

Physik

Aufgabe der Physik: Erforschung der Vorgänge und Gesetze in der unbelebten Natur, soweit das Wesen der Stoffe sich nicht ändert.
Beisp.: Geschwindigkeit und Weg eines Autos, Einschalten einer elektr. Glühbirne.

Mit den inneren Umwandlungen der Stoffe befasst sich die Chemie.
Die Vorgänge im Innern eines Atoms werden in der Atomphysik bzw. Kernphysik behandelt.

Einteilung der Physik

Molekularphysik = Physik der Moleküle

Mechanik, Bewegungslehre, Lehre v. Gleichgewicht

Akustik, Lehre vom Schall

Optik, " " Licht

Wärme,

Magnetismus und Elektrizität,

Atomphysik

Geschichtliches: Der Physiker des griechischen Altertums war Aristoteles (324 v.Chr.). Nach ihm Archimedes (200 v.Chr., Hebelgesetz, Auftrieb), Heron v. Alexandria (Heronball). Im Mittelalter galt Aristoteles als unumstrittene Autorität, keine Weiterentwicklung.
In der Renaissance nahmen alle Naturwissenschaftler neuen Aufschwung und damit auch die Physik. Von da an ist der Aufstieg der Physik durch die Namen gekennzeichnet: Galilei, Keppler, Volta, Galvani, Faraday, Newton, A.v. Humboldt, Leibniz, W. v. Siemens, Helmholtz, Hertz, Braun, Marconi, Kelvin, Planck, Einstein, Curie, Hahn, Heisenberg und v.a.m.

Die Maße

Längenmaße:

Das Meter ist als der ^{10.000.000} 10.000.000ste Teil eines Erdquadranten festgelegt. Urmeter in Paris, hergestellt aus Platiniridium, davon Kopien in allen Kulturstaaten.



$$1 \text{ Dezimeter} = \frac{1}{10} \text{ m} = 1 \text{ dm}$$

$$1 \text{ Zentimeter} = \frac{1}{100} \text{ m} = 1 \text{ cm}$$

$$1 \text{ Millimeter} = \frac{1}{1000} \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

$$1 \text{ Mikron} = 1 \text{ } = \frac{1}{1000} \text{ mm} = 10^{-4} \text{ cm}$$

$$1 \text{ Millimikron} = 1 \text{ m} = \frac{1}{1000} = \frac{1}{1000000} = 10^{-7} \text{ cm}$$

$$1 \text{ Anströmeinheit} = \frac{1}{10^8} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm} = 1 \text{ A}$$

$$1 \text{ X-Einheit} = 10^{-11} \text{ cm} = 1 \text{ X}$$

Weiter noch gebräuchlich: 1 Seemeile = 1852 m,

1 geograph. Meile = 7 500 m.

$$1 \text{ Zoll} = 25,4 \text{ mm}$$

Flächenmaße:

$$1 \text{ Quadratmillimeter} = 1 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ " zentimeter} = 1 \text{ cm}^2 = 1 \text{ qcm}$$

$$1 \text{ " dezimeter} = 1 \text{ dm}^2 = 1 \text{ qdm}$$

$$1 \text{ " meter} = 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ qm}$$

$$1 \text{ Ar} = 100 \text{ m}^2 = 1 \text{ ar}$$

$$1 \text{ Hektar} = 100.000 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ m}^2 = \text{ha}$$

$$1 \text{ Quadratkilometer} = 1 \text{ km}^2 = 1.000.000 \text{ m}^2$$

Raummaße:

$$1 \text{ Kubikmillimeter} = 1 \text{ mm}^3$$

$$1 \text{ Kubikzentimeter} = 1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ cbcm}$$

$$1 \text{ Kubikmeter} = 1 \text{ m}^3 = 1 \text{ cbm}$$

$$1 \text{ Kubikdezimeter} = 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ Liter}$$

Gewichte

$$1 \text{ kg} = 1 \text{ Kilogramm} = \text{Maße eines dm}^3 \text{ Wasser von } 4^\circ \text{C}$$

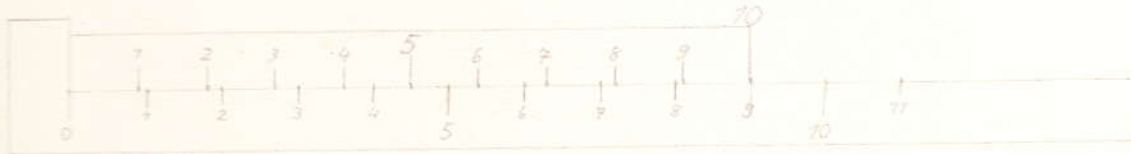
$$1 \text{ kp} = 1 \text{ Kilopond} = \text{Gewicht " " " " "}$$

$$1 \text{ gr} = 1 \text{ Gramm} = \frac{1}{1000} \text{ kg}$$

$$1 \text{ Pond} = \frac{1}{1000} \text{ Kilopond}$$

Instrumente zur Längenmessung:

Die Schublehre mit Nonius gestattet Genauigkeit bis etwa $\frac{1}{20}$ -mm



Inhalt von Flächen:

Dreieck $F = \frac{g \cdot h}{2}$

Rechteck $F = a \cdot b$

Kreis $F = r^2 \cdot \pi$

Trapez $F = \frac{a + c}{2} \cdot h$

Unregelmässige Flächen werden in n parallele Streifen von der Breite a und den ungleichen Höhen h_1, h_2, h_3 zerlegt. Dann ist

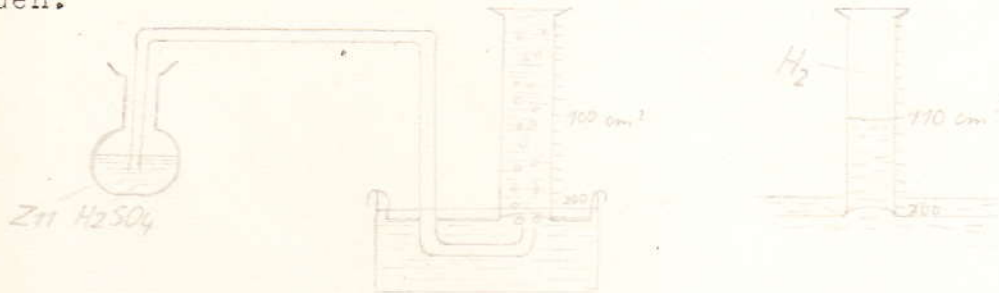
1) $f = ah_1 + ah_2 + ah_3 + \dots = a \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + \dots)$

Zur mechanischen Ausmessung solcher Flächen dient das Planimeter.

Der Rauminhalt (das Volumen) eines unregelmässigen Körpers lässt sich durch Eintauchen in eine Flüssigkeit ermitteln, deren Volumzunahme an einer Mes-Skala abgelesen werden kann.

Meßzylinder

Der Rauminhalt von Gasen kann in der pneumatischen Wanne ermittelt werden:



Das spezifische Gewicht

Das spezif. Gewicht oder die Wichte gibt an, wievielmals schwerer ein Körper ist als die gleich große Wassermenge von 4°C oder auch:

Das spezif. Gewicht an, wievielmals ein cm^3 des betr. Körpers schwerer ist als 1 cm^3 Wasser von 4°C.

Somit ergibt sich das spezif. Gewicht als das in Gramm gemessene Gewicht von 1 cm^3 des betr. Körpers

$$2) \text{ spez. Gewicht } s = \frac{\text{Gewicht des Körpers}}{\text{Volumen des Körpers}} = \frac{G}{V}$$

Si 10,5
Ar 79,33

1 l = 1 Liter = 1 dm^3 Schwefelsäure wiegt 1,84 kg

folglich

$$s = \frac{1,84}{1} = 1,84$$

1 cm^3 Quecksilber wiegt 13,6 gr, folglich $s = 13,6$

Aus Formel 2) $s = \frac{G}{V}$

folgt 2a) $V = \frac{G}{s}$ und

2b) $G = s \cdot V$

Aufg.: 1) Wie groß ist das spezif. Gewicht einer Legierung, die 80% (Gewichts %) Gold und 20% Silber enthält?

2) 5 Liter Leichtbenzin vom spez. Gew. $s_n = 0,68$ werden mit 3 l Benzol v. spez. Gew. $s_1 = 0,90$ gemischt.

Wie groß ist s für die Mischung?

3) 236 gr einer Salzlösung v. spez. Gew. $s_1 = 1,42$ werden mit 328 gr einer Lösung v. spez. Gew. $s_2 = 1,16$ gemischt.

Wie groß ist das resultierende spez. Gewicht?

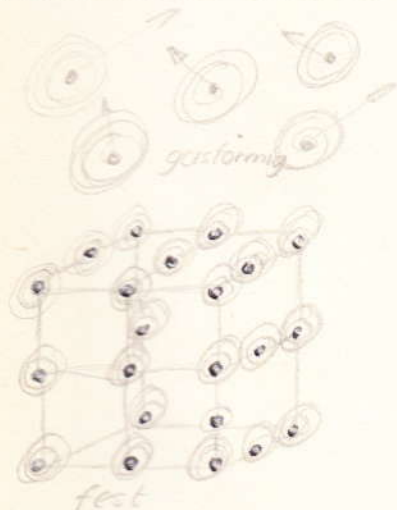
- 4) Ein silberähnliches Schmuckstück wiegt 60 gr, durch Eintauchen in Wasser findet man sein Volumen $m \cdot 7\text{cm}^3$. Besteht es aus Silber ?

Molekulare Eigenschaften

Die Eigenschaften der Körper sind bedingt durch die Eigenschaften und das Verhalten der Moleküle.

Sind die Moleküle in Bewegung, so enthalten sie Energie, welche wir als Wärme wahrnehmen.

Bei festen Körpern schwingen die Moleküle um ein festes geometrisch angeordnetes Zentrum (Z).



Mit steigender Temperatur wächst die Schwingweite, der Abstand der Zentren vergrößert sich, schließlich geraten die Zentren in Bewegung, der feste Körper wird flüssig. Der Zusammenhalt d. Moleküle wird kleiner. Wird dieser $=0$, so geht der Körper in den gasförmigen Zustand über.

Die drei Aggregat-Zustände

fest

flüssig

gasförmig sind also durch die Energie der Moleküle bestimmt.

Die Bewegung der Moleküle kann man im Brown'schen Versuch sichtbar machen.

Die Geschwindigkeit^{en} der Moleküle im flüssigen Körper sind klein; im gasförmigen Zustand werden sie sehr groß:

Geschwindigkeit der Sauerstoffmoleküle bei $0^\circ = 430 \text{ m/sec.}$

" " Wasserstoff " bei $0^\circ = 1800 \text{ "}$

Die Stöße der Moleküle gegen die Gefäßwand gehen als "Druck" in Erscheinung.

Diffusion:

Die Bewegung der Moleküle im flüssigen und ganz besonders im gasförmigen Zustand bedingt eine mehr oder weniger schnelle Vermischung der Moleküle. Schüttet man in einem Standzylinder Wasser über eine



farbige Salzlösung und läßt den Zylinder ruhig stehen, so wandert die Salzlösung von selbst nach oben und vermengt sich ohne äußeres Zutun mit dem Wasser.

Weit schneller vermischen sich die Gase. Selbst feste Körper unterliegen der Diffusion. Zink und Kupfer unter hohem Druck bilden an der Trennungsfläche auch bei normaler Temperatur nach Monaten Messing. Selbstverständlich tritt im geschmolzenen Zustand die Vermischung sehr viel schneller ein.

Härte der Körper: Messung der Härte nach der Mohs'schen Härteskala:

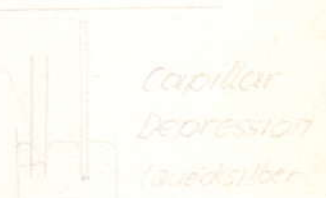
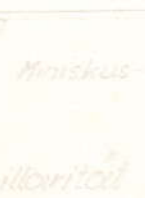
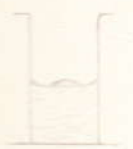
- | | | |
|--------------|-------------|-------------|
| 1. Talk | 5. Apatit | 9. Korund |
| 2. Gips | 6. Feldspat | 10. Diamant |
| 3. Steinsalz | 7. Quarz | |
| 4. Flußspat | 8. Topas | |



Genauere Messung nach Brinell: Eine harte Metallkugel wird auf eine Platte des zu untersuchenden Stoffes unter bestimmten Druck gepresst, und die Tiefe und Weite des Eindrucks gemessen.

Unter Kohäsion versteht man den Zusammenhalt der Moleküle. Sie beruht auf der gegenseitigen Anziehung der Moleküle und tritt nach aussen als Festigkeit in Erscheinung. Auch die Flüssigkeiten besitzen eine, wenn auch relativ kleine Kohäsion. (Wassertropfen, Quecksilberkugeln, Plateau'scher Versuch.

Öl in Wasser Alkohol in Wasser



Mit Adhäsion oder Haftkraft bezeichnet man die gegenseitige Anziehung der Moleküle zweier verschiedener Körper. Staub an den Wänden, Haften der Kreide an der Tafel, der Farben, Haften von Mörtel und Gips an Decken und Wänden, der Tinte am Papier etc. Durch Adhäsion wird auch das Hochsteigen der Flüssigkeiten in engen Röhrchen bewirkt und wird in diesem Fall als Capillarität (Haarröhrchenanziehung) bezeichnet.

Hochsteigen von Wasser in den Pflanzen, des Petroleums im Docht, des Grundwassers im Mauerwerk etc.

Bewegungslehre

1. Gleichförmige, geradlinige Bewegung

Geschwindigkeit bleibt konstant und ist gegeben durch die Beziehung

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$$

$$3) \quad v = \frac{s}{t}$$

Durch Umstellung folgt

$$3a) \quad s = v \cdot t \quad \text{Weg ist Geschwindigkeit mal Zeit}$$

$$3b) \quad t = \frac{s}{v} \quad \text{Zeit ist Weg durch Geschwindigkeit}$$

Die Dimension der Geschwindigkeit ist $\frac{\text{Länge}}{\text{Zeit}} = \frac{L}{T}$

und zwar $\frac{m}{sec} = m \cdot sec^{-1}$ oder $\frac{km}{Std}$ oder $\frac{cm}{sec} = cm \cdot sec^{-1} = cm/sec$

Aufg.: Ein Radfahrer fährt um 5¹⁰ von A ab nach B mit $v_1 = 7 \frac{m}{sec}$,

um 6⁴⁰ fährt ein 2. Radfahrer von B ab nach A mit $v_2 = 10 \frac{m}{sec}$.

Wann und wo begegnen sich beide, wenn AB = 63 km?

$$\begin{aligned}
 &v = \frac{s}{t} \\
 &x = \text{Zeit des 1. Radf. A} \quad t = \frac{s}{v} \quad 15 \quad \frac{447 \cdot 1,5}{2205} \\
 &x = 75 = \text{Zeit des 2.} \\
 &\frac{x}{7} + \frac{x-75}{10} = \frac{1}{63} \quad 630x + 447x - 6675 = 70 \\
 &630x + 70x + 630 = 70 \quad A = 6 \text{ Std } 6 \text{ min } 1071x = 6685 \\
 &B = 5 \text{ Std } 36 \text{ min} \quad x = \frac{6685}{1071} \\
 &\frac{6685 \cdot 1071 - 6,1 \cdot 700x = 700}{2590} \quad x = 1 [Std] \\
 &x = 6,1 [Std] \\
 &x = 6^h 6 \text{ min}
 \end{aligned}$$

Ein Auto fährt um 4^{20} von A ab Richtung B mit $v_1 = 72 \text{ km/std.}$
 4^{50} fährt ein zweiter Wagen von A ab in gleicher Richtung mit
 $v_2 = 96 \text{ km/std.}$ Wann holt der zweite Wagen den ersten ein?

Geschwindigkeiten

	<u>m/sec</u>	<u>km/std</u>
Fußgänger	1,5	5,2
Verkehrsflugzeug	100-200	360-720
Sturmwind	30-50	108-180
FD-Zug	60	216
Schall	330	
Licht		300 000 km/sec
Erde auf ihrer Bahn um d. Erde	30 km/sec = 108 000 km/std.	
künstl. Erdtrabant	8 km/sec = 29 000 km/std.	

Ungleichförmige Bewegung

Ein anfahrender D-Zug hat zunächst keine gleichbleibende Geschwindigkeit. Sie beginnt mit Null und kann allmählich innerhalb von einigen Minuten auf die Höchstgeschwindigkeit anwachsen.
 Nimmt die Geschwindigkeit in jeder Sekunde um den Betrag b zu, so ist der Zuwachs nach t Sekunden

4) $\underline{v = b \cdot t}$ b heisst die Beschleunigung
 v wird als Endgeschwindigkeit auch mit v_e bezeichnet

Durch Umstellung erhält man aus Formel 4)

4a) $b = \frac{v}{t}$ Beschleunigung = $\frac{\text{Endgeschwindigkeit}}{\text{Zeit}}$

und 4b) $t = \frac{v}{b}$

Hat ein D-Zug nach 240 Sekunden eine Geschwindigkeit von $v = 30 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ erreicht, so betrug die Beschleunigung

$$b = \frac{30}{240} = 0,125 \text{ m/sec}^2$$

Die Bezeichnung für Beschleunigung ist $\frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = \text{m/sec}^2$ oder $\frac{\text{L}}{\text{T}^2} = \text{LT}^{-2}$
 weil sie aus einer Geschwindigkeit v hervorgeht, welche nochmals durch die Zeit t geteilt wird.

$$b = \frac{v}{t} = \frac{\frac{\text{m}}{\text{sec}}}{\text{sec}} = \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

Um den Weg bei dieser Bewegungsart zu ermitteln, rechnet man mit einer mittleren Geschwindigkeit:

$$v_m = \frac{0 + v_e}{2} = \frac{v_e}{2} \quad \text{dann wird}$$

$$5) \quad s = v_m \cdot t = \frac{v_e}{2} \cdot t, \text{ ferner } 5a) \quad v_e = \frac{2s}{t}$$

Andrerseits ist nach 4) $v_e = b \cdot t$ Es folgt

$$6) \quad s = \frac{v_e}{2} \cdot t = \frac{b \cdot t}{2} \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} b t^2$$

Bei gleichmässig beschleunigter Bewegung wächst der Weg mit dem Quadrat der Zeit.

Aus 6) folgt

$$6a) \quad b = \frac{2s}{t^2} \quad \text{und} \quad 6b) \quad t = \sqrt{\frac{2s}{b}}$$

Aufg. Ein D-Zug fährt mit einer Beschleunigung $b = 0,24 \text{ m/sec}^2$ an.

Wie groß ist seine Geschwindigkeit nach 150 Sekunden? Welchen Weg hat er bis dahin zurückgelegt?

$$v_e = b \cdot t = 0,24 \cdot 150 = 36 \text{ m/sec}$$

$$s = \frac{1}{2} b t^2 = \frac{0,24}{2} \cdot 150^2 = 2700 \text{ m} = 2,7 \text{ km}$$

Ist schon eine Anfangsgeschwindigkeit c vorhanden, dann wird

$$7) \quad v_e = c + b t \quad \text{und}$$

$$8) \quad s = c \cdot t + \frac{1}{2} b t^2$$

Dabei kann b auch eine Verzögerung, also eine negative Beschleunigung sein, an Stelle von $+b$ tritt dann $-b$ und die Gleichungen 7) und 8) gehen über in

$$9) \quad v_e = c - b t \quad \text{und}$$

$$10) \quad s = c \cdot t - \frac{1}{2} b t^2$$

Formeln 7-10) lassen sich dann zusammenfassen in

$$\begin{array}{ll} 10) \quad v_e = c \pm b t & \left. \begin{array}{l} +b \text{ Beschleunigung} \\ -b \text{ Verzögerung} \end{array} \right\} \\ 11) \quad s = c \cdot t \pm \frac{1}{2} b t^2 & \end{array}$$

Von besonderer Bedeutung sind Formel 9) und 10). Sie gestatten, den Bremsweg eines Fahrzeugs zu berechnen, das von der Geschwindigkeit v auf Null abgebremst oder zum Stillstand gebracht wird. In diesem Falle ist

$$v_e = 0 \quad \text{und es folgt damit aus 9)}$$

$$0 = c - b \cdot t \quad \text{und} \quad c = b \cdot t, \text{ multipl. man mit } t, \text{ so folgt}$$

$$c \cdot t = b \cdot t^2; \text{ damit wird nach 10)}$$

$$s = b \cdot t^2 - \frac{1}{2} b \cdot t^2 = \frac{1}{2} b t^2; \text{ f\"ur } \frac{1}{2} b t^2 \text{ kann } \frac{1}{2} \frac{b^2 t^2}{b} \text{ gesetzt werden:}$$

$$12) \quad s = \frac{1}{2} \frac{b^2 t^2}{b} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{b} \quad \text{Bremsweg, wenn von } v \text{ auf } 0 \text{ abgebremst wird; ist } s \text{ gegeben, so erh\"alt man mit}$$

$$12a) \quad b = \frac{v^2}{2s} \quad \text{die wirksam gewesene Verz\"ogerung.}$$

Der freie Fall

Der freie Fall eines K\"orpers ist, wie zuerst Galilei (um 1600) erkannte, eine gleichm\"assig beschleunigte Bewegung, auf welche die Formeln 4) bis 6b) ohne weiteres angewandt werden k\"onnen.

Die Beschleunigung ergibt sich f\"ur den freien Fall aus experimenteller Beobachtung zu 9,81 und wird mit g bezeichnet.

$$g = 9,81 \text{ m/sec}^2 \quad (\text{oder } 981 \text{ cm/sec}^2)$$

Dieser Wert ist an der Erdoberfl\"ache nicht \"uberall gleich, am Nordpol gr\"o\"Ber, am \"Aquator kleiner.

Es folgt nach Formel 4)

$$14) \quad v_e = g \cdot t \quad \text{die Endgeschwindigkeit nach } t \text{ Sek.}$$

$$\text{aus 6) 15) } s = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} 15) \\ 16) \end{matrix}} \right\} \text{ der Weg nach } t \text{ Sek.};$$

$$\text{" 5) 16) } s = v_m \cdot t \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} 15) \\ 16) \end{matrix}} \right\} v_m = \frac{1}{2} g \cdot t, \text{ mittl. Geschwindigkeit}$$

Die Fallwege sind dem Quadrat der Zeit proportional.

Aufg. Wie tief f\"allt ein Stein in 1, 2, 3....6 Sekunden ?

Fallzeit	Endgeschw.	mittl. Geschw.	Weg s
1 sec	9.8 ^m /sec	4.9 ^m /sec	4.9 m
2 sec	19.6	9.8	19.6
3 sec	29.4	14.7	44.1
4 sec	39.2	19.5	78.0

n

Tabelle der spezifischen Gewichte

Aluminium	2,7
Blei	11,4
Duralumin	2,6
Eisen	7,85
Stahl	7,8-7,9
Gußeisen	7,3
Glas	2,5
Gold	19,3
Holz: Ebenholz	1,2
Eiche	0,7-1,0
Tanne	0,4-0,7
Buche	0,7-0,9
Pappel	0,4
Kork	0,24
Kupfer	8,9
Magnesium	1,7
Natrium	0,98

Nickel	8,6
Quarz	2,7
Quecksilber	13,596
Platin	21,4
Wismut	9,8
Silber	10,5
Zink	7,1
Zinn	7,3
Diamant	3,6
Eis	0,92
Messing	8,4-8,7
Graphit	1,9-2,3
Kohl e	1,2-1,5
Koks	1,4
Zucker	1,6
Butter	0,95
Fette	0,92-0,94

Beton

aus Kies	2,2
mit Stahleinlage	2,8
aus Kohleschlacke	1,6
aus Bimskies	1,6
aus Hochofenschlacke	2,2

Mauerwerk

aus Mauerziegeln	1,8
Hohlziegel	1,4-1,6
Schwemmstein	1,6
Korkstein	0,6
Schamottestein	1,9-2,2
Kalksandstein	1,8
Schlackenstein	1,4

Steine

Kalkstein(ungebr.)	2,2-2,7
gebrannter Kalk	1,2
Marmor	2,7
Sandstein	2,4
Bimsstein	1,2

Flüssigkeiten

Aether	0,76
Alkohol 100%	0,79
Benzin	0,68-0,74
Benzol	0,90
Petroleum	0,76
Glyzerin	1,27
Leinöl,gekocht	0,94
Milch	1,05-1,03
Olivenöl,Rüböl	0,92
Salpetersäure 90%	1,5
Salzsäure 40%	1,2
Schwefelsäure rein	1,84
Wasser rein	1,000
Meerwasser	1,02-1,04

Im luftleeren Raum fallen alle Körper gleich schnell. Von Luftwiderstand wir hier abgesehen.

Wie tief fällt ein Stein in 20 Sekunden ?

Wie lange braucht eine Bleikugel, um 5000 m zu durchfallen.

Beim senkrechten Wurf aufwärts wird die Geschwindigkeit im höchsten Punkt A $v_e = 0 = c - bt$ u. $bt = c$

also $t = \frac{c}{b} = \frac{c}{g}$ weil $b = g = 9,8 \text{ m/sec}^2$

Beim Niederfallen wird $v = g \cdot t = c$, mithin ebenfalls

$$t = \frac{c}{g} \quad \text{d.h.:}$$

Die Steigzeit ist = der Fallzeit

Aufg. Ein senkrecht aufwärts geworfener Stein schlägt nach 8 Sekunden wieder auf. Wie hoch war er gestiegen ?

$$t = \frac{8}{2} = 4 \text{ Sek.}$$

$$s = \frac{1}{2} g t^2 = 4,9 \cdot 16 = 78 \text{ m}$$

Aus $s = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \frac{g^2 \cdot t^2}{g} = \frac{1}{2g} \cdot v^2$ folgt

$$v^2 = 2 s g$$

$$v = \sqrt{2 \cdot s \cdot g} = \sqrt{2 h g}$$

Wie gross ist die Geschwindigkeit eines Raketenteils, der aus 400 km abstürzt ?

$$v = \sqrt{2 \cdot 400\,000 \cdot 9,8} = \sqrt{800\,000 \cdot 9,8} = 2830 \text{ m/sec.}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{800\,000 \cdot 9,8} \approx \sqrt{8\,000\,000} = 2830 \text{ m/sec}$$

Kraft und Masse

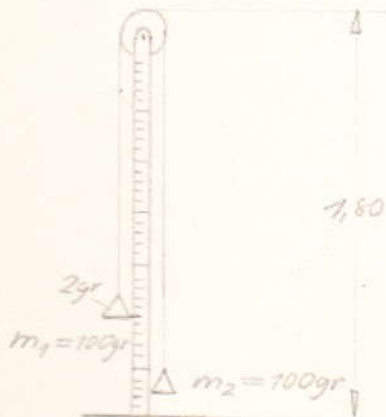
Der Bewegungszustand eines Körpers kann nur durch Einwirken äusserer Ursachen geändert werden. Solche Ursachen werden Kräfte genannt.

Wirkt eine äussere Kraft auf einen Körper ein, so setzt sie ihn entweder in Bewegung oder sie ändert seine Geschwindigkeit. Die Bewegung geht dann in eine gleichmässig beschleunigte oder verzögerte über.

An der Erdoberfläche unterliegen alle Körper der Kraft der Erdanziehung. Dass sie sich nicht in Bewegung setzen, liegt daran, dass von der Unterlage her eine Gegenkraft (reactio) wirkt, welche der Erdanziehung das Gleichgewicht hält, vgl. Küchenwaage.

Wirkt auf einen Körper eine einzelne Kraft K , so setzt sie ihn in Bewegung oder sie beschleunigt die etwa schon vorhandene Bewegung. Nach der Krafteinwirkung behält der Körper die erteilte Geschwindigkeit bei. Die Krafteinwirkung ergibt eine Geschwindigkeitsvermehrung, also eine Beschleunigung b .

Diese Beschleunigung b ist umso grösser, je grösser die Kraft und umso kleiner, je grösser die bewegte Masse M ist. Es muss daher sein:



$$16) b = \frac{K}{M} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Masse}} \quad \text{oder}$$

$$16a) K = M \cdot b$$

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$$

und weiter

$$M = \frac{K}{b}$$

Die Einheit der Masse ist ein Gramm = $\frac{1}{1000}$ cm³ Wasser, die Einheit der Beschleunigung

$$\frac{1 \text{ cm}}{1 \text{ sec}^2} = 1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

Setzt man diese Einheiten in 16a) ein, so ergibt sich die Einheit der Kraft: $K = 1 \cdot 1 = 1$

Die Einheit der Kraft ist das Dyn = 1 dyn.

Ein Dyn ist also die Kraft, welche der Masse 1 gr = 1 pond die Beschleunigung $1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$ erteilt.

Das Dyn ist eine sehr kleine Kraft. Die Masse von 1 gr = 1 pond erfährt durch ihr eigenes Gewicht 1 gr eine Beschleunigung von $981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$

Die Kraft von 1 gr ist also = 981 dyn. und

$$1 \text{ dyn} = \frac{1}{981} \text{ gr} = \frac{1}{1000} \text{ gr}$$

$$1 \text{ kg} = 1000 \cdot 981 = 981 \text{ 000 dyn}$$

$$1 \text{ dyn} = \frac{1}{981} \text{ gr} \approx \frac{1}{1000} \text{ gr}$$

$$1 \text{ kg} = 981 \text{ 000 dyn}$$

Aufg. Welche Kraft ist nötig, um einer freihängenden Kugel von 120 kg Gewicht eine Beschleunigung von $b = 1,8 \frac{m}{sec^2}$ zu erteilen.

$$M = 120\ 000\ gr \quad b = \frac{180\ cm}{sec^2}$$

$$K = M \cdot b = 120\ 000 \cdot 180 = 21600\ 000\ dyn$$

$$\underline{K} = \frac{21600\ 000}{981}\ gr = 22\ 000\ gr = \underline{\underline{22\ kg}}$$

Diese Rechnungsweise, die alle Grössen auf cm, gr und sec zurückführt, ist in der Physik allein brauchbar und heisst das absolute Maßsystem.

Im technischen Maßsystem ist

die Einheit der Kraft	1 kg (Schwerkraft)
" " " Länge	1 m
" " " Zeit	1 sek
" " " Maße	9,81 Kilopond

Ein Stein, der 250 kg wiegt, hat die Maße

$$M = \frac{250}{9,81} = 25,5\ \text{Massenkilo}$$

Damit stellt sich die Rechnung in obiger Aufgabe im technischen System wie folgt :

$$M = \frac{120}{9,8} = 12,2\ \frac{kg}{m/sec^2} = 12,2\ \frac{kg \cdot sec^2}{m}$$

$$b = 1,8\ \frac{m}{sec^2}$$

$$K = M \cdot b = 12,2\ \frac{kg \cdot sec^2}{m} \cdot 1,8\ \frac{m}{sec^2} = 12,2 \cdot 1,8\ kg$$

$$\underline{\underline{K = 22\ kg}}$$

Die Kraft kann auch der Bewegung entgegenwirken und als Verzögerung auftreten; b = dann negativ.

Aufg. Welche Kraft ist nötig, um einen Waggon von 18 to Gewicht und 72 km/Std. Geschwindigkeit über 250 m völlig abzubremesen ?

$$v = \frac{72}{3,6} = 20\ m/sec \quad s = 250\ m$$

$$b = \frac{v^2}{2s} = \frac{400}{500} = 0,8\ m/sec^2 = 80\ cm/sec^2$$

Technisch: Masse = $\frac{18\ 000}{9,8} = 1820\ \frac{kg \cdot sec^2}{m}$

$$K = M \cdot b = 1820 \cdot 0,8 = 1456\ kg$$

Handwritten calculations:

$$K = m \cdot a$$

$$v = \frac{72}{3,6} = 20\ m/sec$$

$$b = \frac{v^2}{2s} = \frac{400}{500} = 0,8\ m/sec^2$$

$$\frac{18000}{9,8} = 1820\ kg$$

$$K = M \cdot b = 1820 \cdot 0,8$$

Absolut: Masse = $18 \cdot 10^6 \text{ gr}$

$b = 80 \text{ cm/sec}^2$

$K = 18 \times 10^6 \cdot 80 = 1440 \times 10^6 \text{ dyn} = \frac{1440 \cdot 10^6}{981000} \text{ kg}$

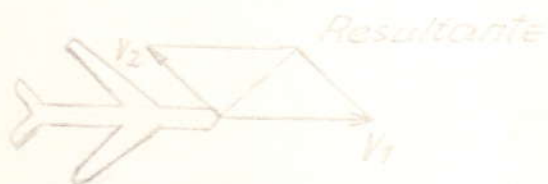
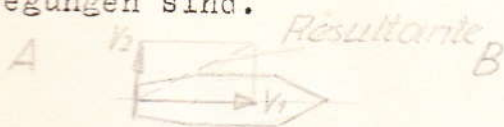
$K = 1456 \text{ kg}$

Jede Änderung der Geschwindigkeit eines Körpers erfordert eine oder mehrere Kräfte. Der Körper setzt jeder Änderung der Geschwindigkeit einen Widerstand entgegen, der als Trägheit bezeichnet wird (Gesetz der Trägheit).

Experiment. Nachweis des Gesetzes $K = M \cdot b$ durch die Atwood'sche Fallmaschine.

Zusammengesetzte Bewegungen und Geschwindigkeiten

Nimmt ein Körper gleichzeitig an 2 Bewegungen teil, so bewegt er sich auf der Diagonalen eines Parallelogramms, dessen Seiten die Teilbewegungen sind.



Ein Fallschirm fällt senkrecht nach unten und wird gleichzeitig vom Wind abgetrieben.

Ein Schiff folgt seiner Eigengeschwindigkeit und der Strömung. Die Teilbewegungen AB und AC heissen die Komponenten, die Diagonale wird als Resultierende und Resultante bezeichnet. Die Resultierende ergibt sich aus den Komponenten durch

die Beziehung:

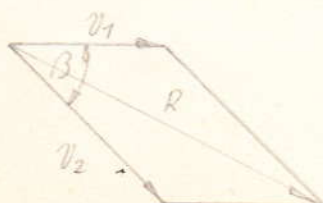
$$R^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2 \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot \cos x$$

Stehen die Komponenten senkrecht aufeinander, so ist

$$R^2 = v_1^2 + v_2^2$$

Aufg.: Ein Fluss habe die Stromgeschwindigkeit $v_1 = 1,2 \text{ m/sec}$. Wie weit wird ein Boot flussabwärts getrieben, wenn es eine zum Fluss senkrechte Eigengeschwindigkeit

$v_2 = 2,4 \text{ m/sec}$ hat und der Fluss $a = 400 \text{ m}$ breit ist ?



- 20 -

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2,4}{1,2} = 2; \quad \alpha = 63^\circ$$

$$\frac{x}{a} = \cot \alpha$$

$$x = a \cdot \cot$$

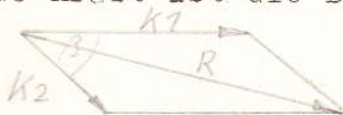
$$\text{oder auch: } \frac{x}{a} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$x = a \cdot \frac{v_1}{v_2} = 400 \cdot \frac{1,2}{2,4} = 200 \text{ m}$$

Wann kommt das Boot am anderen Ufer an ?

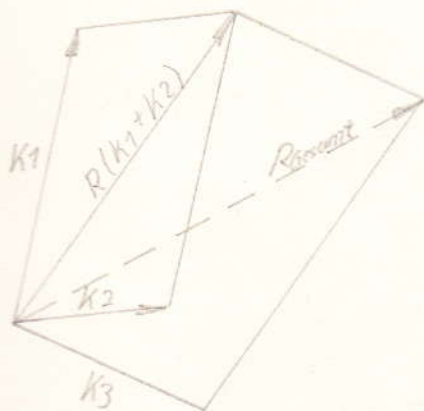
Zusammensetzung von Kräften

In gleicher Weise lassen sich auch Kräfte zusammensetzen. Die resultierende Kraft ist die Diagonale des aus den Komponenten K_1 u. K_2



zusammengesetzten Parallelogramms.
(Parallelogramm der Kräfte).

Zwei entgegengesetzte gleiche Kräfte heben sich auf. $P_1 = -P_2$
Sind mehr als 2 Kräfte zusammenzusetzen, so setzt man die zwei ersten zusammen zu einer Resultierenden, dann diese erste Resultierende mit der 3. Kraft zur 2. Resultierenden u.s.f.

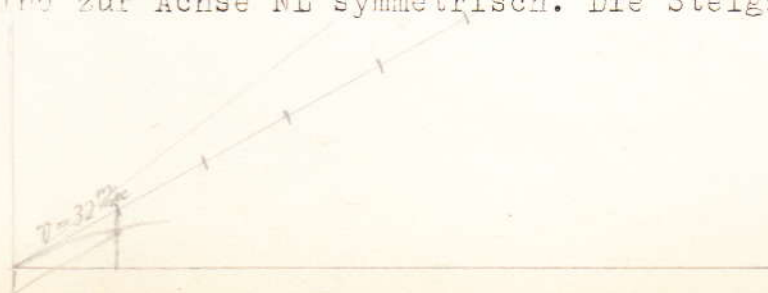


Beispiel einer zusammengesetzten Bewegung ist der schiefe Wurf. Ein schief aufwärts geworfener Stein gehorcht 2 Bewegungen, einmal der Fallbewegung, sodann einer geradlinigen Bewegung aus der dem Stein erteilten

Geschwindigkeit v . Die Geschwindigkeit v möge mit der Horizontalen den Winkel α bilden. Dann wird die Wurfweite AZ (unter Vernachlässigung des Luftwiderstandes)

$$AZ = W = \frac{v^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$$

Die Kurve $ABCDZ$ ist eine Parabel. Die steigende und die fallende Wurfbahn sind zur Achse NL symmetrisch. Die Steigzeit = der Fallzeit.



$$v = v_0 \cdot t$$

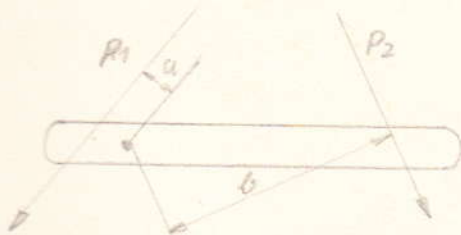
$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

Das Ziel Z kann in 2 Bahnen von dem Geschöß erreicht werden: Flachfeuer und Steilfeuer. Die größte Wurfweite ergibt sich bei $\alpha = 45^\circ$.

Kräfte und Kraftmoment

Wirken eine oder mehrere Kräfte auf einen drehbaren Körper, so ist die Drehung abhängig von der Größe der Kräfte sowie von den senkrechten Abständen dieser Kräfte vom Drehpunkt (Achse).

Das Produkt aus Kraft und dem senkrechten Abstand vom Drehpunkt heißt Drehmoment. Ein Drehkörper bleibt in Ruhe, wenn die Summe aller rechtsdrehenden Momente gleich der Summe aller linksdrehenden ist.



Der Drehkörper A B ist im Gleichgewicht, wenn $P_1 \cdot a = P_2 \cdot b$ ist. Bezeichnung der Drehmomente mit mkg oder cmkg.

Aufg.: Es sei $a = 20$ cm, $b = 35$, $P_1 = 12$ kg. Wie groß muß in obiger Skizze P_2 sein, wenn der um C drehbare Körper in Ruhe bleiben soll ?

Es muss sein: $P_2 \cdot 35 = 12 \cdot 20 = 240$ cmkg.

$$P_2 = \frac{240}{35} = 6,88 \text{ kg}$$

Die Hebelgesetze

Hebel sind Drehkörper mit festen Stützpunkten. Man unterscheidet einseitige und zweiseitige Hebel, je nach dem die Kräfte P und Q auf derselben Seite des Unterstützungspunktes Z oder auf verschiedenen Seiten liegen. Die senkrechten Abstände des Drehpunktes Z von den Kräften heißen Kraftarm bzw. Lastarm.

$$\begin{aligned}
 K_1 \cdot K_{r1} &= L_1 \cdot L_{r1} \\
 K_r \cdot 160 &= 60 \text{ kg} \cdot 8 \\
 K_r &= \frac{60 \cdot 8}{160} \\
 &= \frac{480}{160} \\
 &= 3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- 22 -

Damit lautet die Gleichgewichtsbedingung für den Hebel:

$$\text{Kraft} \times \text{Kraftarm} = \text{Last} \times \text{Lastarm.}$$

Macht man den Kraftarm beliebig groß, so kann die Kraft entsprechend kleiner werden. Man kann mit geringer Kraft schwere Lasten heben. Hebel sind: Brecheisen, Hebelwage, römische Schnellwage, Zange etc.

Aufg.: Wie groß ist die hebende Kraft eines Brecheisens von 1,60 m Gesamtlänge und 8 cm Stützweite, wenn als Gegenkraft am Hebelende 60 kg wirken.



Die Hebelgesetze gelten auch, wenn beliebig viele Kräfte an einem Drehkörper angreifen. Soll Gleichgewicht herrschen, so muss dann die

algebraische Summe der Drehmomente = 0 sein

Für den Hebel gilt die goldene Regel der Mechanik:

Arbeit der Kraft = Arbeit der Last oder:

Was man an Kraft spart, muss man an Weg zusetzen!

An dem in nebenstehender Skizze gezeichneten Hebel soll neben den Kräften $P_1=15 \text{ kg}$

mit den zugehörigen $P_2=21 \text{ kg}$

Abständen $P_3=16 \text{ kg}$

$$\begin{aligned}
 P_1 \cdot a_1 + P_2 \cdot a_2 + P_3 \cdot a_3 &= P_4 \cdot a_4 \\
 15 \cdot 32 + 21 \cdot 46 + 16 \cdot 24 &= P_4 \cdot 36
 \end{aligned}$$

$a_1=0,32 \text{ m}$, $a_2=0,46 \text{ m}$, $a_3=0,24 \text{ m}$ eine 4. Kraft P_4 im Abstand $a_4=0,36 \text{ m}$ so groß gewählt werden, dass der Hebel im Gleichgewicht bleibt.

Der Schwerpunkt

Der Schwerpunkt eines Körpers ist der Punkt, in dem man den Körper unterstützen muss, damit er in allen Lagen in Ruhe bleibt.

Für viele Rechnungen kann der Schwerpunkt den ganzen Körper ersetzen, man kann sich die Masse des Körpers im Schwerpunkt konzentriert denken.

Der Schwerpunkt einer Geraden liegt in der Mitte, der eines Dreiecks im Schnittpunkt der Mittellinie, der eines Parallelogramms im Schnittpunkt der Diagonalen. Der Schwerpunkt eines unregelmäßigen Vierecks wird durch zweimalige Zerlegung in zwei Dreiecke gefunden. Der Schwerpunkt eines beliebigen Gegenstandes kann rechnerisch, graphisch oder experimentell bestimmt werden.

Das Gleichgewicht eines Körpers

Ein Körper ist im Gleichgewicht, wenn sein Schwerpunkt unterstützt ist.

Man unterscheidet: 1. Stabiles Gleichgewicht,
2. Labiles "
3. Indifferentes "

Stabiles Gleichgewicht: Der Körper kehrt bei Störung immer wieder in seine Lage zurück.

Labiles Gleichgewicht: Der Körper nimmt seine höchste Lage ein und kehrt bei Störung nicht in seine Lage zurück.

Indifferentes Gleichgewicht: Die Höhe des Schwerpunktes bleibt unverändert, wenn der Körper sich dreht.

Arbeit und Leistung

Gerät ein Körper unter der Wirkung einer Kraft in Bewegung, so ist das Resultat der Einwirkung umso grösser zu bemessen, je länger der dabei zurückgelegte Weg ist.

Beispiel: Ein Pferd zieht auf ebener Strasse mit 20 kg 1 km oder 2 oder 3 km. Das Produkt aus Kraft und Weg wird als Arbeit bezeichnet:

$$\underline{\text{Arbeit} = \text{Kraft} \times \text{Weg}}$$

$$\underline{A = P \cdot s}$$

Um einen schweren Stein auf der Schulter zu tragen, ist Kraft erforderlich; ihn aber 8 m hoch auf der Leiter aufwärts zu tragen, ist Arbeit.

Im cm-gr-xec-System wird die Kraft in dyn, der Weg in cm angegeben; die Arbeit von 1 dyn über 1 cm wird mit Erg bezeichnet.

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \times 1 \text{ cm.}$$

Technisch rechnet man den Weg in m, die Kraft in kg, so dass als Einheit der Arbeit 1 mkg (Meterkilogramm) gilt. Die Kraft oder wenigstens eine Komponente der Kraft muss in die Wegrichtung fallen.

Eine senkrecht zum Weg gerichtete Kraft K leistet keine Arbeit.

Aufg.: Ein Pferd zieht mit 24 kg einen Wagen über 3 km. Wie groß ist die geleistete Arbeit ?

$$A = 24 \cdot 3000 \text{ mkg} = 72\,000 \text{ mkg}$$

Ein Bergsteiger mit dem Gesamtgewicht K = 100 kg ersteigt einen 3280 m hohen Berg. Welche Arbeit leistet er dabei ?

$$A = 3280 \cdot 100 = 328\,000 \text{ mkg}$$

Eine Fördermaschine hebt den 2,5 to schweren Förderkorb 520 m hoch. Wie groß ist die geleistete Arbeit ?

Geleistete Arbeit geht nicht verloren, sie wird entweder gespeichert wie beim Förderkorb oder sie geht in Wärme über und verteilt sich auf die Umgebung.

Leistung. Die Arbeit ist als Produkt aus Weg und Kraft völlig unabhängig von der Zeit.

Es ist aber meistens auch sehr wissenswert, innerhalb welcher Zeit die Arbeit geleistet wird. Damit ergibt sich der Begriff der Leistung.

Unter Leistung versteht man die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit oder

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

Als technische Einheit der Leistung gilt das Sekunden-Meterkilogramm, d.h. die von der Kraft 1 kg in 1 Sekunde über 1 m geleistete Arbeit

$$L = \frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{sec}}$$

Beispiel: Ein Pferd, das in 1 Sekunde 3,6 m zurücklegt und dabei an dem Wagen eine Zugkraft von 15 kg entfaltet, gibt die Leistung ab:

$$L = \frac{3,6 \cdot 15}{1} = 54 \text{ mkg/sec}$$

Eine Maschine, die in 20 Sekunden einen Träger von 300 kg Gewicht 8 m hoch zieht, vollbringt insgesamt $A = 300 \cdot 8 = 2400 \text{ mkg}$ an Arbeit, die dabei aufgebracht Leistung ist

$$L = \frac{A}{t} = \frac{2400}{20} = 120 \text{ mkg/sec}$$

Eine grössere technische Einheit für die Leistung ist die Pferdekraft (PS) oder Pferdestärke

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ mkg/sec.}$$

Die im vorigen Beispiel erwähnte Maschine leistet also

$$120 \text{ mkg} = \frac{120}{75} \text{ PS} = 1,6 \text{ PS}$$

Die Einheit der Arbeit im absoluten Maßstab ist das Sekundenerg, d.h. die in 1 Sek. von einem Erg geleistete Arbeit.

$$L = \frac{\text{Erg}}{\text{Sek}} = \frac{\text{Anzahl erg}}{\text{Anzahl sec}} = \frac{\text{Anzahl dyn} \times \text{Weg in cm}}{\text{Zeit in Sek.}}$$

Aufg.: Wie gross ist die Leistung eines Bergsteigers von 100 kg Gewicht, wenn er in 8 Stunden einen 3 280 m hohen Berg besteigt ?

Wie gross ist die Leistung eines Pferdes, das auf ebener Strecke mit einem Zug von 25 kg einen Wagen in 1 Std. 6 km weit zieht ?

Eine 100 kg schwere Person springt in 2,5 Sek. eine 3,2 m hohe Treppe hinauf. Wie gross ist ihre Leistung in P.S. ?

Ein Fluss liefert pro Sek. 12 m^3 Wasser bei einer Fallhöhe von 4.20 m, die durch ein Stauwehr gehalten wird. Wieviel PS kann ein eingebautes Turbinenkraftwerk abgeben, wenn der Gesamtnutzeffekt 60% beträgt ?

$$L = \frac{KW}{t} = \frac{100 \cdot 3280}{8} = 41000 \text{ mkg/h}$$

$$= \frac{24 \cdot 6000}{407} = 144000 \text{ mkg/h}$$

$$= \frac{1000 \cdot 3,2}{2,5} = 128 \text{ mkg/sec} = \frac{128}{75} = 1,706 \text{ PS}$$

Als größere Einheit der Arbeit verwendet man im absoluten System das Joule

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ Erg}$$

Die Einheit der Leistung wird damit

$$25 \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule pro Sekunde} \\ \text{Anzahl Watt} = \frac{\text{Anzahl Joule}}{\text{Anzahl Sekunden}} \end{array} \right.$$

Merke ferner:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mkg} &= 9,81 \text{ Joule} \\ 1 \text{ mkg/sec} &= 9,81 \text{ Watt} \\ 1 \text{ Watt} &= 0,102 \text{ mkg/sec} \\ 9,81 \text{ Watt} &= 1 \text{ mkg/sec} \\ 736 \text{ Watt} &= 75 \text{ mkg/sec} = 1 \text{ PS} \\ 1000 \text{ Watt} &= 1 \text{ Kilowatt} = 1,36 \text{ PS} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ mkg} &= 9,81 \text{ Joule} \\ 1 \text{ mkg/sec} &= 9,81 \text{ Watt} \\ 1 \text{ Watt} &= 0,102 \text{ mkg/sec} \\ 9,81 \text{ W} &= 1 \text{ mkg/sec} \\ 736 \text{ W} &= 75 \text{ mkg/sec} = 1 \text{ PS} \end{aligned}$$

Ein Mensch kann 0,1 PS als Dauerleistung aufbringen, auf kurze Zeit jedoch mehr als 1 PS,
ein Pferd etwa 0,6 PS Dauerleistung.

Die Reibung

Die Reibung beeinflusst viele technischen und physikalischen Vorgänge und bewirkt Energieverluste, ist aber im allgemeinen unentbehrlich (vgl. Bremswirkung, Stabilität des Gehens und des Fahrens etc.)

Zieht man mit einer Spiralfeder an einem ruhenden Körper A, so bleibt er zunächst in Ruhe; erst bei einer bestimmten Spannung (oder Kraft) der Feder setzt er sich gleichmässig in Bewegung; die Spannung S der Feder bleibt während der Bewegung. Der dabei sichtbare Widerstand des Körpers liegt in der Berührungsfläche des Körpers mit seiner Unterlage und wird Reibung genannt. Die

Reibung wirkt der Bewegung entgegen und ist umso grösser, je grösser der Druck N des Körpers A auf die Unterlage ist.

$$26) R = \mu \cdot N.$$

μ ist dabei ein vom Material unabhängiger Faktor, der Reibungskoeffizient (oder die Reibungszahl) R und N in kg.

Es sei z.B. das Gewicht des Körpers 5 kg, der Reibungskoeffizient

= 0,3. Dann ist $N = 5$ und $R = 0,3 \cdot 5 = 1,5$ kg. Legt man noch weitere 4 kg auf, so wird $R = 0,3 \cdot (5+4) = 0,3 \cdot 9 = 2,7$ kg. Die Reibung ist im allgemeinen von der Geschwindigkeit unabhängig, nur beim Anzug ist sie etwas grösser als während der Bewegung. Man unterscheidet gleitende und rollende Reibung.

Gleitende R.: Schlitten, Ski, Rutschen eines Steines auf schiefer Unterlage, Bügelleisen, Bremsen etc.

Reibungszahlen für gleitende Reibung

	in Bewegung	in Ruhe
Gußeisen auf Gußeisen	0,15	0,17
" " Holz	0,40	0,65
Holz auf Holz	0,40	0,75
Stahl auf Stahl (trocken)	0,15	0,15
Eiserne Radreifen auf Schienen	0,15 - 0,15	
Die <u>rollende Reibung</u> ist erheblich kleiner als die <u>gleitende</u> (rollende Kugel, Kugellager etc.)		
Für ein rollendes eisernes Rad auf Schienen	$\mu = 0,005 - 0,002$	
" Luftreifen auf Asphaltstrasse	$\mu = 0,035$	
" rollendes Rad im Sand	$\mu = 0,15 - 0,5$	

Aufg.: Wie stark kann maximal die Bremskraft einer Lokomotive von 80 to sein? $\mu = 0,12$.

Die Waagen

1.) Die gleicharmige Waage.

Horizontaler Waagebalken trägt 3 Schneiden S_1 , S_2 u. S_3 . Mit S_2 liegt er auf dem Stativ in einer Pflanne auf. S_1 und S_3 tragen die Waagschalen. Senkrecht zu AB in der Mitte des Waagebalkens ist der Zeiger Z angebracht, der auf einer Skala J spielt.

2.) Die römische Schnellwaage.

3) Briefwaage

4) Küchenwaage

Federwaage

5) Dezimalwaage

An dem Hebel HDAB wirken 3 Kräfte: p, Q und R. Soll die Waage einspielen, so sind die Momente um D:

$$a) Q \cdot l + R \cdot n = p \cdot 10$$

um Punkt C:

$$R \cdot n = S \cdot 1 = S$$

Dies in Glg. a) eingesetzt, ergibt:

$$Q + S = p \cdot 10 \quad \text{oder}$$

$$p = \frac{Q + S}{10} = \frac{L}{10}$$

Das aufzulegende Gewicht p braucht nur $\frac{1}{10}$ der Last zu sein. Die Last kann daher mehrere Zentner betragen und kann auf beliebiger Stelle des Brettes JK stehen. Auf dem gleichen Prinzip werden Waagen für das Verhältnis $p = \frac{4}{100}$ gebaut (Zentesimal-Waagen).

Rollen und Flaschenzüge

1. Feste Rolle

$$\text{Kraft} = \text{Last}$$

$$P = Q$$

2. Lose Rolle

in Verbindung m.
einer festen Rolle

$$P = \frac{Q}{2}$$

$$\text{Zugkraft} = \frac{1}{2} \text{ Last}$$

Der gewöhnliche Flaschenzug besteht aus 3 festen und 3 losen Rollen, über welche eine Schnur oder eine Kette nach nebenstehender Skizze läuft. Die aufzunehmende Kraft ist

$$P = \frac{Q}{6} \text{ oder}$$

27) $P = \frac{Q}{n}$, wenn n die Gesamtzahl der Rollen ist.

Der Potenzflaschenzug

n lose Rollen R_1, R_2, R_3

und eine feste Rolle R.

Notwendige Zugkraft

28) $P = \frac{Q}{2^n}$, wenn n die Anzahl der beweglichen Rollen ist.

Bei drei beweglichen Rollen z.B.

$$P = \frac{Q}{2^3} = \frac{Q}{8}$$

Der Differentialflaschenzug

Zwei fest verbundene Rollen auf derselben Achse, Radien R und r und eine bewegliche Rolle S. Die an der Doppelrolle wirkenden Kräfte sind $\frac{Q}{2}$, $\frac{Q}{2}$ und P. Die zugehörigen Momente ergeben die Gleichung:

$$P \cdot R + \frac{Q}{2} \cdot r = \frac{Q}{2} \cdot R$$

$$P \cdot R = \frac{Q}{2} (R-r)$$

29) $P = Q \frac{R-r}{2R}$ $\frac{R-r}{2R}$ ist die Übersetzung

$$P = Q \frac{R-r}{2R}$$

Beispiel: $R = 18 \text{ cm}$, $r = 15 \text{ cm}$, $Q = 200 \text{ kg}$

$$P = 200 \cdot \frac{18-15}{2 \cdot 18} = 200 \cdot \frac{3}{36} = \frac{200}{12}$$

$$P = \frac{200}{12} = 17 \text{ kg} \quad \text{Übersetzung } \frac{3}{36} = \frac{1}{12}$$

Das Pendel

Das mathematische Pendel besteht aus einem gewichtslosen Faden und einem Massenpunkt M.

Ist l die Länge des Fadens, so ist die Schwingungsdauer (hin und zurück) des Pendels

$$30) \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad g = 9,81 \text{ m/sec}^2 \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Die Schwingungsdauer ist unabhängig vom Gewicht des Massenpunktes, sie ist auch unabhängig vom Ausschlag a und wächst mit der Wurzel aus der Länge l . Rechnet man mit dem einfachen Ausschlag, so ist

$$T = \pi\sqrt{\frac{10}{9,8}} = 3,2 \text{ Sek.}$$

Aufg.: Die Länge eines Pendels soll so gewählt werden, dass es genau Sekunden schwingt

$$T = 1 \text{ sek} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad \pi^2 \cdot \frac{l}{g} = 1^2$$

$$l = \frac{g}{\pi^2} = \frac{9,8}{9,85} = 0,994 \text{ m}$$

Sekundenpendel $l = 99,4 \text{ cm}$

Verlängert man das Pendel einer Uhr, so wird die Schwingungsdauer T grösser, die Uhr geht nach (Turmuhren im Sommer), bei Verkürzung eilt die Uhr vor.

Das Pendel führt eine Schwingungsbewegung aus, die verwandt ist der Bewegung einer Kugel, die an einer Spiralfeder auf und ab schwingt.

Mechanik der Flüssigkeiten

(Hydromechanik, Hydrostatik)

Eine in einem Gefäss befindliche Flüssigkeit übt auf den Boden und die Wände einen Druck aus, der nur von der Höhe des Flüssigkeitsspiegels und dem spezif. Gewicht der Flüssigkeit abhängt und hydrostatischer Druck genannt wird.

Hydrostatischer Druck = Flüssigkeitshöhe x spez. Gew.

$$S = h \cdot \rho \quad \text{Rechnet man } h \text{ in cm, so ergibt sich } S \text{ in gr/cm}^2$$

Druck einer Wassersäule von 5 cm Höhe = 5 gr/cm²

" " " " 1000 " " = 1000 gr/cm² = 1 kg/cm²

Der Druck auf die Fläche F ist

$$31) D = S \cdot F = F \cdot h \cdot \rho$$

Aufg.: Wie gross ist der Druck auf den 32 cm² grossen Boden eines Gefässes, wenn das Gefäss 40 cm hoch mit Oel v. spez. Gew. = 0,92 gefüllt ist?

$$D = F \cdot h \cdot \rho = 32 \cdot 40 \cdot 0,92 = 1177 \text{ gr.}$$

$$p = h \cdot \rho \cdot F =$$

$$32 \cdot 40 \cdot 0,92$$

$$= 1177 \text{ gr/cm}^3$$

Aufg. In einem senkrechten Rohr steht Wasser 27 m hoch. Wie gross ist der Bodendruck, wenn F = 8 cm²?

Der von aussen auf eine Flüssigkeit ausgeübte Druck p pflanzt sich durch die ganze Flüssigkeit nach allen Seiten gleichmässig fort.

Der in der Glsröhre A durch den Kolben K₁ erzeugte Druck p wirkt durch die Flüssigkeit auf den Kolben K₂. Ist die Fläche von K₂ 10mal grösser als die von K₁, so ist P = 10 · p. Wählt man p = 1 kg, so hält man bei K₂ 10 kg Druck. Auch die Glaswände der Flasche erhalten diesen Druck. Hat der Glasmantel etwa die Fläche F_g = 200 cm², so wirkt die Flüssigkeit

mit einem Druck von 200 · 1 = 200 kg auf die Glaswände und kann diese sprengen.

Hydraulische Presse

Die Drucke p n , P verhalten sich wie die Flächen: $\frac{p}{P} = \frac{r^2}{R^2} = \frac{r^2}{R^2}$ Daraus folgt

$$32) P = p \cdot \frac{R^2}{r^2}$$

Ist z.B. r = 1 cm, R = 20 cm, so wird

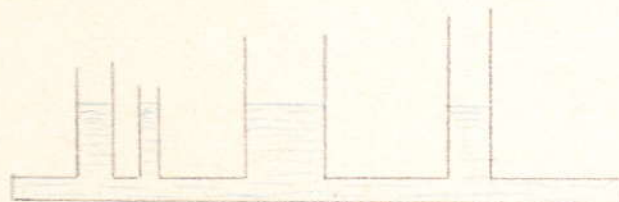
$$P = p \cdot \frac{20^2}{1^2} = p \cdot 400 \text{ oder mit } p = 10 \text{ kg}$$

$$P = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ kg}$$

Flüssigkeiten geben gegen hohe Drucke nur sehr wenig nach, sie sind nahezu "incompressibel". Dagegen ändern sie sehr leicht ihre Form.

Kommunizierende (verbundene) Röhren oder Gefässe

In verbundenen Röhren steht eine Flüssigkeit gleich hoch.



Auftrieb: An der Waage kann man feststellen, dass ein in Wasser getauchter Körper leichter wird. Ein in Wasser liegender Stein wird schwerer, wenn man ihn heraushebt. Jeder eingetauchte Körper erfährt in der Flüssigkeit eine von unten nach oben wirkende Kraft, die als Auftrieb bezeichnet wird, ein von ARCHIMEDES entdecktes Gesetz:

Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht der verdrängten Wassermenge.

Ein eingetauchter Körper schwimmt, wenn sein Gewicht kleiner ist als die vom ganzen Körper verdrängte Wassermenge. Ein schwimmender Körper sinkt so weit ein, bis sein Gewicht gleich dem Gewicht der verdrängten Wassermenge ist.

Ist das Gewicht grösser als der Auftrieb, geht der Körper unter; beim Schwebezustand ist Auftrieb = Gewicht.

$$G = 16 \cdot 24 \cdot 100 \cdot 0,7$$

$$A = x \cdot 24 \cdot 100 \cdot 1$$

$$\begin{array}{r} 24 \cdot 16 \\ 704 \\ 364 \cdot 0,7 \\ \hline 268,8 \end{array}$$

Aufg.: Wie tief sinkt ein 5 m langer Balken von 16 x 24 cm² Querschnitt und dem spez. Gewicht = 0,7 im Wasser ein? Welche Last kann dieser Balken gerade noch tragen, ohne unterzugehen?

Man rechne mit einem 1 m langen Stück des Balkens:

Eintauchtiefe sei x cm.

$$\text{Auftrieb} = x \cdot 24 \cdot 100 \cdot 1$$

$$\text{Gewicht} = 16 \cdot 24 \cdot 100 \cdot 0,7$$

$$x \cdot 24 \cdot 100 = 16 \cdot 24 \cdot 100 \cdot 0,7$$

$$x = \frac{16 \cdot 24 \cdot 100 \cdot 0,7}{24 \cdot 100}$$

$$\underline{x} = 0,7 \cdot 16 = \underline{\underline{11,2 \text{ cm}}}$$

Taucht der Balken völlig ein, so ist das Gewicht der verdrängten Wassermenge

$$G_1 = 500 \cdot 16 \cdot 24 = 192\,000 \text{ gr}$$

Das Gewicht d. Balkens $G_2 = 500 \cdot 16 \cdot 24 \cdot 0,7 = 134\,400 \text{ gr}$

$$\begin{aligned} \text{Mögliche Belastung} &= 37\,600 \text{ gr} \\ &= 37,6 \text{ kg} \\ &===== \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= h \cdot \rho \cdot F \\ P &= 4200 \cdot 1 \cdot (16 \cdot 24) \\ &= 4200 \cdot 384 \\ &= 1\,600\,800 \end{aligned}$$

Aufg.: Wie tief sinkt der Balken voriger Aufgabe ein, wenn er an der Unterseite mit Eisenblech von 2 m/m Stärke beschlagen ist?

Aufg.: Wie gross ist der Druck in einer Wasserleitung, wenn der Wasserspiegel im Wasserturm 42 m hoch liegt?

Welchen Druck kann das Wasser an dieser Stelle auf einen Kolben von 10 cm Radius ausüben?

Merke: 1 technische Atmosphäre = 1 kg/cm²

$$\begin{aligned} 376 \cdot 4200 \\ 1256 \\ 62800 \\ 1378800 \end{aligned}$$

Die Gase

Gase bestehen aus Molekülen, welche bei normaler Temperatur ununterbrochen mit relativ hohen Geschwindigkeiten in Bewegung sind und keinerlei Kohäsion besitzen. Die bekanntesten, sogen. einfachen Gase sind:

Luft, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Chlor; weiterhin Kohlensäure, Kohlenoxyd.

Gase sind leicht zu komprimieren, dabei hochelastisch. Sie besitzen keine Form, füllen aber jedes dargebotene Volumen gleichmässig aus (Expansion)

	Luft	Sauerst.	Wasserst.	Stickst.	Kohlensäure
spez. Gew.	0,001293	0,00143	0,000089	0,00125	0,00198

1 Liter wiegt bei 0°C u. 760 mm	Luft	Sauerst.	Wasserst.	Stickst.	Kohlensäure
	1,293 gr	1,43 gr	0,089 gr	1,25 gr	1,98 gr

Eine 3 Literflasche wiegt, luftleergepumpt, 3 · 1,293 = 3,879 gr weniger als mit Luft gefüllt.

Gase üben auf die Gefässwände immer einen Druck aus, der durch die Bewegung der Moleküle verursacht wird. Bei Erweiterung des Gefässinhaltes sinkt der Gasdruck, bei Verkleinerung steigt er. Im allgemeinen wird der Gasdruck in kg/cm² angegeben, u.U. auch in kg/m².

Zwischen Gasvolumen v und Gasdruck besteht die Beziehung:

33) $p \cdot v = \text{constans}$ Boyle-Mariott'sches Gesetz

Für ein in einem Gefäß A eingeschlossene Gasmenge bleibt das Produkt $p \cdot v$ unverändert, wie man auch den Druck oder das Volumen ändern mag (bei gleichbleibender Temperatur). Eine Gasmenge vom Volumen $V = 10 \text{ l}$ stehe unter dem Druck $p = 2 \text{ kg/cm}^2$, dann entspricht jedem neuen Druck p_1 ein neues Volumen V_1 , das sich aus der Gleichung 33) berechnen lässt.

Es sei $p_1 \cdot v_1 = p \cdot v = 2 \cdot 10 = 20$ folgt

$$v_1 = \frac{20}{p_1} = \frac{20}{4} = 5 \text{ Liter;}$$

für $p_2 = 8$

$$v_2 = \frac{20}{8} = 2,5 "$$

" $p_3 = 40$

$$v_3 = \frac{20}{40} = 0,5 "$$

Der Luftdruck, das Barometer

Die Luft wird auf der Erdoberfläche durch die Erdanziehung, also durch ihr Gewicht, festgehalten. Dieses Gewicht, der Druck der Luft, ist am grössten am Erdboden, wird mit zunehmender Höhe kleiner und ist in 100 km Höhe nahezu 0. Eine senkrechte Luftsäule von 100 km Höhe und 1 m^2 Querschnitt hat das Gewicht 10330 kg, auf einen cm^2 entfällt daher der Druck

$$p_L = 1,033 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ Atmosphäre, physikalisch}$$

Die physikalische Atmosphäre entspricht dem Druck einer Wassersäule von 1033 cm - 10,33 m.

Ebenso schwer wiegt eine gleichstarke Quecksilbersäule von 76 cm Höhe. Der Druck der Luft wird sichtbar, wenn man eine etwa 1 m lange, unten offene, aber Hg-gefüllte Glasröhre zuerst schief und dann senkrecht in Quecksilber stellt. Der Quecksilberspiegel bleibt bei 76 cm Höhe stehen. Je nach der Wetterlage überschreitet oder unterschreitet der Luftdruck den Normalstand u. schwankt zwischen 72 u. 79 cm. Im gleichen Maße steigt oder fällt auch die senkrechte Säule im Barometer.

Der normale Luftdruck von 76 cm = 760 mm bezieht sich auf Meereshöhe. Er sinkt mit zunehmender Höhe und zwar um 1 mm bei Erhebung um 10 m, so ist er z.B. in 1000 m Höhe ungefähr 66 cm. Man kann also mittels Barometer annähernd die Höhe des Beobachtungsortes bestimmen (genauer nach der barometrischen Höhenformel).

An Stelle des unhandlichen Quecksilber-Barometers verwendet man das leicht transportable Aneroid-Barometer. Dieses besteht in der Hauptsache aus einer luftleeren Metalldose von ca. 6-10 cm Ø, die durch eine Übersetzung mit einem Zeiger verbunden ist, auf den sich Senkungen und Hebungen des elastischen Dosenbodens übertragen.

Hoher Luftdruck = schönes Wetter

Niederer " = Regenwetter und Sturm

Der Wetterverlauf ist durch die Bildung und Wanderung von Hochdruck- und Tiefdruckgebieten bedingt, die ihrerseits von der Sonneneinstrahlung abhängig sind.

Der Barometerstand kann in cm oder mm angegeben werden. Die Meteorologie verwendet ausserdem die Bezeichnungen

$$1 \text{ Bar} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2 = 750 \text{ mm Quecksilber}$$

$$1 \text{ Millibar} = 10^3 \text{ dyn/cm}^2 = \frac{1}{1000} \text{ Bar}$$

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Quecksilbersäule}$$

Verflüssigung der Gase

Bei Ausdehnung (Volumen-Vergrösserung) eines Gases kühlt sich dieses ab. Durch anhaltende Wiederholung dieses Vorgangs (Linde'sche Eismaschine) kann man Temperaturen von -200° und weniger erreichen.

Die meisten Gase gehen dabei in Flüssigkeiten über, Flüssigkeiten wie Alkohol, Petroleum, Quecksilber werden zu festen Körpern.

Luft wird bei -193° zu einer wasserklaren, dampfenden Flüssigkeit, in der Kohlensäure zu weissem Schnee wird, Quecksilber sofort gefriert, ein Gummi-Schlauch spröde wie Glas wird, Stahlfedern bei Belastung zersplittern.

II. Gasgesetz von G a y - L u s s a c

Alle Gase dehnen sich bei Erwärmung aus und zwar bei 1° Erwärmung um $\alpha = \frac{1}{273}$ des Volumens.

Ist V_0 das Volumen bei 0° , V_1 das Vol. bei t° , so ist

$$V_1 = V_0 (1 + \alpha \cdot t)$$

Beisp.:

Es sei $V_0 = 10 \text{ l}$,

$t = 400^\circ$. Dann wird

$$V_1 = 10 \cdot \left(1 + \frac{1}{273} \cdot 400\right) = 10 \cdot 2,46$$

$$V_1 = 24,6 \text{ l}$$

Aufg.: Wie schwer wiegt ein Liter Luft bei 30° , 100° , 500° und -150° ?

Auftrieb in der Luft

Ein mit Wasserstoff gefüllter 1000 l großer Ballon schiebt frei in Luft von 0° und 760 mmHg . Wie groß ist sein Auftrieb, wenn das Gewicht der Hülle 500 gr wiegt? Welche Last kann er tragen?

Aufg.: Ein Zeppelin enthielt $100\,000 \text{ m}^3$ Wasserstoff. Wie groß war seine Tragkraft, wenn das Gesamtgewicht des Luftschiffs $G = 85 \text{ to}$ betrug?

Aufg.: In einem Gasometer von 2 m^3 Inhalt sind $1,2 \text{ m}^3$ Wasserstoff, $0,6 \text{ m}^3$ Stickstoff und $0,2 \text{ m}^3$ Kohlensäure enthalten. Wie schwer wiegt 1 Liter des Gasgemischs?

Ein eingeschlossenes Gas übt einen Druck auf die Gefäßwände aus.

Der Druck eines Gases (wie auch der von Flüssigkeiten) wird in Bar oder Torr oder in Atmosphären ausgedrückt.

Eine physikalische Atmosphäre = $1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kg pro cm}^2 = 760 \text{ mmHg}$,

eine technische Atmosphäre = $1 \text{ atm} = 1,000 \text{ kg pro cm}^2 = 735 \text{ mmHg}$.

Der Gasdruck kann durch die Höhe h einer Quecksilbersäule gemessen werden.

Da von außen das Gewicht der Luft auf die Quecksilbersäule drückt, ist der

absolute Druck im Gasraum A

$$p_a = 1 \text{ atm} + \text{Höhe der Hg-Säule}$$

in mm = $735 + b$, wird mit ata

bezeichnet.

Der Unterschied zwischen Innen- und Außendruck ist der Druck der

Quecksilbersäule; er wird als Überdruck mit atü bezeichnet.

Ein Kessel mit 15 ata hat $15-1 = 14$ atü.

Drucke über 1 atü werden durch Manometer gemessen.

Ist der Innendruck kleiner als der Aussendruck, so spricht man von Unterdruck. Der Unterdruck kann in einem geschlossenen Gefäß durch eine Luftpumpe B (von Otto v. Guericke meist angewandt) erzeugt werden.

Ist der Innendruck = 0, so wirkt auf den cm^2 der Oberfläche des Gefäßes der Druck von 1 kg. Der Druck kann so groß werden, dass er z.B. ein nicht völlig rundes Gasgefäß zertrümmert.

Otto v. Guericke demonstrierte als erster diesen Druck der Außenluft durch die Magdeburger Halbkugeln.

Aufg.: Zwei Halbkugeln von 1 m Durchmesser sind luftdicht aufeinander gepresst. Welcher Zug P ist notwendig, um sie auseinanderzureissen ?

$$F = \frac{1}{4} d^2$$

$$= 7850 \text{ cm}^2.$$

$$P = 1 \cdot 7850 = 7850 \text{ kg}$$

Die <u>Lufthülle</u>	besteht im wesentlichen aus Sauerstoff und
<u>Heaviside Schicht</u>	Stickstoff und ist schliesslich in sehr großer
<u>Jonosphäre</u>	Verdünnung, bis etwa 500 km hoch. Die unterste
<u>Stratosph. 11-22</u>	Schicht, die <u>Troposphäre</u> , in der sich die Wolken-
<u>Troposph. 0-11 km</u>	bildung vollzieht, ist etwa 11 km hoch.
	Darüber ist die <u>Stratosphäre</u> gelagert bis etwa
	22 km Höhe. Die Grenzen der <u>Jonosphäre</u> sind
	schwer zu bestimmen, sie liegen etwa zwischen
	22 und 70 km.

Die elektrische Wellen zurückwerfende Heaviside-Schicht liegt zwischen 70 und 100 km.

Wärmelehre

Messung der Temperatur erfolgt durch das Thermometer. Festpunkte der Temperatur sind Temperatur des schmelzenden Eises (0°) und Siedepunkt des Wassers (100°).

Nach Celsius wird dieses Intervall in 100 gleiche Teile (Grade) eingeteilt und dann nach unten und oben in gleichmässiger Weise verlängert.

Früher waren auch noch Réaumur und Fahrenheit gebräuchlich: Réaumur teilte den Abstand zwischen Nullpunkt und Siedepunkt des Wassers in 80 Teile ein, so dass $100^{\circ}\text{Cels} = 80^{\circ}\text{Réaumur}$

$$\text{z.B. } 40^{\circ}\text{Ré} = \frac{5}{4} \cdot 40 = 50^{\circ}\text{Cels.}$$

$$\text{und } n^{\circ}\text{Réaumur} = \frac{5}{4} \cdot n^{\circ}\text{Celsius sind}$$

In angelsächsischen Ländern verwendet man gelegentlich auch noch die Fahrenheit-Skala mit Nullpunkt = $+32^{\circ}$ und Siedepunkt des Wassers = 212° , so dass auf den Abstand der beiden Punkte 180° entfallen.

Es sind demnach $180^{\circ}\text{Fahrh.} = 100^{\circ}\text{Cels.}$ Da aber die Fahrenheit-Skala 32° unter dem Gefrierpunkt hat, ist zu rechnen

$$1^{\circ}\text{Fahrenheit} = \frac{180}{180} = \frac{5}{9}^{\circ}\text{Cels. und}$$

$$n^{\circ} \quad " \quad = (n-32) \cdot \frac{5}{9}^{\circ}\text{Cels.}$$

$$\text{Beisp.: } 95^{\circ}\text{F} = (95 - 32) \cdot \frac{5}{9} = 35^{\circ}\text{Cels.}$$

Thermometer

Das geläufigste Thermometer ist das Quecksilberthermometer. Es besteht in seiner einfachsten Form aus einer Glasröhre, die in eine kleine, mit Quecksilber ausgefüllten Glasröhre mündet. Die Glasröhre ist mit einer Skala versehen. Bei Erwärmung dehnt sich das Quecksilber in der Röhre aus, bei Abkühlung wird der Hg-Faden kürzer. Messbereiche von -40° bis 600° Thermometer mit Stickstofffüllung. Statt Quecksilber wird auch Alkohol verwendet. Für sehr tiefe Temperaturen eignet sich das Wasserstoff-Thermometer. Temperaturen über 600° werden mit elektr. Thermometern gemessen. Temperatur einer Bunsenflamme ca. $1200-1500^{\circ}$, des Hochofens $1600-1700^{\circ}$, des elektr. Ofens $3000-3500^{\circ}$.

Ausdehnung durch Wärme.

Wird ein eiserner Stab von 1,00 m Länge auf 100° erhitzt, so dehnt er sich um 1 mm aus. Diese Wärmedehnung ist nicht für alle Stoffe gleich, sie ist durch den Ausdehnungskoeffizient α bestimmt.

Ist l_0 die ursprüngliche Länge vor Erhitzung, so wird die Länge l nach Erhitzung um t°

40) $l = l_0 (1 + \alpha t)$. Die Zunahme ist $\Delta l = l_0 \alpha t$

Einzelne Ausdehnungskoeffizienten

Eisen	0,000011
Kupfer	0,000016
Messing	0,000018
Zink	0,000029
Glas	0,000009

Aufg.: Um wieviel dehnt sich eine 3,20 m lange eiserne Stange bei Erwärmung um 60° ?

Auch Flüssigkeiten dehnen sich beim Erwärmen aus und vergrößern ihr Volumen. Es gilt auch für sie $V_1 = V_0 (1 + b^t)$, worin t der Temperaturanstieg, V_0 das ursprüngliche Volumen und b der räumliche Ausdehnungskoeffizient ist.

	b	
für Wasser	0,00012	(i. Durchschnitt)
Alkohol	0,001	
Quecksilber	0,00018	

$$\frac{20}{b} + \frac{40}{x} = \frac{36}{6+x} \quad | \cdot 6+x$$

$$20x + 540 = 36(6+x)$$

$$20x + 540 = 36 \cdot 6 + 36x$$

$$20x + 540 = 216 + 36x$$

$$20x - 36x = 216 - 540$$

$$-16x = -324$$

$$x = \frac{324}{16} = 20,25$$

$$\frac{6}{20} + \frac{x}{90} = \frac{6+x}{36}$$

$$\frac{6}{10} + \frac{x}{15} = \frac{6+x}{18}$$

$$x = -\frac{504}{28}$$

$$x = -\frac{108 \cdot 4}{28}$$

$$x = -\frac{108 \cdot 3}{7}$$

$$x = -\frac{324}{7}$$

$$x = -46,28$$

Die Wärmemenge

Mischt man 1 l Wasser von 80° mit 1 l Wasser von 30° , so ergibt sich für die Mischung eine Temperatur von 55° . Der erste Liter hat sich um 30° abgekühlt, der 2. um 30° erwärmt. Wärme fließt stets vom wärmeren zum kälteren Körper.

Die Einheit der Wärmemenge ist die Kalorie = 1 Kal. Eine (große) Kalorie = 1 Kal ist die Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg Wasser um 1° zu erwärmen. 1 Kal auch = 1 kgKal.

Daneben die kleine Kalorie = 1 cal oder 1 grcal $\frac{1}{1000}$ Kal.

Beim Wärmeaustausch zweier oder mehrerer Körper gilt immer die Gleichung:

Abgegebene Wärmemenge = aufgenommene Wärmemenge

Aufg.: Wieviel kg Wasser von 90° muss man zu 6 kg Wasser von 20° giessen, wenn die Temperatur der Mischung 36° werden soll?

$$90x + 6 \cdot 20 = 36(6+x)$$

$$90x + 120 = 36 \cdot 6 + 36x$$

$$90x + 120 = 216 + 36x$$

$$90x - 36x = 216 - 120$$

$$54x = 96$$

$$x = \frac{96}{54} = \frac{16}{9} \approx 1,78$$

$$6 \text{ kg } 20^\circ + ? \text{ kg } 90^\circ = 6 + ?$$

$$\frac{6}{20} + \frac{x}{90} = \frac{6+x}{36}$$

$$(6+20) + (x+90) = \frac{36+6+x}{2}$$

$$26 + 90 + x = 36 + 6 + x$$

$$116 = 42$$

$$x + 90 + 26 = 36$$

$$116 + 2 = 36$$

$$118 = 36$$

$$116 : 42 = 3$$

$$116$$

$$42$$

2700

$$20 \cdot 20 = 400$$

$$64 + x = 64$$

$$4860 + 180x = 2700 + 270x$$

$$2160 = 2520x$$

Spezifische Wärme

Bei Erwärmung werden nicht alle Körper gleichmäßig warm. So nimmt 1 kg Petroleum 5 mal so viel Wärme auf wie ein kg Eisen bei gleichem Temperaturanstieg.

Die Wärmemenge, die 1 kg eines Stoffes bei Erwärmung um 1° aufnimmt, heißt die spezifische Wärme c des betreffenden Stoffes.

Für Eisen ist $c = 0,10-0,11$

" Blei und Quecksilber	= 0,03
" Gold	= 0,03
" Wasser	= 1,00
" Alkohol	= 0,60
" Luft	= 0,24
" Wasserstoff	= 3,40

Aufg.: Ein auf 540° erwärmtes Stück Eisen von 3,8 kg Gewicht wird in 12 l Wasser von 20° getaucht. Wie groß ist die resultierende Temperatur?

Wärmeabgabe = Wärmeaufnahme. Mischungstemperatur sei x .

Eisen gibt ab $(540-x) \cdot 3,8 \cdot 0,1 = (x-20) \cdot 1 \cdot 12$

$$205,2 - 0,38x = 12x - 240$$

$$x = 36^{\circ}$$

Mechanisches Wärme-Äquivalent

Die Wärme ist eine Form der Energie, die auf der mechan. Bewegung der Moleküle beruht und sich aus anderen Energieformen wie Bewegung, Elektrizität etc. entwickeln läßt.

In vielen Vorgängen läßt sich zeigen, daß

erzeugte Wärme = geleistete Arbeit ist, wobei die Beziehung gilt

$$\underline{1 \text{ Kal} = 1 \text{ kcal} = 427 \text{ mkg}}$$

$$\underline{1 \text{ mkg} = \frac{1}{427} \text{ Kal}}$$

Wärmequellen: Die größte und wichtigste Wärmequelle ist die Sonne, ohne deren strahlende Energie die Erde längst in Eis und Kälte erstarrt wäre. Auch die großen Kohlelager sind konservierte Sonnenenergie.

Kohlelager in Deutschland: Ruhr, Saar, rhein. Braunkohlengebiet, sächsische Braunkohle, das Aachener Revier. In stärkster Entwicklung ist heute die Wärmeproduktion aus Oel. In Zukunft wird es wohl auch möglich sein, die Energie der Atome nutzbringend und rationell zu

verwerten. Auch die Gewinnung von Wärmeenergie unmittelbar aus Sonnenstrahlen ist heute kein utopisches Problem mehr.

1 kg gute Steinkohle	liefert ca.	7000-8000 Kal.
1 " " Braunkohle	" "	4000-5000 "
1 " Holz	" "	3000-3500 "
1 " Benzin	" "	10000 "
1 " Alkohol	" "	6400 "
1 " Wasserstoff	" "	34000 "

Einwirkung der Wärme auf die Stoffe

Die Temperatur und damit die Wärme bestimmen den Aggregat-Zustand der Körper.

<u>Schmelzpunkte</u>		<u>Siedepunkte</u>	
Eisen	1530°	Eisen	2500°
Gußeisen	1200	Quecksilber	357
Gold	1063	Wasser	100
Kohlenstoff	3500	Alkohol	78
Kupfer	1083	Kohlenstoff	4000
Platin	1773	Kupfer	2300
Silber	960	Platin	3800
Zink	419	Silber	1950
Zinn	232	Benzol	80
Blei	327	Helium	-269°
Wood's Metall	60	Wasserstoff	-253
		Sauerstoff	-183
		Kohlensäure	- 79

O P T I K

Lehre vom Licht

Das Licht ist eine der Wärme nah verwandte Energieform. Glühende Körper senden Licht- und Wärmestrahlen gleichzeitig aus. Die Geschwindigkeit des Lichts ist die größte, die wir kennen: Das Licht legt in 1 Sekunde im luftleeren Raum

300 000 km

zurück. (Zuerst von Olaf Römer 1675 aus der Beobachtung der Jupitermonde errechnet). In Wasser 225 000 km/sec.

Infolge der geringeren Geschwindigkeit im Wasser tritt eine Schwenkung des Lichtstrahls ein. An der Grenzfläche AB zweier durchsichtiger Medien (Wasser und Luft) erfährt der Lichtstrahl eine Brechung und zwar nach dem Einfallslot E hin, wenn das zweite Mittel (Wasser) dichter ist als das erste (Luft).

$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ heißt das Brechungsverhältnis.

Dieses ist für Wasser etwa 1,33, für Bleiglas 1,7. Die Brechung des Lichtstrahls in Wasser läßt sich leicht erkennen, wenn man ein Lineal oder einen Stock zur Hälfte ins Wasser taucht.

Ein Bündel von Lichtstrahlen a b c d e wird beim Übergang ins dichtere Mittel gesammelt, bei umgekehrter Richtung zerstreut.

Beim Durchgang durch eine planparallele Glasplatte heben sich beide Wirkungen auf. Sind die Flächen der Glasplatte zueinander unter geneigt (im Querschnitt ein Dreieck), so tritt eine bleibende Ablenkung des Lichtstrahls ein, der entsprechende Glaskörper heißt ein optisches Prisma. A ist die brechende Kante. Diese Ablenkung ist bei symmetrischem Durchgang am kleinsten.

Farbenzerstreuung. Läßt man einen Sonnenstrahl durch ein Prisma fallen, so tritt an Stelle des Strahls ein Band farbiger Strahlen aus in der Anordnung der Regenbogenfarben:

Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett.

Das Sonnenlicht wird also in 7 Hauptfarben zerlegt, beim Regenbogen treten die in der Luft schwebenden Wassertropfen an Stelle des Prismas. Die so entstehenden farbigen Lichtstrahlen lassen sich nicht weiter zerlegen, es sind einfarbige Lichtstrahlen. Die Summe dieser Farbenstrahlen heißt das Sonnenspektrum. Vereinigt man alle Farben des Sonnenspektrums, so erhält man wieder das ursprüngliche Weiß. Gelb und Rot gibt Orange

Blau " Gelb " Grün.

Die 7 Farben des Sonnenspektrums lassen sich auf mannigfaltige Weise miteinander mischen. Zwei Mischungen, die zusammen Weiß ergeben, heißen Komplementär-Farben (Ergänzungsfarben): z.B. Blau gegen eine Mischung von Indigo, Violett, Rot und Orange, Rot gegen Grün, Blau gegen Gelb usw.

Fraunhofersche Linien

Bei schärferer Zerlegung des Sonnenspektrums findet man neben den leuchtenden Farben schwarze Linien, welche Rückschlüsse auf die Natur der in der Sonne glühenden Stoffe gestatten:

Fraunhofer'sche Linien

Reflexion = Zurückwerfung

Ein auf einen ebenen Spiegel auftreffender Lichtstrahl wird unter dem gleichen Winkel in derselben Ebene zurückgeworfen.

Einfallswinkel = Ausfallswinkel

Einfallender Strahl AC, ausfall. Strahl CB
und Einfallslot L liegen in einer Ebene.

Optische Linsen und Linsensysteme

Fast bei allen optischen Geräten wird Glas (mit verschiedenem Brechungsindex) als dichter Mittel verwendet.

Die Glaslinse wirkt wie eine Reihe kleiner Prismen mit zu- oder abnehmendem Brechungs^winkel.

Eine konvexe Linse sammelt parallele Strahlen im Brennpunkt F_1 ,

eine konkave Linse zerstreut parallele Strahlen so, daß sie rückwärts sich im virtuellen Brennpunkt F_2 schneiden. Der Abstand des Brennpunktes von der Linse heißt die Brennweite.

Jeder durch den Brennpunkt gehende Strahl wird parallel zur Achse abgelenkt; ein Strahl durch den Linsenmittelpunkt geht ungebrochen weiter, jeder parallele Strahl wird zum Brennstahl. Damit kann man für jeden leuchtenden Punkt P sein Bild konstruieren.

Für die drei Größen

b = Bildweite

g = Gegenstandsweite

f = Brennweite d. Linse

besteht die Beziehung

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

Sind 2 davon gegeben, so lässt sich die dritte berechnen.

Zusammenfassung:

1. Die Einheitengleichung $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$ gilt immer.
2. Auf der Erdoberfläche wiegt ein Körper mit der Masse 1 kg gerade 1 kp , an anderen Orten mit einer von $9,81 \text{ m/s}^2$ abweichenden Schwerebeschleunigung aber entsprechend mehr oder weniger.

Praktische Rechenregeln:

Was muß man beachten, um jeden Fehler bei der Verwendung der Kräfteinheiten kp und N zu vermeiden?

1. Man muß die Einheitengleichung $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$ kennen.
2. Man muß wissen, dass die Bezeichnungen 1 N und 1 kgm/s^2 nur verschiedene Namen für die gleiche Kräfteinheit sind.
3. Man muß sauber auseinander halten, daß
 1 kg eine Einheit für die Masse, und
 1 kp eine Einheit für die Kraft ist;
Masse und Kraft sind ja zwei völlig verschiedene Größen.
(In Büchern findet man aber häufig noch die alte Bezeichnung 1 kg für die Kräfteinheit; in diesen Fällen ist also bei Kräften "kp" statt "kg" zu denken)
4. Man muß bei der Rechnung für alle Größen immer die verwendeten Maßeinheiten genau mitschreiben (!!!), und wo nötig die Umrechnung mit der Einheitengleichung (1) vornehmen.

Wenn diese wenigen Punkte immer genau beachtet werden, können bei der Rechnung keine Fehler vorkommen.

Beispiele

1. Masse gegeben - Gewicht gesucht

- a. Ein Mensch hat eine Masse $m = 70 \text{ kg}$. Was wiegt er?
 $G = 70 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 686 \text{ kgm/s}^2 = 686 \text{ N}$
(Wollte man das Gewicht mit sehr hoher Genauigkeit ermitteln, so müsste man den am jeweiligen Ort gültigen Wert der Erdbeschleunigung einsetzen).
Umrechnung des Gewichtes in kp : Mit $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$ wird $G = 686/9,81 \text{ kp} = 70 \text{ kp}$
Das hätte man natürlich auch gleich hinschreiben können, wenn man weiß: "An der Erdoberfläche entspricht $m = 1 \text{ kg}$ $G = 1 \text{ kp}$ ".
- b. Ein Körper hat eine Masse $m = 20 \text{ kg}$. Was wiegt dieser Körper auf dem Mond?
($g = 1,62 \text{ m/s}^2$)
 $G = 20 \text{ kg} \cdot 1,62 \text{ m/s}^2 = 32,4 \text{ kgm/s}^2 = 32,4 \text{ N}$
Umrechnung in kp : Es gilt auch hier: $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$. Damit wird
 $G = 32,4 \text{ N} = 32,4/9,81 \text{ kp} = 3,3 \text{ kp}$.

2. Masse gegeben - Beschleunigungskraft gesucht

Ein Körper hat eine Masse $m = 50 \text{ kg}$. Er bewegt sich beschleunigt mit $b = 8 \text{ m/s}^2$. Wie groß ist die beschleunigende Kraft? Dieses Beispiel entspricht der Nr. 1 b
 $P = 50 \text{ kg} \cdot 8 \text{ m/s}^2 = 400 \text{ kgm/s}^2 = 400 \text{ N} = 400/9,81 \text{ kp} = 40,7 \text{ kp}$

3. Gewicht gegeben - Masse gesucht

- a. Ein Körper hat das Gewicht $G = 500 \text{ kp}$. Wie groß ist seine Masse?
 $m = G/g = 500 \text{ kp} / 9,81 \text{ m/s}^2 = 50,9 \text{ kps}^2/\text{m}$
Diese Masseneinheit $1 \text{ kps}^2/\text{m}$ wird auch "Technische Masseneinheit" (1 TME) genannt. Umrechnung des Ergebnisses auf die Masseneinheit 1 kg : Auch hier benutzt man wieder die Einheitengleichung $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$. Damit wird
 $m = 50,9 \text{ kps}^2/\text{m} = 50,9 \cdot 9,81 \text{ N s}^2/\text{m} = 500 \text{ kgm/s}^2 \cdot \text{s}^2/\text{m} = 500 \text{ kg}$
- b. Ein Körper hat das Gewicht $G = 30 \text{ N}$. Wie groß ist seine Masse?
 $m = G/g = 30 \text{ N} / 9,81 \text{ m/s}^2 = 3,06 \text{ kgm/s}^2 : \text{m/s}^2$

4. Beschleunigung gesucht.

Ein Körper mit der Masse $m = 60 \text{ kg}$ wird durch eine Kraft $P = 13 \text{ kp}$ beschleunigt. Wie groß ist die Beschleunigung b ?

$$b = P/m = 13 \text{ kp} / 60 \text{ kg} = 0,217 \text{ kp/kg}$$

Diese ungebräuchliche Angabe der Beschleunigung muß natürlich auf die Einheit 1 m/s^2 umgerechnet werden:

$$b = 0,217 \text{ kp/kg} = 0,217 \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 2,12 \text{ kgm/s}^2 : \text{kg} = 2,12 \text{ m/s}^2$$

5. Spezifisches Gewicht und Dichte

Die gleichen Regeln wie für die Umrechnung von Kräfteinheiten gelten für die Umrechnung von Maßeinheiten, in deren Dimension Kräfte vorkommen. Beispiel:

Ein Körper hat die Dichte $\gamma = m/V = 2,25 \text{ kg/dm}^3$. Wie groß ist sein spezifisches Gewicht γ ?
 $\gamma = G/V = m \cdot g/V = \gamma \cdot g = 22,1 \text{ N/dm}^3 = 2,25 \text{ kp/dm}^3$