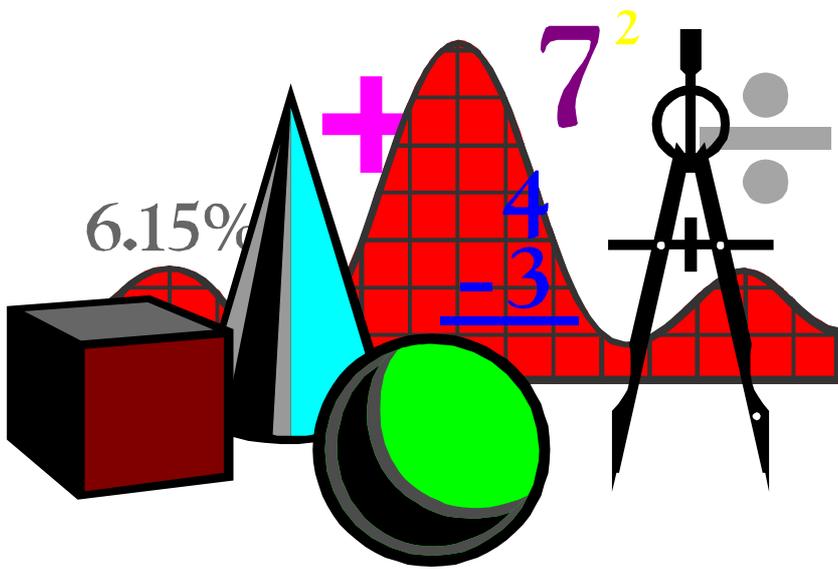


PHYSIK



Andreas Jerrentrup

PHYSIKUM

Vorwort

Das Fach Physik erfreut sich bei Medizinerinnen und insbesondere bei Physikumskandidaten allgemeiner Unbeliebtheit, weshalb es häufig komplett vom persönlichen Lernplan gestrichen wird. Der Lernaufwand für die im Physikum gestellten relativ wenigen Fragen erscheint hoch - zu hoch um sich intensiv mit dem Fach auseinanderzusetzen.

Als Alternative zum Durcharbeiten von Physik-Lehrbüchern ist dieses Skript gedacht. Es bezieht sich direkt auf die physikalischen Grundlagen, auf denen die meisten der in den letzten 5 Jahren gestellten Fragen basieren. Diese Grundlagen werden mit möglichst wenigen Formeln möglichst kurz, aber dabei so ausführlich beschrieben, daß damit fast alle der in den letzten Jahren gestellten Fragen gelöst werden können. Das Skript enthält das Grundwissen zum Physik-Unterricht der Medi-Learn-Kurse und soll deshalb bis zum Unterrichtsbeginn bearbeitet sein.

Das Lesen eines Skriptes oder Lehrbuchs beruhigt zwar das Gewissen, reicht aber oft noch nicht zum nötigen wirklichen Verständnis. Das Verständnis läßt sich trainieren, indem man sich selber Fragen zum Text stellt, und versucht, diese zu beantworten. Eine Reihe von solchen Fragen ist mit großen Fragezeichen markiert in das Skript eingearbeitet.



Zuguterletzt ist natürlich noch ein Trainieren der IMPP-typischen Fragen mit der schwarzen oder gelben Reihe nötig, um sich an die „Denkweise“ des IMPP zu gewöhnen.

Noch ein Bearbeitungshinweis für dieses Skript: Bruchstriche werden der Einfachheit halber als Querstriche (/) geschrieben. Ein Beispiel: Die Einheit des Drucks, Pascal, ist umgerechnet in SI-Einheiten:

$$Pa = \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Im Skript erscheint die Einheit dann in der Form: Pa = kg / m s²

Das IMPP bevorzugt häufig eine noch etwas andere Schreibweise. In den Physikums-Fragen würde das eventuell so aussehen:

$$Pa = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$$

Viel Spaß und viel Erfolg !

Inhalt

1. Grundbegriffe des Messens und der quantitativen Beschreibung	4
2. Mechanik	7
3. Struktur der Materie	12
4. Wärmelehre	13
5. Elektrizitätslehre	17
6. Schwingungen und Wellen	22
7. Optik	25
8. Ionisierende Strahlung	29
9. Index	32

1. Grundbegriffe des Messens und der quantitativen Beschreibung

Eine physikalische Größe besteht aus Maßzahl und Einheit.
z.B. 3 kg: 3 ist die Maßzahl, kg die Einheit.

Division einer Größe durch deren Einheit: ergibt die Maßzahl

Es gibt BASISGRÖßEN und -EINHEITEN:

SI-Einheiten (Système International d'Unités)

Größe	[Einheit]	Bedeutung
Länge (z.B. Weg, Strecke)	m	Meter
Zeit	s	Sekunde
Masse	kg	Kilogramm
elektrische Stromstärke	A	Ampere
Temperatur	K	Kelvin
Stoffmenge	mol	Mol
Lichtstärke	cd	Candela

Alle anderen Größen lassen sich daraus zusammensetzen: „abgeleitete Größen“.
So z.B. die Geschwindigkeit

$$v = \text{Weg}/\text{Zeit} = s/t = [\text{m/s}]$$

v=Geschwindigkeit s=Weg bzw. Strecke t=Zeit
(Einheiten in eckigen [] Klammern.)

Einheiten können verschiedene Dimensionen haben:

Länge z.B. km, m, cm, mm, ...

Nur Größen gleicher Dimension können miteinander verrechnet werden!

→ Sehr beliebter Fehler !!!

Um z.B. Km/h mit m/s verrechnen zu können, muß man einen der Werte in die andere Dimension umrechnen. 50 Km/h ist also umgerechnet in m/s (1 km = 1000m ; 1 h = 3600s):

$$50 \text{ km/h} = 50 \cdot (1000\text{m}/3600\text{s}) = 50 \cdot (1\text{m}/3,6\text{s}) = 14 \text{ m/s}$$

Gerne wird nach Vorsilben vor den Einheiten gefragt:

Buchstabe	G	M	k	h	c	m	µ	n	p
Vorsilbe	giga	mega	kilo	hekto	centi	milli	micro	nano	pico
Potenz	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ²	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²

Frage:

Welche der folgenden Längenangaben ist nicht äquivalent zu $7 \mu\text{m}$?

(A) 7000 nm (B) $0,007 \text{ mm}$ (C) $7 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ (D) $7 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$ (E) $7 \cdot 10^3 \text{ nm}$

?

Hier verschiedene „Abgeleitete Größen“ und ihre Dimensionen, nach denen das IMPP immer wieder gerne fragt:

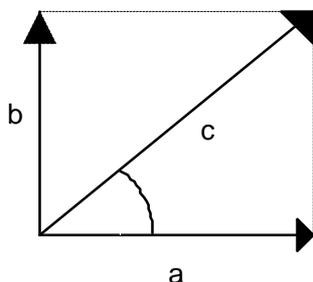
Abgeleitete Größe	[Einheit]	Kommentar
Dichte (temperaturabhängig)	kg / m^3	
Beschleunigung	m / s^2 oder km / h^2	
Kraft (=Beschl. · Masse)	$\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$	$\text{N} = \text{Newton}$
Energie und Arbeit	$\text{J} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$	$\text{J} = \text{Joule}$
Drehmoment	$\text{J} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$	wie Energie(Arbeit)
Impuls	$\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}$	= Masse · Geschwindigkeit
Druck	$\text{Pa} = \text{kg} / \text{m} \cdot \text{s}^2$	$\text{Pa} = \text{Pascal}$
Leistung	$\text{J/s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3$	Energie(Arbeit) / Zeit
elektrische Leistung	$\text{W} = \text{V} \cdot \text{A}$	$\text{W} = \text{Watt}$, $\text{V} = \text{Volt}$
elektrische Ladung	$\text{C} = \text{A} \cdot \text{s}$	$\text{C} = \text{Coulomb}$
elektrische Feldstärke	V / m	$\text{V} = \text{Volt}$
elektrischer Widerstand	$\Omega = \text{V} / \text{A}$	$\Omega = \text{Ohm}$, $\text{V} = \text{Volt}$
spezif. Wärmekapazität	$\text{J} / \text{kg} \cdot \text{K}$	$\text{K} = \text{Kelvin}$, nicht Celsius
molare Masse	kg / mol	Kilogramm pro Mol

Statt Joule wurde früher die Einheit Kalorien verwendet. (bekannt?)

Als Energieeinheit (und Arbeitseinheit) kann auch eV (Elektronenvolt) verwendet werden.

Vektorielle Größen haben zusätzlich zur Maßzahl und Einheit noch eine Richtung
 Vektoren sind z.B.: Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Impuls, elektrische Feldstärke, Gewicht.

Vektoren kann man mit Vektorparallelogrammen (Abbildung) in Komponenten zerlegen, sie addieren usw.



$$\text{Vektor } c = \text{Vektor } a + \text{Vektor } b$$

Klar wird dieses, wenn man sich Vektor b nach rechts verschoben vorstellt. Man fährt erst Vektor a, dann Vektor b entlang und kommt zum Endpunkt von Vektor c.

Skalare sind ungerichtete Größen, also Größen die keine Richtung haben: z.B. Dichte, Zeit, Temperatur, Masse, Arbeit, ...

Kommen wir jetzt zu den Meßfehlern beim Messen:

Bei jeder Messung können Fehler auftreten, man unterscheidet zufällige (z.B. durch ungenaues Ablesen des Meßergebnisses,...) und systematische (z.B. durch fehlerhafte Eichungen, ...).

Zufällige Fehler (statistische Fehler)

beeinflussen das Meßergebnis in beide Richtungen, sind nicht vermeidbar, können aber durch eine große Anzahl von Messungen minimiert werden (je mehr Messungen, desto kleiner die Zufallsfehler).

Systematische Fehler

beeinflussen das Meßergebnis in eine Richtung, sind vermeidbar (wenn man die Ursache findet und beseitigt) und können durch viele Messungen nicht minimiert werden!

Fehler in Zahlen Man unterscheidet den absoluten Fehler (absolute Meßunsicherheit) und den relativen Fehler (relative Meßunsicherheit).

Absolute Fehler werden mit einem absoluten Fehlerintervall angegeben:

$$20 \text{ m} \pm 2 \text{ m}$$

Relative Fehler werden prozentual angegeben:

$$20 \text{ m} \pm 10 \% \quad \text{Der relative Fehler hat keine Einheit !}$$

Den Mittelwert

einer Meßreihe bildet man, indem man alle Werte der Meßreihe addiert und durch die Anzahl der Messungen dividiert:

Meßergebnisse: 10,10,8,12,13,10,7,10

Aufaddiert: 80

Messungen: 8

Mittelwert: 10

Zusätzlich zum Mittelwert wird häufig noch die Standardabweichung angegeben, die um so größer ist, je weiter die Einzelwerte der Meßreihe vom Mittelwert der Meßreihe abweichen, und je mehr Werte vom Mittelwert abweichen

Die Formel der Standardabweichung lautet:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Formel Standardabweichung des Mittelwertes:

$$\bar{S} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

\bar{S} = Standardabweichung des Mittelwertes, S = Standardabweichung,
n = Anzahl Einzelmessungen

Fragen:

Wie verhalten sich Arbeit, Energie und Leistung zueinander ? (Einheiten!)

Welche Beziehung hat das Drehmoment zu beiden Größen ?

Warum ist „Gewicht“ ein Vektor? Was ist überhaupt „Gewicht“ ?



2. Mechanik

Die (mittlere) Geschwindigkeit (v) ist der zurückgelegte Weg (s) durch die benötigte Zeit (t):

$$v = s / t$$

Im Weg-Zeit-Diagramm ist die mittlere Geschwindigkeit die Gerade vom Anfangs- zum Endpunkt. Zu unterscheiden davon ist die momentane Geschwindigkeit. Sie ist um so größer, je steiler die Kurve im Weg-Zeit-Diagramm ansteigt. Flache Abschnitte im Weg-Zeit-Diagramm (ohne Steigung) haben die Geschwindigkeit: 0 [m/s] !

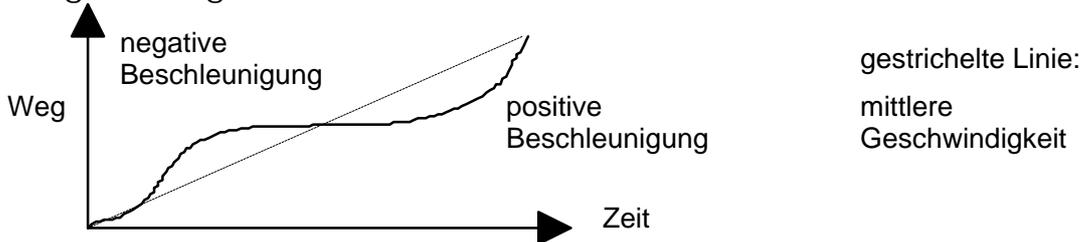
Die (mittlere) Beschleunigung (a) ist die Geschwindigkeit (v) pro Zeiteinheit (t):

$$a = v / t$$

Ein „Steilerwerden“ im Weg-Zeit-Diagramm bedeutet eine positive Beschleunigung (beschleunigen), ein Abflachen der Kurve bedeutet eine negative Beschleunigung (bremsen !).

Keine Kurve (Gerade): Beschleunigung = 0 [m/s²] , oder anders gesagt: konstante Geschwindigkeit !

Ein Weg-Zeit-Diagramm



Für Interessierte: Das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm sieht also wie die erste Ableitung des Weg-Zeit-Diagramms aus (es ist ja auch die erste Ableitung). Bezogen auf den Weg und die Beschleunigung ergibt sich bei gleichförmig beschleunigten (=konstante Beschleunigung) Bewegungen folgende Formel:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Eine gleichförmig beschleunigte Bewegung ist z.B. die Fallbewegung weil als Beschleunigung die Erdbeschleunigung g wirkt (die beträgt 9,81 [m/s²]). Man setzt also g statt a in die Formeln ein und beim Fallen gilt für den Weg: $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ und Geschwindigkeit: $v = g \cdot t$. Daran ist schön zu sehen: Alle Körper fallen gleich schnell, egal wie schwer sie sind !!

Alle Körper fallen gleich schnell?? Sehr seltsam ...

Also: Unter welchen Bedingungen trifft diese Theorie wohl zu? Warum gilt das nicht für die „Realität“? Mit welchem realen Experiment konnte schon vor einigen hundert Jahren nachgewiesen werden, daß die Theorie stimmt?



Wenn man einen Körper nun auf eine bestimmte Geschwindigkeit beschleunigt hat, besitzt er einen bestimmten Impuls, der sich aus dem Produkt seiner Masse und der erreichten Geschwindigkeit errechnet:

$$\text{Impuls} = m \cdot v \quad \text{Einheit: [kg} \cdot \text{m / s]}$$

Für den Impuls gilt der sogenannte Impulserhaltungssatz, der besagt, daß in einem geschlossenen System die Summe aller Impulse gleich bleibt. Beim Zusammenstoß von zwei Körpern kann man diese Körper als geschlossenes System begreifen, die Impulse der beiden Körper übertragen sich - die Körper werden entsprechend ihrer Masse in ihre entgegengesetzte Bewegungsrichtung beschleunigt. Je größer die Masse eines Körpers gegenüber der Masse des „Stoßpartners“ ist, desto geringer ist seine entgegengesetzte Geschwindigkeit nach dem Zusammenstoß natürlich. Genial ausgenutzt wird dieses Prinzip z.B. von der Mercedes S-Klasse - als Knautschzone wird der (leichtere) Unfallgegner verwendet...

Kräfte:

2. Newtonsches Axiom

„Wirkt auf einen Körper der Masse m eine Kraft F , so erfährt er die Beschleunigung a “.
Wenn eine Kraft auf einen Körper einwirkt, wird er entweder beschleunigt oder abgebremst.

$$\text{Kraft: } F = m \cdot a \quad \text{Einheit: [kg} \cdot \text{m / s}^2 \text{]} = [\text{N}] \text{ (Newton)}$$

Jeder Körper wird auf der Erde mit der Erdbeschleunigung g (s.o.) zur Erde hin gezogen, auf ihn wirkt also die Gewichtskraft $F = m \cdot g$

3. Newtonsches Axiom:

„actio=reactio“

Wirkt ein Körper mit einer bestimmten Kraft auf einen anderen, so wirkt der zweite Körper mit einer gleich großen, aber entgegengesetzten Kraft auf den ersten Körper.

$$F_1 = - F_2$$

Dies besagt: eine Kraft kann im statischen Gleichgewicht als Größe der Gegenkraft gemessen werden (z.B. Balkenwaage).

Hookesches Gesetz Die Auslenkung einer Feder (im elastischen Bereich) ist proportional zur Zugkraft an ihr. Die Deformation des elastischen Körpers (der Feder) zeigt also die Kraft an (Federwaage).

Eine weitere gerne gefragte Kraft ist die Auftriebskraft eines Körpers in einer Flüssigkeit. Sie ist gleich der Gewichtskraft des vom Körper verdrängten Flüssigkeitsvolumens. Wenn ein Körper ganz eingetaucht ist, ist der Auftrieb des Körpers nur noch abhängig vom Volumen des Körpers (*gleich verdrängtes Flüssigkeitsvolumen*) und der Dichte der Flüssigkeit.

Wenn die Auftriebskraft gleich der Gewichtskraft des Körpers ist ... schwebt der Körper (in der Flüssigkeit). Wenn die Auftriebskraft größer ist, steigt er oder schwimmt er, wenn die Auftriebskraft kleiner ist: sinkt er.

Kohäsions- und Adhäsionskräfte

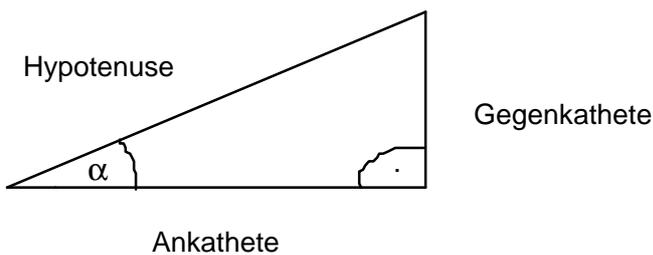
Innerhalb eines Stoffes wirken die Kohäsionskräfte als Anziehungskräfte zwischen gleichen Teilchen, während die Adhäsionskräfte die Anziehungskräfte zwischen unterschiedlichen Teilchen (Stoffen) sind. Adhäsionskräfte sind also die Kräfte die an „Grenzflächen“ herrschen.

Mit diesen Kräften kann man das Verhalten von benetzenden und nicht benetzenden Flüssigkeiten beschreiben: Man stellt sich eine Flüssigkeit in einem Glas vor. Wenn sie benetzend ist, überwiegen die Adhäsionskräfte, und die Flüssigkeit zieht sich etwas an der Glaswand hoch. Wenn die Flüssigkeit nicht benetzend ist (z.B. Quecksilber), fällt die Flüssigkeit zur Glaswand etwas ab, weil die Kohäsionskräfte stärker als die Adhäsionskräfte sind.

In Kapillaren (engen Gefäßen) kann sich eine benetzende Flüssigkeit durch die Adhäsionskräfte „hochziehen“ (*Kapillarsension*), bis der Schweredruck der Flüssigkeit und die Grenzflächenspannung im Gleichgewicht sind. Die Steighöhe ist dabei nicht abhängig von der Viskosität der Flüssigkeit !

Bei nicht benetzenden Flüssigkeiten (z.B. Quecksilber) ergibt sich eine Kapillardepression, d.h. der Flüssigkeitsspiegel sinkt in der Kapillare.

Um Kräfte und vor allem Kraftvektoren noch genauer zu verstehen, machen wir jetzt einen kurzen Erinnerungsausflug in die Schulmathematik, genauer: zur Berechnung von rechtwinkligen Dreiecken.

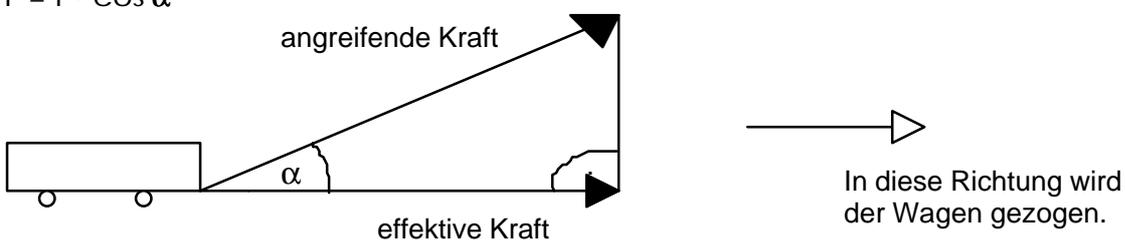


es gilt: $\sin a = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$ und $\cos a = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$

Wie aus den Formeln ersichtlich, können mit Hilfe des Sinus, bzw. Des Cosinus zwei Seiten eines rechtwinkligen Dreiecks berechnet werden, wenn eine Seite und ein Winkel (außer dem 90°-Winkel) bekannt sind. Dies wird z.B. benötigt, wenn Kräfte eine mechanische Bewegung bewirken, jedoch nicht im gleichen Winkel wie die Bewegung am entsprechenden Körper angreifen:

Verschiebt man einen Körper entlang einer Strecke und greift dazu mit einer Kraft in einem bestimmten Winkel α an (z.B. bei einem Leiterwagen), so ist die effektive (d. h. zur Strecke parallele) Kraft die „Ankathete“ der angreifenden Kraft, also:

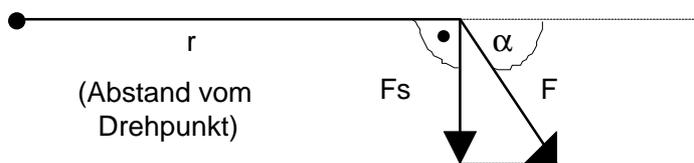
$F = F \cdot \cos \alpha$



Das Drehmoment(M) ist definiert als Produkt aus dem Abstand vom Drehpunkt und der angreifenden Kraft und der Kraftkomponente, die senkrecht zum Hebelarm wirkt (F_s). Die effektive Kraftkomponente ist nicht wie im obigen Beispiel die parallele, sondern die *senkrechte* Komponente. Somit gilt:

$$M = r \cdot F_s \quad \text{oder} \quad M = r \cdot F \cdot \sin \alpha \quad \text{Einheit: [Nm]} \quad r = \text{Abstand vom Drehpunkt in [m]} \\ \alpha = \text{Winkel zwischen Kraft und Weg}$$

$F \cdot \sin \alpha$ gibt den Teilvektor der Kraft, der senkrecht zum Hebelarm wirkt, nämlich F_s . Die Erklärung zum Drehmoment hört sich etwas kompliziert an, die Zeichnung zeigt das eigentlich doch nicht so komplizierte Drehmoment nochmal:



Das Hebelgesetz sagt, daß beim zweiarmigen Hebel ein Gleichgewicht herrscht, wenn die beiden Drehmomente gleich sind (dann würde eine Wippe gerade stehen).

Fragen:

Dick und Doof sitzen auf einer Wippe. Die Wippe geht an dem Ende, an dem Dick sitzt, zu boden, Doof hängt in der Luft. Wie läßt sich die Wippe ausbalancieren, und was sind die physikalischen Grundlagen dafür?



Arbeit (W) ist definiert als Produkt aus Kraft und Weg - leicht zu verstehen. Oder noch genauer, als Produkt aus der Kraft, die in Wegrichtung wirkt mal Weg (alle anderen Krafrichtungen sind „unnütze Kraft“. Manchmal hat die Mechanik auch philosophische Momente). Hier kommt also wieder die effektive Kraft aus dem Beispiel mit dem Leiterwagen ins Spiel: um die geleistete Arbeit zu ermitteln, muß man nur die errechnete „effektive Kraft“ mit der zurückgelegten Strecke multiplizieren:

$$W = F \cdot s \quad \text{genauer:} \quad W = F \cdot s \cdot \cos \alpha \quad \text{Einheit: [J] (Joule) = [Nm]} \\ \alpha = \text{Winkel zwischen Kraft und Weg}$$

Wie wir alle Wissen, gibt es Arbeit ja nun leider in unendlich vielen verschiedenen Formen. Hier noch einige Beispiele für weitere wichtige „physikalische“ Arbeiten:

Hydrostatischer Druck:

$$p = \Delta h \cdot \rho \cdot g$$

Δh = Eintauchtiefe bzw. Höhe einer Flüssigkeitssäule;
 ρ = Dichte der Flüssigkeit; g = Erdbeschleunigung.

Die Schubspannung auch Scherspannung genannt, stellt ebenso wie der Druck eine Kraft auf eine bestimmte Fläche dar und hat deshalb die gleiche Einheit wie der Druck: Pascal = N / m².

Strömung von Flüssigkeiten:

Die Stromstärke (Flüssigkeitsmenge pro Zeit) ist in einem geschlossenen unverzweigten System an allen Stellen gleich (sonst gäb's ja Stau). Daraus folgt, daß die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit um so größer wird, je kleiner der Rohrquerschnitt wird. Dadurch wird die *kinetische Energie der Flüssigkeit größer* (s.o.), wobei die Volumenarbeit ($W = p \cdot V$; p = Druck, V = Volumen) *abnimmt*, da ja alle Energien immer gleich bleiben (s.o.). Da die Stromstärke gleich bleibt, bleibt auch das Volumen gleich, bleibt also nur noch der Druck, der an Engstellen abfällt! Ebenso fällt der Druck auch bei gleichbleibender Gefäßgröße mit zunehmender Strömungstrecke ab; durch die innere Reibung (Kohäsionskräfte) wird bei Flüssigkeitsströmungen ein Strömungswiderstand erzeugt, der durch Druck überwunden werden muß. Wenn der Widerstand unabhängig vom Druck konstant bleibt, spricht man von einer Flüssigkeit als einer *Newtonschen Flüssigkeit*. Bei Flüssigkeiten wirken nicht nur Kohäsionskräfte sondern auch Adhäsionskräfte zur Rohrwand. Dadurch strömt die Flüssigkeit in der Mitte eines Rohres schneller als außen in der Nähe der Rohrwand. Solche Strömungen, bei denen benachbarte Flüssigkeitsschichten parallel unterschiedlich schnell strömen (ohne Verwirbelungen)! nennt man laminare Strömungen

Mit dem Hagen-Poiseuille Gesetz kann man aus verschiedenen Parametern die Stromstärke einer Flüssigkeit berechnen. Es gilt aber nur für laminare Strömungen in kreisrunden starren Röhren mit konstantem Radius und nur für homogene Newtonsche Flüssigkeiten. Benetzung spielt keine Rolle. Die Formel:

$$I = \frac{\Delta p}{R} = \frac{r^4 \cdot \rho}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot \Delta p$$

r =Radius des Rohres, l =Rohrlänge, R =Strömungswiderstand
 I = Stromstärke, η = Viskosität, Δp = Druckdifferenz

Fragen:

Was für Drücke mißt man in der modernen Medizin, und welche Druckeinheiten werden dabei verwendet? Wenn man einen Gartenschlauch halb zuhält, warum spritzt das Wasser dann weiter? Steigt dabei der Druck oder steigt die Geschwindigkeit des Wassers?



3. Struktur der Materie

Eine kurze Wiederholung zum Aufbau der Atome: Atome bestehen aus Hülle und Kern. Im Kern sind die Protonen (positiv geladen) und die Neutronen (ungeladen). In der Hülle kreisen die Elektronen (negativ geladen). Protonen und Neutronen nennt man zusammen Nukleonen.

Protonen und Neutronen haben die Atommasse 1, Elektronen wiegen fast nichts. Protonen und Elektronen sind mit der Elementarladung $1,6 \cdot 10^{-19}$ [As] geladen.

Die Ordnungszahl eines Elements ist gleich der Protonenzahl desselben.

Die Massenzahl ist gleich Protonen + Neutronen. Elemente mit gleicher Massenzahl haben die gleiche Anzahl von Nukleonen (logisch).

Die Massenzahl gibt man *links oben* neben dem Elementnamen an: ^{12}C . Wird noch die Ordnungszahl (=Protonenzahl) mit angegeben, schreibt man diese *links unten* neben den Elementnamen. Für den Kern eines Heliumisotops, bestehend aus 2 Protonen und 1 Neutron würde sich also folgende Schreibweise ergeben: ^2_2He

Als Nuklid bezeichnet man den Atomkern, der durch die Anzahl von Protonen und Neutronen definiert ist. Zwei Nuklide bezeichnet man als Isotope, wenn sie die gleiche Protonenzahl, aber eine unterschiedliche Neutronenzahl besitzen. Damit haben sie eine verschiedene relative Atommasse, aber die gleiche Kernladungszahl!

Isotope sind also gleiche Elemente unterschiedlicher Masse, z.B. ^{12}C und ^{13}C . Isotope besitzen also nicht die gleiche Anzahl von Nukleonen. Manche Isotope sind instabil und radioaktiv, von einem Element können durchaus aber auch alle Isotope stabil und nicht radioaktiv sein.

Frage:

Durch bestimmte Zerfallsprozesse (mit denen wir uns später noch beschäftigen) können sogenannte Positronen entstehen. Diese Teilchen gleichen Elektronen, sie sind aber positiv statt negativ geladen. Wie unterscheiden sich diese Teilchen dann von einem Proton?



4. Wärmehere

Die Temperatur wird in unseren Breiten üblicherweise in Grad Celsius gemessen. (Gefrierpunkt des Wassers = 0°C , Siedepunkt des Wassers = 100°C). In der Wärmelehre wird jedoch die Temperaturskala nach Kelvin mit der Einheit Kelvin [K] verwendet! 0 K sind die niedrigste Temperatur der absolute Nullpunkt. Er entspricht -273°C .

Umrechnung Celsius - Kelvin: $\text{Kelvin} = ^\circ\text{Celsius} + 273$

Fragen:

Wieso liegt der absolute Nullpunkt bei ca. -273°C ? Wieso gibt es keine tieferen Temperaturen?



Die Temperatur ist ein Maß für die Wärmeenergie eines Stoffes, aber selber keine Energieform! Zur Temperaturmessung können verschiedene temperatur-abhängige Eigenschaften von Stoffen verwendet werden:

- Längenausdehnung Bei bestimmten Stoffen nimmt deren Länge proportional zur Temperaturerhöhung zu.
- Volumenausdehnung Das Volumen bestimmter Stoffe nimmt in Abhängigkeit von der Temperaturänderung zu. Dieses Prinzip wird in Flüssigkeitsthermometern benutzt!

- Änderung des elektrischen Widerstands: Bei manchen Stoffen ändert sich deren elektrischer Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur. Etwas anders funktionieren Thermoelemente in elektrischen Thermometern: sie erzeugen eine Spannung proportional zur Temperatur.

Die Temperatur ist unabhängig von der Masse einer Flüssigkeit

Erster Hauptsatz der Wärmelehre „In einem geschlossenen System ist die Summe aller Energien einschließlich der Wärmeenergie konstant.“ *(siehe Energieerhaltungssatz)*

Wärmekapazität(C) : Die Wärmemenge die man einem Körper zuführt, um eine Erwärmung um 1 K zu erreichen:

$$C = \Delta Q / \Delta T \quad \text{Einheit: [J/K] (Joule/Kelvin)}$$

; ΔQ = Wärmemenge, ΔT = Temperaturerhöhung

Abgeleitet davon ist die Spezifische Wärmekapazität

$$\text{Wärmekapazität / Masse} \quad \text{Einheit: [J/kg·K] (Joule/kg·Kelvin)}$$

Diese Größe beschreibt, wieviel Energie pro kg (Masse) eines Stoffes nötig ist, um den Stoff um 1 Kelvin (oder 1 °C) zu erwärmen. Genauso beschreibt die Größe natürlich auch den umgekehrten Vorgang: wieviel Energie beim Abkühlen pro kg und pro Kelvin (oder °C) frei wird.

Spezifische Wärmekapazität einiger Stoffe:

Substanz	Spez. Wärmekapazität (J / kg K)
Blei	130
Eisen	448
Aluminium	898
Eis	2090
Wasser	4187
Wasserdampf	1960
Wasserstoffgas	14250

Der thermische Ausdehnungskoeffizient beschreibt die Volumenzunahme einer bestimmten Flüssigkeit bei Erwärmung. Je größer der Koeffizient, desto größer die Volumenzunahme bei Erwärmung.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Wärme zu „transportieren.“ Bei der Wärmeleitung überträgt ein Körper Wärme auf einen anderen über einen „Wärmeleiter“ (B. Metall, Wasser oder auch Luft) --> *Prinzip Kochtopf*. Wenn ein Medium Wärme durch Bewegung transportiert (z.B. strömende Gase oder Flüssigkeiten, die die Wärme an kalten Orten „abgeben“.) nennt man das Konvektion. Weiter kann Wärme in Form von Strahlung übertragen werden, Wärmestrahlung Die Wärmestrahlung ist eine elektromagnetische Strahlung, die kein Medium braucht. Jeder Körper strahlt Wärmestrahlung ab je höher die Temperatur des Körpers, desto intensiver wird die abgestrahlte Strahlung. Die Strahlung steigt proportional T^4 (T = Temperatur).

Diffusion: Bringt man zwei Gase oder Flüssigkeiten zusammen, verteilen sich die einzelnen Teilchen so, daß überall die gleiche Teilchenkonzentration herrscht. Die Ursache der Diffusion ist die thermische *Brownsche Molekularbewegung*. Die Diffusion läuft vom Ort der höheren zum Ort der niedrigeren Konzentration hin. Die Diffusionsgeschwindigkeit sinkt mit zunehmender Masse der Teilchen (Molekeln) und wächst mit zunehmendem Konzentrationsunterschied (Konzentrationsgradienten) und zunehmender Temperatur. An semipermeablen Membranen (nur für das Lösungsmittel durchgängigen Membranen) strömt das Lösungsmittel, in dem die Teilchen gelöst sind (z.B. Wasser), zum Ort der höheren Konzentration, was man Osmose nennt.

Gase:

„Ideale Gase“ sind Gase ohne zwischenmolekulare Wechselwirkungskräfte und ohne Eigenvolumen der Gasteilchen.

Der Zustand eines Gases wird durch Volumen, Druck und Temperatur in der *Zustandsgleichung idealer Gase* beschrieben:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad ; \quad p = \text{Druck, } V = \text{Volumen, } n = \text{Stoffmenge in mol; } T = \text{Temperatur in Kelvin!}$$

$$; \quad R = \text{allgemeine Gaskonstante } 8,31 \text{ [J / mol} \cdot \text{K]}$$

Die linke Seite der Gleichung, $p \cdot V$ stellt eine Arbeit und damit eine Energieform dar.

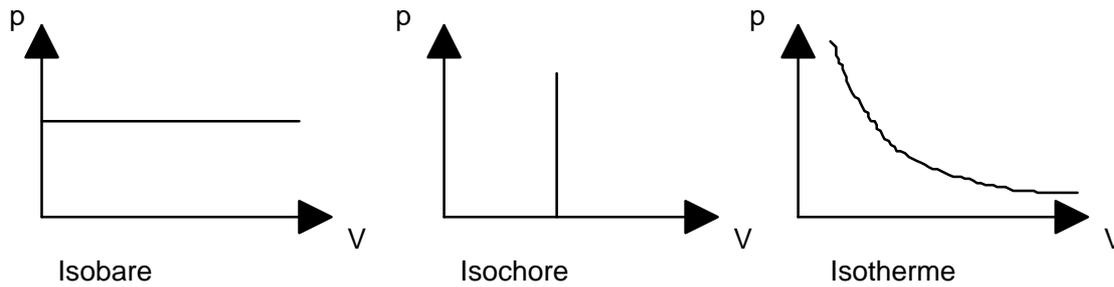
Stoffmenge und Gaskonstante bleiben meist konstant. Dann gilt $p \cdot V / T$ ist konstant!!

Bei Gasgemischen gilt für jedes beteiligte Gas die Zustandsgleichung. Die Drücke aller Gase im Gemisch addieren sich zum Gesamtdruck des Gasgemisches, die Drücke der einzelnen Gase werden Partialdrücke (Teildrücke vom Gesamtdruck) genannt.

Drei Kenngrößen für Zustandsänderungen von idealen Gasen können aus der Gasgleichung abgeleitet werden; dabei wird von den Größen Druck (p), Volumen (V) und Temperatur (T) jeweils eine Größe konstant gehalten:

Zustandsänderung	konstant bleibt	Auswirkung
Isobare	Druck (p)	$V / T = \text{konstant}$
Isochore	Volumen (V)	$p / T = \text{konstant}$
Isotherme	Temperatur (T)	$p \cdot V = \text{konstant}$

Im Druck/Volumen (p/V)-Diagramm zeigen sich die Größen wie folgt:



Reale Gase verhalten sich etwas anders: bei ihnen wirken ja Anziehungskräfte zwischen den Gasteilchen, die sogenannten Van-der-Waalschen Kräfte. Wenn man unterhalb einer bestimmten kritischen Temperatur ein Gas komprimiert, führt dies an einem bestimmten Druck zu einer Verflüssigung. Dabei bleibt der Druck solange konstant, bis die Verflüssigung abgeschlossen ist. Der Dampfdruck einer Flüssigkeit ist nur von der Temperatur abhängig, deshalb sind die Isothermen eines Dampfes mit seiner Flüssigkeit im dynamischen Gleichgewicht, waagerechte Geraden! (D.h. sie sehen aus wie Isobaren).

Der Gasdruck (p) eines in ein bestimmtes Volumen eingeschlossenen (idealen) Gases wird dabei durch die Stöße der Teilchen auf die Wand des Behälters verursacht, genauer gesagt durch die dabei erfolgende Impulsübertragung. Damit ist leicht nachzuvollziehen, daß der Druck p proportional zur mittleren kinetischen Energie E_k (also der „durchschnittlichen“ Bewegungsenergie aller Gasteilchen) sein muß:

$p \sim E_k$ - oder noch genauer - $p = (2 \cdot n \cdot E_k) / 3$; wobei n die Teilchendichte darstellt.

Ursache der Teilchenbewegung und damit der kinetischen Energie ist die Brownsche Molekularbewegung der Moleküle eines Gases; damit ist die kinetische Energie der Gasteilchen natürlich um so größer, je höher die Temperatur ist.

Phasenübergänge Zur Überführung eines Stoffes in einen höheren Aggregatzustand muß Wärme zugeführt werden, die umgekehrt beim Übergang in einen niedrigeren Aggregatzustand wieder frei wird. Während des Phasenübergangs (Übergang von einem in den anderen Aggregatzustand) erhöht sich trotz Zufuhr von Wärme die Temperatur nicht, weil diese Energie zum Überwinden von Gitterbindungen zwischen den Molekülen benötigt wird und nicht als Wärmeenergie gespeichert werden kann. Während des Phasenübergangs sind zwei Phasen (z.B. fest und flüssig) des Körpers koexistent.

Schmelzen: Übergang von fest nach flüssig

Verdunsten: Übergang von flüssig nach gasförmig

Sublimieren: Übergang von fest nach gasförmig

Erstarren: Übergang von flüssig nach fest.

Kondensieren: Übergang von gasförmig nach flüssig und gasförmig nach fest

Bei Phasenübergängen müssen die „beteiligten“ Phasen natürlich nicht die gleiche Dichte haben !

Fragen:

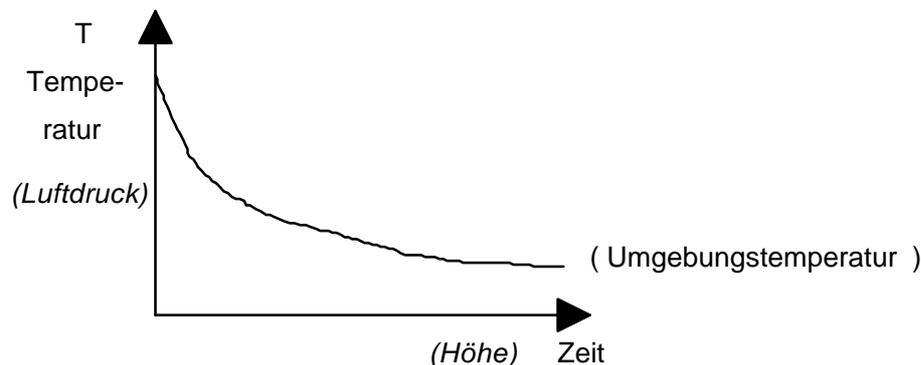
Bei welchem Stoff gibt es einen Übergang von fest nach gasförmig ohne flüssige Phase? Wo werden in der Medizin Partialdrücke gemessen? Wenn man 2 Liter Wasser um 20 Kelvin erwärmt, wieviel Energie muß man dann dazu aufwenden?

?

Luft als Gasgemisch ist immer zu einem bestimmten Prozentsatz wasserdampfgesättigt - was wir als „Luftfeuchte“ wahrnehmen. Dabei gibt es für jede Lufttemperatur einen spezifischen Sättigungsdampfdruck, bei dem die Luft vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist. Die relative Luftfeuchte gibt deshalb den Quotienten aus tatsächlichem Druck des Wasserdampfs und dem Sättigungsdampfdruck bei der vorliegenden Temperatur an.

Ab einer geringen relativen Luftfeuchte verdampfen offen in einen Raum gestellte Flüssigkeiten. Die Energie, die zum Verdampfen nötig ist, wird dabei der Flüssigkeit entzogen, weshalb die Temperatur der Flüssigkeit unter die Raumtemperatur fällt!

Interessant ist auch das Abkühlverhalten einer Flüssigkeit in einer luftgefüllten Umgebung; die Temperatur fällt erst schnell, dann immer langsamer bis kurz unter die Umgebungstemperatur (s.o.) ab. Genau den gleichen graphischen Verlauf zeigt übrigens auch der Luftdruck in Bezug auf die Höhe:



5. Elektrizitätslehre

Dieser Bereich wird von Medizinern für besonders schwer gehalten - zu unrecht, mit wenigen basalen Kenntnissen kann man nämlich viele Fragen zu diesem Bereich schnell beantworten. Es lohnt sich auch, denn zum Thema Elektrizitätslehre werden relativ viele Fragen gestellt.

Elektrischer Strom ist der Fluß von elektrischen Ladungen in einem Medium. In Metallen erfolgt der Ladungstransport durch Elektronen, in Elektrolyten erfolgt der Ladungstransport durch Ionen. In Metallen steigt der Widerstand mit zunehmender Temperatur linear, d.h. die Leitfähigkeit sinkt (was auch zum Temperaturmessen verwendet werden kann), in Elektrolyten steigt die Leitfähigkeit mit zunehmender Temperatur. Das Fließen eines elektrischen Stromes ist immer mit dem Entstehen eines Magnetfeldes verbunden. (Nicht nur „beschleunigte Ladungen“ erzeugen Magnetfelder). Ein gradliniger zylindrischer Leiter (also ein Draht) hat bei Stromfluß ein zirkuläres Magnetfeld, das nach außen abfällt. Andererseits kann man auch mittels Einbringen einer einfachen Leiterschleife in ein magnetischen Feldeseinen

Strom, genannt Induktionsstrom erzeugen: durch Ein-/Ausschalten des Magnetfelds, Änderung der Magnetisierung eines Materiestückes in einem Magnetfeld, Änderung der Leiterschleife, bzw. Bewegen der Leiterschleife im Magnetfeld (das ist das Prinzip des Dynamo). Die magnetische Feldstärke hat übrigens die Einheit [A / m]. Die Elektrische Feldstärke wiederum ist definiert als Kraft auf eine elektrische Ladung im Feld, dividiert durch diese Ladung und hat die Einheit [V / m].

Angetrieben wird der elektrische Strom (I) von der Spannung (U). Die Spannung treibt den Strom der Ladungen gegen den Widerstand (R) eines Stromkreises (z.B. Widerstand der Leitung, Widerstand eines Glühbirnendrahtes) an. Dabei gilt folgende Gesetzmäßigkeit:

$$U = R \cdot I \quad ; \quad U = \text{Spannung in [V] (Volt)}, R = \text{Widerstand in } [\Omega] \text{ (Ohm)}, \\ ; \quad I = \text{Stromstärke in [A] (Amperè)}.$$

Abwandlungen dieser Formel, z.B. $R = U / I$ werden oft und gerne gefragt. Die Grundformel „URI“ (s.o.) ist jedoch am einfachsten zu merken, man stellt sie wenn benötigt halt um.

Das Gegenteil des Widerstandes, bzw. physikalisch genauer der Kehrwert des Widerstandes, ist die „Leitfähigkeit“. Der Leitwert ist entsprechend $1 / R$ und hat die Einheit [1 / Ω].

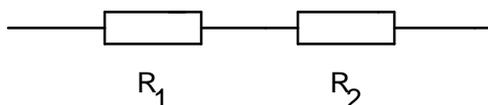
Fragen:
 Wie unterscheidet sich die elektrische von der magnetischen Feldstärke? (Einheiten!)
 Sinkt oder steigt die Leitfähigkeit von Elektrolyten mit zunehmender Temperatur?



Es gibt zwei basale elektrische Schaltungen, die Serienschaltung und die Parallelschaltung. Bei der Serienschaltung (Reihenschaltung, alle Widerstände in einer „Reihe“):

- | | |
|--|---------------------------------|
| - Gibt es an allen Stellen die gleiche Stromstärke | $I_1 = I_2 = I_{\text{GESAMT}}$ |
| - Addierensich die Spannungen | $U_1 + U_2 = U_{\text{GESAMT}}$ |
| - Addierensich die Widerstände | $R_1 + R_2 = R_{\text{GESAMT}}$ |

Abbildung: Serienschaltung (Reihenschaltung) von 2 Widerständen.

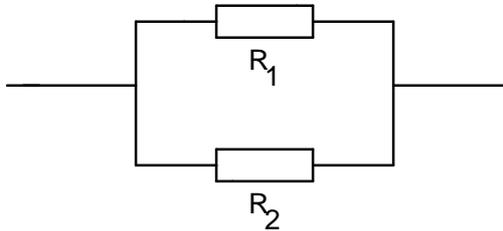


Bei der Parallelschaltung

- | | |
|--|---------------------------------------|
| - Addierensich die Stromstärken | $I_1 + I_2 = I_{\text{GESAMT}}$ |
| - Gibt es an allen Stellen die gleiche Spannung | $U_1 = U_2 = U_{\text{GESAMT}}$ |
| - Addierensich die KEHRWERTE der Widerstände zum KEHRWERT des Gesamt-widerstandes;
(Es addieren sich die Leitwertè) | $1/R_1 + 1/R_2 = 1/R_{\text{GESAMT}}$ |

Der beliebteste Fehler hierbei ist, die Kehrwerte der Einzelwiderstände zu addieren und nicht zu beachten, daß das Ergebnis der **Kehrwert des Gesamtwiderstandes** ist und nicht der Gesamtwiderstand.

Abbildung: Parallelschaltung von 2 Widerständen.

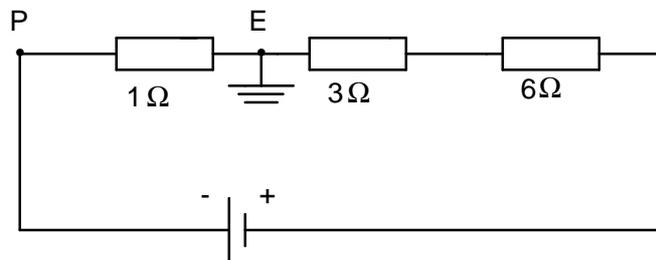


Ein Rechenbeispiel zur Parallelschaltung: R_1 sei 40Ω , R_2 sei 20Ω . Die Berechnung des Gesamtwiderstands:

$$\frac{1}{40} + \frac{1}{20} = \frac{3}{40} \quad (\text{Bruchrechnung !!}) \quad \text{Davon jetzt noch den KEHRWERT } \frac{40}{3} \text{ ist also } 13,33.$$

Damit haben wir einen Gesamtwiderstand von $13,33 \Omega$. Hierbei ist noch ein anderes Phänomen zu sehen: Der Gesamtwiderstand bei einer Parallelschaltung ist immer kleiner als der kleinste Widerstand in der Parallelschaltung.

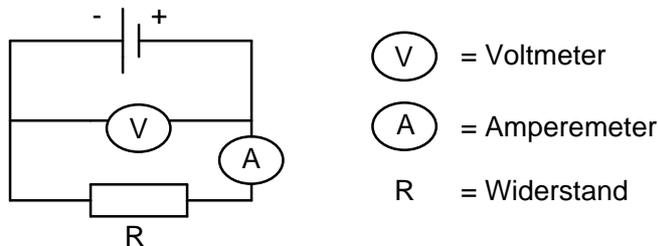
Spannungen mißt man immer zwischen zwei Punkten. Die „Ladungsdifferenz“ = Potentialdifferenz dieser Punkte wird dann als Spannung angezeigt. Einen der Meßpunkte kann man auch erden. Durch die Erdung erhält der Punkt das Potential 0. Ein praktisches Beispiel, daran ist es leichter zu verstehen:



Spannung wird zwischen P und E gemessen.

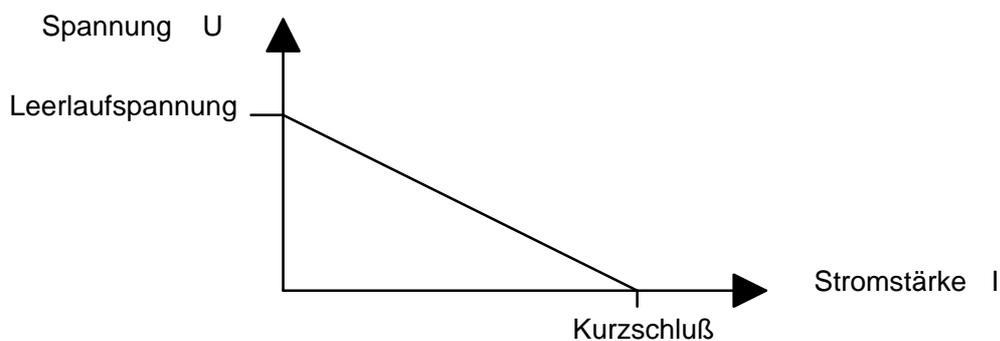
Die Widerstände 1Ω , 3Ω und 6Ω addieren sich zum Gesamtwiderstand 10Ω . Die Gesamtschaltung hat die Spannung 10 V . Diese wird nun nach $U = R \cdot I$ an den einzelnen Widerständen „aufgeteilt“: der 1Ω Widerstand macht $1 / 10$ des Gesamtwiderstandes aus und erhält so $1 / 10$ der Gesamtspannung als „seinen Anteil der Beute“: 1 V . Diese Spannungsabfälle an den Widerständen addieren sich alle zur Gesamtspannung von 10 V auf (s.o.). Gemessen wird die Spannung nun aber zwischen dem Minuspol der Stromquelle und einem gegen Erde gelegten Punkt (E) mit Potential 0 nach dem Widerstand (siehe Abbildung). Deshalb ergibt sich eine Spannung von -1 V ! (1 V von 0 nach Minus.) Wären die Polaritäten der Stromquelle vertauscht, würde sich gegen Erde - eine Spannung vom 1 V ergeben.

Messen von Strömen Es gibt Amperemeter (Strommesser) und Voltmeter (Spannungsmesser). Wenn man die Spannungs- und Stromwerte an einem Widerstand oder sonstigen Verbraucher (z.B. Glühlampe) erfassen möchte, schaltet man das Amperemeter mit möglichst kleinem Innenwiderstand in Serie zum Widerstand, das Voltmeter mit möglichst großem Innenwiderstand parallel zum Widerstand und Amperemeter. Die optimale Schaltung zum Messen von Strom und Spannung sieht so aus:



Die Spannung am Widerstand wird nicht ganz exakt gemessen, da das Amperemeter ja noch einen kleinen Innenwiderstand hat, der den Gesamtwiderstand erhöht und damit den Spannungswert herabsetzt.

Nicht nur Meßgeräte haben Innenwiderstände, sondern auch die Spannungsquellen. Dadurch bedingt ist die „Klemmenspannung“ einer Spannungsquelle auch nicht konstant, sondern hat ohne angeschlossenen Verbraucher („Leerlaufspannung“) ihren Maximalwert. Wird ein Stromverbraucher angeschlossen, sinkt die Klemmenspannung mit steigender Stromstärke linear ab, bei einem Kurzschluß (maximaler Stromfluß !) ist sie null (Minimalwert). Bei einer Spannungsquelle mit dem Innenwiderstand 0 würde die Klemmenspannung natürlich nicht abfallen!



Hierbei ist noch zu beachten, daß jede Batterie hat einen Innenwiderstand, den man sich *in Serie* zu einem externen Widerstand geschaltet vorstellen muß. Deshalb kann man mit Voltmeter (externer Widerstand) nie ganz genau die Leerlaufspannung einer Batterie bestimmen.

Ein Kondensator ist ein Gerät, auf dem man elektrische Ladungen speichern kann. Die Spannung an ihm ist proportional zur aufgebrauchten Ladung. Der zeitliche Verlauf der Entladung eines Kondensators der Kapazität C über einen Widerstand R wird durch die Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$ bestimmt. Bis zum Erreichen der Zeitkonstante nimmt die Spannung auf 37 % der ursprünglichen Spannung ab. Die Kapazitäten von Kondensatoren in Parallel- und Serienschaltungen werden genau umgekehrt wie bei Widerständen berechnet: Bei Parallelschaltungen einfach addiert, bei

Serienschaltungen Berechnung mit Kehrwerten wie bei Widerständen und Parallelschaltungen. Durch das Einbringen eines Dielektrikums zwischen die Kondensatorplatten erhöht man die Kapazität eines Kondensators und senkt damit die momentane Spannung. Die Kapazität eines Plattenkondensators hängt von der Dielektrizitätskonstante des Dielektrikums, der Plattenfläche und dem Plattenabstand ab.

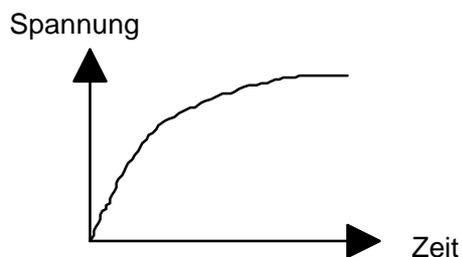
Formel für die Kapazität C eines Plattenkondensators:

$$C = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

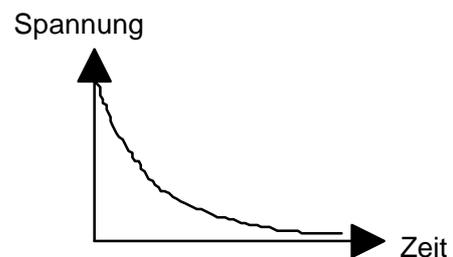
A = Plattenfläche, d = Plattenabstand ϵ = Dielektrizitätskonstante
 ϵ_0 = elektrische Feldkonstante = $8,854 \cdot 10^{12}$ [C/Vm]

Wenn man Kondensatoren über Widerstände lädt bzw. entlädt erhält man charakteristische Spannungskurven:

Kondensatoraufladung



Kondensatorentladung



Wechselstrom Die Spannung beim Wechselstrom hat nicht die Form einer konstanten geraden Linie, sondern die Form einer Sinusschwingung In Deutschland hat der Wechselstrom eine Frequenz von 50 Hz was bedeutet, daß 50 dieser Sinusschwingungen in einer Sekunde vorkommen. Der Effektivwert der Wechselspannung errechnet sich aus dem Spitzenwert $/\sqrt{2}$. Der Effektivwert ist nicht abhängig von der Frequenz!

Das Produkt aus Spannung (V) und Stromstärke (A) ist die elektrische Leistung (P), Einheit [Watt]! Aus Spannung und Leistung läßt sich einfach der Widerstand berechnen:

$$R = U^2/P \quad \text{oder, umgeformt: } P = U^2/R$$

Wichtig ist das Quadrat der Spannung. Wird ein Gerät bei halber Spannung betrieben, fällt die Leistung deshalb auf ein viertel ! usw. Wenn man Glühlampen in Serie schaltet, brennen die Lampen mit geringer Leistung (Wattzahl) heller als die mit höherer Nennleistung. (Gleiche Lampen brennen natürlich gleich hell). Das „Durchbrennen“ von Glühbirnen hängt nicht von deren Wattzahl ab !

Fragen:

Wo wird in der (Notfall-)Medizin ein großer „Plattenkondensator“ angewandt? Wie verhält sich die Leistung nochmal zur Energie? Ist die Joulesche Wärmeentwicklung bei Glühbirnen hoher oder niedriger Leistung groß? Ist der Effektivwert Wechselspannung frequenzabhängig?



6. Schwingungen und Wellen

Schwingungen sind sich periodisch wiederholende Bewegungen um eine Ruhelage. Zum Beispiel beim Fadenpendel (Ein Faden hängt an der Decke, an ihm ein kleines Gewicht): Die Ruhelage ist die Lage, in der der Faden gerade herabhängt. Wenn man das Gewicht anstößt, „schwingt“ das Pendel nach rechts und links um die Ruhelage. Maximale kinetische Energie hat das Pendel bei Schwingungen jeweils immer in der Ruhelage. Nach außen hin wird die Geschwindigkeit und damit die kinetische Energie kleiner, bis sich die Richtung schließlich umkehrt und die Geschwindigkeit und Energie wieder zunehmen.

Wellen sind sich räumlich ausbreitende Schwingungen, wobei sich nur die Bewegung, aber keine Materie ausbreitet. Jede Welle transportiert Energie, die Energie des Bewegungszustands. Die Amplitude einer Welle ist die maximale Auslenkung aus der Ruhelage. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit (c) ist das Produkt aus der Frequenz (ν) und der Wellenlänge (λ) der Welle:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad ; \quad c = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit in [m/s]} \quad \lambda = \text{Wellenlänge in [m]}$$

$$\quad ; \quad \nu = \text{Frequenz in [1 / s] = [Hz] (Hertz)}$$

Wellenlänge und Frequenz sind zueinander nicht proportional!

Fragen:

Wenn man sich mit einem Fadenpendel in einen Raum stellt und es schwingen läßt, sehen Zuschauer eine Schwingung. Wenn man sich jedoch auf einen fahrenden Zug stellt (offener Wagen), was sieht dann ein Zuschauer, der mit im Zug fährt, und was sieht ein Zuschauer, der das ganze von außen betrachtet?

?

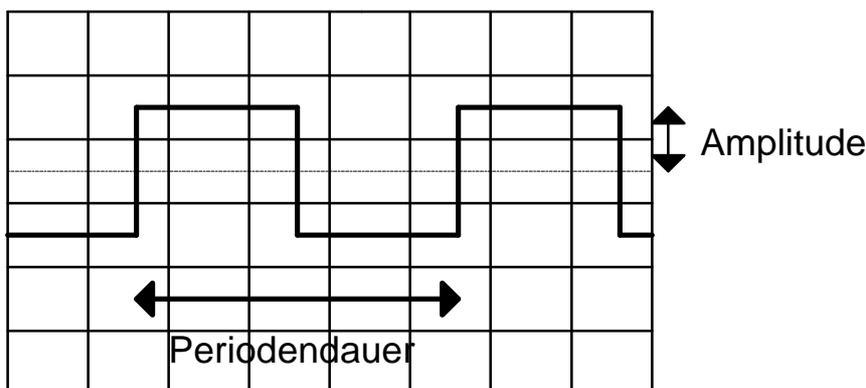
Die Frequenz (Zahl der Schwingungen pro Zeiteinheit) kann aus der Schwingungsdauer einer Schwingungsperiode, Periodendauer (T), berechnet werden:

$$\nu = 1 / T \quad ; \quad \nu = \text{Frequenz in [1 / s] = [Hz] (Hertz)}, \quad T = \text{Periodendauer in [s]}$$

umgekehrt ist $T = 1 / \nu$

Als Beispiel einige Berechnungen:

Eine Schwingung wird auf einem Oszillographen dargestellt.



Die Frequenz sei 10 kHz = 10000 Hz.

Gesucht sei die horizontale Zeitablenkungsgeschwindigkeit des Oszillographen.

$T = 1 / v$. Also: $T = 1 / 10000 \text{ Hz} = 0,0001 \text{ s} = 100 \mu\text{s}$

Periodendauer beträgt hier: 4 Kästchen.

Die Zeitablenkungsgeschwindigkeit beträgt also:

$100 \mu\text{s} / 4 \text{ Kästchen} = 25 \mu\text{s} / \text{Kästchen} = 25 \mu\text{s} / \text{Skt}$
 (Kästchen werden Skt, für „Skalenteile“ abgekürzt).

Jedes schwingungsfähige System (z.B. ein Pendel) hat eine Eigenfrequenz f_0 , auch Resonanzfrequenz genannt. In dieser Frequenz schwingt das System mit maximaler Amplitude. Dies ist auch der Grund, warum Soldaten nie im Gleichschritt über eine Brücke (schwingungsfähiges System !) marschieren dürfen - wenn sie zufällig mit ihrem Schritt die Eigenfrequenz erwischen würden, könnte die Schwingungsamplitude durch den Resonanzeffekt so groß werden, daß die Brücke zusammenstürzen würde (sogenannte Resonanzkatastrophe).

Ein System schwingt natürlich nicht immer mit seiner Eigenfrequenz! Die Schwingungsamplitude ist allerdings abhängig von der erregenden Frequenz, maximal wird die Amplitude wenn Erregungs- und Eigenfrequenz übereinstimmen. Dabei kann die Schwingungsamplitude größer werden als die Amplitude der erregenden Schwingung.

Es gibt zwei Arten von Wellen, Longitudinal- und Transversalwellen. Bei den Longitudinalwellen (Längswellen), schwingen die Teilchen in Ausbreitungsrichtung der Welle, d.h. es gibt periodisch „Verdichtungen“ und „Verdünnungen“. Schallwellen sind z.B. Longitudinalwellen. Die andere Wellenart sind die Transversalwellen (Querwellen), bei denen die Teilchen quer zur Ausbreitungsrichtung der Welle schwingen. Lichtwellen sind elektromagnetische Wellen und ein Beispiel für Transversalwellen. Transversalwellen kann man polarisieren, Longitudinalwellen nicht! Polarisieren heißt, daß aus den sehr vielen transversalen Schwingungsebenen einer Transversalwelle nur eine einzige „herausgefiltert“ wird, in der die Welle nach der Polarisierung dann schwingt. (Das ist zugegeben etwas schwer zu verstehen, wichtig zu wissen ist aber, daß die Polarisierung keineswegs eine Longitudinalschwingung aus einer Transversalschwingung macht). Polarisieren kann Licht durch: Streuung, Reflexion an einem durchsichtigen Stoff und bei Durchgang durch einen „dichroitischen“ Kristall

Schallwellen sind in ihrer Ausbreitung im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen (also auch Licht) an Materie gebunden, was heißt, daß sie sich nicht im Vakuum ausbreiten können (Licht kann). Schallwellen können von einem Medium ins andere übergehen (z.B. von Luft in Wasser), ihre Schallgeschwindigkeiten sind aber in den verschiedenen Medien (Luft und Wasser) verschieden ! Die Frequenz bleibt beim Übergang von einem Medium ins andere immer gleich, die Wellenlänge ändert sich allerdings ebenso wie die Schallgeschwindigkeit (siehe auch Formel oben). Für den Menschen hörbare Schallwellen haben Frequenzen von 15 Hz - 20000 Hz (gilt für junge Erwachsene).

Tabelle der Schallgeschwindigkeit in unterschiedlichen Stoffen:

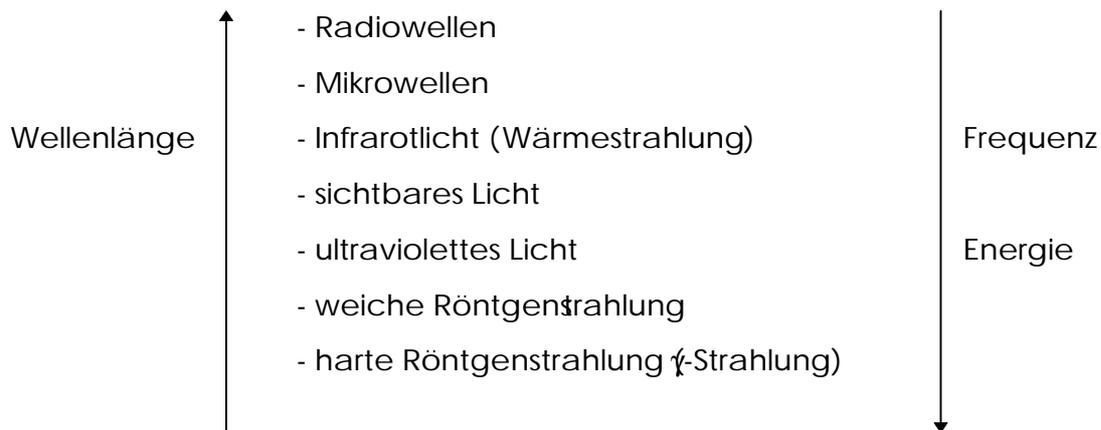
Material	Schallgeschwindigkeit (m/s)
Luft	330
Kohlendioxid	258
Wasser	1480
Blut (bei 37°C)	1570
Kupfer	3560
Glas	5600

Ultraschall unterscheidet sich von hörbarem Schall prinzipiell nur durch eine höhere Frequenz

Die Schallintensität von Geräuschquellen wird in der nicht linearen sondern logarithmischen Einheit dB (Dezibel) angegeben. Vergrößert man die Intensität um den Faktor 2 (d.h. verdoppelt man die Lautstärke), entspricht das einer Erhöhung um 3 dB. Faktor 10 ergibt eine Erhöhung von 10 dB, Faktor 100 eine Erhöhung von 20 dB.

Schallintensität = $10 \cdot \log(I / I_0)$ Dezibel

Gerne gefragt wird nach den „Ordnungen“ von elektromagnetischen Wellen:



von oben nach unten wird die Wellenlänge *kleiner* und die Frequenz und Energie *größer*!

Fragen:

Welche Größe ändert sich beim Übergang vom einen in das andere Medium nie?
 Welche Art von Wellen kann polarisiert werden, und warum? Wieviele „Nulldurchgänge“ hat eine 50Hz-Sinusschwingung in einer Sekunde?

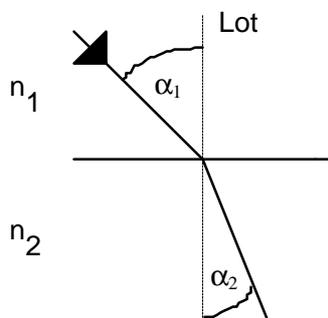


7. Optik

Lichtbrechung trifft ein Lichtstrahl aus einem optisch dünneren Medium (z.B. Glas, Wasser, Luft) auf ein optisch dichteres Medium, wird der Strahl zum Lot hin gebrochen. Umgekehrt wird der Strahl vom Lot weggebrochen, wenn er aus dem optisch dichteren ins optisch dünnere Medium tritt. Ist der erste Winkel bekannt, kann der zweite anhand der Brechzahlen (n) (auch Brechindizes genannt) der beiden Medien berechnet werden. Ein optisch dichteres Medium hat eine größere Brechzahl (n) als ein optisch dünneres Medium.

$$\sin \alpha_1 / \sin \alpha_2 = n_2 / n_1 \quad \text{umgeformt: } \sin \alpha_2 = \sin \alpha_1 \cdot n_1 / n_2 \quad \text{Auf 1 und 2 aufpassen!}$$

Das Lot steht immer senkrecht (im 90° Winkel) zur Grenze zwischen den Medien. Die Zeichnung soll die Sachverhalte nochmal verdeutlichen:

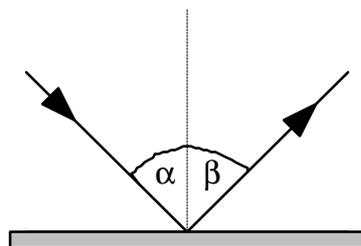


Welches Medium ist optisch dichter,
 n_1 oder n_2 ?

Beim Weg von einem dichten (z.B. Wasser) in ein dünnes (z.B. Luft) Medium wird ein Lichtstrahl beim Überschreiten eines Grenzwinkels nicht mehr gebrochen, sondern total reflektiert. Die Totalreflexion benutzt man in flexiblen Lichtleitern, so kann Licht nämlich auch auf gekrümmten Bahnen fortgeleitet werden. Die Totalreflexion ist allerdings nur in einem bestimmten Winkelbereich möglich (ab dem Grenzwinkel, s.o.).

In diesem Fall gilt das Reflexionsgesetz:

Der zum Lot gemessene Einfallswinkel eines Lichtstrahls gleich dem Ausfallswinkel zum Lot ist, wenn der Lichtstrahl reflektiert wird.



$$\alpha = \beta$$

Für einen Hohlspiegel gilt dieses Gesetz natürlich auch. Man kann sich einen Hohlspiegel aus ganz vielen kleinen geraden Spiegeln zusammengesetzt vorstellen. Trifft ein Lichtstrahl einen Punkt des Hohlspiegels kann man an diesen Punkt eine Tangente anlegen, die dann die Fläche eines kleinen geraden Spiegels repräsentiert. Mit Hilfe dieser Fläche kann man nun ganz einfach den Ausfallstrahl ermitteln.

Neben der Richtung des Lichtstrahls ändern sich in anderen Medien auch die Geschwindigkeit (in einem Lichtleiter wird Licht z.B. langsamer fortgeleitet) und die Wellenlänge des Lichtes, nicht aber die Frequenz. Die Wellenlänge und Geschwindigkeit werden in dünneren Medien größer, in dichteren kleiner. Im Vakuum beträgt die Lichtgeschwindigkeit $3 \cdot 10^8$ m/s

Der Brechungsindex (Brechzahl n) ist von der Wellenlänge abhängig, deshalb werden *unterschiedliche Farben* (Wellenlängen der elektromagnetischen Lichtschwingung) unterschiedlich stark gebrochen! Deshalb kann ein Prisma weißes Licht in seine Spektralfarben zerlegen. Diese Erscheinung heißt Dispersion. Bei Abbildungen mit Linsen kann ein ebensolcher, hier aber unerwünschter Effekt auftreten, den man dann als chromatische Abberation bezeichnet.

Analog zu den elektromagnetischen Wellen hier die Ordnung der Lichtwellen:



Die Wellenlänge nimmt von oben nach unten ab, der Brechungsindex, Frequenz und die Energie nehmen von oben nach unten zu. (Violettes Licht wird stärker gebrochen als rotes Licht!)

Sammellinsen (Konvexlinsen) „sammeln“ das einfallende Licht: parallel auf sie einfallende Lichtstrahlen treffen sich im Brennpunkt F. Der Abstand von der Mitte („Hauptebene“) der Linse zum Brennpunkt F ist die Brennweite (f) der Linse.

Die Brechkraft (D) einer Linse ist (für den üblichen Fall, daß sie von Luft umgeben wird):

$$D = 1 / f \quad \text{Einheit: [1/m] = [dpt] (Dioptrie)}$$

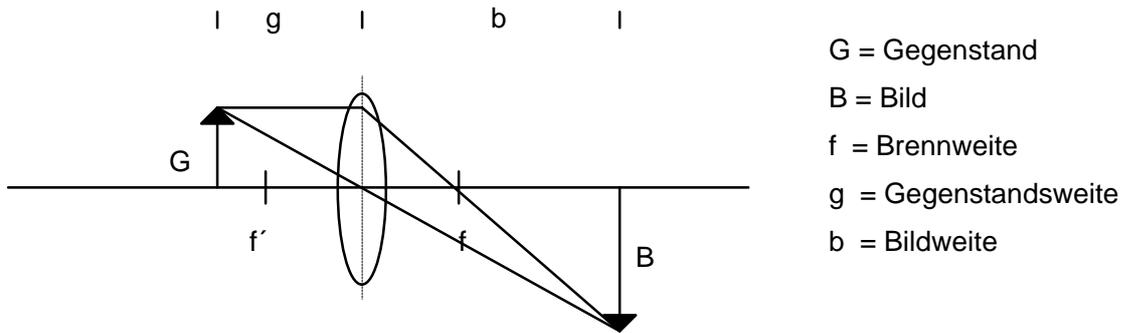
Die Brechkräfte zweier dünner dicht hintereinander stehender Linsen addieren sich!

Der mathematische Zusammenhang zwischen Gegenstandsweite und Bildweite (soweit ist das Bild von der Linse entfernt):

$$1 / f = 1 / g + 1 / b$$

; f = Brennweite, g = Gegenstandsweite
 (soweit ist der Gegenstand entfernt)
 ; b = Bildweite (soweit scheint das Bild von Linse entfernt)

Die Abbildung verdeutlicht die oben verwendeten Begriffe:



f' ist die „gegenstandsseitige Brennweite“

Wenn die Gegenstandsweite(g) kleiner oder gleich der Brennweite(f) einer Sammellinse ist, entsteht ein *virtuelles Bild* d.h. das Bild erscheint vom Betrachter aus auf der gleichen Seite der Linse wie der Gegenstand. Sonst entsteht immer ein reelles Bild: Gegenstand auf der einen, Bild auf der anderen Seite der Linse. Wenn die Gegenstandsweite (g) doppelt so groß ist wie die Brennweite (f) ist, erscheint ein genau gleich großes, reelles Bild im Abstand 2f hinter der Linse.

Die Tabelle verdeutlicht das Verhalten von Linsen (und Hohlspiegeln):

Gegenstand	Bild		
Ort	Art	Orientierung	Abbildungsmaßstab
$g > 2 f$	reell	umgekehrt seitenverkehrt	verkleinert
$g = 2 f$	reell	umgekehrt seitenverkehrt	gleich groß
$f < g < 2 f$	reell	umgekehrt seitenverkehrt	vergrößert
$g = f$	--	--	--
$g < f$	virtuell	aufrecht seitengleich	vergrößert

virtuell: Bild auf der gleichen Seite wie Gegenstand
 reell: Bild und Gegenstand auf entgegengesetzten Seiten

Ein Lichtmikroskop ist prinzipiell aus einem Objektiv (über dem Objektträger) und einem Okular aufgebaut, durch das man hineinsieht. Das Objektiv erzeugt ein *reelles*, umgekehrtes Zwischenbild. Aus diesem erzeugt dann das Okular ein vergrößertes, virtuelles Bild, das Okular wirkt als Lupe. Der Vergrößerungsmaßstab des Mikroskops wird durch das Produkt Abbildungsmaßstab mal Vergrößerung des Okulars gegeben. Bei Immersionsobjektiven können Längen von der Größenordnung der Wellenlänge des Lichtes aufgelöst werden (ca. 500 nm)! Das Auflösungsvermögen des Mikroskops kann man verbessern (= auflösbaren Abstand verkleinern), indem man die Wellenlänge des zur Objektabbildung benutzten Lichts verkleinert, den Aperturwinkel vergrößert und die Brechzahl des Mediums zwischen Objekt und Objektiv vergrößert. Dabei hängt das maximal erreichbare Auflösungsvermögen nur von der Wellenlänge des verwendeten Lichts ab.

Die Lichtintensität nimmt bei punktförmigen Lichtquellen mit dem Quadrat des Abstands r ab

Intensität proportional $1 / r^2$

Licht wird beim Durchgang durch Materie geschwächt. Diese Schwächung nennt man Extinktion. Die genaue Definition der Extinktion lautet:

*Trifft Licht der Intensität I_0 auf eine Lösung der Schichtdicke x , dann bezeichnet man den **dekadischen Logarithmus** des Verhältnisses I_0/I (I =durchgelassene Intensität) als Extinktion E :*

$$E = \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

Die Extinktion kann ebenfalls in Abhängigkeit von der Schichtdicke x und der Konzentration c einer Lösung angegeben werden:

$$E = \epsilon \cdot c \cdot x \quad (\epsilon = \text{spezifischer Extinktionskoeffizient [Konstante !];} \\ c = \text{Konzentration; } x = \text{Schichtdicke})$$

Diese Formel bezeichnet man als Lambert-Beer-Gesetz. In Zusammenhang mit der Definition der Extinktion kann man so sehr schnell photometrisch die Konzentration eines Stoffes in einer Lösung ermitteln: Man bestimmt die Schichtdicke, ermittelt den spezifischen Extinktionskoeffizienten (aus der Literatur) und mißt die Extinktion - jetzt kann man die Konzentration der Lösung nach dem Lambert-Beer-Gesetz angeben.

Lichtstärke / Beleuchtungsstärke:

Wie in Kapitel 1 des Skriptes beschrieben, wird die Lichtstärke als Basisgröße in der Einheit Candela angegeben. Unabhängig davon gibt es noch zwei weitere Größen, die das Phänomen „Licht“ beschreiben: unter dem Lichtstrom (Einheit: Lumen) versteht man die von einer Lichtquelle pro Zeiteinheit ausgesandte Strahlung, wie sie vom Auge *subjektiv* empfunden wird. Die Lichtstärke (s.o.) ist der Lichtstrom bezogen auf den in einer bestimmten Richtung durchstrahlten Raumwinkel.

Die Beleuchtungsstärke (Einheit: Lux) gibt die von einer Lichtquelle ausgesandte Strahlungsenergie an, die pro Sekunde auf einen Quadratmeter einer Fläche fällt. Alle „Lichtgrößen“ beinhalten einen subjektiven „physiologischen“ Bewertungsmaßstab, da Licht durch den Aufbau des menschlichen Auges abhängig von der Farbe unterschiedlich hell empfunden wird, auch wenn es die gleiche Strahlungsenergie hat. In Anlehnung an die Einheit Lux existiert in der Akustik die Einheit Phon, die berücksichtigt, daß unterschiedliche Tonfrequenzen trotz gleicher Schallstärke vom menschlichen Ohr als unterschiedlich laut empfunden werden. Dabei ist festgelegt, daß für einen 1000 Hz-Ton die Phonskala mit der dB-Angabe des Schallpegels übereinstimmt.

Fragen:

Eine Sammellinse bildet den Mond in einer Entfernung von 20 cm ab. Wie groß ist die Brechkraft der Sammellinse? Was bedeuten die Begriffe „Brennweite“, „Brennpunkt“, „reel“, virtuell“? Wenn man das Objekt unter einem Mikroskop nach rechts verschiebt, wie verschiebt sich dann das Bild?

?

8. Ionisierende Strahlung

Es gibt stabile und instabile Nuklide (= Atomkerne, siehe Kapitel 3, „Struktur der Materie“). Instabile Nuklide werden durch radioaktiven Zerfall zu stabilen Nukliden.

Die Radioaktivität ist die Anzahl der Kernumwandlungen pro Zeit; d.h. die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde. Die Einheit ist:

$$1 \text{ [Zerfall / s]} = 1 \text{ [Bq] (Becquerel)}$$

Gerne wird zur Beschreibung eines Nuklids die Halbwertszeit angegeben: Das ist die Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Kerne zerfallen sind. 2 Halbwertszeiten heißen also, daß $\frac{3}{4}$ der ursprünglichen Kerne zerfallen sind: $\frac{1}{2}$ nach der ersten Halbwertszeit und davon zusätzlich die Hälfte (also $\frac{1}{4}$) nach der zweiten Halbwertszeit. Es sind jetzt also noch $\frac{1}{4}$ der Kerne nicht zerfallen.

Folgende Zerfallsarten gibt es:

α - Zerfall

Das Nuklid sendet α -Teilchen aus, (Helium $^{2+}$ -Kerne), wobei die Nukleonenzahl des Nuklids um 4 abnimmt: 2 Neutronen und 2 Protonen. Die Ordnungszahl, Kernladungszahl, Neutronenzahl und Protonenzahl nehmen um jeweils 2 ab!

β^- - Zerfall

Das Nuklid sendet Elektronen aus, die aus der Umwandlung von Neutronen in Protonen entstehen. Dabei entsteht ein neues Element mit größerer Ordnungszahl

β^+ - Zerfall

Das Nuklid sendet Positronen (positive Elektronen) aus, die aus der Umwandlung von Protonen in Neutronen entstehen. Dabei entsteht ein neues Element mit niedrigerer Ordnungszahl.

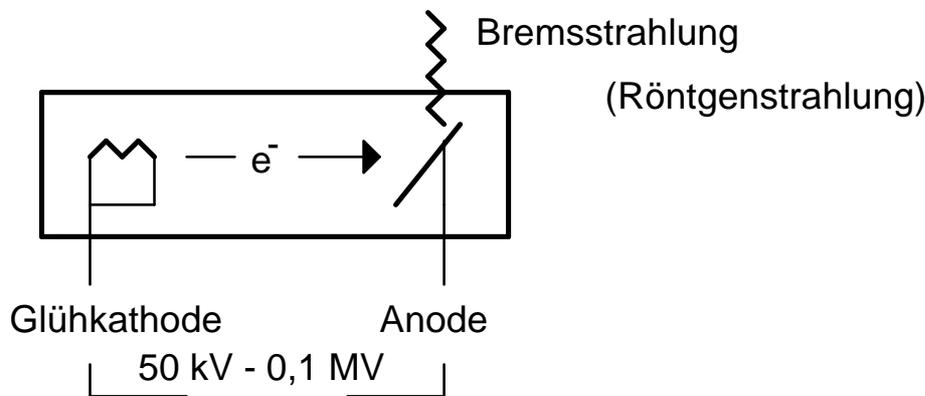
β - Strahlen können von magnetischen Feldern abgelenkt werden, weil Elektronen eine elektrische Ladung besitzen.

γ - Zerfall, eigentlich γ -Strahlung:

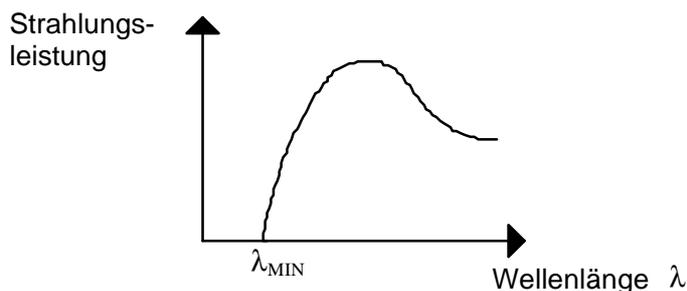
Bei der Umwandlung eines Nuklids vom angeregten in den Grundzustand wird elektromagnetische Strahlung in Form von γ - Strahlung frei. (RÖNTGENSTRAHLUNG Keine Änderung der Ordnungszahl, keine Ablenkung der Strahlung in elektrischen oder magnetischen Feldern).

Eine Röntgenröhre besteht aus einer Glühkathode und einer Anode in einer Vakuumröhre. Zwischen Kathode und Anode liegen üblicherweise Spannungen von 50 kV bis 0,1 MV. Aus der Kathode treten Elektronen aus und schlagen, beschleunigt durch die Spannung, auf der Anode auf. Aus kernnahen Schalen der Atome der Anode werden dabei Elektronen herausgelöst. Dabei entsteht eine elektromagnetische Bremsstrahlung (γ - Strahlung). Die Maximalenergie von Röntgenquantender Bremsstrahlung ist proportional zur Anodenspannung

Röntgenröhre:



Für die Bremsstrahlung einer Röntgenröhre ergibt sich ein kontinuierliches Röntgenspektrum, das etwa so aussieht:



Die Grenzwellenlänge λ_{MIN} ist bestimmt durch die Energie der auf der Anode auftreffenden Elektronen.

Die Wellenlänge der charakteristischen Strahlung einer Röntgenröhre hängt nur vom Anodenmaterial ab! Die Schwächung einer Röntgenstrahlung erfolgt in Form einer abnehmenden Exponentialfunktion, die so aussieht wie eine Kondensator-Entladungskurve (wer erinnert sich noch?). Die Anzahl der zerfallenen Kerne eines Nuklids sieht dafür umgekehrt aus, wie eine Kondensator-Aufladungskurve. (siehe Kapitel 5, „Elektrizitätslehre“)

Die Energiedosis einer Strahlung ist die absorbierte Strahlenenergie pro Masse des Volumens, auf das die Strahlung auftrifft. Die Einheit der Energiedosis ist [J / Kg] = [Gy] (Gray). Definition des IMPP: Energiedosis: Der Quotient aus der in einem Volumen auf Materie übertragenen Energie ionisierender Teilchen und der Masse der Volumens. So kompliziert kann man es auch ausdrücken.

Wichtigste Schutzmaßnahme vor einer Röntgenstrahlung ist: Abstand halten. Die Dosisleistung (Energiedosis / Zeit, Einheit logischerweise [Gy / s]) fällt nämlich quadratisch mit dem Abstand, d.h. wenn man den Abstand zu einer Röntgenquelle verdoppelt, bekommt man nur noch ein Viertel der Strahlung ab. Als weitere Schutzmaßnahme kann man Bleiplatten zwischen sich und die Strahlungsquelle bringen. 5 mm Blei sind die „Halbwertsdicke“, d.h. schwächen die Strahlung um die Hälfte ab. 1 cm dann schon um $\frac{3}{4}$ auf $\frac{1}{4}$ der ursprünglichen Strahlung (siehe auch Schwächung der Strahlung durch die Zeit, Halbwertszeit).

Fragen:

Wieviel Prozent einer radioaktiven Substanz sind nach 3 Halbwertszeiten zerfallen?
Wie lange ist ungefähr die Halbwertszeit von Plutonium? Im OP wird durchleuchtet. Der Operateur steht in 1 m Abstand von der Strahlenquelle mit einer 5 mm dicken Bleischürze. Ein Assistent steht in 2 m Abstand von der Strahlenquelle ohne Schürze - welcher von beiden bekommt mehr Röntgenstrahlung ab?

?

9. INDEX

- Aggregatzustand 16
- Aluminium 14
- Ampere 4; 18
- Amperemeter 20
- Amplitude 22
- Ankathete 9
- Anode 30
- Arbeit 5; 10
 - Beschleunigungsarbeit 11
 - Hubarbeit 11
 - Volumenarbeit 12
- Atom 12
- Atomkern 12
- Atommasse 13
- Auflösungsvermögen 28
- Auftrieb *Siehe* Kraft, Auftriebskraft
- Ausbreitungsgeschwindigkeit 22
- Ausdehnungskoeffizient
 - thermischer 14
- Balkenwaage 8
- Becquerel 29
- Beleuchtungsstärke 29
- Beschleunigung 5; 7
 - Erdbeschleunigung 7
- Bewegungsenergie *Siehe* Energie, kinetische
- Bild
 - reeles 27
 - virtuelles 27
- Blei 14
- Blut 24
- Brechkraft 26
- Brechungsindex 26
- Brechzahl 25
- Brennpunkt 26
- Brennweite 26; 27
- Candela 4; 28
- Celsius 13
- Centi 4
- Chromatische Abberation 26
- Cosinus 9
- Coulomb 5
- Dampf 16
- Dampfdruck 16
- Dezibel 24
- Dichte 5
- Dielektrikum 21
- Dielektrizitätskonstante 21
- Diffusion 15
- Dimension 4
- Dioptrie 26
- Dispersion 26
- Dosisleistung 31
- Drehmoment 5; 10
- Dreieck 9
- Druck 5; 11
 - Dampfdruck 16
 - Gasdruck 15
 - hydrostatischer 11
 - Luftdruck 17
 - Partialdruck 15
- Druck-Volumen-Diagramm 16
- Dynamo 18
- Effektivwert 21
- Eigenfrequenz 23
- Einheit 4
- Eis 14
- Eisen 14
- Elektrolyte 17
- Elektron 12
- Elektronenvolt 5
- Elementarladung 13
- Energie 5; 11
 - kinetische 11
 - potentielle 11
- Energiedosis 31
- Energieerhaltungssatz 11
- Erdbeschleunigung 8
- Erdung 19
- Erstarren 16
- Extinktion 28
- Extinktionskoeffizient 28
- Fadenpendel 22
- Fallbewegung 7
- Federwaage 8
- Fehler 6
 - absoluter 6
 - relativer 6
 - systematischer 6
 - zufälliger 6
- Feldstärke
 - elektrische 5; 18
 - magnetische 18
- Flüssigkeit
 - benetzend 9
 - nicht benetzend 9
 - Strömung von 12
- Frequenz 22; 26
- Gas 15
 - Zustandsgleichung 15
- Gasdruck 16
- Gasgemische 15
- Gaskonstante 15
- Gegenkathete 9
- Gegenstandsweite 27
- Geschwindigkeit 7
- Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm 7
- Gewichtskraft 8
- Giga 4
- Glas 24
- Gray 31
- Grenzwinkel 25
- Größe 4
 - abgeleitete 5
 - Basisgröße 4
- Hagen-Poiseuille Gesetz 12
- Halbwertszeit 29
- Hauptsatz der Wärmelehre 14
- Hebelgesetz 10
- Hertz 22
- Hohlspiegel 25
- Hookesches Gesetz 8
- Hypotenuse 9

- Impuls 5; 8
- Impulserhaltungssatz 8
- Induktionsstrom 18
- Innenwiderstand 20
- Isobare 15
- Isochore 15
- Isotherme 15
- Isotop 13
- Joule 5
- Kalorien 5
- Kapazität 20; 21
- Kapillaraszension 9
- Kapillardepression 9
- Kapillare 9
- Kathode 30
- Kelvin 4; 5; 13
- Kernladungszahl 29
- Kilo 4
- Kilogramm 4
- Kohlendioxid 24
- Kondensator 20
- Kondensatoraufladung 21
- Kondensatorentladung 21
- Kondensieren 16
- Konvektion 14
- Konzentration 28
- Kraft 5; 8
 - Adhäsionskraft 9; 12
 - Auftriebskraft 8
 - effektive 9
 - Gewichtskraft 8
 - Kohäsionskraft 9; 12
 - Van-der-Waalsche 16
- Kupfer 24
- Ladung 20
 - elektrische 5
- Lageenergie *Siehe*Energie, potentielle
- Lambert-Beer-Gesetz 28
- Länge 4
- Längenausdehnung 13
- Leistung 5
 - elektrische 5
- Leitfähigkeit 17; 18
- Leitwert 18
- Lichtbrechung 25
- Lichtgeschwindigkeit 26
- Lichtintensität 28
- Lichtmikroskop 28
- Lichtstärke 4; 28
- Lichtstrom 28
- Linsen
 - Konvexlinsen 26
 - Sammellinsen 26
- Lot 25
- Luft 17; 24
- Luftdruck 17
- Luftfeuchte 17
- Lumen 28
- Lux 29
- Masse 4
 - molare 5
- Massenzahl 13
- Maßzahl 4; 5
- Mega 4
- Messen 4; 6; 20
- Meßfehler 6
- Meßreihe 6
- Metall 17
- Meter 4
- Micro 4
- Mikroskop *Siehe*Lichtmikroskop
- Milli 4
- Mittelwert 6
- Mol 4; 5
- Molekularbewegung 16
- Nano 4
- Neutron 12; 29
- Neutronenzahl 29
- Newton 5; 8
- Newtonschen Flüssigkeit 12
- Newtonsches Axiom 8
- Nukleonen 12
- Nukleonenzahl 29
- Nuklid 13; 29
- Objektiv 28
 - Immersionsobjektiv 28
- Ohm 5; 18
- Okular 28
- Ordnungszahl 13; 29
- Osmose 15
- Oszillograph 22
- Parallelschaltung 18
- Partialdruck 15
- Pascal 5; 11
- Periodendauer 22; 23
- Phasenübergang 16
- Phon 29
- Pico 4
- Polarisieren 23
- Positron 30
- Potential
 - elektrisches 19
- Prisma 26
- Proton 12; 29
- Protonenzahl 13; 29
- Quantitative Beschreibung 4
- Radioaktivität 29
- Reell 27
- Reflexion 25
- Reflexionsgesetz 25
- Reihenschaltung *Siehe*Serienschaltung
- Resonanzfrequenz 23
- Resonanzkatastrophe 23
- Röntgenquanten 30
- Röntgenröhre 30
- Röntgenspektrum 30
- Röntgenstrahlung 30
- Ruhelage 22
- Schallgeschwindigkeit 24
- Schallintensität 24
- Scherspannung *Siehe*Schubspannung
- Schichtdicke 28
- Schmelzen 16
- Schubspannung 12
- Schweredruck *Siehe*Druck, hydrostatischer
- Schwingungen 22
- Sekunde 4
- Serienschaltung 18

Sinus 9
 Skalar 5
 Spannung 18; 19
 Klemmenspannung 20
 Spannungsquelle 20
 Spektralfarben 26
 Standardabweichung 6
 Stoffmenge 4
 Strahlung 29
 γ -Strahlung 30
 Bremsstrahlung 30
 Strecke 4
 Strom
 elektrischer 17
 Induktionsstrom 18
 Wechselstrom 21
 Stromstärke 12
 elektrische 4; 18
 Strömung 12
 laminare 12
 Strömungsgeschwindigkeit 12
 Strömungswiderstand 12
 Sublimieren 16
 Temperatur 4; 13
 Torr 11
 Totalreflexion 25
 Ultraschall 24
 Vektor 5

Verdampfen 17
 Verdunsten 16
 Virtuell 27
 Volt 5; 18
 Voltmeter 20
 Volumenausdehnung 13
 Wärme 13
 Wärmekapazität 5; 14
 spezifische 14
 Wärmeleitung 14
 Wärmestrahlung 14
 Wasser 14; 24
 Wasserdampf 14
 Wasserstoffgas 14
 Watt 5; 21
 Wechselstrom 21
 Weg-Zeit-Diagramm 7
 Wellen 22
 Longitudinalwellen 23
 Schallwellen 23
 Transversalwellen 23
 Wellenlänge 22; 26; 31
 Widerstand
 elektrischer 5; 14; 17; 18
 Zeit 4
 Zeitablenkungsgeschwindigkeit 23
 Zeitkonstante 20
 Zerfall 29