

Lernziele 12.1 Statik

- Die Studierenden kennen das Drehmoment und können es berechnen, als Skalar und als Vektor.
- Die Studierenden kennen die Bedingung für statisches Gleichgewicht

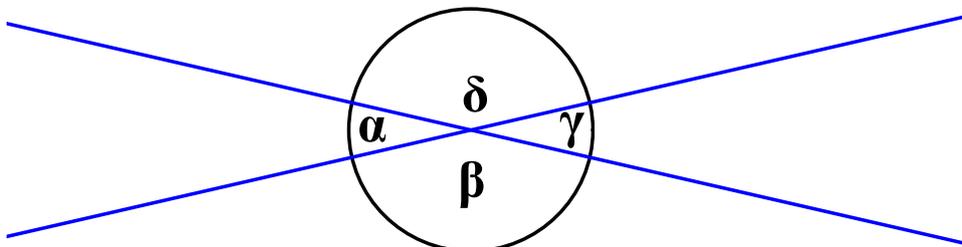
$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{0} \text{ und } \sum_i \vec{M}_i = \vec{0}$$

Geometrie:

- Die Studierenden können Vektoren (z.B. Kräfte) in Komponenten in einem rechtwinkligen Koordinatensystem zerlegen.
- Die Studierenden kennen Scheitelwinkel, Nebenwinkel, Stufenwinkel und Wechselwinkel.

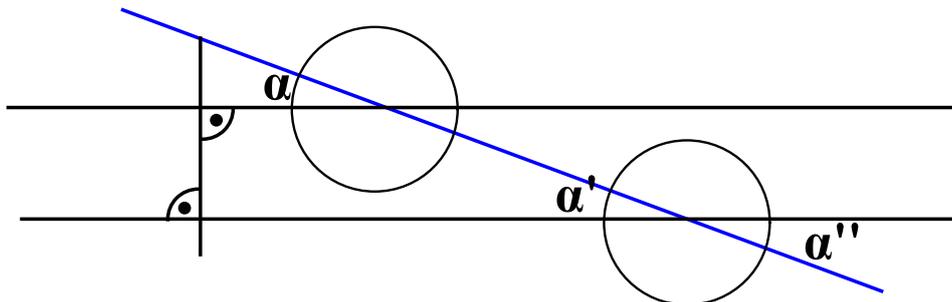
12.1 Geometrie

Definition 12.1 Scheitelwinkel/Nebenwinkel



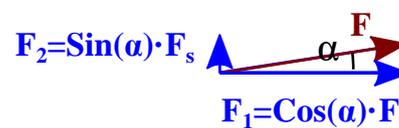
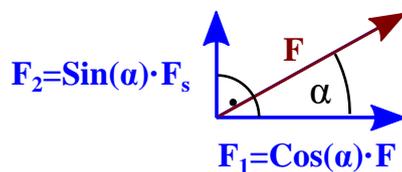
- α und γ sind Scheitelwinkel. $\alpha = \gamma$
- α und β sind Nebenwinkel. $\beta = 180^\circ - \alpha$

Definition 12.2 Stufenwinkel/Wechselwinkel



α und α' sind Stufenwinkel.
 α und α'' sind Wechselwinkel. $\alpha = \alpha' = \alpha''$

Infobox 12.1 Zerlegung Vektor



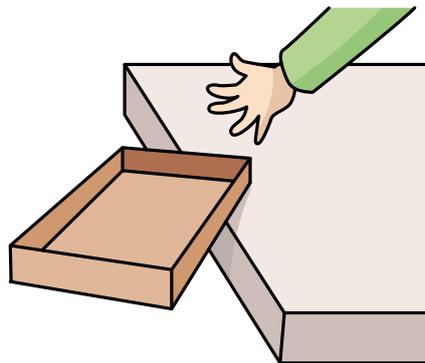
Die Kraft mit Betrag F soll zerlegt werden in eine Kraft F_1 , die Winkel α einschliesst mit \vec{F} und Kraft senkrecht dazu. Für $\alpha < 45^\circ$ ist $F_1 < F_2$. Dies erlaubt die Zuordnung:

- grosser Anteil ist $F_1 = \cos(\alpha) \cdot F$
- kleiner Anteil ist $F_2 = \sin(\alpha) \cdot F$

12.2 Anwendung

Beispiel 12.1 Schwerpunkt

GVDSYU



- Wird die Schachtel herunterfallen?
- Was ist die Bedingung, dass die Schachtel herunterfällt?
- Was könnte man tun, damit die Schachtel der gezeigten Lage nicht herunter-

fällt

Definition 12.3 Schwerpunkt

Der Punkt eines Körpers, in dem die gesamte Masse vereint gedacht werden kann, heisst **Schwerpunkt** (oder Massemittelpunkt).

[Mäder and Kamber, 2020, p. 195]

Infobox 12.2 Schwerpunkt

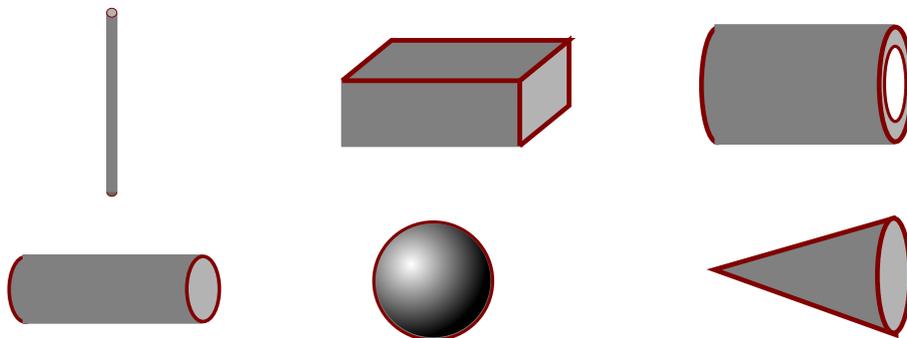
Wird ein Körper im Schwerpunkt unterstützt, bleibt er im Gleichgewicht.

Wird ein Körper nicht unterstützt, wirkt nur die Schwerkraft auf den Körper und es wirkt kein Drehmoment.

Beispiel 12.2 Schwerpunkt 2

LIVQ1K

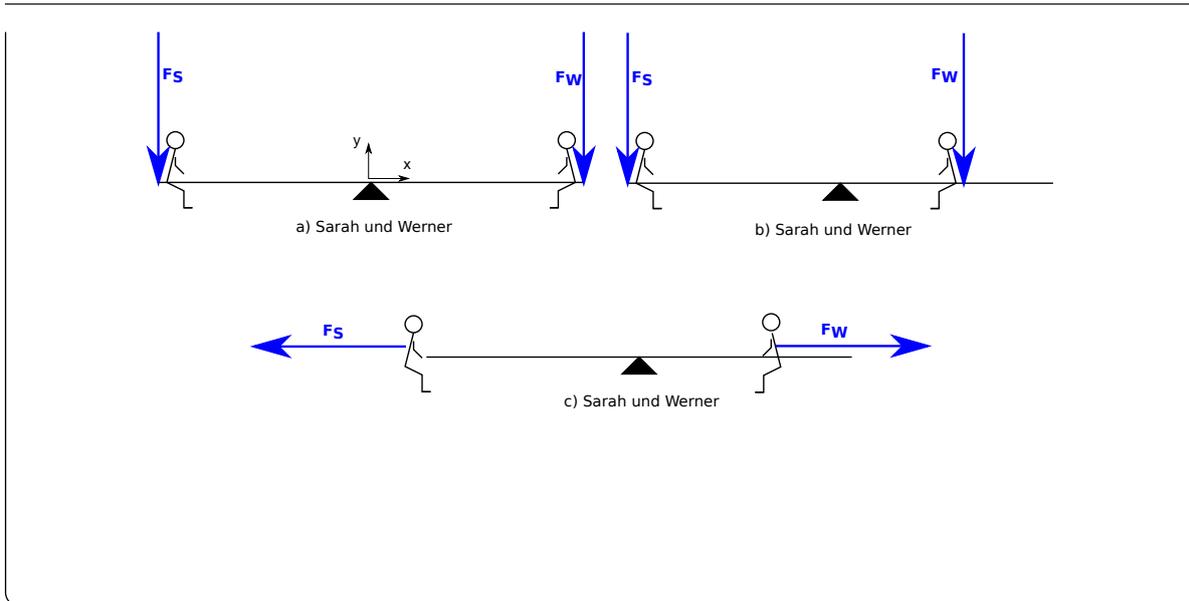
Bestimmen Sie den Schwerpunkt der gezeichneten Objekte.



Beispiel 12.3 Schaukel

3N3C7C

- Sarah und Werner sind gleich schwer (40 kg) und setzen sich auf die Schaukel. Die Summe der Kräfte scheint nicht ausgeglichen zu sein. Warum ist die Schaukel trotzdem in Ruhe?
- Nun rutscht Werner etwas nach innen und die Schaukel bewegt sich. Weshalb? Was ist nun nicht mehr ausgeglichen?
- Schliesslich ziehen die beiden an der Schaukel wie beim Seilziehen. Die Schaukel bewegt aber nicht. Weshalb?



Definition 12.4 Drehmoment

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

$$M = r \cdot \underbrace{F_{\text{tangential}}}_{=F \cdot \sin(\alpha)}$$

- F_t : Tangentialkomponente der Kraft [N]
- r : Abstand von Drehachse zu Angriffspunkt der Kraft [m]
- α : Winkel zwischen Hebelarm und Kraft

Wirkt die Kraft im mathematisch positiven Sinn d.h. im Gegenuhrzeigersinn, ist das Drehmoment positiv, sonst negativ.

Beispiel 12.4 Drehmoment berechnen

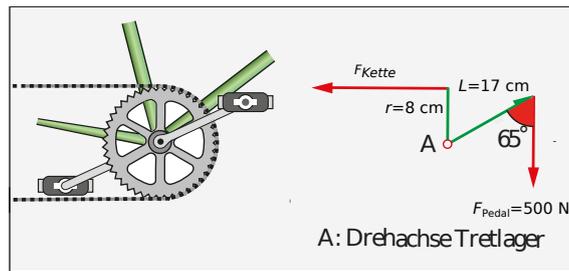
06HHDN

Sarah und Werner sitzen 2 m vom Lager entfernt.

- Wie gross ist das Drehmoment, das Sarah ausübt? Wie gross ist das von Werner?
- Berechnen Sie die Vektoren der Drehmomente.

Beispiel 12.5 Fahrrad

V8H6JV



Länge Pedale $L = 17 \text{ cm}$, Radius Kettenblatt $r = 8 \text{ cm}$, Kraft Pedale 500 N , Winkel $\alpha=65^\circ$. Wie gross ist die Kraft an der Kette?

Satz 12.1 Statisches Gleichgewicht am starren Körper

Ein statisches Gleichgewicht herrscht, wenn

$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{0} \text{ und } \sum_i \vec{M}_i = \vec{0}$$

Als Resultat verändert sich die Geschwindigkeit des Körpers und seine Rotationsgeschwindigkeit nicht.

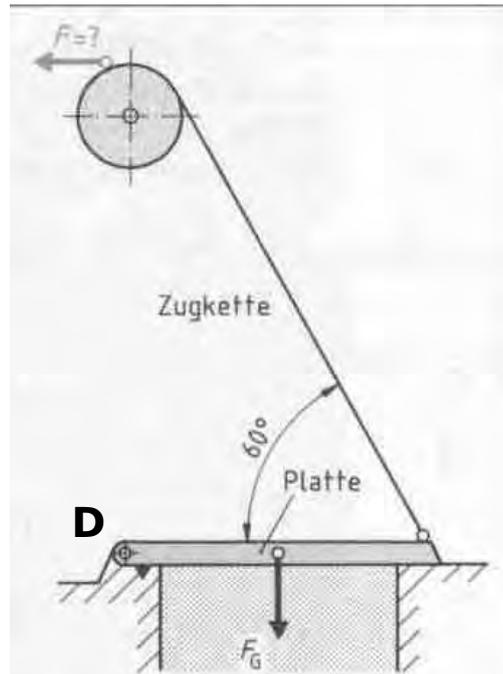
Infobox 12.3 Statisches Gleichgewicht

- **Der Körper bleibt dann in Ruhe** oder
- er bewegt sich geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit fort oder
- er rotiert mit konstanter Geschwindigkeit

Beispiel 12.6 Schachtdeckel (S. 2, Nr. 21)

FKURIV

Masse Schachtdeckel 50 kg , Winkel Zugseil 60° .



Wir betrachten zunächst die Kräfte, die auf den Schachtdeckel ausgeübt werden. Berechnen Sie nacheinander

- das Drehmomente bezüglich \vec{D} im statischen Gleichgewicht,
- die Kraft der Zugkette auf den Deckel (Betrag und Vorzeichen),
- die Kraft der Zugkette auf den Deckel (kartesische Komponenten),
- die Lagerkraft bei D ,
- die Kraft der Seilenden auf die Rolle.

Beispiel 12.7 Buch vs. Kabel

- Kleben Sie einen Stift ans Ende einer Schnur (z.B. Ladekabel). Versuchen Sie nun den Stift mit Hilfe der Schnur zu bewegen. Welche Bewegungen sind möglich? Welche nicht?
- Was würde passieren, wenn sie den Stift auf ein Buch (fester Gegenstand) kleben würden?

Infobox 12.4 Kraft von Seilen

Schnüre, Seile und Kabel können nur entlang der Seil-Richtung *ziehen*.

Beispiel 12.8 Kräfte von Seilen

SEHXPV

Wir betrachten ein Seil in der xy -Ebene. Das eine Ende ist bei $\vec{0}$. Das zweite Ende ist angegeben mit dem Vektor \vec{a} bis \vec{d} . Geben Sie den Kraftvektor an.

a) Kraft $F_a = 5$ N, Seilende bei

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} -16 \\ 63 \end{pmatrix}$$

b) Kraft $F_b = 70$ N, Seilende bei

$$\vec{b} = \begin{pmatrix} 11 \\ 60 \end{pmatrix}$$

c) Kraft $F_c = 2$ N, Seilende bei

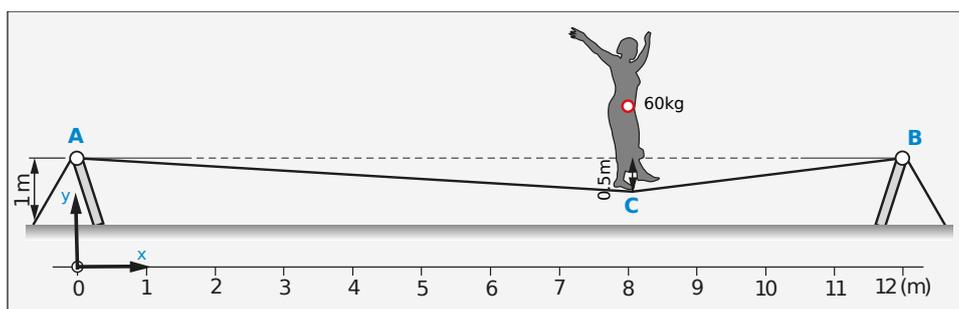
$$\vec{c} = \begin{pmatrix} 3 \\ -4 \end{pmatrix}$$

d) Kraft F_d , Seilende bei

$$\vec{d} = \begin{pmatrix} -12 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Beispiel 12.9 Slackline

E5LUGA



Person $m=60$ kg, Seil 12 m, Position bei 8 m, Seil hängt 0.5 m durch. Wir betrachten das Stück des Seils, auf dem die Person steht.

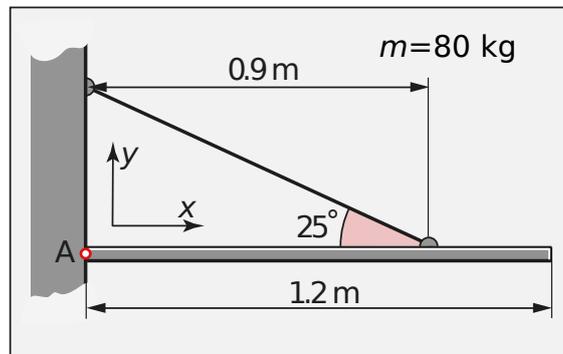
a) Richtung der Kräfte des Seils? (mit Vektoren angeben)

b) Kräftegleichung $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$

c) Kräfte im Seil = ?

Beispiel 12.10 Vordach

ZC7EE8

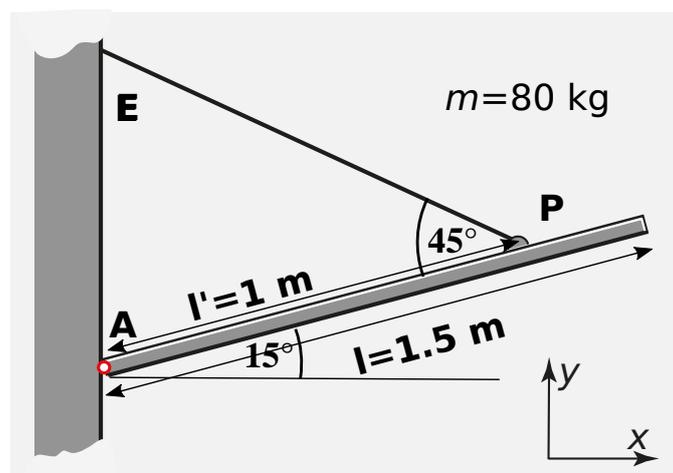


Wir betrachten die Kräfte (von aussen) auf das Vordach. Berechne nacheinander

- die Drehmomente bezüglich A,
- die Kraft des Seils (Betrag und Vorzeichen),
- die Kraft des Seils (kartesische Komponenten),
- die Kraft der Wand bei A.

Beispiel 12.11 Vordach (S2, Nr.19)

YD8EE8



Wir betrachten die Kräfte (von aussen) auf das Vordach. Berechne nacheinander

- die Drehmomente bezüglich A,
- die Kraft des Seils (Betrag und Vorzeichen),

- c) die Kraft des Seils (kartesische Komponenten),
- d) die Kraft der Wand bei A.

Beispiel 12.12 Statisches Gleichgewicht

KRYWDW

Welche der folgenden Aussagen treffen zu?

- a) Ein Flugzeugt fliegt mit der (konstanten) Reisegeschwindigkeit 840 km/h und befindet sich in statischem Gleichgewicht.
- b) Der Eiffelturm ist im statisches Gleichgewicht.
- c) Statisches Gleichgewicht bedeutet, dass sich nichts bewegt.

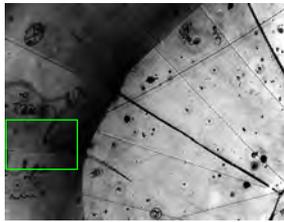
12.3 Online-Materialien

- Das Drehmoment - Technische Mechanik Grundlagen 5
<https://www.youtube.com/watch?v=WA0ry1H4LZ4>
- Kräfte- und Momentengleichgewicht - Fachwerke und statisches Gleichgewicht, Theorie und Beispiel
<https://www.youtube.com/watch?v=HK4Un1S2HHY>

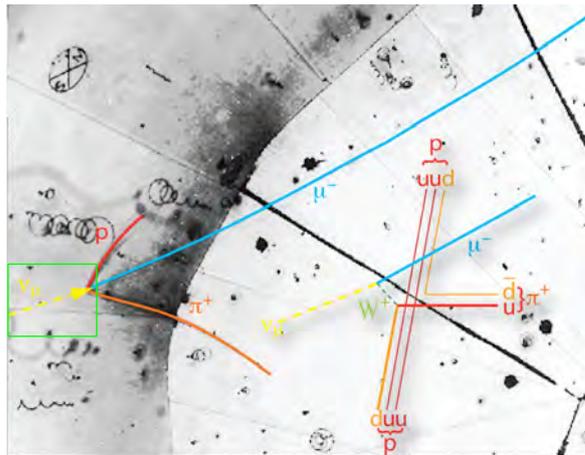
Lernziele 14.1 Energie

- Die Studierenden kennen verschiedene Formen der Energie
 - Arbeit $W = F \cdot s$ (Beträge: $W = |F| \cdot |s|$)
 - Potentielle Energie $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$
 - Kinetische Energie $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
 - Elastische Energie $E_{\text{elast}} = \frac{1}{2} D s^2$
 - Chemische Energie $E_{\text{chem}} = m \cdot H_u$; H_u : Heizwert in J
 - Innere Energie $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ (spezifische Wärme) oder $Q = m \cdot L_f$ (Phasen-Übergang)
- Die Studierenden wissen, dass die Energie in einem abgeschlossenen System erhalten ist.
- Die Studierenden wissen, dass Energie zwischen den verschiedenen Energieformen umgewandelt wird, z.B. **Umwandlung Arbeit in Energie: $W \Leftrightarrow E$; $W = E$ gemessen in J, Nm,Ws, kWh**
- Die Studierenden kennen die **Leistung** $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$
- Die Studierenden kennen den **Wirkungsgrad** $\eta = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{in}}}$ (keine Einheiten) und die **nutzbare Energie** $E_{\text{out}} = E_{\text{in}} \cdot \eta$
- Die Studierenden kennen den maximalen Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine. Es ist der **Carnot-Wirkungsgrad** $\eta_C = \frac{T_w - T_k}{T_w}$

Beispiel 14.1 Erfolgreiches Konzept: Energieerhaltung**DZX2K4**



a)



b)

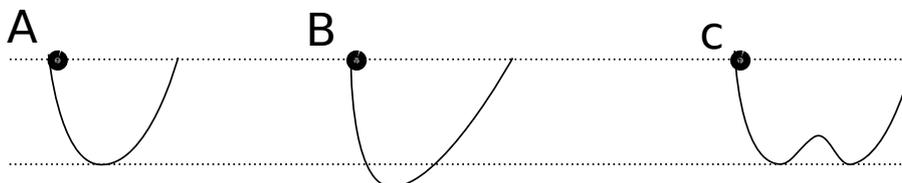
Sicher haben sie schon von Teilchen gehört die kleiner sind als Atome, wie Protonen (p), Neutrinos (ν), Myon (μ^-) und Pionen (π^+).

- Wie weist man diese Teilchen nach?
- Betrachten Sie die beiden Bilder oben. Was fällt Ihnen auf? Versuchen Sie die Bilder zu interpretieren. Beachten Sie besonders, was sich innerhalb der grünen Box abspielt.

Beispiel 14.2 Kugelbahn

TRJFPE

- Wie hoch kommt der reibungsfrei rollende Ball auf der anderen Seite? Begründen Sie mit physikalischen Argumenten (Begriffen).
- Bei welcher Bahn erreicht die Kugel die höchste Geschwindigkeit? Begründen Sie mit physikalischen Argumenten (Begriffen).
- Nebenbei: Bei welcher Bahn bewegt sich die Kugel am Schnellsten von einer Seite zur anderen?

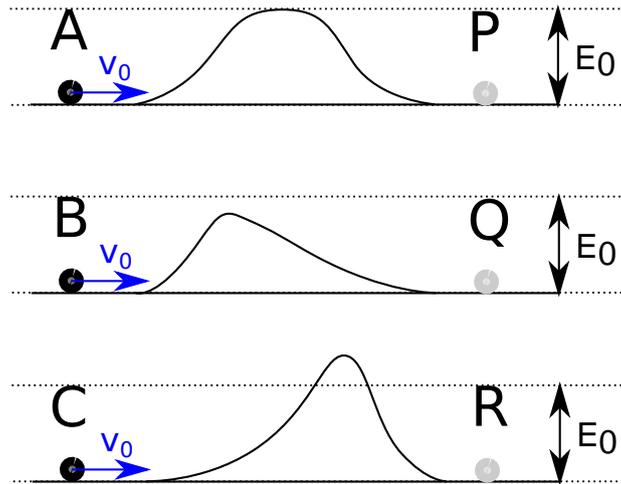


Beispiel 14.3 Kugelbahn 2

N1CGHV

Alle Kugeln werden bei A,B oder C mit gleicher Geschwindigkeit gestartet. Wir betrachten das System idealisiert, d.h. ohne Verluste durch Reibung.

- Vergleichen Sie die Geschwindigkeiten bei P, Q und R. Begründen Sie mit physikalischen Argumenten (Begriffen).
- Bei welcher Bahn erreicht die Kugel die höchste Geschwindigkeit, bei welcher die Tiefste?

**Definition 14.1 Arbeit**

$W = F \cdot s$ in Joule. Es gilt $1\text{J}=1\text{ Nm}$

Beträge, falls Kraft parallel zu Weg steht: $W = |F| \cdot |s|$

Beispiel 14.4 Handgepäck

Gepäck 8 kg auf 2 m Höhe verstauen. Hubarbeit?

Definition 14.2 Kinetische Energie in Joule

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

- m Masse in kg
- v Geschwindigkeit in m/s

Beispiel 14.5 Senkrechter Wurf

PI1IV8

Auf Brücke Tennisball senkrecht nach oben geworfen mit 15 m/s.

- Wie hoch fliegt Ball?
- Wie lange fliegt Ball nach oben? Betrachten Sie die Geschwindigkeit.

Beispiel 14.6 Abbremsen

F896IQ

Auto 1200 kg bremst.

- Berechnen Sie kinetische Energie des Autos bei $v_1 = 90$ km/h und $v_2 = 30$ km/h.
- “Energieverlust” beim Bremsen von v_1 auf v_2 ?
- Energie wird nie vernichtet. Wo ist also die Energie hin?

Infobox 14.1 Energieerhaltung

Die Energie ist immer erhalten. Hier wird kinetische Energie in Wärmeenergie der Bremsbelägen umgewandelt.

Beispiel 14.7 Tennis Aufschlag

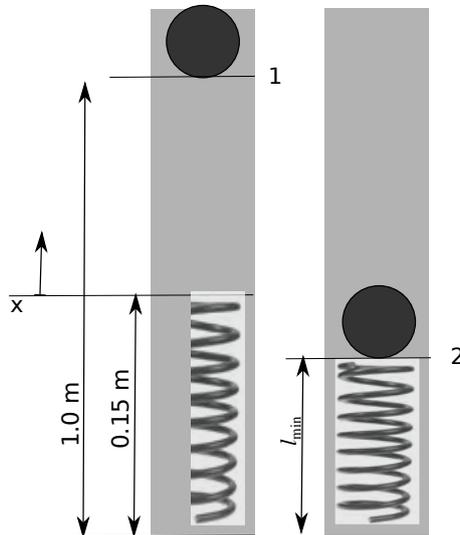
VSJQ7H

Schlag 2.2 m in Höhe, $v_{0,x} = 27.3$ m/s. Wir vernachlässigen den Luftwiderstand.

- Energie ist erhalten zwischen Abschlag und Aufprall auf Boden. Gleichung?
- Geschwindigkeit bei Aufprall?
- z -Komponente beim Aufprall?
- Aufprallwinkel

Beispiel 14.8 Kugel und Feder

GTZ16D



Eine Kugel ($m = 0.1 \text{ kg}$) fällt aus einer Höhe 1 m auf eine Feder der Länge $l_0 = 15 \text{ cm}$ und $D = 150 \text{ N/m}$.

- Welche Energieformen kommen in diesem System vor?
- Benutzen Sie das angegebene Koordinatensystem. Geben Sie folgende Energien an
 - E_1 : Der Ball ist auf einem Meter Höhe über dem Boden und die Feder ist entspannt.
 - E_2 : Die Feder ist maximal zusammengedrückt.
- Wie tief fällt der Ball?
- Auf welche kürzeste Länge wird die Feder zusammengedrückt?

Beispiel 14.9 Rollendes Fahrrad

FUBY6P

Fahrbahn 5.8° geneigt, 300 m ; Velo 80 kg ; Fahrtwiderstand 25 N (setzt sich zusammen aus Luftwiderstand und Rollreibung)

- Welche Formen der Energie existieren in System?
- E_1 Velo steht zuoberst; E_2 Velo hat Höchstgeschwindigkeit.
- $v_{\max} = ?$
- E_3 ist ganz ausgerollt

e) Wie weit rollt Velo aus?

f) Nur 2 Reifen erwärmen sich [1 Reifen: $m=0.5 \text{ kg}$, $c = 1.5 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]. $\Delta T=?$

Definition 14.3 Leistung

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{dE}{dt}$$

Einheiten: $\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{Watt} = \text{W}$

Veraltet: 1PS = 735 W

Beispiel 14.10 Energie im Haushalt

5LTX3F

Ein Zweipersonenhaushalt verbraucht durchschnittlich 2100 kWh pro Jahr an elektrischer Energie (Strom).

- Was ist die durchschnittliche Leistung, die bezogen wird?
- Die 2000 W Gesellschaft will den durchschnittlichen Energieverbrauch pro Person auf 2000 W zurückfahren. Wie entsteht der Unterschied zwischen diesem Ziel und der Zahl die oben errechnet wurde?

Beispiel 14.11 Jungfrau-Marathon

VXK36W

- Leistung Wanderer? $m=65 \text{ kg}$, 400 m Aufstieg pro Stunde
- Leistung Läufer ? $m=65 \text{ kg}$, 1829 m in 2h50min

Beispiel 14.12 Viehhüter

H67HVK

Elektrische Zäune sind mit 2000 Volt bis höchstens 10 000 Volt geladen. Eigentlich erstaunlich, denn die Netzspannung (Steckdose) beträgt 230 V und ist lebensgefährlich. Welche der folgenden Aussagen treffen zu:

- Die Person am Ende einer Menschenkette erfährt bei Kontakt die volle Spannung und deshalb den stärksten Stromschlag

- b) Nur Strom · Spannung sagt etwas über die Gefährlichkeit einer elektrischen Anordnung aus
- c) Die Wanderschuhe erhöhen meinen Innenwiderstand und deshalb ist der Stromschlag durch den Viehhüter nicht tödlich.

Definition 14.4 Elektrische Leistung

$$P = U \cdot I$$

U : Spannung in Volt [V], I in Ampère [A] ; $V \cdot A = W$

Beispiel 14.13 Leistungsschutz-Schalter (Sicherung)

CMUANB

$V=230$ V. Maximaler Strom 13 A.

Was ist die maximale Leistung eines Haushaltgerätes?

Beispiel 14.14 Preis Energie aus Batterie

Wir betrachten AA Mignon-Zelle. Sie speichert $E = 3.75$ Wh.

- a) Preis in CHF/KWh für Wegwerfbatterie (Kaufpreis 1 Fr.)
- b) Preis in CHF für eine Ladung (Energie aus Steckdose 0.25 CHF/kWh)
- c) Preis in CHF/KWh für Akku (Kaufpreis 5 CHF, 10.7.2017); 100 Mal aufladbar (CHF/KWh)

Definition 14.5 Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

E_{out} nutzbare Energie, E_{in} Energie-Aufwand

Beispiel 14.15 KKW Leibstadt

$P_{\text{thermisch}} = 3600 \text{ MW}$, $P_{\text{elektrisch}} = 1275 \text{ MW}$, $\eta = ?$

Satz 14.1 Carnot-Wirkungsgrad

$$\eta_C = \frac{T_w - T_k}{T_w}$$

T_w : Temperatur auf warmen Seite, T_k : Temperatur auf kalten Seite.

Temperaturen in K

η_C ist theoretisch maximaler Wirkungsgrad von Wärmemaschinen.

Definition 14.6 Heizwert H_u

$$E_{\text{chem}} = H_u \cdot m$$

Energie, die man maximal aus Stoff bei Verbrennung gewinnen kann.

Beispiel 14.16 Verbrennungsmotor

YY78XG

Verbrennungstemperatur $T_w = 2500^\circ\text{C}$, Abgastemperatur $T_k = 1000^\circ\text{C}$.

a) $\eta_C = ?$

b) 250 g Benzin, $H_u = 42 \text{ MJ/kg}$ ergibt 1 kWh mechanische Energie. $\eta_{\text{eff}} = ?$

14.1 Online-Materialien

- Rotationsenergie (ETHZ)
<https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10000/20002/30494/>
- Potentialtopf, Dissipation (ETHZ)
<https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10000/20002/30462/>
- Potentielle Energie wird kinetisch (ETHZ)
<https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10000/20002/30463/>
- Antigravitation? (ETHZ)
<https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10000/20002/30040/>

Lernziele 16.1 Energie und Gesellschaft

- Die Studierenden setzen sich mit der Frage auseinander: Was sind die grössten Herausforderungen bezüglich der Energieversorgung in den nächsten 50 Jahren?
- Sie setzen sich mit der Frage auseinander: Welches sind die möglichen und sympathischen Lösungen für die Energieversorgung.

Lesen Sie das Kapitel 16 auf den Seiten 235 bis 247 durch und beantworten sie die Fragen.

Beispiel 16.1 Energie und Gesellschaft, ab S.235

XDV9W8

- Wie lange dauerte der Aufbau Gasreserven auf der Erde?
- Welche Energieträger werden heute subventioniert? Wieso?
- Energie kann nicht vernichtet werden. Wie kann Energie also verschwendet werden?

Beispiel 16.2 Energie und Gesellschaft, ab S. 235

858Q50

- Welches sind die natürlichen Energiequellen auf der Erde?
- Wieso ist die Einführung von neuen Energieträgern langwierig/schwierig?
- Wir wollen Diesel (aus einem Ölfeld) benutzen um das Autoradio zu betreiben. Welcher Teil der im Diesel gespeicherten Energie kann genutzt werden? Wo geht Energie verloren?

Beispiel 16.3 Energie und Gesellschaft, ab S. 236**CKNNZZ**

- a) Gibt es Strahlung, die besonders stark von CO₂ absorbiert wird?
- b) Weshalb ist CO₂ für die Menschheit ein Problem?
- c) Welches sind die Quellen von CO₂?
- d) Welches sind die Senken von CO₂?
- e) Warmes Wasser kann weniger CO₂ aufnehmen. Die Ozeane sind also verantwortlich für den CO₂ Ausstoss?

Beispiel 16.4 Energie und Gesellschaft, ab S. 236**3PBJOI**

- a) Was ist die Quelle der Sonnenenergie/Was ist die Senke?
- b) Geben Sie je ein Beispiel: Chemische Energie, Thermische Energie, Elektrische Energie, Strahlungsenergie und mechanische Energie
- c) Ordnen Sie nach Nutzbarkeit.
- d) Geben Sie ein Beispiel, wie diese Energien genutzt werden können.

Beispiel 16.5 Energiehaushalt Schweiz, ab S. 241**63M08Z**

- a) Seit 1960 hat der Energieverbrauch zugenommen in der Schweiz. Um wie viel?
- b) Welches ist der wichtigste Energieträger in der Schweiz? Wofür wird er hauptsächlich verwendet?
- c) Reicht die Sonneneinstrahlung um die Schweiz mit Energie zu versorgen?

Beispiel 16.6 Klimawandel, ab S. 244**6N9FW2**

- a) Folgen der Klimaerwärmung?

- b) Wie wird CO₂ Konzentration in der Atmosphäre gemessen? Einheiten?
- c) CO₂ Konzentration heute/vor Industrialisierung?
- d) Wieviel Kohlenstoff dürfen für das 2-Grad-Ziel noch verbrannt werden?^a
- e) Wann wird die Menschheit soviel C verbrannt haben?

^aDas Zwei-Grad-Ziel beschreibt das Ziel der internationalen Klimapolitik, die globale Erwärmung auf weniger als zwei Grad Celsius bis zum Jahr 2100 gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung zu begrenzen.

Beispiel 16.7 Energiequellen der Zukunft

QLNZE6

Benennen Sie mindestens 5 erneuerbaren Energiequellen.

Beispiel 16.8 Energie und Gesellschaft, Folgerungen

IR76E0

- a) Was sind die grössten Herausforderungen bezüglich der Energieversorgung in den nächsten 50 Jahren?
- b) Welches sind die möglichen und sympathischen Lösungen für die Energieversorgung.

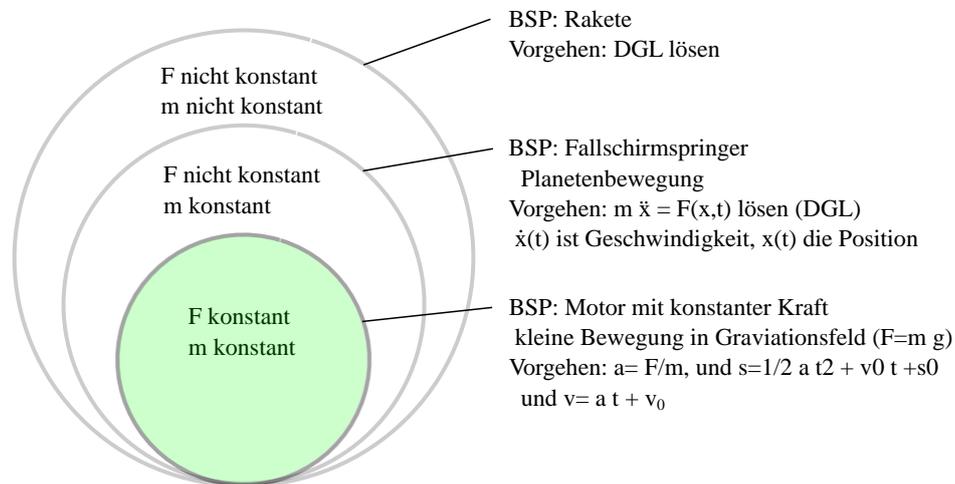
Lernziele 17.1 Schwingungen und Wellen

- Die Studierenden kennen **Harmonische Schwingungen** $y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi)$
- Die Studierenden kennen **Wellen** $y(x) = A \cdot \sin(kx + \phi)$ mit $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ und die **Wellenlänge** $T \cdot c = \lambda$
- Die Studierenden können **longitudinale und transversale Wellen** unterscheiden; Sie wissen, dass es in Flüssigkeiten und Gasen keine transversale Wellen gibt.
- Die Studierenden können Wellen (im physikalischen Sinn) von Brandungswellen unterscheiden. In Wellen im physikalischen Sinn bewegt sich nur die Energie fort (nicht die Teilchen), in Brandungswellen hingegen auch die Teilchen.
- Die Studierenden kennen die **Interferenz** von Wellen. Sie wissen, dass **Auslöschung** bei einem Gangunterschied von $\Delta s = \lambda/2$ stattfindet.
- Die Studierenden kennen die **Beugung**. Sie wissen wie sie zur Messung der Wellenlänge oder zur Bestimmung von kleinen Abständen (z.B. Röntgenbeugung) benutzt werden kann; Sie kennen den Unterschied zwischen Röntgen-Tomographie und Röntgen-Beugung.
- Die Studierenden wissen, dass Gegenstände und Information sich nicht schneller als die **Lichtgeschwindigkeit im Vakuum** $c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ fortbewegen kann; Sie wissen, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Medien (z.B. Luft, Wasser, etc) stets unter c liegt.
- Die Studierenden kennen das Spektrum der elektromagnetischen Wellen, von Ultralangwellen über Infrarot, sichtbares Licht, Ultraviolett bis zu der Röntgenstrahlung. Sie wissen, dass diese Strahlung ähnliche Eigenschaften hat und sich vor allem in der Wellenlänge unterscheidet.
- Die Studierenden wissen, dass elektromagnetischen Wellen durch schwingende Dipole erzeugt wird.

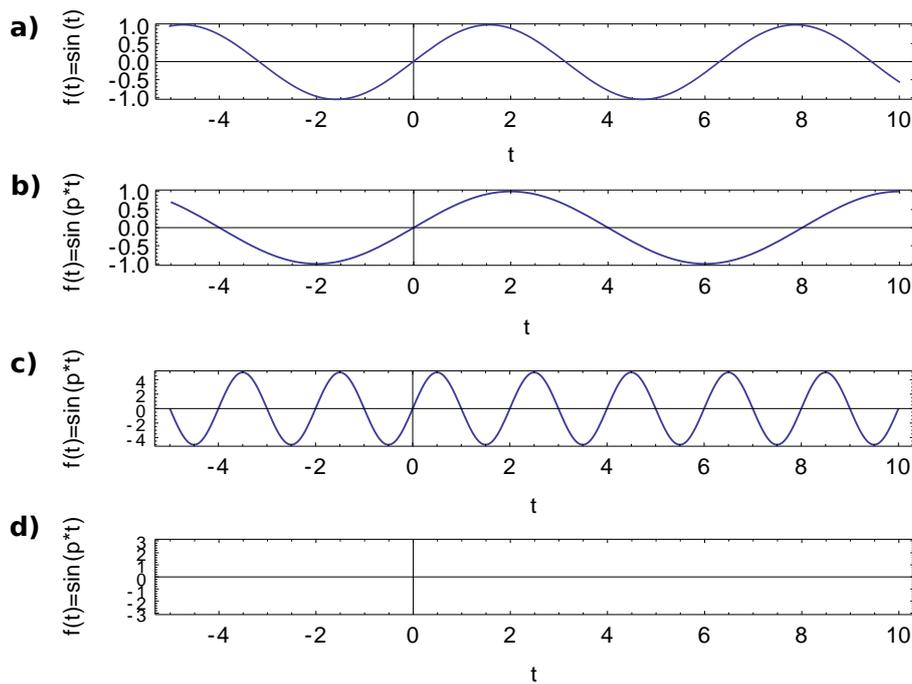
Lernziele 17.2 Schwingungen und Wellen (fakultativ)

- Die Studierenden kennen das Funktionsprinzip des Lasers (stimulierte Emission). Auf mikroskopischer Ebene entsteht die Emission von Licht durch den Übergang eines Elektrons von einem hohen zu einem tieferen Energieniveau.
- Die Studierenden kennen den Welle/Teilchen Dualismus für Elementarteilchen wie Photonen, Elektronen etc. Sie kennen Experimente, bei denen der Teilchencharakter zum Vorschein kommt (Doppelspalt-Experiment) und solche bei denen der Teilchencharakter dominiert (Geigerzähler, Photoeffekt). Sie wissen auch, dass freie Teilchen die Energie $E = h \cdot f$ besitzen.

Infobox 17.1 Ergänzung Newton 2. Gesetz



Beispiel 17.1 Harmonische Schwingung: Periode, Kreisfrequenz



- a) Die Funktion $f(t) = \sin(t)$ wiederholt sich nach der Periode $T = 2\pi$. Welche Periode hat die Funktion $f(t) = \sin(p \cdot t)$ für $p > 0$?
- b) Periode, Kreisfrequenz?
- c) Periode, Kreisfrequenz?
- d) Zeichne die Funktion $f(t) = 3 \cdot \sin(\frac{\pi}{3} \cdot t)$ ein.
Periode, Kreisfrequenz?

Definition 17.1 Harmonische Schwingung

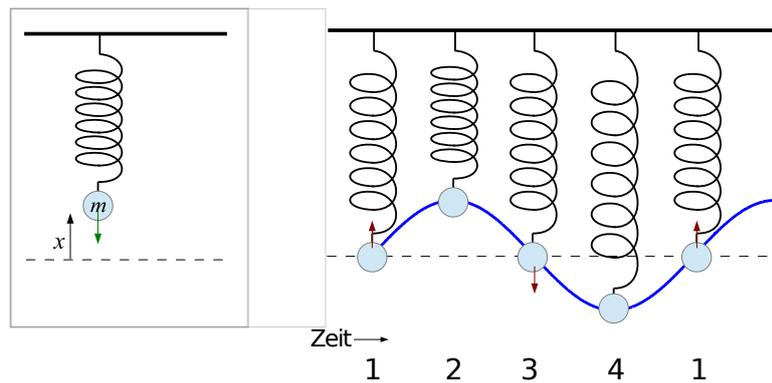
$$y(t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

A Amplitude in m; T Schwingungsdauer in sec.
Oft auch geschrieben mit Winkel­frequenz ω

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Beispiel 17.2 Harmonischer Oszillator (Herleitung)

G3SSZP



a)

b)

Video:

Wir wollen in diesem Beispiel den Zusammenhang zwischen Federkonstante D , Masse m und Schwingungsfrequenz T berechnen.

Für den Versuchsaufbau wird die Masse traditionellerweise an die Feder gehängt. Doch in einem liegenden Pendel entsteht die selbe Frequenz der Bewegung wie in einem hängenden Pendel! Betrachten Sie also das Pendel liegend auf einem Tisch — ohne Reibung, d.h. beachten sie die potentielle Energie und die Gravitationkraft beim hängenden Pendel nicht. Die gestrichelte Linie deutet die Ruhelage an.

- Welche Energieformen sind in schwingenden Pendel vorhanden? Beschreiben sie anhand der Darstellung oben, wie die Energieformen ineinander umgewandelt werden. Beschreiben sie für 1, . . . , 4 welche Kräfte wirken und welche Verschwinden.
- Ordnen Sie das Federpendel einer der Kategorien oben zu. Begründen Sie.
- Drücken Sie die Kräfte mit Hilfe der Koordinate x aus und stellen Sie die Bewegungsgleichung auf (Benützen Sie Newtons 2. Satz, das ergibt eine Differentialgleichung, DGL).
- Differentialgleichungen werden so gelöst, dass man einen Ansatz in die Differentialgleichung einsetzt. Wir machen den Ansatz $x(t) = A \cdot \sin(p \cdot t + r)$. Berechnen Sie die 1. und die 2. Ableitung davon. Setzen Sie den Ansatz in die DGL ein. Welche Grössen werden durch die DGL bestimmt, welche werden nicht bestimmt.
- Berechnen Sie mit Hilfe der letzten Resultate die Schwingungsdauer des harmonischen Oszillators.

Beispiel 17.3 Ungedämpfte Federschwingung 1

852RAH

Berechne die Federkonstante D und die Schwingungsdauer T für eines Feder,

die durch einen angehängten Körper der Masse $m = 20 \text{ g}$ um $\Delta s = 10 \text{ cm}$ verlängert wird.

Beispiel 17.4 Ungedämpfte Federschwingung 2

RKCJDN

Steigert man die an eine Feder gehängte Masse von 300 g auf 500 g , so verlängert sie sich um 8 cm . Berechne die Schwingungsdauer für einen 1 kg schweren Körper.

Beispiel 17.5 Ungedämpfte Federschwingung 3

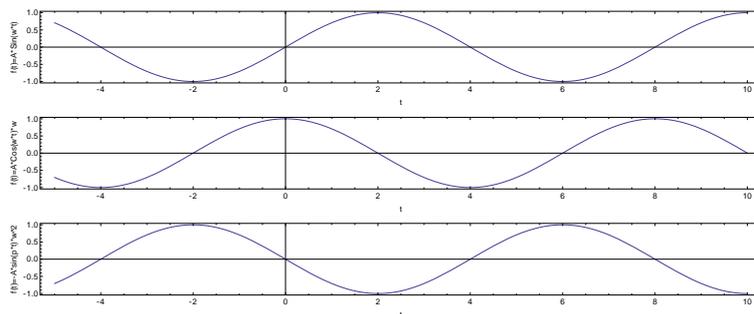
PD4PZO

Welche Masse muss an eine Feder mit $D = 10 \text{ N/m}$ gehängt werden, damit sie mit der Periodendauer $T = 2 \cdot \pi$ schwingt?

Beispiel 17.6 Ungedämpfte Federschwingung 4

AX0P3I

Ein 300 g schwerer Körper schwingt an einer Schraubenfeder mit der Amplitude $A = 12 \text{ cm}$ und der Periodendauer $T = 2 \text{ s}$.



- a) Berechne die Federkonstante D der Feder.
- b) Wie gross ist die Geschwindigkeit v beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage und bei der grössten Auslenkung?
- c) Wie gross ist die Beschleunigung a beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage und bei der grössten Auslenkung?

Beispiel 17.7 Ungedämpfte Federschwingung 5**RJ42GI**

Ein 50 g schwerer Körper wird an einer Schraubenfeder mit $D = 6 \text{ N/m}$ um 10 cm aus seiner Gleichgewichtslage nach unten gezogen und dann losgelassen.

- Berechne die für die Auslenkung notwendige Kraft und die Schwingungsdauer.
- Wie gross ist die Geschwindigkeit v beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage und bei der grössten Auslenkung?
- Wie gross ist die Beschleunigung a beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage und bei der grössten Auslenkung?

Infobox 17.2 Harmonische Schwingung, Ergänzung**BMXII4**

- Auch $y(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t)$ und $y(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ sind harmonische Schwingungen.
- Die allgemeinsten Ausdrücke sind

$$y(t) = a \cdot \cos(\omega \cdot t) + b \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

oder

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

mit φ Phasenverschiebung in rad.

- Die beiden letzten Ausdrücke können ineinander umgeformt werden durch

$$A = \sqrt{a^2 + b^2} \text{ und } \varphi = \arctan\left(\frac{a}{b}\right) + \begin{cases} \pi & (b < 0) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Beispiel 17.8 Federpendel**J2YS3U**

Masse an Feder. Eine Schwingung dauert 1.988 s.

- Winkelfrequenz?
- Masse wird um 15 mm nach unten gezogen und bei $t = 0$ losgelassen. Beschreiben Sie die Bewegung.
- Masse wird mit 2 m/s bei $y(t = 0) = 0$ angetrieben. Amplitude? Beschreiben Sie die Bewegung.

Beispiel 17.9 Harmonische Schwingungen

S72IS8

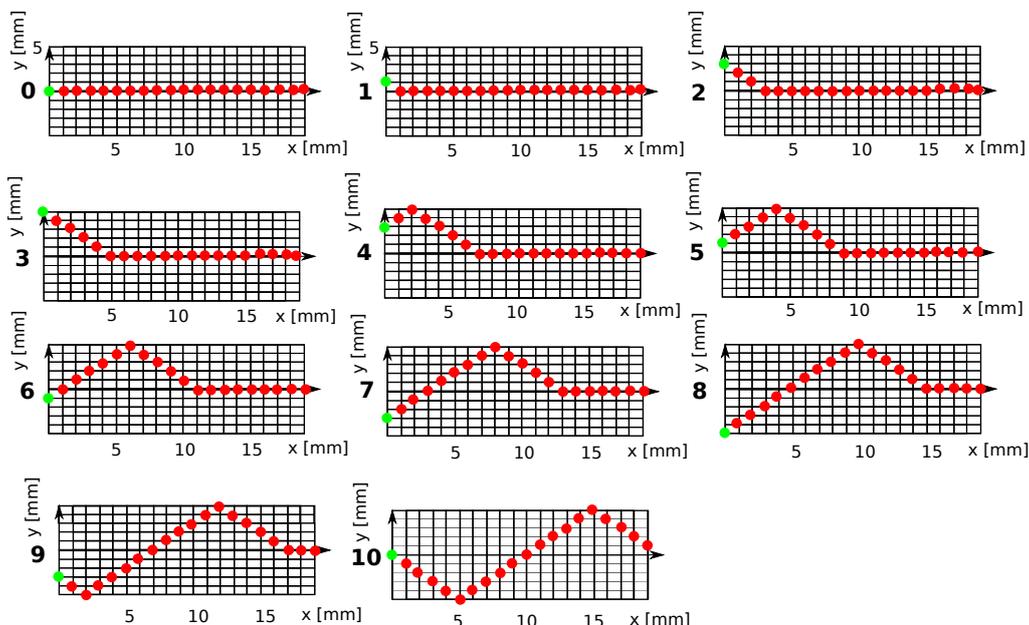
Beschreiben Sie die Bewegungen.

- a) $\omega = 2\text{Hz}$, $v(0) = 0$, $y(0) = 3\text{ m}$
- b) $\omega = 4\text{Hz}$, $v(0) = -5\text{ m/s}$, $y(0) = 0$
- c) $\omega = 3\text{GHz}$, $v(0) = 0$, $y(0) = 0.1\text{ mm}$
- d) $\omega = 2\text{GHz}$, $v(0) = 8\text{ m/s}$, $y(0) = 0$
- e) $\omega = 10\text{Hz}$, $v(0) = -100\text{ m/s}$, $y(0) = 3\text{ m}$
- f) $\omega = 1\text{MHz}$, $v(0) = 2 \cdot 10^6\text{ m/s}$, $y(0) = -4\text{ m}$

Beispiel 17.10 Wellenlänge

T83JT9

Video Drahtmodell: Übergang von Schwingung zu Welle <https://www.youtube.com/watch?v=86pjC85KaL0> Video Seilwelle <https://www.youtube.com/watch?v=eDj9moKnv9o>



Sie sehen oben Schnappschüsse: Die Kette wird durch die Bewegung der ersten Kugel in Bewegung versetzt. Die Nummern bezeichnen die Zeit in Sekunden.

- a) Beschreiben Sie die Bewegung der ersten und zweiten Kugel in Worten.

- b) Mit welcher Frequenz schwingt die erste Kugel? Mit welcher Frequenz schwingt die zweite Kugel? Was sind ihre Schwingungsdauern?
- c) Bestimmen Sie die Wellenlänge λ .
- d) Bestimmen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit $c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ der Welle.
- e) Stellen Sie sich nun folgendes vor: Wir ändern die Kopplung der Kugeln untereinander, so dass die grüne Kugel genau gleich schwingt ($T = 10\text{s}$), dass sie aber weniger stark mit der zweiten Kugel verbunden ist. Wie ändern sich λ und c ?

Satz 17.1 Wellenlänge λ

$$T \cdot c = \lambda$$

Wir können die Zusammenhänge auch so betrachten: In der Zeit T , in der ein Partikel eine ganze Schwingung macht, entsteht eine vollständige Welle der Länge λ . Deshalb ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T}$$

Beispiel 17.11 Wellenlänge

4DRE3R

In Luft ist $c = 340 \text{ m/s}$

- a) Wellenlänge Basston $f = 21 \text{ Hz}$
- b) Wellenlänge obere Hörgrenze $f = 17 \text{ kHz}$
- c) in Eisen $f = 21 \text{ Hz}$, $\lambda = 246.19 \text{ m}$. $c = ?$

Infobox 17.3 Allgemeine Beobachtungen Wellen

- a) In harten Medien breiten sich Wellen schneller aus, als in weichen
- b) In leichten Medien breiten sich Wellen schneller aus, als in schweren
- c) in Flüssigkeiten und Gasen gibt es keine transversalen *Schallwellen*. Andere transversale Wellen z.B. elektromagnetische Wellen, können sich aber auch in Flüssigkeiten und Gasen ausbreiten.
- d) Phasengrenzen (Grenzschicht): Übergang von einem Material zu einem anderen.
Wellen werden an Grenzschichten teilweise reflektiert. Je grösser der Unterschied der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, desto stärker die Reflexion.

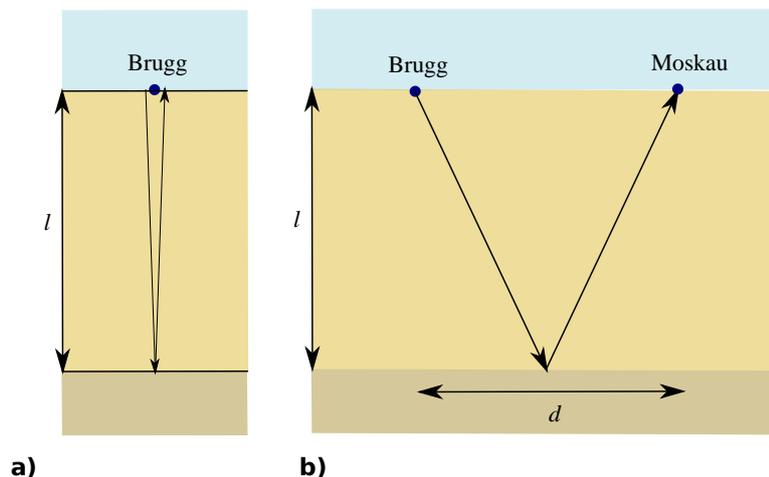
Beispiel 17.12 Allgemeine Beobachtungen

Erklären Sie die ersten drei Gesetzmässigkeiten physikalisch.

17.1 Anwendung Geowissenschaften

Beispiel 17.13 Seismische Tomographie

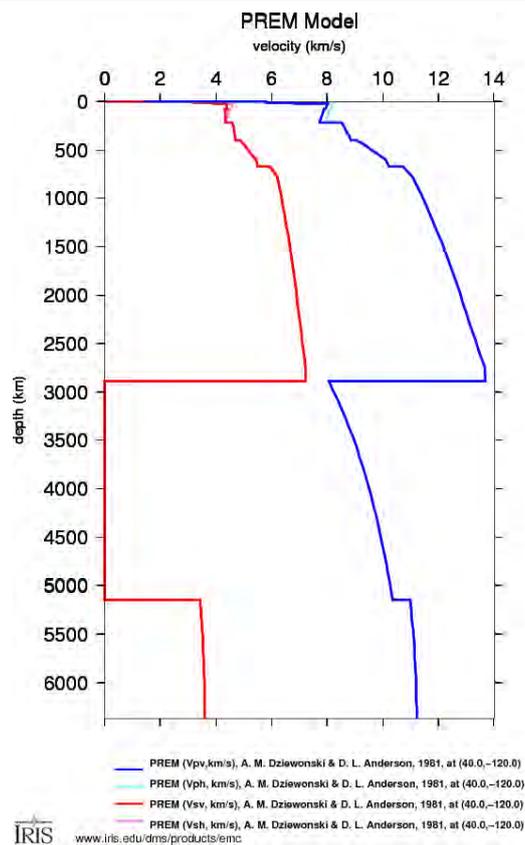
53F5VW



- a) Weg einer Welle Brugg-Grenzschicht-Brugg, Tiefe der Schicht: 1000 km
- b) Weg einer Welle Brugg-Grenzschicht-Moskau, Tiefe der Schicht: 1000 km, Luftdistanz Brugg-Moskau: $d = 2212.5$ km

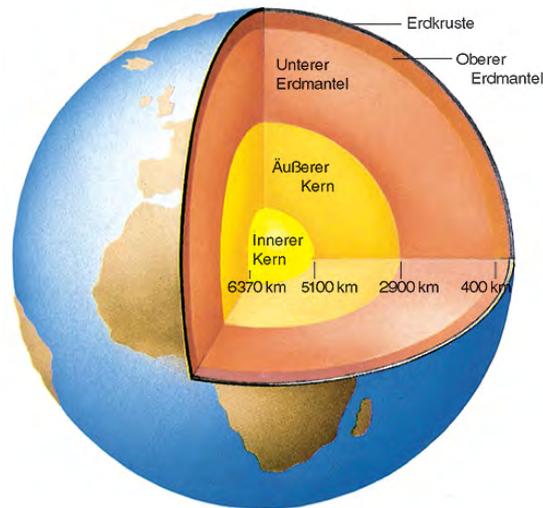
- c) Laufzeit Brugg-Grenzschicht-Moskau bei $c = 10\text{km/s}$
- d) Wir bestimmen jetzt c in der Erde und tiefe l gleichzeitig:
1. Welle: Entsteht in Brugg-reflektiert in Tiefe l -Brugg, Laufzeit: $t_1 = 363\text{ s}$
 2. Welle: Entsteht in Brugg-reflektiert in Tiefe l -Moskau, Laufzeit: $t_2 = 415\text{ s}$
- Gleichungssystem für c ?
- e) Eliminieren
- f) Auflösen nach l
- g) c berechnen

Beispiel 17.14 Erkundung des Erd-Inneren (PREM)



- a) Erdradius
- b) Wie tief ist das tiefste Loch auf der Erde?
- c) Wie gewinnen wir Information über Erd-Inneres?

Schalenaufbau Erde



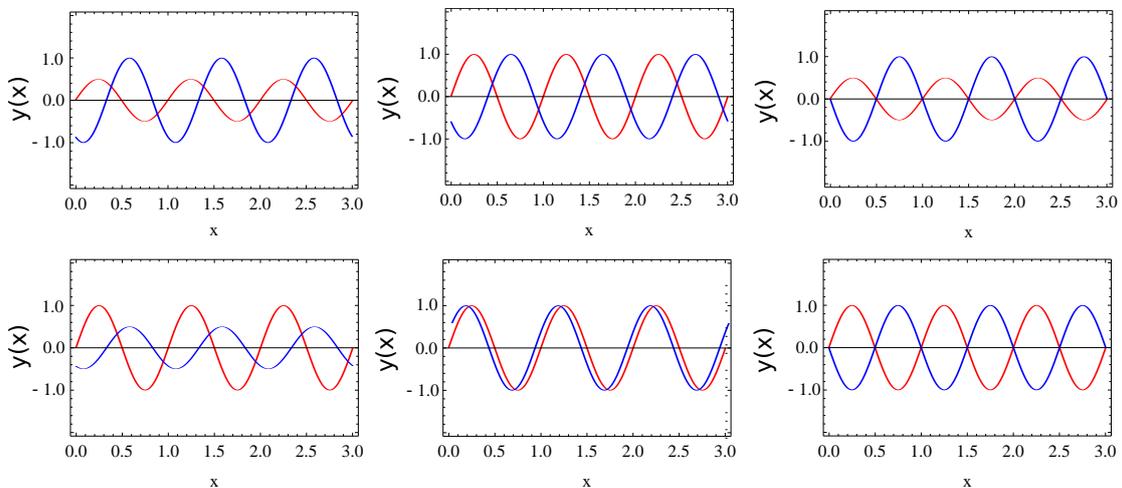
17.2 Interferenz und Beugung

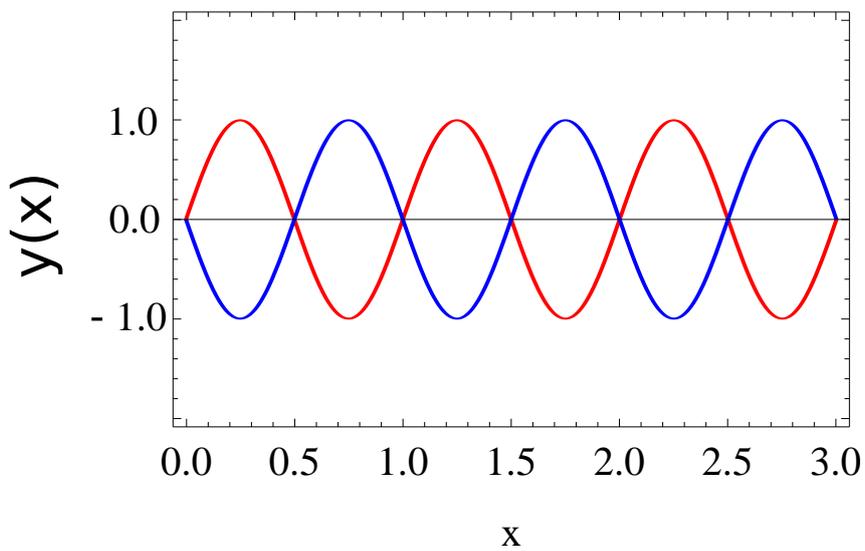
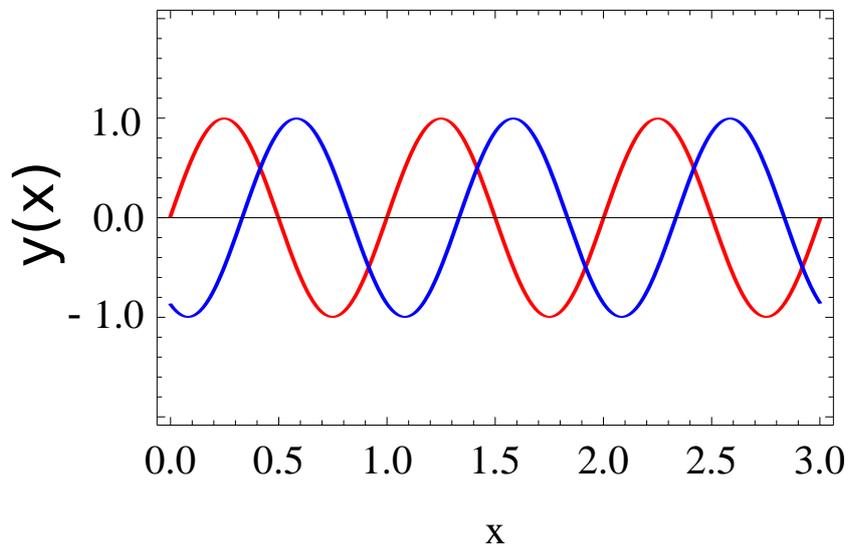
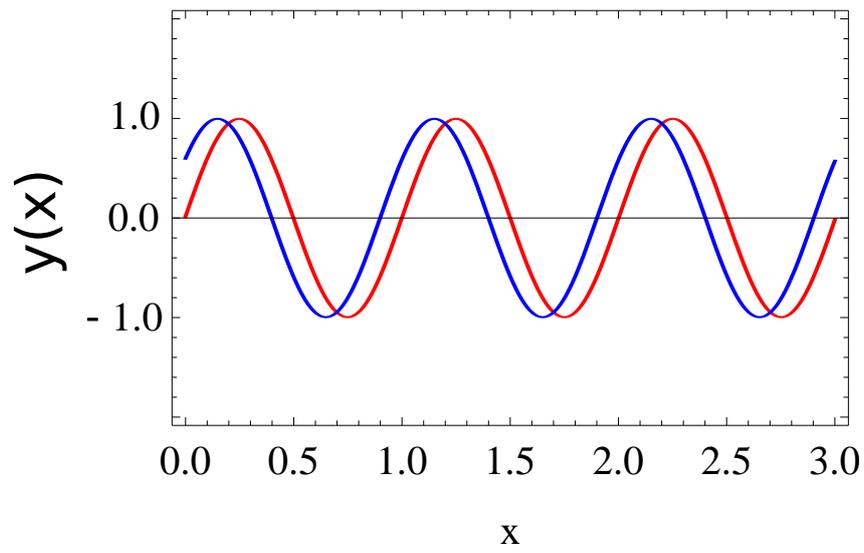
Beispiel 17.15 Superposition von zwei Wellen

5ESF4S

Video: https://www.youtube.com/watch?v=B2I_71F9g4w

- Zeichne unten die Wellenlänge λ ein in die Graphiken.
- Um wie viel Prozent ist die blaue Welle gegenüber der Roten verschoben? Betrachte dazu die Nulldurchgänge der roten und der blauen Welle. Benutze λ um dies auszudrücken.
- Zeichnen Sie die Summe der Wellen.
- Wie sieht die resultierende Welle für die Verschiebung um $\frac{\lambda}{2}$ und λ aus? Annahme: Wellenlänge λ und Amplitude sind gleich.





a) Zeichnen Sie die Summe der Wellen.

- b) Beschreiben Sie die Wellen $y(t) = a \cdot \sin(\omega \cdot t) + a \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ in Worten und schreiben Sie den Ausdruck in der Form

$$y(t) = A(\varphi) \cdot \sin(\omega \cdot t) + B(\varphi) \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

- c) Wie sieht die resultierende Welle für $\varphi = 0$ und $\varphi = \pi$ aus?
 d) Zeichnen Sie die beiden Wellen und ihre Summe für $\varphi = 0$.
 e) Zeichnen Sie die beiden Wellen und ihre Summe für $\varphi = \pi$. Wie gross ist der Gangunterschied Ausgedrückt in λ ?

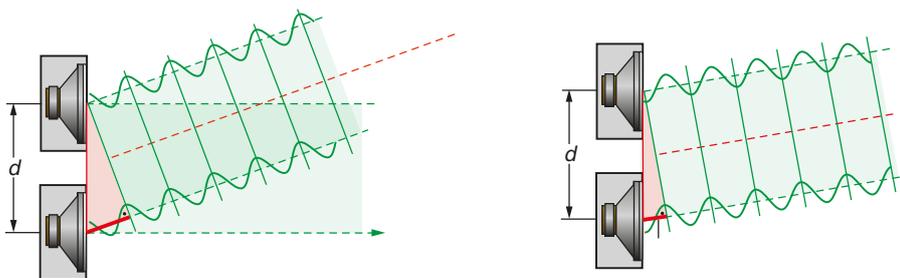
Infobox 17.4 Überlagerung von Wellen mit gleicher Frequenz

- Die Überlagerung von Wellen mit Frequenz ω ergibt immer eine Welle mit der selben Frequenz ω .
- konstruktive Interferenz ergibt sich für $\Delta x = \lambda$ ($\varphi = 0$)
- destruktive Interferenz ergibt sich für $\Delta x = \frac{\lambda}{2}$ ($\varphi = \pi$), Anwendung z.B. bei Noise-cancelling-devices.

Beispiel 17.17 Interferenz/Beugung

CDRC8Q

- a) Um wieviel müssen zwei Wellen gegeneinander verschoben sein, damit sie konstruktiv interferieren? (benutze λ in der Argumentation)
 b) Gangunterschied für destruktive Interferenz?
 c) Bedingung Beugungswinkel für das erste Minimum.
 d) Bedingung Beugungswinkel für das erste Maximum.
 e) Was passiert, wenn wir weisses Licht (statt monochromatisches Licht) oder Geräusch (statt Ton verwenden)?



Satz 17.2 1. Maximum Doppelspalt

Das erste Maximum des Interferenzmusters hinter einem Doppelspalt (konstruktive Interferenz) ergibt sich bei einem Beugungswinkel von

$$d \cdot \sin(\alpha) = \lambda$$

mit den Grössen

- d Abstand der Löcher in m
- α Beugungswinkel
- λ Wellenlänge in m

Hinter einem Gitter mit (unendlich) vielen Löchern im Abstand d eine ähnliche Gleichung. Die Gleichung wird in diesem Kontext mit William Lawrence Bragg in Verbindung gebracht.

Infobox 17.5 Minima und Maxima am Doppelspalt

Weitere Maxima ergeben sich für

$$d \cdot \sin(\alpha) = \lambda \cdot k$$

und Minima für

$$d \cdot \sin(\alpha) = \frac{\lambda}{2} \cdot (2k + 1)$$

mit $k \in \{0, 1, 2, 3, \dots\}$.

Mit dem Ausdruck $2k - 1$ erzeugt man die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, ... (bei den Minima ist $k \in \{1, 2, 3, \dots\}$, d.h. die 0 kommt nicht vor). Der Index k gibt den Minima und den Maxima ihren Namen.

- 0-tes Maximum, der Strahl, der unbeugeugt durch den Doppelspalt geht. ($d \cdot \sin(\alpha) = 0$, d.h. $\alpha = 0$)
- 1-tes Maximum, $d \cdot \sin(\alpha) = \lambda$
- 2-tes Maximum, $d \cdot \sin(\alpha) = 2\lambda$
- 1-tes Minimum, $d \cdot \sin(\alpha) = \frac{\lambda}{2}$
- aber Achtung: 2-tes Minimum, $d \cdot \sin(\alpha) = \frac{\lambda}{2} \cdot 3$
- usw.: 3-tes Minimum, $d \cdot \sin(\alpha) = \frac{\lambda}{2} \cdot 5$

Beispiel 17.18 Wellenlänge/Beugungswinkel

68QBVW

Video: Beugung von Wasserwellen im Wellentrog

<https://www.youtube.com/watch?v=gzjdKjrgbmU> Was wird hier gemessen?

Was könnte die technische Anwendung dahinter sein?

a) $\alpha = 9.8^\circ$ (1. Minimum), $d = 50$ cm, $\lambda = ?$

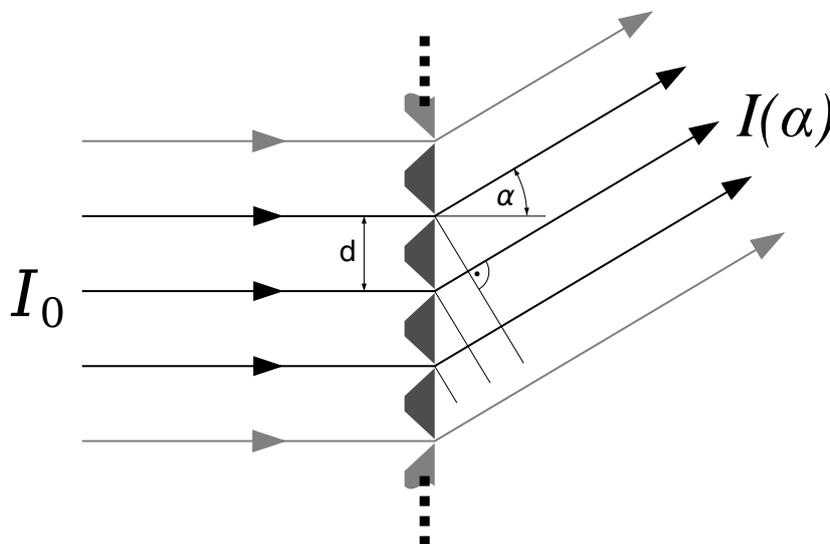
b) $\alpha = 0.139^\circ$ (1. Minimum), $d = 0.3$ mm, $\lambda =$ (in nm)?

c) $\alpha = 15.9^\circ$ (1. Minimum), $\lambda = 15.4$ nm, $d =$ (in nm)?

Infobox 17.6 Anwendungen Beugung

Folgende Anwendungen basieren alle auf dem selben Prinzip: Doppelspalt (Abstand der Spalte, d) wird mit einer Strahlung der Wellenlänge λ bestrahlt. Hinter dem Spalt wird eine Richtung betrachtet, die mit der Einstrahlungsrichtung den Winkel α einschliesst. Wird statt einem Doppelspalt ein Gitter (Beugungsgitter, d.h. viele Spalten im Abstand d) verwendet, verstärkt sich die Winkelabhängigkeit des Signals. Das Prinzip der Auslöschung in bestimmte Richtungen und der Verstärkung in andere bleibt gleich.

- α , d bekannt; λ unbekannt: Wellenlängenmessung (mit Gitter); Gitterspektrometer.
Die Strahlung fällt auf ein Gitter mit bekannter Gitterkonstante d . Aus dem Beugungswinkel des ersten Maximums lässt sich die Wellenlänge bestimmen.
- λ , α , d bekannt: Monochromator (Farbfilter)
Die Strahlung verschiedener Wellenlänge (z.B. weisses Licht) fällt auf ein Gitter mit bekannter Gitterkonstante d . Es wird nur die Strahlung weitergeführt, die einen bestimmten Beugungswinkel aufweist. Diese Strahlung hat eine gut definierte Wellenlänge.
- λ , α bekannt; d unbekannt: Röntgendiffraktion und Röntgenbeugung
Die Strahlung mit gut definierter Wellenlänge λ fällt auf ein Gitter. Aus dem gemessenen Beugungswinkel des ersten Maximums und der Wellenlänge lässt sich die Gitterkonstante d berechnen.



Infobox 17.7 Gitter (Kristallographie)

Eine Anordnung von vielen (∞) Lautsprechern führt zur Verstärkung des 1. Maximums und zum Verschwinden von höheren Maxima.

Dafür können Beugungsmaxima durch Lautsprecher im Abstand $2d$, $3d$, $4d$, etc. entstehen. Das 2. Maximum entsteht bei

$$2d \cdot \sin(\theta) = \lambda$$

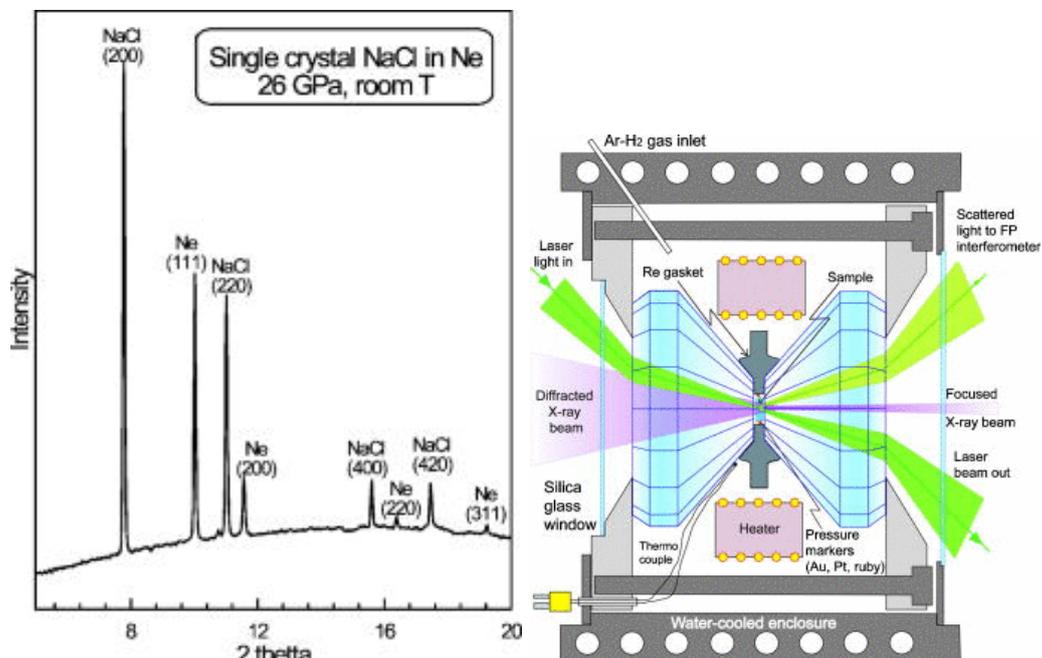
und das 3. bei

$$3d \cdot \sin(\theta) = \lambda$$

Anwendung Geowissenschaften

Beispiel 17.19 Materialeigenschaften unter Druck

GPTHGZ



Quelle: Sinogeikin, Bass et al. Rev. Scientific Instruments 77, 2006

- Was ist die Bedingung für den Beugungswinkel für den Reflex $(2, 0, 0)$, der durch die Beugung an jeder 2. Ebene (Atom) entsteht?
- Lesen Sie den Beugungswinkel aus
- Bestimmen Sie den Gitterparameter d von NaCl bei 26 GPa. $\lambda = 0.3344 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0.3344 \text{ \AA}$.
- Vergleichen Sie mit dem Gitterparameter von NaCl bei $p = 0$ von $2.814 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

Lesen Sie den Text zu elektromagnetischen Wellen (17.4). Beantworten Sie dann folgende Fragen.

- a) Welche ersten Hinweise deuten darauf hin, dass Licht eine elektromagnetische Welle ist?
- b) Die OPERA Kollaboration hat Neutrinos gemessen, die sich 0.002% schneller als Licht bewegen. Was wäre die Geschwindigkeitdifferenz zwischen diesen Neutrinos und Licht?
- c) Welche Frequenz und welche Wellenlänge haben Mikrowellen?
- d) Welche Frequenz und welche Wellenlänge hat Röntgenstrahlung? Weshalb wird sie in der Kristallographie verwendet?
- e) Forschungsauftrag: Wie werden Mikrowellen verwendet um Speisen zu wärmen – d.h. wieso verwendet man Mikrowellen und nicht sichtbares Licht? Wieso erwärmt sich eine billige Tasse im Mikrowellenofen, eine teure Porzellantasse hingegen nicht? Wieso kann man keine Metall-Behälter verwenden im Mikrowellenofen?

Lernziele 18.1 Elektrizität

- Die Studierenden kennen die Definition von Ladung, Spannung und Strom.
- Die Studierenden kennen die Eigenschaften eines Ohmschen Widerstandes.
- Die Studierenden können Gesamtwiderstände für Serie- und Parallelschaltungen von Widerständen berechnen.
- Die Studierenden können verzweigte elektrische Stromkreise mit Widerständen in Ersatzschaltungen zerlegen.

Satz 18.1 Gesetz von Coulomb

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

mit

- r Abstand zwischen den Mittelpunkten der Ladungsmengen
- q_1, q_2 kugelsymmetrisch verteilte Ladungsmengen
- $\epsilon_0 = 8.8541878128 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Nm}^2}$ Elektrische Feldkonstante

Beispiel 18.1 Coulombgesetz

GFHAQ3

	q_1	q_2	r	$ F $	Anziehung/Abstossung
a)	$5.25 \cdot 10^{-8} \text{ C}$	$6.45 \cdot 10^{-8}$	11.5 cm		
b)	$3.95 \cdot 10^{-8} \text{ C}$		5.10 mm	0.725 N	anziehend
c)	$2.22 \cdot 10^{-7} \text{ C}$	$-6.05 \cdot 10^{-7} \text{ C}$		0.272 N	
d)	$-5.94 \cdot 10^{-8}$		2.45 cm	81.5 mN	abstossend
e)	$7.19 \cdot 10^{-9} \text{ C}$	$9.30 \cdot 10^{-9} \text{ C}$		7.15 mN	
f)	$3.25 \cdot 10^{-7} \text{ C}$	$-2.28 \cdot 10^{-7} \text{ C}$	32.5 cm		

Beispiel 18.2 Haare stehen zu Berge**D378E3**

Betrachten Sie folgendes Video. Beantworten Sie dann die Fragen.

<https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10001/20021/30449/>

- Wieso steht der Student auf einem isolierenden Schemel?
- Wieso stehen die Haare des Studenten zu Berge?
- Wieso hat der Van-de-Graaff-Generator eine grosse metallische Schüssel oben drauf?
- Wie funktioniert der Van-de-Graaff-Generator? Wie wird darin eine Spannung erzeugt? (Video Sekunde 20)

Beispiel 18.3 Ladung und Scotchtape**NUXBYS**

Betrachten Sie folgendes Video. Beantworten Sie dann die Fragen.

<https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10001/20021/30358/> Stellen Sie sich dazu die Materie vor aufgebaut aus positiv geladenen Atomrümpfen und Elektronen, die sich in Metallen bewegen können.



- Wieso lädt sich die Metallplatte und das Scotchtape beim Abziehen auf?
- Was unterscheidet ein Metall von einem isolierenden Material?
- Wie funktioniert ein Elektroskop?
- Wir bringen einen negativen geladenen Stab in die Nähe eines entladenen Elektroskops. Was passiert dann mikroskopisch auf der Metallplatte und im Elektroskop?
- Was passiert, wenn der negativ geladene Stab in die Nähe des positiv geladenen Elektroskops gebracht wird?

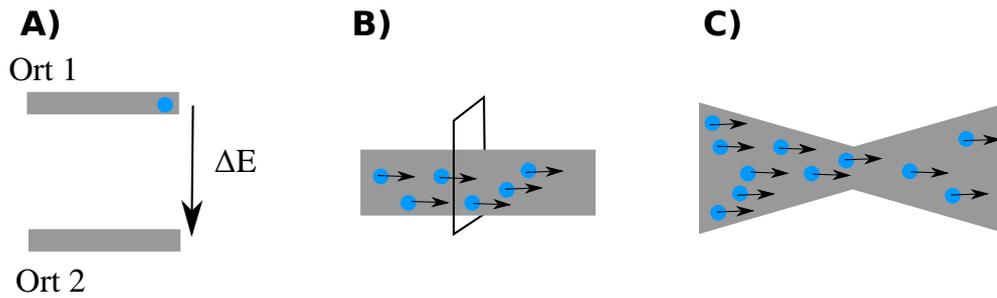


Abbildung 18.1: Spannung, Strom und Widerstand.

Beispiel 18.4 Cavendisch Drehwaage

CH16E1

Betrachten Sie folgendes Video. Beantworten Sie dann die Fragen.

<https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10001/20021/30101/>

- Wie ist die rechte Kugel befestigt oder aufgehängt?
- Welche Kräfte wirken auf die rechte Kugel?
- Was geschieht, wenn die Kugel weiter voneinander entfernt werden?
- Formulieren Sie die Abhängigkeit des Coulombgesetzes vom Abstand der Ladung.

Wir können messen wie viel Energie ΔE eine Ladungseinheit Q abgibt, wenn sie vom Ort 1 zum Ort 2 geht (Abbildung , A). Damit definieren die Spannung.

Definition 18.1 Spannung in Volt

$$U = \frac{\Delta E}{Q}$$

- ΔE Energie in Joule [J], Q Ladung in Coulomb [C]
- Es gilt $\frac{J}{C} = V$ (Volt)

Wir können zählen, wieviele Ladungen Q pro Zeiteinheit durch eine Schleife gehen. (Abbildung , B). Damit definieren den Strom.

Definition 18.2 Strom(stärke) in Ampère

$$I = Q/t$$

- Q Ladung in C, t in s
- Es gilt $\frac{C}{s} = A$ (Ampere)

Schliesslich stellen wir fest, dass sich Ladungen in den Materialien stauen, wenn

sie sich bewegen. Dadurch entsteht eine Energiedifferenz zwischen Eingang und Ausgang. (Abbildung , C). Je grösser der Stau, desto grösser die Energiedifferenz. Wir fassen die (oft unbeliebte) Eigenschaft eines Materials einen Stau zu bilden im Widerstand R zusammen:

$$R = \frac{U}{I}$$

Satz 18.2 Ohm'sches Gesetz

$$U = R \cdot I$$

- U Spannung in V
- R Widerstand in $\Omega = \frac{V}{A}$
- I Strom in A

Beispiel 18.5 Gesetz von Ohm 1

D71LK5

Das Gesetz von Ohm macht eine Aussage über den Zusammenhang zwischen den Grössen "Spannung", "Stromstärke" und "Widerstand".

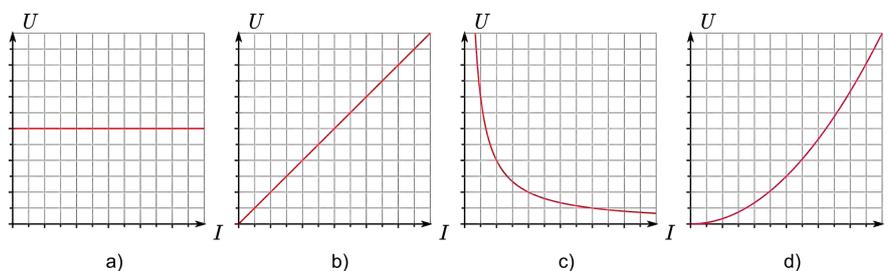
Ordne alle Symbole und Begriffe in die Tabelle ein. Volt, Ohm Ampere, 1 A,

	Symbol	Masseinheit
U , 1 Ω , 1 V, R , I .	Spannung	
	Stromstärke	
	Widerstand	

Beispiel 18.6 Das Gesetz von Ohm ist linear

QLXZPD

- Welches der Diagramme stellt das Gesetz von Ohm korrekt dar?
- Formuliere einen dazugehörigen Satz mit den Elementen 'Widerstand', 'Widerstand', 'Stromstärke', 'proportional', 'fliesst', 'abfällt'



Beispiel 18.7 Gesetz von Ohm Anwendungen

2U09GN

- a) Durch einen Widerstand der Grösse 100Ω fliesst ein Strom der Stärke 0.30 A . Wie gross ist die Spannung, die über dem Widerstand abfällt?
- b) Durch einen Widerstand fliesst bei einer angelegten Spannung von 5 V ein Strom der Stärke 0.10 A . Wie ist die Grösse des Widerstands?
- c) Über einem Widerstand der Grösse 50Ω liegt die Spannung 10 V an. Wie gross ist die Stärke des Stroms, der durch den Widerstand fliesst?

Definition 18.3 Spezifischer Widerstand

Der spezifische Widerstand ist ρ_0 . Er wird angegeben in $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$ und erlaubt den Widerstand einer Leitung der Länge l mit Querschnitt A zu berechnen

$$R = \frac{\rho_0}{A} \cdot l$$

Beispiel 18.8 Telefonkabel

HB6UMJ

Wir betrachten ein Telefonkabel der Länge $l = 1.5 \text{ km}$. Es ist *zweiadrig*, d.h. das Signal muss zuerst durch die eine Ader hin und dann durch die zweite Ader zurück;

Der Durchmesser einer Ader ist $d = 0.5 \text{ mm}$; Das Kabel wird betrieben bei 20°C , dort gilt

$$\rho_0 = 1.7 \cdot 10^{-2} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

- a) Berechnen Sie den Querschnitt für eine Ader.
- b) Berechnen Sie den Widerstand des Kabels, d.h. berechnen Sie den Widerstand für folgende Konfiguration: Am einen werden die zwei Pole verbunden; am zweiten Ende wird der Widerstand gemessen zwischen den Adern.

Beispiel 18.9 Wasserkocher

TFWI6M

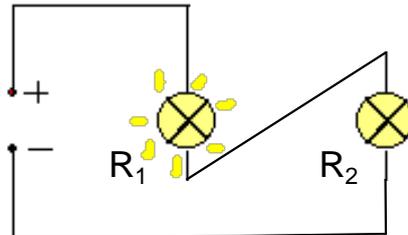
Wasser von 20°C auf 98°C erwärmen ($489 \cdot 10^3 \text{ J}$) in $t = 250 \text{ s}$

- a) $U = 230 \text{ V}$, $I = 9 \text{ A}$. Leistung Wasserkocher?
- b) Energie, die Wasserkocher aufnimmt ?

c) Wirkungsgrad Wasserkocher?

Beispiel 18.10 Strom/Spannung Glühlampen

3GS8VG



Wir betrachten zwei verschieden 'starke' Lämpchen mit den Widerstand R_1 und R_2 , die mit der Quellspannung U_0 betrieben werden. .
Welche der Aussagen unten treffen zu:

- a) An jeder Lampe liegt eine andere Spannung, d.h. $U_1 \neq U_2$.
- b) In jedem Lämpchen herrscht eine andere Stromstärke.
- c) Die Energie ist nicht erhalten $U_0 \neq U_1 + U_2$
- d) Es handelt sich um eine Parallelschaltung.
- e) Es handelt sich um eine Serieschaltung.
- f) Der Gesamtwiderstand ist $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2$
- g) Der Gesamtwiderstand ist $R_{\text{tot}} = 1/R_1 + 1/R_2$

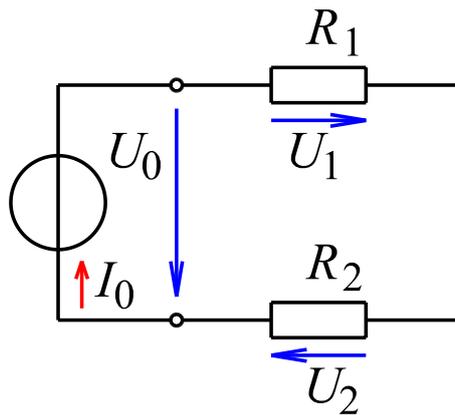
Satz 18.3 Geschlossener Stromkreis (Kirchhoffsche Regeln)

In einem geschlossenen Stromkreis gilt

- Quellspannung = Spannung über die Verbraucher (Energieerhaltung)
- An jedem Knoten ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme (Ladungserhaltung)

Beispiel 18.11 Serieschaltung

KK97DS



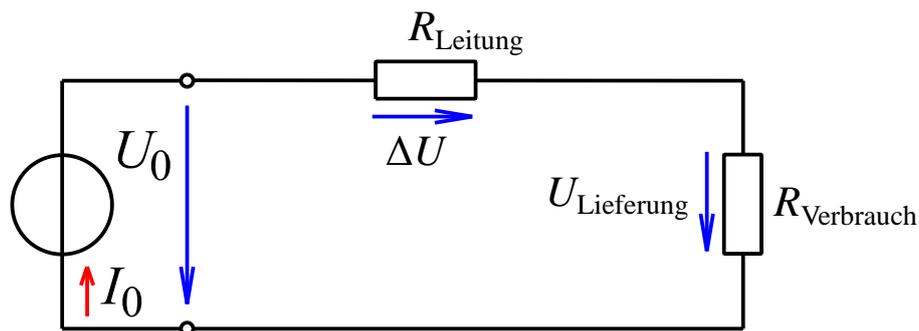
$R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 220\Omega$, Netzteil $U_0 = 12\text{ V}$, Strom?

- Welcher Strom fließt durch die Widerstände?
- Welche Spannung fällt über R_1 ab, welche über R_2 (allgemein).
- Wenden Sie die Energieerhaltung an um den Strom im Schaltkreis zu berechnen.
- Wir wollen $U_0 = R \cdot I$ schreiben. Welcher Ausdruck muss für R eingesetzt werden, damit der richtige Strom resultiert?

Beispiel 18.12 Fernleitungen 1

N471U4

Die Fernleitung wird mit $U_0 = 380\text{ kV}$ betrieben.



- Es wird eine Leistung von $P_{\text{in}} = 11.1 \cdot 10^6\text{ W}$ eingespeisen. Wie groß ist also der Strom I_0 ?
- Der Widerstand der Leitung ist $R_L = 0.330\Omega$. Berechnen Sie den Spannungsabfall ΔU über der Leitung?
- Welche Spannung wird geliefert?
- Welche Leistung $P_{\text{Lieferung}}$ wird geliefert?

- e) Wie gross ist die Verlustleistung $\Delta P = P_{\text{in}} - P_{\text{Lieferung}}$
- f) Drücken Sie die Verlustleistung aus mit $R_{L(\text{eitung})}$ und I_0 .

Beispiel 18.13 Fernleitungen 2

M582V5

Die Fernleitung wird mit $U_0 = 110$ kV betrieben (Bahnstrom).

- a) Es wird eine Leistung von $P_{\text{in}} = 11.1 \cdot 10^6$ W eingespeisen. Wie gross ist der Strom I_0 ?
- b) Berechnen Sie die Verlustleistung.
- c) Geben Sie die Verluste in Prozent der eingespeisenen Leistung an.
- d) Vergleichen Sie die Verluste bei dieser Übertragung mit denen aus der vorherigen Aufgabe ($\Delta P = 281.57$).

Aus $\Delta P = (I_0)^2 \cdot R_L$ und $P = U_0 \cdot I_0$ erhalten wir

$$\Delta P = \left(\frac{P}{U_0} \right)^2 \cdot R_L$$

Infobox 18.1 Verteilnetz

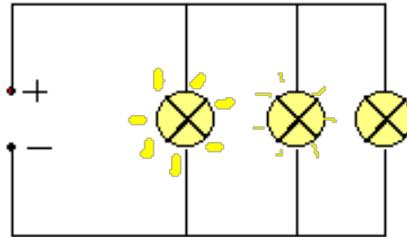
In einem Verteilnetz reduzieren hohe Spannungen U_0 die Verluste in den Leitungen (Verlustleistung ΔP).

Infobox 18.2 Ideale Spannungsquellen, ideale Stromquellen

- Eine ideale **Spannungsquelle** stellt sicher, dass über der Quelle eine Spannung U_0 aufgebaut wird. Ist die Spannung zu klein, wird der Strom I erhöht, bis $U_0 = I \cdot R$ erreicht ist. Batterien verhalten sich oft wie ideale Spannungsquellen.
- Eine ideale **Stromquelle** stellt sicher, dass durch die Quelle ein Strom I_0 fliesst. Ist der Strom zu klein, wird die Spannung U erhöht, bis $I_0 = \frac{U}{R}$ erreicht ist.

Beispiel 18.14 Spannungsabfall Glühlampen

2HT7WH

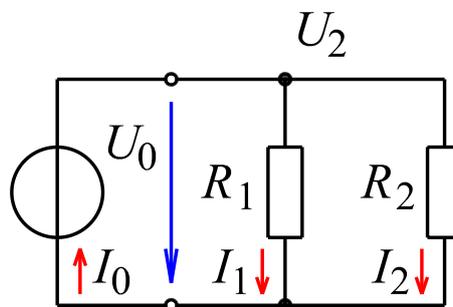


Was kann die Ursache sein, dass jedes der drei Lämpchen verschieden hell leuchtet?

- An jeder Lampe liegt eine andere Spannung.
- In jedem Lämpchen herrscht eine andere Stromstärke
- Die Lämpchen sind verschieden weit von der Stromquelle entfernt.

Beispiel 18.15 Parallelschaltungschaltung

6AI3FN



$R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 220\Omega$, Netzteil 12 V, Strom?

- Berechnen Sie den Strom durch die Widerstände (allgemein)?
- Wie gross ist der Spannungsabfall über R_1 und R_2
- Berechnen Sie den Strom an den einzelnen Widerständen?
- Wie gross ist der Gesamtstrom?
- Berechnen Sie nun den Gesamtwiderstand, oder anders formuliert: Welcher Widerstand R könnte R_1 und R_2 ersetzen? Tipp: Eliminiere I , I_1 und I_2 in Ladungserhaltung
- Für nun die Kontrolle durch: Wie gross ist der Gesamtstrom der aus dem Gesamtwiderstand R und der Quellspannung resultiert?

Satz 18.4 Serien/Parallel Schaltung von Widerständen

- Serienschaltung $I = I_1 = I_2 = \dots, U = U_1 + U_2 + \dots$

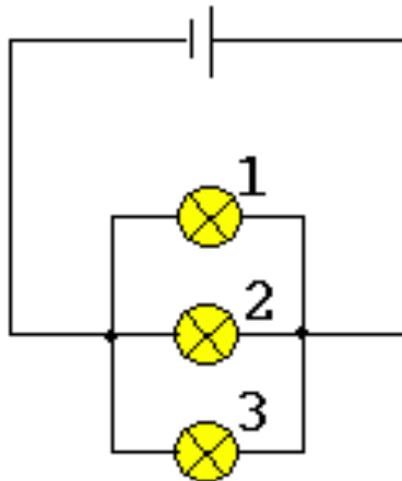
$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

- Parallelschaltung $I = I_1 + I_2 + \dots, U = U_1 = U_2 = \dots$

$$R = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots}$$

Beispiel 18.16 Parallelschaltung 3

NMK2MK



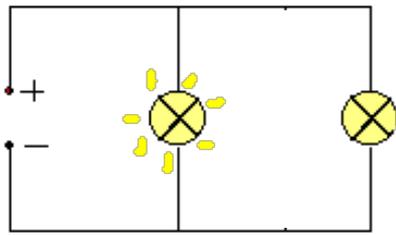
Was geschieht, wenn man in der folgenden Schaltung mit lauter gleichen Lampen die Lampe Nr. 3 heraus schraubt und die Spannung gleich bleibt?

- Lampe Nr. 1 und Nr. 2 erlöschen auch.
- Lampe Nr. 2 brennt heller als Lampe Nr. 1.
- Lampe Nr. 1 und Nr. 2 brennen genau so hell wie vorher.
- Beide Lampen brennen gleich, aber heller als vorher.

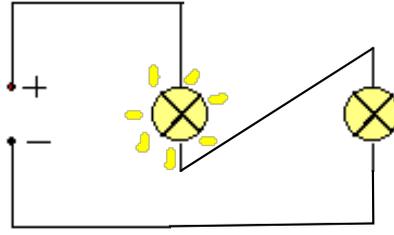
Beispiel 18.17 Leistung parallel/seriell?

RTHLLL

Glühlampen: $P_1 = 40 \text{ W}, P_2 = 80 \text{ W}, U = 230 \text{ V},$



A)

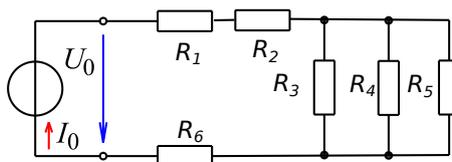


B)

1. Benennen sie die Schaltungen oben (seriell/parallel)
2. Widerstand der Glühlampen?
3. Leistung der Parallelschaltung?
4. Widerstand der Serienschaltung?
5. Leistung Serienschaltung?
6. Mit dem selben Netzteil entstehen zwei verschiedene Leistungen. Erklären Sie!

Beispiel 18.18 Verzweigter Stromkreis

E6S9J8



$R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 47 \Omega$, $R_3 = 330 \Omega$, $R_4 = 604 \Omega$, $R_5 = 1000 \Omega$, $R_6 = 11 \Omega$
 Spannung 5 V, Strom?

1. Zerlegen Sie die Schaltung in beliebige Blöcke, so dass eine Serie- oder Parallelschaltung bleibt. Verfahren Sie mit den Unterblöcken genau so weiter (Beschreibung in Worten).
2. Widerstand der Parallelschaltung?
3. Gesamtwiderstand ?
4. Strom ?

18.1 Online-Materialien

- Spezifischer Widerstand, Ohmscher Widerstand (ETHZ)
<https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10001/20018/30433/>
- Laden Entladen eines Kondensators (ETHZ) <https://experimente.phys.ethz.ch/de/100/10001/20018/30147/>