

Physikalische Größen

Das Einheitensystem SI

Das Internationale Einheitensystem SI legt für physikalische Größen verbindliche Einheiten fest. Im Einheitensystem SI gibt es 7 Basisgrößen. Basisgrößen sind Größen, die nicht auf andere Größen zurückgeführt werden können.

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit	Einheitszeichen
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Lichtstärke	I_v	Candela	cd
Stoffmenge	n	mol	mol

Mit nur 7 Basisgrößen lassen sich alle anderen Größen, die sog. abgeleiteten Größen, bilden.

Beispiel Fläche: $A = \text{Länge} * \text{Breite} = 3\text{m} * 4\text{m} = 12\text{m}^2$
Die abgeleitete Größe für die Fläche A ist also m^2 .

Schallgeschwindigkeit: 343 m/s bzw. 1235 km/h bei 20° Celsius

Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig von der Temperatur.

Lichtgeschwindigkeit: 300.000 km/s bzw. 1.000.000.000 km/h

Mechanik der festen Körper

Fläche (=A) und Umfang (=U)

Trapez:
$$A = \frac{(\text{Länge} 1 + \text{Länge} 2) * h}{2}$$

Kreis:
$$A = \frac{\text{Durchmesser}^2 * \pi}{4}$$

$$U = \pi * d = 2 \pi * r$$

Volumen (=V)

Zylinder:
$$V = \text{Fläche}_{\text{Kreis}} * \text{Höhe}$$

Kegel:
$$V = \text{Volumen}_{\text{Zylinder}} / 3$$

Kugel:
$$V = \frac{\text{Durchmesser}^3 * \pi}{6}$$

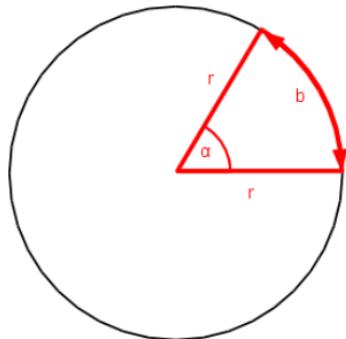
Winkel

Winkel werden angegeben in Grad ($^{\circ}$) und im Bogenmaß (rad).

Bogenmaß:

$$\text{rad} = \frac{\text{Länge des Kreisbogens } (b)}{\text{Radius } (r)}$$

$$360^{\circ}: \text{rad} = \frac{2 * \pi * r}{r} = 2\pi$$



Bewegungslehre (Kinematik)

Gradlinige Bewegungen = translatorische Bewegungen

Beim Auto wird Rotationsbewegung der Räder in translatorische Bewegung umgewandelt.

$$\text{Geschwindigkeit: } v = \frac{s}{t}$$

Gleichmäßige Beschleunigung

Beschleunigung = a

$$a = \frac{\text{Geschwindigkeitszunahme } \Delta v}{\text{Zeitabschnitt } \Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Beispiel: Ein Sportwagen beschleunigt aus dem Stand mit $a = \frac{6 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = \frac{6 \text{ m}}{\text{s}^2}$ konstant auf 100 km/h. Wie lange dauert die Beschleunigung?

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad v = \frac{s}{t}$$

$$t = \frac{\Delta v}{a} \rightarrow t = \frac{100 \text{ km/h}}{6 \text{ m/s}^2} \rightarrow t = \frac{100.000 \text{ m}/3600\text{s}}{6 \text{ m/s}^2} \rightarrow t = 4,6 \text{ s}$$

zurückgelegte Strecke bei bekannter Geschwindigkeit: $s = \frac{v*t}{2}$

zurückgelegte Strecke bei bekannter Beschleunigung: $s = \frac{1}{2}a * t^2$

erreichte Geschwindigkeit: $v = a * t$

Geschwindigkeit bei a im Verhältnis zu s $v = \sqrt{2as}$

Erdbeschleunigung g im freien Fall Mitteleuropa: an den Polen: am Äquator:	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ $g = 9,83 \text{ m/s}^2$ $g = 9,79 \text{ m/s}^2$
--	--

Gleichmäßige verzögerte Bewegung; Verzögerung

Die Verzögerung ist definiert als die negative Beschleunigung.

Verzögerung:

$$a_v = -a = -\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Bremszeit:

$$t_{Br} = \frac{v}{av}$$

Bremsweg:

$$S_{Br} = \frac{v^2}{2av}$$

Umrechnung km/h \leftrightarrow m/s

1 km/h = 0,2777777 m/s

1 m/s = 3,6 km/h

Gleichförmige Drehbewegung

Zur Beschreibung einer kreisförmigen Drehbewegung dient die Drehzahl n oder Drehfrequenz

n. Für eine Umdrehung wird die Umlaufzeit T benötigt.

$$n = \frac{1}{T}$$

Die Geschwindigkeit auf der Kreisbahn, die Umfangsgeschwindigkeit, ergibt sich aus der zurückgelegten Strecke auf dem Umfang und der dafür benötigten Zeit.

Während einer Umdrehung wird der Kreisumfang = $\pi * d = 2\pi * r$ durchlaufen.

$$v = \frac{2\pi * r}{T} = 2\pi * r * n$$

Ein Körper führt eine gleichförmige Drehbewegung aus, wenn er sich in der gleichen Zeit um den gleichen Drehwinkel dreht. Maßgeblich ist der Drehwinkel, nicht die auf dem Kreis zurückgelegte Strecke.

Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi * n$

Kräfte

Kräfte sind Ursache von Änderungen des Bewegungszustandes oder der Lage von Körpern sowie Änderungen seiner Form.

Die Einheit der Kraft F ist Newton (N).

Als Kraftmesser für kleine Kräfte verwendet man Federkraftmesser.

actio gleich reactio – Kraft und Gegenkraft

Übt ein Körper auf einen anderen eine Kraft aus, so wirkt ihm eine gleiche, entgegengesetzte gerichtete Kraft entgegen. Gegenkräfte werden i.d.R. nicht eingezeichnet.

Masseträgheit

Erste Newton'sche Trägheitsgesetz:

Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.

Beim Transport von Flüssigkeiten in Tanklastern kann es ohne technische Vorkehrungen zu starken Beeinträchtigungen des Fahrverhaltens kommen. Bremst ein Tanklaster mit halb vollem, nicht unterteiltem Tank stark ab, schwappt die Flüssigkeit nach vorn und schiebt den Tanklaster vorwärts. Dann schwappt sie zurück, bewirkt eine starke Verzögerung, schwappt wieder vor, etc. Daher wird der Tank beim Tanklaster in Kammern unterteilt und die Kammern nacheinander entleert, damit nur kleine Mengen Flüssigkeit in Bewegung geraten können (max. eine halbvolle Kammer).

Newton'sche Grundgesetz der Dynamik:

$$F = m * a$$

F = Masse (m) * Beschleunigung (a)

Die bei der beschleunigten Bewegung eines Körpers wirkende Kraft ist die Masse mal die Beschleunigung.

Diese Kraft wird Masseträgheitskraft genannt.

$$F = m * a = 1 \text{ kg} * \frac{1 \text{ m}}{\text{s}^2} = \frac{1 \text{ kg*m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

Ein Newton (1N) ist die Kraft F, die einem frei beweglichen Körper der Masse 1 KG die Beschleunigung 1m/s² verleiht.

$$\rightarrow \frac{1 \text{ kg*m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

Umrechnung in Formeln: $N = \frac{\text{kg*m}}{\text{s}^2}$

Da $1 \text{ N} = \frac{1 \text{ kg*m}}{\text{s}^2}$ bei allen Rechnungen mit Newton die Einheiten auf Meter, Sekunden und

Kilogramm bringen!!!!

Die Gewichtskraft F_G und die Normalkraft F_N

Gewichtskraft F_G

Auf jeden Körper wirkt die Erdbeschleunigung $g=9,81\text{m/s}^2$. Auf jedes Kilo Masse wirkt 9,81 N.

$$\rightarrow \text{Erdbeschleunigung} \quad 9,81 \text{ m/s}^2 \\ 9,81 \text{ N / KG}$$

Aufgrund der durch die Erdrotation hervorgerufenen Zentrifugalkraft ist die Erdbeschleunigung am Äquator und an hohen Punkten (zB. auf Bergen) geringer. Am Äquator und auf einem Berg wiegt man also weniger.

Normalkraft F_N

Die Normalkraft F_N ist die Kraft, die im rechten Winkel auf eine Unterlage einwirkt.

Unterschied Gewichtskraft <-> Normalkraft

Liegt ein Körper auf einer waagerechten Unterlage, sind Gewichts- und Normalkraft gleich.

Liegt ein Körper auf einer schrägen Unterlage, ist die Gewichtskraft größer.

Federkraft

Die Verlängerung Δs einer Feder ist proportional zur wirkenden Kraft .

Das Maß für die Steifigkeit der Feder ist die Federkonstante D (zB. $D = 380 \text{ N/m}$).

Daraus folgt das Hooke'sche Gesetz: $F = D * \Delta s$

Beispiel: Eine Feder mit der Federkonstanten $D = 380 \text{ N/m}$ wird mit einer Kraft von 7,6 N belastet. Um welche Strecke verlängert sich die Feder?

$$7,6 \text{ N} = \frac{380 \text{ N}}{\text{m}} * s \rightarrow 7,6 = \frac{380}{\text{m}} * s \rightarrow 7,6 \text{ m} = 380 \text{ s} \rightarrow s = 0,02 \text{ m}$$

Beim Federkraftmesser ist die Skala aufgrund des Hooke'schen Gesetzes linear.

Reibungskraft F_R

Die Reibungskraft F_R ist die Kraft, die benötigt wird, einen Gegenstand über eine Fläche zu ziehen.

Die Reibungskraft F_R steigt proportional zur Gewichtskraft F_G

Der Quotient aus F_R und F_G ist konstant → Gleitreibungszahl μ

$$\mu = F_R / F_G$$

\rightarrow je höher die Reibungszahl, desto mehr muss man ziehen

Beispiel: Welche Gleitreibungszahl hat ein Werkstoffpaar Holz/Holz, wenn zum Gleiten eines Holzklotzes mit $m = 80 \text{ KG}$ eine Kraft von 251 N erforderlich ist?

$$\mu = 251 \text{ N} / (80 \text{ KG} * 9,81 \text{ m/s}^2) = 0,32$$

Haftreibungskraft F_{R0}

Die oben beschriebenen Reibungskräfte wirken, wenn sich ein Körper gleichförmig gleitet. Damit sich ein Körper überhaupt in Bewegung setzt, kann eine höhere Kraft wirken. Die Kraft, die einen ruhenden Körper festhält, heißt Haftreibungskraft F_{R0} .

$$F_{R0} = \mu_0 * F_N \text{ (Normalkraft)}$$

Die Haftreibungszahl μ_0 ist immer größer als die Gleiteibungszahl μ .

Rollreibungskraft F_{RR}

Deutlich geringer sind die Reibungskräfte, wenn man Dinge aufeinander abrollen lässt. Beim Rollen muss die Rollreibungskraft F_{RR} überwunden werden.

$$F_{RR} = \mu_R * F_N \text{ (Normalkraft)}$$

Die Rollwiderstandsanzahl μ_R ist deutlich geringer als die Gleiteibungszahl μ .

Kräfte bei Drehbewegungen

Ein Körper, der sich mit konstanter Umfangsgeschwindigkeit im Kreis bewegt, wird von einer Kraft in der Bahn gehalten. Diese Kraft wirkt vom Körper zum Kreismittelpunkt und heißt Zentripetalkraft F_P .

Entgegen der Zentripetalkraft F_P wirkt die gleich große Zentrifugalkraft F_Z .

Die Zentripetalkraft F_P berechnet sich aus der Masse des Körpers und der zum Drehpunkt gerichteten Zentripetalbeschleunigung a_p .

$$\text{Grundgesetz der Dynamik } F_P = m * a_p$$

$$\text{Die Zentripetalbeschleunigung beträgt } a_p = v^2/r$$

Die Zentripetalkraft und die Zentrifugalkraft sind proportional zur Masse des Körpers, zum Radius der Kreisbahn um zum Quadrat der Drehzahl.

$$F_P = F_R = m * (2\pi * n)^2 * r$$

Stöße und Impuls

Man unterscheidet den **elastischen** und den **unelastischen Stoß**.

Beim elastischen Stoß bleibt die kinetische Energie vollständig erhalten, da keine kinetische Energie in innere Energie (zB. Wärme, Verformung) umgewandelt wird. Beispiel: Billiard.

Beim elastischen Stoß bleibt die gesamte Energie erhalten, es gilt also der Energieerhaltungssatz der Mechanik. Verantwortlich für den unelastischen Impuls ist das 3. Newton'sche Gesetz (actio gleich reactio).

Der Impuls P wird erhalten. Es gilt:

$$P = \text{Masse} * \text{Geschwindigkeit (in m/s)}$$

$$P_1 = P_2$$

Das heißt: Treffen 2 Körper mit gleicher Masse elastisch aufeinander und steht die eine, tauschen sie ihre Geschwindigkeiten, der auftreffende Körper bleibt stehen.

Trifft ein Körper auf einen Körper mit doppelter Masse im Stand, bewegt sich der schwerer Körper mit halber Geschwindigkeit weiter.

Sonderfall: Trifft ein Körper elastisch auf einen deutlich (!) schwereren, wird der Stoß reflektiert, der aufprallende Körper behält seine kinetische Energie bei und bewegt sich rückwärts.

Beim unelastischen Stoß wird ein Teil der kinetischen Energie in innere Energie umgewandelt, deshalb gilt hier der Energieerhaltungssatz der Mechanik nicht.

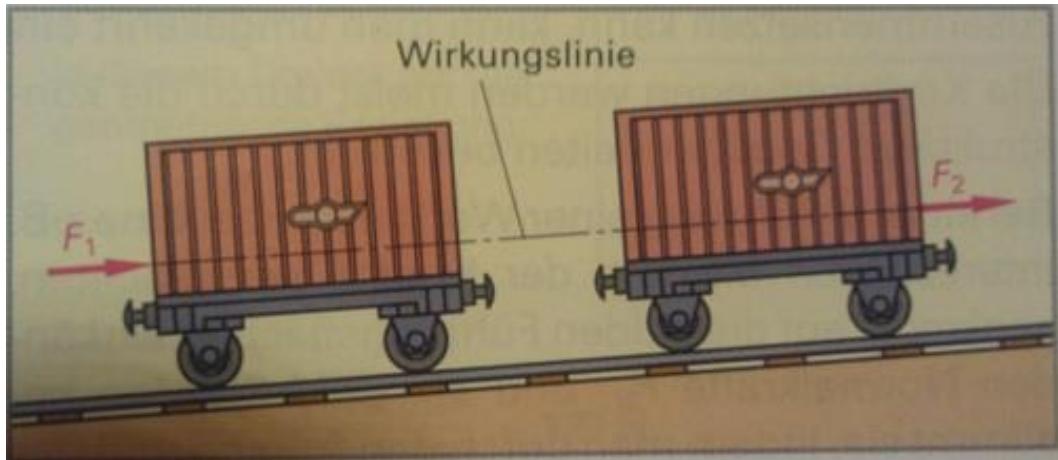
Sonderfälle: Ein Körper trifft auf einen gleichmassigen, stehenden Körper. Es wird ca. die Hälfte der Energie in innere Energie umgewandelt, beide Körper bewegen sich mit ca. halber Geschwindigkeit weiter.

Trifft ein Körper unelastisch auf einen deutlich (!) schwereren, wird die gesamte kinetische Energie in innere Energie umgewandelt. Das Unfallauto bleibt am Baum kleben und springt nicht wieder zurück.

Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften

Die Wirkung einer Kraft ist erst durch drei Angaben eindeutig festgelegt:
Größe, Richtung und Angriffspunkt.

Wirkungslinie



An welcher Stelle der Wirkungslinie eine Kraft ansetzt, ist egal, die Auswirkung der Kraft auf den Körper bleibt gleich.

Kräfte auf einer Wirkungslinie kann man zu einer Gesamtkraft zusammenrechnen.

Setzen die Kräfte an verschiedenen Stellen an, werden sie geometrisch addiert.

$$\text{Satz des Pythagoras: } F_{\text{Res}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

Drehmoment und Hebel

Drehmoment M

Trifft die Wirkungslinie einer Kraft einen drehbar gelagerten Körper in seinem Drehpunkt, bleibt der Körper in Ruhe. Trifft sie ihn wo anders, wird der Körper in Drehung versetzt.

Drehmoment M (Nm): $M = F * r$ (Abstand des Drehpunktes zur Wirkungslinie der Kraft)

Hebel

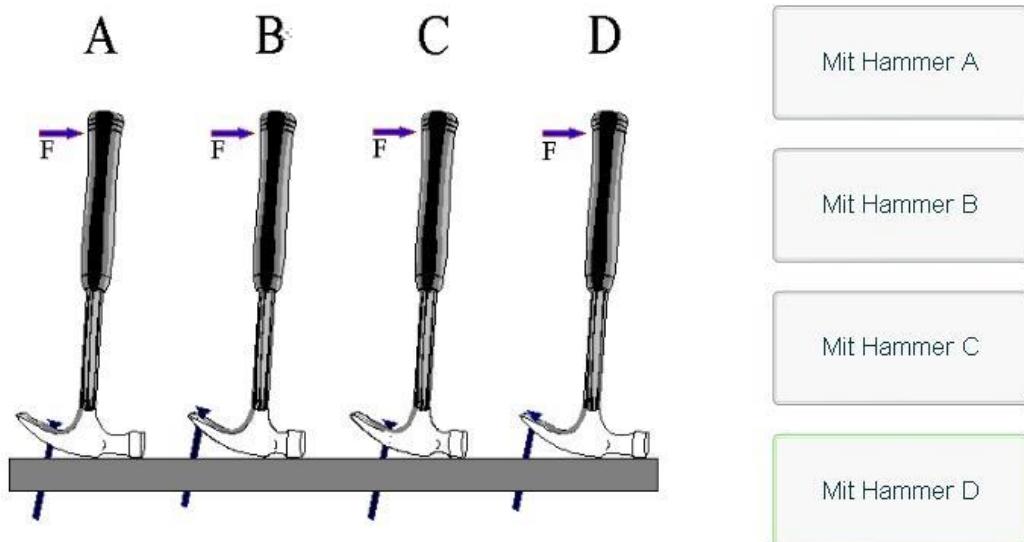
Wirkt Kraft senkrecht auf einen Hebel, lässt sich das Drehmoment am Drehpunkt nach obiger Formel berechnen. $\sin(90^\circ) = 1$.

Wirkt die Kraft in einem anderen Winkel auf den Hebel als 90° : $M = F * r * \sin(\alpha)$.

Greifen an einen Hebel mehrere Kräfte in verschiedenen Abständen an, so herrscht Drehmomentgleichgewicht, wenn sich die Drehmomente gegenseitig aufheben.

Bei Drehmomentgleichgewicht gilt: $F_1 * l_1 = F_2 * l_2$

Mit welchem Hammer muss man die geringste Kraft F aufwenden, um den Nagel zu ziehen?



Die Lösung lautet C, weil der Abstand von Nagel zu Drehpunkt der kleinste ist. Wieso der kleinste?

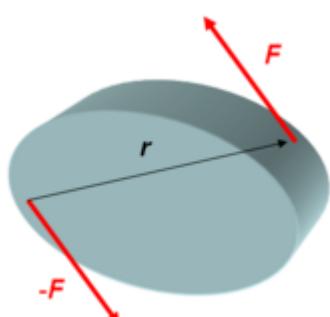
F_1 sei die Kraft, die man aufwenden muss, F_2 die Kraft, mit der der Nagel herausgezogen wird.

$$F_1 * l_1 = F_2 * l_2 \rightarrow F_2 = \frac{F_1 * l_1}{l_2}$$

Je größer also der Abstand von Drehpunkt zum Nagel, je kleiner die wirkende Kraft.

Kräftepaar

Zwei gleichgroße, entgegengesetzte (antiparallele) Kräfte, die an zwei verschiedenen Punkten eines Körpers angreifen, sind ein Kräftepaar.



Die beiden gleichgroßen Kräfte greifen links und rechts vom Drehpunkt an.

Ihr gemeinsames Drehmoment errechnet sich aus der Größe der Kraft und dem Abstand der beiden Kräfte: $M = F * l$

$$\text{zB. } -F = 11 \text{ N} \quad F = 11 \text{ N} \quad \text{Abstand} = 22 \text{ cm}$$

$$11 \text{ N} * 0,22 \text{ m} = 2,42 \text{ NM}$$

Technische Anwendung des Hebels

1. Zange

Auf beide Griffe der Zange wird die gleiche Kraft ausgeübt. Multipliziert man die einzelne Kraft (nicht die Summe der Kräfte) mit der Entfernung von der Wirkungslinie der Kraft bis zum Drehpunkt, erhält man das dort wirkende Drehmoment.

F_1 = Kraft an den Griffen

l_1 = Entfernung Wirkungslinie → Drehpunkt

F_2 = Kraft, die die Zange ausübt

l_2 = Entfernung Zangenschneiden → Drehpunkt

$F_1 * l_1 = F_2 * l_2$

→ je länger die Strecke von „Hand zu Drehpunkt“ und je kürzer die Strecke von „Drehpunkt zu Schneide“, je höher die Kraft F_2 .

2. Zahnradgetriebe

Es drehen sich zwei versch. große Zahnräder mit gleicher Antriebskraft ineinander. Das Drehmoment ist abhängig vom Radius. Steigert sich der Radius eines Zahnrades, erhöht sich sein Drehmoment.

a) Daraus folgt: $\frac{\text{Drehmoment 1}}{\text{Radius 1}} = \frac{\text{Drehmoment 2}}{\text{Radius 2}}$ Drehmomente verhalten sich wie die Durchmesser der Zahnräder.

Bei beiden Zahnrädern ist die Umfangsgeschwindigkeit gleich groß (m auf der Kreisbahn pro Zeiteinheit), das kleinere Zahnrad dreht sich jedoch schneller.

b) Daraus folgt: Die Drehmomente verhalten sich umgekehrt zu den Drehzahlen. Je größere das Drehmoment, je langsamer die Drehzahl
Je kleiner das Drehmoment, je größer die Drehzahl.

Gleichgewicht

Ein Körper ist im Gleichgewicht, wenn er sich aufgrund seiner Gewichtskraft nicht bewegt. Das ist der Fall, wenn eine Kraft ebenso groß wie die Gewichtskraft dieser entgegenwirkt.

Ein frei beweglicher Körper nimmt immer die Position ein, in der sein Schwerpunkt in der tiefst möglichen Lage ist.

Arten von Gleichgewicht

indifferentes Gleichgewicht: Egal wie man den Körper bewegt, der Schwerpunkt befindet sich stets auf der gleichen Höhe. Wird der Gegenstand verschoben, bleibt er also immer im Gleichgewicht; der Unterstützungspunkt, der auf der Wirkungslinie der Gegenkraft liegt, liegt immer senkrecht unter dem Schwerpunkt. Beispiel: Kugel auf ebener Fläche.

stabiles Gleichgewicht:

Egal wie man den Körper bewegt, sein Schwerpunkt könnte nach der Bewegung tiefer sein und er wird zum tiefsten Punkt zurückkehren. Beispiel: Schiff

labiles Gleichgewicht:

Egal wie man den Körper bewegt, liegt der Unterstützungspunkt nicht mehr unter dem Schwerpunkt. Der Schwerpunkt entfernt sich immer weiter aus der Hochpunktlage. Beispiel: Kugel auf einer Kugel.

Arbeit und Energie

Mechanische Arbeit W

Mechanische Arbeit wird verrichtet, wenn eine Kraft gegen einen Widerstand längs eines zurückgelegten Weges wirkt.

Beispiele: Anheben eines Gegenstandes, Verschieben eines Körpers gegen Reibungskraft. Hält man lediglich einen Gegenstand in der Hand, wird keine Arbeit verrichtet. Es wirkt zwar eine Kraft, es wird jedoch kein Weg zurückgelegt. Selbst wenn man einen Gegenstand in die Hand nimmt, und die Hand mit dem Gegenstand horizontal bewegt wird keine Arbeit verrichtet, da die Kraft nicht längs des zurückgelegten Weges wirkt.

Die Arbeit W ist umso größer, je stärker die wirkende Kraft F und je länger der Weg s ist.

mechanische Arbeit W: **Arbeit = Kraft * Strecke**
W (Joule) = F * s 1N * 1m = 1 Nm = 1 J

Arten von Arbeit

Alle Arten von Arbeit lassen sich aus $W = F * s$ ableiten.

Hubarbeit: Heben eines Körpers
F = die Gewichtskraft s = die Höhe
 $\rightarrow W_H = 9,81 \text{ m/s}^2 * \text{m} * \text{s}$

Reibungsarbeit: Es muss die Reibungskraft F_R überwunden werden.
F = Reibungskraft s = zurückgelegte Strecke
 $\rightarrow W_R = \text{Gleitreibungszahl } \mu * F_N * s$

Beschleunigungsarbeit: $\rightarrow W_B = 1/2m * v^2$

Spannarbeit: $\rightarrow W_S = 1/2D * s^2$

Energie

Bei der Umwandlung von Energie muss Arbeit geleistet werden.

Potentielle Energie

potentielle Lageenergie: Wird ein Körper angehoben, wird die an ihm verrichtete Arbeit als potentielle Lage- oder Hubenergie gespeichert.
 $\rightarrow W_H = E_{\text{pot}} = m * g * h$

potentielle Spannenergie: Gleicht gilt für die potentielle Spannenergie bei einer Feder.
 $\rightarrow W_S = E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} D * s^2$

Kinetische Energie

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

Ein LKW wiegt 38 Tonnen und fährt 108 km/h. E_{kin} ?

$108 \text{ km/h} * 0,2777777 = 30 \text{ m/s}$

$E_{\text{kin}} = 19000 \text{ KG} * 900 \text{ m/s} = 17,1 \text{ MJ}$

Der Energieerhaltungssatz der Mechanik

Gedankenspiel: Eine Metallkugel wird über eine Metallplatte gehalten. Die potentielle Lageenergie beträgt $E_{\text{pot}} = m * g * h$. Die E_{kin} ist null. Lässt man die Kugel jetzt fallen, wandelt sich die Lageenergie kontinuierlich in kinetische Energie um, bis die Lageenergie aufgebraucht, die Kugel also unten ist. Die kinetische Energie wird im Aufprall in Spannenergie umgewandelt. Die Kugel springt wieder hoch, die Spannenergie wird umgewandelt in kinetische und diese in Lageenergie, usw.

Daraus folgt der Energieerhaltungssatz der Mechanik:

Bei mechanischen Vorgängen wird potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt und umgekehrt. Wirkt dabei nur die Federkraft und die Schwerkraft, dann gilt: $E_{\text{GES}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} = \text{konstant}$.

Wirken auch andere Kraft wie die Reibungskraft, wird mechanische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Es geht also keine Energie verloren!

Übungsaufgaben: Physik für Schule und Beruf, S. 60

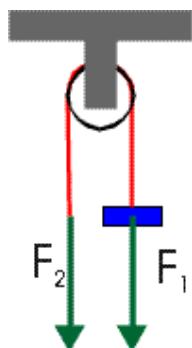
Mechanische Hilfen und Bauteile

Goldene Regel der Mechanik von Galileo Galilei

Durch eine mechanische Hilfe, ein Bauteil oder eine Maschine kann keine Arbeit gespart werden. Was an Kraft gespart wird, muss an Weg zugegeben werden.

Rollen

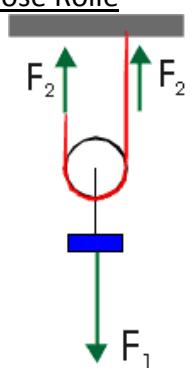
feste Rolle



Bei der festen Rolle ist die Zugkraft so groß wie die Gewichtskraft. Sie hat den Vorteil, dass man die Kraft in eine andere Richtung umlenken kann (Umlenkrolle). Man kann sich also mit dem Körpergewicht dranhängen.

Zugweg und Lastweg sind gleich groß.

lose Rolle

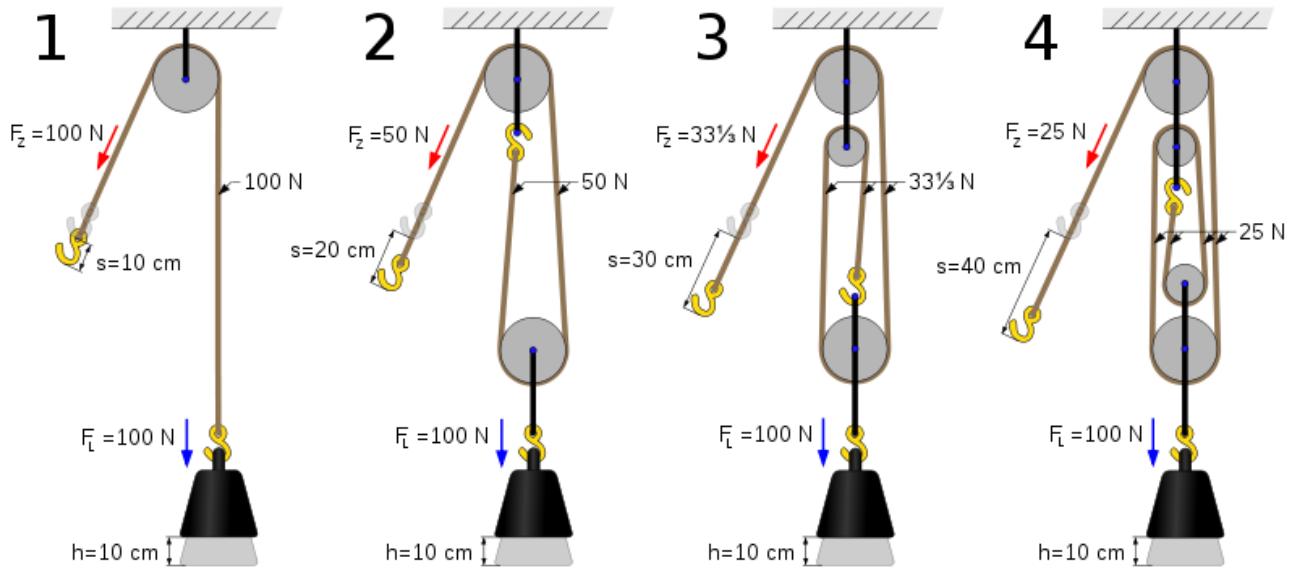


Bei der losen Rolle verteilt sich die Gewichtskraft auf zwei Seile. Auf jedes Seil wirkt nur die halbe Gewichtskraft.

Der Zugweg ist doppelt so groß wie der Lastweg

Flaschenzüge

Bei einem Flaschenzug reduziert sich die zu tragende Gewichtskraft auf die Anzahl der tragenen Seile (tragendes Seil: Seil, an dem nicht „direkt“ gezogen wird).
Pro tragendem Seil gibt's eine Rolle.



Das heißt:

- 1) Der Zugweg ist bei vier Seilen viermal so lang wie der Lastweg, bei 5 Seilen fünfmal so lang wie der Lastweg, usw.
- 2) zu tragende Kraft geteilt durch die Anzahl der einzelnen Seilstücke!

Das Fadenpendel

Für die Schwingungsdauer T eines Fadenpendels gilt: $T = 2 \pi * \sqrt{\frac{\text{Pendellänge}}{\text{Fallbeschleunigung}}}$

➤ Die Schwingungsdauer wächst mit der Wurzel der Pendellänge!

Leistung P

Leistung misst die Arbeit pro Zeiteinheit.

$$P = \frac{W}{T} \quad \frac{1 \text{ NM}}{\text{s}} = \frac{1 \text{ J}}{\text{s}} = 1 \text{ Watt (W)}$$

1 PS = 0,736 kW

1 KW = 1,359 PS

Flüssigkeiten

Kohäsionskräfte: Kräfte, die Atome zusammenhalten (bei Feststoffen größer als bei Flüssigkeiten und Gasen)

Mechanische Hilfen und Bauteile

Viskosität: Ein Maß für das Fließverhalten einer Flüssigkeit. Ist eine Flüssigkeit dünnflüssig, ist die Viskosität gering.

Inkompressibilität: Durch Schwerkraft und Kohäsionskräfte liegen die Atome von Flüssigkeiten eng aneinander, Flüssigkeit können (fast) nicht komprimiert werden.

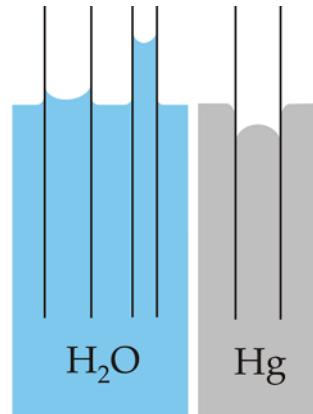
Oberflächenspannung: Die „Haut“ der Flüssigkeit wird durch Kohäsionskräfte hervorgerufen. Im inneren eines Tropfens wirken die Kohäsionskräfte alle gegeneinander und heben sich auf, auf der Außenseite ist die Wirkung einseitig und hält den Tropfen zusammen.

Benetzen, Abperlen: Tropft man verschiedene Flüssigkeiten auf verschiedene Untergründe, stellt man verschiedene Effekte fest. Alkohol benetzt eine Glasplatte, Quecksilber bleibt tropfenförmig. Das liegt daran. Beim Alkohol sind die Kräfte zwischen den Alkoholatomen, die Kohäsionskräfte, schwächer, als die Kräfte zwischen dem Glas und dem Alkohol, die Adhäsionskräfte.

Meniskus, Kapilarität

Die Adhäsionskräfte und Kohäsionskräfte bewirken, dass eine benetzende Flüssigkeit wie Wasser an einer Gefäßwand hochgezogen wird. Dadurch steigt zB. Wasser oder Alkohol in dünnen Röhrchen höher und bildet eine Randkrümmung. → Kapillarerhebung.

Umgekehrt ist es mit nicht benetzenden Flüssigkeiten wie Quecksilber und Glas oder Wasser und angefettetem Glas. Diese stehen in den breiten Röhren höher als in den schmalen und es bildet sich eine Randkrümmung mit einer Wölbung nach oben.



Druck in Flüssigkeiten

Der Druck wird mit dem Manometer gemessen.

Druck breitet sich in einer Flüssigkeit gleichmäßig aus. Sie sind (fast) nicht komprimierbar.

Pressdruck: $p = \frac{\text{Druckkraft}}{\text{Druckfläche}}$ SI- Einheit: pascal (Pa) $1\text{pa} = \frac{1\text{ N}}{1\text{ m}^2}$

$1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa} = 100000\text{ Pa}$

$1\text{ hPa} = 100\text{ bar}$

$1\text{ bar} = 1000\text{ hPa}$

Beispiel: Auf eine Kolbenfläche von 16cm^2 wirkt eine Kraft von 80N.

$$p = 80\text{N} / 0,0016\text{m}^2 = 50000\text{ pa} = 0,5\text{ bar}$$

Hydraulische Presse

Mit der Kraft F_1 wird der Kolben mit der Fläche A_1 gedrückt. Der in der Flüssigkeit entstehende Druck $p = F_1 / A_1$ verteilt sich gleichmäßig in der Flüssigkeit und drückt auf einen anderen Kolben mit der Fläche A_2 . Die Kraft F_2 , die auf das Pressgut drückt, wird berechnet:

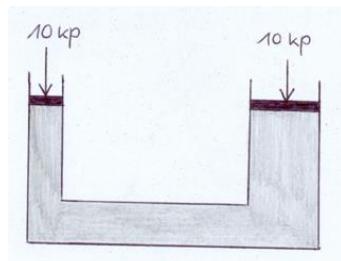
quadratische Kolbenfläche $F_2 = A_2/A_1 * F_1$

runde Kolbenfläche $F_2 = (d_2/d_1)^2 * F_1$

Daraus folgt:

Was passiert, wenn auf beide Kolbenflächen die gleiche Kraft wirkt?

Der mit dem kleineren Kolben senkt sich.



Hydrostatischer Druck

Schweredruck

Unterwasserdruk, der von der Gewichtskraft des Wassers erzeugt wird. Dieser Druck nimmt proportional zur überstehenden Wasserhöhe zu.

Berechnung des Schweredrucks:

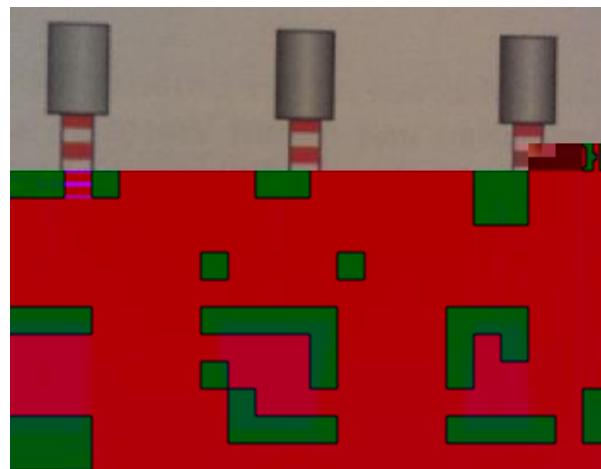
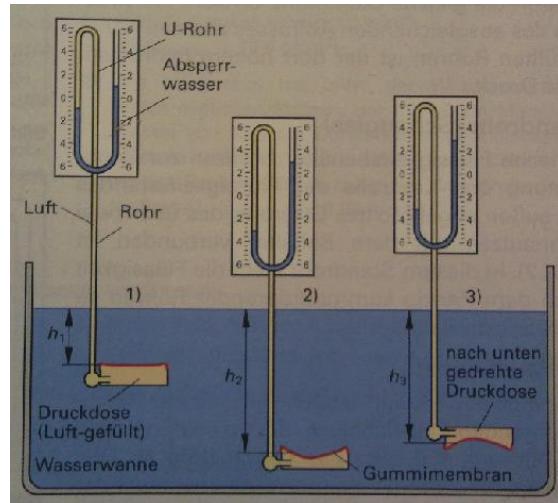
$$\text{Ortsfaktor (9,81)} * \text{Dichte} * \text{Höhe}$$

Hydrostatisches Paradoxon

Der hydrostatische Druck bzw. der Schwere druck ist nur von der Dichte der Flüssigkeit und von der darüber liegenden Flüssigkeitssäule abhängig. Die Form des Behälters hat keinen Einfluss auf den Druck!! → hydrostatisches Paradoxon!

Daraus ergibt sich: In unterschiedlich geformten Gefäßen und in Gewässern unterschiedlicher Form ist der Druck in gleicher Tiefe jeweils gleich groß.

In miteinander verbundenen Gefäßen steht die Flüssigkeit in allen Teilen des Gefäßes gleich hoch!



Auftrieb in Flüssigkeiten

Gesetz von Archimedes: Ein Körper in einer Flüssigkeit erfährt einen Auftrieb, der so groß ist, wie die Gewichtskraft des verdrängten Wassers.

Taucht man einen Körper in Wasser, wirkt auf ihn hydrostatischer Druck. Je tiefer im Wasser, desto höher der hydrostatische Druck. An jeder Seite ist der Druck gleich groß, da jede Seite im Schnitt gleich tief im Wasser ist, die Kräfte heben sich also auf. Die Oberseite ist aber weniger tief im Wasser als die Unterseite – deshalb ist der hydrostatische Druck oben geringer als unten, der Körper erfährt Auftrieb.

Die Gewichtskraft eines Schiffes drückt den Schiffskörper so lange ins Wasser, bis die Gewichtskraft des verdrängten Wassers gleich groß ist.

→ Ein Schiff, was 24.000 Tonnen wiegt, verdrängt 24.000 Tonnen Wasser.

Da der untere Teil eines eingetauchten Körpers einem größeren Schweredruck ausgesetzt ist als der obere, entsteht Auftrieb.

Gase

Zusammensetzung der Luft:	78 % Stickstoff
	21 % Sauerstoff
	0,9% Argon
	0,1 % Rest, u.a. Co2

In 5500 Metern hat sich der Luftdruck halbiert, in 10.000 Meter geviertelt, in 50.000 Metern beträgt nur Luftdruck nur noch 1%, in 100 KM hat die Luft noch 1 Millionstel ihrer Dichte auf Meereshöhe.

Gase können komprimiert werden, daher steigt mit dem Druck die Dichte.

Luftdruck

Die Gewichtskraft der Luftteilchen erzeugt, ähnlich wie bei Flüssigkeiten, einen Schweredruck. Gase stehen grundsätzlich immer unter Druck, wenn sie in einem Gefäß (zB. Atmosphäre) eingeschlossen werden, da sich ihre Teilchen im ganzen zur Verfügung stehende Raum verteilen wollen.

Der als Standard festgelegte Luftdruck auf Meeresspiegelhöhe beträgt 1013,2 hPa / mbar. Auch durch Gase erhalten Körper Auftrieb. Prinzip und Berechnung wie bei Flüssigkeiten.

Verhältnis von Druck und Volumen

Das Gesetz von Boyle und Marionette

Dieses Gesetz beschreibt den Sachverhalt, dass in einem abgeschlossenen Behälter das Volumen sich proportional zum Druck ändert, sofern die Temperatur gleich bleibt. Das Verhältnis von Volumen zu Druck ist also konstant.

Werden zwei verschiedene Volumina eines Gases bei konstanter Temperatur gemessen, gilt:
 $p_1 * V_1 = p_2 * V_2$

Angabe von Druckwerten

Für die Angabe von Druckwerten werden zwei Bezugsebenen angewendet.

Eine Bezugsleere ist das absolute Vakuum mit $p = 0$. Diese Bezugsebene wird Absolutdruck genannt.

Die andere Bezugsebene ist der Umgebungsdruck (1013,2 hPa). Bei Überdruck ist der Druckwert positiv, bei Unterdruck negativ.

Der Luftdruck und damit auch die Temperatur können in einer Quecksilbersäule gemessen werden. Der Schweredruck, der am Boden der Quecksilbersäule herrscht, ist so groß wie der Luftdruck. Daher ergibt sich für einen bestimmten Luftdruck eine bestimmte Höhe der Quecksilbersäule, an der der Luftdruck und damit die Temperatur abgelesen werden kann.

Fluidik

Ändert sich der Querschnitt einer Leitung, erhöht sich im engen Teil die Strömungsgeschwindigkeit. Das Durchflussvolumen bleibt aber gleich. Es gilt:

$$\text{Strömungsgeschwindigkeit}_1 * \text{Rohrgröße}_1 = \text{Strömungsgeschwindigkeit}_2 * \text{Rohrgröße}_2$$

Energie in Fluiden

Die Gesetze von Mechanik und Dynamik gelten auch für Flüssigkeiten, mit der Maßgabe, dass Reibung, Zähigkeit und Kompressibilität vernachlässigt werden.

Die Energie in einem Fluidstrom :Druckenergie, den potentiellen Energie, kinetische Energie.

Bernoulli'sches Gesetz

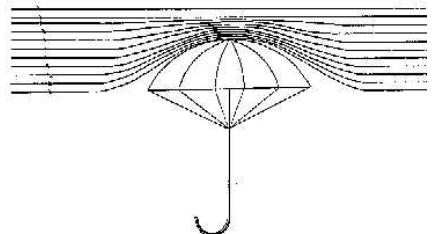
In einem strömenden Fluid ist der Gesamtdruck an jeder Stelle gleich groß.

- Der Gesamtdruck setzt sich zusammen aus:
1. dem statischen Druck / Pressdruck
 2. dem hydrostatischen Druck
 3. Strömungsdruck / Geschwindigkeitsdruck

Der Anstieg einer Druckart führt zum Abfallen einer anderen Druckart, sodass der Gesamtdruck konstant bleibt.

Es entsteht ein Unterdruck, wenn ein Medium an einem Objekt schnell vorbeiströmt; daher können sich Züge gegenseitig im Vorbeifahren anziehen, wenn der Gleisabstand zu gering ist.

Bei starkem Wind kann ein Schirm nach oben klappen. Aber warum bricht er nicht unter dem Druck zusammen und klappt sich zu? Die Luftgeschwindigkeit über dem Schirm ist schneller als unter dem Schirm, weil über dem Schirm weniger Platz ist. Dort herrscht ein höherer dynamischer Druck. Da nach dem Bernoulli'schen Gesetz der Gesamtdruck immer gleich ist, muss bei steigendem dynamischem



Druck der statische Druck sinken. Der geringe statische Druck saugt den Schirm hoch.

Gleiches Prinzip beim Flugzeugflügel: Die Luftgeschwindigkeit über dem Flügel nimmt zu, dadurch steigt der dynamische Druck, der statische fällt, es entsteht ein Sog nach oben.

Strömungsformen

Dreht man einen Wasserhahn auf, fällt folgendes auf:

Bei niedriger Ausflussgeschwindigkeit kommt das Wasser „ruhig“; alle Wasserschichten fließen aneinander, die Strömung ist **laminar**. Dreht man weiter auf, wird die Strömung unruhig und zeigt Wirbel, die Strömung ist **turbulent**.

Auf die Strömungsart haben Einfluss die Strömungsgeschwindigkeit, der Rohrdurchmesser und die Viskosität (=Zählfüssigkeit). Die Strömungsform wird in der Reynoldszahl gemessen.

Strömungswiderstand

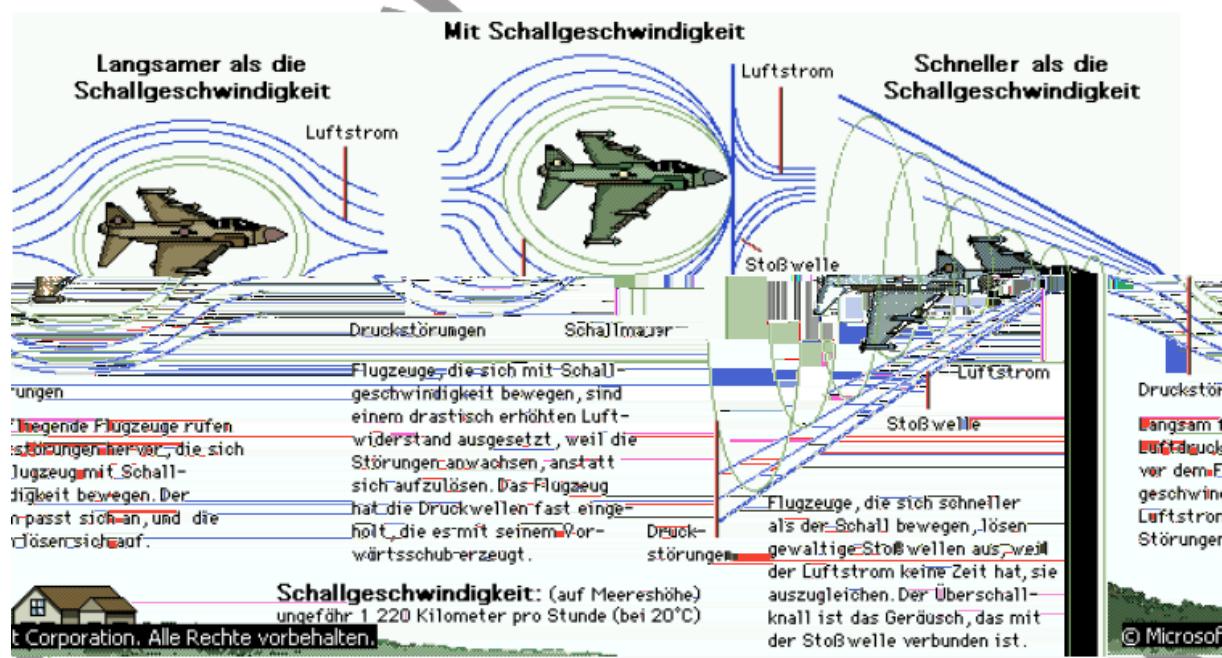
$$\text{Strömungswiderstand} = \text{Anströmfläche} * \text{Fluidichte} * \text{Geschwindigkeit}^2$$

Druckverlust in Rohrleitungen

Beim Strömen in einem Rohr muss der Strömungswiderstand überwunden werden, das führt zu einem Gesamtdruckverlust im Fluid.

Bei niedriger Geschwindigkeit ist der Druckverlust parallel zur Strömungsgeschwindigkeit. Bei hoher Geschwindigkeit entspricht der Druckverlust ca. dem Quadrat der Geschwindigkeit, da bei hoher Strömungsgeschwindigkeit die Strömung turbulent wird.

Flüge mit Schallgeschwindigkeit



Thermodynamik

Die SI-Einheit der Temperatur ist Kelvin (K).

Der Temperaturunterschied von gefrierendem und kochendem Wasser sind 100 Kelvin:

$$\begin{array}{lll} 0 \text{ Grad Kelvin} & = & -273 \text{ Grad Celsius} \\ 273 \text{ Grad Kelvin} & = & 0 \text{ Grad Celsius} \\ 373 \text{ Grad Kelvin} & = & 100 \text{ Grad Kelvin} \end{array}$$

Grobe Umrechnungsformel Kelvin – Celsius:

$$C = K - 273 \quad K = C + 273$$

Wärmeausdehnung

Die Größenänderung ist proportional zur Temperaturänderung.

Wärmeausdehnung fester Körper

Die Längenausdehnung ist materialabhängig. Die Kräfte die bei der Materialausdehnung oder –Verkleinerung wirken sind sehr stark; hat der Körper keinen Platz zum Ausdehnen, nimmt er ihn sich.

Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten

Wird eine Flüssigkeit in einem Behälter erwärmt, erwärmt sich auch der Behälter und dehnt sich aus. Der Anstieg der Flüssigkeitsoberfläche im Behälter gibt daher den Unterschied zwischen Volumenzunahme der Flüssigkeit und des Behälterinnenraums wieder.

Dichteänderung bei Temperaturänderungen

Wird Flüssigkeit erwärmt, dehnt sie sich aus, braucht bei gleicher Masse mehr Platz, die Dichte sinkt. Die warme Flüssigkeit ist leichter und steigt auf, es entsteht eine wärmebedingte Strömung. Beispiel Wasserkocher: das erwärmte Wasser strömt von unten nach oben, es kommt kaltes Wasser nach; das Wasser wird umgewälzt.

Anomalien bei Wärmeausdehnung des Wassers

Bei 4 Grad Celsius hat das Wasser seine höchste Dichte ($0,999973 \text{ g/cm}^3$). Zwischen 0 und 4 Grad zieht sich das Wasser bei Erwärmung zusammen, an vier Grad dehnt es sich aus, unter null Grad dehnt es sich ebenfalls aus, es friert.

Wärmeausdehnung von Gasen

Gase dehnen sich bei Erwärmung wesentlich stärker aus als Flüssigkeiten. Schon die Erwärmung von Gas in einem Glaskolben durch Handwärme erhöht das Volumen deutlich.

Alle Gase dehnen sich gleich stark aus.

Die Volumenveränderung des Gases ist parallel zur Temperaturänderung in Kelvin.

Gesetz von Gay-Lussac: Bei Gasen nimmt das Volumen pro 1° Kelvin um $1/273$ des Volumens bei 0°C zu.

Das kleinst möglich Gasvolumen hat ein Gas beim absoluten Nullpunkt, 0° K oder -273° C .

Wärme

Wärme ist eine Energieform. Die Energieeinheit ist Joule.

Wärmeenergie entspricht der kinetischen Energie der Moleküle und Atome.

Atome und Moleküle, die wärmer als 0° K sind, bewegen sich ständig. Das ist die Brown'sche Molekularbewegung.

Wärmemenge und Wärmekapazität

Die aufgenommene Wärmemenge ist proportional zur Temperatur.

Verdoppelt sich die Wassermenge, verdoppelt sich der Energiebedarf zum Erhitzen.

Um einen Körper wieder abzukühlen, muss ihm die Energiemenge entzogen werden, die ihm zur Erhitzung zugeführt wurde.

Wie gut sich verschiedene Stoffe zur Speicherung von Energie eignen, wird durch die spezifische Wärmekapazität c beschrieben.

Die spezifische Wärmekapazität c gibt die Wärmemenge in Kilojoule an, die erforderlich ist, ein Kilo eines Stoffes um ein Grad Kelvin zu erwärmen.

Wärmekapazität c = zugeführte Energie / (Masse * Temperaturveränderung)

$$\text{Wärmekapazität } c = \frac{\text{zugeführte Energie in kJ}}{\text{Masse} * \text{Temperaturveränderung}} = \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

Beispiele für Wärmekapazitätszahlen:

Wasser: 4,19

→ Um Wasser um ein Grad zu erwärmen muss mehr Energie eingesetzt werden, als bei Eis. Wasser ist ein guter Wärmespeicher, es muss sehr viel Energie zum Aufheizen eingesetzt werden.

Eis: 2,1

Luft: 1,0

Metalle haben ein geringe Wärmekapazität, sie lassen sich schnell erhitzen, kühlen aber auch schnell wieder aus.

Sauerstoff: 0,92

Stahl: 0,5

Aluminium: 1,0

Die Energiemenge ist proportional zur Temperatur.

Dennoch muss bei ist c temperaturabhängig:

Je höher die Ausgangstemperatur ist, desto mehr Energie muss aufgebracht werden, um einen Körper um 1 K zu erwärmen. Beispiel: Um Wasser von 20 auf 40 Grad zu erhitzen, bedarf es mehr als doppelt so viel Energie, um Wasser von 0 auf 20 Grad zu erhitzen.

Beispiel: der c Wert für Öl beträgt 1,81. Das heißt, es werden 1,81 kJ benötigt, um 1 KG Öl um 1 Grad Kelvin zu erhitzen. Wie viel Energie wird benötigt, um 125m³ Öl (Dichte: 0,84 g/cm³) von -2 auf 8 Grad zu erhitzen?

$$125 * 840 * 1,81 * 10 = 19500500 \text{ kJ} = 1,9 \text{ MJ}$$

Aggregatzustände

fest → gasförmig: sublimieren (Beispiel: Wassermoleküle aus Eis verdunsten)

gasförmig → fest: resublimieren

Schmelzen und Erstarren

Versuch: Wasser mit -10°C ist in einem Becken. Während Wärme zugeführt wird, steigt die Wassertemperatur. Bei 0°C beginnt das Eis zu schmelzen. Es wird weiterhin Wärme zugeführt, die Temperatur steigt allerdings erst wieder, wenn der letzte Eiskristall geschmolzen ist.

Daraus folgt: Es ist Wärmeenergie erforderlich, um den Aggregatzustand eines Stoffes zu verändern. Bezogen auf die Masse spricht man von der spezifischen Umwandlungswärme (auch latente o. verborgene Wärme); beim Schmelzen ist dies die spezifische Schmelzwärme.

Die spezifische Schmelzmenge gibt an, wie viel Energie (kJ pro kg) man braucht, um ein Kilo eines Stoffes zu schmelzen.

spezifische Wärmemenge = erforderliche Wärmemenge * Masse

Die zum Erstarren von Wasser zu entziehende Erstarrungswärme ist genau so groß wie die zum Schmelzen erforderliche Schmelzwärme. → Erstarrungswärme = Schmelzwärme.

Schmelzpunkt / Schmelzbereich

Chemische Elemente besitzen einen Schmelzpunkt, eine genaue Gradzahl. Verbindungen oder Stoffgemische haben einen Schmelzbereich.

Volumenänderung beim Gefrieren

Die meisten Stoffe schrumpfen beim Erstarren und vergrößern damit ihre Dichte. Wasser bildet eine Ausnahme! Eis schwimmt daher auf Wasser, eine gefrorene Kerosinkugel versinkt daher im Wasser.

Abgrenzung Verdunsten / Sieden

Verdunsten: Nicht alle Moleküle in einer Flüssigkeit sind gleich schnell. Einige sind schnell genug, um die Anziehungskraft der Flüssigkeit zu überwinden und auszubüchsen. Beim Wasser beispielsweise bilden die ausgebüschten Moleküle Wasserdampf. Man spricht vom Verdunsten.

Sieden: Eine Flüssigkeit wird bis zum Siedepunkt erhitzt und ändert durch zugeführte Umwandlungswärme den Aggregatzustand, es bilden sich Blasen, in denen die Flüssigkeit aufsteigt. Man spricht vom Verdampfen.

Kocht man Wasser bis es siedet und führt weiter Energie zu, wird das Wasser nicht wärmer. Flüssiges Wasser kann nicht wärmer als 100°C werden. Erst wenn das gesamte Wasser verdampft ist, steigt die Temperatur des Wasserdampfes über 100° C. Die Wärmemenge, die während des Siedens zugeführt wurde, ist die Verdampfungswärme.

Das Volumen von Wasserdampf ist ca. 1685-mal so groß wie das Volumen von Wasser.

Der Energiebetrag, die zum Verdampfen von Wasser von Wasser aufgebracht werden muss, ist deutlich höher als der, der zum Schmelzen aufgebracht werden muss, da die Intensität der Molekularbewegungen beim Verdampfen deutlich stärker erhöht werden muss als beim Schmelzen.

Übertragung von Wärme

Wärmeenergie fließt von selbst nur vom wärmeren zum kühleren Körper. Je größer der Temperaturunterschied, desto höher der Wärmefluss.

$$\text{Wärmestrom} = \frac{\text{Wärmeenergie } Q}{\text{Zeit } t}$$

In der Art, wie sich Wärme ausbreitet und damit übertragen wird, unterscheidet man zwischen **Wärmeleitung**, **Wärmeströmung (Konvektion)** und **Wärmestrahlung**.

Wärmeleitung

Die Wärme wird innerhalb eines festen Körpers oder zwischen 2 sich berührenden Körpern übertragen. Die Übertragung erfolgt durch die Weitergabe der kinetischen Energie der Moleküle oder Atome.

Wärmeleitung erfolgt auch zwischen Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen sowie mit Körpern, die diese berühren.

Beispiele für die Wärmeleitfähigkeit:

Kupfer: 394 W

Aluminium: 200 W

Stahl: 50 W

Wasser: 0,6 W

Stahl: 0,025 W

Schaumst.: 0,025 W

Die geleitete Wärmemenge ist

- proportional zur Querschnittsfläche des Leiters

- umso kleiner, je länger der Leiter ist ($1/l$)

- proportional zum Temperaturunterschied der Körper

→ Stahl leitet wärme genauso schlecht wie Schaumstoff

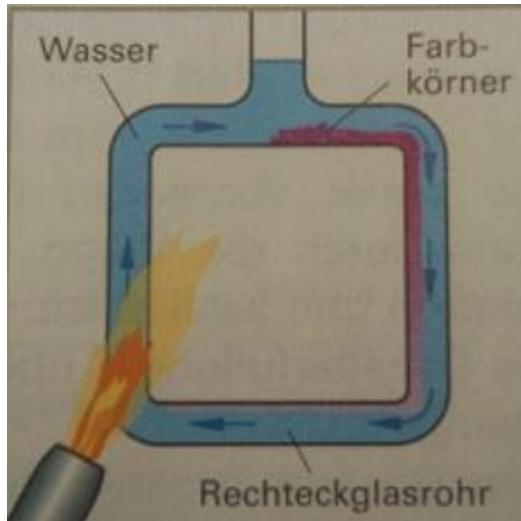
Wärmestrom bei Wärmeleitung =

$$\frac{\text{Wärmeleitfähigkeit} * \text{Querschnittsfläche des Leiters} * \text{Temperaturdifferenz}}{\text{Länge des Leiters}}$$

Wärmeströmung / Konvektion

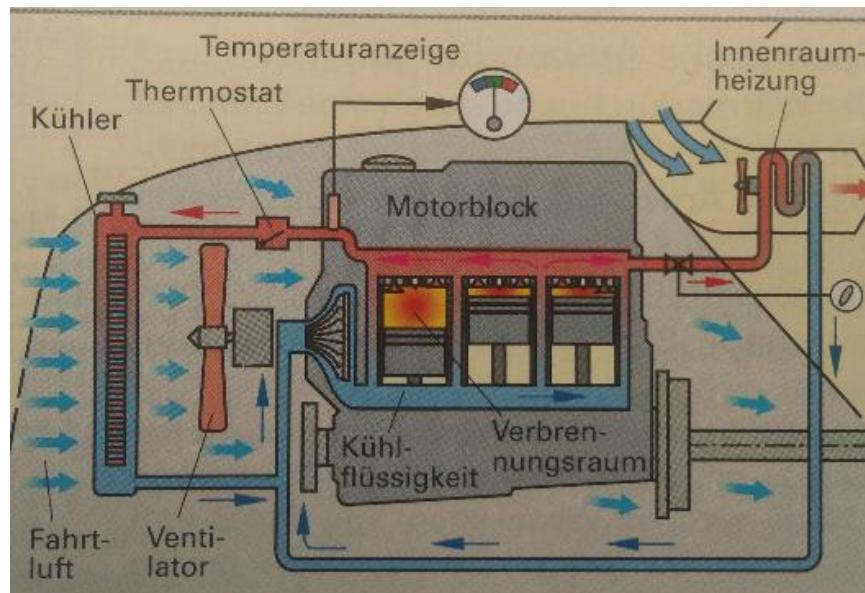
Freie Konvektion

Mit einer Flamme wird das wassergefüllte Viereckglas unten links erwärmt. Es wird warm, dehnt sich aus, verliert an Dichte und steigt an dieser Stelle auf, kaltes Wasser strömt nach und es entsteht eine Strömung.



Erzwungene Konvektion

Um die Umlaufstromgeschwindigkeit zu erhöhen, wird bei der erzwungenen Konvektion die Flüssigkeit zusätzlich umgepumpt. Siehe Beispiel Automotor.



Wärmestrahlung

Jeder Körper gibt Wärmestrahlung in Form von elektromagnetischer Wellen ab. Sie durchstrahlen den Raum und benötigen kein Übertragungsmittel wie etwa Luft. Warme Körper geben mehr Strahlungsenergie an einen kälteren ab, als sie von diesem erhalten. Daher fließt Wärme nur vom warmen zum kalten Körper.

Die Wärmestrahlung nimmt mit steigender Temperatur stark zu:

Die Wärmestrahlung nimmt in der 4. Potenz zur Temperatur zu!

Dunkle Flächen strahlen mehr Wärmestrahlung ab als helle bzw. blanke Flächen!

Dunkle Flächen absorbieren mehr Strahlung als helle Flächen.

→ **Absorptions- und Emissionsvermögen eines Körpers sind gleich groß.
Körper mit hohem Absorptionsvermögen haben auch großes Emissionsvermögen.**

Anwendungsbeispiele Wärmeübertragung

Heizkörper: Bei mittleren Temperaturen der Heizung erfolgt die Wärmeübertragung hauptsächlich durch Konvektion. Erst wenn deutlich aufgedreht wird, spürt man die Wärmestrahlung. Die Wärmeleitung hat bei der Heizung praktisch keine Bedeutung, da Luft ein schlechter Wärmeleiter ist.

Kochplatten: aus Stahl: Die Stahlplatte erwärmt und übergibt die Wärme an den Topf überwiegend durch Wärmeleitung.

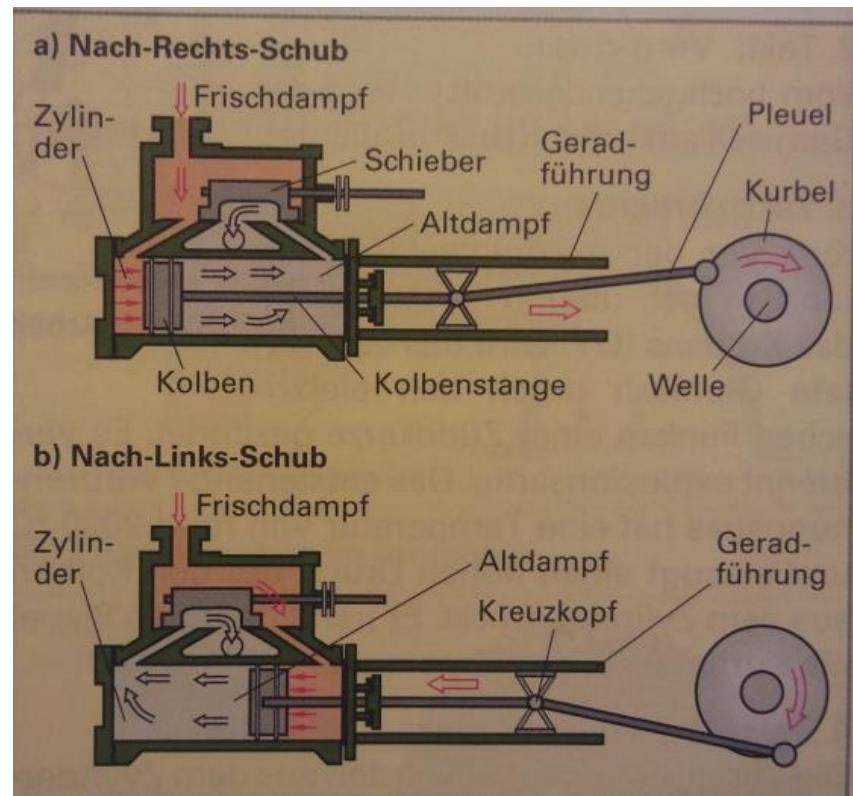
Glaskeramik/
Ceranfeld Unter dem Glas sitzen Heizstrahler, die ca. 1000°C heiß werden. Durch Wärmestrahlung wird der Topf durch das Glas erwärmt, das Glas selbst erwärmt sich auf nur ca. 300°C und überträgt Wärme durch Wärmeleitung.

Motoren

Dampfmaschine

Im Dampfkessel (nicht im Bild) wird Kohle verbrannt. Der Dampf strömt in einen Zylinder und schiebt einen Kolben vor sich her. Nach Erreichen des Endpunkts stellt der Schieber den Dampfstrom um und er fließt von der anderen Seite in den Kolben.

Dampfmaschinen haben einen Wirkungsgrad von 10 – 20 %.



Ottomotor

Takt 1

Ansaugen des Benzintröpfchen-Luftgemischs.

Takt 2

Verdichten auf ca. 10 bar.

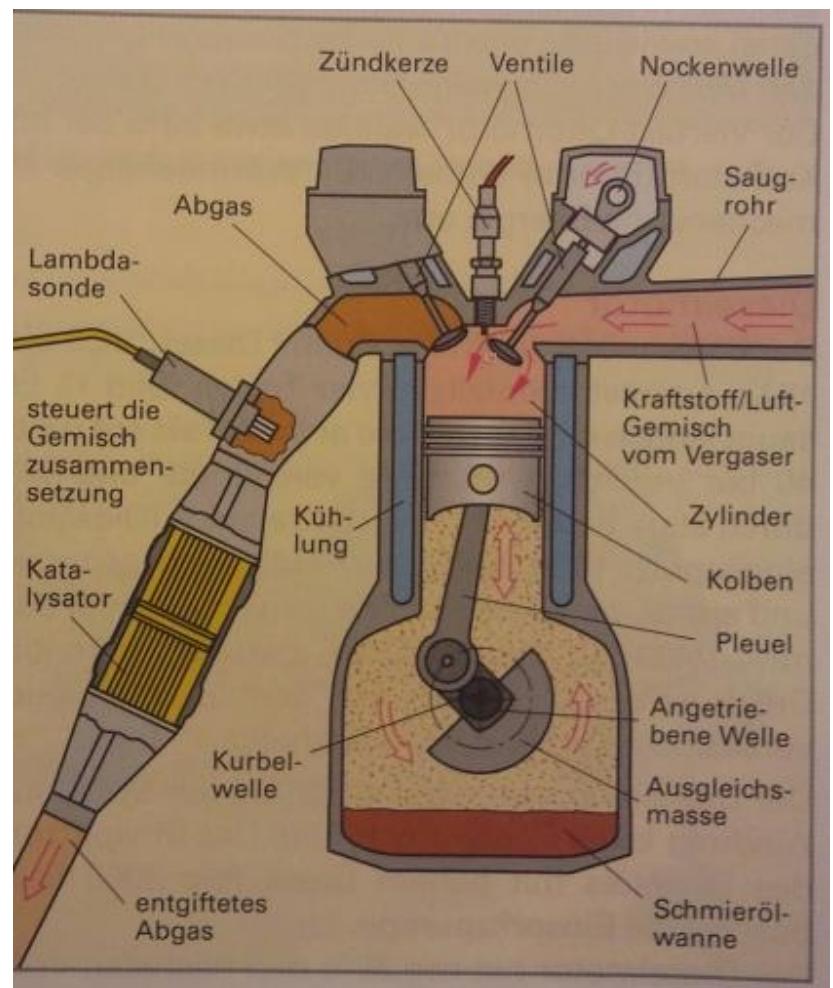
Takt 3

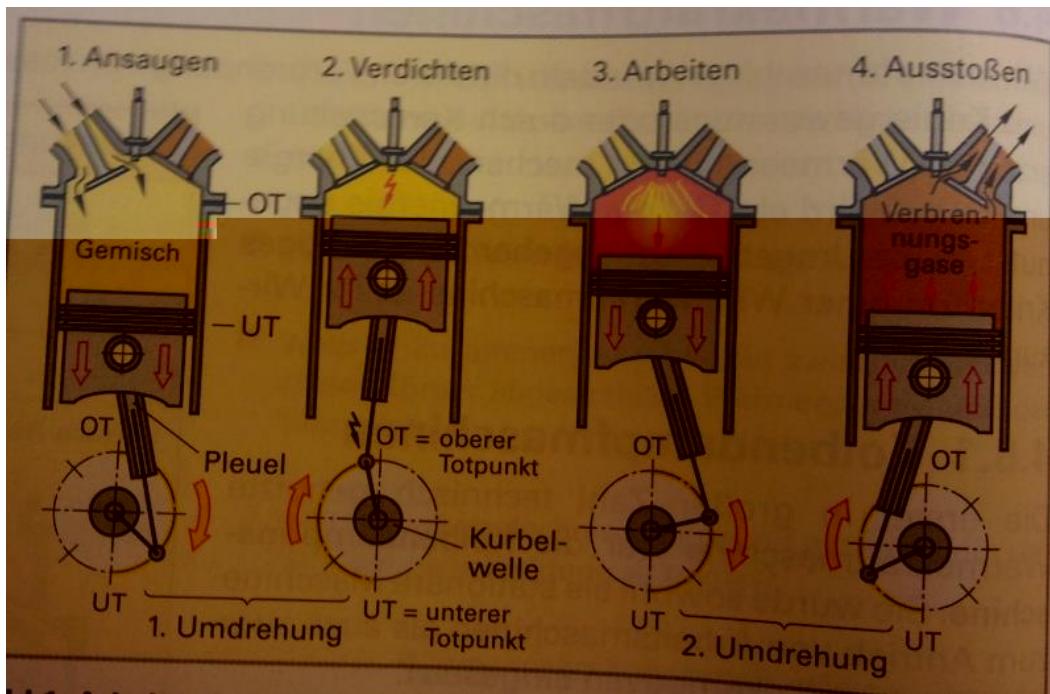
Kurz vor der oberen Totpunktlage des Kolbens wird das Gemisch durch den Funken der Zündkerze (15.000 – 30.000V) gezündet. Das entstehende Verbrennungsgas hat eine Temperatur von ca. 2000 Grad und drückt den Kolben runter.

Takt 4

Ausstoßen. Der Kat reinigt die Abgase.

Mit einer Steuerkette oder dem Zahnriemen wird die Bewegung der Kurbelwelle zur Nockenwelle übertragen, die die Ventile öffnet und schließt. Die Nockenwelle muss dann parallel zur Kurbelwelle angeordnet sein.





Der Ottomotor hat einen Wirkungsgrad von ca. 28 %.

Dieselmotor

Takt 1

Ansaugen von Luft.

Takt 2

Verdichten auf ca. 40 bar. Durch den Druck Luftherwärmung auf ca. 800°C.

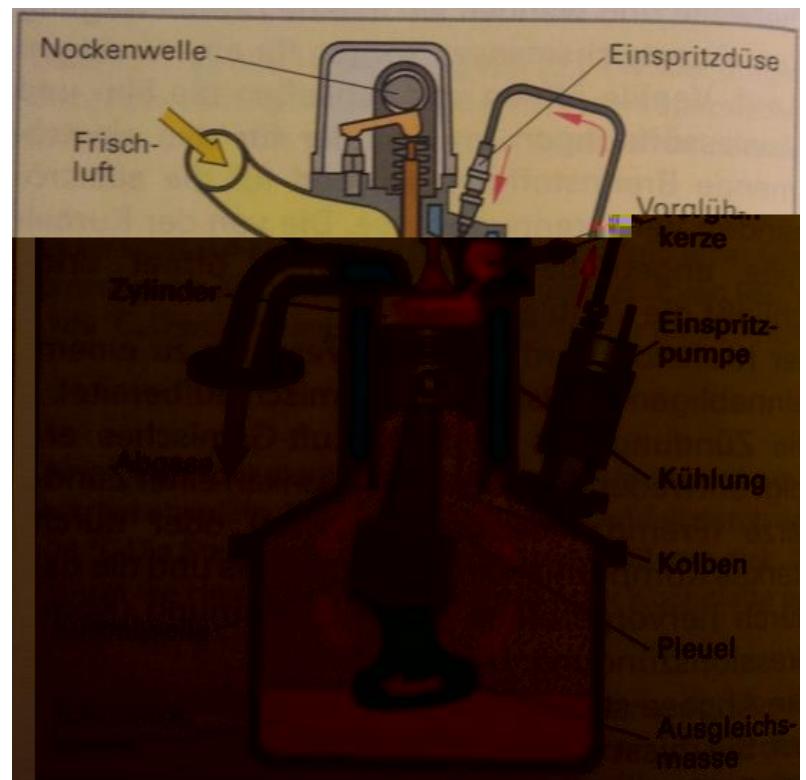
Takt 3

In die erhitzte Luft wird mit einer Einspritzpumpe bis zu 2000 bar Diesel eingespritzt. Aufgrund der hohen Temperatur entzündet sich das Gemisch von selbst. Verbrennungsgase ca. 2400°C.

Takt 4

Ausstoßen. Der Kat reinigt die Abgase.

Mit einem Wirkungsgrad von ca. 35% hat der Dieselmotor den höchsten Wirkungsgrad.



Regeln Diesel- und Ottomotor:

Bei Viertakter dreht die Kurbelwelle zweimal pro Zündung. → Die Kurbelwelle muss für eine Zündung zweimal drehen. Beim Zweitakter dreht die Kurbelwelle einmal pro Zündung.

Motoröl

Schmierung

Beim Viertakter erfolgt die Schmierung über ein eigenes System, beim Zweitakter wird das Öl dem Kraftstoff beigemischt.

Funktionen

1. Konstanthaltung der Motortemperatur
2. Schmierung
3. Dichtwirkung zwischen Kolbenringen und Zylinderwand, damit sich der Kompressionsdruck im Verbrennungsraum aufbauen kann.

Vergaser (nur Otto-Saug-Motor)

Der Vergaser erzeugt das explosive Benzin-Luft Gemisch (1:15) folgendermaßen:

Die vom Kolben angesaugte Luft wird durch einen sich verengenden Kanal geleitet, in dessen engsten Querschnitt eine Düse sitzt. Durch den Unterdruck an dieser Stelle (Gesetz von Bernoulli) tritt aus dieser Düse Benzin aus und zerstäubt. Mit der Drosselklappe, die über das Gaspedal gesteuert wird, lässt sich der Ansaugstrom der Luft und damit die Gemischmenge kontrollieren. Der Druck hinter der Drosselklappe heißt Ladedruck.

Einspritzanlage (immer bei Dieselmotoren)

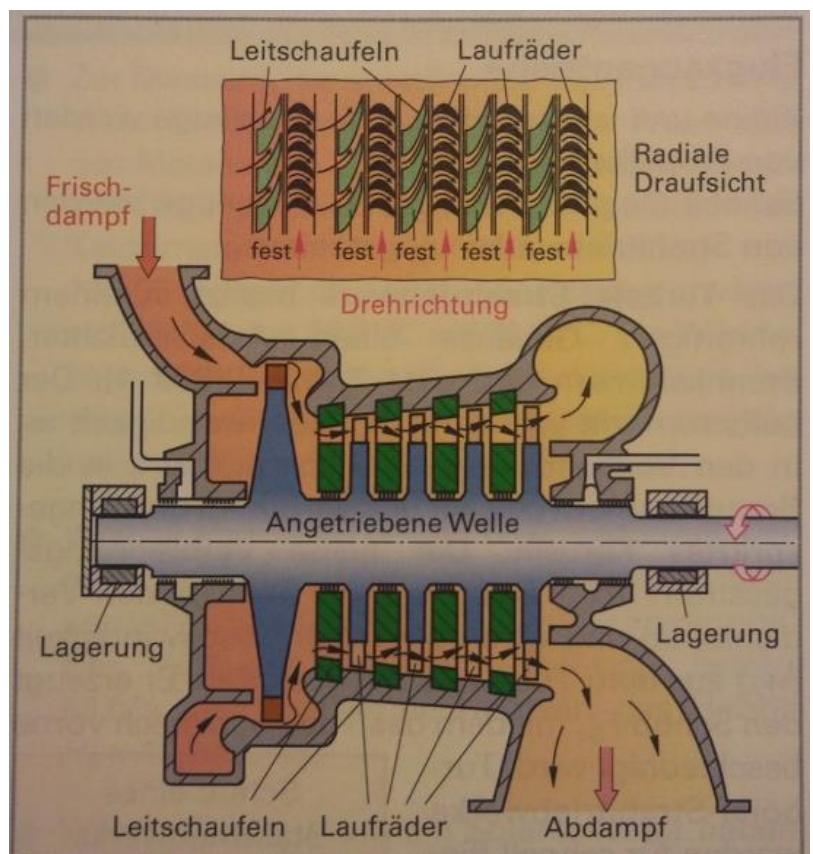
Bei der Abwärtsbewegung des Kolben wird nur Luft angesaugt. Die Einspritzung des Kraftstoffes erfolgt, besser dosiert als beim Sauger, entweder in den Ansaugkanal oder direkt in die Brennkammer (Direkteinspritzung).

Dampfturbinen

Bei einer Dampfturbine strömt heißer, hochkomprimierter Wasserdampf mit großer Geschwindigkeit gegen die Schaufeln des ersten Laufradkranzes und versetzen diese in Bewegung. Nach Verlassen des Laufradkranzes strömt der Dampf in die nächsten Schaufeln.

Der Dampf hat bis zu 550°C und 250 bar. Der Wirkungsgrad liegt zwischen 30 und 40 %.

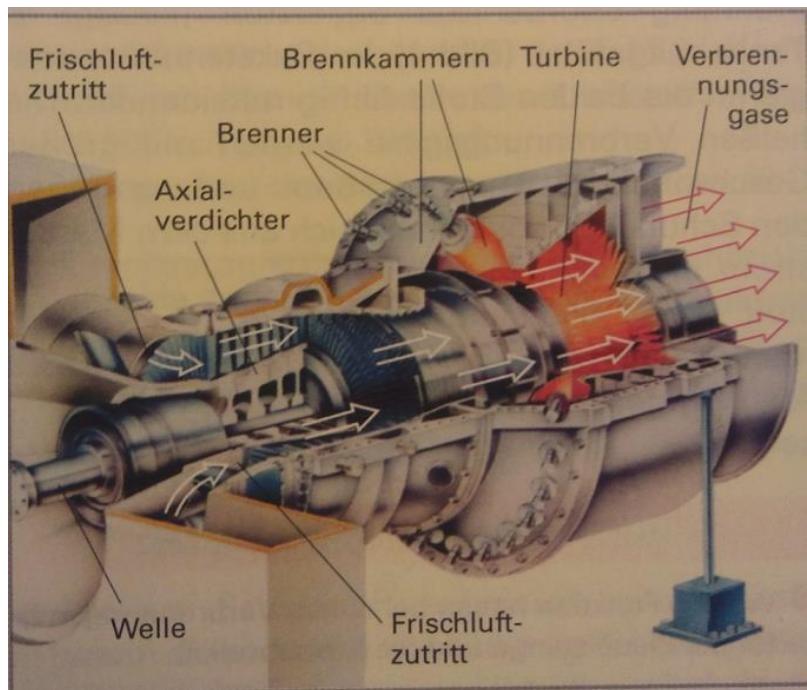
Verwendung in Schiffen oder Kraftwerken, der Dampf wird durch Verbrennung von Brennstoffen oder durch Kernenergie erzeugt.



Gasturbinen

Funktionieren wie Dampfturbinen, nur das vor der eigentlichen Turbine Luft verdichtet, mit einem Brennstoff vermischt und gezündet wird. Die Verbrennungsgase gehen dann durch die Turbine.

Verwendung in Schiffen oder Kraftwerken.



Kraftstoffe und ihre Siedebereiche

Normalbenzin: 35 – 140 °C

Kerosin: 150 – 250 °C

Heizöl / Diesel 250 – 360 °C

Flugzeugtriebwerk

Turbojet

Der Luftstrom trifft von vorne auf das Triebwerk und wird im Verdichter komprimiert. Die komprimierte Luft wird in die Brennkammer geleitet und dort mit Kerosin verbrannt. Von der Brennkammer strömt die Luft durch eine Turbine aus dem Triebwerk raus. Die Turbine treibt den Kompressor an, der Luftstrom nach hinten erzeugt Schub.

Turbojet-Triebwerke sind ineffizient und laut, dafür schnell.

Turbofan

Das Turbofan Triebwerk hat zusätzlich zur hinteren Turbine vorne einen Propeller. Er wird von der Turbine angetrieben und erzeugt einen starken Luftstrom. Der Schub setzt sich aus dem Propeller-Luftstrom und dem Abgasstrom zusammen.

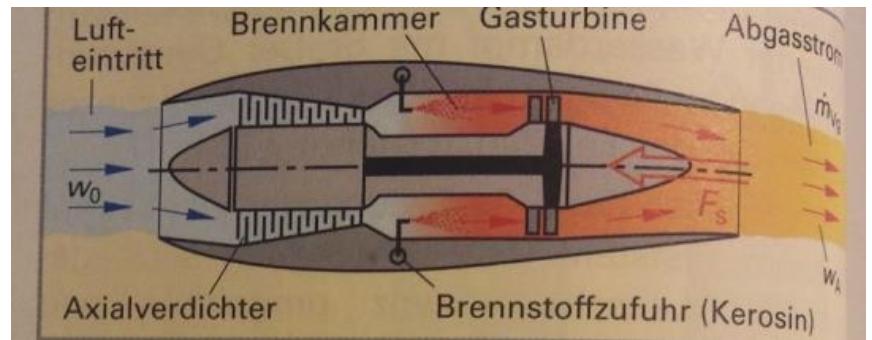
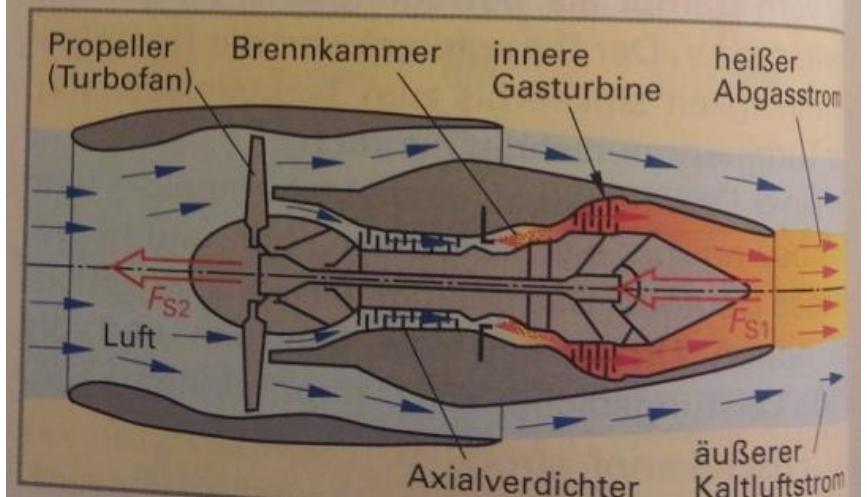


Bild 1: Schema eines Turbojet-Triebwerks



Turbofans beschleunigen mehr Luft langsamer. Sie leiten einen Teil der Luft an der Brennkammer vorbei; diese Luft umhüllt dann hinten den heißen Abgasstrom. Sie sind daher leiser und ökonomischer als Turbojets, sie werden bei Passagierflugzeugen eingesetzt. Der Propeller macht 40-70% des Gesamtschubes aus.

Turboprop

Ähnlich wie der Turbofan, nur dass vorne ein richtiger Propeller sitzt, der den Großteil der Energie der Turbine aufnimmt.

Raketenantrieb

Der Kraftstoff und der zur Verbrennung nötige Sauerstoff werden jeweils flüssig mitgeführt. Im Raketenmotor reagieren beide Stoffe heftig miteinander, die Verbrennungsabgase schießen aus dem Triebwerk.

Gase und Gasgemische

Die Zustandsgrößen einer abgeschlossenen Gasmenge p (Druck), T (Temperatur) und V (Volumen) sind voneinander abhängig.

Ideale und reale Gase

Bei einigen Gasen bestehen recht einfache Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen. Diese Gase verhalten sich nach idealisierten Gesetzmäßigkeiten, sie werden ideale Gase genannt. Ideale Gase sind:

- Wasserstoff
- Helium
- Sauerstoff
- Stickstoff
- Luft (Stickstoff und Sauerstoff)

Alle anderen Gase sind reale Gase.

Die Verhältnisse zwischen den Zustandsgrößen bei idealen Gasen

Volumen <-> Temperatur	Je größer die Temperatur, desto größer das Volumen.
Gesetz von Gay-Lussac:	Bei Gasen nimmt das Volumen pro 1° Kelvin um 1/273 des Volumens bei 0°C zu.
Volumen <-> Druck	Je größer der Druck, desto kleiner das Volumen.
Gesetz von Boyle und Mariotte	Das Verhältnis von Volumen zu Druck ist also konstant, $p_1 * V_1 = p_2 * V_2$
Druck <-> Temperatur	Je größer die Temperatur, desto größer der Druck.
Gesetz von Amontons	Die Druckänderung ist parallel zur Temperaturänderung.

Ändern sich Druck, Temperatur und Volumen gleichzeitig (zB Autoreifen), gilt die Zustandsgleichung für das ideale Gas:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant} \quad \text{oder} \quad \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Sich ausdehnende Gase können Arbeit verrichten. Das ist zB. der Fall bei Verbrennungsmotoren.

Verdampfen von Flüssigkeiten

Dampfdruck von Flüssigkeiten

Wenn Flüssigkeiten verdunsten (also nicht sieden, siehe oben), bildet sich über der Flüssigkeit eine Dampfwolke. Den Teil des Drucks, den der Dampf zusteckt, nennt man Dampfdruck. Verdunstet eine Flüssigkeit in einem geschlossenen Raum, wird mehr und mehr Flüssigkeit aufgenommen, der Dampfdruck steigt. Ist der **Sättigungsdampfdruck** erreicht hat die Luft die maximale Menge Flüssigkeit aufgenommen, der Dampfdruck ist gleich dem Sättigungsdruck bzw. dem Außendruck.

Siedepunkt: Die Temperatur, bei der der Dampfdruck der Flüssigkeit gleich dem äußeren Druck ist.

→ Flüssigkeit verdampft, solange der Dampfdruck kleiner dem Sättigungsdruck ist.

Ist der Sättigungsdruck erreicht, verdunstet kein Wasser mehr, es kann nur noch sieden.

Abhängigkeit des Siedens vom Luftdruck

Wasser kocht nicht an der Oberfläche, sondern am Fußpunkt der Hitze. In einem Kochtopf siedet Wasser also nicht an der Oberfläche (auch wenn es dem entweichenden Wasserdampf nach so aussehen möge), sondern am Topfboden, weil dort die Hitze am größten ist. Am Topfboden also wird das Wasser in den Übergang in einen anderen Aggregatzustand (von flüssig zu gasförmig) erwärmt. Das Gas steigt nach oben und kann umso leichter entweichen, je geringer der Druck auf die Wasseroberfläche ist!

→ Je höher der Luftdruck, desto höher die Siedetemperatur.

Je geringer der Luftdruck, desto geringer die Siedetemperatur.

Es kann daher sein, dass man in sehr großer Höhe trotz siedenden Wassers nur ein lauwarmes Süppchen bekommt.

Legt man eine Schüssel Wasser in ein luftdichtes Gefäß und pumpt die Luft vollständig ab, sinkt der Druck und das Wasser beginnt zu sieden. Warum?

Um sich aus der Flüssigkeit zu lösen, muss ein Teilchen nicht nur die Bindung an die anderen Teilchen der Flüssigkeit überwinden, sondern auch den Druck von außen. Druck in Gasen ist nichts weiter als die Kraft und die Häufigkeit, mit der Teilchen auf eine Begrenzungsfläche treffen. Das Wassermolekül wird also ständig von Luftpunkeln bombardiert und muss auch diesen Druck überwinden um gasförmig zu werden. Je kleiner der äußere Druck ist, desto weniger Energie wird dazu benötigt.

Optik

Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen, es ist also ein schwingendes, elektromagnetisches Feld.

Die **Lichtgeschwindigkeit** beträgt im **Vakuum** 300.000 km/s. Sie ist aber vom Stoff abhängig, in dem sich das Licht ausbreitet. In allen Stoffen, auch in der Luft, ist das Licht langsamer als im Vakuum.

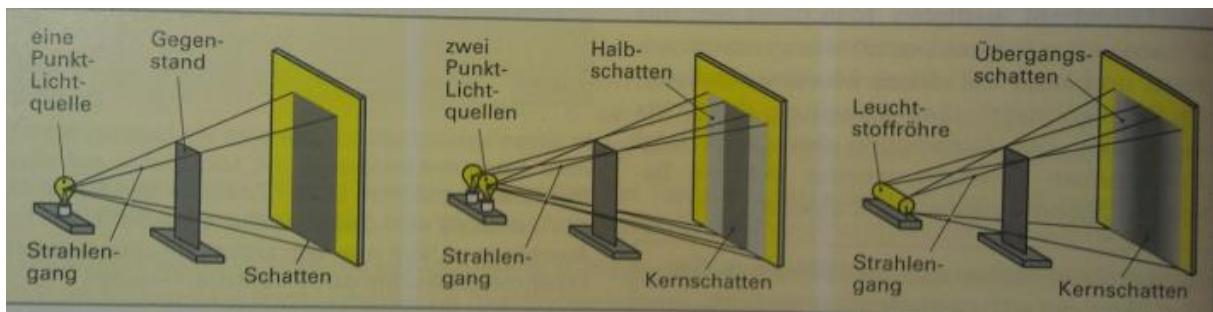
Stoffe, in denen Licht eine langsamere Geschwindigkeit hat als in anderen, sind optisch dichter. Eis ist optisch dichter als Luft. Stoffe, in denen Licht eine höhere Geschwindigkeit hat als in anderen, sind optisch dünner. Luft ist optisch dünner als Eis.

durchsichtig: zB. Glas oder Luft

durchscheinend: zB. Milchglas oder Papier

Schatten

Eine punktförmige Lichtquelle erzeugt einen scharf begrenzten Schatten. Zwei Lichtquellen erzeugen einen Kernschatten und zwei Halbschatten. Ausgedehnte Lichtquellen bilden einen Kernschatten umgeben von einem Übergangsschatten.



Lichtstärke und Beleuchtungsstärke

Die Helligkeit einer Lichtquelle wird mit der **Lichtstärke** gemessen.

Lichtstärke I = Candela (=cd)

Mit der **Beleuchtungsstärke** wird die Helligkeit einer beleuchteten Fläche gemessen.

Beleuchtungsstärke Ev = Lux (=lx)

Eine Lichtquelle von 1cd im Zentrum einer Kugel von 1m Radius erzeugt auf der Kugelinnenseite eine Beleuchtungsstärke von 1 lx.

Verhältnis von Lichtstärke und Beleuchtungsstärke

1. Die Beleuchtungsstärke ist proportional zur Lichtstärke.
2. Die Beleuchtungsstärke sinkt stark mit Quadrat der Entfernung der Lichtquelle: I/r^2
3. Fällt das Licht auf schiefe Flächen, verringert sich die Beleuchtungsstärke um den Kosinus des Winkels.

$$\rightarrow \text{Beleuchtungsstärke} = \frac{\text{Lichtstärke}}{\text{Entfernung der Lichtquelle}^2} * \cos(\text{Aufprallwinkel})$$

Reflexion des Lichts

diffuse Reflexion: Licht wird von einer rauen Oberfläche in alle Richtungen reflektiert.

gerichtete Reflexion: Licht wird von einer glatten Oberfläche in eine Richtung reflektiert.

Spiegel

Die Spiegelgesetze

1. Einfallswinkel des Licht = Reflexionswinkel
2. Einfallender und reflektierender Lichtstrahl liegen mit dem Lot auf einer Ebene.
3. Ein Spiegel im Winkel von 45° zum Lichtstrahl reflektiert ihn im 90° Winkel.

reelle und virtuelle Bilder

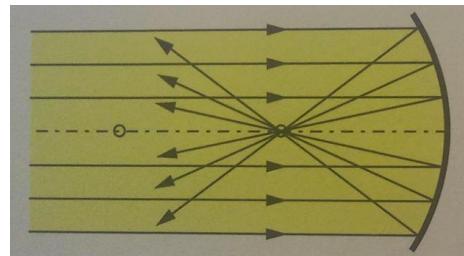
Reelle Bilder entstehen, wenn sich verschiedene von einem Punkt ausgehende Strahlen wieder schneiden. Zum Beispiel bei Hohlspiegel, Linse.

Bei einem virtuellen Bild schneiden sich die Strahlen, die von einem Punkt ausgehen nicht mehr (Beispiel: ebener Spiegel).

Reflexion am Hohlspiegel (Konkavspiegel)

Ein Hohlspiegel oder Konkavspiegel ist nach innen gewölbt (zB. Löffel).

Parallel einfallendes Licht wird so reflektiert, dass alle Lichtstrahlen nach der Reflexion in einem Punkt zusammenlaufen. An diesem Punkt kann es sehr heiß werden, es ist der Brennpunkt.



Die Entfernung vom Spiegel zum Brennpunkt ist die Brennweite. Die Brennweite ist halb so groß wie der Radius der Spiegelkugel.

Das Bild ist:

außerhalb der doppelten Brennweite

vergrößert und auf dem Kopf, reell

in der doppelten Brennweite

gleich groß auf dem Kopf, reell

zwischen Brennpunkt und doppelter Brennweite

verkleinert und auf dem Kopf, reell

in der einfachen Brennweite

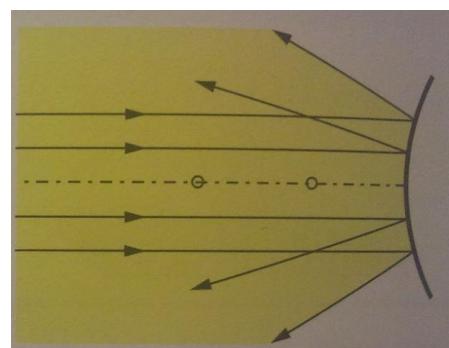
kein scharfes Bild

innerhalb der einfachen Brennweite

verkleinert und aufrecht, virtuell

Reflexion am Wölbspiegel (Konvexspiegel)

Ein Hohlspiegel oder Konkavspiegel ist nach außen gewölbt (zB. Weihnachtsbaumkugel).



Das Bild ist verkleinert und aufrecht.

Brechung des Lichts

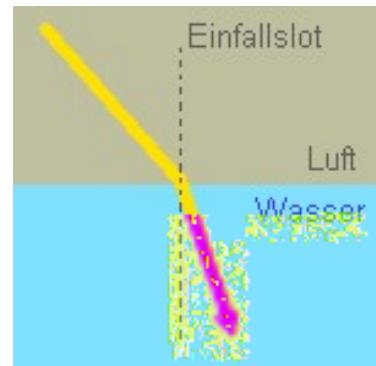
Brechungsgesetz

Wie Licht gebrochen wird, hängt von den verschiedenen Lichtgeschwindigkeiten des Lichts in den unterschiedlichen Stoffen ab.

Beim Übergang in ein optisch dickeres Medium (Lichtgeschwindigkeit dort geringer) wird das Licht zum Lot hin gebrochen. Der Brechungswinkel ist kleiner als der Einfallswinkel.

Beim Übergang in ein optisch dünneres Medium (Lichtgeschwindigkeit dort höher) wird das Licht vom Lot weg gebrochen. Der Brechungswinkel ist größer als der Einfallwinkel.

Beim senkrechten Auftreffen wird der Strahl nicht gebrochen.



optische Effekte der Lichtbrechung

Stab in der Wasserwanne

Steht zB. ein gerader Stab in einer Wasserwanne und guckt oben raus, dann sieht es so aus, als hätte der Stab an der Eintauchstelle einen Knick. Für den Betrachter befindet sich die Stabspitze unter Wasser genau auf der Verlängerung seines Blickes; aber das Licht wird gebrochen. Die Lichtstrahlen scheinen von einem höheren Ort zu kommen, der Stab erscheint zu kurz und abgeknickt.

Glasscheibe

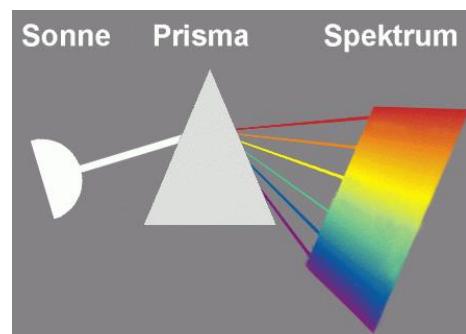
Licht durchscheint eine Glasscheibe. Das Licht kommt von der Luft ins Glas, wird gebrochen. Das Licht scheint mit veränderter Strahlungsrichtung durch das Glas. Das Licht tritt wieder aus, es wird zurückgebrochen.

Die Strahlungsrichtung ist nun wieder gleich – es hat aber eine Parallelverschiebung stattgefunden. Diese ist je größer, desto dicker das Glas.

optisches Prisma

Die Lichtbrechung beim Prisma ist ua. von der Lichtfarbe abhängig. Deshalb wird Licht mit Mischfarbe gestreut, einfarbiges Licht wie zB. rot hingegen nicht.

Licht wird aber je nach seiner Wellenlänge unterschiedlich gebrochen. Hochfrequentes, violettes Licht wird stärker gebrochen als, niedrfrequentes rotes Licht. Das wird vor allem beim Spektrum deutlich:



Totalreflexion

Ein Lichtstrahl trifft auf die runde Seite eines halbkreisförmigen Glaskörpers. Er tritt auf der kreisrunden Fläche immer senkrecht auf, wird also nicht reflektiert. An der Austrittsstelle kommt das Licht vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium und wird nach dem Reflexionsgesetz vom Lot weg gebrochen. Verändert man den Einfallswinkel, ändert sich auch der Winkel, mit dem der Lichtstrahl aus der ebenen Fläche wieder raus kommt.

Der Einfallwinkel zum Lot wird vergrößert, der Lichtstrahl auf der geraden Seite des Halbkreises „reitet“. Der Winkel, mit dem der Strahl auf der glatten Seite reitet, ist der **Grenzwinkel der Totalreflexion**.

Verändert man den Winkel zum Lot Richtung weiter, so streift der Lichtstrahl nicht mehr die glatte Seite, sondern wird von ihr wieder in den Glaskörper reflektiert: Totalreflexion.

fata morgana

Die heiße Luft auf dem Boden ist wärmer und somit optisch dünner als die Luft darüber.

Licht kommt in einem Winkel, der größer als der Grenzwinkel der Totalreflexion ist. Die heiße Luft reflektiert das Licht vollständig, hinter der Reflexionsstelle entsteht die fata morgana.

Optische Linsen

Sammellinsen

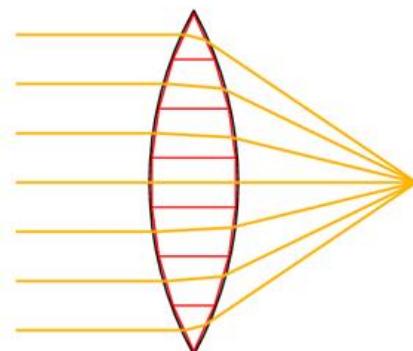
Sammellinsen sind konvex. Sie werden zur Vergrößerung verwendet.

Die parallel an kommenden Lichtstrahlen werden vor der Linse so abgelenkt, dass sie sich alle im Brennpunkt treffen.

Umgekehrt ist es möglich, die Lichtstrahlen einer punktförmigen Lichtquelle mit einer Sammellinse so zu lenken, dass sie parallel als Strahlenbündel verlaufen, beispielsweise für eine Lampe. Dafür muss die punktförmige Lichtquelle im Brennpunkt liegen.

Je weiter außen der Lichtstrahl auf die Linse trifft, desto stärker die Brechung. Ein Strahl, der genau auf die Mitte trifft, wird nicht gebrochen.

Je stärker und dicker die Linse ist, desto geringer ist ihre Brennweite, da das Licht stärker gebrochen wird.

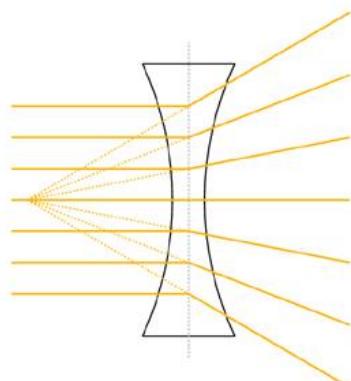


Zerstreuungslinsen

Zerstreuungslinsen sind konkav. Sie werden zur Verkleinerung verwendet.

Die parallel ankommenden Lichtstrahlen werden vor der Linse so abgelenkt, dass die Strahlen oberhalb der Mitte nach oben und die Strahlen unterhalb der Mitte nach unten abgelenkt werden. Alle Strahlen scheinen von einem virtuellen Brennpunkt auszugehen.

Je weiter außen der Lichtstrahl auf die Linse trifft, desto stärker die Brechung. Ein Strahl, der genau auf die Mitte trifft, wird nicht gebrochen.



Das Auge: Kurz- und Weitsichtigkeit

Die Netzhaut und die Augenlinse sind Sammellinsen, die Hornhaut ist die stärkere Linse. Normalerweise liegt der Brennpunkt des Linsensystems auf der Hornhaut.

Beim kurzsichtigen Auge liegt der Brennpunkt vor der Netzhaut. Die Korrektur erfolgt mit einer Zerstreuungslinse.

Beim weitsichtigen Auge liegt der Brennpunkt hinter der Netzhaut. Die Korrektur erfolgt mit einer Sammellinse.

Optische Geräte mit Linsen

Lupe

Die Lupe ist eine Sammellinse mit kleiner Brennweite und starker Wölbung.

Mikroskop

Das Okular ist ein Sammellinsensystem. Das Objektiv-Linsensystem hat eine kleine, stark gewölbte Sammellinse.

Fernrohr

Beim Fernrohr ist es andersrum wie beim Mikroskop, am Auge ist die kleinere, am Ende des Fernrohrs die größere Sammellinse. Beim normalen Fernrohr steht das Bild auf dem Kopf.

Farben

Regenbogen: Rot Orange Gelb Grün Blau Violett

Wellenlänge: 400 (violett) bis 750 (rot)

Hochfrequentes Licht (violett, kleinerer Wellenabstand) wird stärker gebrochen als niederfrequentes Licht (rot, größerer Wellenabstand). Daraus ist im Prisma das Violett unten und im Regenbogen das Violett auf der Innenseite.

Der Dopplereffekt

Beispiel Schall: Bewegt sich jemand auf die Quelle einer Schallwelle zu oder kommt die Schallquelle näher, trifft er öfter auf die Wellen, die Frequenz wird für ihn erhöht. Er hört also einen höheren Ton.

Entfernt sich jemand umgekehrt von der Schallwelle oder entfernt sich die Schallwelle, treffen die Wellen in größerem Abstand ein, die Frequenz sinkt. Die Person hört einen tieferen Ton.

Der Dopplereffekt tritt bei allen Wellenarten, also auch bei Licht, auf.

Wellenlehre

Die Höhe der Welle ist die Amplitude (die Höhe der Amplitude bestimmt die Lichtstärke).

Der Abstand der Wellen ist die Wellenlänge.

Die Frequenz gibt die Wellen pro Sekunde in Hertz an, 1 Hz. = 1 Schwingung pro Sekunde.

Es gilt: $\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit} = \text{Frequenz} * \text{Wellenlänge}$

Huygensche Prinzip

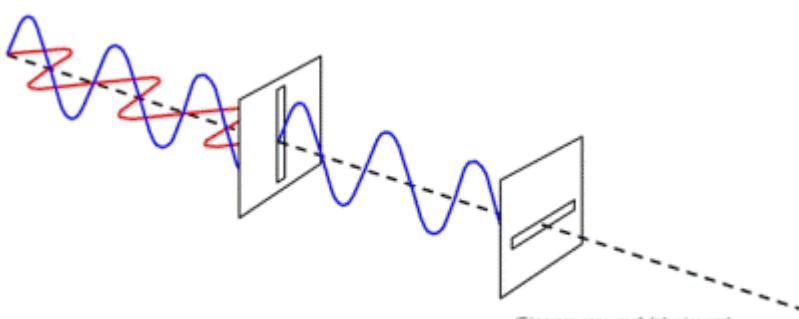
1. Trifft eine ebene Welle auf ein Hindernis mit einem Schmalen Spalt, gehen von diesem Spalt kreisförmige Wellen aus.
2. Trifft eine ebene Welle auf ein Hindernis mit vielen Spaltöffnungen, bilden sich hinter jedem Spalt kreisförmige Wellen die sich gegenseitig durchdringen und überlagern. Dadurch ergibt sich in einiger Entfernung wieder eine ebene Welle.

Interferenz von Wellen

Kollidieren verschiedene Wellen, „addieren“ sie sich und laufen dann ungestört weiter.

Polarisation von Licht

Licht ist eine elektromagnetische Welle. Sie schwingt senkrecht zur Ausbreitungsrichtung in allen Ebenen. Bringt man einen Polarisator in den Weg des Lichtes, kann nur Licht passieren, dass in Richtung der ausgerichteten Moleküle



(Diagram: resourcefulphysics.org)

schwingt. Lichtwellen mit anderen Schwingungsrichtungen wird absorbiert. Solches Licht ist polarisiert. Schraubt man einen Polarisationsfilter vor eine Kamera, können damit unerwünschte Reflexionen zB. an Glasscheiben verhindert werden.

Mechanische Wellen

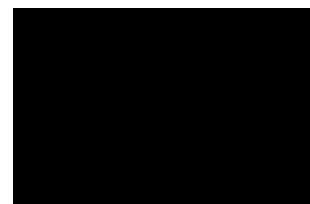
Eine mechanische Welle ist die Ausbreitung einer mechanischen Schwingung im Raum, zB. Schall. Man unterscheidet zwischen Transversalwellen (Querwellen) und Longitudinalwellen (Längswellen).

Bei Längswellen stimmen Schwingungsrichtung und Ausbreitungsrichtung überein. Der Schwingungsvektor verläuft parallel zur Ausbreitungsrichtung der Welle. „Vor-Zurück-Welle“. Beispiel: Schall, Erdbebenwelle.

Bei Querwellen stimmten Schwingungsrichtung und Ausbreitungsrichtung nicht überein.

Der Schwingungsvektor steht senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung der Welle. „Links-Rechts-Welle“.

Beispiel: Seilwellen, Wasserwellen.



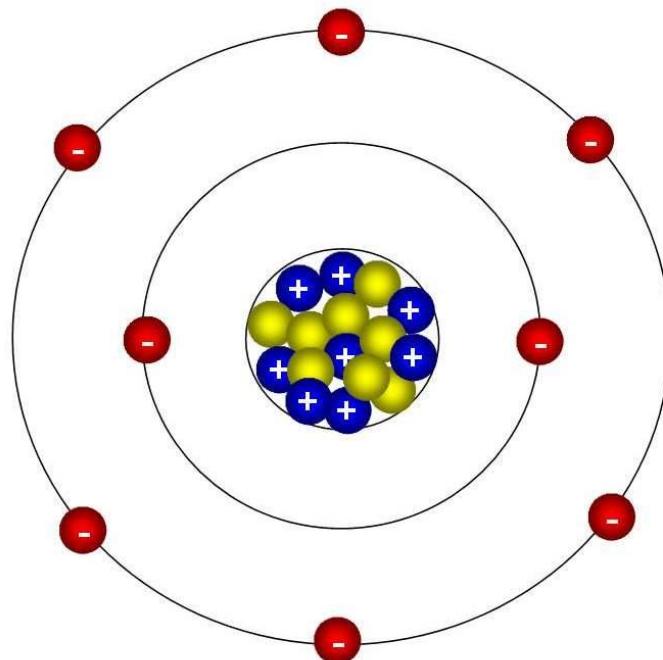
Elektrizität

Aufbau eines Atoms und elektrische Ladung

Atome bestehen aus einem Atomkern und einer Atomhülle.

Im Atomkern befinden sich positiv geladene Protonen und neutrale Neutronen. In der Hülle befinden sich negativ geladene Elektronen. Die Atome verschiedener Stoffe unterscheiden sich in der Anzahl der Protonen, Elektronen und Neutronen. Die Ladung eines Elektrons und eines Protons hat den gleichen Betrag, aber ein anderes Vorzeichen. Es ist die kleinstmögliche Ladung, die Elementarladung.

Ein Atom, das die gleiche Anzahl Elektronen in der Hülle und Protonen im Kern hat, ist elektrisch neutral. Ein Körper, der mehr Elektronen als Protonen hat, hat einen Elektronenüberschuss und ist elektrisch negativ geladen. Ein Körper, der mehr Protonen als Elektronen hat, hat einen Protonenüberschuss und ist elektrisch negativ geladen.



Sauerstoffatom

- ⊕ Protonen
- ⊖ Elektronen
- Neutronen

In einem Atom ist immer neutral geladen. Ist ein Elektronen- oder Protonenüberschuss vorhanden, handelt es sich um ein Ion.

Die elektrische Ladung (C) gibt an, wie groß der Elektronenüberschuss oder Elektronenmangel eines Körpers ist. Einheit: 1 Coulomb.

Ladung (C) = Anzahl der Ladungen (N) * Elementarladung (e)

Stromkreise

Elektronen können durch elektrische Leiter übertragen werden. Dabei wird mit den Elektronen elektrische Ladung transportiert. Am Minuspol herrscht Elektronenüberschuss, am Pluspol herrscht Elektronenmangel. Die Elektronen bewegen sich vom Minus- zum Pluspol.
Die gerichtete Bewegung elektrischer Ladungsträger ist der elektrische Strom.

Beim Gleichstrom hat die Stromquelle im Stromkreislauf einen festen Pluspol und einen Minuspol, der Strom fließt nur in eine Richtung.

Beim Wechselstrom wechseln Plus- und Minuspol ständig, die Stromrichtung ändert sich.

Stromleiter

Die Leitqualitäten eines Stoffes hängen ab von

- dem Material
- der Dicke
- und der Länge des Körpers

Kurzschluss und Leerlauf

Elektrischer Strom wählt den Weg des geringsten elektrischen Widerstandes. Deshalb wird er, wenn er kann, von einem Pol der elektrischen Quelle direkt zum anderen fließen ohne dabei durch ein Gerät zu gehen. Es handelt sich um einen Kurzschluss. Der elektrische Strom kann so groß werden, dass die Leitungen und die Quelle erhitzten und ggf. etwas entzünden. Schutz vor Kurzschluss geben Sicherungen, die bei einer bestimmten Stromstärke den Stromkreislauf unterbrechen.

Ist ein Gerät von der Stromquelle an mindestens einem Pol getrennt, arbeitet es ebenfalls nicht mehr und ist im Leerlauf.

Spannung (U)

Die elektrische Spannung (U) gibt an, wie stark der Antrieb des elektrischen Stroms ist. Die elektrische Spannung ist umso größer, je mehr Arbeit verrichtet werden muss, um Ladungen zwischen Punkten im Stromkreis zu bewegen. Einheit: Volt

$$\text{Spannung (U)} = \frac{\text{Arbeit (W)}}{\text{Stromstärke (Q)}}$$

In einer Spannungsquelle werden Ladungen voneinander getrennt. Dadurch entsteht am Pluspol ein Mangel an Elektronen und am Minuspol ein Elektronenüberschuss. Aufgrund der unterschiedlichen elektrischen Ladungen werden die Elektronen vom Pluspol abgestoßen und vom Minuspol angestoßen, die Elektronen setzen sich in Bewegung und es entsteht der elektrische Strom I. Zwischen Minus- und Pluspol entsteht eine Potentialdifferenz. Sind die Elektronen am Pluspol angekommen besteht für diese Elektronen keine Potentialdifferenz mehr, die Spannung ist null.

Stromstärke (I)

Aufgrund des Elektronenüberschusses am Minuspol werden Elektronen von diesem abgestoßen. Aufgrund des Elektronenmangels am Pluspol werden diese von ihm angezogen. Als Folge gehen die Elektronen auf Wanderschaft von – nach +, es entsteht ein elektrischer Strom.

Die Stromstärke Q ist die physikalische Größe für das Ausmaß der Ladungsbewegungen. Sie gibt an, wie viel elektrische Ladung sich pro Sekunde durch den Querschnitt eines elektrischen Leiters bewegt. Einheit der Stromstärke I: Ampere (Q).

$$\text{Stromstärke } I = \frac{\text{passierende elektrische Ladung } Q}{\text{Zeit } t}$$

→ umgestellt zur Ladung ergibt sich: **Ladung (Q) = Stromstärke (I) * Zeit (t)**

$$1 \text{ Ampere} = \frac{1 \text{ C (Coulomb)}}{1 \text{ S}} \rightarrow 1 \text{ C} = 1 \text{ A} * \text{s} \text{ (Amperesekunde)}$$

Wirkungen des elektrischen Stroms

1. Wärme- und Lichtentwicklung

Fließt Strom durch einen Leiter, erwärmt sich der Leiter. Ist der Strom groß und der Leiterquerschnitt klein, kann der Strom den Leiter zum Glühen bringen. Aus einem glühenden Draht treten Elektronen aus.

2. Magnetische Wirkung

3. Chemische Wirkung

Wenn der Leiter eine Flüssigkeit ist, wenn Strom beispielsweise durch Wasser fließt.

Elektrische Leitungsvorgänge

Feststoffe

Messungen ergeben, dass sich Elektronen nur sehr langsam, mit wenigen cm pro Sekunde, durch die Leitung begeben. Warum kann man dann einen Server in den USA innerhalb von 50 ms anpingen? Weil die Leitung voll mit Elektronen ist und sich die Elektronen aufgrund ihrer abstoßenden Wirkung gleichzeitig anschieben. Fließt Strom durch einen Leiter mit einem Widerstand, wird elektrische Energie in thermische Energie umgewandelt. Die Verlustleistung ändert sich dabei mit dem Quadrat der Stromstärke: **Verlust: $R * I^2$**

Um eine möglichst verlustfreie Übertragung von elektrischer Energie zu erhalten, sorgt man daher für geringen Strom, aber hohe Spannung.

Flüssigkeiten

Flüssigkeiten, die Strom leiten, werden Elektrolyte genannt. Legt man beispielsweise an eine Salzlösung Spannung, werden die Elektronen der Ionen in der Lösung vom entgegengesetzt geladenen Pol angezogen. **Elektrolyte sind also Ionenleiter.** Kommen die Ionen am Leiter an, werden die durch Abgabe bzw. Aufnahme von Elektronen entladen. Dadurch werden Elektronen, an Ionen gebunden, durch ein Elektrolyt transportiert.

Elektrischer Widerstand (R)

Im Leiter wird der elektrische Strom behindert, zB. Durch Kollision mit Ionen des Metallgitters des Leiters. Dieser Widerstand ist umso größer, je stärker der Stromfluss behindert wird. Die elektrische Spannung erzeugt und gewährleistet entgegen den Widerstand einen Strom.

Der elektrische Widerstand eines Gerätes gibt an, welche Spannung für einen elektrischen Strom der Stärke 1 A anliegen muss. Einheit: Ohm

$$\text{Widerstand } (R) = \frac{\text{Spannung } (U)}{\text{Stromstärke } (I)} \quad \rightarrow \quad 1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

Der Widerstand eines Leiters wird wie folgt berechnet:

Je länger, desto schlechter das Signal. Je dicker, desto besser das Signal.

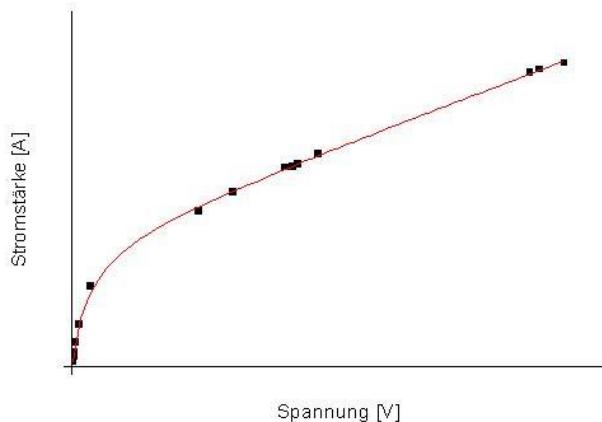
$$\text{Widerstand } (R) = p * \frac{\text{Länge des Leiters}}{\text{Querschnitt des Leiters}} \quad p = \text{spezifischer elektrischer Widerstand}$$

Der spezifische Widerstand eines Leiters steigt mit steigender Temperatur, da es bei höheren Temperaturen zu mehr Ion – Elektronenzusammenstößen kommt.

Das sieht man z.B. an der Kennlinie einer Glühlampe:

Mit steigender Stromstärke erhitzt sich der Draht, es steigt also auch der Widerstand.
Deshalb steigt, entgegen des Ohm'schen Gesetzes, die Stromstärke weniger stark als die Spannung.

→ Der Widerstand metallischer Leitungen steigt mit der Temperatur.



Schaltung von elektrischen Widerständen

Reihenschaltung

Es gilt:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_n$$

Die Stromstärke im Stromkreis kann wie eine Schlange betrachtet werden, die durch eine Leitung kriecht. Wird die Schlange an einer beliebigen Stelle gebremst, wird sie als Gesamtheit langsamer. So auch der Strom.

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3$$

Bei der Reihenschaltung addieren sich die Widerstände.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

U ist die Spannung, die am Pol gemessen wird.
U₁, U₂ und U₃ sind die Spannungen, die an R₁, R₂ und R₃ abfallen.

Parallelschaltung

Es gilt:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_n$$

Der Strom teilt sich in die verschiedenen Leiterbahnen auf.

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

Der Strom teilt sich zwar auf, die Spannung bleibt aber in jedem „Leiterarm“ gleich.

$$1/R_{\text{Ges}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

Der Gesamtwiderstand sinkt mit jedem parallel geschalteten Widerstand.

Transformator

Die öffentliche Stromversorgung erfolgt mit Wechsel- oder Drehstrom, nicht mit Gleichstrom. Grund dafür ist, dass man Wechselstrom mithilfe eines Transformators in jede andere Spannung umwandeln kann.

Legt man an die Primärspule eine Wechselspannung, so durchdringt das mit 100 mal in der Sekunde auf- und abbauende Magnetfeld die Sekundärspule. An der Sekundärspule wird eine mit derselben Frequenz an- und abschwellende Spannung induziert.

Es gilt:

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

$$P = U * I \rightarrow \text{Die Leistung bleibt gleich} \rightarrow U_1 * I_1 = U_2 * I_2$$

$$I_1 * N_1 = I_2 * N_2$$

Der Transformator kann nur an Wechselstrom angeschlossen werden.

Elektrische Energie und Arbeit (W)

Die vom elektrischen Strom verrichtete Arbeit ist gleich der umgewandelten Energie.

Die Leistung der elektrischen Arbeit Wattsekunde entspricht der mechanischen Arbeit Joule.

Einheit: $W = U * I * t$
 $1V * 1A * 1s = 1 \text{ Wattsekunde} = 1 \text{ Joule}$

Elektrische Leistung (P)

Die elektrische Leistung gibt an, wie viel elektrische Arbeit der elektrische Strom pro Sekunde verrichtet bzw. wie viel elektrische Energie pro Sekunde in eine andere Energieform umgewandelt wird. Einheit: Watt.

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{da } W = U * I * t \quad P = \frac{U * I * t}{t} \rightarrow P = U * I \quad \text{auch: } P = R * I^2$$

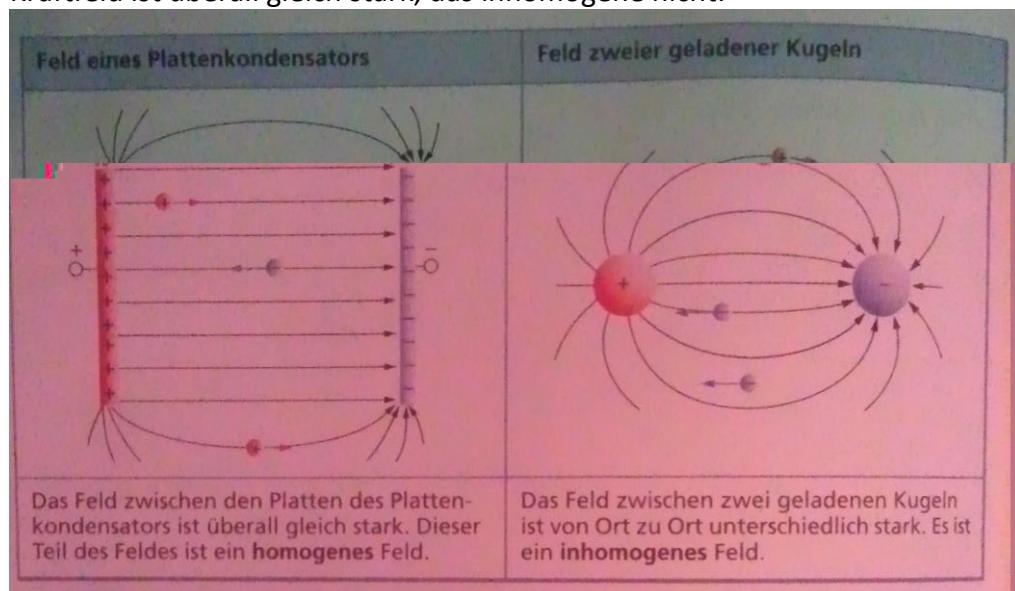
Elektrisches Feld

Zwischen elektrisch geladenen Körpern wirken anziehende oder abstoßende Kräfte. Ein elektrisches Feld ist der Zustand des Raumes um einen elektrisch geladenen Körper, in dem auf einen anderen geladenen Körper Kräfte ausgeübt werden. Elektrische Felder werden mit Feldlinien dargestellt. Für diese gelten:

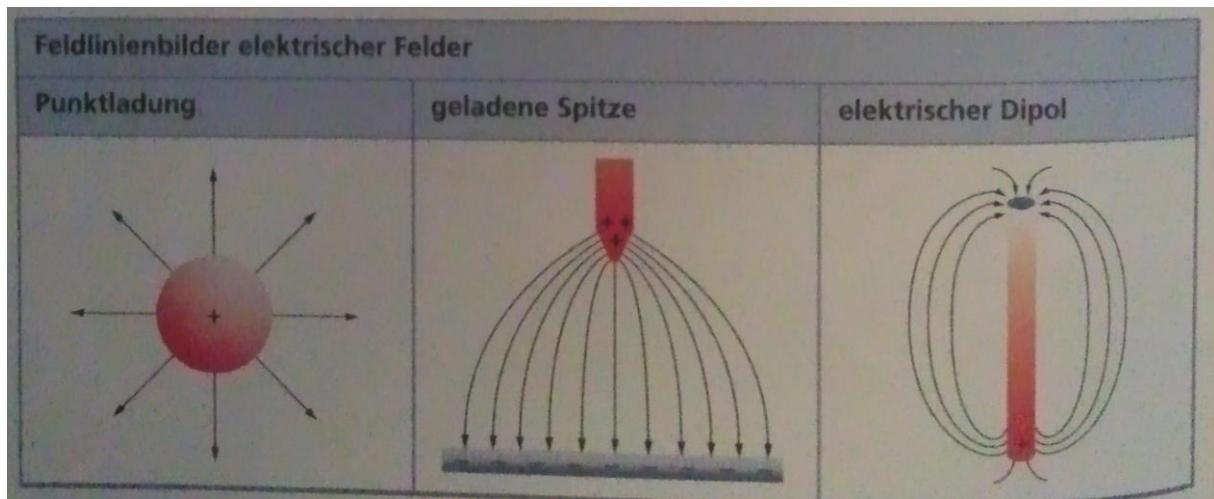
- Je mehr Feldlinien da sind, desto stärker das elektrische Feld
- Feldlinien laufen von plus nach minus
- Feldlinien stehen senkrecht auf den Leiteroberflächen (Elektronen)
- Die Richtung der Feldlinien gibt die Richtung der Kraft an

Innerhalb eines elektrischen Feldes können Bereiche durch einen geschlossene Metallfläche oder durch ein Drahtgeflecht abschirmen, man spricht vom **Faraday'schen Käfig**. Anwendung findet der faraday'sche Käfig zB. beim Blitzableiter und beim abgeschirmten Kabel (Koaxialkabel).

Es werden homogene und inhomogene elektrische Felder unterschieden. Das homogene Kraftfeld ist überall gleich stark, das inhomogene nicht.



Formen elektrischer Feldlinien:



Die Feldstärke eines Feldes wird bestimmt, indem an einem bestimmten Punkt die Kraft auf ein Ladungsteilchen festgestellt wird.

$$E = 1 \text{ Newton je Coulomb} \quad (1 \frac{N}{C}) \quad \text{oder} \quad 1 \text{ Volt je Meter Ladungsentfernung} \quad (1 \frac{V}{m})$$

Beispiel: Wie stark ist ein elektrisches Feld zwischen zwei Platten eines Plattenkondensators, zwischen denen eine Spannung von 10 V anliegt und die 1 cm voneinander entfernt sind?

Die Spannung bei 1 cm Abstand ist 10 Volt. $10 \text{ V} * 100 = 1000 \text{ V je Meter}$.

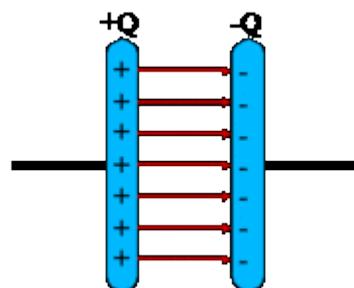
Plattenkondensator

Kondensatoren dienen zum Speichern von Ladungen. Sie können als Energiequelle mit begrenzter Kapazität genutzt werden.

Zwischen 2 Metallplatten befindet sich eine isolierende Luftschicht. Beide Platten werden elektrisch aufgeladen.

Die Ladekapazität wird in Farad angegeben (namensgebend ist der englische Physiker Michael Faraday).

Kapazität: $\frac{\text{gespeicherte Ladung (Q)}}{\text{anliegende Spannung (U)}}$



Werden die Platten wie im Bild geladen, liegt Spannung an. Erhöht man den Abstand der beiden Platten, steigt die Spannung an. Daraus folgt nach obiger Gleichung, dass die Kapazität mit steigender Spannung bzw. größerem Plattenabstand sinkt. $\rightarrow c = \frac{1}{d}$

Die gleichartigen Ladungen auf einer Platte stoßen sich gegenseitig ab. Die abstoßenden Kräfte steigen bei höherer Ladungsdichte und begrenzen die Speicherkapazität.

Die Speicherkapazität der Speicherkapazität nimmt daher proportional zur Plattengröße zu.

Magnetismus

Jeder Magnet hat einen Nord- und einen Südpol. An den beiden Polen wirken die größten anziehenden Kräfte, das heißt am Ende eines Magneten.

Magnetische Stoffe bestehen aus zahllosen „Mini-Magneten“, die für sich alle einen Nord- und Südpol haben, aber vollkommen durcheinander angeordnet sind und sich somit nach außen aufheben. Durch Magnetisierung richten sich die Mini-Magneten, die **Weiß'schen Bezirke** in eine Richtung aus, der magnetische Stoff wird zum Magnet. Diese Magnetisierung kann durch hohe Erhitzung (Glühen) oder durch starke Erschütterung aufgehoben werden.

Magnetische Felder werden dargestellt wie elektrische Felder.

- Die Feldlinien laufen vom Nordpol zum Südpol.
- Die Feldlinien sind stets geschlossen.
- Die Feldlinien versuchen sich zu verkürzen und stoßen sich einander ab.
- Magnetische Felder können mit anderem magnetischem Material (zB. Metall) abgeschirmt werden

Die **Feldstärke** wird in **Ampere pro Meter** gemessen.

Elektromagnetismus

Jeder elektrische Leiter ist bei Stromfluss von einem Magnetfeld umgeben. Besonders stark ist es, wenn der Leiter eine Spule mit Eisenkern ist da sich die Magnetfelder der Spulenabschnitte überlagern. Der Nordpol liegt in Richtung des Stromes.

Die **magnetische Feldstärke** steigt, je mehr Windungen die Spule hat und je höher die Stromstärke. Die Feldstärke sinkt, je länger die Spule.

$$\text{Feldstärke} = \frac{\text{Anzahl Windungen} * \text{Stromstärke}}{\text{Länge der Spule}}$$

Die **magnetische Kraft** wächst proportional mit der Stromstärke, mit der Leiterlänge und der Stärke des Magnetfeldes.

Lorentzkraft

Die Lorentzkraft wirkt auf die bewegten Elektronen in einem stromdurchflossenen Leiter.

Zur Ermittlung der Kraft wird die „Rechte-Hand-Regel“ benutzt.

Elektromagnetische Induktion

Lenz'sches Gesetz: Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er die Ursache seiner Entstehung hemmt.

Induktion mit Bewegung

Bewegt man nun die Elektronen dem Leiter in einem Magnetfeld, wirkt die Lorentzkraft auf die beweglichen Elektronen; im Metall entsteht ein Stromfluss; ein Stromfluss wird induziert. Der durch eine Induktion hervorgerufene Strom heißt Induktionsstrom.

Es gelten folgende Gesetze:

- je schneller die Bewegung des Leiters im Magnetfeld, desto höher der Strom
- kehrt man die Bewegungsrichtung um, kehrt auch der Strom um
- Strom fließt nur, wenn der Leiter „durch“ die Feldlinien geht

Induktion ohne Bewegung

Ohne Bewegung kann nach Faraday ein Strom induziert werden, wenn die Stärke des Magnetfelds zB. durch einen Stellwiderstand geändert wird. Bewegt man einen Leiter, am besten eine Spule, da diese mit steigender Anzahl von Windungen mehr Induktionsstrom liefert, in ein

Magnetfeld und bewegt die Spule nicht mehr, entsteht ein kurzer Strom, der schnell wieder erlischt, obwohl das Magnetfeld noch aktiv ist. Wird die Stärke des Magnetfelds nun ständig geändert, bleibt der Strom erhalten. Es gilt: Je mehr Windungen die Spule hat, desto besser.

Selbstinduktion

Wird ein Stromkreis eingeschaltet, in dem sich eine Spule befindet, baut sich ein Magnetfeld auf. Dieses Magnetfeld wirkt auch auf die aufbauende Spule. Das nennt man Selbstinduktion. Durch Selbstinduktion kann es dazu kommen, dass auch nach dem Ausschalten eines Geräts in ihm noch Strom fließt. Anwendung der Selbstinduktion:

Wechselstromgenerator

Durch eine sich drehende Leiterschleife im Magnetfeld eines Generators wird Spannung erzeugt (Ein Generator hat viele sich drehende Leiterschleifen). Da nur Spannung entsteht, wenn ein Leiter eine Feldlinie schneidet, liefert der Generator am meisten Spannung, wenn die Leiterschleife im Winkel von 90° zur Feldlinie steht. Im Winkel von 0 Grad wird keine Spannung erzeugt. Die Stärke der gelieferten Spannung schwankt also je nach Winkel. Die Spannungskurve entspricht einer Sinuskurve. Da die Spannung immer auf und ab geht, liefert der Generator keinen gleichmäßigen Strom, sondern Wechselstrom.

In Kraftwerken wird ein Wechselstrom mit 220 V und 50 Hz Frequenz erzeugt.

Drehstromgenerator

Beim Gleichstromgenerator rotiert ein Magnet in einem „Tunnel“. An der Innenwand der Tunnel sind im Abstand von 120° 3 Induktionsspulen. Durch die Rotation des Magneten entsteht an jeder einzelnen Spule, genau wie beim Wechselstromgenerator, Wechselspannung. Da aber 3 Spulen da sind, die um $1/3$ Umdrehung verzögert Strom liefern, überlappen sich 3 Sinuskurven.

Der Wechselstromkreis

In einem Wechselstromkreis ändern sich die Polung, die Richtung und der Betrag der Spannung zeitlich periodisch mit der Frequenz.

Die Effektivwerte von Wechselstrom rufen dieselbe Wirkung hervor wie Gleichstrom mit denselben Werten.

Beim Stromfluss von Wechselstrom durch einen ohm'schen Widerstand wird aufgrund der Wechselwirkungen von Elektronen und Metall-Ionen elektrische Energie in Wärme umgewandelt. Durchlauferhitzer, Wasserkocher etc. funktionieren auf diese Weise.

Induktionswiderstand

Der elektrische Widerstand einer Spule im Wechselstromkreis ist höher. Das liegt am Lenz'schen Gesetz, das besagt, dass der Induktionsstrom immer seiner Ursache entgegenwirkt. Der Induktionsstrom richtet sich also gegen den ursprünglichen Strom im Stromkreislauf. Diesen Widerstand nennt man Induktionswiderstand.

Kondensatoren im Wechselstromkreis

Im Gleichstromkreis unterbricht der Kondensator den Stromfluss. Im Wechselstromkreis hingegen wird er ständig be- und entladen. Da der Kondensator irgendwann voll ist, setzt der Kondensator dem Stromfluss einen kapazitiven Widerstand entgegen.

Berechnung der Kapazität von geschalteten Kondensatoren

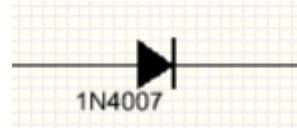
Berechnung wie bei den Widerständen, nur umgekehrt.

Reihenschaltung: $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n$

Parallelschaltung: $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$

Gleichrichter – Diode und Kondensator

Die Diode ist ein Bauteil, das den elektrischen Strom nur in einer Richtung hindurchfließen lässt. In der anderen sperrt sie den Strom. Nun sperrt aber der „Strich“ nicht immer. Ist die elektrische Spannung zu groß, dann bricht die Diode durch und wird dadurch meistens zerstört. Dioden sperren also nur bis zur zulässigen Betriebsspannung, ihrer sog. Sperrspannung.



Um beim Wechselstrom in einem Stromkreis mit einer Diode Spannungsabfälle zu vermeiden, kann ein Kondensator hinter die Diode geschaltet werden.

Elektromagnetische Schwingungen

Der geschlossene Schwingkreis

Beim geschlossenen Schwingkreis handelt es sich um eine Parallelschaltung von Spule und Kondensator. Anfangs ist der Kondensator geladen. Vom Kondensator fließt Strom in die Spule. Um die Spule entsteht ein Magnetfeld. Durch die Induktion in der Spule entsteht steigt der Strom und die Spannung sinkt, der den Kondensator auflädt. Dann entlädt sich wieder der Kondensator, usw.

Gedämpfte und ungedämpfte Schwingungen

Wird in einem Stromkreis einmalig Energie zugeführt, z.B. durch das Aufladen eines Kondensators (s. Schwingkreis), kommen die Schwingungen irgendwann zum Erliegen. Das kann z.B. daran liegen, dass elektrische Energie in der Spule und in den Leitern z.T. in Wärme umgewandelt wird. **Die Stromstärken- und Spannungsquellen fallen immer weiter ab – es liegt eine gedämpfte Schwingung vor.**

Um eine ungedämpfte Schwingung zu erhalten, muss dem Stromkreislauf immer so viel Energie zugeführt werden, wie umgewandelt wird.

Radioaktivität

Atomkerne radioaktiver Isotope senden Teilchen aus und wandeln sich dabei in Atomkerne eines anderen Elements um.

Strahlung

α-Strahlung

Heliumkerne; sie sind also aus zwei Protonen und zwei Neutronen zusammengesetzt.
Wird schon durch Papier abgeschirmt

β-Strahlung

Elektronen.

Wird durch millimeterdicke Aluminiumplatten zurückgehalten.

γ-Strahlung

unsichtbare, energiereiche Röntgenstrahlung.

Wird erst durch dicke Bleiplatten abgehalten.

Kosmische Strahlung

Sehr schnelle Teilchen, v.a. Protonen aus dem Weltraum.

Sorgt in der Atmosphäre für die Freisetzung von β-Strahlen und γ-Strahlen.

Diese resultierende Strahlung wird größtenteils von der Atmosphäre absorbiert; ein kleiner Teil erreicht die Erdoberfläche. Sie ist daher besonders in der Höhe stark.

Terrestrische Strahlung

Geht von Gestein und Baustoffen aus.

Steine enthalten nämlich oft Spuren von Radium, Uran usw.

Halbwertszeit

Die Halbwertzeit ist die Zeit, in der jeweils die Anzahl der radioaktiven Kerne eines Elements auf die Hälfte ihres ursprünglichen Wertes absinkt; danach zerfallen pro Sekunde auch nur noch halb so viele Kerne wie zu Beginn

Strahlenschutzmittel

Schutzbrille, Ohrwatte, Ohrscherzer, Gesichtsschutz, Schutanzüge,
Abschirmungen mit Lithium, Bor oder Blei, Belastungsüberwachung mittels zu tragenden Dosimetern.