

Glossar der Physik

(Gemäss Richtlinien der SMK 2012)

Aggregatzustände: Als Aggregatzustände bezeichnet man qualitativ unterschiedliche physikalische Zustände von Stoffen. Es gibt drei klassische Aggregatzustände wie folgt: **Fest**, **flüssig** und **gasförmig**. In einem Festkörper schwingen die Teilchen (Atome, Moleküle) um eine Gleichgewichtslage. In einer Flüssigkeit sind die Teilchen (Moleküle) nicht an einen Ort gebunden. Die Teilchen gleiten aneinander haftend. In Gasen legen die Teilchen relativ grosse geradlinige Wegstrecken zurück, bis sie auf ein anderes Gasteilchen oder die Gefässwände prallen. Dadurch entsteht der **Gasdruck**.

Abschwächung von Gammastrahlung: Treffen α - oder β -Strahlen mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf einen Körper, so haben sie eine von der Geschwindigkeit abhängige Eindringtiefe wo sie im Körper stecken bleiben. Im Gegensatz dazu wird ein Gammateilchen (Photon) mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit absorbiert wenn es ein Material durchdringt. Die Anzahl verbleibender Gammateilchen nimmt mit zunehmender Eindringtiefe exponentiell ab. Für eine Strahlung mit einer bestimmten Wellenlänge und für ein bestimmtes Absorptionsmaterial kann man eine so genannte Halbwertsdicke angeben. Eine Schicht Material mit dieser Halbwertsdicke wird die Intensität der Strahlung halbieren. Zwei Schichten mit Halbwertsdicke hintereinander werden $\frac{3}{4}$ der Strahlung absorbieren u.s.w.

Amperemeter und Voltmeter: Messgeräte für Stromstärke, resp. Spannung. Will man den Spannungsabfall über einem Widerstand messen, so muss das Voltmeter parallel (zum Widerstand) geschaltet werden. Der zu messende Strom muss durchs Amperemeter geleitet werden. Dieses muss dann in Serie geschaltet werden.

Aggregatzustandsänderung: Änderung des Aggregatzustands. Um eine Änderung des Aggregatzustands herbeizuführen, muss einem Körper Wärme zugeführt oder entzogen werden. Die involvierte Wärme wird als **latente Wärme** bezeichnet. Aggregatzustandsänderungen finden bei konstanter Temperatur statt. Diese Temperaturen werden als „Punkte“ bezeichnet, z.B. „Schmelzpunkt“ oder „Siedepunkt“.

Anomalie des Wassers: Zwischen 0°C und 4°C „schrumpft“ Wasser beim Erwärmen. Dies führt dazu, dass Wasser bei 4°C die grösste Dichte aufweist. Als weitere Anomalie gilt die Tatsache, Wasser sich beim Gefrieren ausdehnt. Beim Gefrieren einer Flüssigkeit ist normalerweise das Gegenteil der Fall.

Arbeit: In der einfachsten Definition ist die Arbeit gleich dem Produkt aus Kraft und Weg. Diese einfachste Definition ist dann anwendbar, wenn Kraft und Weg kollinear sind. Haben Kraft und Weg jedoch unterschiedliche Richtungen, so ist nur die Kraft-

komponente in Wegrichtung wirksam. Insbesondere verrichtet eine Kraft, die senkrecht zur Wegrichtung steht keine Arbeit. Dies ist z.B. bei der Zentripetalkraft der Fall, die den Körper beschleunigt, jedoch keine Beschleunigungsarbeit verrichtet.

Auftrieb: Der statische Auftrieb entsteht dadurch, dass bei einem Körper in einem Medium wie Wasser oder Luft der Druck auf die Oberseite kleiner als auf die Unterseite. Dies rührt davon her, dass auf die tiefer liegende Unterseite ein grösserer Schweredruck einwirkt als auf die höher liegende Oberseite.

Gemäss dem **Archimedischen Prinzip** ist die Auftriebskraft im Betrag gleich gross wie die Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit. Wenn V_F das Volumen der verdrängten Flüssigkeit der Dichte ρ_F bedeutet, erhält man für die Auftriebskraft F_A folgendes:

$$F_A = V_F \rho_F g$$

Bei schwimmenden prismatischen Körpern lässt sich die Auftriebskraft auch mit dem Schweredruck auf die Unterseite und die Grundfläche A berechnen wie folgt:

$$F_A = A \rho_F g h$$

Bei einem schwimmenden oder schwebenden Körper sind Auftriebskraft und Gewichtskraft (entgegengesetzt) gleich gross. Daraus ergibt sich folgende Aussage: Ein schwimmender oder schwebender Körper verdrängt so viele Kilogramm Flüssigkeit wie er selbst wiegt.

Bahngeschwindigkeit: Bei krummlinigen Bewegungen, insbesondere bei Kreisbewegungen kann man unterscheiden zwischen Bahngeschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit. Bei letzterer handelt es sich um die Geschwindigkeit mit der man im Kreis herum geht. Die Bahngeschwindigkeit ist das was ein Tachometer als Messgrösse anzeigen würde. Zwischen Bahngeschwindigkeit (v), Winkelgeschwindigkeit (ω) und Bahnradius (r) besteht folgender Zusammenhang: $v = \text{Umfang} / \text{Umlaufzeit} = 2\pi r / T = (2\pi / T) \cdot r = \omega \cdot r$.

Bahnradius: Bei Kreisbewegungen ist der Bahnradius gleich dem Kreisradius. Bei krummlinigen Bewegungen, z.B. auf einer Strassenkurve, entspricht der Bahnradius dem Krümmungsradius der Kurve.

Basisgrössen (Basiseinheiten): Sieben Messgrössen, mit denen man alle anderen Messgrössen „erfassen“ könnte. Z.B. kann man Geschwindigkeiten messen, wenn man die beiden Basisgrössen Länge und Zeit messen kann. Wenn man Einheiten durch Basiseinheiten darstellen soll, kann man das mit geeigneten physikalischen Formeln herausfinden, z.B. die Newton aus der Definition der Gewichtskraft. $F_G = m \cdot g$ ergibt $N = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$.

Batterie: Bei einer Batterie handelt es sich um eine Spannungsquelle in welcher chemische Energie in elektrische Energie verwandelt wird. Bei einem **Akkumulator** (Akku) ist dieser Prozess reversibel, d.h. er kann wieder aufgeladen werden. Die ursprünglichen energiereichen Stoffe werden aus den Reaktionsprodukten durch eine

Rückreaktion wieder zurück gewonnen. Dies wird bewirkt durch einen erzwungenen Stromfluss in Gegenrichtung zum Entladestrom.

Eine Batterie ist gekennzeichnet durch ihre **Leerlaufspannung**, ihren **inneren Widerstand** und **Entladekapazität** (oder einfach „Kapazität“). Sobald ein Strom fließt, bildet sich über dem inneren Widerstand (R_i) ein Spannungsabfall. Die Batterie kann dann nicht ihre „volle Spannung“ (Leerlaufspannung, U_0) auf einen äußeren Widerstand ausüben. Man spricht von der **Klemmenspannung** (U_K) entsprechend einem bestimmten Stromfluss, $U_K = U_0 - R_i \cdot I$. Eine „ideale Spannungsquelle“ ist eine Spannungsquelle ohne inneren Widerstand.

Die Entladekapazität gibt an, wie viel Ladung durch eine Batterie fließen kann, bis sie „erschöpft“ ist. Sie wird meist in Amperestunden (Ah) angegeben. ($1\text{Ah} = 3600\text{As} = 3600\text{C}$).

Beschleunigende Kraft: Kraft, die den Bewegungszustand eines Körpers verändert. Dabei gilt folgendes:

- Eine Kraft in Bewegungsrichtung macht die Bewegung schneller.
- Eine Kraft in Gegenrichtung zur Bewegung (Bremskraft) bremst die Bewegung.
- Eine Kraft senkrecht zur Bewegung (Zentripetalkraft) bewirkt eine Richtungsänderung, resp. Bahnkrümmung, ohne den Betrag der Geschwindigkeit zu verändern.

Beschleunigung: Veränderung der Geschwindigkeit dividiert durch die Zeit in welcher die Veränderung stattfand. Die Einheit ist m/s^2 . Für die Beschleunigung von der Anfangsgeschwindigkeit v_1 zur Endgeschwindigkeit v_2 in der Zeit von t_1 bis t_2 erhält man

$$\text{Beschleunigung} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Eine Beschleunigung, die nur den Betrag verändert wird als **lineare Beschleunigung** bezeichnet.

Beschleunigungsarbeit: Arbeit, die verrichtet, wenn man einen Körper beschleunigt. Dadurch erhöht man seine Bewegungsenergie. Die Bewegungsenergie E_{kin} eines Körpers berechnet sich aus seiner Masse m und seiner Geschwindigkeit v wie folgt:

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

Somit berechnet man die Beschleunigungsarbeit wie folgt:

$$\Delta W_{\text{beschl}} = \frac{1}{2} m [v_E^2 - v_i^2]$$

Beugung: Wird eine Welle an einem Hindernis mit Strukturen von der Größenordnung der Wellenlänge angelenkt, so ergeben sich charakteristische Interferenzmuster bei welchen die Welle in den Schattenraum des Hindernisses eindringt. Diesen Prozess bezeichnet man als Beugung. Eine CD ist für Licht ein so genanntes **Beu-**

Beugungsgitter. Weil Beugung stark wellenlängenabhängig ist, wird weisses Licht in seine Farben zerlegt, wenn es auf eine CD oder eine DVD fällt.

Bewegungsdiagramm: Graphische Darstellung einer Bewegung. Für Bewegungen mit konstanten Geschwindigkeiten sind Weg-Zeit-Diagramme sehr nützlich. In ihnen kann man die Geschwindigkeit als Steigung ablesen. Bei beschleunigten Bewegungen sind v-t-Diagramme sehr nützlich.

Bewegungsenergie (kinetische Energie): Um einen Körper zu beschleunigen, muss Beschleunigungsarbeit geleistet werden. Die Arbeit ist dann im Körper als Bewegungsenergie gespeichert. Siehe auch „Beschleunigungsarbeit“.

Bogenmass: Das natürliche Mass für Winkel. Bei der Winkelgeschwindigkeit wird der Drehwinkel im Bogenmass angegeben. Der gestreckte Winkel ist im Gradmass gleich 180° und im Bogenmass gleich π . Die Umrechnung erfolgt somit wie folgt: $\varphi = (\pi/180^\circ) \cdot \varphi^{[0]}$ oder $\varphi^{[0]} = (180^\circ/\pi) \cdot \varphi$. Eine volle Umdrehung entspricht im Bogenmass einem Drehwinkel von 2π . Daher ist z.B. bei einer Drehzahl von 500 U/min der Drehwinkel gleich 1000π für $\Delta t = 60 \text{ s}$.

Brechung: Wenn ein Lichtstrahl auf eine Grenzfläche zwischen zwei Ausbreitungsmedien trifft, kann er vom einen Medien ins andere gehen. Dabei wird der Lichtstrahl allerdings gebrochen, d.h. er ändert seine Richtung. Es gilt das Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$$

Für die Brechung gelten folgende Regeln: Beim Übergang von einem optisch

- dichteren in ein optisch dünneres Medium wird der Strahl zum Lot hin gebrochen.
- dünneren in ein optisch dichteres Medium wird der Strahl vom Lot weg gebrochen.

Wenn ein Strahlengang skizziert werden soll, müssen diese Regeln beachtet werden.

Brechzahlen: Brechzahlen eines Ausbreitungsmedien für Licht erhält man, indem man die Vakuumlichtgeschwindigkeit durch die Lichtgeschwindigkeit im betreffenden Medium dividiert.

$$n_M = \frac{c_0}{c_M}$$

Weil die Vakuumlichtgeschwindigkeit die grösstmögliche Geschwindigkeit ist, gilt $n \leq 1$. Es gilt $n_{\text{Vakuum}} = 1 \approx n_{\text{Luft}} < n_{\text{Wasser}} < n_{\text{Glas}} < n_{\text{Diamant}}$.

Brennwert (oder Heizwert): Energie (Wärme) pro Kilogramm Brennstoff, die beim Verbrennen an der Luft freigesetzt wird. Einheit J/kg.

Celsius-Temperaturskala: Im Alltag wird meistens die Celsius-Temperaturskala verwendet. Sie basiert auf den Eigenschaften von Wasser wie folgt:

- Wasser gefriert bei 0°C.
- Bei Normdruck (ungef. 1 bar) siedet Wasser bei 100°C

D'Alembert: Das Prinzip von d'Alembert besagt, dass Körper stets im Gleichgewicht sind, wenn man Trägheitskräfte berücksichtigt. Dieses Prinzip erlaubt Probleme der Dynamik auf die Bestimmung von Kräftegleichgewichten analog der Statik zurückzuführen. Bei einem Körper im freien Fall bildet sich z.B. eine Trägheitskraft $F_T = m \cdot a$ in Gegenrichtung zur Beschleunigung. Weil $a = g$ ist die Trägheitskraft gleich gross wie die Gewichtskraft, d.h. die es herrscht ein Kräftegleichgewicht.

Coulombsches Gesetz: Kraft zwischen zwei punktförmigen Ladungen Q_1 und Q_2 im Abstand r .

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}$$

Dabei ist ϵ_0 die elektrische Feldkonstante, $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C} / (\text{V} \cdot \text{m})$. Sind mehrere Ladungen im Raum verteilt, so kann man die Kräfte auf einzelne Ladungen ebenfalls mit dem Coulombschen Gesetz berechnet. Hierfür berechnet man Anziehungs- und Abstossungskräfte zwischen Paaren von Ladungen mit dem Coulombschen Gesetz und bildet von den berechneten Kräften Vektorsummen.

Dichte: Das Verhältnis von Masse und Volumen.

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}, \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Die Standard-SI Einheit heisst kg/m^3 . Die Dichte von Wasser ($\rho_w = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$) kommt häufig vor in Aufgabenstellungen mit Schweredruck und Auftrieb.

Druck: Verteilt sich eine Normalkraft F_N auf eine Fläche A , so erzeugt sie einen Druck p wie folgt:

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

Die Standard-SI Einheit für Druck ist **Pascal** [Pa]. Daneben wird noch häufig die viel grössere Einheit **bar** verwendet, wobei $1\text{bar} = 100'000\text{Pa}$. Der Schweredruck der Erdatmosphäre auf Meereshöhe ist ungefähr 1 bar.

Elektrische Feldstärke: Die elektrische Feldstärke ist gleich dem Quotienten aus der Kraft, die an einem Ort im Raum auf eine punkteförmige Probeladung wirkt und der Probeladung. Es stellt sich heraus, dass die elektrische Feldstärke unabhängig ist von der gewählten Probeladung. Bei der elektrischen Feldstärke handelt es sich um eine Vektorgrosse. Ihre Einheit ist Volt/Meter [V/m]. Sie gibt an wie stark das elektrische Feld am Ort der Probeladung ist.

Elektrostatische Kraft: Kraft, die ruhende Ladungen aufeinander ausüben.

Elektrische Feldlinien: Sie dienen zur graphischen Darstellung von elektrischen Feldern. Sie beginnen meist bei einer positiven Ladung und enden bei einer negativen Ladung. Dies ergibt sich aus der „Konstruktion“ von elektrischen Feldlinien. Man erhält eine elektrische Feldlinie, indem man stets der Richtung der Kraft auf eine positive Probeladung folgt. Die positive Probeladung möchte natürlich der Nachbarschaft von positiven Ladungen entfliehen und sucht stattdessen auf kürzestem Weg zu negativen Ladungen zu gelangen.

Elektrische Feldstärke: Wenn man die Kraft auf eine positive Probeladung durch die Probeladung dividiert, erhält man die elektrische Feldstärke (am Ort wo sich die Probeladung befindet). Die elektrische Feldstärke ist also eine Vektorgroße. Die Einheit von elektrischer Feldstärke ist N/C oder V/m. Die erste Variante ergibt sich aus der Definition der elektrischen Feldstärke.

Elektrische Ladung: Es gibt zwei Sorten von elektrischen Ladungen, positive und negative. Der Grund für diese Bezeichnung liegt in der Tatsache, dass gleiche Mengen positive und negative Ladung sich „neutralisieren“. Elementarteilchen sind die Bausteine der Materie. Sie können plus oder minus geladen sein. Es kann jedoch auch sein, dass sie „elektrisch“ neutral sind. Falls sie eine Elementarladung haben, so ist dies stets die Elementarladung (positiv oder negativ); $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Aus diesem Grund sind die Ladungen von Körpern stets ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung. Weil die Elementarladung sehr klein ist, spielt dies für makroskopische Körper keine Rolle. Für Atome und Moleküle ist dies jedoch wichtig.

Elektrische Leistung: Einem elektrischen Gerät wird eine elektrische Leistung zugeführt, die vom Gerät in eine Nutzleistung umgewandelt wird. Die zugeführte Leistung ergibt sich als Produkt von Spannung und Stromstärke.

$$\text{Leistung} = \text{Spannung} \cdot \text{Stromstärke}, P = U \cdot I$$

In einem ohmschen Widerstand wird die elektrische Leistung in eine Heizleistung verwandelt. Man kann die (verbrauchte) elektrische Leistung dann schreiben wie folgt: $P = U \cdot I = R \cdot I^2 = U/R^2$.

Elektrischer Strom: Durch elektrische Leiter Erster Art (vor allem Metalle) fließen Elektronen, die so genannten **Leitungselektronen**. Sie bilden eine Art Elektronengas, das zwischen den positiv geladenen Atomrümpfen strömt. In Elektrolyten (Flüssigkeiten mit gelösten Ionen) besorgen Ionen den Ladungstransport. Die negativ geladenen Anionen begeben sich zur positiv geladenen Anode und die positiv geladenen Kationen begeben sich zur negativ geladenen Kathode. Wenn die Ionen an „ihrem Ziel“ angekommen sind, verändern sie sich. Stromfluss in Elektrolyten ist daher stets begleitet von chemischen Reaktionen. Man spricht von **Elektrolyse**.

Elektromagnetische Wellen: Als elektromagnetische Wellen bezeichnet man Wellen bestehend aus gekoppelten elektrischen und magnetischen Feldern. Dazu gehören z.B. Radiowellen, Mikrowellen, Röntgenstrahlen und vor allem sichtbares Licht. Im Vakuum bewegen sich alle diese Wellen mit **Vakuumlichtgeschwindigkeit**. Die Vakuumlichtgeschwindigkeit ist die grösste Geschwindigkeit, mit der sich eine Wirkung ausbreiten kann. Beim sichtbaren Licht entsprechen verschiedene Wellenlängen verschiedenen Farben. Die Strahlung am langwelligen Ende des Spektrums des sichtbaren Bereichs des elektromagnetischen Spektrums ist das **Infrarot** und diejenige am kurzwelligen Ende ist das **Ultraviolett**. In der Luft breiten elektromagnetische Wellen sich geringfügig langsamer aus als im Vakuum. Wasser und Glas haben erheblich grössere **optische Dichten** als Luft. In diesen Medien breitet sich Licht merklich langsamer aus als im Vakuum. (Siehe dazu das Stichwort Brechzahlen).

Elementarladung: Kleinstmögliche Ladung e . $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Die Elementarladung wurde von **Mullikan** in seinem berühmten Versuch mit Öltröpfchen erstmals bestimmt.

Elementarmagnet: Kleinste Einheit eines **Permanentmagneten**. In unmagnetisiertem Eisen sind die Atome (Elementarmagneten) in den so genannten **Weisschen Bezirken** ausgerichtet. Bei der Magnetisierung werden diese Weisschen Bezirke in Richtung des äusseren Magnetfelds ausgerichtet. Die Elementarmagnete kann man sich als Kreisströme von Elektronen vorstellen, die Atomkerne umkreisen.

Elementarwelle: Welle, die von einem punktförmigen Erreger ausgeht. Bei der Beugung an einem Spalt entsteht hinter dem Spalt eine Elementarwelle. Bei der Beugung an einem Doppelspalt entstehen zwei Elementarwellen, die sich überlagern.

Energie: Das Vermögen Arbeit zu leisten.

Energieerhaltung: Nahezu jeder physikalische Effekt beinhaltet die teilweise oder vollständige Umwandlung von Formen von Energie. Die wichtigen mechanischen Energieformen sind wie folgt:

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

Bewegungsenergie: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2$

Federenergie: $E_{\text{Feder}} = \frac{1}{2} D x^2$

Gelangt in einem System keine Energie nach aussen und auch keine Energie von aussen ins System, so sprechen wir von einem **abgeschlossenen System** und es gilt folgendes:

Energie kann von einer Form in eine andere verwandelt werden, aber die Gesamtmenge an Energie bleibt unveränderlich.

Werfe ich z.B. einen Ball mit einer Abwurfgeschwindigkeit v_0 von 7 m/s vertikal nach oben, so bewegt er sich zwei Meter über der Abwurfstelle langsamer, weil er an Lageenergie gewonnen hat. Obiger Energiesatz besagt, dass er genau so viel Bewegungsenergie verloren hat, wie er an Lageenergie gewonnen hat. Bei Anwendungen des Energiesatzes werden zwei verschiedene Zeitpunkte miteinander verglichen. Man schaut dann wie viel von den verschiedenen Formen von Energie zu Beginn vorhanden waren. Zu einem späteren Zeitpunkt hat es dann von den verschiedenen Formen von Energie unterschiedlich viel. Formen von Energie bei welchen keine Änderung stattfindet werden in der Betrachtung ausgeblendet. Im obigen Beispiel haben wir zu Beginn Bewegungsenergie und die Lageenergie setzten wir an der Abwurfstelle (willkürlich) gleich null. Es gilt dann

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v^2 + mgh$$

Wenn wir uns für die Geschwindigkeit v zwei Meter über der Abwurfstelle interessieren, spielt es keine Rolle wie schwer der Ball ist, denn die Masse kürzt sich beim Auflösen nach v . Man erhält $v = \sqrt{v_0^2 - 2gh} = \sqrt{7^2 - 2 \cdot 10 \cdot 2} \text{ m/s} = 3 \text{ m/s}$.

Ist ein System offen, d.h. kann Energieaustausch mit der Umgebung stattfinden, so sprechen wir von einem **offenen System** und es gilt

Wird einem System Energie zugeführt oder wird an einem System Arbeit geleistet, so erhöht sich die innere Energie des Systems dementsprechend.

Als Beispiel nehmen wir eine 20 kg schwere, anfänglich ruhende Kiste. Eine seitliche Kraft von 40 N ist erforderlich, um die Gleitreibung zu überwinden, d.h. um die Kiste in Bewegung zu halten. Ich ziehe die Kiste mit einer seitlichen konstanten Kraft von 70 N über eine Distanz von 3 m über den Boden. Ich kann jetzt mit dem Energiesatz herausfinden, wie schnell sich die Kiste am Ende des Weges bewegt. An der Kiste wurde eine Arbeit von $F \cdot s = 70 \cdot 3 \text{ J} = 210 \text{ J}$ verrichtet. Diese Arbeit wurde verwendet, um Reibungs- und Beschleunigungsarbeit zu leisten wie folgt: $\Delta W = F \cdot s = 210 \text{ J} = F_R \cdot s + \frac{1}{2} m v^2 = 40 \cdot 3 \text{ J} + \frac{1}{2} m v^2 = 120 \text{ J} + \frac{1}{2} m v^2$. Aufgelöst nach v erhält man $v = \sqrt{2 \cdot 90 \text{ J/m}} = 3 \text{ m/s}$.

Wärme ist eine Form von Energie. Wenn Wärme von einem Körper übertragen wird, so geschieht dies gemäss Energiesatz, d.h. die Menge Wärme, die vom wärmeren Körper abgegeben wurde, ist gleich der Wärme, die der kältere Körper aufgenommen hat.

Ersatzwiderstand: Eine Schaltung von Widerständen kann im Allgemeinen durch einen Einzelwiderstand ersetzt werden, der sich in jeder Hinsicht gleich verhält wie die Schaltung. Es gibt zwei Grundschaltungen wie folgt:

Serienschaltung: Die Widerstände werden aneinander gehängt. Der Strom fließt durch alle Widerstände, d.h. alle Widerstände haben dieselbe Stromstärke. Die angelegte Spannung wird jedoch aufgeteilt in Teilspannungen über den Einzelwiderständen in der Schaltung (siehe „Spannungsteilung“). Den Ersatzwiderstand erhält man als Summe der Einzelwiderstände. $R_{\text{Serie}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.

Parallelschaltung: In einem Knoten teilt sich der Strom und die Teilströme fließen durch je einen der parallel geschalteten Widerstände. In einem zweiten Knoten

vereinigen sich die Ströme wider. Den Ersatzwiderstand einer Parallelschaltung erhält man als Kehrwert der Summe der Kehrwerte aller Einzelwiderstände der

Schaltung. $R_{\text{Parallel}} = [(1/R_1) + (1/R_2) + \dots + (1/R_n)]^{-1}$.

Grundsaltungen können in einem Schritt zu einem Ersatzwiderstand „reduziert“ werden. Bei komplizierteren Schaltungen geschieht dies über mehrere Stufen bei welchen jeweils in der Schaltung enthaltene Grundsaltungen durch Ersatzwiderstände ersetzt werden.

Wenn man sich überlegt welche Schaltungen man mit allen oder einigen von n gegebenen Widerständen herstellen kann, dann gilt folgendes:

- Von allen möglichen Schaltungen hat die Serienschaltung von allen n Widerständen den grössten Widerstand.
- Von allen möglichen Schaltungen hat die Parallelschaltung von allen n Widerständen den kleinsten Widerstand.
- Der Widerstand einer Serienschaltung ist grösser als der grösste Einzelwiderstand.
- Der Widerstand einer Parallelschaltung ist kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

Für den Ersatzwiderstand von n in Serie geschalteten gleichen Widerständen R gilt $R_{\text{Serie}} = n \cdot R$.

Für den Ersatzwiderstand von n parallel geschalteten gleichen Widerständen R gilt $R_{\text{Parallel}} = R/n$.

Federkraft: Kräfte können einen Körper beschleunigen und/oder verformen. Für nicht allzu grosse Verformungen ist die Verformung proportional zur Kraft. Es gilt Kraft = Federkonstante · Verformung, d.h. $F = D \cdot x$. In einer Verformten Feder ist Energie gespeichert (Federenergie) wie folgt: $E_{\text{Feder}} = \frac{1}{2} D x^2$.

Freier Fall: Gleichförmig beschleunigte Bewegung unter der Wirkung der Schwerkraft mit Anfangsgeschwindigkeit null. Der Luftwiderstand wird vernachlässigt. Körper im freien Fall werden mit g beschleunigt, unabhängig von ihrer Masse. Nach einer Fallzeit t ist die Geschwindigkeit dann $v = g \cdot t$ und die mittlere Geschwindigkeit ist wie folgt: $\bar{v} = \frac{1}{2} g \cdot t$. Daraus erhält man für den zurückgelegten Weg, resp. die Fallhöhe h folgendes: $h = \bar{v} \cdot t = \frac{1}{2} g t^2$.

Wird ein Körper nicht bloss fallen gelassen, sondern vertikal geworfen, so spricht man von einem vertikalen Wurf nach unten oder nach oben. Entsprechende Aufgabenstellungen kann man häufig mithilfe des Energiesatzes lösen.

Frequenz: Sinnvolle Grösse für Wellen, sowie zyklische Prozesse wie

Schwingungen und Kreisbewegungen. Definition: $\text{Frequenz} = \frac{\text{Anzahl Zyklen}}{\text{Zeit}}$

Die Einheit ist **Hertz**. Wenn bei Schwingungen die Anzahl Zyklen gleich 1 ist, dann ist die Zeit gleich der Periodendauer und wir erhalten

$$\text{Frequenz} = \frac{1}{\text{Periodendauer (in Sekunden)}}$$

Geschwindigkeit: Gibt an, wie schnell ein Körper seine Lage im Raum verändert.

Berechnung mit der Formel: $\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$, $v = \frac{s}{t}$

Standard-SI-Einheit: Meter/Sekunde. Häufig Angabe in km/h = 1000 m/(3600 s) = (1/3.6)m/s.

Gewichtskraft: Kraft mit der ein Körper von einem Himmelskörper (im Allgemeinen von der Erde) angezogen wird. Die Fallbeschleunigung ist ein Mass für die Stärke dieser Anziehung. Es gilt

$$\text{Gewichtskraft} = \text{Masse} \cdot \text{Fallbeschleunigung}$$

Gravitation: Zwei Körper mit Massen m_1 und m_2 im Abstand r ziehen sich mit einer Kraft F_G wie folgt an (Massenanziehung):

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

Dabei ist G die Gravitationskonstante ($G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$). Ein Satellit der Masse m wird durch die Erdanziehung auf einer Kreisbahn gehalten. Gravitation wirkt dann als Zentripetalkraft, d.h. $m v^2/r = G m \cdot m_E/r^2$. Seine Bahngeschwindigkeit v errechnet sich aus Kreisumfang und Umlaufzeit wie folgt: $v = 2\pi r/T$. Man erhält die „Satellitengleichung“ $r^3/T^2 = G m_E/(2\pi)^2$.

Halbwertszeit: Beim radioaktiven Zerfall eines instabilen Nuklids nimmt die Anzahl verbleibender Kerne exponentiell ab. Man kann eine Halbwertszeit definieren. Im Verlaufe einer Halbwertszeit zerfällt die Hälfte der Atomkerne. Es gilt

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

Dabei ist n die Anzahl Halbwertszeiten, d.h. $n = t/T_{1/2}$.

Anzahl Halbwertszeiten:	0	1	2	3	4	5	6	7
% Atomkerne verbleibend	100	50	25	12.5	6.25	3.125	1.56	0.78

Hauptsätze der Wärmelehre: Es gibt zwei Hauptsätze der Wärmelehre. Der erste Hauptsatz besagt, dass die innere Energie (U) eines Körpers dadurch zunimmt, dass an ihm Arbeit verrichtet wird (ΔW) oder dass ihm Wärme (ΔQ) zugeführt wird. Es gilt

1. Hauptsatz: $\Delta U = \Delta W + \Delta Q$ Die Energie in einem abgeschlossenen System ist konstant.

2. Hauptsatz: Thermische Energie (Wärme) lässt sich nur unvollständig in andere Arten von Energien umwandeln.

Beim 1. Hauptsatz handelt es sich um einen verallgemeinerten Energiesatz unter Einbezug von Wärme als eine Form von Energie.

Der 2. Hauptsatz wird oft folgendermassen formuliert: Es gibt keine **Wärmekraftmaschine**, die Wärme vollständig in mechanische Energie verwandeln kann.

Bei der Umwandlung von Wärme in mechanische Energie gibt es stets Abwärme. In der Praxis ist die häufig mehr als doppelt so gross wie die (mechanische) Nutzenergie. Wärme ist eine spezielle „niedere“ Form von Energie. Die „höheren“ Formen von Energie haben die Tendenz zu Wärme zu „degenerieren“.

Heizwert (oder Brennwert): Energie (Wärme) pro Kilogramm Brennstoff, die beim Verbrennen an der Luft freigesetzt wird. Einheit J/kg.

Hubarbeit: Hebt man einen Körper in einem Schwerfeld auf eine Höhe h , so wird eine Hubarbeit wie folgt verrichtet:

$$\text{Hubarbeit} = \text{Gewichtskraft} \cdot \text{Höhe}$$

Die Gewichtskraft erhalten wir als Produkt von Masse und Fallbeschleunigung. Wir können dann schreiben

$$\Delta W_{\text{Hub}} = m \cdot g \cdot h$$

Hufeisenmagnet: Permanentmagnet mit u-förmiger Gestalt.

Impuls: Der Impuls ist das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit.

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

Beim Impuls handelt es sich also um eine Vektorgrosse. Bewegen sich zwei Körper auf einer Geraden, so kann die Richtung ihrer Bewegung mithilfe von Vorzeichen gekennzeichnet werden. Wenn z.B. ein 500g schwerer Ball mit einer Geschwindigkeit von 6 m/s auf den Boden prallt und mit einer Geschwindigkeit von 4 m/s wieder hochsteigt, so ist die Impulsänderung nicht $\Delta p = 0.5 \text{ kg} \cdot [6 \text{ m/s} - 4 \text{ m/s}] = 1 \text{ N} \cdot \text{s}$, sondern $\Delta p = 0.5 \text{ kg} \cdot [6 \text{ m/s} - (-4 \text{ m/s})] = 5 \text{ N} \cdot \text{s}$.

Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so wird sein Impuls verändert. Wenn zwei Körper aufeinander eine Kraft ausüben, so handelt es sich um Kraft und Gegenkraft und die Impulsänderungen der Körper sind ebenfalls entgegengesetzt gleich gross. Dies führt dazu, dass, wenn zwei Körper aufeinander prallen, (Stossprozesse), der Gesamtimpuls konstant bleibt. Der gesamte Impuls beider Körper (als Vektorsumme bestimmt) wird also beim Stoss bloss neu unter die Körper verteilt. Dabei braucht die gesamte Bewegungsenergie nicht konstant zu sein. Stossprozesse, bei welchen die Bewegungsenergie nach dem Stoss gleich gross ist wie vor dem Stoss werden als **vollkommen elastisch** bezeichnet.

Interferenz: Wenn zwei Wellen sich im gleichen Medium ausbreiten, überlagern sie sich. Dort wo sie sich überlagern ergibt sich ein Interferenzmuster. Wenn die Wellen sich wieder trennen, so erscheint wieder die ursprüngliche Form der Welle. Dies kann man z.B. beobachten, wenn man gleichzeitig zwei Steine in einen Teich wirft.

Dort wo sich die Wellen überlagern, beobachtet man ein Interferenzmuster. Dort wo sie sich jedoch wieder „getrennt“ haben, erscheinen die ursprünglichen Kreiswellen..

Bei der Interferenz unterscheidet man zwei Grenzfälle wie folgt:

- **Konstruktive Interferenz** wird beobachtet, wenn zwei Wellen gleicher Wellenlänge sich gegenseitig verstärken.
- **Destruktive Interferenz** wird beobachtet, wenn zwei phasenverschobene Wellen gleicher Wellenlänge sich gegenseitig abschwächen. Bei geeigneten Bedingungen, können sie sich gegenseitig auslöschen.

Als praktisches Beispiel einer Interferenz taugt eine Stimmgabel. Die zwei Zacken schwingen im Gleichtakt. Man kann die von ihr emittierte Welle als eine Überlagerung zweier **Elementarwellen** betrachten, die sich überlagern. Tatsächlich variiert die Lautstärke, wenn man eine schwingende Stimmgabel dreht. Dies kommt davon, dass die Überlagerung je nach Ausrichtung mehr oder weniger konstruktiv ist.

Kalorimetrie: Austausch von Wärme zwischen Körpern. Dabei ist die von warmen Körpern abgegebene Wärme gleich gross ist wie die von den kalten Körpern aufgenommene Wärme. Dies ist eine Konsequenz der Tatsache, dass Wärme eine Form von Energie ist, sowie vom Prinzip der Energieerhaltung in einem abgeschlossenen System. Die Temperatur, die sich im Gleichgewicht einstellt, wird als **Mischtemperatur** bezeichnet. Es ist zu beachten, dass wenn z.B. Eis schmilzt, dass dann das gebildete Schmelzwasser eine Temperatur von 0°C aufweist. Beim Erwärmen auf eine höher liegende Mischtemperatur nimmt das Schmelzwasser Wärme auf. Ähnliche Überlegungen gelten beim Kondensieren von Dampf.

Kelvin-Temperatur: Die SI-Temperaturskala. Die im Alltag meist verwendete Celsius-Skala ist gegenüber der Kelvin-Skala um 273 Einheiten verschoben. Von den Temperaturen in Kelvin muss 273°C subtrahiert werden, um in die Celsius-Skala umzurechnen. Umgekehrt muss zur Celsius-Temperatur 273K addiert werden, um auf die Kelvin-Skala umzurechnen. Weil die Skalen lediglich gegeneinander verschoben sind, sind Temperaturdifferenzen, resp. Temperaturänderungen in beiden Skalen zahlenmässig gleich.

Keplersche Gesetze: Es gibt drei Keplersche Gesetze wie folgt:

- 1. Keplersches Gesetz:** Planeten bewegen sich auf ellipsenförmigen Bahnen. In einem der beiden Brennpunkte der Ellipse befindet sich die Sonne.
- 2. Keplersches Gesetz:** Der *Fahrstrahl*, d.h. die Verbindungslinie zwischen der Sonne und dem Planeten überstreicht in gleichen Zeitabständen gleiche Flächen. Dies bedeutet, dass der Planet bei Sonnennähe (**Perihel**) eine höhere Bahngeschwindigkeit hat als bei Sonnenferne (**Aphel**).
- 3. Keplersches Gesetz:** Für die Umlaufzeiten von zwei Trabanten desselben Zentralkörpers gilt $r_1^3/T_1^2 = r_2^3/T_2^2$. Planeten mit grossen Bahnradien haben also grosse Umlaufzeiten.

Kinetische Energie: Eine andere Bezeichnung für Bewegungsenergie.

Kreisbewegung: Bewegung auf einer Kreisbahn. Bei einer gleichförmigen Kreisbewegung sind Winkel- und Bahngeschwindigkeit konstant.

Längenausdehnungskoeffizient: Materialkonstante, die besagt, wie sich ein Festkörper der Länge L_0 beim Erwärmen ausdehnt. Es gilt $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$. Dabei ist α der Längenausdehnungskoeffizient mit der Einheit K^{-1} . Längen-, Flächen- und Volumenausdehnung sind miteinander verknüpft. Wenn z.B. ein Würfel mit Kantenlänge 1000mm so erwärmt wird, dass sich die Kantenlänge auf 1001mm vergrößert, dann nimmt eine Seitenfläche von $1'000'000\text{mm}^2$ auf $1'002'001\text{mm}^2$ zu. Das Volumen wird von $1'000'000'000\text{mm}^3$ auf $1'003'003'001\text{mm}^3$ vergrößert. Man erkennt, dass eine Vergrößerung von einem Längenmass um 1‰ eine Vergrößerung von Flächenmassen um 2‰ bewirkt. Beim Volumen erhält man eine Zunahme um 3‰. Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen Längen-, Flächen- und Volumenausdehnungskoeffizient: $\beta = 2\alpha$ und $\gamma = 3\alpha$. Dabei ist β der Flächenausdehnungskoeffizient und γ ist der Volumenausdehnungskoeffizient. Bei Flüssigkeiten macht eigentlich nur der Volumenausdehnungskoeffizient Sinn.

Latente Wärme: Wird einem Körper Wärme zugeführt, so steigt im Normalfall seine Temperatur. Wird einem Körper umgekehrt Wärme entzogen, so sinkt im Allgemeinen seine Temperatur. Wärme, die einem Körper zugeführt oder entzogen werden muss, um eine Aggregatzustandsänderung herbeizuführen wird als latente Wärme bezeichnet.

Um einen Körper zu schmelzen, muss ihm **Schmelzwärme** zugeführt werden.

Um einen Körper zu verdampfen, muss ihm **Verdampfungswärme** zugeführt werden.

Leistung: Quotient aus Arbeit und Zeit. Die Einheit ist Watt. (Eine technische Einheit für Leistung ist „Pferdestärke“; 1PS = 736W).

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

Licht: Darunter versteht man gewöhnlich elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Bereich, d.h. Strahlung, die von Sinneszellen in der Netzhaut wahrgenommen werden kann.

Lorentzkraft: Bewegte Ladungen, d.h. elektrische Ströme erzeugen ein magnetisches Feld. Umgekehrt wirkt auf Ladungen, die sich in einem magnetischen Feld bewegen, eine Kraft, die man als Lorentzkraft bezeichnet. Wenn durch einen Draht in einem magnetischen Feld Elektronen fließen, so wirkt eine Lorentzkraft auf diese Ladungen, nicht jedoch auf die positiv geladenen Atomrümpfe zwischen denen sich die Elektronen bewegen. Die auf die Elektronen wirkende Lorentzkraft wird auf den

Draht übertragen. Elektrische Motoren funktionieren nicht aufgrund von elektrostatischen Kräften, sondern mithilfe von Lorentzkräften auf stromdurchflossene Spulen. Für die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter gilt eine **Rechte-Hand-Regel** bei welcher der Daumen der rechten Hand in Richtung des Stromflusses zeigt. Zeig- und Mittelfinger zeigen in Richtung des Magnetfelds, resp. der Lorentzkraft.

Magnetische Feldlinien: Sie dienen zur graphischen Darstellung magnetischer Felder. Man bewegt sich auf einer magnetischen Feldlinie, wenn man der Richtung einer Magnetonadel (nach Norden) folgt. Magnetische Feldlinien sind normalerweise geschlossen. Z.B. die Feldlinien des Magnetfelds, das einen stromdurchflossenen Draht umgibt sind kreisförmig.

Magnetisches Feld eines stromdurchflossenen Leiters: Fließt durch einen Draht ein Strom, so ist der Draht von einem „zylinderförmigen“ Magnetfeld umgeben. Die Feldlinien, die das Magnetfeld darstellen, sind kreisförmig, mit einem Umlaufsinn, der einer so genannten „**Rechte-Hand-Regel**“ folgt. Zeigt der Daumen der rechten Hand in die Richtung, in welche der Strom fließt, so kennzeichnet die Krümmung der Finger (der rechten Hand) den Umlaufsinn des Magnetfelds. Bei einem Kreisstrom, resp. bei einer Spule zeigt das Magnetfeld im Innern gegen den Betrachter, wenn der Strom im Gegenuhrzeigersinn fließt. Für das Magnetfeld ausserhalb des Kreisstroms gilt das Gegenteil.

Mittlere Geschwindigkeit: Bei variabler Geschwindigkeit, die konstante Geschwindigkeit, mit der man fahren müsste, um die Strecke in der angegebenen Zeit zurückzulegen. Man dividiert einfach die Gesamtstrecke durch die benötigte Zeit. Man würde die gleiche Strecke zurücklegen, wenn man stets mit \bar{v} fahren würde. Berechnung mit der Formel:

$$\text{Mittlere Geschwindigkeit} = \frac{\text{Gesamtstrecke}}{\text{Gesamtzeit}}$$

Bei gleichförmiger Beschleunigung von der Anfangsgeschwindigkeit v_0 zur Endgeschwindigkeit v_E ist die mittlere Geschwindigkeit gleich dem arithmetischen Mittel von v_0 und $v_E \rightarrow \bar{v} = (v_0 + v_E)/2$.

Momentangeschwindigkeit: Bei Bewegungen mit variabler Geschwindigkeit ist die Momentangeschwindigkeit die Geschwindigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt, z.B. beim Aufprall eines Balls auf eine Wand.

Newtonsche Axiome: Axiome sind Aussagen, die man als richtig akzeptiert, ohne sie zu beweisen.

- 1. Axiom:** (Trägheitsprinzip). Wenn auf einen Körper keine Kraft wirkt, so verändert er seinen Bewegungszustand nicht. Er bewegt sich entweder geradlinig gleichförmig oder er verharrt in Ruhe.

2. **Axiom:** (Aktionsprinzip). Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so wird er in Richtung der Krafteinwirkung beschleunigt. Die Beschleunigung ist proportional zur Kraft.
3. **Axiom:** (Reaktionsprinzip) Kräfte treten immer paarweise auf. Zu jeder Kraft gibt es eine gleich grosse Gegenkraft.

Normbedingungen: Standardbedingungen gemäss Industrienormen. Die in der Chemie verwendeten Normalbedingungen unterscheiden sich von den Normbedingungen geringfügig. Die Normtemperatur liegt bei 0°C und der Normdruck bei 101 kPa.

Nukleonen: Teilchen im Kern (Protonen und Neutronen).

Nukleonenzahl: Die Anzahl Nukleonen in einem Kern. Sie dient der Kennzeichnung von Isotopen. Z.B. Unter C-14 versteht man das Isotop von Kohlenstoff mit 14 Nukleonen (6 Protonen und 8 Neutronen).

Ohmsches Gesetz: Der Stromfluss durch einen ohmschen Widerstand folgt dem Ohmschen Gesetz. Dieses besagt, dass die Stromstärke proportional zur angelegten Spannung ist.

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}, \quad I = \frac{U}{R}$$

Pascalsches Prinzip: Wenn die Erdanziehung nicht vorhanden ist, so herrscht überall in einer Flüssigkeit oder einem Gas derselbe Druck. In hydraulischen Systemen spielt der durch die Erdanziehung herbeigeführte Schweredruck keine Rolle. Dann gilt annähernd das Pascalsche Prinzip.

Periodendauer: Bei zyklischen Vorgängen ist die Periodendauer der regelmässige Zeitabstand zwischen aufeinander folgenden Perioden.

Permanentmagnet: Körper aus magnetisierbarem Material. In solchen Materialien sind die **Elementarmagnete** in **Weisschen Bezirken** ausgerichtet. Bei der Magnetisierung werden diese Weisschen Bezirke dann noch ausgerichtet.

Pole: (Magnetische Pole). Magnetische Feldlinien durchdringen einen magnetisierten Körper. Dort wo die Feldlinien den Körper verlassen, befindet sich der Nordpol. Dort wo sie in den Körper eintauchen, befindet sich der Südpol. Gleichnamige Pole stossen sich ab und ungleichnamige Pole ziehen sich an. Nord- und Südpol haben jedoch nichts mit „plus“ und „minus“ zu tun. Im Erdmagnetfeld zeigt eine Magnetnadel zum Nordpol. Weil sich ungleichnamige Pole anziehen, muss es sich beim Nordpol der Erde „physikalisch gesehen“ um einen Südpol handeln. Beim Südpol der Erde ist es umgekehrt.

Potentielle Energie: Eine andere Bezeichnung für Lageenergie.

Radioaktiver Zerfall: Instabile Atomkerne können durch radioaktiven Zerfall zu einer stabilen Konfiguration gelangen. Die bekanntesten Arten radioaktiven Zerfalls sind der α - und der β -Zerfall. Beim α -Zerfall emittiert der Atomkern einen He-4-Kern mit zwei Protonen und zwei Neutronen. Der Tochterkern hat dementsprechend zwei Protonen und vier Nukleonen weniger. Beim β -Zerfall zerfällt im Atomkern ein Neutron in ein Proton und ein Elektron. Dabei bleibt die Anzahl Nukleonen gleich, aber im Kern hat es ein Neutron weniger und dafür ein Proton mehr. Das Elektron, das aus dem Kern geschleudert wird, bezeichnet man als β -Teilchen, obwohl es sich um ein gewöhnliches Elektron handelt. Beim β -Zerfall entsteht ausserdem noch ein Antineutrino. Es ist sehr schwierig, dieses Teilchen nachzuweisen. Nach einem α - oder einem β -Zerfall hat der Tochterkern häufig noch überschüssige Energie, die er als Photon abgibt. Das emittierte Photon wird als γ -Teilchen bezeichnet und die Emission wird oft als „ γ -Zerfall“ bezeichnet, obwohl sich im Kern dabei nichts ändert, ausser dass er Energie abgibt.

Reflexion: Trifft eine Welle auf die Grenzfläche eines Ausbreitungsmedium, so kann sie reflektiert werden. Dabei gilt das Reflexionsgesetz wie folgt: Der Ausfallswinkel (auch Reflexionswinkel) ist gleich gross wie der Einfallswinkel, $\alpha' = \alpha$.

Reibungskraft: Man unterscheidet zwischen **Haft-** und **Gleitreibung**. Bei der Haftreibung geht es darum, welcher seitlichen Kraft ein Körper zu widerstehen vermag. Das entsprechende Gesetz hat dementsprechend die Form einer Ungleichung. $F_H \leq \mu_H F_N$. Dabei ist F_N die Anpresskraft, d.h. die Kraft mit welcher der Körper an die Fläche gepresst wird, auf der er gleiten kann. Im Fall der Gleitreibung geht es darum welche Kraft erforderlich ist, um beim Gleiten eines Körpers über eine Oberfläche die Bewegung mit gleichförmiger Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten. Das entsprechende Reibungsgesetz hat die Form $F_G = \mu_G F_N$. Bei den Grössen μ_H und μ_G handelt es sich um die Gleitreibungskoeffizienten, die abhängig sind von der Beschaffenheit der Oberflächen, die aufeinander gleiten.

Reibungsarbeit: Arbeit, die verrichtet wird, wenn auf einer Strecke s Reibung überwunden werden muss. Aus der Definition der Arbeit erhält man

$$\Delta W_R = F_R \cdot s = \mu_G F_N \cdot s$$

Dabei wurde das Gesetz für Gleitreibung verwendet.

Relativgeschwindigkeit: Die Relativgeschwindigkeit gibt an, wie sich der Abstand zwischen zwei Körpern pro Zeit verändert. Nützlich bei Problemen mit zwei Körpern auf einer geradlinigen Bahn, wenn sie sich kreuzen oder der schnellere den langsameren überholt. Beispiel: Wie schnell muss ein Fahrzeug fahren, damit es ein im Abstand von 42m vor ihm fahrendes Fahrzeug in 6s überholt, wenn dieses mit

einer Geschwindigkeit von 60 km/h fährt. Der Abstand zwischen den Fahrzeugen soll innerhalb von 6 s um 42 m abnehmen. Dies entspricht einer Relativgeschwindigkeit von 7 m/s oder 25.2 km/h. Das hintere Fahrzeug muss also mit 85 km/h fahren.

Schaltsymbole: Komponenten in einer Schaltung werden durch Schaltsymbole dargestellt. Wenn man eine Schaltung zeichnen soll, wird erwartet, dass die Komponenten der Schaltung mit korrekten Schaltsymbolen dargestellt werden. Es ist zu beachten, dass Knoten (Verzweigungen) mit einem Punkt gekennzeichnet werden.

Sicherung: Es gibt verschiedene Arten von einfachen Sicherungen. Ihnen ist gemein, dass die Stromstärke und damit auch die vom gesicherten Anschluss abgegebene elektrische Leistung begrenzt wird. Bei der **Schmelzsicherung** schmilzt ein kurzer dünner Silberdraht bei zu viel Strom, wodurch der Stromfluss unterbrochen wird. Bei der **Relaissicherung** wird ein Kippschalter durch magnetische Kräfte betätigt. Eine **FI-Sicherung** ist eine Relaissicherung bei welcher ein Mikroprozessor den zurück fließenden Strom mit dem weg fließenden Strom vergleicht. Bei zu grossen Abweichungen wird der Stromfluss unterbrochen.

Schmelzwärme: Wärme die einem Festkörper zugeführt werden muss, damit er schmilzt. Die Wärme, die erforderlich ist, um ein Kilogramm des Festkörpers zu schmelzen ist abhängig vom Material, d.h. es handelt sich um eine Materialkonstante. Man spricht von spezifischer Schmelzwärme mit der Einheit J/kg. Wenn die gebildete Flüssigkeit wieder erstarrt, wird die zugeführte Schmelzwärme als Erstarrungswärme wieder freigesetzt.

Schweredruck: Im Schwerfeld der Erde wird eine Flüssigkeit zu Boden gedrückt. Die Schwerkraft von höher gelegenen Schichten übt einen Druck aus. Der Schweredruck ist nur abhängig von der Schichtdicke h . Für eine Schicht der Dicke h eines Materials der Dichte ρ gilt

$$p_s = \rho g h$$

Die Wirkungen von übereinander liegenden Schichten addieren sich. Weil Gase komprimierbar sind, nimmt die Dichte der Erdatmosphäre nach oben ab, denn der Schweredruck wird nach oben kleiner. Weil in der Erdatmosphäre die Dichte abhängig ist von der Höhe, kann obige Formel nur für moderate Höhen h mit annähernd gleich bleibender Schichtdicke verwendet werden.

Skalar: Physikalische Grösse, die keine Richtung aufweist, z.B. Masse, Temperatur, Volumen.

Spannung (elektrische Spannung): Elektrische Spannung wird zwischen zwei Punkten A und B gemessen. Spannungen werden mit einem **Voltmeter** gemessen. Ein Voltmeter hat zwei Elektroden mit welchen man die Punkte berührt,

zwischen denen man die Spannung messen möchte. Man misst also eine Spannung U_{AB} . Spannung ist wie folgt definiert:

$$\text{Spannung} = \frac{\text{Arbeit beim Verschieben einer Ladung von A nach B}}{\text{Ladung}}$$

$$U_{AB} = \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta Q}$$

Die Einheit ist **Volt** [V]. Spannung hat ein Vorzeichen, das von manchen Voltmetern durch ein Vorzeichen gekennzeichnet wird. Die Richtung der Spannung entspricht der Richtung in welcher der durch die Spannung „angetriebene“ Strom fließen würde.

Spannungsteilung: Eine Spannung, die bei einer Serienschaltung von Widerständen angelegt wird, wird in Teilspannungen über den Einzelwiderständen der Schaltung aufgeteilt. Die Teilspannungen über den Einzelwiderständen sind proportional zu den Einzelwiderständen. Nehmen wir an, dass an eine Serienschaltung der drei Widerstände $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 15\ \Omega$ und $R_3 = 20\ \Omega$ eine Spannung von 54 V angelegt wird. Für die Teilspannungen U_1 , U_2 und U_3 über den Einzelwiderständen gilt dann $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3 = 10 : 15 : 20 = 2 : 3 : 4$. Die insgesamt neun Teile im Verhältnis entsprechen also der Gesamtspannung von 54 V. Ein Teil (von neun) entspricht somit 6 V. Man erhält für die Teilspannungen folgendes: $U_1 = 12\ \text{V}$ (2 Teile), $U_2 = 18\ \text{V}$ (3 Teile) und $U_3 = 24\ \text{V}$ (4 Teile). Die Teilspannungen können auch mit dem Ersatzwiderstand berechnet werden. Die Stromstärke ist wie folgt: $I = U / R_{\text{Ersatz}} = 54\ \text{V} / [(10 + 15 + 20)\ \text{V}] = 1.2\ \text{A}$. Dann mit dem Ohmschen Gesetz: $U_1 = R_1 \cdot I = 10 \cdot 1.2\ \text{V} = 12\ \text{V}$, $U_2 = R_2 \cdot I = 15 \cdot 1.2\ \text{V} = 18\ \text{V}$ und $U_3 = R_3 \cdot I = 20 \cdot 1.2\ \text{V} = 24\ \text{V}$. Man erhält also dasselbe wie mit den fortlaufenden Proportionen.

Spezifische Wärmekapazität: Es handelt sich um eine Materialkonstante. Sie gibt an, wie viel Wärme einem Körper pro Kilogramm Masse zugeführt werden muss, um seine Temperatur um 1K (resp. 1°C) zu erhöhen. Sie wird verwendet, um die beim Erwärmen oder Abkühlen eines Körper der Masse m aufgenommene, resp. abgegebene Wärme zu berechnen wie folgt: $\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$.

Spezifischer elektrischer Widerstand: Der spezifische elektrische Widerstand ist eine Materialkonstante. Sie gibt an, wie gut ein Material den elektrischen Strom leitet. Je kleiner der spezifische elektrische Widerstand eines Stoffes, desto besser leitet er den elektrischen Strom. Ein verwandter Begriff ist die **elektrische Leitfähigkeit**. Je kleiner der spezifische elektrische Widerstand, desto grösser ist die elektrische Leitfähigkeit. Bestimmte Stoffe, die man als **Supraleiter** bezeichnet, leiten bei tiefen Temperaturen Strom gänzlich ohne Widerstand. Der Widerstand fällt beim Unterschreiten einer für den jeweiligen Supraleiter spezifischen **Sprungtemperatur** auf null.

Stabmagnet: Permanentmagnet in der Form eines Stabs.

Standard-SI Einheiten: Die Standard-SI Einheiten (SSIE) stellen ein in sich abgeschlossenes System von Einheiten. Wenn bei einer Berechnung sämtliche Angaben in SSIE eingesetzt werden, so ist das Ergebnis in SSIE. Die SSIE haben im Allgemeinen keine Vorsätze. Die einzige Ausnahme ist das Kilogramm. In diesem System ist die Einheit für die Zeit *Sekunden*. Für die Temperatur wird die Kelvin-Temperatur (absolute Temperatur) verwendet.

Stromrichtung: In einer Schaltung mit einer Quelle für Gleichspannung fliesst der Strom von der Anode (langer Strich!) zur Kathode (kurzer Strich!). Der Strom fliesst in die Richtung, in welche positive Ladungsträger sich bewegen würden. Diese Richtung wird auch als „technische Stromrichtung“ bezeichnet. In Wirklichkeit fließen in einem Metalldraht Elektronen. Ihre Richtung ist entgegengesetzt der Richtung des Stroms. (Die Richtung in welche die Elektronen fließen wird als „physikalische Stromrichtung“ bezeichnet. Für uns ist nur die technische Stromrichtung wichtig).

Stromschlag: Fliesst elektrischer Strom durch den menschlichen Körper, so kann es zu Schädigungen kommen. Das Ausmass der Schädigung hängt ab von der Stromstärke und der Dauer der Einwirkung. Elektrische Spannung allein ist harmlos, so lange sie keinen Stromfluss durch den Körper bewirkt. Wenn ein Vogel also auf einer Hochspannungsleitung sitzt, erleidet er keinen Schaden, solange er nicht geerdet ist, d.h. solange kein Strom durch den Vogel fließen kann. Bei der Schädlichkeit von Strom ist zu beachten, dass der Unterschied zwischen der Wahrnehmungsschwelle ($\approx 1\text{mA}$) und der so genannten „Krampfschwelle“ ($\approx 5\text{mA}$) nicht sehr gross ist. Ist die Krampfschwelle erreicht, ist es, infolge von Muskelkrämpfen, nicht mehr möglich, den Leiter loszulassen.

Stromstärke: Die Stromstärke gibt an, wie viel Ladung pro Zeiteinheit durch einen Draht fliesst. Sie wird mit einem **Amperemeter** gemessen. Dieses muss in Serie geschaltet werden, d.h. der zu messende Strom muss durch das Messgerät geleitet werden. Wenn das Messgerät dem Stromfluss einen Widerstand entgegensetzt, so wird die Schaltung verändert, resp. der Messwert wird „verfälscht“. Ein ideales Amperemeter hat keinen inneren Widerstand. Beim Wechselstrom ändert der Strom fortwährend seine Richtung. Es wird dann eine effektive Stromstärke gemessen.

Stromverzweigung: In einer Parallelschaltung von Widerständen teilt sich der Strom auf. Dabei gilt folgende Regel:
Der Strom nimmt den Weg des geringsten Widerstands, d.h. durch den kleinsten Widerstand fliesst am meisten Strom.
Die Stromstärken sind umgekehrt proportional zu den Kehrwerten der Einzelwiderstände. Um die einzelnen Stromstärken zu berechnen ist es bei einer grösseren Anzahl parallel geschalteter Widerstände am besten, die angelegte Spannung zu berechnen. Dazu muss man eventuell den Ersatzwiderstand der Schaltung berechnen. Wenn man die Spannung U herausgefunden hat, kann man die Stromstärken mit

dem Ohmschen Gesetz ausrechnen wie folgt: $I_k = U/R_k$. Wenn man nur zwei parallel geschaltete Widerstände hat erhält man $I_1 : I_2 = (1/R_1) : (1/R_2) = R_2 : R_1$. Ein Strom von 1.5 A wird also von der Parallelschaltung zweier Widerstände $R_1 = 8\ \Omega$ und $R_2 = 12\ \Omega$ im Verhältnis $I_1 : I_2 = R_2 : R_1 = 12 : 8 = 3 : 2$ aufgeteilt. Man erhält $I_1 = 0.9\text{ A}$ und $I_2 = 0.6\text{ A}$.

Man hätte, wie gesagt, stattdessen mithilfe des Ersatzwiderstands $R_{\text{Ersatz}} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 8 \cdot 12\ \Omega / (8 + 12) = 4.8\ \Omega$ die angelegte Spannung berechnen können wie folgt: $U = R_{\text{Ersatz}} \cdot I = 4.8 \cdot 1.5\text{ V} = 7.2\text{ V}$. Dann die Stromstärken mit dem Ohmschen Gesetz $I_1 = U/R_1 = (7.2/8)\text{ A} = 0.9\text{ A}$ und $I_2 = U/R_2 = (7.2/12)\text{ A} = 0.6\text{ A}$.

Temperatur: Temperatur ist ein Mass für die Bewegungsenergie einzelner Teilchen (Atome, Moleküle) in einem Körper. Körper mit derselben Temperatur sind im thermischen Gleichgewicht. „Natürliche“ Wärmeübertragung erfolgt stets vom Körper höherer Temperatur zum Körper tieferer Temperatur. Beim Temperatenausgleich zwischen zwei Körpern liegt die Gleichgewichtstemperatur („Mischtemperatur“) stets zwischen den Anfangstemperaturen der beiden Körper.

Thermischer Gleichgewichtszustand: Wenn man einen Eisklotz in siedendes Wasser wirft, so findet ein Wärmeaustausch statt bis sich letztendlich ein thermischer Gleichgewichtszustand einstellt und sich die Temperatur der Körper nicht weiter ändert. Beim Übergang in den thermischen Gleichgewichtszustand können Körper ihren Aggregatzustand ändern.

Trägheit: In einem physikalischen Sinn bedeutet Trägheit, das Bestreben eines Systems im jeweils aktuellen Zustand zu verharren.

Trägheitskräfte: Wird ein Körper beschleunigt, so verspürt ein mitbewegter Beobachter eine Kraft (Trägheitskraft) in Gegenrichtung zur Beschleunigung.

v-t-Diagramm: Graphische Darstellung einer Bewegung. Dieses **Bewegungsdiagramm** ist sehr nützlich für Bewegungen mit variablen Geschwindigkeiten, resp. beschleunigten Bewegungen. Man kann in diesem Diagramm die Beschleunigung als Steigung und den zurückgelegten Weg als Fläche unter der Kurve „ablesen“.

Vektor: In der Physik ist ein „Vektor“ eine Grösse, die eine Richtung aufweist, im Gegensatz zu einem Skalar, der keine Richtung aufweist. Typische Vektorgrössen sind Kraft, Geschwindigkeit, Weg. Bei einigen Grössen ist es nicht so klar, ob es sich um Vektorgrössen handelt oder nicht, z.B. Druck und Zeit.

Verdampfungswärme: Wärme die einer Flüssigkeit zugeführt werden muss, damit sie verdampft. Die Wärme, die erforderlich ist, um ein Kilogramm dieser Flüssigkeit zu verdampfen ist abhängig vom Material, d.h. es handelt sich um eine Materialkonstante. Man spricht von spezifischer Verdampfungswärme mit der Einheit J/kg .

Wenn der Dampf wieder kondensiert wird die zugeführte Verdampfungswärme als Kondensationswärme wieder freigesetzt.

Verformungsarbeit: Bei der Verformung eines Körpers wird Arbeit geleistet. Ist die Verformung elastisch, so ist die an ihm verrichtete Arbeit danach als „**Federenergie**“ gespeichert. Siehe auch „Federkraft“.

Wärme: Energie, die in der Bewegungsenergie der Brownschen Bewegung (Molekularbewegung) der Teilchen in einem Körper steckt. Wenn man dem Körper Wärme entzieht, so bewegen sich die Teilchen langsamer. Weil die Teilchen irgendwann einmal still stehen, ergibt sich die Erkenntnis, dass es eine tiefste Temperatur geben muss (absoluter Nullpunkt).

Wärmeausdehnung: Wird ein Körper erwärmt, so dehnt er sich im Allgemeinen aus. Nur Wasser verhält sich in einem beschränkten Temperaturbereich wenige Grade über dem Gefrierpunkt anomal. Zwischen 0°C bis 4°C schrumpft das Wasser beim Erwärmen, anstatt sich auszudehnen. Man spricht von der „**Anomalie des Wassers**“. Wir unterscheiden Längenausdehnung und Wärmeausdehnung.

$$\text{Längenausdehnung:} \quad \Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

$$\text{Volumenausdehnung:} \quad \Delta V = V_0 \gamma \Delta T = V_0 3\alpha \Delta T$$

Der Längenausdehnungskoeffizient, α , und der Volumenausdehnungskoeffizient, γ , sind Materialkonstanten. Diese müssen in der Aufgabenstellung angegeben werden. Bei Festkörpern gibt man im Allgemeinen den Längenausdehnung α an. Für die Volumenausdehnung verwendet man dann $\gamma = 3\alpha$. Für Flüssigkeiten machen Längenausdehnungskoeffizienten keinen Sinn. Daher wird bei Flüssigkeiten üblicherweise der Volumenausdehnungskoeffizient angegeben.

Gase sind kompressibel. Ihr Volumen wird von Veränderungen des Drucks ebenso beeinflusst wie von Veränderungen der Temperatur. Das Verhalten von Gasen wird daher nicht mit obigen Gleichungen, sondern mit der Zustandsgleichung idealer Gase beschrieben, die auch den Druck enthält.

Wärmekapazität: Die Wärmekapazität eines Körpers gibt an, wie viel Wärme ihm zugeführt werden muss, um seine Temperatur um ein Grad Kelvin zu erhöhen. Besteht ein Körper aus einem Material mit spezifischer Wärmekapazität (Materialkonstante) c , so ist seine Wärmekapazität gleich dem Produkt aus Masse und spezifischer Wärmekapazität.

Wärmekraftmaschine: Maschine zur Gewinnung von mechanischer Energie aus Wärme (z.B. Dampfmaschine oder Explosionsmotor).

Wärmeübertragung: Wärme geht (von selbst) stets vom wärmeren auf den kälteren Körper über. Man unterscheidet drei Arten der Wärmeübertragung wie folgt:

- Wärmeleitung:** Wenn Teilchen (Atome und Moleküle) infolge der thermischen Bewegung (Brownsche Bewegung) miteinander kollidieren, so kann zwischen den Teilchen Bewegungsenergie ausgetauscht werden. Dadurch kann sich Wärme ausbreiten.
- Wärmestrahlung:** Atome und Moleküle mit viel Bewegungsenergie können Energie in der Form von elektromagnetischen Wellen abstrahlen. Typische Wärmestrahlung hat Wellenlängen im Bereich von Infrarotstrahlung. Diese wird daher oft als „Wärmestrahlung“ bezeichnet.
- Konvektion:** Durch Strömungen in Gasen und Flüssigkeiten wird Wärme transportiert. Bei der Konvektion handelt es sich also um Wärmetransport, der an Massentransport gekoppelt ist. Wichtige Strömungen, die Wärme transportieren sind Meeresströmungen (Golfstrom) und Thermik.

Wechselspannung: Bei Wechselspannungen wechselt die Spannung in regelmäßigen Zeitabständen die Richtung, resp. das Vorzeichen. Bei der Netzspannung handelt es sich im Allgemeinen um Wechselspannung. In der Schweiz ist der Effektivwert der Wechselspannung 230V und die Frequenz ist 50Hz, d.h. der Strom ändert seine Richtung hundert Mal in der Sekunde. Wechselspannung lässt sich leicht transformieren. Ausserdem kann man Wechselstrom mit bescheidenen technischen Mitteln (Gleichrichter) in Gleichstrom verwandeln, wohingegen das Umgekehrte einen grossen Aufwand erfordert. Für den Transport über grosse Strecken wird der Strom auf Hochspannung transformiert, um die Übertragungsverluste in Grenzen zu halten. Für die empfindlichen integrierten Schaltungen in Geräten mit Unterhaltungselektronik muss die Netzspannung auf wenige Volt hinunter transformiert werden.

Weissche Bezirke: Bereiche in magnetisierbarem Material, in welchen die Elementarmagnete in eine Richtung ausgerichtet sind.

Wellenarten: Damit eine Welle sich in einem Medium ausbreiten kann, muss es im betreffenden Medium Teilchen haben, die schwingen können. Schwingende Teilchen (Oszillatoren) bewegen sich auf einer Geraden. Wenn die Oszillatoren senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle schwingen, wird die Welle als **Transversalwelle** bezeichnet. Wenn die Oszillatoren parallel zur Ausbreitungsrichtung schwingen, wird die Welle als **Longitudinalwelle** bezeichnet. Wellen auf der Wasseroberfläche, wie sie z.B. am Meeresstrand beobachtet werden, erscheinen als Transversalwellen. Bei näherer Betrachtung stellt es sich jedoch heraus, dass Schwebeteilchen im Wasser sich im Kreis bewegen. Somit handelt es sich bei Oberflächenwellen weder um Transversalwellen noch Longitudinalwellen.

Wellenlänge: In einem Medium, in dem sich eine Welle ausbreitet, schwingen Teilchen mit der Periodendauer T . In Zeitabständen von einer Periodendauer sieht die

Welle jeweils gleich aus. Dies bedeutet, dass die Welle sich in dieser Zeit um genau eine Wellenlänge λ vorwärts bewegt hat. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit c gilt also $c = \lambda/T$ und weil $f = 1/T$ gilt folgender Zusammenhang: $c = \lambda \cdot f$.

Widerstand: Der Begriff „Widerstand“ hat zwei Bedeutungen wie folgt: Ein Widerstand ist ein Objekt, z.B. ein Heizdraht oder eine Glühbirne und der Widerstand „hat“ einen Widerstand, d.h. „Widerstand“ ist auch eine physikalische Messgrösse mit der Einheit **Ohm** [Ω]. Der Stromfluss durch einen ohmschen Widerstand ist proportional zur angelegten Spannung, entsprechend dem **Ohmschen Gesetz**: $R = U/I$.

Winkelgeschwindigkeit: Gibt an, wie schnell sich etwas dreht. Definition lautet wie folgt: Winkelgeschwindigkeit = $\frac{\text{Drehwinkel im Bogenmass}}{\text{Zeit}}$

Für eine volle Umdrehung ist der Drehwinkel im Bogenmass gleich 2π . Man kann dann rechnen Winkelgeschwindigkeit = $\frac{2\pi}{\text{Umlaufzeit in Sekunden}}$

Wirkungsgrad: Eine technische Vorrichtung, die „nützliche“ Arbeit verrichtet, funktioniert nur, wenn sie mit Energie versorgt wird. Dabei muss im Allgemeinen mehr Energie zugeführt werden, als an Nutzenergie herauskommt. Ist die Nutzenergie grösser als die zugeführte Energie, so spricht man von einem **perpetuum mobile**. Der Wirkungsgrad ist wie folgt definiert:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{zugeführte Energie}}$$

Zentrifugalkraft (oder Fliehkraft): Die von einem mitbewegten Beobachter wahrgenommene Trägheitskraft bei einer gleichförmigen Kreisbewegung. Es handelt sich um eine Scheinkraft.

„**Zeitlose Formel**“: Die meisten Formeln der Kinematik enthalten die Zeit. Daher ist es häufig von Interesse herauszufinden, wie lange ein Vorgang dauert, auch dann, wenn die Zeit eigentlich nicht gesucht ist. Andernfalls ist die „zeitlose Formel“ eventuell hilfreich. Für eine Beschleunigung von v_0 zu v_E auf einer Strecke s gilt $2as = v_E^2 - v_0^2$.

Zentripetalbeschleunigung: Beschleunigung, die bei einer Bewegung eine Bahnkrümmung, nicht jedoch eine Veränderung des Betrags der Bahngeschwindigkeit bewirkt. Bei konstanter Zentripetalbeschleunigung ist die Bahnkrümmung konstant, d.h. der Körper bewegt sich auf einer Kreisbahn. Die zugehörige Kraft wird als **Zentripetalkraft** bezeichnet. Sie ist auf das Zentrum der Kreisbahn gerichtet. Das gleiche gilt für die Zentripetalbeschleunigung.

Zentripetalkraft: Kraft, die eine Richtungsänderung, jedoch keine Veränderung des Betrags der Geschwindigkeit bewirkt. Die Zentripetalkraft ist keine eigenständige Kraft. Vielmehr tritt eine Kraft, die einen Körper auf einer Kreisbahn hält, als Zentripetalkraft in Erscheinung.