



**Vorbereitungskurs für  
Aufnahmeverfahren an  
Medizinuniversitäten 2023**

**Physik**  
Hannes Müller

## Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines .....	3
2	Größen und Einheiten .....	4
3	Mechanik.....	6
4	Schwingungen und Wellen .....	13
5	Wärmelehre.....	15
6	Elektrizitätslehre .....	18
7	Optik und Atomphysik.....	21
8	Beispielfragen.....	25
9	Stichwortliste .....	28

# 1 Allgemeines

Aus dem Bereich Physik werden beim Basiskennntnistest für medizinische Studien etwas weniger Fragen als aus dem Bereich Chemie, aber mehr als aus Mathematik, gestellt. Das Stoffgebiet ist zwar recht umfangreich, es gibt allerdings ein paar thematische Überschneidungen mit Chemie (vor allem Atomaufbau und Gasgesetze) sowie Mathematik (insbesondere das Umwandeln von Einheiten). Die Testfragen gehen meist nicht tief ins Detail, es ist aber wichtig, dass man die Bezeichnungen verschiedener Gesetze genau kennt. So kam es beispielsweise schon zu Fragen, bei denen man die Reihenfolge der Hauptsätze der Thermodynamik oder die Namen für die einzelnen Zustandsänderungen idealer Gase kennen musste. Im Vergleich zu den letzten Jahren hat sich bei den Schlagworten für den Stoffumfang nichts geändert, auch die Beispielfragen aus dem vmc der Meduni Graz brachten in den letzten Jahren keine Überraschungen mehr.

Achtung, dieses kurze Skript erhebt noch weniger als das für Mathematik Anspruch auf Vollständigkeit und soll das Lesen eines Schulbuchs oder anderer Quellen (Wikipedia Artikel sind vom Umfang her oft schon weit mehr als ausreichend!) keineswegs ersetzen. Die meisten Grafiken wurden dem Lehrbuch Physik von Douglas C. Giancoli entnommen. Im Kapitel Mechanik stammen ein paar Abbildungen aus dem Buch Klassische Mechanik von Rainer Müller, die Abbildungen aus dem Bereich Elektrizitätslehre sind in der Reihe Grundlagen der Elektrotechnik von Manfred Albach zu finden.

## 2 Größen und Einheiten

Alle in der Physik verwendeten Einheiten können im SI-System (Système international d'unités bzw. Internationales Einheitensystem) auf **sieben Basiseinheiten** zurückgeführt werden.

Basisgröße	Einheit	Definition über
Länge $l$	Meter (m)	Lichtgeschwindigkeit
Masse $m$	Kilogramm (kg)	Plancksches Wirkungsquantum
Zeit $t$	Sekunde (s)	Periodendauer Hyperfeinstruktur Caesium
Stromstärke $I$	Ampere (A)	Elektronenladung
Temperatur $T$	Kelvin (K)	Boltzmann Konstante
Stoffmenge $n$	Mol (mol)	Avogadro Konstante
Lichtstärke $I_V$	Candela (cd)	grüne Lichtquelle definierter Strahlstärke

Die Einheit der Masse (bitte vom Gewicht unterscheiden, welches eine Kraft ist und daher in Newton angegeben werden muss!) war bis vor kurzem noch durch ein in Paris aufbewahrtes Urkilogramm festgelegt. Von diesem Kilogramm sind einige Kopien angefertigt worden, die in verschiedenen Teilen der Welt als Vergleichsobjekt aufbewahrt werden. Über die Jahrzehnte veränderte sich jedoch die Masse aller Prototypen leicht unterschiedlich (allerdings nur im Mikrogrammbereich, für den Alltag waren also keine Auswirkungen zu befürchten) und es war unklar, welches der ehemals praktisch identischen Objekte noch am nächsten beim ursprünglichen Wert war. Aus historischen Gründen ist das Kilogramm die einzige Basiseinheit mit Zehnerpotenz, eben dem Kilo vor dem Gramm. Genaugenommen bedeutet Kilo alleine verwendet nur die Zahl 1000 (in der Mathematik Einheit wird kurz auf Präfixe und Zehnerpotenzen eingegangen), auch wenn man umgangssprachlich „Gewichte“ oft in Kilo oder auch Dekka angibt.

Seit dem 20. Mai 2019 ist das Urkilogramm Geschichte und es wurden somit auch die davon abhängigen Definitionen von Ampere, Kelvin und Mol über das Festlegen eines Wertes für entsprechende Naturkonstanten endgültig definiert. Beim Meter war dies schon vor mehreren Jahrzehnten durch Festlegung des Betrags der Vakuumlichtgeschwindigkeit gemacht worden. Die erste Definition des Meters war der Abstand von den Polen zum Äquator, dieser sollte 10 Millionen Meter betragen. Daher ist der Umfang der Erde, wenn man das Maßband über die Pole legte, fast genau 40.000 Kilometer. Misst man den Umfang der Erde am Äquator, dann ist sie um mehrere Dutzend Kilometer dicker. Dies liegt an der Ausbeulung der Erde durch die Fliehkraft, die Folge der Erdrotation ist. Das ganze 19. Jahrhundert und auch die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts diente das Urmeter als weltweit gültiger Prototyp.

Für die Sekunde galt lange Zeit der mittlere Sonnentag als Grundlage. Ein Tag hat 24 Stunden beziehungsweise 86400 Sekunden. Zur Mitte des 20. Jahrhunderts wurden die Uhren so weit verfeinert, dass gezeigt werden konnte, dass die Erdrotation in ihrer Periodendauer Schwankungen zeigt. Langfristig gesehen verlängern sich die Tage auf der Erde, was vor allem an der Bremswirkung der Gezeiten liegt, welche von Sonne und Mond bewirkt werden.

Aus diesem Grund zeigt der Mond immer die selbe Seite zur Erde. Das war zum Zeitpunkt seiner Entstehung noch nicht der Fall. Überraschenderweise hat sich die Erdrotation in den letzten Jahren allerdings ein wenig erhöht (das Trägheitsmoment der Erde hat sich womöglich durch das Abschmelzen von Gletschern verringert, so dass aufgrund der Drehimpulserhaltung die Winkelgeschwindigkeit gestiegen ist), so dass vielleicht in naher Zukunft eine Art negative Schaltsekunde eingefügt werden muss. Das würde bedeuten, dass an einem 30. Juni oder 31. Dezember die letzte Minute vor Mitternacht nur 59 Sekunden haben würde. Derzeit gibt es jedoch auch Überlegungen, Schaltsekunden überhaupt abzuschaffen.

Ähnlich wie das Meter ist die Sekunde daher seit mehr als einem halben Jahrhundert über eine von Menschen und Erde unabhängige Definition festgelegt. Und mit der Fixierung des Kilogramm gilt dies inzwischen auch für die anderen Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems. Mit der geeigneten Ausrüstung und der passenden Definition kann ab nun theoretisch überall im Universum nachvollzogen werden, was wir z.B. unter einem Meter, einer Sekunde oder einem Ampere verstehen. Sollten wir jemals ein Rendezvous mit Außerirdischen durchführen, dann wird das die Planung vereinfachen. Es wird nicht notwendig sein, im Vorhinein Messgeräte auszutauschen, um Raumschiffe mit zueinander passenden Verbindungsluken und Schleusensystemen zu bauen.

Alle **anderen physikalischen Größen** lassen sich auf diese sieben Basiseinheiten **zurückführen**. Kräfte werden zum Beispiel in Newton (N) gemessen, aufgrund der Formel  $F = m \cdot a$  lässt sich aber sofort zeigen, dass die Beziehung  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$  gilt. Beim Umwandeln von physikalischen Einheiten ist es wesentlich, Präfixe wie Mega, Milli etc. (siehe das Skriptum zur Mathematik oder andere Quellen) zu kennen und mit ihnen umgehen zu können.

Unter anderem musste die NASA schon feststellen, wie wichtig der korrekte Umgang mit Einheiten ist. 1999 ging der Mars Climate Orbiter verloren, da einzelne Entwicklungsteams mit metrischen Einheiten wie Newton und andere Teams mit imperialen Einheiten wie Fuß und Pfund rechneten. In der fertigen Steuerungssoftware wurden nur die Zahlenwerte, nicht aber die Einheiten ausgetauscht und die Sonde stürzte auf den Mars ab. Auch im Bereich der Medizin kommt es durch Einheitenirrtümer hin und wieder zu gefährlichen oder gar tödlichen Zwischenfällen.

### 3 Mechanik

Kinematik und Dynamik sind eine erste grobe Einteilung der Mechanik. Die Kinematik beschreibt Bewegungen (das geht mittels Text, Diagrammen oder Formeln), die Kinematik beschäftigt sich zusätzlich noch mit den Ursachen für die Bewegungen, also den Kräften oder Drehmomenten. Bei den Bewegungen kann man **Translation** (Verschiebungen entlang einer Linie), **Rotation** (Drehung um eine Achse) und **Deformation** (Verformung eines Körpers) unterscheiden.

Zur Beschreibung von Bewegungen muss ein bestimmter Beobachtungsstandort, ein Bezugssystem festgelegt werden. Wenn wir in einem Zimmer vor dem Computer sitzen, dann ruhen wir zwar in Bezug zur Erdoberfläche, bezogen auf die Erdachse haben wir jedoch eine Geschwindigkeit von ungefähr 1000 Kilometer pro Stunde und in Bezug auf die Sonne legen wir ungefähr 30 Kilometer pro Sekunde zurück. **Inertialsysteme** stellen besondere Bezugssysteme dar, sie sind nicht beschleunigt und führen relativ zueinander nur gleichförmig geradlinige Bewegungen aus. In Inertialsystemen treten keine Trägheitskräfte (wie. z.B. die Fliehkraft) auf und die Grundgesetze nehmen die unten dargestellte Form an.

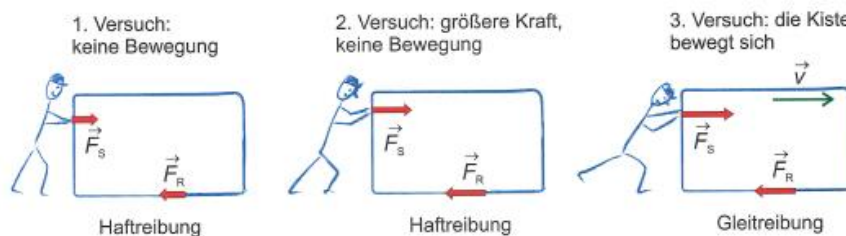
Als wesentlichste Grundlage der Mechanik sind wohl die drei **Newtonschen Gesetze** anzusehen.

- 1: Ein Körper, auf den (netto) keine äußere Kraft wirkt, **verharrt in Ruhe** oder bewegt sich **geradlinig gleichförmig** weiter. (Trägheitsprinzip)
- 2: Eine Nettokraft führt zu einer Beschleunigung. Für eine gegebene Beschleunigung (die erste Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit, beziehungsweise die zweite Zeitableitung des Ortes) ist die **Kraft proportional zur Masse** des Körpers. (dynamisches Grundgesetz der Translation)
  - $\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\dot{\vec{v}} = m\ddot{\vec{x}}$
  - Allgemeinere Formulierung: Kraft als zeitliche Änderungen des Impulses:  
 $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$  (bei Masseteilchen gilt  $\vec{p} = m\vec{v}$ , aber z.B. auch Licht hat Impuls)
- 3: Wirkt eine Kraft  $F_{A \rightarrow B}$  von einem Körper A auf einen anderen Körper B, so muss auch eine gleich große entgegengesetzte Kraft  $F_{B \rightarrow A}$  von B auf A wirken. (Wechselwirkungsprinzip)
  - „actio gleich reactio“ oder „**Kraft gleich Gegenkraft**“

**Impuls** (das Produkt von Masse und Geschwindigkeit:  $p = m \cdot v$ ) kann genauso wie **Energie** im **abgeschlossenen System** (ein Teil des Universums, das vollkommen isoliert von äußeren Einflüssen ist) weder erzeugt noch vernichtet werden. Er ist also eine sogenannte **Erhaltungsgröße**, wie auch die elektrische Ladung oder viele andere physikalische Größen. **Geschlossenen Systeme** können mit der Umgebung zwar Energie, aber keine Materie austauschen. In solchen Systemen ist zwar die Masse erhalten, die Energie ändert sich je nach ausgetauschtem Energiestrom. Dies wird im ersten Hauptsatz der Wärmelehre näher

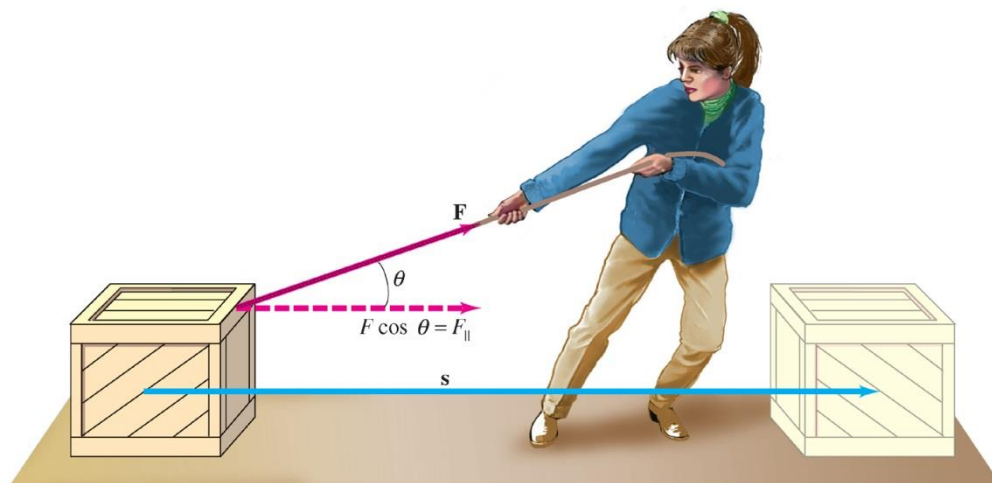
betrachtet. Etwas salopp könnte man Physik als die Wissenschaft der Erhaltungsgrößen bezeichnen.

Ohne **Reibungskräfte** wäre die Welt ziemlich eintönig. Beim Gehen oder Fahren bewirkt die **Haftreibung**, dass man nicht wie auf Glatteis ins Rutschen oder Schleudern kommt. Wenn die Haftreibung nicht ausreicht, dann beginnt die schwächere **Gleitreibung** zu wirken. Das Antiblockiersystem moderner Fahrzeuge versucht dies zu verhindern, so dass möglichst kurze Bremswege und stabile Kontrolle des Fahrzeugs jederzeit gewährleistet sind. Der Reibungsparameter  $\mu$  stellt den Zusammenhang zwischen Reibungskraft und Normalkraft (die Kraft, mit der die beiden Oberflächen aufeinandergepresst werden) her:  $F_R = \mu \cdot F_N$ . Neben der hier beschriebenen äußeren Reibung zwischen zwei Festkörper gibt es noch die innere Reibung, wenn ein Körper durch eine Flüssigkeit oder ein Gas bewegt wird und dabei Turbulenzen entstehen.



Wenn eine äußere Kraft  $F$  zwischen zwei Punkten A und B längs eines bestimmten Wegs auf ein Objekt/System einwirkt, so wird durch diese Kraft **Arbeit** (Einheit Joule:  $1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$ , andere verwendete Einheiten sind Kalorien, Elektronenvolt und Erg) verrichtet. Haben sowohl Weg als auch Kraft konstante Richtung (nicht unbedingt die selbe!) und konstanten Betrag, so kann man diese Arbeit als Skalarprodukt  $W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F_{\parallel} s$  berechnen. Andernfalls muss ein bestimmtes Integral berechnet werden:

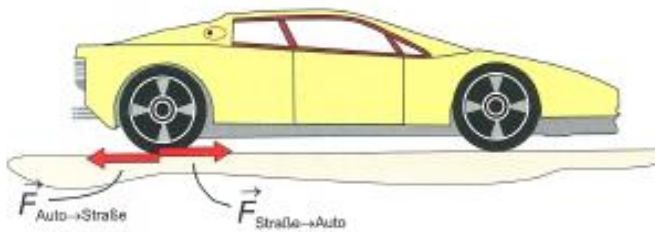
$$W = \int_A^B \vec{F}_{ext} \cdot d\vec{s}$$



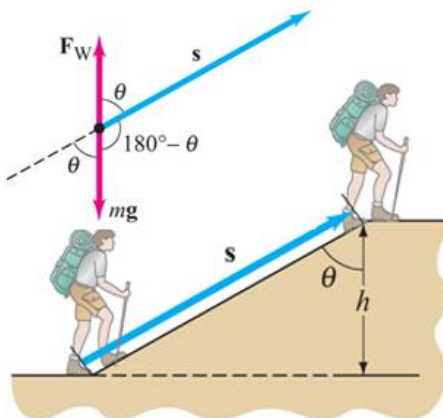
Dividiert man die verrichtete Arbeit durch die während des Arbeitens vergangene Zeit, so erhält man die Leistung, gemessen in Watt (oder veraltet: in Pferdestärken). Die Leistung, um die Beispielskiste mit konstanter Geschwindigkeit zu ziehen, berechnet sich zu

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{s}}{t} = \vec{F} \cdot \frac{\vec{s}}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}.$$

**Energie** wird oft als gespeicherte Arbeit angesehen. Im Bereich der Mechanik sind die wichtigsten Energieformen die kinetische, die potenzielle und die Spannenergie (z.B. in Federn und Bungee-Seilen gespeichert. Oft wird auch die Bezeichnung elastische Energie verwendet):

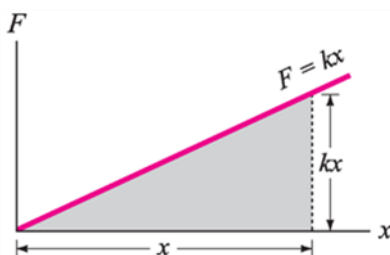


**Kinetische Energie:**  $E_{kin} = \frac{mv^2}{2}$



**Potenzielle Energie:**  $E_{pot} = F_W s \cos \theta = mgh$

Dies gilt nur für relativ kleine Höhendifferenzen nahe der Erdoberfläche, in denen das Gravitationsfeld konstant angenommen werden kann. Sonst muss man mit dem Newtonschen Gravitationsgesetz rechnen, das im Kapitel zur Elektrizitätslehre erläutert wird.



**Spannenergie** bei linearer Feder:  $E = \frac{kx^2}{2}$

Für die **Federkonstante**  $k$  wird häufig auch die Bezeichnung **Richtgröße**  $D$  verwendet. Das **Hookesche** Gesetz  $F = k \cdot x$  stellt den Zusammenhang von Federkraft und Verformung dar.

Auf dem Gebiet der **Translation** sind die geradlinig gleichförmige und die gleichmäßig beschleunigte Bewegung die einfachsten. Bei der **geradlinig gleichförmigen** Bewegung gibt es keine einwirkende Kraft (oder die Kräfte auf einen Körper heben sich auf), daher ist die Beschleunigung 0 und die Geschwindigkeit konstant.

$$a(t) = 0 \Rightarrow v(t) = v_0 = const \Rightarrow x(t) = x_0 + v_0 t$$

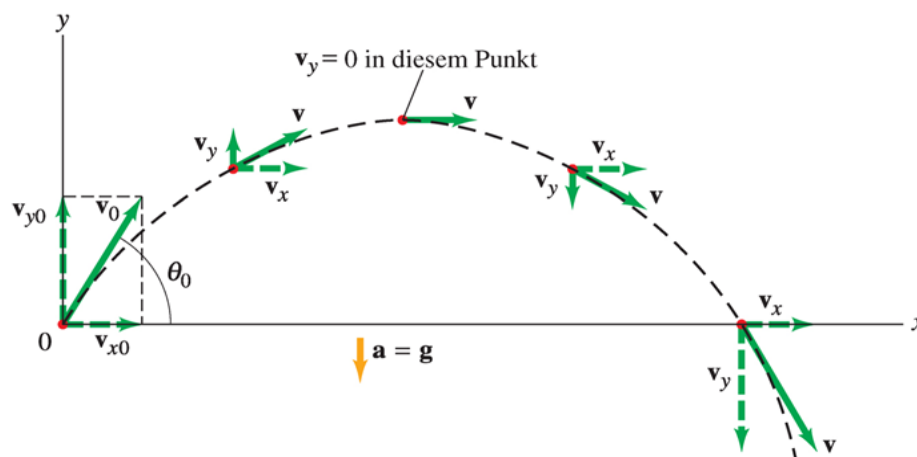


Bei der **gleichmäßig beschleunigten** Bewegung wirkt die Kraft in oder gegen die Bewegungsrichtung, die Geschwindigkeit nimmt linear mit der Zeit zu oder ab.

$$a(t) = a_0 = \text{const} \Rightarrow v(t) = v_0 + a_0 t \Rightarrow x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{a_0}{2} t^2$$

Wenn man von Details wie Anfangsgeschwindigkeit und Startpunkt absieht, dann reduzieren sich diese Formeln auf  $s = v \cdot t$  und  $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ . Bei der gleichförmigen Bewegung nimmt der zurückgelegte Weg also proportional zur vergangenen Zeit zu, bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung steigt der Weg quadratisch in Bezug auf den seit dem Start vergangenen Zeitraum.

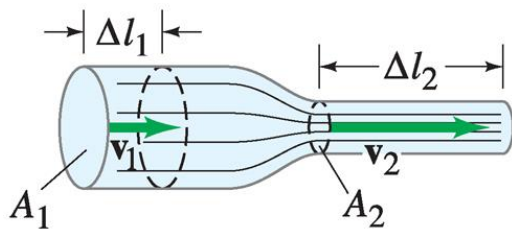
Ein schiefer Wurf kann als Überlagerung der beiden oben dargestellten Bewegungen angesehen werden. In vertikaler Richtung handelt es sich um eine gleichmäßig beschleunigte (verzögerte) Bewegung, in horizontaler Richtung um eine gleichförmige Bewegung. Die Bahnkurve ist eine Parabel. Lotrechter und waagrechter Wurf sowie freier Fall sind Spezialfälle des schiefen Wurfs. Sobald jedoch Reibungskräfte wie der Luftwiderstand berücksichtigt werden soll, wird die Sache teilweise so kompliziert, dass sich keine genauen Lösungsformeln mehr angeben lassen.



Die Bewegung auf einer Kreisbahn ist streng genommen keine eindimensionale Bewegung sondern ein Spezialfall der **Rotation**, wobei die Drehachse außerhalb des Körpers liegt. Hier stehen Kraft und Geschwindigkeit immer im rechten Winkel aufeinander und für die **Zentripetalbeschleunigung** gilt die Formel  $a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$ . Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  (deren Einheit rad/s ist) steht über die Gleichung  $\omega = 2\pi f$  mit der **Frequenz** in Verbindung. Letztere gibt die Anzahl der Umdrehungen pro Sekunde an, gemessen in Hertz. Bei Schwingungen und Wellen werden Frequenz und Winkelgeschwindigkeit (dort manchmal als Kreisfrequenz bezeichnet) wieder eine Rolle spielen.

In Flüssigkeiten mit konstanter **Dichte**  $\rho = \frac{m}{V}$  folgt aus dem Prinzip der Energieerhaltung die **Bernoulli** Gleichung und aus dem Prinzip der Massenerhaltung die Kontinuitätsgleichung. Die Bernoulli-Gleichung  $p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2$  besagt, dass in Flüssigkeiten mit zunehmender Tiefe der **Druck linear zunimmt** (auf der Erde in Wasser alle 10 Meter um

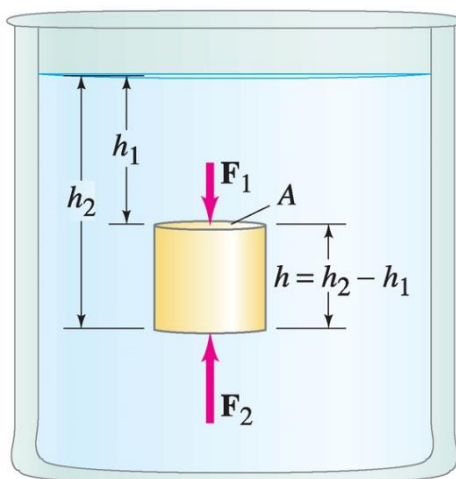
ungefähr ein Bar) und dass der Druck in bewegten Flüssigkeiten oder Gasen **umso geringer ist, je schneller** sich die Flüssigkeit bzw. das Gas bewegt.



$$\text{Kontinuitätsgleichung } v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Reibungskräfte/Turbulenzen werden bei der Bernoulli Gleichung zumindest in der hier präsentierten Form vernachlässigt. Veränderung des Blutdrucks durch Änderung von Gefäßdurchmessern können damit also nicht abgebildet werden, hier müsste das Gesetz von Hagen-Poiseuille verwendet werden. Dieses besagt, dass der Druck, der notwendig ist, um eine zähe Flüssigkeit bestimmter Viskosität durch ein Rohr zu pumpen, direkt proportional zur Länge des Rohres und zum Volumenstrom ist und sich der Druck indirekt proportional zur vierten Potenz des Rohrdurchmessers verhält. Wenn sich der Durchmesser eines Gefäßes auf die Hälfte verringert, dann kann bei gleicher Druckdifferenz nur mehr ein Sechzehntel der ursprünglichen Flüssigkeitsmenge die Engstelle passieren.

Wenn ein Körper in einer Flüssigkeit oder einem Gas eingetaucht ist, dann wirkt auf seine Unterseite ein höherer Druck als auf seine Oberseite. Die Differenz der beiden Kräfte  $F_1 = p_1 A = \rho g h_1 A$  und  $F_2 = p_2 A = \rho g h_2 A$  ergibt die **Auftriebskraft** auf den eingetauchten Körper  $F_{\text{Auftrieb}} = F_2 - F_1 = \rho g h_2 A - \rho g h_1 A = \rho g A (h_2 - h_1) = \rho g A h = \rho g V$



Ein Körper, der in einer Flüssigkeit schweben soll (Fische, Uboote bzw. Luftfahrzeuge wie Zeppeline in der Luft), der muss die gleiche Dichte wie seine Umgebung haben. Wenn die Dichte des Körpers größer ist, dann sinkt er nach unten. Ist die Dichte des Körpers geringer, dann steigt er nach oben, bis er an der Oberfläche schwimmt. Beim Schwimmen wird genauso viel Flüssigkeit verdrängt, wie es dem Gewicht des schwimmenden Körpers entspricht (das ist das Prinzip von Archimedes).

Bei der Rotation ausgedehnter Körper gibt es zur Translation (geradlinigen Bewegung) analoge Erhaltungssätze und physikalische Größen. Es sind eigentlich nur ein paar neue

Begriffe und Zusammenhänge zu lernen, die Formeln sind vom Aufbau her im Wesentlichen gleich aufgebaut wie bei der Translation.

Winkel werden in Technik und Naturwissenschaft oft in Radiant (Abkürzung rad) angegeben, nicht in Grad. Der volle Winkel hat 360 Grad beziehungsweise  $2\pi$  rad. Die Drehzahl von Bauteilen wird meist in U/min (Umdrehungen pro Minute) angegeben. Wenn man diesen Wert durch 60 teilt, dann erhält man die Frequenz in Hertz (Umdrehungen pro Sekunde)  $f = n/60$ . Der **Kehrwert der Frequenz** ist die **Periodendauer**  $T = 1/f$ . Diese gibt an, wie lange eine volle Umdrehung dauert. Die Winkelgeschwindigkeit gibt an, wie groß der Winkel (gemessen in Radiant) ist, der pro Sekunde überstrichen wird, ihr Zusammenhang zur Frequenz  $\omega = 2\pi f$  wurde bereits weiter oben erwähnt.

Die wichtigsten physikalischen Größen für die Rotation finden sich in ihrem **dynamischen Grundgesetz**  $M = J\alpha$ , das analog zum dynamischen Grundgesetz der Translation  $F = ma$  aussieht. Auf der linken Seite steht das Drehmoment  $M$ , das in Newtonmetern angegeben wird (hier bitte nicht Joule sagen: Statt eines Skalarprodukts wie bei der Arbeit wird in der vektoriellen Berechnung hier ein Kreuzprodukt benötigt. Kreuzprodukte stehen aber nicht auf der mathematischen Stichwortliste, deswegen verzichten wir auf diese Verkomplizierung in Physik), auf der rechten Seite das Trägheitsmoment  $J$  (mit der Einheit Kilogramm mal Meter zum Quadrat) und die Winkelbeschleunigung  $\alpha$ . Die Winkelbeschleunigung gibt die zeitliche Veränderung der Winkelgeschwindigkeit an und hat die Einheit Radiant pro Sekunde zum Quadrat ( $\text{rad/s}^2$ ).

Die **Drehimpulserhaltung** bewirkt zum Beispiel, dass sich ein Eiskunstläufer bei einer Pirouette schneller dreht, wenn er während der Drehung die Arme näher zum Körper führt. Dabei erhöht sich die Rotationsenergie, da die Arme entgegen der Fliehkraft bewegt werden müssen. Der gleiche Effekt zeigt sich beim Salto, wenn dieser gehockt und nicht gestreckt ausgeführt wird.

Der Mond entfernt sich jedes Jahr um mehrere Zentimeter von der Erde, da die Drehung der Erde durch die Gezeiten zunehmend abgebremst wird (die Winkelgeschwindigkeit sinkt) und sich deswegen das Trägheitsmoment des Systems Erde-Mond und damit der Abstand der beiden erhöhen muss, um dem Gesetz der Drehimpulserhaltung Genüge zu tun. Die Rotationsenergie des Gesamtsystems nimmt dabei ab, da durch die Gezeitenreibung Wärme entsteht. Am Jupitermond Io sind diese Gezeitenkräfte so groß, dass der Mond aufgrund der in seinem Inneren freiwerdenden Reibungswärme der vulkanisch aktivste Himmelskörper in unserem Sonnensystem ist.

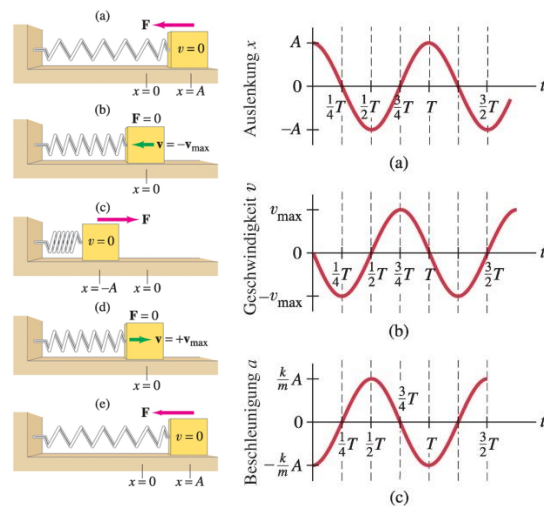
Wenn man die Formeln und Größen für die vorhin beschriebene Punktmassenwelt kennt, dann kann man sich die für die Rotation ausgedehnter Körper entsprechenden Beziehungen recht einfach merken. Die folgende Tabelle auf der nächsten Seite kann dabei hilfreich sein.

<b>Punktwelt</b>	<b>Formel</b>	<b>Drehwelt</b>	<b>Formel</b>	<b>Einheit</b>
Ort	$x(t)$	Drehwinkel	$\varphi(t)$	rad
Geschwindigkeit	$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$	Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$	rad/s=s <sup>-1</sup>
Beschleunigung	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	Winkelbeschleunigung	$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$	rad/s <sup>2</sup> =s <sup>-2</sup>
Masse	$m$	Trägheitsmoment	$J = \sum_i m_i r_i^2$	kg·m <sup>2</sup>
Kraft	$F = ma = \frac{\Delta p}{\Delta t}$	Drehmoment	$M = J\alpha$ $= \frac{\Delta L}{\Delta t}$	N·m
Impuls	$p = mv$	Drehimpuls	$L = J\omega$	kg·m <sup>2</sup> /s
Arbeit	$W = F\Delta x$	Arbeit	$W = M\Delta\varphi$	J = kg·m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Leistung	$P = Fv$	Leistung	$P = M\omega$	W = J/s
Kinetische Energie	$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$	Rotationsenergie	$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2}J\omega^2$	J = kg·m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>

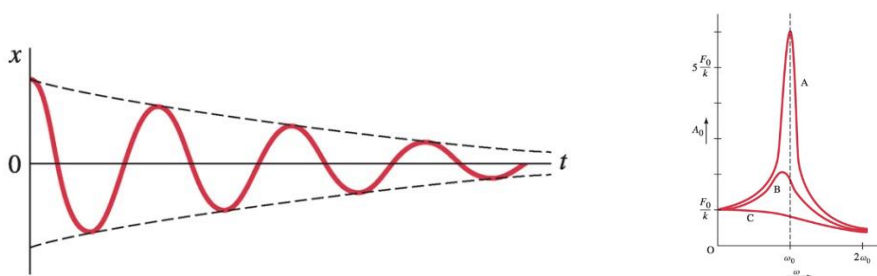
## 4 Schwingungen und Wellen

Schwingungen sind zeitlich periodische Vorgänge, bei denen verschiedene Energieformen ineinander umgewandelt werden. Bei einem Feder-Masse Pendel wandeln sich andauernd Spannenergie und kinetische Energie ineinander um, bei einem Fadenpendel potentielle Energie und kinetische Energie. Die **Eigenfrequenz  $f$**  und die **Periodendauer  $T$**  stehen dabei in einem indirekt proportionalen Zusammenhang zueinander:  $f = \frac{1}{T}$ .

- Masse stillstehend, Kraft maximal – rechter Umkehrpunkt.
  - Das System hat Spannenergie, aber keine kinetische Energie.
- Geschwindigkeit maximal, keine Kraft – Durchgang durch die Ruhelage
  - System hat kinetische Energie, keine Spannenergie
- Geschwindigkeit wieder 0, maximale Kraft in anderer Richtung – linker Umkehrpunkt
  - Verglichen zu a)
- maximale Geschwindigkeit in andere Richtung – erneuter Durchgang durch die Ruhelage
  - Zeitlich gespiegelter Vorgang verglichen mit b)
- gleicher Zustand wie in a) erreicht – eine Schwingungsperiode ist vergangen
  - ...und jetzt das Ganze wieder von vorn...

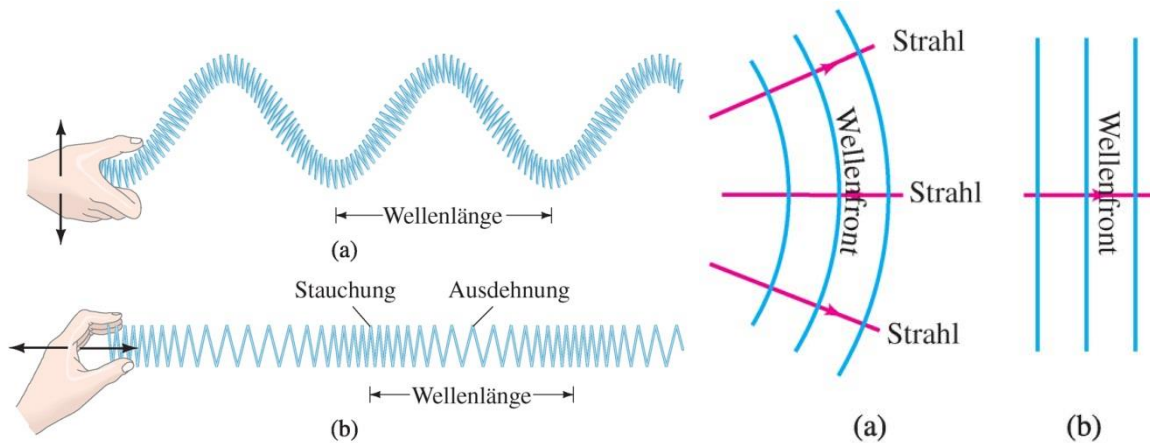


Bei einer **ungedämpften** Schwingung ist **keine Reibung** vorhanden. Das bedeutet, dass die Amplitude niemals abnimmt und der Schwingungsvorgang kein Ende nimmt. Dies ist allerdings ein Idealfall, normalerweise laufen Schwingungen immer **gedämpft** ab, sofern dem System nicht kontinuierlich Energie zugeführt wird, um die verlorene Reibungsenergie auszugleichen. Wenn keine Energie zugeführt wird, dann nimmt die **Amplitude exponentiell** mit der Zeit ab. Wenn Energie periodisch zugeführt wird, dann schwingt das System mit der Anregungsfrequenz mit. Falls die Dämpfung gering ist und die Anregungsfrequenz in der Nähe der Eigenfrequenz liegt, kann es durch Resonanzkatastrophe zur Zerstörung kommen – angeblich dürfen Soldaten deswegen nicht im Gleichschritt über Brücken marschieren.

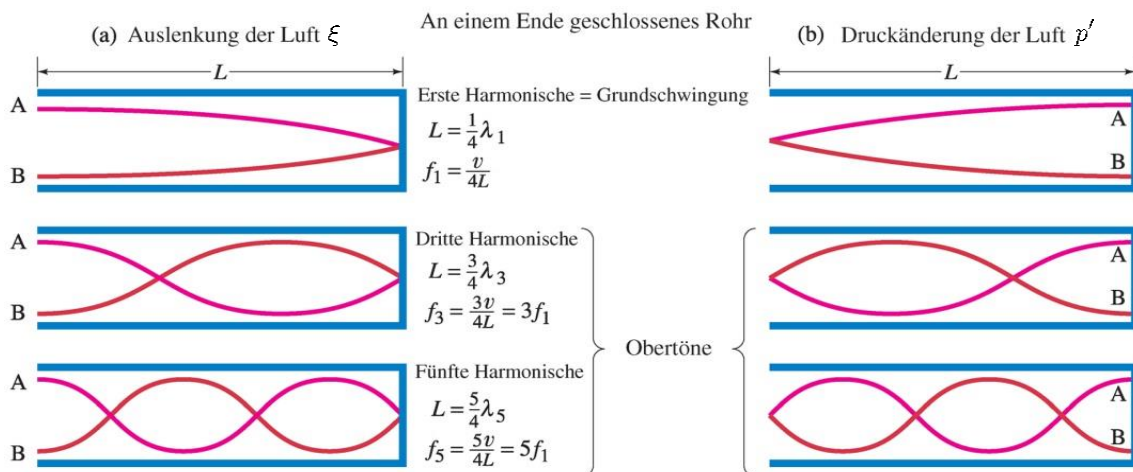


Im Unterschied zu Schwingungen sind **Wellen** periodische Vorgänge in **Zeit und Raum**, es sind eine Vielzahl von schwingungsfähigen „Teilchen“ (Achtung: bei elektromagnetischen Feldern schwingen keine Teilchen, sondern elektrische und magnetische Feldstärken) miteinander verbunden. Bei **Transversalwellen** schwingen die Teilchen normal zur Ausbreitungsrichtung (die **Polarisationsrichtung** gibt bei Transversalwellen an, in welcher Ebene die Teilchen schwingen), bei **Longitudinalwellen** in Ausbreitungsrichtung (hier gibt es keine Polarisation).

Bei **Kugelwellen** nimmt die Intensität der Welle (Leistung pro Querschnitt) **quadratisch** mit dem Abstand zur Quelle ab, **ebene Wellen** haben konstante Intensität und breiten sich wie Strahlen geradlinig aus (siehe auch Optik). In weiter Entfernung von einer Punktquelle ähnelt eine Kugelwelle immer stärker einer ebenen Welle.



Wenn sich mehrere Wellen **überlagern**, kommt es zur **Interferenz**. Bei leicht unterschiedlicher Frequenz führt dies zur **Schwebung**. Bei gleicher Frequenz und entgegengesetzter Ausbreitungsrichtung (weil eine Welle zum Beispiel an einem Hindernis reflektiert wird oder wie bei einer Gitarrensaite oder einer Orgelpfeife nur einen bestimmten Raumbereich zur Ausbreitung zur Verfügung hat) bildet sich hingegen eine **stehende Welle**. Die Ausbreitung einer Welle kann laut Huygens durch die Überlagerung vieler **Elementarwellen**, die die Welle bilden, betrachtet werden. Siehe dazu auch das Kapitel über Optik am Ende dieses Skripts.

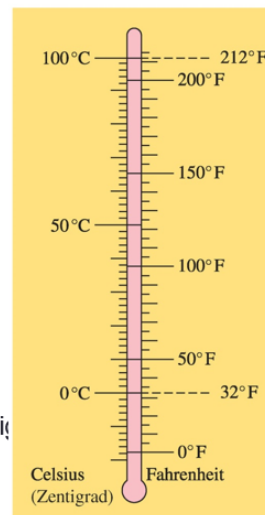


## 5 Wärmelehre

Die grundlegendste Größe der Thermodynamik (auch Wärmelehre genannt) ist (neben der allgegenwärtigen Energie) wohl die **Temperatur**. Mit steigender Temperatur nimmt normalerweise das Volumen von Körpern zu. eine Ausnahme ist das Schmelzen von Eis; hier nimmt das Volumen bei Temperaturerhöhung ab und bei 4 Grad Celsius hat Wasser seine größte Dichte. Wegen dieser **Anomalie des Wassers** frieren unsere Seen nicht von Grund auf zu, sondern Wasser mit einer Temperatur von 4 Grad Celsius findet sich am Seeboden.

Mit zunehmender Temperatur ändert sich z.B. die Farbe glühender Körper (eine eingeschaltete Herdplatte leuchtet rot, eine Glühbirne gelblich, die Sonne weiß) und feste Stoffe werden bei Temperaturerhöhung zuerst flüssig und später gasförmig (Änderung des **Aggregatzustands**). Zur Temperaturmessung sind drei Skalen recht verbreitet

- Kelvin (Einheitenzeichen K):
  - die Temperatureinheit der absoluten Temperatur
  - Vorteil: Es gibt **keine negativen Werte!**
  - $T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$
- Grad Celsius (Einheitenzeichen  $^{\circ}C$ ):
  - $0^{\circ}C$  entspricht dem Gefrierpunkt von Wasser
  - $100^{\circ}C$  entspricht dem Siedepunkt von Wasser
  - $T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15$
  - $T(^{\circ}C) = \frac{5}{9}(T(^{\circ}F) - 32)$
- Fahrenheit (Einheitenzeichen  $^{\circ}F$ ):
  - $32^{\circ}F$  entspricht dem Gefrierpunkt von Wasser
  - $212^{\circ}F$  entspricht dem Siedepunkt von Wasser
  - $0^{\circ}F$  ursprünglich tiefste Temperatur 1708/09 in Danzig
  - $96^{\circ}F$  Körpertemperatur eines gesunden Menschen
  - $T(^{\circ}F) = \frac{9}{5}T(^{\circ}C) + 32$



Aus der **kinetischen Gastheorie** folgt, dass Temperatur ein Maß für die ungerichtete Bewegung der Atome/Moleküle ist. Die Hauptsätze der Wärmelehre zeigen unter anderem, wie Temperatur und Energie zusammenhängen.

Ein wesentlicher Begriff ist der des **thermischen Gleichgewichts**. Der **nullte Hauptsatz** der Thermodynamik besagt, dass zwei Systeme, die mit einem dritten System im thermodynamischen Gleichgewicht sind, auch zueinander im thermodynamischen Gleichgewicht sind. Man kann daher ein System, in dem überall die gleiche Temperatur herrscht, in viele Subsysteme zerteilen, die alle im thermodynamischen Gleichgewicht zueinander stehen.

Bringt man zwei Systeme unterschiedlicher Temperatur miteinander in Verbindung, so tauschen sie Energie (Wärme) aus, bis sie nach hinreichend langer Zeit die selbe Temperatur haben. Energie fließt also freiwillig (und **irreversibel**) immer nur vom System höherer Temperatur zum System mit niedrigerer Temperatur. Dabei steigt die sogenannte Entropie, was der **zweite Hauptsatz** der Thermodynamik besagt.

Der **erste Hauptsatz** der Wärmelehre besagt, dass die Änderung der inneren Energie  $\Delta U$  eines geschlossenen Systems gleich der zugeführten Wärme  $Q$  plus der Arbeit  $W$ , die am System verrichtet wird, ist:  $\Delta U = Q + W$

Die **spezifische Wärmekapazität**  $c$  eines Stoffes gibt die Wärmemenge an, die notwendig ist, um seine Temperatur zu ändern. Wasser hat eine sehr hohe spezifische Wärmekapazität, darum braucht es z.B. sehr lange, bis sich ein See im Frühjahr erwärmt. Luft erwärmt sich viel schneller, kühlt aber auch sehr rasch ab. Das ist der Grund, warum es in Küstennähe tageszeitabhängige Windrichtungen gibt.

Unter einem idealen Gas versteht man das idealisierte Modell eines Gases aus punktförmigen Molekülen, die von Stößen abgesehen keine Wechselwirkungskräfte aufeinander ausüben. Die **ideale Gasgleichung**  $pV = nRT$  verknüpft Druck, Volumen, Stoffmenge und Temperatur. Die Proportionalitätskonstante  $R$  wird als universelle Gaskonstante bezeichnet. Mit der Boltzmann-Konstante  $k$  kann das Gasgesetz auch in der Form  $pV = NkT$  geschrieben werden, hier wird statt der Stoffmenge  $n$  die Teilchenzahl  $N$  verwendet. Die Avogadro Konstante dient als Umrechnungsfaktor zwischen  $k$  und  $R$ . Wenn die Gasmenge in Kilogramm statt in Mol angegeben werden soll, dann muss mittels der molaren Masse des Gases auf die spezifische Gaskonstante umgerechnet werden.

Ein Spezialfall des idealen Gasgesetzes ist das Gesetz von **Boyle-Mariotte**, das besagt, dass sich bei konstanter Temperatur Druck und Volumen eines Gases indirekt proportional zueinander verhalten. Ein anderer Spezialfall ist das Gesetz von **Gay-Lussac**, das besagt, dass sich das Volumen eines Gases bei konstantem Druck mit zunehmender Temperatur erhöht. Bei Abkühlung sinkt das Volumen eines Gases dementsprechend. Das Volumen eines idealen Gases würde bei einer Temperatur von 0 Kelvin verschwinden, reale Gas werden hingegen bei tiefer Temperatur verflüssigt. Solche Phänomene wie die Kondensation können nicht mit der realen Gasgleichung modelliert werden, hier müsste man zum Beispiel die Van-der-Waals-Gleichung verwenden. In dieser Gleichung wird das Eigenvolumen der Gasmoleküle und die Kräfte zwischen den Teilchen berücksichtigt. Beim idealen Gas geht man davon aus, dass die Gasteilchen punktförmige Objekte sind, die nur durch direkte Stöße Kräfte aufeinander ausüben können.

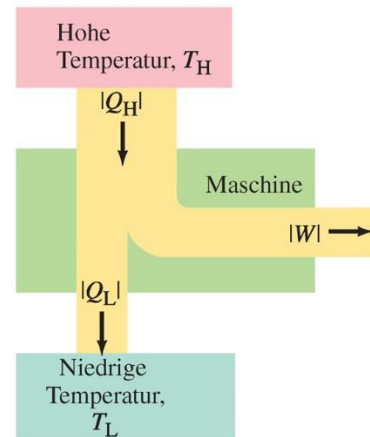
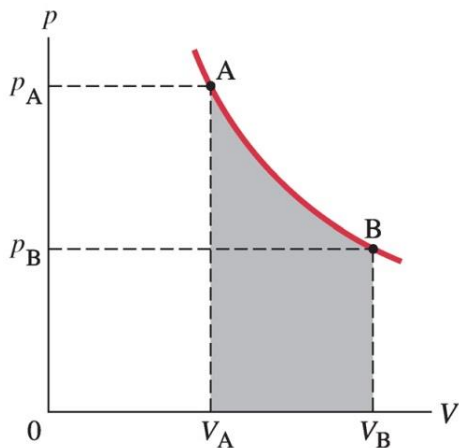
Bei den **Zustandsänderungen** idealer Gase unterscheidet man zwischen der **isothermen** Zustandsänderung ( $\Delta T=0$ ), der **adiabatischen** Zustandsänderung ( $Q=0$ , kein Wärmeaustausch mit der Umgebung), der **isobaren** Zustandsänderung ( $\Delta p=0$ ) und der **isochoren** Zustandsänderung ( $\Delta V=0$ ). Die ideale Gasgleichung kann auch für den **osmotischen Druck** in einer Flüssigkeit angewendet werden, er ist proportional zur molaren Konzentration des in der Flüssigkeit gelösten Stoffes und auch zur absoluten Temperatur ist er proportional.

Wenn ein Gas während seiner Zustandsänderung expandiert, dann verrichtet es Arbeit. Die Größe der Arbeit kann im  $pV$ -Diagramm als Fläche abgelesen werden (siehe das Diagramm auf der nächsten Seite). Dieses Prinzip wird von **Wärmeleistungsmaschinen** genutzt, um Wärme in mechanische Arbeit umzuwandeln. Dabei fließt Wärme aus einem Reservoir hoher Temperatur  $T_H$  (Kessel einer Dampfmaschine, Zylinder eines Verbrennungsmotors) in ein Gebiet niedrigerer Temperatur  $T_L$  (Auspuff, Kühler), wobei die Wärme nur teilweise in Arbeit



umgewandelt werden kann. Der **Carnotsche Wirkungsgrad**  $\eta = W/Q_H = 1 - T_L/T_H$  gibt eine Grenze für den mechanisch nutzbaren Teil der Wärme vor, die nicht überschritten werden kann. Alle tatsächlich gebauten und nutzbaren Maschinen haben einen schlechteren Wirkungsgrad, Carnot Maschinen arbeiten nämlich reibungsfrei und unendlich langsam.

Eine Maschine, die Wärme vollständig in Arbeit umwandelt, würde zwar nicht gegen den Energieerhaltungssatz (erster Hauptsatz der Wärmelehre), aber gegen den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre verstoßen. Eine solche Maschine nennt man Perpetuum mobile zweiter Art.



Wenn eine Wärmekraftmaschine „rückwärts“ betrieben wird, dann erhält man eine Wärmepumpe (Kühlschrank, Klimaanlage). Diese arbeiten umso effizienter, je geringer die Temperaturdifferenz ist. Allerdings dürfte es laut Stichwortliste keine Fragen zu diesem Bereich geben.

## 6 Elektrizitätslehre

In der Elektrostatik geht es um die Kräfte zwischen ruhenden Ladungen. Im Gegensatz zur Gravitationskraft, die immer anziehend wirkt, können sich elektrische Ladungen je nach Vorzeichen anziehen oder abstoßen. Sowohl das Coulombsche Gesetz der **Elektrostatik** als auch das Newtonsche Gesetz der **Gravitation** zeigen, dass beide Kräfte mit dem **Quadrat des Abstands abnehmen**. Die elektrostatische Kraft ist um ein Vielfaches (ungefähr 40 Zehnerpotenzen) stärker als die Gravitationskraft. Da aber makroskopische Körper immer annähernd elektrisch neutral sind, ist die Gravitationskraft die das gesamte Universum dominierende Kraft. Albert Einstein würde anstatt Kraft allerdings Raumkrümmung sagen.

$$F_{\text{Grav}} = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \text{ und } F_{\text{Coul}} = \frac{Q_1Q_2}{4\pi\epsilon_0r^2}$$

Die Größe von elektrischen Ladungen wird in Coulomb gemessen. Die vom Betrage her kleinste in der Natur frei vorkommenden Ladung ist die Elementarladung mit einer Größe von  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Elektronen sind negativ geladen, Protonen positiv und sie tragen jeweils eine Elementarladung. **Elektrische Feldlinien** verlaufen von positiven zu negativen Ladungen.

Wenn sich Ladungen bewegen, dann fließt elektrischer Strom. Die Stärke des Stromflusses (Ladung pro Zeit) wird in Ampere gemessen. Das einfache Modell des **Ohmschen Widerstands** (Merkregel Rudi: R ist U Durch I) postuliert eine lineare Beziehung zwischen der Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$  (**Ohmsches Gesetz**).

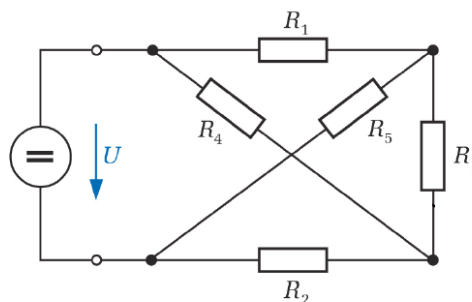
$$U = R \cdot I$$

Die gute elektrische Leitfähigkeit von Metallen folgt aus den freien Elektronen, die sich durch das Atomgitter bewegen können. Mit der elektrischen Leitfähigkeit  $\sigma$  beziehungsweise dem spezifischen Widerstand  $\rho$  berechnet sich der Widerstand eines Leiters als

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

Flüssigkeiten sind dann elektrisch leitfähig, wenn in ihnen Ionen zum Stromtransport zur Verfügung stehen.

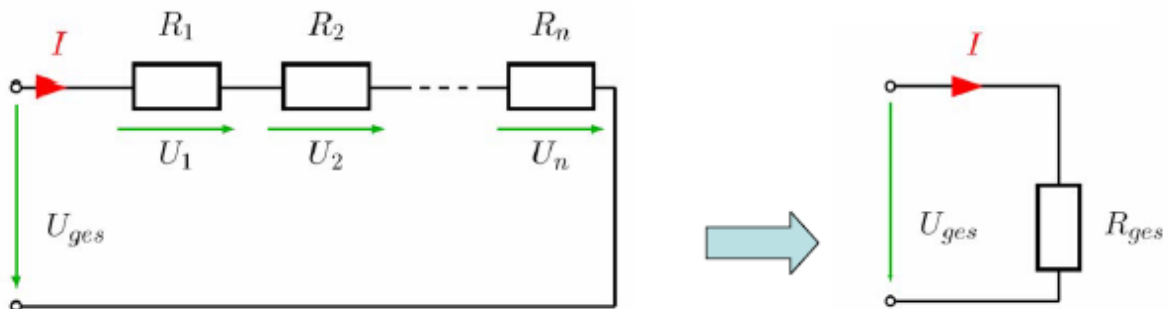
Für die am Ohmschen Widerstand abfallende Leistung gilt  $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$ . Leistung und Arbeit stehen wie üblich über die Zeit zueinander in Beziehung.



Mit Hilfe der **Kirchhoffschen** Gesetze lassen sich Ströme und Spannungen in Schaltungen wie der oben abgebildeten berechnen. Laut der **Knotenregel** muss die in jeden Knoten einfließende Stromstärke gleich groß sein wie die abfließende (Prinzip der Ladungserhaltung) und die **Maschenregel** besagt, dass sich in jeder geschlossenen Masche die Teilspannungen in Summe aufheben (Prinzip der Energieerhaltung).

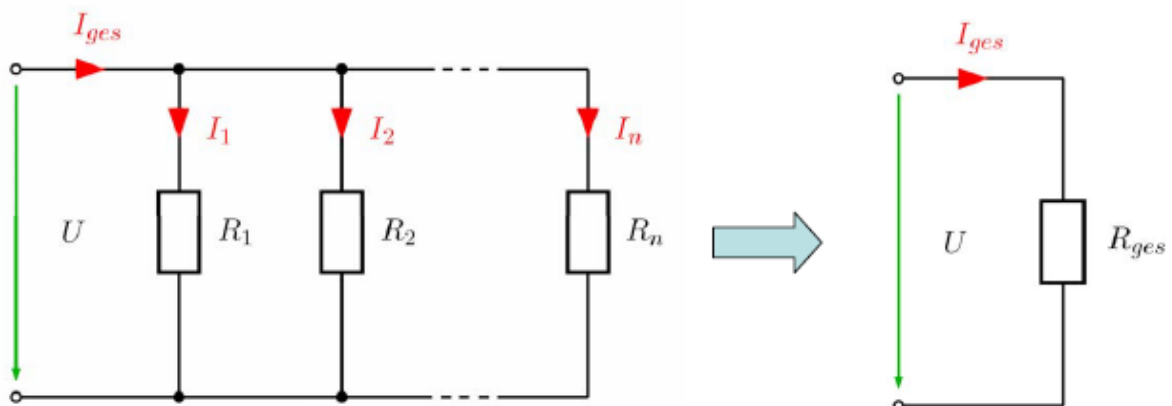
Bei der Serienschaltung von Widerständen muss der selbe Strom durch jeden einzelnen Widerstand fließen und es ergibt sich jedes Mal ein entsprechender Spannungsabfall. Daher addieren sich die Einzelwiderstände zum Gesamtwiderstand:

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$



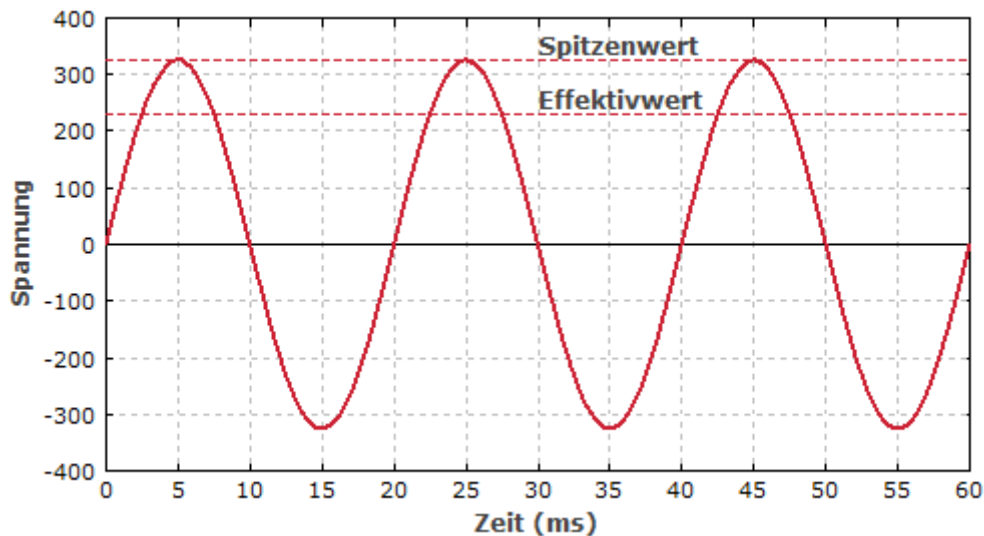
Bei der Parallelschaltung von Widerständen ergibt sich durch jeden einzelnen Widerstand entsprechend der angelegten Spannung eine eigene Stromstärke und der Gesamtwiderstand ist daher immer kleiner als der kleinste Einzelwiderstand. Als Formel erhält man:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

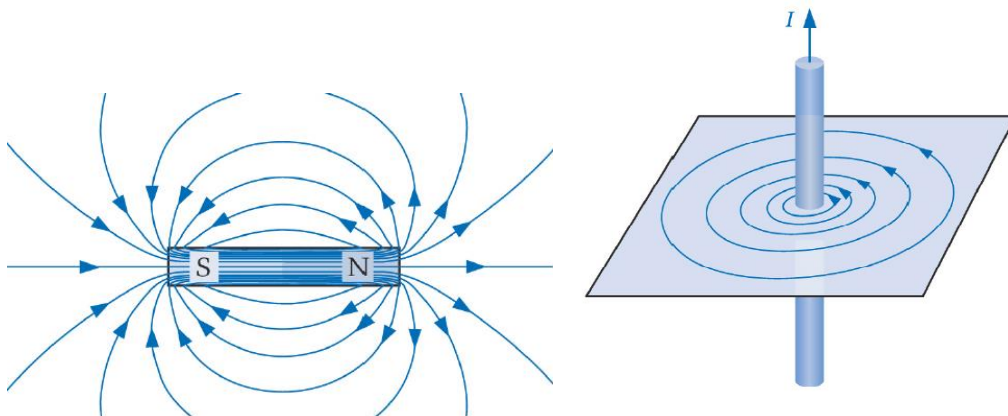


Bei Gleichstrom sind Spannung (wie z.B. bei Batterien) und Stromstärke zeitlich konstant, bei Wechselstrom ändern sie sich periodisch. In Österreich haben Steckdosen im Haushalt eine Spannung von 230 Volt und eine Frequenz von 50 Hertz (50 Schwingungen pro Sekunde. Eine Schwingung dauert deswegen 20 Millisekunden). Das bedeutet allerdings nicht, dass die maximale Spannung zwischen den beiden Polen in der Steckdose 230 Volt beträgt (die

sogenannte **Spitzenspannung** ist um den Faktor  $\sqrt{2}$  höher!), sondern, dass an einem Ohmschen Widerstand, der an der Steckdose angeschlossen ist, die selbe thermische Leistung wie an einer Gleichspannungsquelle mit 230 Volt entsteht (**Effektivwert**).



Stromführende Leiter sind von einem Magnetfeld umgeben. Bis jetzt konnten noch keine magnetischen Monopole entdeckt werden, **Magnetfeldlinien** sind daher immer geschlossen und sie dürfen sich nicht schneiden. Bei Stabmagneten setzen sich die Feldlinien im Inneren des Magneten fort. Zerbricht man einen Magneten, so hat man dadurch zwei kleinere erzeugt. Beide haben sowohl Nord- als auch Südpol!



Für die Stärke  $H$  des Magnetfelds rund um einen langen stromführenden Leiter erhält man die Formel  $H = \frac{I}{2r\pi}$ , die Stärke des Magnetfelds nimmt also bloß linear mit dem Abstand  $r$  zum Leiter ab.

## 7 Optik und Atomphysik

Der Bereich Optik überschneidet sich ein wenig mit den Kapiteln Elektrizitätslehre und Wellen, da es sich beim sichtbaren Licht um nichts anderes als einen kleinen Teil des **elektromagnetischen Spektrums** handelt. Im sichtbaren Bereich des **Spektrums** hat die Farbe Blau/Violett die kürzeste Wellenlänge ( $\lambda$ ) von ungefähr 400 nm/höchste Frequenz ( $f$ ) und Rot die größte Wellenlänge (knapp 800 nm)/kleinste Frequenz.

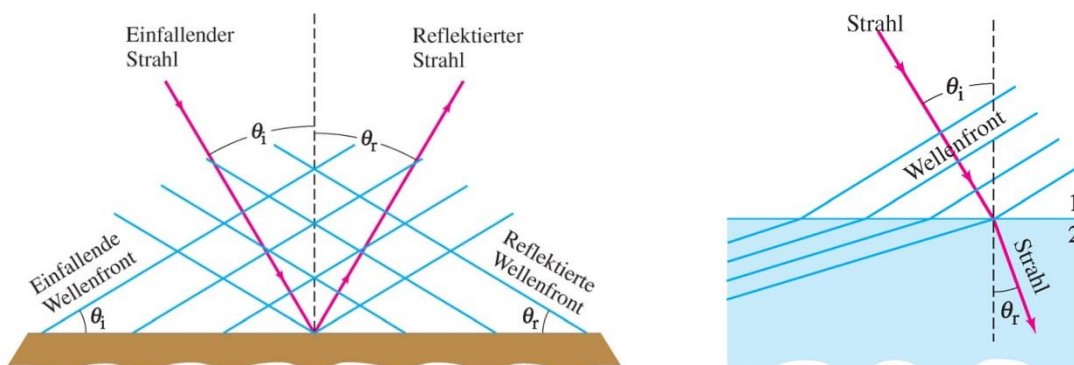
$$c = \lambda \cdot f$$

In der **geometrischen Optik** wird davon ausgegangen, dass sich Lichtstrahlen geradlinig ausbreiten. Je nach Medium, in dem sich das Licht ausbreitet, ist seine Geschwindigkeit  $v$  unterschiedlich hoch. Am höchsten ist die Lichtgeschwindigkeit ( $c \approx 300.000 \text{ km/s}$ ) in Vakuum, die **optische Dichte**  $n = \frac{c}{v}$  des Mediums gibt an, um welchen Faktor das Licht im Vergleich zu Vakuum abgebremst wird.

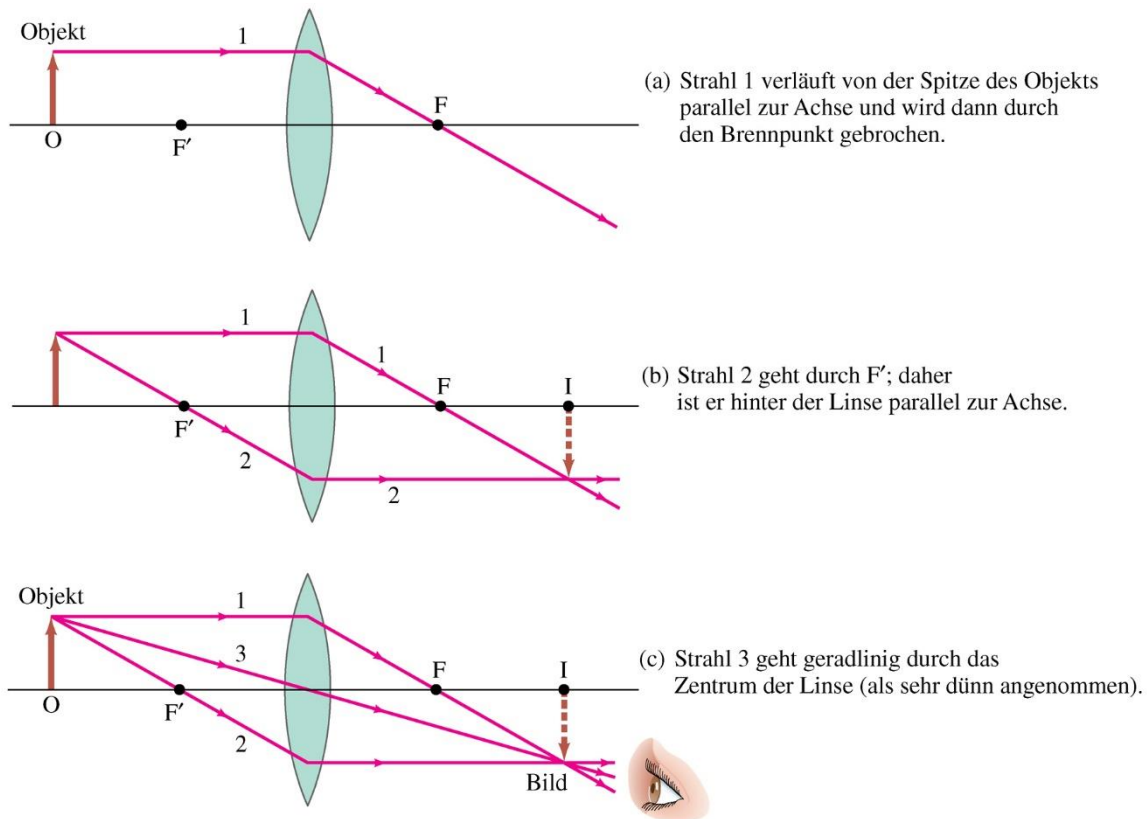
In der **Wellenoptik** wird der Wellencharakter des Lichts berücksichtigt. Das Prinzip von Huygens-Fresnel geht davon aus, dass in jedem Punkt einer Wellenfront neue **Elementarwellen** ausgehen, die sich so zu einer neuen Wellenfront überlagern. Auf diese Weise lassen sich Effekte wie Beugung, Brechung, Reflexion, Polarisation... erklären.



Bei der Reflexion eines Lichtstrahls an einer spiegelnden Fläche sind Einfallswinkel und Ausfallwinkel gleich groß ( $\theta_i = \theta_r$ ). Beim Übergang eines Lichtstrahls von einem Medium in ein anderes Medium mit unterschiedlicher optischer Dichte wird er hingegen an der Grenzfläche entsprechend des **Brechungsgesetzes von Snellius** ( $v_1$  und  $v_2$  bezeichnen die beiden Lichtgeschwindigkeiten.) gebrochen:  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$



In **optischen Geräten** wie Fernrohren, Lupen, Mikroskopen oder dem Auge (durch die Krümmung der Linse wird die Brennweite angepasst, so dass man Objekte unterschiedlicher Entfernung scharf sehen kann. Durch die Größe der Pupillenöffnung kann sich das Auge an unterschiedliche Umgebungshelligkeiten anpassen) werden diese Effekte ausgenutzt. Bei Linsen helfen Brennstrahl, Mittelpunktstrahl und Parallelstrahl bei der Konstruktion des Bildes.



Die **Linsengleichung** gibt den Zusammenhang zwischen Brennweite  $f$  (Ein positiver Wert bei Sammellinsen wie oben abgebildet, bei Zerstreuungslinsen ein negativer Wert), Bildweite  $b$  (positiv bei reellen Bildern, negativ bei virtuellen. Reelle Bilder können auf eine Leinwand projiziert werden, virtuelle Bilder können nur mit dem Auge oder der Kamera gesehen werden) und Gegenstandsweite  $g$  an:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Zur Bestimmung der Bildgröße aus der Gegenstandsgröße dient die Formel  $G: g = B: b$ , die man sehr schnell mit Hilfe eines Mittelpunktstrahls herleiten kann. Die Herleitung der oben beschriebenen Linsengleichung geht mit Hilfe von ähnlichen Dreiecken und ist etwas umständlicher. Für gekrümmte Spiegeloberflächen kann man die selben Formeln verwenden, die Brennweite entspricht dabei der Hälfte des Spiegelradius.

Anstatt der Brennweite wird bei Linsen häufig die **Brechkraft** (Achtung, dies hat nichts mit einer mechanischen Kraft zu tun) in Dioptrien angegeben. Es handelt sich dabei einfach um den Kehrwert der Brennweite. Je kleiner die Brennweite einer Linse ist, desto stärker ist ihre

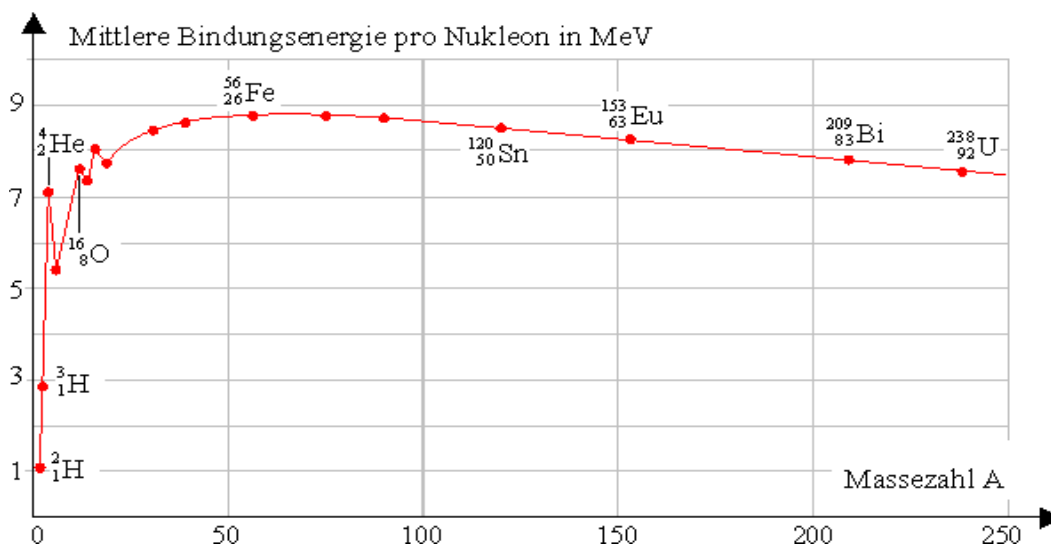
Brechkraft. Bei kurzsichtigen Personen ist die Brechkraft des Auges zu groß (bzw. der Augapfel zu lange), hier wird mit einer Zerstreuungslinse korrigiert. Bei weitsichtigen Personen ist die Brechkraft zu klein (bzw. der Augapfel zu kurz), hier wird mit einer Sammellinse korrigiert.

Durch die Erkenntnisse der Quantenmechanik weiß man inzwischen, dass sowohl Vertreter der Wellenoptik als auch der Strahlenoptik recht behalten haben und beide im Irrtum sind. Licht hat, je nachdem, wie es betrachtet wird, einerseits **Teilchen**charakter (Photonen) als auch **Wellen**charakter (elektromagnetische Welle). Dieser **Dualismus** tritt auch bei anderen Teilchen auf, man denke an die **Orbitale (Schalen)** in der Atomhülle, die die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen darstellen. In jedem Orbital dürfen sich gemäß des Pauli-Prinzips (dieses gilt nur für Materieteilchen, Photonen dürfen den gleichen quantenmechanischen Zustand einnehmen) maximal zwei Elektronen mit gegensätzlichem Spin aufhalten. Im Atomkern befinden sich die sogenannten **Nukleonen**, das sind die ungeladenen Neutronen und die geladenen Protonen. Ein Element wird durch die Anzahl der Protonen im Atomkern eindeutig festgelegt (Ordnungszahl), die Anzahl der Neutronen kann sich je nach Isotop unterscheiden. Als Klebemittel im Atomkern dient die **starke Kernkraft**, die verhindern soll, dass der Atomkern aufgrund der Abstoßung der Protonen auseinander bricht.

Sehr schwere Elemente (große Anzahl an Protonen) und einige leichtere Isotope sind radioaktiv, bei den zugehörigen Kernumwandlungen spielt die **schwache Kernkraft** eine Rolle. **Radioaktive Strahlung** wird in Alpha Strahlung (Helium Kerne, sehr leichte Abschirmung, aber größte Schädlichkeit. Die Schädlichkeit von Strahlung wird in Sievert angegeben. Bei gleicher Energiemenge hat Alpha Strahlung ungefähr die zehnfache Wirkung von Gamma Strahlung), Beta Strahlung (Elektronen beziehungsweise ihre Antiteilchen, die Positronen) und Gamma Strahlung (hochenergetische elektromagnetische Strahlung, die sich nur schwer abschirmen lässt) eingeteilt. Die Anzahl an radioaktiven Zerfällen eines Stoffes pro Sekunde wird in Becquerel ausgedrückt und als **Aktivität** bezeichnet. Die Schädlichkeit radioaktiver Strahlung folgt aus ihrer **ionisierenden** Wirkung, bei der **Absorption** im menschlichen Körper werden neben der lokalen Erhitzung auch Molekülbindungen zerstört, woraus Gewebeschäden (und in weiterer Folge zum Beispiel Krebserkrankungen) folgen können. Die **kosmische Strahlung** wird durch unsere Atmosphäre fast vollständig abgeschirmt, in großen Höhen oder als Astronaut ist man ihr stärker ausgesetzt. Medizinische Untersuchungen wie Röntgen tragen wesentlich zur Strahlenbelastung, der wir ausgesetzt sind, bei.

Die stärkste Bindungsenergie im Atomkern gibt es bei Eisen, einem mittelschweren Element. Bei leichteren Elementen kann aus **Kernfusion** Energie gewonnen werden, bei schwereren aus **Kernspaltung**. Derzeit kann nur letztere zur Energiegewinnung in Kraftwerken eingesetzt werden, erstere findet vor allem im Inneren der Sonne statt. In der Sonne verschmelzen vier Wasserstoffkerne (Protonen) zu einem Heliumkern, dabei müssen sich zwei Protonen in ein Neutron umwandeln. Fusionskraftwerke laufen auf der Erde nur im Testbetrieb und es ist mit ihnen noch nicht möglich, auf Dauer mehr Energie durch die Fusion zu gewinnen als für den Betrieb des Reaktors aufgewendet werden muss. Dies wird sich wohl auf absehbare Zeit

(zumindest bis zur Mitte des Jahrhunderts) auch nicht ändern, weswegen andere Strategien zur Abschwächung des Menschen gemachten Klimawandels notwendig sind. Bei der Kernspaltung wird ein Atomkern durch ein eingefangenes Neutron in einen angeregten Zustand versetzt, wodurch er in leichtere Spaltprodukte und mehrere Neutronen zerfällt. Die freigesetzten Neutronen können wiederum andere Kerne spalten, wodurch eine Kettenreaktion in Gang gesetzt werden. In einem Kernreaktor wird versucht, eine konstante Rate an Kernspaltungen aufrecht zu erhalten, bei einer explodierenden Kernwaffe ergibt sich in Sekundenbruchteilen ein exponentieller Prozess, der lokal Temperaturen erzeugt, wie sie sonst nur im Sterninneren erreicht werden.



Laut  $E = mc^2$  wird am meisten Energie frei, wenn sich ein Teilchen mit seinem Antiteilchen direkt in Energie umwandelt. Da es auf der Erde (und in unserem Sonnensystem wohl auch nicht) aber keine natürlichen Antimaterievorkommen gibt, ist Energiegewinnung auf diese Art nicht möglich, ausgenommen Science-Fiction. Die auf der Erde in Teilchenbeschleunigern herstellbare Menge an Antimaterie ist winzig klein und weder für Energieversorgung noch den Bau von Bomben verwendbar.



## 8 Beispielfragen

1. Wenn wir an einer Steckdose eine Beschriftung vorfinden von  $\sim 230\text{V}$  (Effektivwert der Versorgungsspannung), dann bedeutet dies?

- (1) Der Mittelwert der Spannung über eine Periodendauer ist  $230\text{ V}$ .
  - (2) Der Maximalwert der Spannung ist größer als  $230\text{ V}$ .
  - (3) Die Spannung wechselt periodisch zwischen  $-230\text{ V}$  und  $+230\text{ V}$ .
  - (4) Wenn ein Widerstand mit  $230\text{ Ohm}$  an die Steckdose angeschlossen wird, dann entnimmt er der Dose eine Leistung von  $1\text{ Watt}$ .
- A. 1 und 4 sind richtig  
B. Keines ist richtig  
C. 2 ist richtig  
D. 3 und 4 sind richtig  
E. 2 und 4 sind richtig

2. Welche Aussage stimmt über Kräfte?

- A. Kräfte und Geschwindigkeiten sind in indirekt proportionalem Verhältnis zueinander.  
B. Kräfte und Geschwindigkeiten sind in direkt proportionalem Verhältnis zueinander.  
C. Ein Körper, auf den keine Kraft wirkt, der ist immer in Ruhe.  
D. Kräfte treten zwischen zwei Körpern immer paarweise auf. Wenn z.B. ein Elefant eine Maus zu zerquetschen versucht, dann drückt die Maus gleich stark zurück.  
E. Wenn eine Kraft auf einen Körper wirkt, dann verändert sich immer die Geschwindigkeit des Körpers.

3. Welche Aussagen über Energie sind richtig?

- (1) Energie kann in Joule, Kalorien oder Newtonsekunden angegeben werden.
  - (2) Aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik folgt, dass Energie (Wärme) von alleine zwar vernichtet, aber nicht erzeugt werden kann.
  - (3) Der Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen ist umso besser, je näher die beiden Arbeitstemperaturen einander sind.
  - (4) Im Gegensatz zur Entropie ist Energie (in abgeschlossenen Systemen) eine Erhaltungsgröße.
- A. 1, 2 und 3 sind richtig  
B. 2 und 4 sind richtig  
C. 4 ist richtig  
D. 1 und 3 sind richtig  
E. Alle sind richtig

4. Die Dichte eines Körpers ist definiert als?

- A. Masse pro Volumen
- B. Gewicht pro Volumen
- C. Volumen pro Masse
- D. Gewicht pro Masse
- E. Masse pro Gewicht

5. Wenn 2 Ladungen  $Q_1$  und  $Q_2$  sich in einem Abstand  $R$  voneinander befinden gelten folgende Aussagen

- (1) Bei Halbierung des Abstands halbieren sich auch die Kräfte auf die Ladungen.
- (2) Die Kraftwirkungen sind proportional zu  $Q_1$ .
- (3) Die Kraftwirkungen sind indirekt proportional zu  $Q_2$ .
- (4) Bei gleichem Vorzeichen von  $Q_1$  und  $Q_2$  stoßen sich die beiden Ladungen ab.
- (5) Wenn sich der Abstand  $R$  verdoppelt dann sinken die Kräfte zwischen den Ladungen auf ein Viertel.

- A. 1, und 3 sind richtig
- B. 2 und 4 sind richtig
- C. 4 ist richtig
- D. 2, 4 und 5 sind richtig
- E. Alle sind richtig

6. Was verstehen wir unter der Anomalie des Wassers?

- A. Wasser kommt nur sehr selten in linksdrehenden, sondern zumeist in rechtsdrehenden Quellen vor.
- B. Wasser ist mit anderen Flüssigkeiten wie Benzin und Ethanol kaum mischbar.
- C. Wasser kann im Gegensatz zu anderen Flüssigkeiten Strom leiten.
- D. Die Dichte von flüssigem Wasser ist bei 0 Grad Celsius geringer als bei ein paar Grad Celsius höheren Temperaturen.
- E. Im Gegensatz zu den anderen Planetenoberflächen ist die Erdoberfläche vor allem mit Wasser bedeckt.

7. Optisch dichtere Stoffe

- (1) absorbieren Licht stärker als optisch dünnere Stoffe.
- (2) haben einen größeren Brechungsindex als optisch dünnere Stoffe.

- (3) haben eine größere Lichtausbreitungsgeschwindigkeit als optisch dünnere Stoffe.
- (4) können beim Eintritt von Licht aus angrenzenden optisch dünneren Stoffen keine Totalreflexion bewirken.
- (5) haben ein höheres Gewicht als optisch dünnere Stoffe.

- A. 2 und 4 sind richtig
- B. 1, 4 und 5 sind richtig
- C. 2 und 3 sind richtig
- D. 3 ist richtig
- E. Alle sind richtig

8. Bei einer mechanischen gedämpften (proportional zur Geschwindigkeit wirkenden Reibungskraft) Schwingung nimmt die Amplitude

- A. ab, weil die Frequenz zunimmt.
- B. zu, weil durch die Dämpfung freie Energie entsteht.
- C. exponentiell mit der Zeit ab.
- D. linear mit der Zeit ab.
- E. ab, bis die Phasenverschiebung in Resonanz ist.

9. Für elektromagnetische Wellen gilt:

- (1) Sichtbares Licht ist kurzwelliger als Röntgenstrahlung.
- (2) Elektromagnetische Strahlung kann auch als Protonenstrom gesehen werden (Dualismus).
- (3) Ultraschall ist Teil des elektromagnetischen Spektrums.
- (4) Infrarot ist Teil des elektromagnetischen Spektrums.
- (5) In der Umgebung von kugelförmigen Quellen nimmt die Strahlungsintensität indirekt proportional zum Abstand ab.

- A. 1, 4 und 5 sind richtig
- B. Alle sind richtig
- C. 1 und 3 sind richtig
- D. 2 und 4 sind richtig
- E. 4 ist richtig

## 9 Stichwortliste

Zuletzt folgt noch die offizielle  
Stichwortliste für den Aufnahmetest 2023.

### Größen und Einheiten

Grundgrößen  
Abgeleitete Größen  
Einheiten

### Mechanik

Grundgrößen der Mechanik  
Grundgesetze der Mechanik  
Erhaltungssätze der Mechanik  
Translation, Rotation  
Arbeit, Energie, Impuls, Leistung  
Gravitation  
Reibung  
Dichte  
Auftrieb  
Gesetz von Bernoulli

### Schwingungen und Wellen

Pendel  
Harmonische Schwingungen  
Gedämpfte Schwingungen  
Elementarwellen  
Harmonische Wellen  
Überlagerung von Wellen  
Polarisation

### Wärmelehre

Temperatur  
Innere Energie  
Aggregatzustände der Materie  
Osmotischer Druck  
Arbeit und Wärme  
Hauptsätze der Wärmelehre  
Gasgesetz  
Zustandsgleichung  
Wärmekraftmaschinen  
Anomalie des Wassers

### Elektrizitätslehre

Elektrische Ladungen  
Elektrisches Feld  
Elektrische Spannung  
Stromstärke  
Elektrischer Leiter  
Ohmscher Widerstand  
Ohmsches Gesetz  
Kirchhoffsche Gesetze  
Elektrische Leistung und Arbeit  
Magnetfeld

Wechselstrom  
Effektivwert  
Amplitude  
Frequenz

Elektromagnetische Wellen  
Frequenzspektrum  
Wellenlängen  
Ausbreitungsgeschwindigkeit

### Optik

Geometrische Optik  
Wellenoptik  
Welle-Teilchen Dualismus  
Absorption  
Optische Geräte  
Optik des Auges

### Atomphysik

Atomaufbau  
Atomkern  
Starke Wechselwirkung  
Schwache Wechselwirkung  
Elektronen-Orbitale  
Kernkräfte  
Kernspaltung  
Kernfusion  
Antiteilchen  
Radioaktive Stoffe  
Radioaktivität  
Aktivität  
Ionisierende Strahlung  
Absorption ionisierender Strahlung  
Kosmische Strahlung