein analoges Signal übertragen wird, also die Differenz zwischen größter und kleinster Frequenz.

Beispiel: Kontinuierliches Frequenzspektrum der menschlichen Stimme:

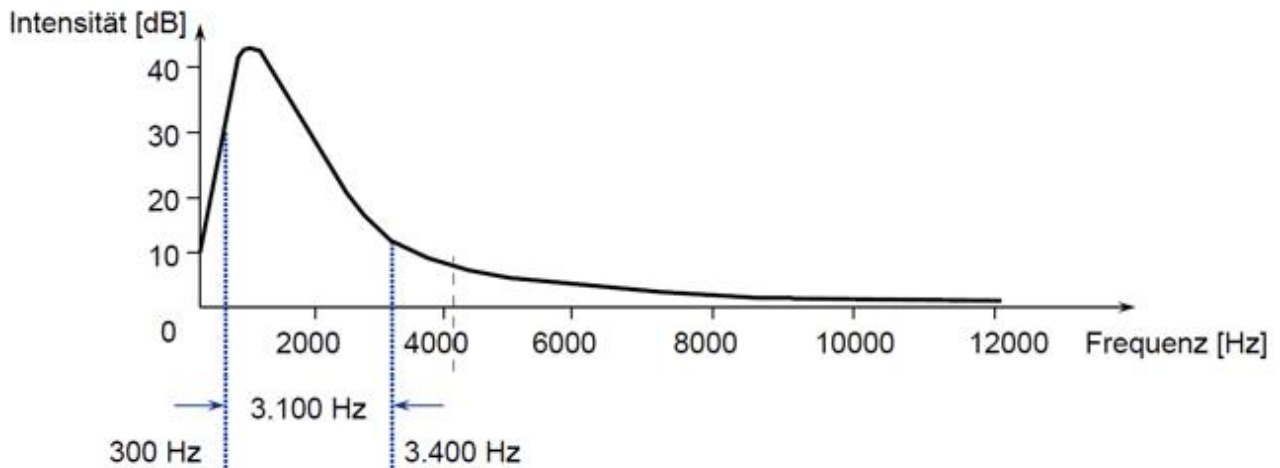


Abbildung 19 Spektrum der menschlichen Stimme

Die **Übertragung von Sprache** über eine Telefonfernleitung wird auf einen Frequenzbereich zwischen **300Hz .. 3400Hz** begrenzt. Die Bandbreite beträgt somit $3400\text{Hz} - 300\text{Hz} = 3100\text{Hz}$.

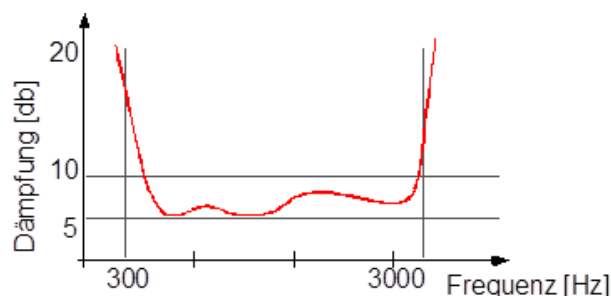


Abbildung 20 Signalübertragung auf einer Telefonleitung

- Oberhalb und unterhalb der **Grenzfrequenzen** werden die Frequenzanteile stark gedämpft, bzw. nicht übertragen.
- Innerhalb der Grenzfrequenzen erfolgt die Übertragung einigermaßen unverfälscht mit geringer Dämpfung und Verzerrung.
- Die abgeschnittenen Frequenzanteile fehlen gegenüber dem ursprünglichen Signal, weshalb das Ausgangssignal verzerrt aussieht.

Beispiele von Bandbreiten:

Audio-CD	22KHz
Fernsehsignal DVB-T	7MHz
WLAN IEEE-802 a/b	22MHz
Glasfaser – Ethernet	GHz Bereich

Beispiel: **Bandbreite und digitales Signal:**

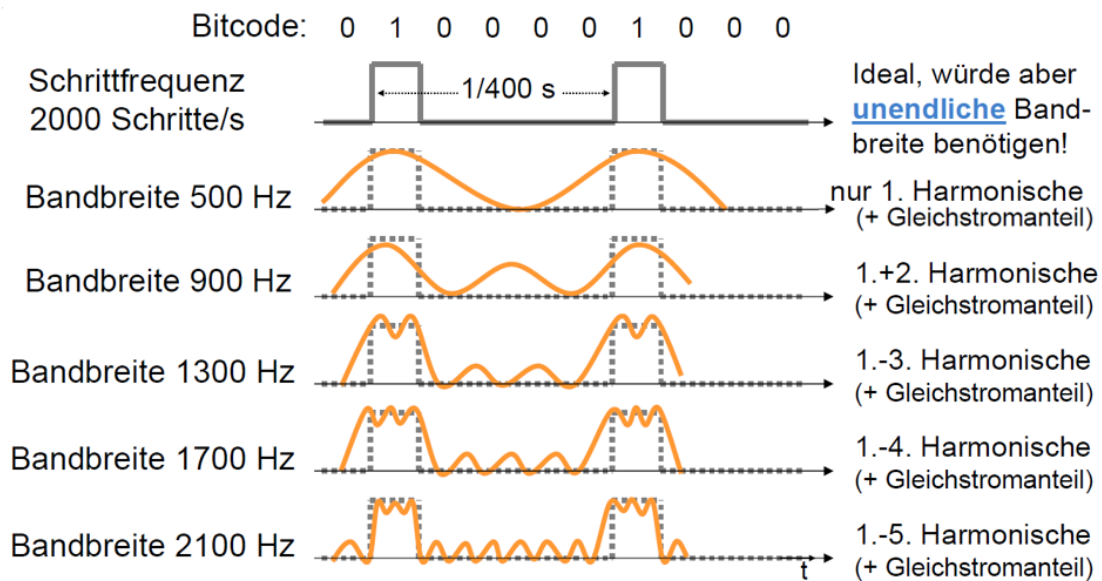


Abbildung 21 Bandbreite und digitales Signal

2.4.1 Abtasttheorem von Shannon

Frage: Wie häufig muss ein analoges Signal abgetastet werden, um es ohne Verluste rekonstruieren zu können?

Abtasttheorem: Die Abtastfrequenz f_{abtast} zur Digitalisierung eines Signals muss mehr als zweimal so hoch sein, wie die höchste Frequenz f_{grenz} jenes Sinussignals, das noch übertragen werden soll.

$$f_{\text{abtast}} > 2 * f_{\text{grenz}}$$

$f_{\text{abtast}} = 8$ (konstant)

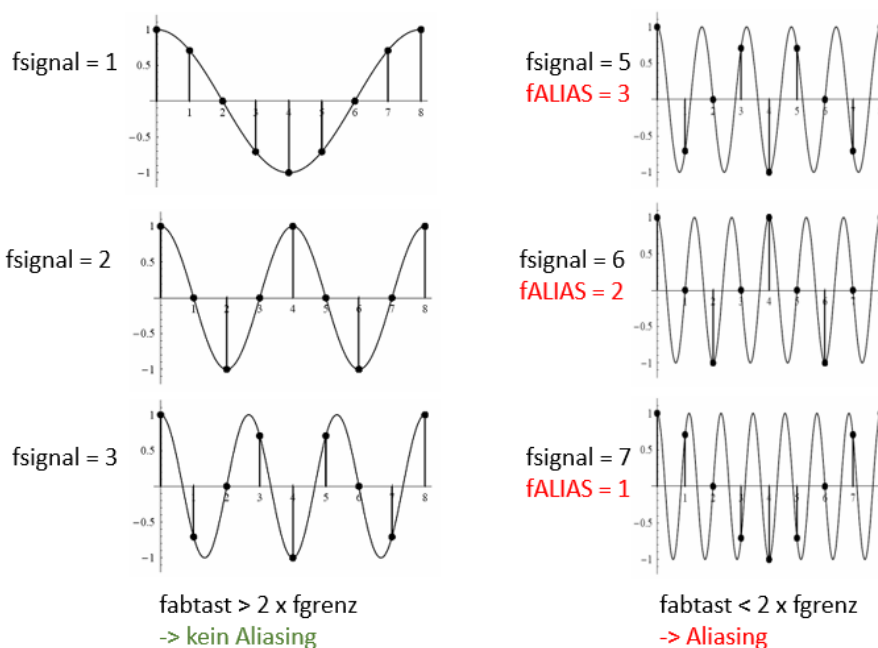


Abbildung 22 Aliasing

2.5 Daten- oder Bitrate, Baudrate

2.5.1 Daten- oder Bitrate

Die **Datenrate** gibt an, wie viele **Informationen pro Zeiteinheit** über ein beliebiges Übertragungsmediums gesendet werden können. Weil die kleinste Dateneinheit 1 Bit ist, verwendet man für die Datenrate häufig den verkürzten Begriff Bitrate.

- Angabe in **Bits pro Sekunde** (Bit/s oder bps)

Heute wird die **Datenrate** oft auch als **Bandbreite** oder **Übertragungsgeschwindigkeit** bezeichnet (nicht zu verwechseln mit der Bandbreite von analogen Übertragungskanälen) !

Beispiele von Datenraten unterschiedliche Übertragungsarten:

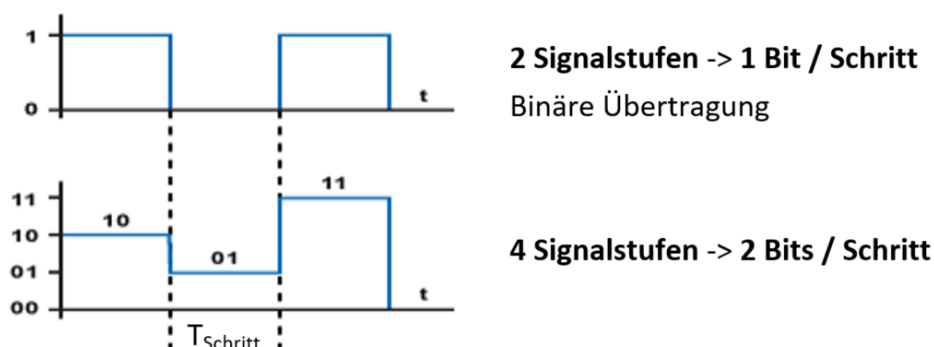
- Kurierdienst befördert 1024 Datenbänder mit je 800 GB in 24h:
 $1024 * 800 \text{ GB} / 24\text{h} = 800 * 1024^4 \text{ Bytes} / 86400\text{s} = \text{ca. } 80 \text{ Gbit/s}$
- ADSL: 8 Mbit/s
- Fast Ethernet: 100 Mbit/s
- USB 2.0: 480 Mbit/s
- Gigabit Ethernet: 1 Gbit/s

Bei **Bits pro Sekunde** sind die Vorsilben: k, M, G, ... immer als **10er-Potenzen**: 1000, 1000000, ... und nicht als 2er-Potenzen 1024, ... zu sehen!

2.5.2 Baudrate

Die **Baudrate** oder **Schrittgeschwindigkeit** gibt die Anzahl der gesendeten **Zeichen** (Symbole) oder **Signalzustände pro Zeiteinheit** an. Ein Signalzustand kann aus einem oder mehreren Bits bestehen.

- Angabe in Signalschritten / s = Baud



- Berechnung der Datenrate D aus der Baudrate

$$D = V_s * \log_2(n) \text{ in Bit/s}$$

V_s = Schrittgeschwindigkeit in Baud

n = Anzahl der Signalstufen

2.5.3 Begrenzung der Datenrate

- Begrenzung durch die zur Verfügung stehende **Bandbreite**. Berechnung der Datenrate aus der Bandbreite für einen idealen rauschfreien Kanal (Nyquist Theorem):

$$D = 2 * B * \log_2 (n) \text{ in Bit/s}$$

B = Bandbreite in Hz

n = Anzahl der Signalstufen

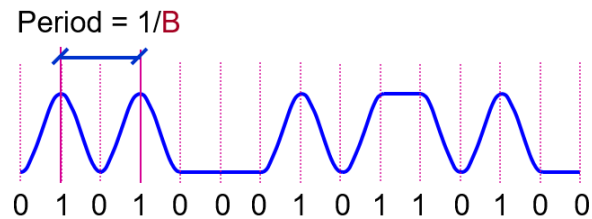


Abbildung 23 Zwei Bits / Zyklus

- Begrenzung durch das **Signal/Rausch-Verhältnis** des Signals. Die Anzahl der Signalstufen kann wegen des Rauschens nicht beliebig vergrößert werden (Shannon-Theorem).

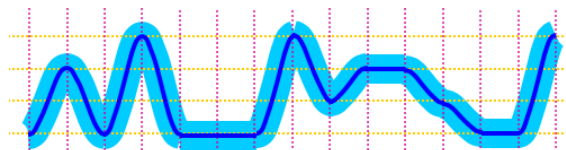


Abbildung 24 Rauschpegel größer als Signalstufe

2.6 Signalübertragung über ein Medium

Signale unterliegen physikalischen Gesetzmäßigkeiten und werden bei der Übertragung durch die Leitungseigenschaften beeinflusst.

Übertragungsfunktion: $y'(t) = F(x'(t), z'(t))$.. $x'(t)$ Eingang, $z'(t)$ Störung, $y'(t)$ Ausgang

2.6.1 Systematische Einflüsse auf die Übertragung

- Dämpfung:** Signalamplitude des Nutzsignals am Ausgang ist geringer als am Eingang
- Tiefpassfilterung:** höhere Frequenzen werden stärker gedämpft als niedrige
- Verzögerung:** die Übertragung benötigt eine gewisse Zeit
- Rauschen:** thermische Elektronenbewegungen in Halbleitern oder Leitungen

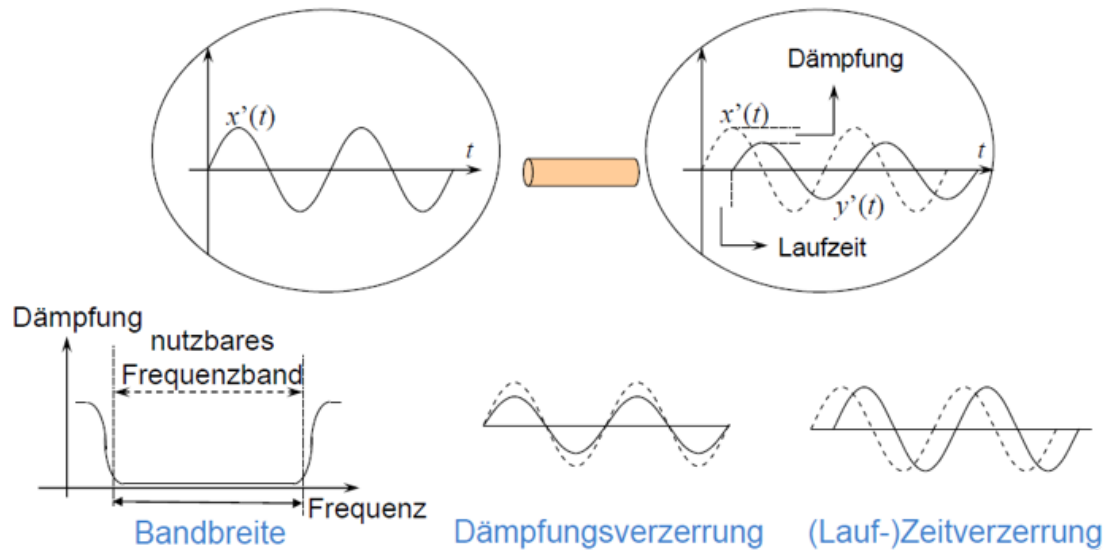


Abbildung 25 Dämpfungs- und Zeitverzerrung

2.6.2 Unerwünschte (zufällige) Einflüsse auf die Übertragung

- **Echobildung** durch Reflexionen an Stoßstellen und Gabelungen
- **Nebensprechen** bei parallel verlegten Leitungen
- **Brummsignale** durch niederfrequente Störsignale, z.B. 50Hz Netzbrummen
- **Störimpulse** mit kurzzeitig mit hoher Amplitude, z.B. Schalten von induktiven Lasten (Motor)

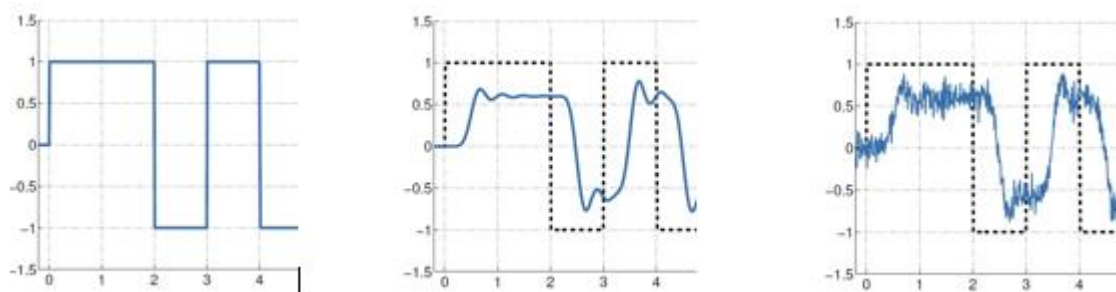


Abbildung 26 Sendesignal – Ideal - nach Dämpfungs- und Tiefpasseinflüssen - nach Rauscheinflüssen

2.7 Signalausbreitung und Beeinflussung

2.7.1 Laufzeit auf Leitungen

In Luft bzw. im Vakuum breiten sich elektromagnetische Signale mit Lichtgeschwindigkeit aus. Auf Leitungen breiten sich Signale langsamer aus, da das elektromagnetische Feld mit der Umgebung interagiert. Je nach Leitungstyp etwa mit 50..70% der Lichtgeschwindigkeit 3×10^8 m/s.

Als Richtwert für die **Signalausbreitung** in Kabeln kann man sich **5ns/m** merken.

Beispiel: Anzahl der Bits auf einer Leitung

Datenrate: 100Mbit/s -> **Bitzeit** = 1 / Datenrate = 10ns

Leitungslänge: 10m

Laufzeit des Signals vom Anfang bis zum Ende: 10m * 5ns/m = 50ns

Bits auf der Leitung: 50ns / 10ns = 5

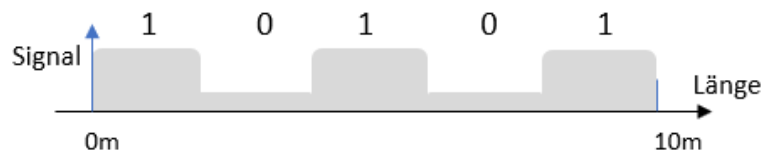


Abbildung 27 Bits auf einer Leitung

2.7.2 Wellenwiderstand

Der Wellenwiderstand ist der Widerstand (Impedanz), den eine Leitung der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle entgegenbringt. Er ist eine charakteristische Größe, die von Material und Geometrie des Kabelaufbaus abhängt. Der Wellenwiderstand ist unabhängig von der Länge der Leitung und lässt sich aus den **Leitungsbelägen** berechnen.

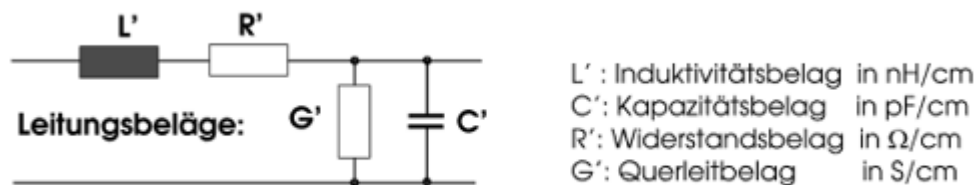


Abbildung 28 Ersatzschaltbild eines Leitungsstücks

Bei hohen Frequenzen > 10kHz werden der ohmsche Widerstandsbelag R' und der Ableitungsbelag G' gegenüber den frequenzabhängigen Termen des kapazitiven und induktiven Belags der Leitung nachrangig. Vernachlässigt man R' und $G' = 0$ ergibt sich die Gleichung für den Wellenwiderstand einer **verlustfreien Leitung**:

$$Z_w = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \text{ in } \Omega$$

Beispiele von Wellenwiderständen:

- Koaxialkabel RG59: 75 Ω
- Twisted Pair Kabel: ca. 100 Ω
- freier Raum: 376 Ω

2.7.3 Abschlusswiderstand (Terminierung)

Die Spannungsquelle liefert elektromagnetische Energie in die Leitung. Ist die Leitung am Ende offen- oder kurzgeschlossen, kann die Energie nicht umgewandelt werden und wird reflektiert. Auf der Leitung überlagern sich dann hin- und rücklaufende Wellen.

Bei Abschluss einer Leitung mit einem ohmschen Widerstand gleich dem Wellenwiderstand, verhält sich eine verlustfreie Leitung so, als ob sie nicht vorhanden und der Abschlusswiderstand direkt mit der Spannungsquelle verbunden wäre. Dadurch werden Reflexionen verhindert.

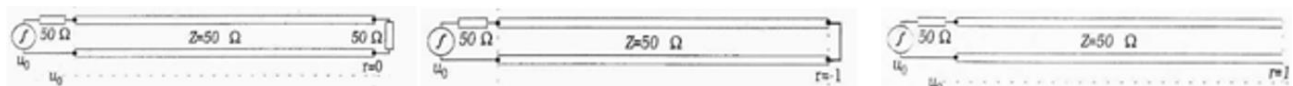
Beispiel: Signalausbreitung auf einer Leitung

Leitungslänge ca. 3m -> Laufzeit bis zum Leitungsende ca. $3\text{m} \times 5\text{ns/m} = 15\text{ns}$

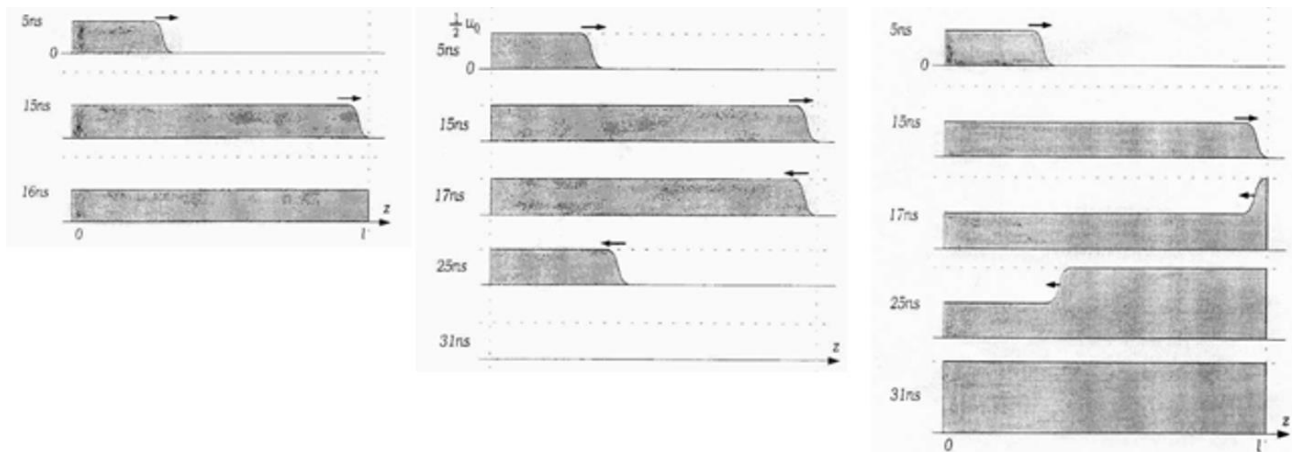
3 Fälle:

- abgeschlossene Leitung: keine Reflexion
- kurzgeschlossene Leitung: rücklaufende Welle löscht hinlaufende Welle aus
- offene Leitung: rücklaufende Welle addiert sich zu hinlaufender Welle

Spannungsquelle: $R_i = 50\Omega$, Wellenwiderstand $Z_w = 50\Omega$



Signalverlauf über dem Ort (0..3m):



Signalverlauf über der Zeit:



Abbildung 29 Signalverlauf auf einer abgeschlossenen, kurzgeschlossenen und offenen langen Leitung

2.7.4 Elektrisch lange Leitung

Eine Leitung ist dann als elektrisch lang zu betrachten, wenn die einfache Laufzeit der Leitung größer als ca. $\frac{1}{6}$ der **minimalen Anstiegszeit** der Signale ist.

Beispiel: max. Länge einer Signalleitung

Ein AVR- μP ist ein typischer, digitaler IC. Die minimale Anstiegszeit beträgt ca. 5ns. Nach obiger Formel darf die Laufzeit für eine nicht lange Leitung nur $\frac{1}{6} \cdot 5\text{ns} \approx 0,83\text{ns}$ betragen.

Bei einer Signalgeschwindigkeit von 5ns/m beträgt die Länge $0,83\text{ns} / 5\text{ns/m} \approx 0,17\text{ m}$

2.7.5 Nah-Nebensprechen (NEXT) / Fern-Nebensprechen (FEXT)

Unter Nebensprechen versteht man den ungewollten Einfluss elektrischer Signale von einem Nachrichtenweg in den anderen. Nebensprechen entsteht bei symmetrischen Leitungen dadurch, dass jede stromführende Ader ein elektromagnetisches Feld bildet, das seinerseits in den Nachbaradern Spannungen induziert. Dieses Störsignal ist immer an beiden Enden der gestörten Leitungen messbar. Die in der Orientierung nahe beim Sender auftretende Störung nennt man Nah-Nebensprechen, die am entfernten Ende auftretende Störung Fern-Nebensprechen.

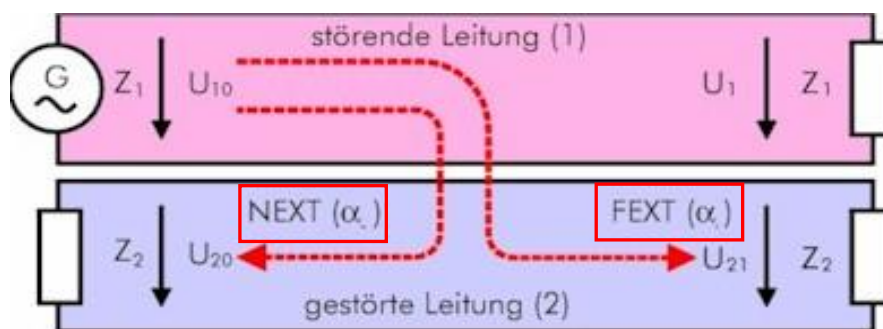


Abbildung 30 Nebensprechen

3 Übertragungsmedien

3.1 Arten von Übertragungsmedien

- **Leitungsgebundene Übertragung**
 - Elektrischer Leiter: Daten werden über Twisted-Pair-Kabel oder Koaxialkabel in Form elektrischer Impulse übertragen
 - Lichtwellenleiter: Daten werden als Lichtimpulse übertragen
- **Drahtlose Übertragung**
 - Funktechnik: Daten werden als elektromagnetische Wellen übertragen
 - Infrarot: elektromagnetische Wellen im Bereich unsichtbaren Spektrum
 - Laser: Daten werden via Laser-Bridge als Lichtimpulse übertragen

3.2 Anforderungen an das Übertragungsmedium

- **gute Übertragungseigenschaften**
 - geringe Dämpfung und Verzerrung des Nutzsignals
- **unempfindlich sein gegenüber Störungen und Beschädigungen:**
 - elektrische Beeinflussung (elektrische und magnetische Felder)
 - mechanische Beeinflussung (Schwingungen)
 - Umwelteinflüsse (Temperaturschwankungen, Freiluft, Industrieluft, Meeresluft)

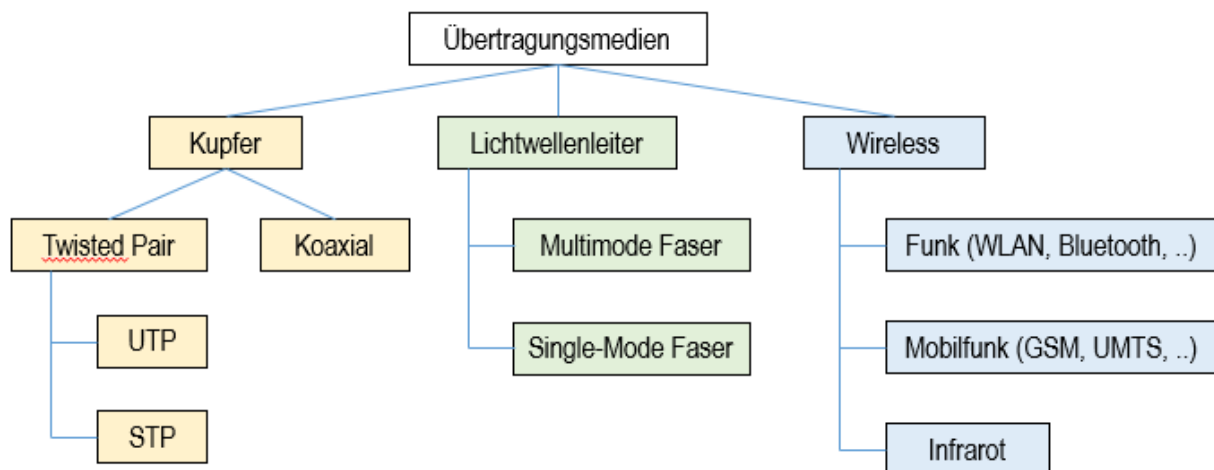


Abbildung 31 Arten von Übertragungsmedien

3.3 Leitungsgebundene Übertragungsmedien

3.3.1 Twisted Pair Kabel

- 2 oder 4 Aderpaare aus Kupferlitzen
- Jedes Aderpaar ist verdreht (daher die Bezeichnung twisted pair)
- Zweite Ader eines Paares führt inversen Signalpegel (differentielle Kodierung)
- Verdrehung und inverse Signalpegel reduzieren Übersprechen

- RJ-45 oder schmalerer RJ-11 Steckverbinder

Vom Aufbau unterscheidet man Kabel ohne oder mit Schirmung:

- **Unshielded Twisted Pair** - UTP
- **Shielded Twisted Pair** - STP

Die Schirmung hat Einfluss auf die Signalqualität und die Flexibilität der Kabel (gut geschirmte Kabel sind steifer).

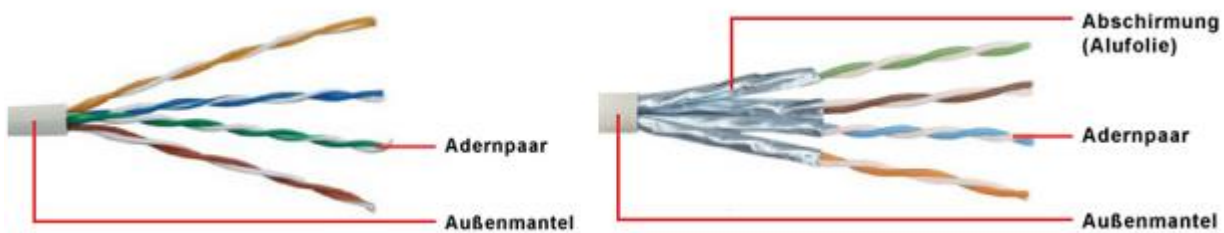


Abbildung 32 UTP und STP Kabel

Verwendung:

- Lokale Netzwerke (die meisten Ethernet-Standards) mit RJ-45
- Steckverbinder Telefonanschluss (analog und ISDN) mit RJ-11 Steckverbinder

Kategorien von Twisted-Pair-Kabeln:

Kabelkategorie	Bandbreite	Anwendungsbeispiel
CAT 5	100 MHz	100BASE-TX: 100 Mbit/s Fast Ethernet 1000Base-T: 1 Gbit/s Ethernet
CAT 6	250 MHz	1000Base-T: 1 Gbit/s Ethernet
CAT 7	600 MHz	10GBASE-T: 10 Gbit/s Ethernet

3.3.2 Koaxialkabel

- Zweipolige Kabel mit **konzentrischem Aufbau**
- Der innere Leiter (Seele) führt das Signal, der äußere Leiter liegt auf Masse (Grundpotential)
- metallische Ummantelung reduziert elektromagnetische Störungen und Abstrahlungen
- abstrahlungsarm, praktisch kein Feld im Außenbereich

Verwendung:

- Einsatz im TV-Kabelnetz
- früher in LANs: IEEE 802.3a, 10Base2 Ethernet mit 10Mbits/s (heute obsolet)

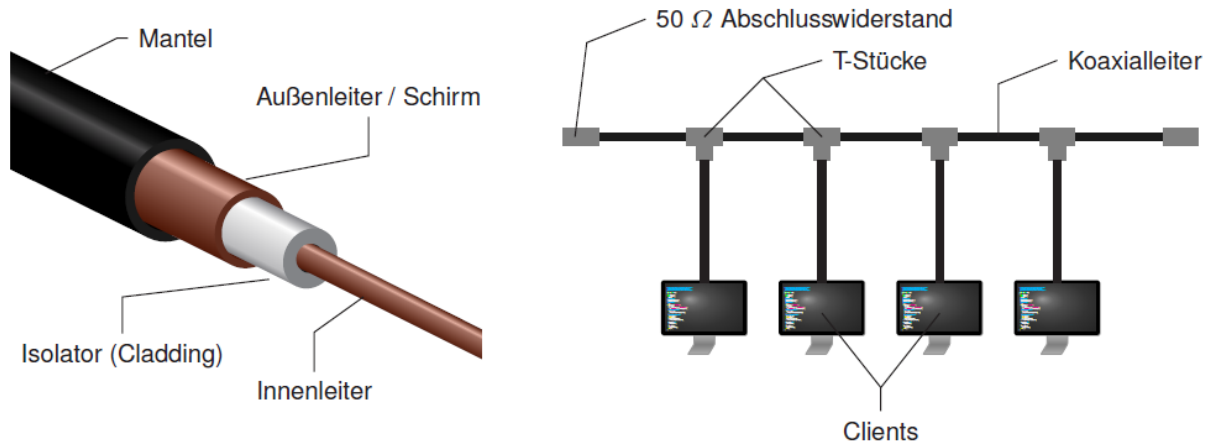


Abbildung 33 Koaxialkabel, 10Base2 Bus

3.3.3 Lichtwellenleiter

Lichtwellenleiter sind aus Lichtleitern bestehende und teilweise mit Steckverbindern konfektionierte Kabel und Leitungen zur Übertragung von Licht. Das Licht wird dabei in Fasern von 2-100µm aus Quarzglas oder Kunststoff geführt.

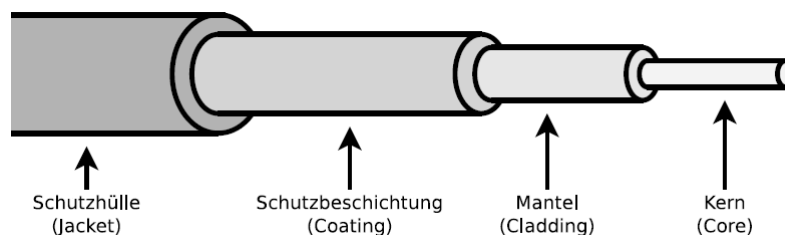


Abbildung 34 Lichtwellenleiterkabel

Kern und Mantel besitzen jeweils unterschiedliche optische Dichten und sorgen so für annähernde Totalreflexion des Lichts im Kern.

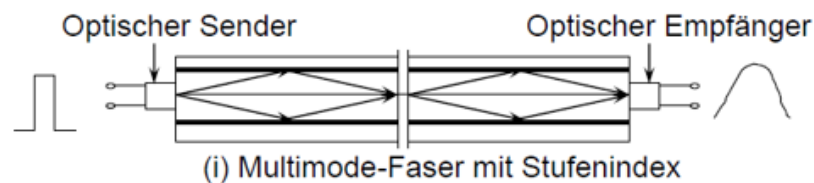
Vorteile und Nachteile gegenüber elektrischen Leitern:

- Sehr hohe Datenraten über weite Strecken möglich (Gbit/s Bereich)
- Kein Übersprechen
- Galvanische Entkopplung von Sender und Empfänger
- Höherer Konfektionsaufwand
- empfindlich gegenüber mechanischer Belastung
- Einschränkungen bei der Verlegung (Krümmungsradien)

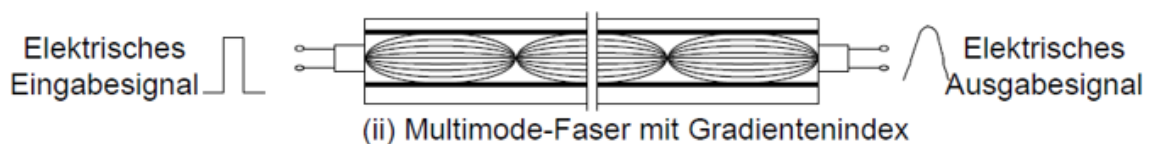
Man unterscheidet Lichtwellenleiter nach dem **Verlauf des Brechungsindex** zwischen Kern und Mantel (Stufenindex- oder Gradientenindexfasern) und der **Anzahl von ausbreitungsfähigen Schwingungsmoden**, die durch den Kerndurchmesser limitiert wird.

- **Singlemode-Fasern** vermeiden Streuung durch sehr geringen Kerndurchmesser.
 - geringe Verluste, aber sehr empfindlich (Kabelbruch)
 - Kerndurchmesser klein, 2–10 μm , enger Einstrahlwinkel, nur eine Grundmode
 - Entfernung bis 70km
 - teuer, Laserdiodenansteuerung
- **Multimode-Fasern** haben einen größeren Kerndurchmesser und neigen daher zum Streuen
 - höhere Verluste, aber mechanisch weniger empfindlich
 - Kerndurchmesser groß: 50–125 μm , mehrere tausend Moden
 - Entfernung bis 1km, Pulsverbreiterung begrenzt die mögliche Datenrate
- **Multimode-Gradientenindexfasern**
 - Abmessungen wie Multimode-Fasern
 - besitzen durch unterschiedliche Brechungsindices im äußeren Kernbereich ein sinusförmiger Strahlenverlauf -> geringere Pulsverbreiterung

Multimode-Faser mit Stufenindex



Multimode-Faser mit Gradientenindex



Monomode-Faser



Abbildung 35 Typen von Lichtwellenleitern

Beispiel Einsatz Lichtwellenleiter: TAT14 „Trans Atlantic Telephone Cable Number 14“

- Verbindet seit 2001 Europa mit Nordamerika
- Gesamtkosten: 1,2 Milliarden Euro
- 15000 Kilometer, ca. 5 cm dick
- Befindet sich 1 Meter tief im Meeresboden
- 3.2Tbps, Verstärker alle 50-70 Kilometer

Siehe: <https://www.submarinecablemap.com/>

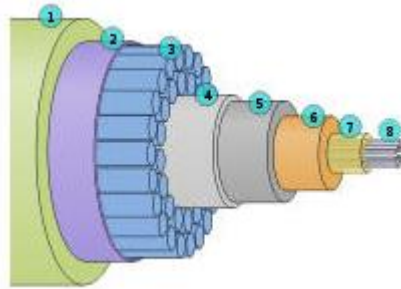


Abbildung 36 Aufbau eines Seekabels (1..7 Schutzmäntel, 8 = LWL)

3.4 Drahtlose Übertragung

Anwendungen:

- Öffentliche Mobilfunknetze (GSM-, UMTS, LTE, ...)
- Mikrowellenrichtfunk im Fernmeldenetz
- WLAN, Bluetooth, ...
- Infrarotübertragung

Vorteile der Wireless-Technologie gegenüber der Verkabelung:

- Größere Mobilität und Bewegungsfreiheit
- Vermeidung von teurer und wartungsintensiver Verkabelung
- Hohe Flexibilität bei Änderungen in der Anlage
- Erhöhte persönliche Sicherheit in gefährlichen Bereichen (zB die Besteigung eines Krans)
- Einfache Integration von Geräten in das Netzwerk

Reduzierte Zuverlässigkeit bei der Funkübertragung durch:

- Witterungseinflüsse wie Regen oder Schnee
- Atmosphärische Störungen
- Abschattungen und Überlagerungen
- Mehrwegausbreitung und Reflexionen

3.4.1 Wireless LAN und Bluetooth

Doch mit der Modernisierung industrieller Netzwerke und der Entstehung verschiedener Ethernet-Protokolle, hat es eine zunehmende Nachfrage nach **standardisierten Drahtlos-Technologien** gegeben.

In den letzten 10 Jahren haben Technologien wie **Wireless LAN** (IEEE 802.11) und Bluetooth (IEEE 802.15.1) die dominierende Rolle übernommen.

	Bluetooth	Bluetooth LE	WLAN
Datendurchsatz	+/-	-	++
Robustheit	++	++	+/-
Reichweite	10-300 m	10-250 m	50-300 m
Lokale Systemdichte	++	++	-
Niedrige Latenz	+++	++	+/-
Geschw. Verbindungsaufbau	-	++	+/-
Stromverbrauch	+	+++	-
Kosten	+	++	-

Bluetooth:

Wenn die **Robustheit / Stabilität** der Verbindung oder die Kosteneffizienz im Vordergrund stehen, ist Bluetooth das Medium der Wahl. Die Bluetooth-Technologie verfügt über 79 Kanäle mit einer **Bandbreite von 1 MHz** und kombiniert diese mit dem *Adaptive Frequency Hopping* (AFH). AFH überwacht die Bitrate und wenn Störungen auftreten wechselt Bluetooth den Kanal. Der Kanal wird im Hintergrund überwacht und sobald er wieder frei ist, kann er wieder verwendet werden.

Bluetooth Low Energy:

Da ein Gerät mit Bluetooth LE die meiste Zeit im Sleep-Modus ist, beträgt der maximale Spitzenstromverbrauch nur 15 mA und der durchschnittliche **Stromverbrauch** nur etwa 1 μ A.

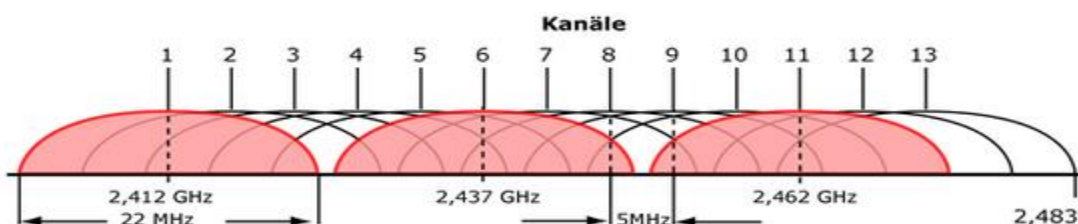
Verbindungszeiten betragen nur wenige Millisekunden. Dadurch wird die Verbindung schnell aufgebaut, wenn das Gerät aufwacht.

WLAN:

Wenn ein hoher Datendurchsatz am wichtigsten ist, wird vorzugsweise WLAN eingesetzt. Die Bandbreite je Kanal beträgt 20Mhz, im 5Ghz Band auch 40Mhz.

2,4-GHz-Band: 13 überlappende Kanäle (3 davon nicht überlappend: 1, 6, 11)

5GHz-Band: 19 zusätzliche nicht überlappende Kanäle



4 Übertragungsverfahren und Umformung

Bei der Übertragung von digitalen Signalen werden zwei Übertragungsverfahren unterschieden:

- **Basisbandübertragung** = Übertragung des Quellsignals im ursprünglichen Frequenzbereich
Umformung digitales Quellensignal in ein digitales Übertragungssignal (=Leitungscodierung)
- **Übertragung durch Modulation** = Aufprägung des Quellsignals auf ein analoges Trägersignal
Umformung digitales Quellensignal in ein analoges Übertragungssignal

4.1 Basisbandübertragung

Das Signal wird in seinem ursprünglichen Frequenzbereich übertragen. Vor der eigentlichen Übertragung ist eine elektrische Anpassung an die Leitung erforderlich.

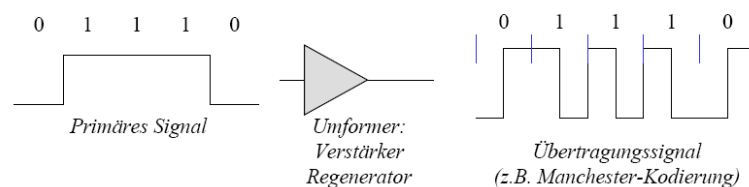


Abbildung 37 Basisbandübertragung

- einfaches Verfahren; typisch für lokale Netzwerke und Bussysteme
- primäres Signal muss an die Leitung angepasst werden (z.B. Signalpegel)
- Umformung digital -> digital (= Leitungscodierung)

4.2 Leitungscodes

Auch bei digitalen Daten und digitaler Signalübertragung muss die Codierung der Daten in eine für die Übertragung zweckmäßige Codierung des Signals umgewandelt werden.

Ein **wesentliches Ziel der Leitungscodierung** ist die Übertragung mit **hohen Datenrate** in einem möglichst **kleinen Frequenzbereich** (kleine erforderliche Bandbreite).

Eigenschaften von Leitungscodes:

- Anzahl der Signalstufen (binär, ternär, . . .)
- Anzahl kodierter Bits pro Symbol (Symbolrate, Baudrate)
- Taktrückgewinnung
- erforderliche Bandbreite (Signalspektrum)
- elektrischen Anpassung (z.B. gleichspannungsfreie Übertragung)

Je nach Art der verwendeten Leitungscodierung haben Leitungscodes Einfluss auf die benötigte Kanalbandbreite. Als Daumenregel gilt: Je mehr abrupte Signalwechsel stattfinden, desto breiter ist das benötigte Spektrum.

4.2.1 Non-Return-To-Zero (NRZ)

Häufig wird ein binäres Digitalsignal im unipolaren *Non-Return-to-Zero* Format dargestellt. Eine logische Eins (engl. mark) wird mit dem normierten Pegel 1 übertragen, während eine logische Null (engl. space) mit dem Pegel 0 dargestellt wird.

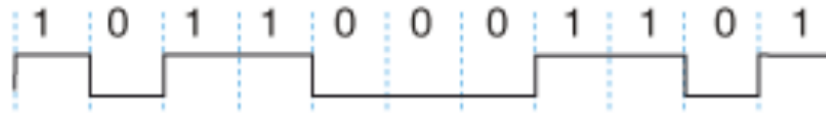


Abbildung 38 NRZ Leitungscodierung

- binärer Code (zwei Signalstufen)
- eingeschränkte Taktrückgewinnung (bei langen Null- oder Einsfolgen)
- keine Gleichstromfreiheit
- Anwendung: entsteht bei der einfachen Serialisierung von digitalen Zeichen

4.2.2 Non-Return-To-Zero-Inverted (NRZI)

Die NRZI-Kodierung ordnet einem der beiden Bit-Werte den bereits anliegenden **Leitungszustand** zu, dem anderen Bit-Wert einen **Zustandswechsel** (Inversion). Daraus ergibt sich unmittelbar die Polaritätsfreiheit. Ein Verpolen der Übertragungsleitung ändert nicht die Bitfolge.



Abbildung 39 RZ Leitungscodierung

- binärer Code (zwei Signalstufen)
- verpolungssicher
- eingeschränkte Taktrückgewinnung bei langen 0-Folgen (wenn Wechsel bei 1)
- keine Gleichstromfreiheit
- Anwendung: USB, CD-ROM, Ethernet

4.2.3 Manchester-Code

Die Manchester-Kodierung teilt das Signal für jeweils ein **Bit in zwei Phasen**. In der ersten Phase wird das Bit selbst codiert (wie bei NRZ), in der zweiten Phase erfolgt ein Signalwechsel. Wird ein 0-Bit dargestellt, so besteht das Signal aus einem Low-Signal gefolgt von einem High-Signal. Ein 1-Bit ist ein High-Signal mit darauffolgendem Low-Signal.



Abbildung 40 Manchester-Codierung

- binärer Code (zwei Signalstufen)
- gleichstromfrei, da jeder Grundimpuls für sich gleichstromfrei ist
- sichere Taktrückgewinnung wegen erzwungenem Pegelwechsel
- doppelte Kanalbandbreite erforderlich
- Anwendung: ASi-Bus, Ethernet 10Base-T (10Mbit/s)

4.2.4 5-Level Pulse Amplitude Modulation (PAM5)

Bei der PAM5-Kodierung wird pro Takt ein Symbol übermittelt, das einen von 5 Zuständen darstellt (5 Spannungspegel).

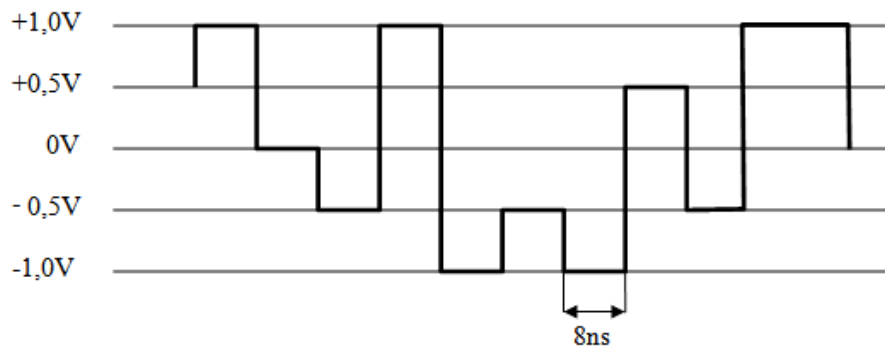


Abbildung 41 PAM5 Codierung

- Übertragung von 2 Bit pro Takt (00, 01, 10, 11) wozu 4 Spannungspegel erforderlich sind. Der fünfte verfügbare Pegel wird für die Fehlererkennung verwendet (**4B5B-Blockkodierung**)
- Die Zuordnung zwischen Kanalwörtern und Codewörtern wird so gewählt, dass mit jedem Symbol ein Signalwechsel auftritt (Taktrückgewinnung)
- Die Übertragung erfolgt auf allen 4 Leitungspaaren mit max. **125Mbaud**
-> ergibt auf 4 Leitungen mit 2 Bits Nutzinformation / Symbol: $125 * 4 * 2 = 1 \text{ Gbit/s}$
- Anwendung: **Gigabit Ethernet** 1000Base-T

4.3 Modulation

Unter Modulation versteht man das Verändern eines oder mehrerer **Parameter eines Trägersignals** in Abhängigkeit von einem informationstragenden Basisbandsignal.

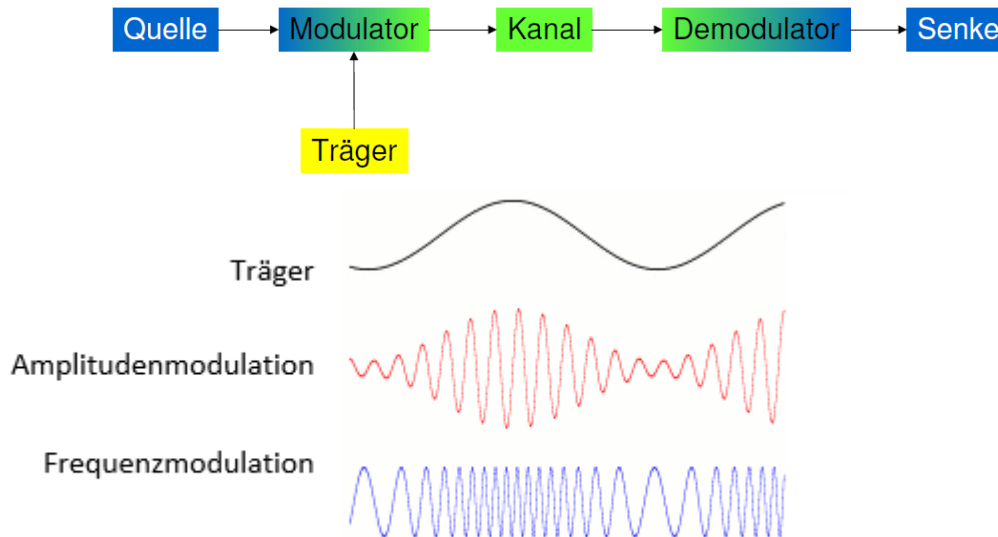


Abbildung 42 Modulation

Sinn und Zweck der Modulation:

- Die Modulation dient einer **frequenzmäßigen Anpassung** an den verwendeten Übertragungskanal. Beispiel: Der Frequenzbereich des Audiobands für Sprache und Musik umfasst 20 Hz bis 20 kHz. Soll diese Bandbreite per Funksignal als elektromagnetische Welle übertragen werden, so kann das nicht in diesem Basisband geschehen.
- Durch Modulation wird eine **Mehrfachausnutzung eines Übertragungsmediums** möglich. Im Frequenzmultiplexverfahren werden verschiedene Signale in gestaffelt nebeneinanderliegende Frequenzbereiche umgesetzt. Im Empfänger lassen sich die Signale getrennt ausfiltern. Als Beispiel sind die Rundfunk- und Fernsehsender im Funk- und Kabelnetz zu nennen.

4.3.1 Trägersignale

- **Sinusförmige (analoge) Trägersignale:** Sie werden zur Kanalanpassung und zum Frequenzmultiplexing verwendet.
- **Pulsförmige (digitale) Trägersignale:** Sie werden zur Basisbandübertragung und zum Zeitmultiplexing eingesetzt.

Es lassen sich grundsätzlich vier **Modulationsarten** unterscheiden:

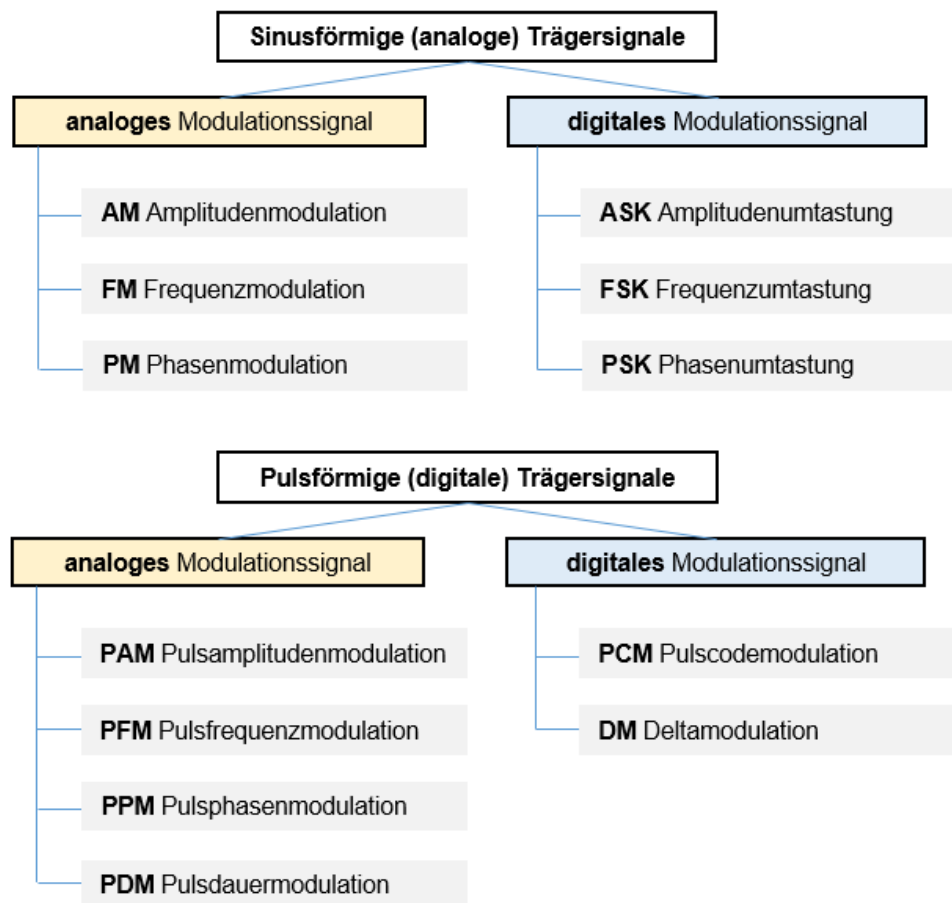


Abbildung 43 Modulationsarten

Beispiel: **Übertragung digitaler Signale im Telefonnetz mit FSK oder PSK:**

Werden digitale Signale z. B. über ein traditionelles Telefonnetz übertragen, so benötigt man ein **Modem (Modulator/Demodulator)**. Das Modem wandelt beim Sender digitale Nachrichtensignale in analoge Signale um. Beim Empfänger erfolgt die entsprechende Rückwandlung der analogen Signale in digitale Nachrichtensignale.

4.3.2 Amplitudenumtastung - Amplitude Shift Keying (ASK)

Das digitale Quellsignal wird durch Amplitudenveränderung auf das Trägersignal moduliert. Eine Amplitude entspricht der logischen 0, die andere der logischen 1. Die Trägerfrequenz bleibt konstant. Die Amplitudenmodulation ist sehr störanfällig.

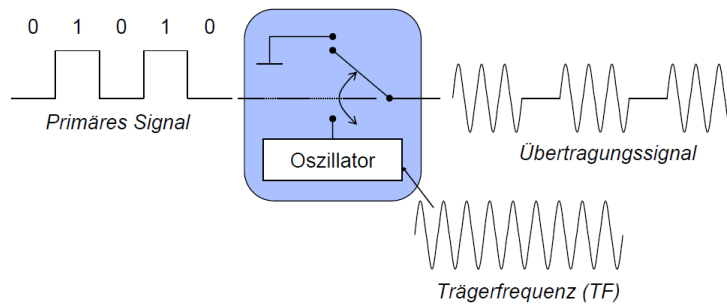


Abbildung 44 Amplitudenumtastung

4.3.3 Frequenzumtastung - Frequency Shift Keying (FSK)

Das digitale Quellsignal wird durch gezielte Änderung der Trägerfrequenz moduliert. Den beiden digitalen Werten 0 und 1 werden zwei unterschiedliche Frequenzen zugeordnet. Frequenzmodulation ist das, unter anderem auch bei UKW-Rundfunk eingesetzte Modulationsverfahren.

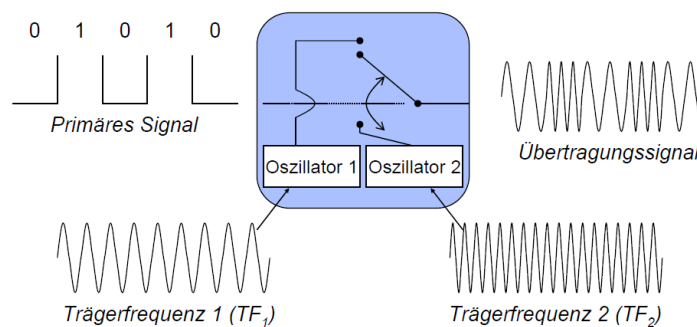


Abbildung 45 Frequenzumtastung

4.3.4 Phasenumtastung - Phase Shift Keying (PSK)

Das digitale Quellsignal wird mittels gezielter Phasensprünge des Trägersignals moduliert. Den beiden Zuständen 0 und 1 entsprechen verschiedene Phasenlagen der Trägerfrequenz, z. B. 0° für die logische 0 und 180° für die logische 1. Bei dieser Umtastung bleiben Amplitude und Frequenz konstant.

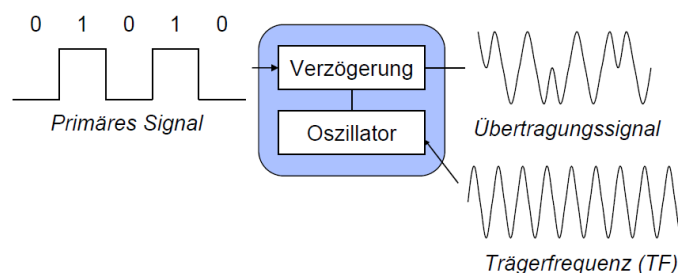


Abbildung 46 Phasenumtastung

4.4 Modulationstechniken in der digitalen Kommunikation

Für die Modulationstechniken in der digitalen Kommunikation stehen die drei Dimensionen **Amplitude**, **Frequenz** und **Phase** zur Verfügung. Um eine Null oder eine Eins zu kodieren, sind im einfachsten Fall zwei Zustände von Amplitude, Frequenz oder Phase erforderlich. Mit aktueller Elektronik sind jedoch sehr viel feinere Unterschiede als nur zwei entgegengesetzte Zustände modellierbar.

In der digitalen Mobiltelefonie der **zweiten Mobilfunkgeneration** werden die Informationen mit **Phasenumtastung** kodiert. GSM verwendet die Modulation 2-PSK (2 Phasenlagen 0 und 180°), EDGE als Weiterentwicklung von GSM 8-PSK (8 Phasenlagen im Abstand 45°).

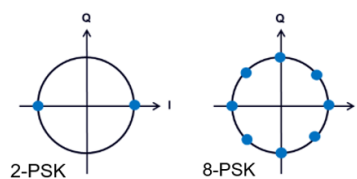


Abbildung 47 Phase Shift Keying mit 2 und 8 Zuständen

Ab der **dritten Mobilfunkgeneration** kommt eine Kombination aus Phasen- und Amplitudenmodulation, die **Quadraturamplitudenmodulation (QAM)**, zum Einsatz. LTE verwendet 16-QAM und 64-QAM. 5G wird mit 64-QAM betrieben und soll im Endausbau 256-QAM unterstützen. Damit lassen sich 8 Bit oder ein Byte pro Symbol kodieren.

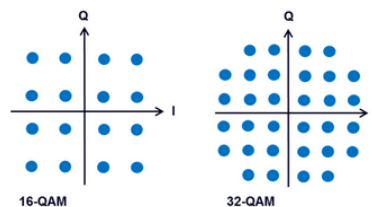


Abbildung 48 Quadraturamplitudenmodulation mit 16 und 32 Zuständen pro Symbol

Infos zu Mobilfunkstandards vom Europäischen Institut für Telekommunikationsnormen:
<https://www.etsi.org/technologies/mobile/>

4.5 Mehrfachnutzung von Übertragungsmedien

Bei der Mehrfachnutzung greifen mehr als zwei Dienstnehmer auf dasselbe Übertragungsmedium zu. z.B. Nutzung von Internet Verbindungen.

4.5.1 Frequenzmultiplex

Die gesamte verfügbare Bandbreite wird in **einzelne Frequenzabschnitte** aufgeteilt. Jeder Übertragungskanal belegt einen Frequenzabschnitt über den gesamten Zeitraum.

Vorteile:

- keine zeitliche Koordination der Kanäle erforderlich
- auch zur Übertragung analoger Signale geeignet

Nachteile:

- Bandbreitenverschwendung bei ungleichmäßiger Belastung

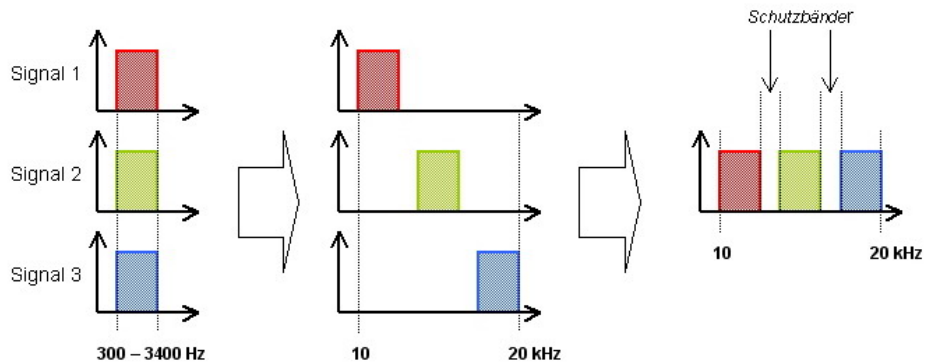


Abbildung 49 Frequenzmultiplex

4.5.2 Zeitmultiplex

Jeder Kanal belegt den gesamten Frequenzbereich für einen gewissen Zeitabschnitt (z.B. wie bei Basisbandübertragung). Die Daten werden paketweise übertragen (Paketvermittlung).

Vorteile:

- der Durchsatz bleibt auch bei hoher Teilnehmerzahl hoch

Nachteile:

- genaue Zeitsynchronisation notwendig

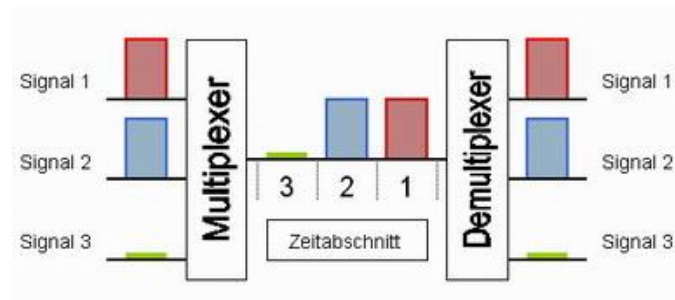


Abbildung 50 Zeitmultiplex

5 RFID - Eine Anwendung der Modulationsverfahren

RFID (engl. **R**adio **F**requency **I**dentification „Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen“) bezeichnet eine Technologie für Sender-Empfänger-Systeme zum **automatischen und berührungslosen identifizieren und lokalisieren von Objekten und Lebewesen** mit Magnetfeldern oder Radiowellen.

5.1 Aufbau

Ein RFID-System besteht aus:

- einem **Lesegerät** mit Kopplungseinheit (Spule bzw. Antenne)
- einem **RFID-Transponder** (RFID-Tag) mit einem gekennzeichneten Code (ID)
- einer **Auswerteeinheit (PC)**

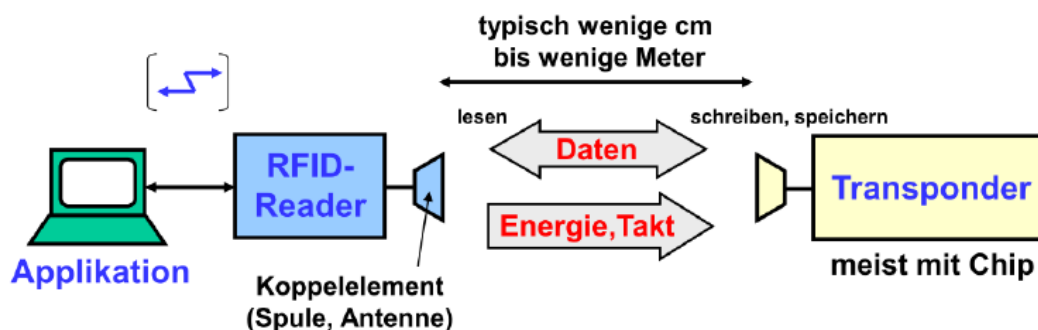


Abbildung 51 RFID - System

Die Kopplung zwischen Lesegerät und Transponder erfolgt durch ein vom Lesegerät erzeugtes **hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld**. Während der Kopplung werden über das Wechselfeld nicht nur **Daten** ausgetauscht, sondern der **Transponder auch mit Energie versorgt**. Zur Erreichung größerer Reichweiten werden **aktive Transponder** mit eigener Stromversorgung eingesetzt, die jedoch mit höheren Kosten verbunden sind.

Das **Lesegerät** enthält eine Hard- und Software, die den eigentlichen Leseprozess steuert, und eine Schnittstelle zur **Anbindung an eine Auswerteeinheit (PC)**.

5.2 Ausführungsformen

RFID-Systeme existieren in unzähligen Varianten. Sie unterscheiden sich nach:

- **Übertragungsfrequenz** -> Reichweite -> Übertragungsart
- **Verwendungszweck** -> Ausführungsform

Ausführungsformen:

- **Transponder im Spritzgießgehäuse**, z.B. für Zutrittssysteme
- **Kontaktlose Chipkarten** in der Größe von Kreditkarten
- **Glastransponder** in Reiskorngröße zur Identifikation von Tieren
- **Smart Labels** zur elektronischen Warensicherung (EAS = Electronic Article Surveillance)

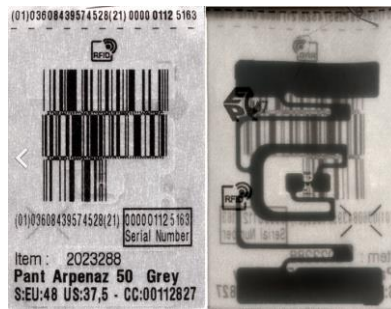


Abbildung 52 RFID-Etikett in einem Kleidungsstück

5.3 Prinzipielle Funktionsweise

Der Aufbau eines RFID-Transponders sieht grundsätzlich folgende Komponenten vor:

- eine **Spule** oder **Antenne**
- einen **analogen Schaltkreis** zum Empfangen und Senden (Transceiver)
- optional: einen **digitalen Schaltkreis** (Mikrochip) mit permanentem Speicher

Ablauf einer Kommunikationsverbindung:

- Das Lesegerät erzeugt ein **hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld**.
- Der Transponder **entzieht dem Wechselfeld Energie** zur Aktivierung seinen Mikrochips.
- Der so aktivierte **Mikrochip decodiert** die vom Lesegerät **empfangenen Daten**.
- Die **Antwort** wird vom Mikrochip **in das eingestrahlte Wechselfeld moduliert**.

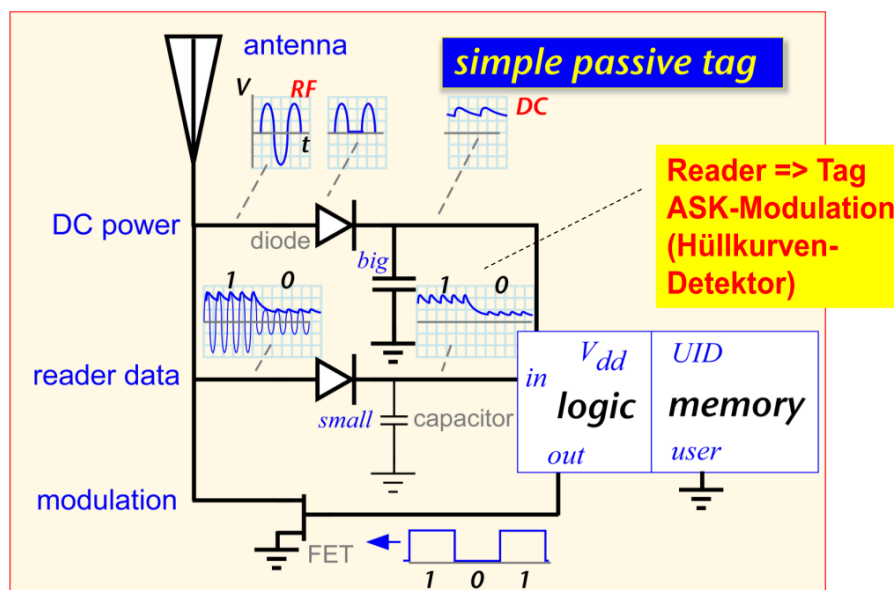


Abbildung 53 Aufbau eines passiven Tags

- **DC power:** Die Diode richtet das empfangene Signal gleich. Der **big capacitor** speichert die nötige Energie für die Elektronik, die er als Versorgungsspannung V_{dd} zur Verfügung stellt.
- **reader data:** Die Diode richtet das empfangene Signal gleich. Der **small capacitor** mit kleinerer Kapazität bildet die Hüllkurve des amplitudenmodulierten Signals (Demodulator).
- **modulation:** Durch das Schalten des FET wird das Feld des Lesegeräts beeinflusst und damit die eigenen Daten zurückgesendet (Modulation).

Kopplung im Nahfeld über Spulen:

- Datenübertragung vom Reader zum Transponder über **induktive Kopplung**
- Datenübertragung vom Transponder zum Reader durch **Lastmodulation**
- Frequenzen: **LF**: 125 / 134 kHz und **HF**: 13.56 MHz
- Schreib- und Lesereichweiten **einige cm .. 1m**



Abbildung 54 13.56 MHz HF-Transponder mit Spule

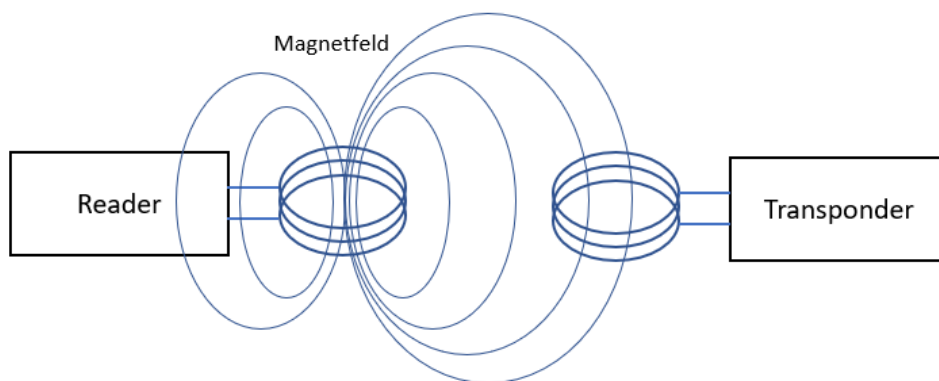


Abbildung 55 Kopplung über magnetisches Feld

Der Transponder benötigt zur Datenübertragung das Sendefeld des Lesegeräts. Es wird **kein eigenes Sendefeld** erzeugt. **LF-** und **HF-Tags** übertragen die eigenen Daten durch **Lastmodulation**. Durch gezieltes Belasten der Empfangsspule wird ein Teil der Energie des magnetischen Wechselfeldes verbraucht. Die Rückwirkung der Belastung wird im Lesegerät detektiert.

Kopplung im Fernfeld über Antennen:

- Datenübertragung vom Reader zum Transponder über **Funkwellen**
- Datenübertragung vom Transponder zum Reader durch **modulierte Rückstreuung**
- Frequenzen: **UHF**: 868 MHz und **SHF**: 2.4 GHz und 5.8 GHz
- Schreib- und Lesereichweiten **einige Meter**



Abbildung 56 UHF-Transponder mit Antenne

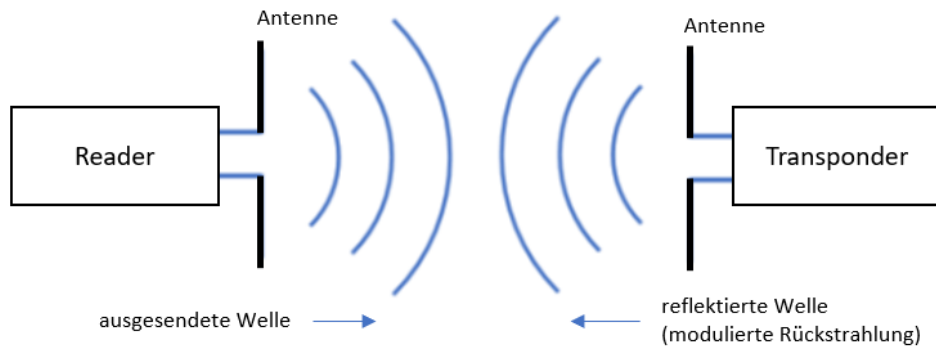


Abbildung 57 Kopplung im Fernfeld

UHF- und SHF-Tags übertragen die Daten durch **modulierte Rückstreuung** (Reflexion) der empfangenen elektromagnetischen Welle. Dazu verändert der Mikrochip die Impedanz der Empfangsantenne. Aufgrund der höheren Frequenzen sind UHF- und SHF-Tags zur Übertragung größerer Datensätze geeignet.

Energieversorgung:

Der Transponder entzieht dem Wechselfeld des Lesegeräts **Energie zur Aktivierung und Stromversorgung** seines Mikrochips. Bei **aktiven Tags** kann die Energieversorgung auch durch eine eingebaute Batterie erfolgen. Bei **halbaktiven Tags** übernimmt die Batterie lediglich die Versorgung des Mikrochips.

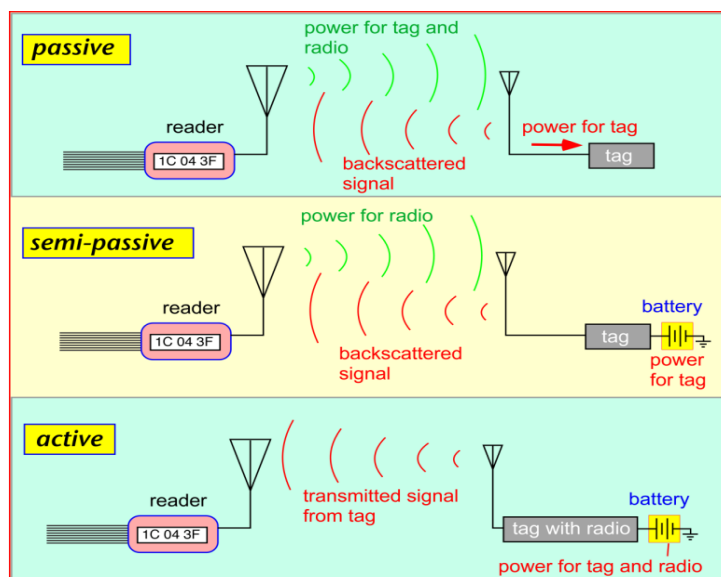


Abbildung 58 Energieversorgung des Transponders

Ein **handelsüblicher passiver UHF-Tag** mit NXP-Chip nach ISO/IEC 18000–6C benötigt für den Chip etwa 0,35 Mikroampere an Strom. Die Energie dafür liefert das Strahlungsfeld des Lesegeräts. Da die **Intensität quadratisch mit der Entfernung abnimmt**, muss der Reader entsprechend stark senden. Üblicherweise verwendet man hier zwischen 0,5 und 2 Watt Sendeleistung.

5.4 Near Field Communication (NFC)

NFC ist eine genormte **Spezialisierung der RFID Technik**, die speziell für **kurze Distanzen** und **sichere Datenübertragung** entwickelt wurde. Neben der aktiv-passiv Kommunikation zwischen z.B. einem Smartphone und einem Transponder ist ebenfalls eine aktiv-aktiv Kommunikation möglich.

NFC arbeitet im Frequenzband von **13,56 MHz** mit einer Übertragungsrate von maximal **424 kBit/s** und einer Reichweite von bis zu **10 Zentimetern** (je nach Anwendung auch mehr).

Der NFC Standard regelt den Ablauf des *Handshake*, der eine sichere Verbindung zum Beispiel für eine Zahlungsabwicklung durchführt. Die Standardisierung ermöglicht es verschiedenen Herstellern zusammenarbeiten.

Für NFC zertifizierte Geräte wurde ein eigenes Logo entwickelt. Daneben haben sich einige weitere Symbole durchgesetzt.

NFC-Logo:

