

## SBP Physik

Diese Lernkarten sind sorgfältig erstellt worden, erheben aber weder Anspruch auf Richtigkeit noch auf Vollständigkeit.

Das Lernen mit Lernkarten funktioniert nur wenn die Inhalte bereits einmal verstanden worden sind. Ich warne davor diese Lernkarten nur stur auswendig zu lernen.

Diese und andere Lernkarten können von  
<http://www.clifford.at/zettelkasten/>  
 heruntergeladen werden.

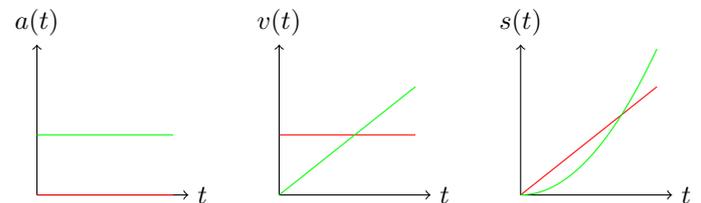
Viel Erfolg bei der **SBP Physik** Prüfung!

*Clifford Wolf <clifford@clifford.at>*

Diese Lernkarten stehen unter der CC BY-NC-SA Lizenz.

## Beschleunigung, Geschwindigkeit, Weg

$$\begin{aligned} \text{Beschleunigung} &= a(t) \\ \text{Geschwindigkeit} &= v(t) = \int a(t) dt \\ \text{zurückgelegter Weg} &= s(t) = \int v(t) dt \end{aligned}$$



rot = gleichförmige Bewegung,  
 grün = gleichförmig beschleunigte Bewegung

## Gleichförmig beschleunigte Bewegung

$$\begin{aligned} a &= \text{konstant} \\ v(t) &= a \cdot t \\ s(t) &= \frac{a \cdot t}{2} \cdot t = \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{v \cdot t}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \frac{v}{a} \Rightarrow \\ \Rightarrow s &= \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{v}{a}\right)^2 = \frac{v^2}{2a} \\ \Rightarrow v &= \sqrt{2as} \end{aligned}$$

## Kraft

Kraft beschleunigt eine Masse in eine Richtung.

Kraft bewirkt: Bewegungsänderung und/oder Verformung.

$$\begin{aligned} \vec{F} &= \text{Kraft} \\ \vec{F} &= m \cdot \vec{a} \\ [F] &= \text{N} = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = 1 \text{ Newton} \end{aligned}$$

## Newtonsche Axiome

- Trägheitsprinzip (Beharrungskonzept)  
... Ein Körper ist bestrebt seine Geschwindigkeit und Richtung beizubehalten.
- Dynamisches Grundgesetz (Aktionsprinzip)  
... Eine Kraft, die auf einen Körper wirkt, setzt diesen in Bewegung.
- Gegenwirkungsgesetz (Reaktionsprinzip, actio et reactio)  
... Eine Aktion bewirkt eine gleich grosse gegengerichtete Reaktion. Kräfte treten immer paarweise auf.
- Zusatz: Superpositionsprinzip  
... Wirken auf einen Punkt mehrere Kräfte, so addieren sich diese vektoriell zu einer Kraft auf.

## Energie, Arbeit

$$E = \vec{F} \cdot \vec{s}, \quad [E] = J = N \cdot m = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 = 1 \text{ Joule}$$

- Kinetische Energie = Bewegungsenergie
- Potentielle Energie = Energie der Lage
- Energie = Arbeit = Kraft mal Weg

Kin. Energie beim freien Fall / Pot. Energie bei hoher Lage:

$$E = \vec{F}_g \cdot \vec{h} = m \vec{g} \cdot \vec{h} = m \vec{g} \frac{\vec{g} t^2}{2} = \frac{m g^2 t^2}{2} = \frac{m (gt)^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

## Der freie Fall

Diagram illustrating free fall. A vertical line of length  $h$  is shown. At the top, a square represents the object at  $v_0 = 0$ . At the bottom, a square represents the object at  $v = \sqrt{2gh}$ . To the right of the diagram, the energy equations are listed:

$$E_p = mgh$$

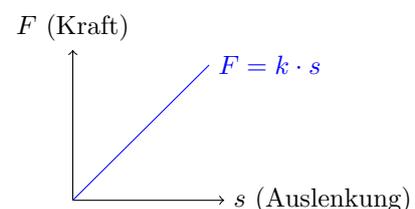
$$E_k = 0$$

$$mgh = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_p = 0$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

## Federwaage



$k$  ... Federkonstante,  $[k] = \text{N/m}$

In der Feder gespeicherte Energie:  $E_F = \frac{k \cdot s^2}{2}$

## Leistung

Leistung ( $P$ ) = Energie (Arbeit) pro Zeiteinheit

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

$$[P] = \text{W} = \text{J/s} = \text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^3 = 1 \text{ Watt}$$

## Impuls

Impuls ( $\vec{p}$ ) = Masse mal Geschwindigkeit

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}, \quad [\vec{p}] = \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

Erhaltungssätze  
der Mechanik

- Massenerhaltungssatz  
... In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Massen konstant.
- Energieerhaltungssatz  
... In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energien konstant.
- Impulserhaltungssatz  
... In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Impulse konstant.

## Elastischer Stoß

Nach dem elastischen Stoß:

**2 Körper, 2 Geschwindigkeiten, keine Deformationsenergie**

Wegen Impulserhaltungssatz und Energieerhaltungssatz:

$$\text{IES: } m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

$$\text{EES: } \frac{m_1 \vec{v}_1^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}_2^2}{2} = \frac{m_1 \vec{v}_1'^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}_2'^2}{2}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_1' = \frac{2m_2 \vec{v}_2 + \vec{v}_1 (m_1 - m_2)}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{v}_2' = \frac{2m_1 \vec{v}_1 + \vec{v}_2 (m_2 - m_1)}{m_1 + m_2}$$

## Unelastischer Stoss

Nach dem unelastischen Stoss:

**1 Körper, 1 Geschwindigkeit + Deformationsenergie**

Wegen Impulserhaltungssatz und Energieerhaltungssatz:

$$\text{IES: } m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}'$$

$$\text{EES: } \frac{m_1 \vec{v}_1^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \vec{v}'^2}{2} + E_{\text{Def}}$$

$$\Rightarrow \vec{v}' = \frac{\vec{v}_1 m_1 + \vec{v}_2 m_2}{m_1 + m_2}$$

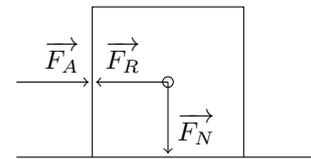
## Reibung

**Gleitreibung:**

$$F_A > F_R, \quad F_R = F_N \cdot \mu$$

**Haftreibung:**

$$F_A = F_R, \quad F_R < F_N \cdot \mu'$$

 $\mu, \mu'$  ... Materialabhängiger ReibungskoeffizientRotation:  
Drehgrößen und Bahngrößen

	Bahngrösse	Drehgrösse
Strecke / Winkel	$b$ (bzw. $s$ )	$\varphi$
Geschwindigkeit	$v$	$\omega$
Beschleunigung	$a$	$\alpha$

Einheiten fuer Drehgrößen:

$$2\pi \text{ rad} \hat{=} 360^\circ \hat{=} 1 \text{ Vollkreis}$$

Winkel in Radianen (rad) = Bogenlänge am Einheitskreis

Drehwinkel in Radianen = Bogenlänge durch Radius:  $\varphi = \frac{b}{r}$ Rotation: Periode, Frequenz,  
Drehzahl, KreisfrequenzPeriodendauer  $T$  = Dauer einer Periode,  $[T] = \text{s}$   
(z.B. Dauer einer vollen Umdrehung in Sekunden)Frequenz  $f$  = Anzahl der Perioden pro Sekunde,  $[f] = 1/\text{s} = \text{Hz}$ Drehzahl  $N$  = Anzahl der Perioden pro Minute,  $[N] = 1/60\text{s} = \text{U}/\text{min}$ Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  = Kreisfrequenz = Bahngeschwindigkeit am Einheitskreis = Bahngeschwindigkeit durch Radius

$$f = \frac{1}{T}, \quad f = 60 \cdot N, \quad \omega = 2\pi \cdot f$$

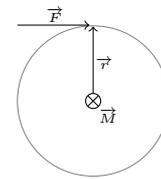
## Rotation: Drehmoment

Das Drehmoment  $\vec{M}$  bei Rotation  $\hat{=}$  Kraft bei Translation.

Drehmoment bei tangentialer Kraft  $\vec{F}$  am Radius  $\vec{r}$ :

$$\vec{M} = \vec{F} \times \vec{r}$$

Die Vektoren  $\vec{M}$ ,  $\vec{F}$  und  $\vec{r}$  stehen rechtwinklig aufeinander.



## Rotation: Massenträgheitsmoment

Das Massenträgheitsmoment  $I$  bei Rotation entspricht der trägen Masse bei Translation.

$$\begin{aligned} \text{Bei Translation: } \vec{F} &= m \cdot \vec{a} \\ \text{Bei Rotation: } \vec{M} &= I \cdot \vec{\alpha} \end{aligned}$$

$$I = m \cdot r^2$$

## Energie bei Translation und Rotation

	Potentielle Energie	Kinetische Energie
Bei Translation:	$E = \vec{F} \cdot \vec{s}$	$E = \frac{m \cdot \vec{v}^2}{2}$
Bei Rotation:	$E = \vec{M} \cdot \vec{\varphi}$	$E = \frac{I \cdot \vec{\omega}^2}{2}$

## Impuls bei Translation und Rotation

Impuls:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Drehimpuls (Drall):

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

Der Drehimpuls ist eine Erhaltungsgrösse: In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Drehimpulse konstant.

## Fliehkräfte

Die Fliehkraft ist eine Scheinkraft, die sich aus der Trägheit der Masse ergibt. Wenn ein Körper in Bewegung von einer Zentripetalkraft  $\vec{F}_Z$  in eine Kreisbahn gezwungen wird, dann wirkt dieser eine gleich grosse Zentrifugalkraft, auch Fliehkraft genannt, entgegen.

Berechnung der Fliehkraft mit der Kreisfrequenz  $\omega$  bzw. der Bahngeschwindigkeit  $v$ :

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 = m \cdot r \cdot \left(\frac{v}{r}\right)^2 = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Heliozentrisches Weltbild nach  
Kopernikus

- Sonne im Mittelpunkt
- Fixsterne in Hohlkugel (Fixsternsphäre)
- Erde dreht sich um die Sonne (Kreisbahn, 1x pro Jahr)
- Erde dreht sich um die eigene Achse (1x pro Tag)
- Planeten drehen sich um die Sonne (Kreisbahnen)
- Mond dreht sich um die Erde (Kreisbahn)

## Heliozentrisches Weltbild nach Kepler

- **Elliptische Bahnen** (Sonne im Brennpunkt)
- **Flächensatz**  
Die Verbindungslinie zwischen Sonne und Planet überstreift in gleicher Zeit die gleiche Fläche.  
(Drehimpuls  $L = I \cdot \omega = m \cdot r^2 \cdot \omega = \text{konstant}$ )
- **Halbachsensatz**  
Das Verhältnis vom Quadrat der Periodendauer eines Umlaufes ( $T^2$ ) und von der 3. Potenz der Länge der grossen Halbachse der Umlaufbahn ( $a^3$ ) ist bei jedem Planeten gleich:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} \iff \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

## Gravitation

Die Gravitation ist eine Kraft die zwischen allen Massen im Universum wirkt. Jede zwei Massen ziehen sich mit der Gravitationskraft  $F_G$  gegenseitig an:

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

$$G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$$

Auf der Erdoberfläche können die Erdmasse und der Erdradius als konstant angenommen werden. Hier wird jeder Körper durch das Erdschwerefeld mit etwa  $9,81 \text{ m/s}^2$  zum Erdmittelpunkt hin beschleunigt.

Satellitenbedingung

Bei einem Satelliten erzeugt die Gravitationswirkung der Erde eine Zentripetalkraft  $F_G$  und die Bewegung des Satelliten eine gleich grosse entgegengerichtete Zentrifugalkraft  $F_Z$ .

$$\underbrace{m_S \cdot r \cdot \omega^2}_{F_Z(\omega)} = \underbrace{m_S \cdot \frac{v^2}{r}}_{F_Z(v)} = \underbrace{G \cdot \frac{m_S \cdot m_E}{r^2}}_{F_G}$$

$$\implies r^3 \cdot \omega^2 = r \cdot v^2 = G \cdot m_E$$

1. und 2. kosmische Geschwindigkeit

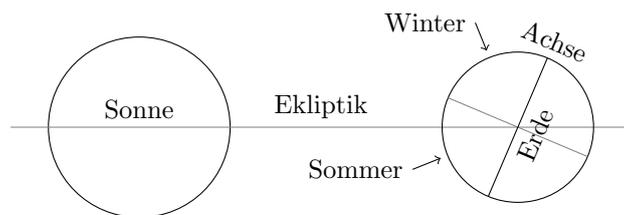
Bei einem Satelliten der auf der Erdoberflaeche gestartet wird (dessen Umlaufbahn die Erdoberflaeche tangential streift), ist..

- **die 1. kosmische Geschwindigkeit** ( $\approx 7,9 \text{ km/s}$ ) die kleinste Geschwindigkeit bei der der Satellit ein Satellit ist (also nicht auf die Erde faellt) und
- **die 2. kosmische Geschwindigkeit** ( $\approx 11,2 \text{ km/s}$ ) die grösste Geschwindigkeit bei der der Satellit ein Satellit ist (also nicht in einer Parabel aus dem Gravitationsfeld der Erde flieht).

Die 2. kosmische Geschwindigkeit wird auch Fluchtgeschwindigkeit genannt.

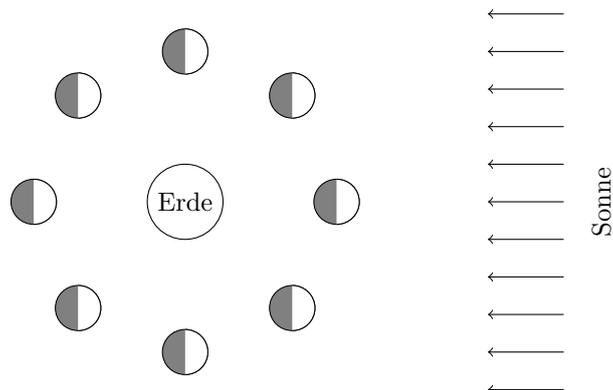
Ekliptik und Jahreszeiten

Die Ekliptik ist die Ebene in der die Umlaufbahn der Erde liegt. Die Erde rotiert um die eigene Achse. Diese Achse steht in einem Winkel von  $67^\circ$  zur Ekliptik.



An den Polen scheint ein halbes Jahr lang die Sonne bzw. scheint ein halbes Jahr lang die Sonne nicht.  $\implies$  Polartag bzw. Polarnacht

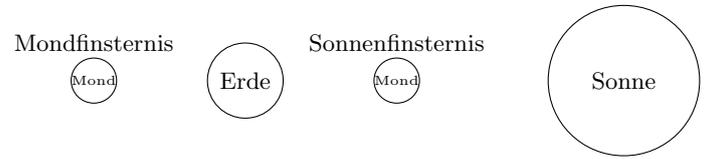
Voll- und Neumond



## Sonnen- und Mondfinsternis

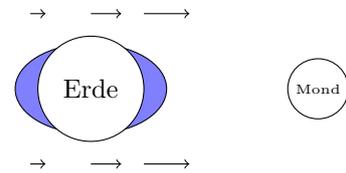
Bei einer Sonnenfinsternis schiebt sich der Mond zwischen Erde und Sonne. Eine Sonnenfinsternis kann daher nur bei Neumond auftreten.

Bei einer Mondfinsternis schiebt sich die Erde zwischen Sonne und Mond. Eine Mondfinsternis kann daher nur bei Vollmond auftreten.



## Ebbe und Flut

Wegen  $F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$  wird das Wasser auf der mondabgewandten Seite der Erde, die Erde selbst und das Wasser auf der mondzugewandten Seite der Erde unterschiedlich stark zum Mond hin beschleunigt.



So kommt es zu den Gezeiten (Tide): Entlang der Mond-Erde-Achse entstehen Flutberge (Flut) und normal dazu Ebbe.

## Dichte und Druck

**Dichte:**

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad [\rho] = \text{kg/m}^3$$

**Druck:**

$$p = \frac{F}{A}, \quad [p] = \text{N/m}^2 = \text{Pa} = 1 \text{ Pascal}$$

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}, \quad 1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Hg} \approx 133,3 \text{ Pa}$$

Die Einheit atü bezeichnet den Druck in bar über dem normalen Umgebungsdruck.  $\implies x \text{ atü} \approx x + 1 \text{ bar}$

## Ideale Flüssigkeit

- inkompressibel
- daher konstante Dichte  $\rho$
- keine innere Reibung
- keine Oberflächenspannung

Über die Länge eines Rohres sind der Massendurchsatz  $m/t$  und der Volumendurchsatz  $V/t$  fuer jeden Schnitt durch das Rohr konstant.

## Ideales Gas

- kompressibel
- daher variable Dichte  $\rho$
- keine innere Reibung

Über die Länge eines Rohres ist  
der Massendurchsatz  $m/t$   
für jeden Schnitt durch das Rohr konstant.

## Hydrostatischer Druck

Der hydrostatische Druck ist der Druck der durch die Gewichtskraft einer Flüssigkeitssäule ausgeübt wird.

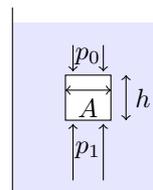
$$F = mg = \rho Vg = \rho Ahg$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho hg$$

$$10 \text{ Meter Wasser} \hat{=} 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

## Auftrieb

Ein Körper in einer Flüssigkeit (mit der Dichte  $\rho_F$ ) wird bedingt durch die Druckdifferenz zwischen seiner Ober- und Unterseite nach oben gedrückt. Diese Kraft nennt man Auftrieb.



$$p_1 = p_0 + \rho_F hg, \quad p = p_1 - p_0 = \rho_F hg$$

$$F_G = pA = \rho_F Ahg = \rho_F Vg$$

Der Auftrieb ist also so gross wie die Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeitsmenge.

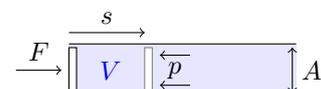
Dem Auftrieb wirkt die Schwerkraft die auf den Körper wirkt entgegen. Daher schwimmt ein Körper wenn  $\rho_K < \rho_F$ , schwebt wenn  $\rho_K = \rho_F$  und sinkt wenn  $\rho_K > \rho_F$ .

Kompressionsdruck  
und statische Druckenergie

Kompressionsdruck (statischer Druck) ist jener Druck der durch eine Kraft  $F$  ausgeübt wird.

$$p = \frac{F}{A}$$

Wird gegen einen Druck eine Flüssigkeitsmenge verdrängt (z.B. in einem Kolben) so wird damit Arbeit verrichtet:



$$E = Fs = pAs = pV = \text{statische Druckenergie}$$

Hydraulische Presse: hydraulische Verbindung zweier Kolben mit unterschiedlicher Querschnittsfläche.

## Hydrodynamischer Druck

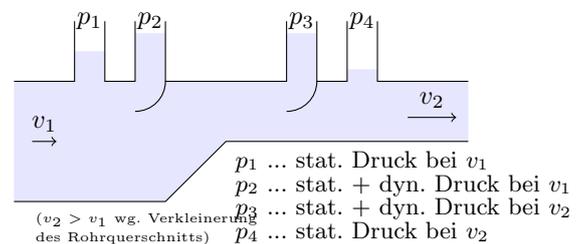
Der hydrodynamische Druck ist jener Druck, den eine strömende Flüssigkeit gegen einen Körper in dieser Strömung ausübt.

$$p = \frac{\rho v^2}{2}$$

Der hydrodynamische Druck wird auch "Geschwindigkeitsdruck" oder "Staudruck" genannt.

## Bernoulligleichung

Die Bernoulligleichung ist eine Energieerhaltungsgleichung. Aus ihr geht hervor, dass bei einer Erhöhung der Geschwindigkeit eines Fluids der statische Druck sinken muss.

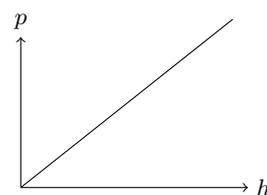


$$E = E_{\text{Kin}} + E_{\text{Druck}} = \frac{\rho V v^2}{2} + V p = \text{konstant}$$

## Aerostatik

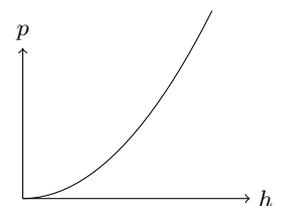
Da Gase kompressibel sind ist die Dichte in einer Gassäule nicht konstant. Daher ist der Druck am Boden einer Gassäule nicht linear, sondern quadratisch von ihrer Höhe abhängig.

Hydrostatischer Druck:



$h$  ... Tiefe in der Flüssigkeit

Aerostatischer Druck:

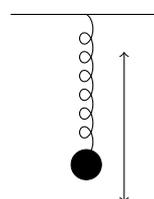


$h$  ... Strecke zum Ende der Atmosphäre

## Schwingung

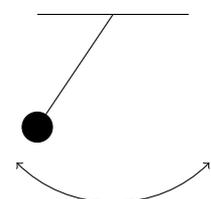
Eine Schwingung ist eine periodische Hin-Her-Bewegung.

Federpendel



geradlinig

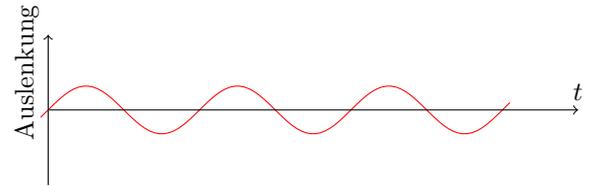
Fadenpendel



kreisförmig

## Harmonische Schwingung

Harmonische Schwingung = Eine Grösse ändert sich sinusförmig über die Zeit.



Jede nicht harmonische Schwingung kann als Überlagerung harmonischer Schwingungen betrachtet werden.

## Frequenz bei Feder- und Fadenpendel

**Federpendel:**

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

**Fadenpendel:**

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

## Schwingungsarten

**frei:** selbsttätige Schwingung nach einmaliger Erregung

**erzwungen:** Schwingung aufgrund kontinuierlicher Erregung

**gedämpft:** schwingendes System gibt Energie ab  
→ Amplitude wird kleiner

**ungedämpft:** schwingendes System gibt keine Energie ab  
→ Amplitude ist gleichbleibend

## Resonanz

Resonanz ist, wenn ein schwingungsfähiges System mit seiner Eigenfrequenz angeregt wird.

Die Resonanzkurve eines solchen Systems gibt seine Schwingungsamplitude in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz an.

Welle, Wellenarten

Welle = Ausbreitung von Schwingungen über die Aneinanderreihung und Kopplung von schwingungsfähigen Systemen.

**Transversalwelle:**  
Schwingung normal zur Ausbreitungsrichtung

**Longitudinalwelle:**  
Schwingung parallel zur Ausbreitungsrichtung

Akustik

Schall = Schwingung der Luftdichte  
Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen:  $c = 330 \text{ m/s}$

Infraschall: < 16 Hz  
Schall: 16 Hz – 20 kHz  
Ultraschall: > 20 kHz

Tonhöhe  $\hat{=}$  Frequenz  
Lautstärke  $\hat{=}$  Amplitude

Dopplereffekt bei Schall

Dopplereffekt bei Schall = Veränderung der Frequenz durch Bewegung von Sender S und/oder Beobachterin B:

**Fall 1: B bewegt sich zu S hin:**

$$f_B = f_S \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

**Fall 2: S bewegt sich zu B hin:**

$$f_B = f_S \cdot \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$$

Das Bezugssystem ist immer das ruhende Medium (Luft).

Dopplereffekt beim Licht

Im Gegensatz zum Schall gibt es beim Licht kein Medium.

Daher ist das Bezugssystem frei wählbar und das Phänomen ist unabhängig davon ob sich Sender S oder Beobachterin B bewegt:

$$f_B = f_S \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 - \frac{v}{c}} = f_S \cdot \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$$

Ein positives  $v$  entspricht einer Annäherung, ein negatives  $v$  einer Entfernung von Sender und Beobachterin.

Beim optischen Dopplereffekt spricht man bei einer Entfernung von Sender und Beobachterin auch von der Rotverschiebung.

## Reflexion von Licht

**Diffuse Reflexion:** (z.B. Wand)

Reflexion an einer nicht spiegelnden Oberfläche. Das einfallende Licht wird in alle Richtungen gleichermassen gestreut. Die wahrgenommene Helligkeit der Oberfläche ist unabhängig von der Position des Beobachters.

**Reguläre Reflexion:** (z.B. Spiegel)

Reflexion an einer spiegelnden Oberfläche. Das einfallende Licht wird gemäss Einfallswinkel = Ausfallswinkel reflektiert. Daher ist die wahrgenommene Helligkeit der Oberfläche abhängig von der Position des Beobachters.

**Gemischte Reflexion:** (z.B. Lack)

Reflexion mit diffusen und regulären Anteilen.

## Kategorisierung eines optischen Abbildes

**Grösse:**

kleiner, gleich oder grösser

**Richtung:**

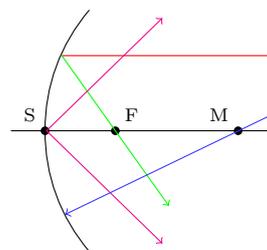
aufrecht oder verkehrt

**Position:**

virtuell oder reell

## Strahlengang beim Hohlspiegel

Sphärischer Spiegel = Konstruktion aus Kugeloberfläche  
Parabolspiegel = Konstruktion aus Parabel



F = Brennpunkt (Fokus)

M = Mittelpunkt

S = Scheitelpunkt

Parallelstrahl  $\Leftrightarrow$  Brennstrahl

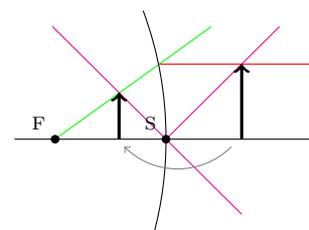
Mittelstrahl  $\Leftrightarrow$  Mittelstrahl

Scheitelstrahl  $\Leftrightarrow$  Scheitelstrahl

Mittellinie = "Hauptstrahl" = "optische Achse"

## Objekt im Wölbspiegel

Konstruktion eines Abbildes im Spiegel bzw. durch eine Linse: Urbild als aufrechter Pfeil auf der optischen Achse. Strahlengang von zwei Strahlen durch die Pfeilspitze einzeichnen. Kreuzungspunkt der projizierten Strahlen ist die Pfeilspitze des Abbildepfeils. Im folgenden Beispiel kreuzen sich die Strahlen "hinter dem Spiegel".

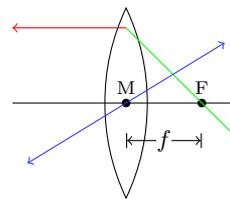


Linker Pfeil: Abbild, Rechter Pfeil: Urbild

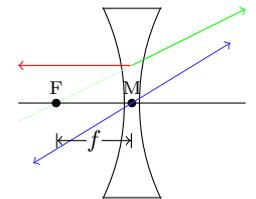
### Abbilder im Hohl- und Wölbspiegel

	Hohlspiegel	Wölbspiegel
<b>Objekt zwischen S und F</b>	vergrößert aufrecht virtuell	verkleinert
<b>Objekt zwischen F und M</b>	vergrößert verkehrt reell	
<b>Objekt jenseits von M</b>	verkleinert verkehrt reell	virtuell

### Strahlengang bei Linsen



konvexe Linse (Sammellinse)



konkave Linse (Zerstreuungslinse)

$f$  = Brennweite

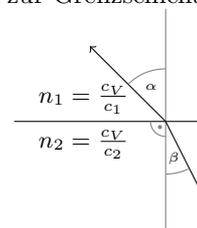
F = Brennpunkt (Fokus) Parallelstrahl  $\Leftrightarrow$  Brennstrahl  
 M = Mittelpunkt Mittelstrahl  $\Leftrightarrow$  Mittelstrahl

### Abbilder bei Linsen

	konvexe Linse (Sammellinse)	konkave Linse (Zerstreuungslinse)
<b>Objekt innerhalb von <math>f</math></b>	vergrößert aufrecht virtuell	verkleinert
<b>Objekt zwischen <math>f</math> und <math>2f</math></b>	vergrößert verkehrt reell	
<b>Objekt ausserhalb von <math>2f</math></b>	verkleinert verkehrt reell	virtuell

### Brechung

Wenn Licht durch die Grenzschicht zweier dispersiver (lichtdurchlässiger) Medien mit unterschiedlicher mediumspezifischer Lichtgeschwindigkeit  $c_1, c_2$  fällt, so ändert sich der Winkel des Strahls zur Grenzschicht:



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$n_1, n_2$  = "Brechungsindex"

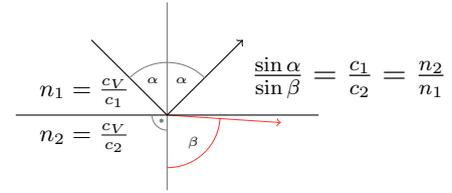
$c_V$  = Vakuumlichtgeschwindigkeit

$$n_{\text{Vakuum}} = 1 \quad n_{\text{Luft}} \approx 1.000 \dots 1 \quad n_{\text{Wasser}} \approx 1,3$$

$$n_{\text{Diamant}} \approx 2,4$$

## Totalreflektion

Bei Brechung von einem dichteren Medium (Medium mit kleinerem  $c_M$ , also grösserem  $n_M$ ) zu einem weniger dichten Medium (Medium mit grösserem  $c_M$ , also kleinerem  $n_M$ ) kommt es ab einem bestimmten Grenzwinkel zur Totalreflektion:



Bei  $n_1 > n_2$  und entsprechend grossem  $\sin \alpha$  wird  $\sin \beta$  grösser als 1. Da es keinen Winkel  $\beta$ , der diese Bedingung erfüllen könnte, gibt, kommt es zu keiner Brechung und die Grenzschicht wird spiegelnd.

## Mischfarbe, Spektralfarbe

Licht ist eine elektromagnetische Welle. Die Frequenz (Wellenlänge) bestimmt die Farbe. Langwelliges (niederfrequentes) Licht ist rot, kurzwelliges (hochfrequentes) Licht ist violett:

Farbton	Wellenlänge	Wellenfrequenz	Energie pro Photon
Violett	380-420 nm	789,5-714,5 THz	3,26-2,955 eV
Blau	420-490 nm	714,5-612,5 THz	2,95-2,535 eV
Grün	490-575 nm	612,5-522,5 THz	2,53-2,165 eV
Gelb	575-585 nm	522,5-513,5 THz	2,16-2,125 eV
Orange	585-650 nm	513,5-462,5 THz	2,12-1,915 eV
Rot	650-750 nm	462,5-400,5 THz	1,91-1,655 eV

Weisses Licht = Gemisch aus allen Wellenlängen

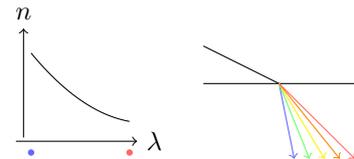
Spektralfarbe = Licht mit nur einer Wellenlänge (monochromatisch)

Mischfarbe = Weiss - 1 Farbe = erscheint als Komplementärfarbe

Für das freie Auge ist der Unterschied zwischen einer Spektralfarbe und einer Mischfarbe nicht zu erkennen.

## Farben durch Dispersion

Der Brechungsindex  $n$  ist nicht nur vom Medium sondern auch von der Wellenlänge des Lichts ( $\lambda$ ) abhängig.

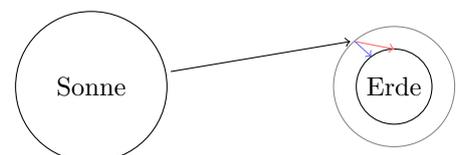


Dadurch wird weisses Licht bei Brechung in das Spektrum zerlegt.

## Farben durch Streuung

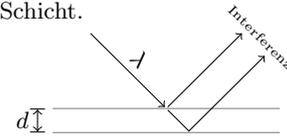
Licht wird beim Durchtritt durch ein Medium an Partikeln im Medium (Staub, Wasserdampf, etc.) gestreut (aufgefächert). Der Grad der Streuung ist von der Wellenlänge abhängig. Blaues Licht wird 4 mal stärker gestreut als rotes.

Morgenrot und Himmelblau durch Streuung des weissen Sonnenlichts in der Erdatmosphäre:



## Farben durch Interferenz an dünnen Schichten

Bei einer Reflexion an einer dünnen Schicht (Ölfilm, etc.) kommt es zu einer Doppelreflexion: Einmal an der Oberseite und einmal an der Unterseite der Schicht.



Der Strahl der an der Unterseite der Schicht reflektiert wurde legt einen um ca.  $2d$  längeren Weg zurück als der Strahl der an der Oberseite reflektiert wurde. Dadurch kommt es zu einem Phasenversatz dieser beiden Strahlen und zur Interferenz. Manche spektralen Anteile werden ausgelöscht (destruktive Interferenz) und andere verstärkt (konstruktive Interferenz).

$$\text{Konstruktiv: } d = k \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad \text{Destruktiv: } d = \frac{\lambda}{4} + k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

## Atommodell

Der Kern besteht aus Protonen ( $p^+$ ) und Neutronen. Der Radius des Kerns ist viel kleiner als der Radius des ganzen Atoms

Elektronen ( $e^-$ ) beschreiben Kreisbahnen um den Kern und werden durch die Coulombkraft in der Bahn gehalten (Zentripetalkraft).

Neutronen sind etwa so schwer wie Protonen. Ein Proton bzw. ein Neutron wiegt etwa 1836 mal mehr als ein Elektron.

Es gibt nur einige erlaubte Bahnen fuer die Elektronen ("Schalen").

Wenn ein Elektron auf eine niedrigere Bahn springt wird Energie abgestrahlt. Diese Energie kann nur in bestimmten "Paketen" abgestrahlt werden. Wegen  $E = h \cdot f$  sind nur gewisse Frequenzen möglich ( $h$  = Plancksches Wirkungsquantum = konstant).

## Elemente und Isotope

Element = Sammelbezeichnung für alle Atome mit der selben Anzahl an Protonen im Kern. Alle Atome vom selben Element haben dieselben chemischen Eigenschaften.

$$\text{Schreibweise fuer Elemente: } {}^M_Z E$$

$M$  ... Massenzahl (Protonen + Neutronen)

$Z$  ... Ordnungszahl (Anzahl Protonen)

$E$  ... Chemisches Kürzel für das Element

Isotope = Atome vom gleichen Element aber unterschiedlicher Neutronenanzahl. Zum Beispiel die Isotope von Wasserstoff:



## Radioaktive Strahlung

Radioaktive Strahlung entsteht bei Zerfallsprozessen von Atomkernen.

**$\alpha$ -Strahlung:** (He-Kerne: 2 Protonen + 2 Neutronen,  $v \approx 10^7$  m/s)  
 $(Z, M) \rightarrow (Z - 2, M - 4) + 1 \text{ He-Kern}$

**$\beta$ -Strahlung:** (1 Elektron,  $v \approx 10^8$  m/s)  
 $(Z, M) \rightarrow (Z + 1, M) + 1 \text{ Elektron} + 1 \text{ Antineutrino}$   
 Der Strahler wird beim Zerfall ionisiert

**$\gamma$ -Strahlung:** (Elektromagnetische Welle,  $f \approx 10^{20}$  Hz)

## Massendefekt

Die Einzelteile eines Atoms sind in Summe schwerer als das "zusammengesetzte" Atom. Die Differenzmasse wird beim Bilden eines Atoms in Energie umgesetzt bzw. muss beim Zerlegen des Atoms als Energie zugeführt werden.

Energieerhaltungssatz + Massenerhaltungssatz  
 $\Rightarrow$  Energiemasseerhaltungssatz ( $E = mc^2$ )

Bindungsenergie =  $\Delta m / \text{Nuklid}$  = immer negativ

Bei Fe (Eisen) ist die Bindungsenergie am kleinsten (negativsten).  
 Bei leichteren Elementen als Eisen: Energiegewinnung durch Fusion  
 Bei schwereren Elementen als Eisen: Energiegewinnung durch Fission (Kernspaltung, Funktionsprinzip AKW)

## Wärmeenergie, Temperatur und Temperaturskalen

Temperatur ( $T$ ,  $[T] = \text{K} = 1 \text{ Kelvin}$ ) ist die mittlere kinetische Energie der Teilchen.

Wärme ( $Q$ ) ist eine Energieform ( $[Q] = 1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ kJ}$ ).  
 Durch Zuführen von Wärmeenergie wird die Temperatur erhöht.

Material	$c$ in kcal/kg·ΔK	$c$ in kJ/kg·ΔK
Wasser	1	4,18
Luft	0,24	1,00
Landmassen	$\approx 0,2$	$\approx 0,8$
Blei	0,08	0,33

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Achtung:  $c$  ist nicht wirklich eine Materialkonstante sondern hat selbst eine Temperaturabhängigkeit.

Temperaturskalen: Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Kelvin (K), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ )

$$273,15 \text{ K} = 0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}, \quad \Delta 1 \text{ K} = \Delta 1^{\circ}\text{C} = \Delta 1,8^{\circ}\text{F}$$

## Thermodynamische Zustandsgrößen

### Druck

Formelzeichen:  $p$ , Definition:  $p = \frac{F}{A}$ , Einheit: Pa = 1 N/m<sup>2</sup>

### Temperatur

Formelzeichen:  $T$ , Definition:  $T = \frac{m \cdot c}{Q}$ , Einheit: K

### Volumen

Formelzeichen:  $V$ , Definition:  $V = l \cdot b \cdot h$ , Einheit: m<sup>3</sup>

## Mechanisches Wärmeäquivalent

$$E = m \cdot g \cdot h \quad [E] = \text{J}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad [Q] = \text{kcal}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ kJ} = 4180 \text{ J}$$

1 kcal  $\hat{=}$  1 kg Wasser um 1  $^{\circ}\text{C}$  erwärmen

1 kcal  $\hat{=}$  1 kg um 427 m heben

1 kcal  $\hat{=}$  1 kg auf 329 km/h beschleunigen

## Hauptsätze der Thermodynamik

### 0. Hauptsatz:

Die Temperaturen zweier miteinander verbundener Systeme gleichen sich aus.

### 1. Hauptsatz:

Wärme ist eine Energieform. Der Energieerhaltungssatz ist auch für Wärmeenergie gültig.

### 2. Hauptsatz:

Thermische Energie ist nicht in beliebigem Maße in andere Energiearten umwandelbar.

### 3. Hauptsatz:

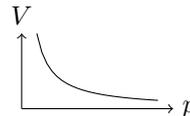
Der absolute Nullpunkt der Temperatur ( $0\text{ K} \approx -273,15\text{ }^\circ\text{C}$ ) ist unerreichbar.

$$pV = nRT$$

$p$  Druck  $V$  Volumen  
 $n$  Stoffmenge  $T$  Temperatur  
 $R$  allgemeine Gaskonstante ( $R \approx 8\,314\text{ J/mol}\cdot\text{K}$ )

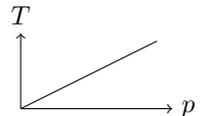
### Boyle-Mariottesches Gesetz

$T, n = \text{const} \Rightarrow pV = \text{const}$



### Gay-Lussacsches Gesetz

$V, n = \text{const} \Rightarrow \frac{p}{T} = \text{const}$



## Gasgleichung

## Wärmeübertragung

### Wärmeleitung:

Wärmeübertragung in Festkörpern bzw. ruhenden Flüssigkeiten und Gasen. Die Wärmeleitfähigkeit  $k$  ( $[k] = \text{W/m}\cdot\text{K}$ ) ist eine temperaturabhängige Materialkonstante.

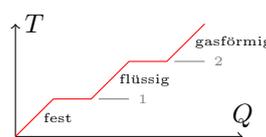
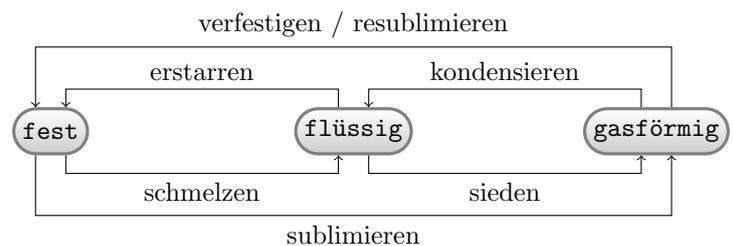
### Wärmeströmung:

Wärmeübertragung in bewegten Flüssigkeiten und Gasen. Die Wärme wird mit der Materie mitbewegt.

### Wärmestrahlung:

Wärmeübertragung durch eine elektromagnetische Welle.

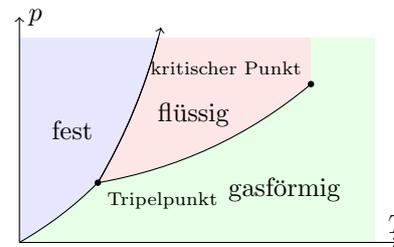
## Phasenübergänge (Aggregatzustände)



An den Phasenübergängen müssen zusätzlich zu  $Q = mc\Delta T$  noch die Schmelzwärme (1) und die Verdampfungswärme (2) zum weiteren Erhöhen der Temperatur zugeführt werden.

## Druck-Temperatur-Phasendiagramm

Das Druck-Temperatur-Phasendiagramm zeigt für einen Stoff die Phase in Abhängigkeit von Druck und Temperatur:



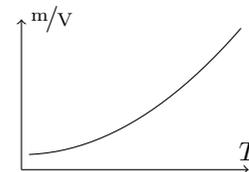
Bei Temperaturen unterhalb des Tripelpunktes gibt es keine flüssige Phase. Der Stoff sublimiert und resublimiert im Phasenübergang.

Bei Temperaturen jenseits des kritischen Punktes (über der kritischen Temperatur) kann ein Gas durch Druck nicht mehr verflüssigt werden.

## Luftfeuchtigkeit

Einheit der absoluten Luftfeuchtigkeit:  $\text{g}/\text{m}^3$

Die Sättigungsmenge der Luftfeuchtigkeit ist temperaturabhängig:



relative Luftfeuchtigkeit = % der Sättigungsmenge

## Wärmestrahlung

Jeder Gegenstand strahlt in Abhängigkeit von seiner Temperatur elektromagnetische Wellen ab.

Wird ein Gegenstand heißer, so nimmt die ausgesendete Strahlungsenergie mit der 4. Potenz der Temperatur zu ( $E \sim T^4$ ). Mit einer Erhöhung der Temperatur wird auch das Strahlungsmaximum ins kurzwelligere Spektrum verschoben.

Beispiel: Eine Glühwendel leuchtet bei geringer Temperatur rötlich-orange und bei hoher Temperatur weiß.

Jeder Körper absorbiert Wärmestrahlung im gleichem Maße in dem er Wärmestrahlung aussendet. (0. Hauptsatz der Thermodynamik)

## Elektrische Ladungen

Es gibt positive (+) und negative (-) Ladungen.

Elektrische Ladung ist immer an Materie gebunden.

Negative Elementarladung: Elektron ( $e^-$ )

Positive Elementarladung: Proton ( $p^+$ )

Positive und negative Ladung heben sich gegenseitig auf.

Ladungen können nicht erzeugt sondern nur getrennt werden.

## Coulombkraft

Gleichnamige Ladungen (+/+ bzw. -/-) stoßen sich ab.

Ungleichnamige Ladungen (+/-) ziehen sich an.

Diese Kraft ist die Coulombkraft  $F_C$ :

$$F_C = k_C \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}, \quad k_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8,99 \cdot 10^9 \text{ V}\cdot\text{m}/\text{A}\cdot\text{s}$$

Formelzeichen der Ladung:  $Q$

Einheit der Ladung:  $[Q] = \text{C} = \text{A} \cdot \text{s} = 1 \text{ Coulomb}$

## Elektrostatisches Feld

Jede Ladung  $Q$  verursacht ein elektrostatisches Feld  $\vec{E} = k_C \cdot \frac{Q}{r^2}$ .

Das elektrostatische Feld ist ein Quellenfeld mit positiven Ladungen als Quellen und negativen Ladungen als Senken.

Zur Veranschaulichung dienen Feldlinien:

- Die Feldlinien stehen normal auf die Ladungen
- Dichte der Feldlinien  $\hat{=}$  Stärke des Feldes

Kraft  $F_{e^-}$  auf ein  $e^-$  im E-Feld:

$$\vec{E} = k_C \cdot \frac{Q}{r^2}, \quad F_C = k_C \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \Rightarrow F_{e^-} = \vec{E} \cdot e^-$$

## Strom

Strom  $I = \text{bewegte Ladung} \frac{Q}{t}$

$$I = \frac{Q}{t}, \quad [I] = \text{A} = \text{C}/\text{s} = 1 \text{ Ampere}$$

Gleichstrom = gleichförmig bewegte Ladung

Wechselstrom = ungleichförmig bewegte Ladung

## Elektrischer Widerstand und elektrische Leistung

Der elektrische Widerstand  $R$  bestimmt wieviel Leistung notwendig ist damit ein bestimmter elektrischer Strom fließt:

$$R = \frac{P}{I^2}, \quad R = \frac{\rho l}{A}, \quad [R] = \Omega = 1 \text{ Ohm}$$

$\rho$  = spezifischer Widerstand = eine Materialkonstante

$l$  = Länge des Leiters

$A$  = Querschnitt des Leiters

Kehrwert des Widerstands = Leitwert  $G$ ,

$[G] = 1/\Omega = \text{S} = 1 \text{ Siemens}$

## Ohmsches Gesetz und elektrische Spannung

Die Spannung  $U$  ist jene physikalische Größe die den Strom gegen den Widerstand durch den Leiter "treibt".

Das Ohmsche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen Spannung, Widerstand und Strom:

$$U = R \cdot I, \quad [U] = \text{V} = \Omega \cdot \text{A} = 1 \text{ Volt}$$

## Kirchhoffsche Gesetze

**Knotenregel, Kirchhoffsches Stromgesetz:**

Die Summe aller Ströme in einem Knoten ist Null.

**Maschenregel, Kirchhoffsches Spannungsgesetz:**

Die Summe aller überwundenen Spannungen in einer Masche ist Null.

## Serien- und Parallelschaltung von Widerständen

**Serienschaltung von Widerständen (Spannungsteiler):**

Die Spannung teilt sich proportional zu den Widerstandswerten

Die Widerstandswerte addieren sich

**Parallelschaltung von Widerständen (Stromteiler):**

Der Strom teilt sich proportional zu den Leitwerten

Die Leitwerte addieren sich

## Sicherheitseinrichtungen bei Elektrizität

**FI (Fehlerstromschutzschalter):**

Misst Stromdifferenz zwischen Zu- und Ableitung.

Löst aus wenn Stromdifferenz zu gross wird (d.h. wenn der Strom woandershin fliesst).

**Sicherung:**

Misst den Strom und löst aus, wenn der Strom einen festgelegten Schwellwert überschreitet.

## Elektromagnetismus

Eine bewegte Ladung (Strom) erzeugt ein Magnetfeld  $\vec{B}$  (Rechte-Hand-Regel, Rechtsschraubregel).

Ein veränderliches  $\vec{B}$ -Feld erzeugt eine elektromagnetische Welle.

$\vec{B}$ -Felder üben eine Kraft auf bewegte Ladungen aus (Lorentzkraft).

Ruhende Ladungen erzeugen ein  $\vec{E}$ -Feld.

$\vec{E}$ -Felder üben eine Kraft auf ruhende und bewegte Ladungen aus (Coulombkraft).

## Transformator

Ein Transformator ist ein System aus 2 magnetisch gekoppelten Spulen mit unterschiedlicher Windungszahl  $N_1, N_2$ .

Durch magnetische Induktion wird Leistung von der Primärspule auf die Sekundärspule übertragen.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}, \quad P = U \cdot I = \text{const}$$