

## Einheiten

T → G → M → k → l → m → μ → n → p → f

## Kraft, Ladung, Energie

**Kraft**  $F = m \cdot a$

Ladung Elektron :  $1.602189 \cdot 10^{-19}$

Masse Elektron :  $9.11 \cdot 10^{-31}$

Masse Proton :  $1.67262 \cdot 10^{-27}$

**Gravitationskräfte zwischen zwei Massen / Kraft auf Ladung q1, verursacht durch Ladung q2**

$$F_G = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$\gamma = 6.674 \cdot 10^{-11}$  = Gravitationskonstante

**Coulombkraft zwischen zwei Ladungen**

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{|r_{12}|^2} \cdot n_{12}$$

oder

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2} \quad (r = \text{Abstand wenn man nur den Betrag will})$$

$r_{12} = r_1 - r_2$  = Distanzvektor von Ladung 12 zu Ladung q1

$n_{12} = \frac{r_{12}}{|r_{12}|}$  = Einheitsvektor von Ladung q2 zu Ladung q1

$\epsilon_0 = 8.859 \cdot 10^{-12}$  = Elektrische Feldkonstante

Gravitation kann auf der atomaren Ebene vernachlässigt werden.

**Potentielle Energie einer Masse im Schwerfeld der Erde**

$$E_{\text{pot}} = mgh$$

**Kinetische Energie**  $E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2}$

**Federenergie**  $E_{\text{spring}} = k \cdot \frac{(x - L)^2}{2}$

**Potentielle Energie einer Ladung bei einer Spannung**

$$E_{\text{pot.el}} = Uq$$

**Weg, Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung**

	t	s	v	a
t		$s = \frac{v^2}{2a}$	$v = \sqrt{2as}$	$a = \frac{v^2}{2s}$
s	$t = \frac{v}{a}$		$v = a \cdot t$	$a = \frac{v}{t}$
v	$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$	$s = \frac{at^2}{2}$		$a = \frac{2s}{t^2}$
a	$t = \frac{2s}{v}$	$s = \frac{vt}{2}$	$v = \frac{2s}{t}$	

## Arbeit: Joule [J]

$$E_{\text{mech}} = F \cdot s$$

## Veränderungsraten, Strom, Spannung, Leistung, Widerstand, Batterie

**Strom [Ampère] = Ladung [Coulomb] / Zeit [s]**

$$I = \frac{Q}{t}$$

##### **Leistung [Watt] = Energie [Joule] / Zeit [s]**  $P = \frac{E}{t}$

$$1\text{J} = 1\text{Ws}$$

$$1\text{kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{Ws} = 3.6 \cdot 10^6 \text{J}$$

**Wirkungsgrad**  $\eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}}$

t/wirkungsgrad = neue dauer

$$I = \frac{U_0}{R_{\text{tot}}}$$

$$P_{\text{tot}} = I \cdot U_0$$

$$P_{\text{last}} = I^2 \cdot R_{\text{last}}$$

→  $P_{\text{last}}/P_{\text{tot}}$

## Wirkungsgrade

- Elektromotor : 80 - 99%
- Transformator : 80 - 99%
- Elektroheizung : 100%
- Verbrennungsmotor : 30 - 40%
- Solarzelle : 15 - 24%
- Windturbine : 45 - 55%
- Wasserkraftwerk : 80 - 90%
- Kohlekraftwerk : 40 - 45%
- Mensch (mech. Arbeit) :  $\approx 25\%$

## Elektrische Leistung

$$P_{\text{el}} = U \cdot I$$

## Ohm'sches Gesetz

$$U = R \cdot I$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

## Elektrischer Widerstand eines Drahtes

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Material	$\rho$
Eisen	$1 \cdot 10^{-1} - 1.5 \cdot 10^{-1}$
Kupfer	$1.7 \cdot 10^{-2}$
Gold	$2.2 \cdot 10^{-2}$
Silber	$1.6 \cdot 10^{-2}$
Leitungswasser	$2 \cdot 10^7$
Meerwasser	$5 \cdot 10^5$

**Spannungsmessung:** hoher Innenwiderstand

**Strommessung:** niedriger Innenwiderstand

## Schaltungen

Knotenregel =  $I_{\text{in}} = I_{\text{out}}$

Maschenregel =  $U_0 = U_1 + U_2 \dots$

Serienschaltung =  $R = R_1 + R_2$

Parallelschaltung =  $R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$

## Kondensator / RC-Schaltkreis

**Kapazität C [Farad]**

$$C = \frac{Q}{U_C}$$

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

$$E = \frac{q}{\varepsilon_0 \pi r^2} \quad C = \frac{q}{U} = \frac{q}{d \cdot E} = \frac{\varepsilon_0 \pi r^2}{d}$$

**Strom durch den Kondensator**

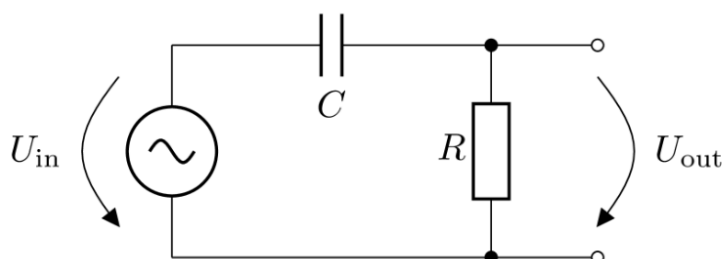
$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$I(t) = \frac{U_0 - U_C(t)}{R}$$

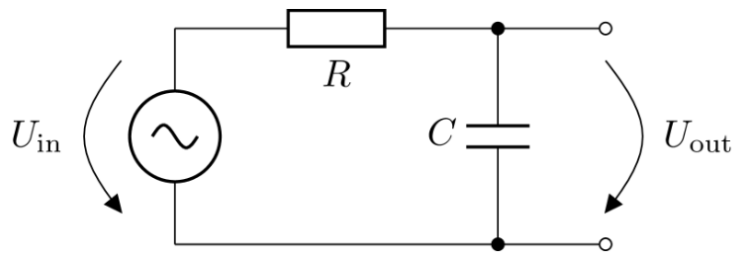
$$I(t) = \frac{1}{R} \cdot \left( U_0 - \frac{Q(t)}{C} \right)$$

Die Zeitkonstante wird erreicht bei **37%** des Ursprungswertes des Stroms. Die Kondensatorspannung  $U_C$  steigt in der Zeitkonstante auf **63%** der Quellenspannung  $U_0$  an. Nach fünf Zeitkonstanten ist diese Spannung zu mehr als 99 % erreicht.

$$\tau = R \cdot C$$



**Hochpassfilter**



### Tiefpassfilter

Tiefpassfilter → begrenzt hohe

frequenz.  $x < f_g \rightarrow U_{out}$  unter 70.7%  $U_0$  weil je höher desto tiefer Hochpassfilter → begrenzt tiefe Frequenz

Bei Grenzfrequenz  $f_g$ : Ausgangsspannung beträgt 70.7% der Eingangsspannung.

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot \tau}$$

### Spule / RL-Schaltkreis

Induktivität  $L$  [Henry]

$$L = \frac{U_L \cdot \Delta t}{\Delta I}$$

$U_L$  = Spannung über Spule

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$$

Die Veränderungsrate des Stroms ist die Veränderungsrate der Veränderungsrate der Ladung. Ein Eisenkern verstärkt das Magnetfeld der Spule erheblich, da das Material magnetische Flusslinien besser bündelt. Die Induktivität wird erhöht.

$$\frac{I}{t} = \frac{Q}{t^2}$$

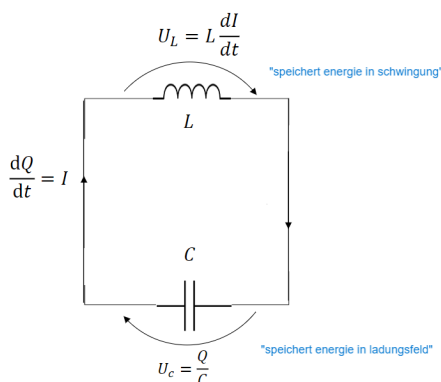
$$I(\infty) = \frac{U_0}{R}$$

Zeitkonstante

$$\tau = \frac{L}{R}$$

$I$  steigt zu 63%

### LC-Schwingkreis



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

### Gedämpfter Schwingkreis / LCR-Schwingkreis

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

Schwingt, wenn:  $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$

## Zeitkonstante

$$\tau = \frac{2L}{R}$$

## Signale

### Blindwiderstand

Je höher die Frequenz, desto kleiner der Blindwiderstand und desto grösser der Stromfluss.

$$X = \frac{1}{2\pi fC}$$

### Sinussignal

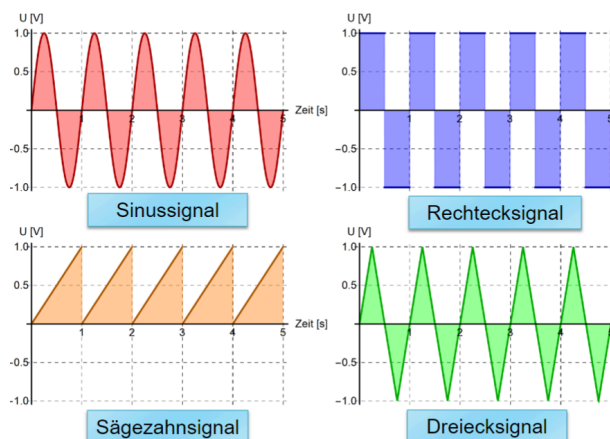
$$U(t) = U_0 \cdot \sin(2\pi ft + \varphi)$$

$$\sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = \cos(x)$$

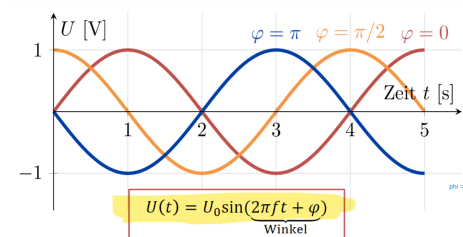
$$\sin(0) = 0$$

$$1\text{Hz} \rightarrow T = 1$$

$$2\text{Hz} \rightarrow T = 0.5$$



### Phasenverschiebung



## Halbleiter

Dotiert wird auf Silizium.

### P-Dotierung

Ein Elektron zu wenig  $\rightarrow$  positive Ladung. Bor, Aluminium

### N-Dotierung

Ein Elektron zu viel  $\rightarrow$  negative Ladung. Phosphor

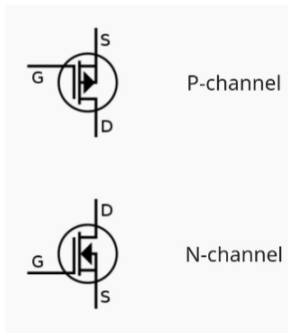
## PN-Übergang

Ein positiver Strom kann nur in P→N Richtung fließen.

## Transistor

P-Transistor : Strom fließt, wenn kein Strom beim Gate fließt.

N-Transistor : Strom fließt, wenn ein Strom beim Gate fließt. (Spannung von Gate zu Source muss Grenzwert erreichen)



Der Strom kann auch nur in eine Richtung fließen (von Source zu Drain), wie bei einem Halbleiter.

## Open Drain

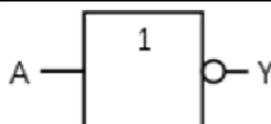

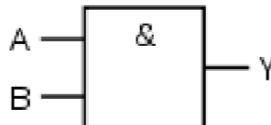

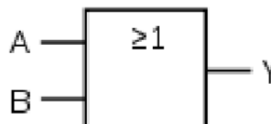

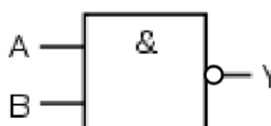
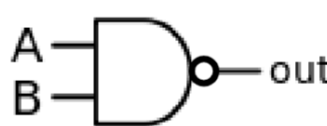
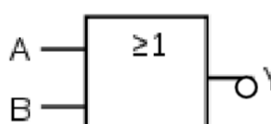

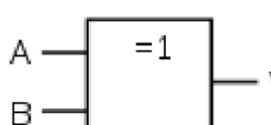

Ein NOT-Gate mit einem Open Drain und Pull-Up ist nicht effizient, weil konstant Strom fließt.

## Push-Pull

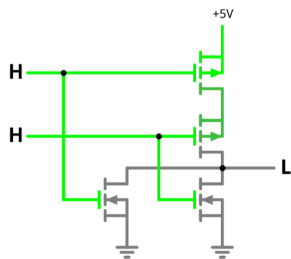
Bei einem NOT-Gate mit Push-Pull fließt nur Strom, wenn beim Output Strom fließen soll.

## Logik-Gatter

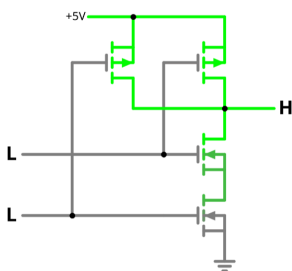
- NAND :  $<2$
- NOR :  $=0$
- XOR :  $=1$
- XNOR :  $=0 \parallel =2$

Gatter	IEC-Norm (Europa)	ANSI-Standard (USA)	Wahrheitstabelle															
NOT			<table><tr><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	Y	0	1	1	0									
A	Y																	
0	1																	
1	0																	
AND			<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	Y																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
OR			<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
NAND			<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
NOR			<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
XOR			<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																

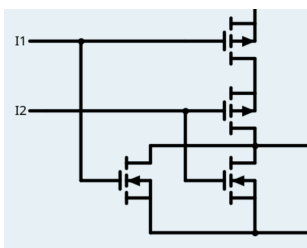
NOR



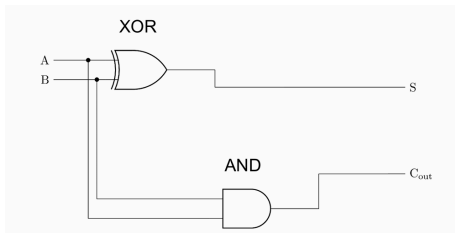
NAND



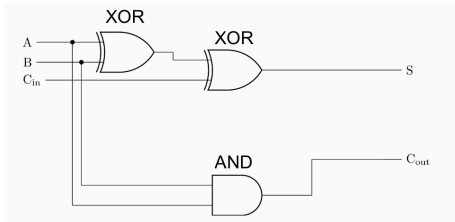
OR



## 1 Bit Halbaddierer

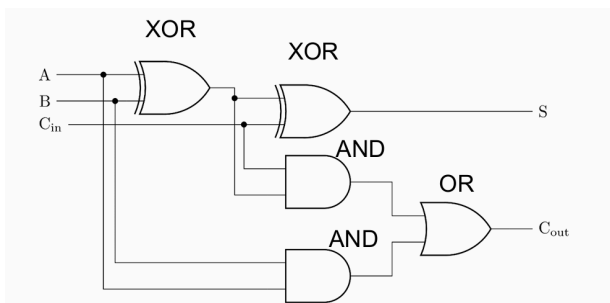


## 1 Bit Volladdierer



1 Bit Volladdierer mit Carrier vom letzten Volladdierer

4 Bit Volladdierer verbindet 4 von diesen.



## Flipflops

### SR-Flipflop

S	R	Q	!Q
0	0	Q	!Q
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	0	0

### JK-Flipflop

J	K	Flanke	Q Next
1	1	h	!Q
1	0	h	1
0	1	h	0
0	0	1,0,t	Q

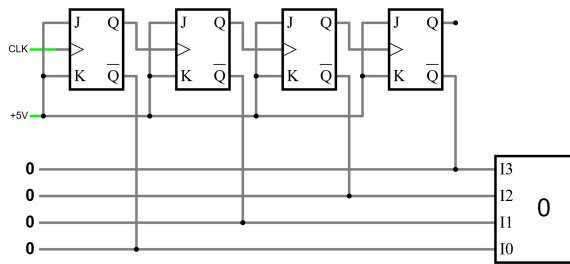
### D-Flipflop

D	Flanke	Q Next
0	h	0



D	Flanke	Q Next
1	h	1
X	1,0,t	Q

## Asynchrone Zähler



## Sensoren

### Sensorkette

Sensoren → Multiplexer → Verstärker → Sample&Hold → A/D-Wandler → Messrechner

Multiplexen = Auswählen des Messsignals mit dem Multiplexer

Sample & Hold = Abtasten und Halten des Messsignals

N-Bit-AD-Wandler hat  $2^N$  Messstufen

relative Abweichung =  $1 / 2^N$

wenn  $\leq 8$  Bits dann  $1 / (2^N - 1)$

### Dehnmessung

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{k \cdot \Delta l}{l} = k \cdot \varepsilon$$

### Photodiode

Photonen erzeugen ein Elektron-Loch-Paar, so dass Elektronen zwischen den zwei Halbleitern durchfließen können.

### CO2-Messer

Mehr CO2 absorbiert Strahlung von  $4.27\mu\text{m}$ , welche von einer Glühbirne erzeugt wird. Je weniger Strahlung gemessen wird, desto mehr CO2 ist vorhanden.

## Elektrische magnetische Felder

Ein Magnetisches Feld wird erzeugt durch

- Ströme (bewegte elektrische Ladungen)
- zeitlich veränderliche elektrische Felder
- magnetische Momente

und ein Elektrisches Feld durch

- (ruhende) Ladungen
- zeitlich veränderliche magnetische Felder

Die magnetische Kraft wirkt nur auf bewegte elektrische Ladungen. Dies ist die Lorentz-Kraft.

### Einheiten

$E$  = elektrisches Feld : Volt / Meter oder Newton / Coulomb = Kraft / Ladung

Richtung des E-Feldes : + zu -

$B$  = magnetische Feldstärke : Tesla oder kg / (s C)

Richtung des B-Feldes : von N zu S / - zu + (technische Stromrichtung: + zu -)

$r$  = Ort der Ladung  $q$

$v$  = Geschwindigkeit der Ladung  $q$

### Elektrisches Feld Plattenkondensator

$$E = \frac{U}{d} \text{ oder } E = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot A}$$

$$|E| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r^2}$$

Dadurch Coulomb-Kraft  $\vec{F} = q_2 \cdot \vec{E}$

### Lorentz-Kraft [Newton]

$$\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Wenn  $\vec{v}$  senkrecht auf  $\vec{B}$  steht, dann gilt  $m = \frac{rqB}{v}$  (Magnetische Kraft auf eine bewegte Ladung)

### Elektromagnetische Kraft auf Ladung $q$

$$F_{\text{elmag}} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Wenn kein  $b$   $F = qE \rightarrow a = F/m$  (Elektrisches Feld, Tintenstrahldrucker)

### Energiedichte $w$ (Energie pro Volumen [Joule])

$$w = \frac{\epsilon_0}{2} \cdot \vec{E}^2 + \frac{\epsilon_0 c^2}{2} \vec{B}^2$$

$$w = F \cdot d = q \cdot E \cdot d = q \cdot U$$

$$1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

$$w = \frac{m \cdot v^2}{2} = E_{\text{kin}}$$

### Gesamtenergie

$$\epsilon = \frac{w}{V}$$

### Impuls eines Teilchens

$$p = mv = qBr$$

### Gleichförmig drehende Schleife im Magnetfeld

$$U(t) = U_0 \sin(\omega t + \phi_0)$$

## Elektrodynamik

### Satz von Gauss

Der Fluss des elektrischen Feldes durch diese Fläche ist proportional zur Ladung, die von der Fläche umschlossen wird.

$$\Phi_{\vec{E}} = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

## Fluss der Feldes E durch eine Fläche A

$$\text{Fläche } \Phi = A \cdot E$$

$$\text{Senkrecht zu Zylinderboden } \Phi = 2\pi r^2 \cdot E$$

$$\text{Paralell zu Zylinderboden } \Phi = 2\pi r h \cdot E$$

$$\text{Kugel } \Phi = 4\pi r^2 \cdot E$$

$$\text{Schiefe Ebene mit Winkel theta zwischen normale und Feldvektoren } \Phi = A \cdot B \cdot \cos(\theta)$$

## Spannung über einen Kondensator

$$U = E \cdot d$$

## Kapazität eines Kondensators

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$$

## Linienintegral

$$U = \int_y \vec{E} dy$$

y ist dabei ein beliebiger geschlossener Weg

## Durchflutungsgesetz

$$\mu_0 \cdot I = \int_y \vec{B} dy$$

## Nicht stationärer Fall

Ein zeitlich veränderlicher Fluss eines E-Feldes führt zu einem B-Feld.

Ein zeitlich veränderlicher Fluss eines B-Feldes führt zu einem E-Feld.

$$\int_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{\gamma} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \Phi_{\vec{E}}$$

$$U = \int_{\gamma} \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} = - \frac{d\Phi_{\vec{B}}}{dt}$$

$$\text{Fläche } S = Lvt \rightarrow U_{\in} d = -BLv$$

## Magnetfeld im Abstand r

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

## Magnetfeld im Inneren einer Spule

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{N}{l} I$$

$$\mu_0 = 1.2567 \cdot 10^{-6}$$

$\mu_r$  = Permeabilitätszahl der Spulenfüllung

Permeabilitätszahlen	$\mu_r$
<b>Ferromagnetika</b>	
Metglass (2714A , annealed)	1000000
Permalloy	8000
Eisen	Bis 5000
Nickel	Bis 1000
<b>Paramagnetika</b>	
Luft	Praktisch 1
Aluminium	1.00002
<b>Diamagnetika</b>	
Wasser	0.99999
Kupfer	0.9999

## Induktionsgesetz

Die zeitliche Änderung des Flusses eines Magnetfeldes durch eine Schleife induziert in dieser Schleife eine Induktionsspannung / Nennspannung / Effektivspannung U

Wenn  $U(t) = U_0 \cdot \sin(2\pi ft + \varphi)$

$$\text{dann } U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U(t)^2 dt} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

## Transformator

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2}$$

## Induktivität einer Spule mit N Windungen

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l} \cdot A$$

## Wellenphänomene

$$\text{Wellenlänge } \lambda = \frac{c}{f} [\text{m}]$$

$$\text{Wellenzahl } k = 2\frac{\pi}{\lambda}$$

$$\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit } c = \frac{\lambda}{T}$$

$$\text{Lichtgeschwindigkeit } c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Werden zwei identische Wellen überlagert, so kann sich die maximale Intensität vervierfachen. Die Flankensteilheit von Signalen in der Realität ist immer endlich.

Ein Tiefpassfilter hat einen Einfluss auf die Flankensteilheit eines Signals.

Signale mit unendlich steilen Flanken sind in der Realität nicht möglich.

Nicht alle digitalen Signale haben die gleiche Flankensteilheit.

Signale mit steilen Flanken transportieren nicht weniger Energie als Signale mit weniger steilen Flanken.

Die Flankensteilheit von Signalen ist relevant für die Signalqualität.

Die Flankensteilheit eines Signals beeinflusst die Frequenzen im Signal.

Reale Signale haben nie eine unendliche Flankensteilheit.

## Brechungsindex

Der Brechungsindex n eines Mediums gibt an, um welchen Faktor sich Licht im Medium langsamer bewegt als im Vakuum.

$$c_0 = n_{\text{Medium}} \cdot c_{\text{Medium}}$$

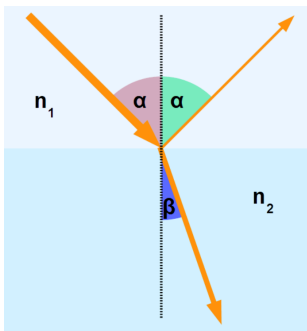
Material	$n$
Vakuum	1.0000
Luft (Normalatmosphäre)	1.0003
Wasser (20 °C)	1.33
Eis	1.31
Glas	1.45–2.14
Quarzglas	1.46
Fensterglas	1.52
PMMA (Plexiglas)	1.49
Diamant	2.42

## Lichtbrechung

Das Licht wird im optisch dichteren Material zum Lot hin gebrochen =  $n_1 < n_2$

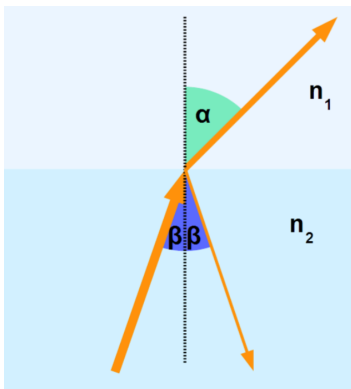
$$\text{Snellius-Gesetz } \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\frac{c_0}{n_1}}{\frac{c_0}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = \frac{n_2}{n_1} \leftrightarrow n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$



## Totalreflexion

Wenn  $n_2 > n_1$  und  $\sin(\beta) > \frac{n_1}{n_2}$  dann kann das Licht nicht in das Medium 1 austreten.



## Intensität (Kugelwellen)

$$P = I \cdot 4\pi r^2 \text{ [W]}$$

$$I_2 = \frac{4\pi r_1^2 I_1}{4\pi r_2^2} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

## Absorption

$$I_L(x) = I_{L_0} e^{-\alpha x}$$

$\alpha$  = Dämpfungskoeffizient [1/m]  $I_{L_0}$  = Intensität beim Eintritt in das absorbierende Material

## Dezibel

$$H(r) = 10\text{dB} \cdot \log_{10} \left( \frac{I(r)}{10^{-12}} \right) = 10\text{dB} \cdot \log_{10}(\text{SNR})$$

$$\text{Faktor} = 10^{\frac{x}{10}}$$

- 6dB = Faktor 4
- 3dB = Faktor 2
- 17 dB = Faktor 50 = 10 + 10 - 3 = 10 × 10 / 2
- 2l ⇒ +3dB

x W wird um 10dB reduziert → nur noch x/10 W Leistung

Schallintensität → Schallintensitätspegel = in Dezibel

2 gleiche Quellen = doppelte Intensität → nochmals in Dezibel umrechnen oder faustregel +3db

### Signal to Noise Ratio (SNR)

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} = \frac{I_{\text{signal}}}{I_{\text{noise}}} = \frac{A_{\text{signal}}^2}{A_{\text{noise}}^2}$$

### Humbucker Pickup

Nur durch das Magnetfeld induzierter Strom wird weitergeleitet, weil dort auf der einen Seite zuerst durch das verkehrte Magnetfeld der Strom umgekehrt wird und anschliessend die Spule umgekehrt gedreht ist. Auf der anderen Seite eben nicht. Aber wenn der Strom von woanders kommt, dann ist die Spule zwar gedreht, aber das Signal ist nicht wegen der Richtung des Magnetfelds auch gedreht.

### Dipolantenne

Gibt wenig Signal in Richtung der Achse. Halbwellendipol hat die Länge einer halben Wellenlänge. Wenn die Welle sich nur mit 95% ausbreitet, dann muss sie 95% kürzer sein. Mit  $c_0$  und  $f$  berechenbar

### Unschärfeprinzip

$$\frac{\Delta f \cdot \Delta t}{2} \sim 1$$

Je steiler die Flanken eines Signals, desto grösser der Anteil der hohen Frequenzen im Signal.

### Effekte in Ethernetkabel

- **Propagation delay:** Signal braucht eine gewisse Zeit, um vom einen Ende zum anderen zu gelangen. (→ Limite für Kabellänge)
- **Bandbreite:** Je schneller das zu übertragende Signal, je kürzer die Pulse und desto grösser ist die Bandbreite des Signals.
- **Dispersion:** Signal degradiert, weil es aus unterschiedlichen Frequenzkomponenten besteht, es «verschmiert».
- **Absorption:** Je länger das Kabel, desto schwächer das Signal am anderen Ende.
- **Filterfunktion:** Frequenzabhängige Absorption dämpft hohe Frequenzen stärker als tiefe → Signal wird verzerrt, Kabel müssen auf gewünschte Bandbreite ausgelegt und standardisiert sein.
- **Rauschen:** Das Signal wird mit einem gewissen Rauschen empfangen werden → SNR darf nicht zu tief sein.

## Thermische Strahlung

### Kelvin

T in Kelvin = T in Celsius + 273.15 K

### Absorption

$\alpha$  = Absorptionskoeffizient  $\rho = 1 - \alpha$  = Reflexionskoeffizient (Emissionskoeffizient  $\epsilon$ ). Dieser Anteil der Intensität wird reflektiert.

### Wien'sches Verschiebungsgesetz

Maximum des Spektrums  $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$  [m]

$b = 2.8978 \cdot 10^{-3}$

## Strahler

$S$  = Strahlungsintensität pro Frequenz und Raumwinkel [W/m<sup>2</sup>sr]

$P_{\text{rad}}$  = Abgestrahlene Leistung [W]

Leistung Heizstab  $P_{\text{el}} + P_{\text{therm}} = 0$

## Schwarzer Strahler

Bei einem schwarzen Strahler wird nichts reflektiert.

Es gilt:

- $\alpha(f) = 1$
- $\varepsilon(\lambda) = 1$
- $S(f, T) = \frac{2h\pi f^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{hf}{k_B T}} - 1}$  (Planck'sches Strahlungsgesetz / Verteilung der Intensität)
- $S(f, T) = \frac{2h\pi c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$
- $P_{\text{rad}} = \frac{2\pi}{15} \frac{k_B^4}{c^2 h^3} AT^4 = \sigma \cdot A \cdot T^4$  (Stefan-Boltzmann Gesetz)
- $P_{\text{rad}} = -\frac{dE}{dt} = \sigma A (T^4 - T_{\text{env}}^4)$

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$

$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  = Plank'sches Wirkungsquant

$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$  = Boltzmann-Konstante

## Grauer Strahler

Ein Teil ( $P_{\text{rad}}$ ) wird reflektiert.

Es gilt:

- $\varepsilon(\lambda) < 1$
- $S(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) \frac{2h\pi c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$
- $P_{\text{rad}} = -\frac{dE}{dt} = \sigma \varepsilon A (T^4 - T_{\text{env}}^4)$

## Thermische Energiebilanz

Energiestrom für Wärmeleitung  $P_{\text{cond}} = Ah(T - T_{\text{env}})$

$h$  = Wärmeübergangskoeffizient

Albedo = Intensität der reflektierten Strahlung / Intensität der einfallenden Strahlung = Anteil, der reflektiert wird