

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Messen und Maßeinheiten in der Physik .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Mechanik der festen Körper .....</b>	<b>4</b>
2.1 Körperbegriff.....	4
2.2 Kräfte.....	4
2.2.1 Grundeigenschaften von Kräften.....	4
2.2.2 Kraftwirkungen.....	5
2.3 Hebelgesetz und Hebelarten.....	7
2.4 Bewegungen fester Körper .....	8
2.4.1 Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung.....	8
2.4.2 Bewegungen unter dem Einfluss der Erdbeschleunigung .....	10
2.5 Kräfte und Bewegung.....	12
2.6 Arbeit, Energie und Leistung.....	13
2.6.1 Mechanische Arbeit.....	13
2.6.2 Formen der Energie .....	14
2.6.3 Leistung und Wirkungsgrad.....	14
2.6.4 Einfache Maschinen .....	15
<b>3 Mechanik der Flüssigkeiten und Gase .....</b>	<b>18</b>
3.1 Allgemeine Eigenschaften der Flüssigkeiten .....	18
3.2 Allgemeine Eigenschaften der Gase.....	19
3.3 Dynamik der Flüssigkeiten und Gase .....	19
<b>4 Wärme und Temperatur .....</b>	<b>20</b>
4.1 Wärmeausdehnung.....	20
4.2 Zustandsänderungen bei Gasen.....	21
4.3 Ausbreitung der Wärme .....	24
<b>5 Wärme als Energieart und Energieträger.....</b>	<b>26</b>
5.1 Wärmemenge und erster Hauptsatz .....	26
5.2 Änderung des Aggregatzustandes.....	30
5.3 Wärme als Energieträger .....	31
<b>6 Schwingungen .....</b>	<b>33</b>
6.1 Harmonische Schwingungen .....	33
6.2 Gedämpfte Schwingungen.....	34
<b>7 Wellen .....</b>	<b>35</b>
<b>8 Schall .....</b>	<b>36</b>
<b>9 Eigenschaften des Lichtes .....</b>	<b>37</b>

<b>10 Geometrische Optik .....</b>	<b>39</b>
10.1 Reflexion .....	39
10.2 Brechung .....	39
10.3 Abbildungen .....	40
<b>11 Licht als Wellenerscheinung .....</b>	<b>43</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>44</b>
Griechisches Alphabet .....	44
Zehnerpotenzen und Teile von Einheiten .....	44
Das Periodensystem .....	44
Konstanten .....	45
Flächenberechnung .....	45
Körperberechnung .....	46
Dichte $\rho$ fester Stoffe bei 20 °C .....	48
Dichte $\rho$ von Flüssigkeiten bei 20 °C .....	49
Dichte $\rho$ von Gasen im Normzustand .....	49
Haftreibungszahlen $\mu_0$ und Gleitreibungszahlen $\mu$ verschiedener Werkstoffe .....	49
Dynamische Viskosität $\eta$ bei 20 °C .....	50
Eigenschaften von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur .....	50
Längenausdehnungszahlen .....	51
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ .....	51
Volumenausdehnungszahlen .....	52
Heizwert .....	52
Spezifische Wärmekapazitäten .....	53
Schmelztemperatur $\vartheta_m$ und spezifische Schmelzwärme $q_m$ einiger Stoffe bei 1013 h Pa Druck .....	54
Siedetemperatur $\vartheta_v$ und spezifische Verdampfungswärme $r_v$ einiger Stoffe bei 1013 h Pa Druck .....	55
Brechungsindizes $n$ (bei 20°C) .....	55
Spektrum der elektromagnetischen Strahlung .....	56

## 1 Messen und Maßeinheiten in der Physik

Jede physikalische Größe  $G$  besteht aus einer quantitativen Aussage  $\{G\}$  (ausgedrückt durch eine Maßzahl), und einer qualitativen Aussage  $[G]$  (ausgedrückt durch die Maßeinheit).

$$G = \{G\} \cdot [G]$$

### SI-Basisgrößen und SI-Basiseinheiten

SI-Basisgrößen		SI-Basiseinheiten	
Zeit	$t$	Sekunden	$s$
Länge	$l$	Meter	$m$
Masse	$m$	Kilogramm	$kg$
Elektrische Stromstärke	$I$	Ampere	$A$
Temperatur	$T$ (oder $\vartheta$ )	Kelvin	$K$ (oder $^{\circ}C$ )
Lichtstärke	$I$	Candela	$cd$
Stoffmenge	$n$ (oder $\nu$ )	Mol	$mol$

## 2 Mechanik der festen Körper

### 2.1 Körperbegriff

**Dichte  $\rho$**

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho$  : Dichte in  $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$m$  : Masse in kg

$V$  : Volumen in  $\text{dm}^3$

**Wichte  $\gamma$**

$$\gamma = \frac{F_G}{V}$$

$\gamma$  : Wichte in  $\frac{\text{N}}{\text{dm}^3}$

$F_G$  : Gewichtskraft in N

### 2.2 Kräfte

#### 2.2.1 Grundeigenschaften von Kräften

**Kraft  $F$**

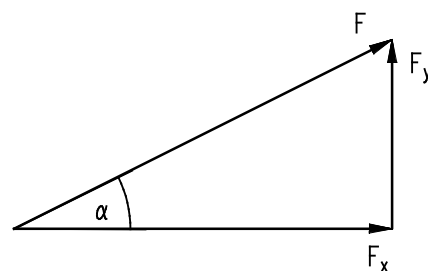
$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$\vec{F}$  : Kraft in N

$m$  : Masse kg

$\vec{a}$  : Beschleunigung in  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

#### Zerlegung einer Kraft in ihre x- und y- Komponenten



$$F^2 = F_x^2 + F_y^2$$

$$F_x = F \cdot \cos \alpha$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$$

**Addition von Kräften**

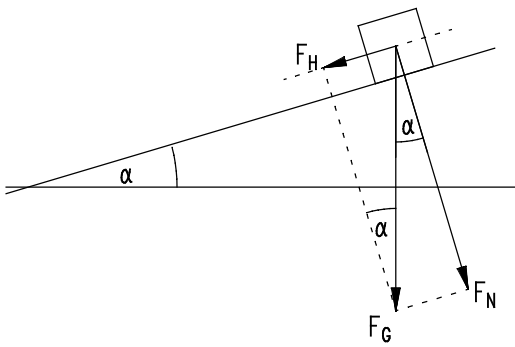
$$\vec{F} = \sum_n \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

$$F_x = \sum_n F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx}$$

$$F_y = \sum_n F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}$$

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2$$

$$\tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$$

**2.2.2 Kraftwirkungen****Beschleunigungskraft F**

$$F = m \cdot a$$

$F$  : Kraft in N (1 Newton N = 1 kg  $\frac{m}{s^2}$ )

$m$  : Masse in kg

$a$  : Beschleunigung in  $\frac{m}{s^2}$

### Gewichtskraft $F_G$

$$F_G = m \cdot g$$

$m$  : Masse in kg

$g$  : Fallbeschleunigung in  $\frac{m}{s^2}$

### Normalkraft $F_N$

$$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$\alpha$  : Neigungswinkel

### Hangabtriebskraft $F_H$

$$F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

### Reibungskraft $F_R$

#### Haftreibung

$$F_{Rmax} = \mu_0 \cdot F_N$$

$F$  : Kraft in N

$\mu_0$  : Haftreibungszahl

#### Gleitreibung

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

$\mu$  : Gleitreibungszahl

### Hookesches Gesetz

#### Federkraft $F_{Fe}$

$$F_{Fe} = c \cdot s$$

$c$  : Federsteifigkeit in  $\frac{N}{mm}$

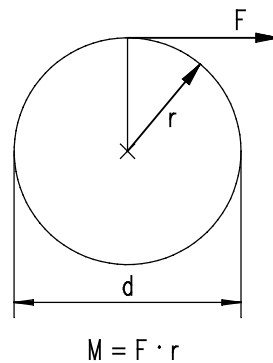
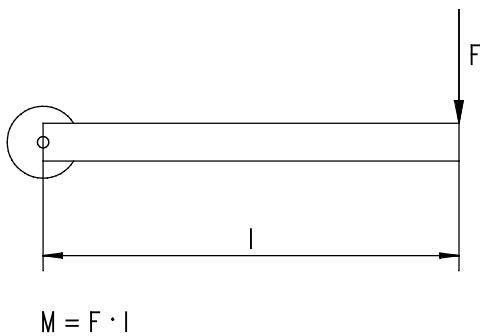
$s$  : Federweg in mm

#### Reihenschaltung von Federn

$$\frac{1}{c_{res}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{c_k} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \dots + \frac{1}{c_n}$$

Parallelschaltung von Federn

$$c_{\text{res}} = \sum_{k=1}^n c_k = c_1 + c_2 + \dots + c_n$$

**2.3 Hebelgesetz und Hebelarten****Drehmoment M**

$$M = F \cdot l$$

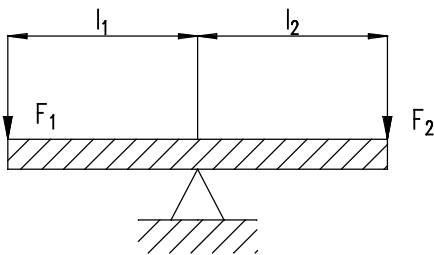
$$M = F \cdot r$$

M : Moment in Nm

F : Kraft in N

l : Weg in m (Hebelarm)

r : Radius in m

**Allgemeiner Hebelsatz**

$$\sum_n^1 M_{\text{links}} = \sum_n^1 M_{\text{rechts}}$$

Beispiel:  $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$

**Statische Gleichgewichtsbedingungen**

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M = 0$$

## 2.4 Bewegungen fester Körper

### 2.4.1 Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung

#### Geschwindigkeit $v$

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

mit  $\Delta s = s_2 - s_1$   
 $\Delta t = t_2 - t_1$

$v$  : Geschwindigkeit in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$        $1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,27 \text{ ms}^{-1}$

$s$  : Weg in m  
 $t$  : Zeit in s

#### Beschleunigung $a$

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

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

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}, \quad v = a \cdot t$$

$a$  : Beschleunigung in  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$v$  : Geschwindigkeit in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$t$  : Zeitabschnitt in s  
 $s$  : Weg in m

#### Mit Anfangsgeschwindigkeit

$$\Delta s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot \Delta t = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad \Delta s = \frac{a}{2} \cdot \Delta t^2 + v_0 \cdot \Delta t$$

$$v = v_0 + a \cdot \Delta t = \sqrt{v_0^2 + 2a \cdot \Delta s}$$

$$a = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot \Delta s}$$



**Kreisbewegung**Drehzahl n

$$n = \frac{u}{t}$$

Umfangsgeschwindigkeit v

$$v = U \cdot n$$

$$v = d \cdot \pi \cdot n$$

Umlaufzeit T

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

Frequenz f

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

Geschwindigkeit v

$$v = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T} \cdot r$$

$$v = \omega \cdot r$$

Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ 

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

n : Drehzahl in  $\frac{1}{s}$

u : Umdrehungen

t : Zeit in s

v : Geschwindigkeit in  $\frac{m}{s}$

U : Umfang in m

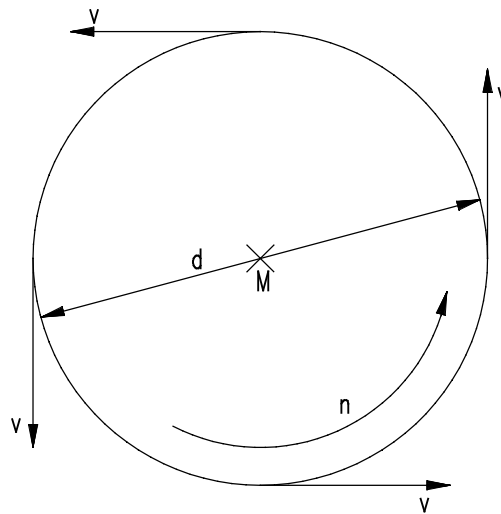
T : Umlaufzeit in s

f : Frequenz in  $\frac{1}{s}$  oder Hz (1 Hz = 1 s<sup>-1</sup>)

$\omega$  : Winkelgeschw. in  $\frac{1}{s}$  oder Hz

$\varphi$  : Drehwinkel in rad

r : Radius in m

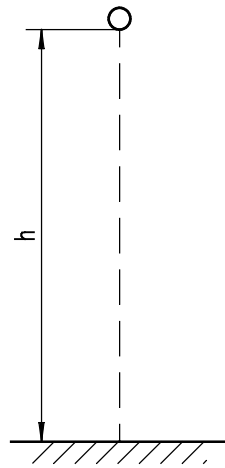
Umrechnung Winkelangaben in Grad  $\Leftrightarrow$  Winkelangaben in Bogenmaß

$$\varphi^\circ \hat{=} \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \varphi \text{ rad}$$

$$\varphi \text{ rad} \hat{=} \varphi^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \text{rad}$$

## 2.4.2 Bewegungen unter dem Einfluss der Erdbeschleunigung

### Freier Fall



$$v = g \cdot t$$

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

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

$v$ : Fallgeschwindigkeit in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  (Endgeschwindigkeit nach der Zeit  $t$ )

$g$ : Fallbeschleunigung in  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$t$ : Zeit in s

$h$ : Fallhöhe in m

### Senkrechter Wurf nach oben

#### Aufwärtsbewegung

$$v = v_0 - g \cdot t$$

$$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$v = +\sqrt{v_0^2 - 2 \cdot g \cdot (h - h_0)}$$

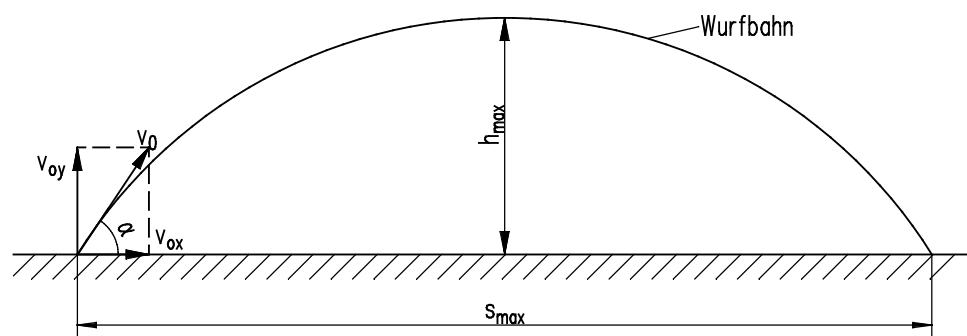
#### Abwärtsbewegung

$$v = g \cdot t$$

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + h_0$$

$$v = -\sqrt{v_0^2 - 2 \cdot g \cdot (h - h_0)}$$

### Schräger Wurf



#### Wurfweite

$$s_x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot \Delta t$$

Grundgleichung

$$g = \frac{\Delta v_y}{\Delta t}$$

Wurfhöhe (Höhe zur Zeit t)

$$h = \frac{1}{2} \cdot \Delta v_y \cdot \Delta t$$

$$h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \Delta t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot (\Delta t)^2$$

Steigzeit

$$t_s = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

Scheithöhe

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g}$$

Flugzeit

$$T = \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

s : Wegstrecke in m

v : Geschwindigkeit in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

g : Fallbeschleunigung in  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

t : Zeit in s

h : Höhe in m

$\alpha$  : Abwurfwinkel in °

T : Flugzeit in s

### Bewegung auf einer schiefen Ebene

#### Geschwindigkeit v

$$v = g \cdot t \cdot \sin \alpha$$

#### Wegstrecke s

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

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s \cdot \sin \alpha}$$

v : Geschwindigkeit in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

g : Erdbeschleunigung in  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

t : Zeit in s

$\alpha$  : Winkel der schiefen Ebene

s : Weg in m

### 2.5 Kräfte und Bewegung

#### **Kraft F**

$$F = m \cdot a$$

F : Kraft in N

m : Masse in kg

a : Beschleunigung in  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

#### **Zentrifugalkraft $F_Z$**

$$F_Z = m \cdot a_Z = m \cdot \frac{v_u^2}{r_s} = m \cdot r_s \cdot \omega^2$$

$F_Z$  : Zentrifugalkraft in N

$\omega$  : Winkelgeschw. in  $\frac{1}{\text{s}}$  oder Hz

$v_u$  : Umfangsgeschw. in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$a_Z$  : Radialbeschleunigung in  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

## 2.6 Arbeit, Energie und Leistung

### 2.6.1 Mechanische Arbeit

#### Mechanische Arbeit $W$ allgemein

$$W = F \cdot s$$

#### Potenzielle Arbeit $W_{\text{pot}}$

$$W_{\text{pot}} = F_G \cdot h$$

$$W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

$$h = h_2 - h_1$$

#### Kinetische Arbeit $W_{\text{kin}}$

$$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

ohne Anfangsgeschwindigkeit:  $W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

#### Elastische Arbeit $W_{\text{elast}}$ / Federarbeit

$$W_{\text{elast}} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot (s_2^2 - s_1^2)$$

ohne Anfangsdehnung:  $W_{\text{elast}} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot s^2$

#### Rotationsarbeit $W_{\text{rot}}$

$$W_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2 \quad (\text{idealer Fall ohne Reibung und ohne Anfangsgeschwindigkeit})$$

$$W_{\text{rot}} = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot u$$

$$W_{\text{rot}} = M \cdot \varphi$$

W : Arbeit in Js (1 Js = 1 Nm = 1 J) Arbeit in Joule	c : Federsteifigkeit in $\frac{\text{N}}{\text{m}}$
F : Kraft in N	J : Massenträgheit in $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
s : Weg in m	$\omega$ : Winkelgeschwindigkeit in $\frac{1}{\text{s}}$
m : Masse in kg	u : Anzahl der Umdrehungen
g : Erdbeschleunigung in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	r : Rotationsradius in m
h : Höhe in m	M : Drehmoment in Nm
v : Geschwindigkeit in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\varphi$ : Drehwinkel in rad

## 2.6.2 Formen der Energie

### Potentielle Energie $E_{\text{pot}}$

$$E_{\text{pot}} = W_{\text{pot}} = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

### Kinetische Energie $E_{\text{kin}}$

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

### Elastische Energie $E_{\text{elast}}$

$$E_{\text{elast}} = W_{\text{elast}} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot s^2$$

### Rotationsenergie $E_{\text{rot}}$

$$E_{\text{rot}} = W_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$$

### Energieerhaltungssatz

$$E_{\text{End}} = E_{\text{Anf.}} + W_{\text{zu}} - W_{\text{ab}}$$

$E$  : Energie in Js (1 Nm = 1 Js = 1 J)

$W_{\text{zu}}$  : zugeführte Arbeit in Js

$W_{\text{ab}}$  : abgegebene Arbeit in Js

## 2.6.3 Leistung und Wirkungsgrad

### Leistung $P$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = F \cdot v \quad \text{bei } v = \text{const.}$$

$P$  : Leistung in Watt W (1 W = 1  $\frac{\text{Nm}}{\text{s}}$  = 1  $\frac{\text{J}}{\text{s}}$ )

$W$  : Arbeit in Js bzw. J

$t$  : Zeit in s

$F$  : Kraft in N

$v$  : Geschwindigkeit in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

**Wirkungsgrad  $\eta$** 

$$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

W : Arbeit in Js

P : Leistung in W

**Zusammenwirken mehrerer Wirkungsgrade  $\eta_{ges}$** 

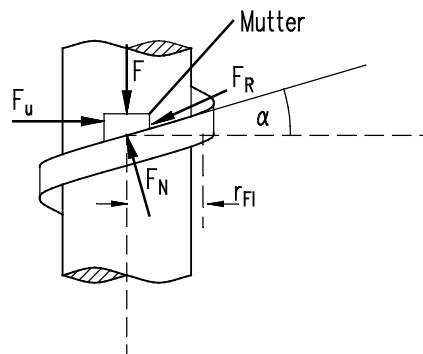
$$\eta_{ges} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

**2.6.4 Einfache Maschinen****Schraubgewinde**Anziehen

$$F_u = F \cdot \tan(\rho + \alpha)$$

Lösen

$$F_u = F \cdot \tan(\rho - \alpha)$$



F	Schraubenlängskraft
$F_u$	Umfangskraft
$F_R$	Reibungskraft
$F_N$	Normalkraft
$\alpha$	Steigungswinkel
$r_{Fl}$	Flankenradius

**Auflagerradius  $r_a$** 

$$r_a = 0,7 \cdot d$$

**Gewindereibmoment**

$$M_{RG} = F \cdot r_{Fl} \cdot \tan(\alpha \pm \rho)$$

**Auflagereibmoment**

$$M_{RA} = F_{RA} \cdot r_a = F \cdot \mu_a \cdot r_a$$

**Anzugsmoment**

$$M_A = M_{RG} + M_{RA}$$

$$M_A = F \cdot [r_{Fl} \cdot \tan(\alpha \pm \rho) + \mu_a \cdot r_a]$$

F : Schraubenlängskraft in N

 $F_u$  : Umfangskraft in N $\alpha$  : Steigungswinkel $\rho$  : Reibwinkel

M : Moment in Nm

 $r_{Fl}$  : Flankenradius

### Feste Rolle

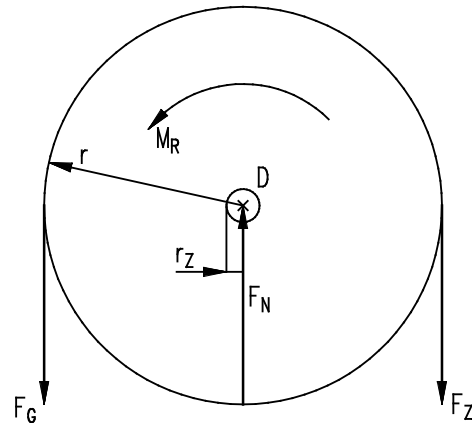


Abbildung 1 Freimachen der festen Rolle

$$F_Z = F_G \cdot \frac{r + 2\mu \cdot r_z}{r}$$

### Lose Rolle

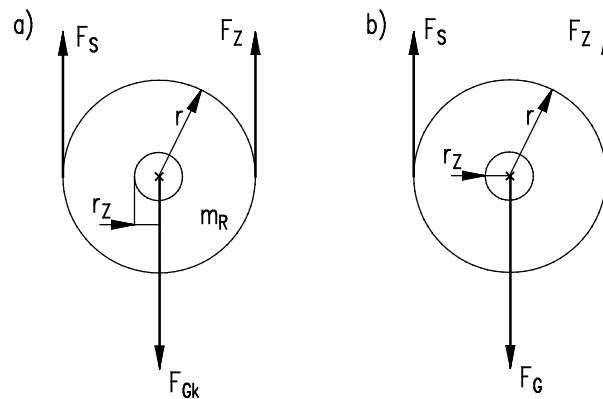
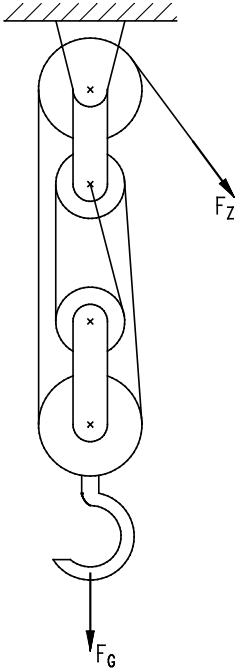


Abbildung 2 a) Lose Rolle b) Freigemachte lose Rolle

$$F_Z = \frac{1}{2} F_G \cdot \frac{\mu \cdot r_z + r}{r}$$

$F_Z$  : Zugkraft  
 $F_G$  : Gewichtskraft  
 $r$  : Rollenradius in m  
 $r_z$  : Zapfenradius in m  
 $\mu$  : Reibungszahl



**Rollenzug (Flaschenzug)**

$$F_Z = F_G \cdot \frac{1-\eta}{\eta \cdot (1-\eta^n)} = m \cdot g \cdot \frac{1-\eta}{\eta \cdot (1-\eta^n)}$$

$$W_{\text{hub}} = F_G \cdot s_G$$

$$W_{\text{zug}} = F_Z \cdot s_Z$$

$$s_Z = n \cdot s_G$$

$\eta$  : Wirkungsgrad (dimensionslos)

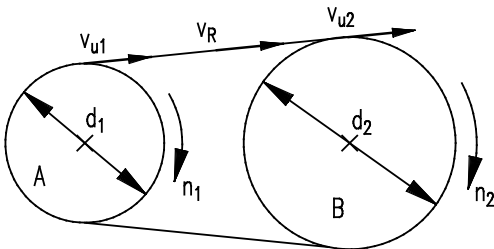
$n$  : Anzahl der treibenden Seil- oder Kettenstränge beim Heben der Last

$W_{\text{hub}}$  : Hubarbeit in Joule bzw. Nm

$W_{\text{zug}}$  : Zugarbeit in Joule bzw. Nm

$s_G$  : Hubstrecke

$s_Z$  : Zugstrecke

**Riementrieb**

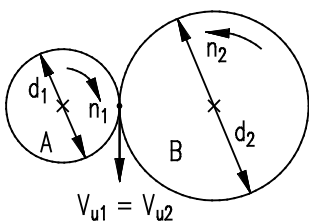
$$v_{u1} = v_{u2}$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$i$  : Übersetzungsverhältnis

$n$  : Umdrehungsfrequenz in  $\frac{1}{s}$

$d$  : Scheibendurchmesser in m

**Zahnradtrieb**

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

### 3 Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

#### 3.1 Allgemeine Eigenschaften der Flüssigkeiten

##### Druck p

$$p = \frac{F}{A} \quad 1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

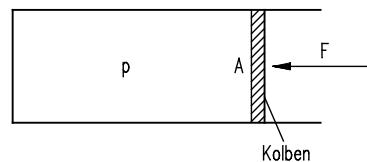
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

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

##### Hydrostatischer Druck

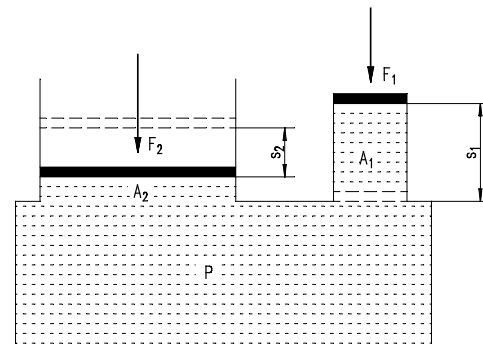
$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

##### Kolbendruck



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

##### Hydraulischer Hebebock



$$F_1 = p \cdot A_1$$

$$F_2 = p \cdot A_2$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{s_2}{s_1}$$

Abbildung 3 Hydraulischer Hebebock

##### Bodenkraft $F_B$

$$F_B = p \cdot A$$

$$F_B = \rho \cdot g \cdot h \cdot A$$

p : Druck in Pa

F : Kraft in N

A : Fläche in  $\text{m}^2$

h : Druckhöhe in m

##### Schweredruck $p_h$

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h$$

$\rho$  : Dichte in  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

g : Fallbeschleunigung in  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

##### Seitenkraft $F_S$

$$F_S = \rho \cdot g \cdot A \cdot y_0$$

$$\text{mit } y_0 = \frac{1}{2} \cdot h$$

$F_A$  : Kraft in N

V : Volumen in  $\text{m}^3$

$y_0$  : Schwerpunkt in m

**Auftrieb  $F_A$** 

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V_{\text{Verd}}$$

**3.2 Allgemeine Eigenschaften der Gase****Allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases**

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$p$  : Druck in Pa

$V$  : Volumen in  $\text{m}^3$

$T$  : Temperatur in K

**Kompressibilität  $\kappa$** 

$$\frac{\Delta V}{V} = -\kappa \cdot \Delta p$$

$\kappa$  : Kompressibilität in  $\frac{\text{m}^2}{\text{N}}$

**3.3 Dynamik der Flüssigkeiten und Gase****Volumenstrom  $\dot{V}$** 

$$\dot{V} = A \cdot v$$

$\dot{V}$  : Volumenstrom in  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$A$  : Querschnittsfläche in  $\text{m}^2$

**Kontinuitätsgleichung**

$$\dot{V} = A \cdot v = \text{konst.}$$

$v$  : Strömungsgeschw. in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$\rho$  : Dichte in  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

**Bernoullische Gleichung**

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

(horizontale, reibungsfreie Strömung)

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

(Bernoullische Druckhöhengleichung für nicht horizontale Strömungen)

$$\Rightarrow \frac{p_1}{\rho \cdot g} + h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

## 4 Wärme und Temperatur

### Umrechnung der Temperaturskalen

$$T = 273,15 \text{ K} + \vartheta \text{ K/}^{\circ}\text{C} \text{ oder } \vartheta = (T - 273,15 \text{ K}) \text{ }^{\circ}\text{C/K}$$

T : Kelvin Temperatur der absoluten Temperaturskala

$\vartheta$  : Temperatur der Celsius-Temperaturskala

### 4.1 Wärmeausdehnung

#### Längenausdehnung fester Körper

##### Exakte Formeln

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta \vartheta$$

$$l_2 = l_0 (1 + \alpha \Delta \vartheta)$$

$\Delta l = l_2 - l_0$  : Längenänderung

$l_0$  : Anfangslänge bei  $0^{\circ}\text{C}$

$l_2$  : Endlänge

$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_0$  : Temperaturänderung

$\vartheta_0$  : Anfangstemperatur  $0^{\circ}\text{C}$

$\vartheta_2$  : Endtemperatur

$\alpha$  : Längenausdehnungskoeffizient

##### Näherungsformeln

$$\Delta l = \alpha l_1 \Delta \vartheta$$

$$l_2 = l_1 (1 + \alpha \Delta \vartheta)$$

$\Delta l = l_2 - l_1$  : Längenänderung

$l_1$  : Anfangslänge

$l_2$  : Endlänge

$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$  : Temperaturänderung

$\vartheta_1$  : Anfangstemperatur

$\vartheta_2$  : Endtemperatur

$\alpha$  : Längenausdehnungskoeffizient

## Volumenausdehnung fester und flüssiger Körper

### Exakte Formeln

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta \vartheta$$

$$V_2 = V_0 (1 + \beta \Delta \vartheta)$$

$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_0$  : Temperaturänderung

$\vartheta_0$  : Anfangstemperatur 0 °C

$\vartheta_2$  : Endtemperatur

$\Delta V = V_2 - V_1$  : Volumenänderung

$V_0$  : Anfangsvolumen bei 0 °C

$V_2$  : Endvolumen

$\beta$  : Volumenausdehnungskoeffizient

$\beta = 3 \alpha$  : für feste Körper

### Näherungsformeln

$$V_2 = V_1 (1 + \beta \Delta \vartheta)$$

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta \vartheta$$

$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$  : Temperaturänderung

$\vartheta_1$  : Anfangstemperatur

$\vartheta_2$  : Endtemperatur

$\Delta V = V_2 - V_1$  : Volumenänderung

$V_1$  : Anfangsvolumen

$V_2$  : Endvolumen

$\beta$  : Volumenausdehnungskoeffizient

$\beta = 3 \alpha$  : für feste Körper

## 4.2 Zustandsänderungen bei Gasen

### Isobare Zustandsänderung $p = \text{konstant}$

$$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta \vartheta$$

$$V = V_0 + \Delta V = V_0(1 + \beta \cdot \Delta \vartheta)$$

$$\beta = \frac{-V_0}{V_0 \cdot (-273,15) \text{ K}} = \frac{1}{273,15 \text{ K}} = 3,661 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \quad (\text{für ideale Gase})$$

$\Delta V = V - V_0$  : Volumenänderung

$V$  : Volumen bei der Temperatur  $\vartheta$

$V_0$  : Volumen bei der Temperatur 0 °C

$\Delta \vartheta = \vartheta - \vartheta_0$  : Temperaturänderung

$\vartheta$  : Endtemperatur

$\vartheta_0$  : Anfangstemperatur 0 °C

$\beta$  : isobarer Ausdehnungskoeffizient

### Gesetz von Gay-Lussac

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_0}{T_0}, \text{ wenn } p = \text{konstant}$$

$V_1$  : Volumen bei der absoluten Temperatur  $T_1$

$V_2$  : Volumen bei der absoluten Temperatur  $T_2$

$V_0$  : Volumen bei der absoluten Temperatur  $T_0 = 273,15 \text{ K}$

### **Isochore Zustandsänderung $V = \text{Konstant}$**

$$p = p_0 + \Delta p = p_0 \cdot \left( 1 + \frac{\Delta \vartheta}{273,15 \text{ K}} \right)$$

$\Delta p = p - p_0$  : Druckänderung

$p$  : Druck bei der Temperatur  $\vartheta$

$p_0$  : Druck bei der Temperatur  $0^\circ \text{C}$

$\Delta \vartheta = \vartheta - \vartheta_0$  : Temperaturänderung

$\vartheta$  : Endtemperatur

$\vartheta_0$  : Anfangstemperatur  $0^\circ \text{C}$

### Gesetz von Amontons

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_0}{T_0} \quad \text{wenn } V = \text{konstant}$$

$p_1$  : Druck bei der absoluten Temperatur  $T_1$

$p_2$  : Druck bei der absoluten Temperatur  $T_2$

$p_0$  : Druck bei der absoluten Temperatur  $T_0 = 273,15 \text{ K}$

### **Isotherme Zustandsänderung $T = \text{Konstant}$**

#### Gesetz von Boyle und Mariotte

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2, \text{ wenn } T = \text{konstant}$$

$p_1$  : Druck beim Volumen  $V_1$

$p_2$  : Druck beim Volumen  $V_2$

### **Allgemeine Gasgleichung**

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}$$

$V_1, p_1$  : Volumen und Druck bei der absoluten Temperatur  $T_1$

$V_2, p_2$  : Volumen und Druck bei der absoluten Temperatur  $T_2$

$V_0, p_0$  : Volumen und Druck bei der absoluten Temperatur  $T_0 = 273,15 \text{ K}$

**Universelle Gasgleichung**

$$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$$

V; p : Volumen und Druck bei der absoluten Temperatur T  
n : Stoffmenge in mol  
R : Universelle Gaskonstante

**Universelle Gaskonstante**

$$R = 8,3145 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

**Avogadro-Konstante**

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

**Boltzmann Konstante**

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,3805 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

### 4.3 Ausbreitung der Wärme

#### Wärmestrom

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t}$$

$Q$  : Wärmemenge  $Q$  in J  
 $t$  : Zeit in s

$$\dot{Q} = \lambda \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2) \cdot A}{l}$$

$\dot{Q}$  : Wärmestrom in  $\frac{J}{s}$        $1 \frac{J}{s} = 1 W$

$A$  : Querschnittsfläche  
 $l$  : Dicke des Körpers

$\vartheta_1 - \vartheta_2$  : Temperaturgefälle

$\lambda$  : Wärmeleitfähigkeit in  $\frac{[\dot{Q}][l]}{[\Delta\vartheta][A]} = \frac{W \cdot m}{K \cdot m^2} = \frac{W}{m \cdot K}$

#### Wärmeübergang

$$Q = \alpha \cdot A \cdot t (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

$Q$  : Wärmeenergie (Wärmemenge  $Q$ ) in Joule J  
 1 Kilowattstunde kWh =  $3,6 \cdot 10^6$  J

$A$  : Querschnittsfläche

$\vartheta_1 - \vartheta_2$  : Temperaturgefälle

$t$  : Zeitdauer

$\alpha$  : Wärmeübergangskoeffizient in  $\frac{[Q]}{[A][t][\Delta\vartheta]} = \frac{J}{m^2 \cdot s \cdot K} = \frac{W}{m^2 \cdot K}$

#### Wärmedurchgang

$$Q = k \cdot A \cdot t \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

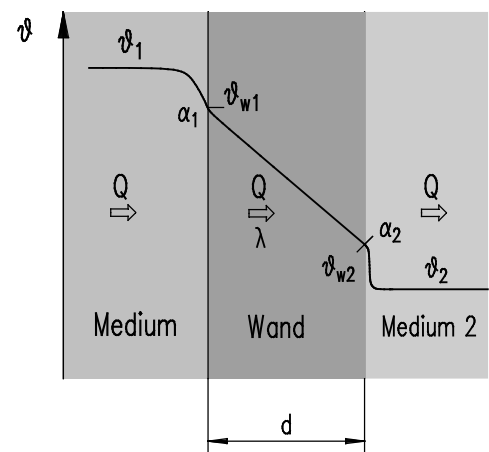
$A$  : Querschnittsfläche

$\vartheta_1 - \vartheta_2$  : Temperaturgefälle

$t$  : Zeitdauer

$k$  : Wärmedurchgangskoeffizient

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{l_i}{\lambda_i}$$





## Wärmestrahlung

### Wien'sches Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{T}$$

$\lambda_{\max}$ : Strahlungsmaximum  
 $T$ : Absolute Temperatur

### Stefan-Boltzmann-Gesetz

$$I_S(T) = \sigma T^4$$

$I_S(T)$ : Strahlungsintensität eines schwarzen Körpers  
 $\sigma$ : Stefan-Boltzmann Konstante  
 $T$ : Absolute Temperatur

### Stefan-Boltzmann-Konstante

$$\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4).$$

### Kirchhoff'sches Gesetz

$$I = a \cdot I_S$$

$I$ : Strahlungsintensität eines nicht schwarzen Körpers  
 $I_S$ : Strahlungsintensität eines schwarzen Körpers  
 $a$ : Absorptionsvermögen eines nicht schwarzen Körpers

## 5 Wärme als Energieart und Energieträger

### 5.1 Wärmemenge und erster Hauptsatz

#### Innere Energie

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

$\Delta U$  : Änderung der inneren Energie

$\Delta Q$  : Auf- oder abgegebene Wärmeenergie

$\Delta W$  : Zugeführte oder abgegebene mechanische Arbeit

#### Spezifische Wärmekapazität

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta$$

$\Delta Q$  : Wärmeenergie, die aufgenommen oder abgegeben wurde

$$[\Delta Q] = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$$

$m$  : Masse des Körpers

$c$  : Spezifische Wärmekapazität des Körpers in  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$\Delta \vartheta$  : Temperaturänderung des Körpers

#### Wärmekapazität

$$C = c \cdot m$$

$C$  : Wärmekapazität;  $[C] = 1 \frac{\text{J}}{\text{K}}$

$c$  : spezifische Wärmekapazität des Körpers

$m$  : Masse des Körpers

#### Molare Wärmekapazität $C_m$

$$C_m = M_r \cdot c$$

$M_r$  : Molare Masse

#### Energieerhaltungssatz (Mischungsregel)

$$\Delta Q_{\text{ab}} = \Delta Q_{\text{auf}}$$

$\Delta Q_{\text{ab}}$  : abgegebene Wärmeenergie

$\Delta Q_{\text{auf}}$  : aufgenommene Wärmeenergie

**1. Hauptsatz der Thermodynamik**

$$dU = dQ + dW$$

$dU$  : Änderung der inneren Energie

$dQ$  : Auf- oder abgegebene Wärmeenergie

$dW$  : Zugeführte oder abgegebene mechanische Arbeit

**Volumenarbeit**

$$dU = - p \cdot dV$$

$p$  : Druck

$dV$  : Volumenänderung

**Isochore Zustandsänderung**

Innere Energie

$$dU = m \cdot c_v \cdot dT$$

$$dU = n \cdot C_{mv} \cdot dT$$

$c_v$  : Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$C_{mv}$  : Molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$n$  : Stoffmenge in Mol

$dT$  : Temperaturänderung

**Isobare Zustandsänderung**

$$m \cdot c_v \cdot dT = m \cdot c_p \cdot dT - p \cdot dV$$

$m$  : Masse

$c_v$  : Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$c_p$  : Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck

$dT$  : Temperaturänderung

$p$  : Druck

$dV$  : Volumenänderung

**Molare Wärmekapazitäten**

$$C_{mp} - C_{mv} = R$$

$C_{mp}$  : Molare Wärmekapazität bei konstantem Druck

$C_{mv}$  : Molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$R$  : Universelle Gaskonstante

### Isobare Volumenarbeit

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = -p \int_{V_1}^{V_2} dV = -p \cdot (V_2 - V_1) = p(V_1 - V_2) = n \cdot R \cdot (T_1 - T_2)$$

**W** : Volumenarbeit  
**V<sub>1</sub>; T<sub>1</sub>**: Ausgangsvolumen; -temperatur  
**V<sub>2</sub>; T<sub>2</sub>**: Endvolumen; -temperatur  
**p** : Druck  
**n** : Stoffmenge in Mol  
**R** : Universelle Gaskonstante

### Isotherme Zustandsänderung

$$dQ = p \cdot dV$$

**dQ**: Änderung der Wärmeenergie  
**p** : Druck  
**dV**: Volumenänderung

### Isotherme Volumenarbeit

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{n \cdot R \cdot T}{V} dV = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

**W** : Volumenarbeit  
**V<sub>1</sub>; p<sub>1</sub>**: Ausgangsvolumen; -druck  
**V<sub>2</sub>; p<sub>2</sub>**: Endvolumen; -druck  
**n** : Stoffmenge in Mol  
**R** : Universelle Gaskonstante  
**T** : Temperatur

### Adiabatische Zustandsänderung

$$dU = n \cdot C_{mv} \cdot dT = -p \cdot dV = dW$$

**dU** : Änderung der Inneren Energie  
**n** : Stoffmenge in Mol  
**C<sub>mv</sub>**: Molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen  
**dT** : Temperaturänderung  
**p** : Druck  
**dV** : Volumenänderung  
**dW** : Zugeführte oder abgegebene Arbeit

**Adiabatexponent**

$$\kappa = \frac{C_{mp}}{C_{mv}} = \frac{c_p}{c_v}$$

$C_{mp}$  : Molare Wärmekapazität bei konstantem Druck

$C_{mv}$  : Molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$c_p$  : Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck

$c_v$  : Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen

**Temperatur-Volumen-Beziehung**

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1}$$

**Temperatur-Druck-Beziehung**

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

**Druck-Volumen-Beziehung**

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa}$$

$V_1; p_1; T_1$  : Anfangsvolumen; -druck; -temperatur

$V_2; p_2; T_2$  : Endvolumen; -druck; -temperatur

$\kappa$  : Adiabatexponent

**Poissonsches Gesetz**

$pV^{\kappa} = \text{const.}$  (Gleichung der Adiabaten eines idealen Gases)

$p$  : Druck

$V$  : Volumen

$\kappa$  : Adiabatexponent

**Volumenarbeit bei adiabatischer Zustandsänderung**

$$W = n \cdot C_{mV} \cdot (T_2 - T_1)$$

$$W = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} - 1 \right]$$

$W$  : Volumenarbeit

$n$  : Stoffmenge in Mol

$C_{mV}$  : Molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$V_1; p_1; T_1$  : Anfangsvolumen; -druck; -temperatur

$V_2; p_2; T_2$  : Endvolumen; -druck; -temperatur

$\kappa$  : Adiabatexponent

### Polytropengleichung

$$p \cdot V^n = \text{const.}$$

$$(1 < n < \kappa)$$

$p$  : Druck  
 $V$  : Volumen  
 $n$  : Polytropenexponent

## 5.2 Änderung des Aggregatzustandes

### Spezifische Schmelzwärme

$$q_m = \frac{\Delta Q_m}{m}$$

$q_m$  : spezifische Schmelz-(Erstarrungs-)wärme in  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$\Delta Q_m$  : Wärmeenergie, die bei Schmelz-(Erstarrungs-)temperatur zugeführt (abgegeben) wird

$m$  : Masse des geschmolzenen bzw. erstarrten Körper

### Spezifische Verdampfungswärme

$$r_v = \frac{\Delta Q_v}{m}$$

$r_v$  : spezifische Verdampfungs-(Kondensations-)wärme in  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$\Delta Q_v$  : Wärmeenergie, die bei Siedetemperatur (Kondensationstemperatur) zugeführt (abgegeben) wird

$m$  : Masse des verdampften (bzw. kondensierten) Körpers

### 5.3 Wärme als Energieträger

#### Heizwert bei festen und flüssigen Stoffen

$$H = \frac{\Delta Q}{m}$$

$H$  : Heizwert in  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$\Delta Q$  : Wärmeenergie, die durch Verbrennung frei wird

$m$  : Masse des verbrannten Körpers

#### Heizwert bei flüssigen und gasförmigen Stoffen

$$H' = \frac{\Delta Q}{V}$$

$H'$  : Heizwert in  $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$

$V$  : Volumen des verbrannten Stoffes

#### Wärmeleistung

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$P$  : Leistung in  $1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}$

$\Delta Q$  : Wärmeenergie, die von der Wärmequelle abgegeben wurde

$\Delta t$  : Zeitintervall der Wärmeabgabe

#### Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{W_{\text{ab}}}{W_{\text{zu}}}$$

$P_{\text{ab}}, P_{\text{zu}}$  : Abgegebene bzw. zugeführte Leistung

$W_{\text{ab}}, W_{\text{zu}}$  : Abgegebene bzw. zugeführte Arbeit/Energie

#### Thermischer Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{|W|}{Q_1} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

$W$  : Arbeit

$Q_1, Q_2$  : Wärmemenge des Kreisprozesses

### Thermischer Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$T_1, T_2$  : Temperaturen bei Kreisprozessen

### Entropie

$$\Delta S = \frac{\Delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

$\Delta S$  : Entropieänderung in  $\frac{\text{J}}{\text{K}}$

$\Delta Q_{\text{rev}}$  : Reversibel ausgetauschte Wärmemenge

$T$  : Temperatur

### Entropie des idealen Gases

$$\Delta S = n \cdot C_{mv} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + n \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$\Delta S$  : Entropieänderung

$n$  : Stoffmenge in Mol

$C_{mv}$  : molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$T_1, V_1$  : Ausgangstemperatur, -volumen

$T_2, V_2$  : Endtemperatur, -volumen

$R$  : universelle Gaskonstante

### Entropie und Wahrscheinlichkeit

Bei einem Übergang von einem Zustand mit der Wahrscheinlichkeit  $W_1$  in einen Zustand der Wahrscheinlichkeit  $W_2$  nimmt die Entropie zu:

$$S = k \cdot \ln W$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = k \cdot \ln \frac{W_2}{W_1}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad (\text{Boltzmann-Konstante})$$

$W_1, W_2$  : Wahrscheinlichkeiten

$S; S_1; S_2; \Delta S$  : Entropien und Entropieänderung

## 2. Hauptsatz der Thermodynamik

Bei irreversiblen Vorgängen wächst die Entropie, bei reversiblen bleibt sie konstant.

$$\Delta S \geq 0$$

$\Delta S$ : Entropie



## 6 Schwingungen

### 6.1 Harmonische Schwingungen

#### Gegenüberstellung von Kreisbewegung und Harmonischer Schwingung

Symbol	Kreisbewegung	harmonische Schwingung
r	Bahnradius	Amplitude $\hat{y}$
T	Umlaufdauer	Schwingungsdauer
f	Frequenz	Frequenz
$\varphi$	Drehwinkel	Phasenwinkel, Phase
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	Kreisfrequenz

#### Frequenz

$$f = \frac{z}{t}; f = \frac{1}{T}$$

f : Frequenz in  $s^{-1}$   
 z : Anzahl der Schwingungen  
 t : benötigte Zeit  
 T : Schwingungsdauer

$$[f] = \frac{1}{s} = 1 \text{ Hz (Hz = Hertz)}$$

#### Kreisfrequenz

$$\omega = 2\pi \cdot f; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$\omega$  : Kreisfrequenz in  $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$

#### Zeit-Weg-Gesetz der harmonischen Schwingung

$$y = \hat{y} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$\hat{y}$  : Amplitude der Schwingung (maximale Auslenkung aus der Gleichgewichtslage)

#### Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz der harmonischen Schwingung

$$v = \hat{y} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

v : Geschwindigkeit zur Zeit t

#### Zeit-Beschleunigungs-Gesetz der harmonischen Schwingung

$$a = -\hat{y} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

a : Beschleunigung zur Zeit t

### Kraftgesetz einer harmonischen Schwingung

$$F = -D \cdot y \quad (D = \text{Konstante})$$

$$F = -m \cdot \omega^2 \cdot \hat{y} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

F : Betrag der rücktreibenden Kraft

y : Entfernung aus der Ruhelage

### Schwingungsdauer eines Fadenpendels

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

T : Schwingungsdauer

l : Länge des Pendels

g : Erdbeschleunigung

### Schwingungsdauer eines Federpendels

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{c}}$$

m : Masse des schwingenden Körpers

c : Federkonstante (auch D üblich)

### Gesamtenergie einer Harmonischen Schwingung

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot \hat{y}^2$$

m : Masse

$\omega$  : Kreisfrequenz

$\hat{y}$  : Amplitude

## 6.2 Gedämpfte Schwingungen

$$y(t) = \hat{y}_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \sin \omega t$$

y(t) : Weg

$\hat{y}_0$  : Amplitude bei t = 0

k : Dämpfungskoeffizient

**7 Wellen****Ausbreitungsgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit) einer Welle**

$$c_p = \lambda \cdot f$$

$c_p$  : Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle

$\lambda$  : Wellenlänge

$f$  : Frequenz

**Wellengleichung einer linearen Welle**

$$y(x, t) = \hat{y} \cdot \sin \left( 2\pi \cdot \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right)$$

**Wegdifferenz (Gangunterschied) und Phasendifferenz**

$$\Delta\varphi = (\Delta s / \lambda) \cdot 2\pi$$

$\Delta\varphi$  : Phasendifferenz

$\Delta s$  : Gangunterschied

$\lambda$  : Wellenlänge

**Überlagerung von kohärenten Wellen**

Konstruktive Interferenz

$$\Delta s = n \cdot \lambda$$

$$\Delta\varphi = n \cdot 2\pi$$

mit  $n = 0, 1, 2, \dots$

Destruktive Interferenz

$$\Delta s = (2n - 1) \cdot \lambda / 2$$

$$\Delta\varphi = (2n - 1) \cdot \pi$$

mit  $n = 1, 2, \dots$

**Berechnungsgesetz**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_{p1}}{c_{p2}}$$

$\alpha, \beta$  : Die in den Medien gemessenen Winkel

$c_{p1}, c_{p2}$  : Ausbreitungsgeschwindigkeiten (Phasengeschwindigkeiten) der Wellen in den Medien

**Stehende Wellen**

$$\lambda_n = 4l / (2n + 1)$$

$$\lambda_n = 2l / (n + 1)$$

mit  $n = 0, 1, 2, \dots$

$l$  : Länge des Wellenträgers

## 8 Schall

### Schallleistung

$$P = \frac{W}{t}$$

P : Schallleistung in Watt [W]

W : von der Schallquelle abgegebene Energie

t : benötigte Zeit

### Schallstärke (Schallintensität)

$$I = \frac{W}{A \cdot t}; I = \frac{P}{A}$$

I : Schallintensität in Watt je Quadratmeter  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

W : Schallenergie, die in der Zeit t senkrecht durch die Fläche A transportiert wird

P : Schallleistung

### Lautstärke

$$L = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0}$$

L : Lautstärke gemessen in dB

dB : Dezibel

p : Schalldruck

p<sub>0</sub> : Hörschwelle  $\left( p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \frac{N}{m^2} \right)$

### Dopplereffekt

Bewegter Sender

$$f' = f \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$$

$$\Delta f = f' - f = f \cdot \frac{v}{c - v}$$

Bewegter Empfänger

$$f' = f \cdot \left( 1 + \frac{v}{c} \right)$$

$$\Delta f = f' - f = f \cdot \frac{v}{c}$$

f' : Dopplerfrequenz

c : Schallgeschwindigkeit

v : Geschwindigkeit von Sender oder Empfänger

**9 Eigenschaften des Lichtes****Strahlenfluss**

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$$

$\Phi_e$  : Strahlungsfluss bzw. Strahlungsleistung in W

$dQ_e$  : empfangene Energie in J

$$\Phi_e = \frac{Q_e}{t}$$

**Energieflussdichte**

$$\varphi = \frac{d\Phi_e}{dA_{\perp}}$$

$\varphi$  : Energieflussdichte bzw. Strahlungsflussdichte in  $W/m^2$

$$\varphi = \frac{\Phi_e}{A_{\perp}}$$

$A_{\perp}$  : Querschnittsfläche des Strahlungsflusses

$\Phi_e$  : Strahlungsfluss

**Raumwinkel**

$$\Omega = \frac{A_2}{r^2}$$

$\Omega$  : Raumwinkel in sr (Steradian; wegen  $m^2/m^2$  dimensionslos)

$A_2$  : von der Strahlung getroffener Teil einer Kugelfläche

$r$  : zugehöriger Radius

**Strahlstärke, Lichtstärke**

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$$

$I_e$  : Strahlstärke in W/sr

$I$  : Lichtstärke in cd (Candela)

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

**Solarkonstante**

$$\varphi_{So} = 1,35 \text{ kW} / m^2$$

### Beleuchtungsstärke

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

(ungleichmäßige Verteilung)

$E$  : Beleuchtungsstärke in lx

$$E_m = \frac{\Phi}{A}$$

$E_m$  : mittlere Beleuchtungsstärke in lx

$$E = \frac{I}{r^2}$$

### Leuchtdichte

$$L = \frac{dI}{dA}$$

(ungleichmäßige Verteilung)

$L$  : Leuchtdichte in  $\frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$

$$L = \frac{I}{A}$$

$$L = \frac{I_\varepsilon}{A \cdot \cos \varepsilon}$$

(bei schräger Fläche)

### Lichtmenge

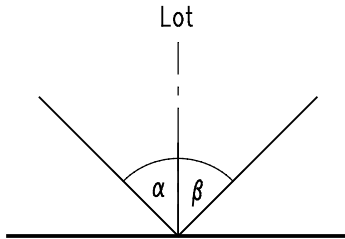
$$Q = \Phi \cdot t$$

$Q$  : Lichtmenge in lms

## 10 Geometrische Optik

### 10.1 Reflexion

$$\beta = \alpha$$

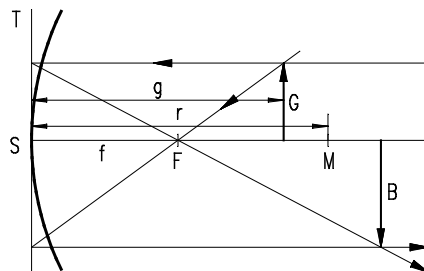


$\beta$  Reflexionswinkel  
 $\alpha$  Einfallswinkel

### Sphärische Spiegel

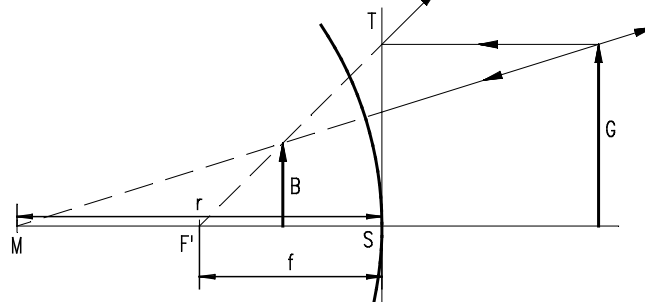
#### Hohlspiegel

$$f = \frac{r}{2}$$



#### Wölbspiegel

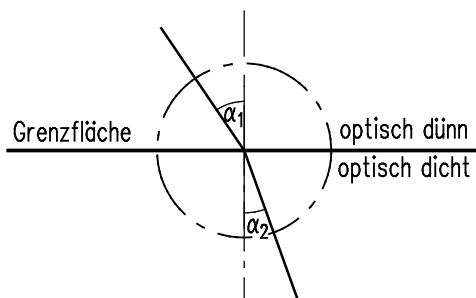
$$f = -\frac{r}{2}$$



$f$  : Brennweite (Entfernung des Brennpunkts von der Spiegelmitte)  
 $r$  : Krümmungsradius des Spiegels

### 10.2 Brechung

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



$n$  : Brechzahl  
 $\alpha_1$  : Einfallswinkel  
 $\alpha_2$  : Brechungswinkel

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$c_1, c_2$  : Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien

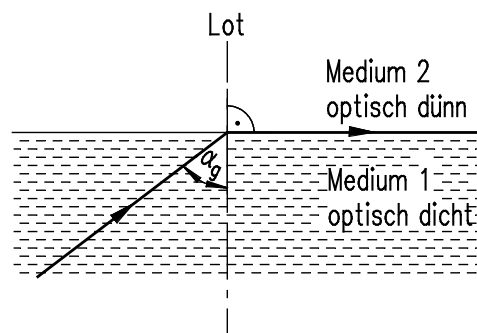
$n_1, n_2$  : Brechungsindizes

### Totalreflexion

$$\sin \alpha_{gr} = \frac{n_2}{n_1}$$

$\alpha_{gr}$  : Grenzwinkel der Totalreflexion

$n$  : Brechzahl



### Ablenkwinkel beim Durchgang eines Lichtstrahls durch ein Prisma

$$\delta = (\alpha_1 - \beta_1) + (\beta_2 - \alpha_2), \text{ oder } \delta = \alpha_1 + \beta_2 - \omega$$

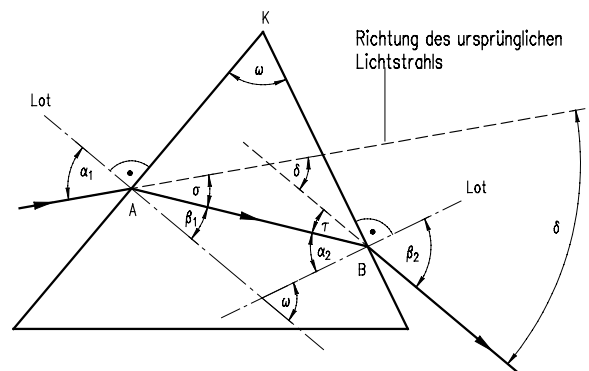
$\delta$  : Ablenkwinkel

$\alpha_1$  : Einfallswinkel

$\alpha_2$  : Brechungswinkel  
beim Eintritt in das Prisma

$\beta_1$  : Einfallswinkel

$\beta_2$  : Brechungswinkel beim  
Austritt aus dem Prisma



## 10.3 Abbildungen

### Abbildungsmaßstab (Lochkamera)

$$A = \frac{B}{G}$$

$A$  : Abbildungsmaßstab

$B$  : Bildgröße

$G$  : Gegenstandsgröße



**Abbildungsgesetz (Lochkamera)**

$$\frac{b}{g} = \frac{B}{G}$$

b : Bildweite

g : Gegenstandsweite

**Gesetze der Linsenabbildung**

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad \text{für reelles Bild}$$

$$\frac{B}{G} = \frac{-b}{g} \quad \text{für virtuelles Bild}$$

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

$$D = \frac{1}{f}$$

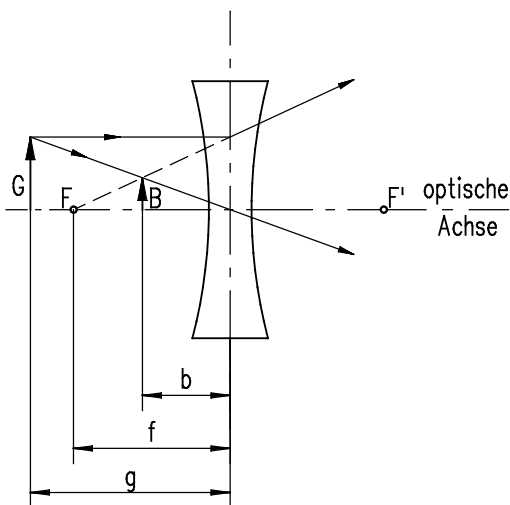
B : Bildgröße

G : Gegenstandsgröße

b : Bildweite (negativ für virtuelle Bilder)

g : Gegenstandsweite

f : Brennweite

D : Brechkraft in  $\frac{1}{m} = 1 \text{ dpt (Dioptrie)}$ **Bildkonstruktion**Zerstreuungslinsen

f : Brennweite (negativ)

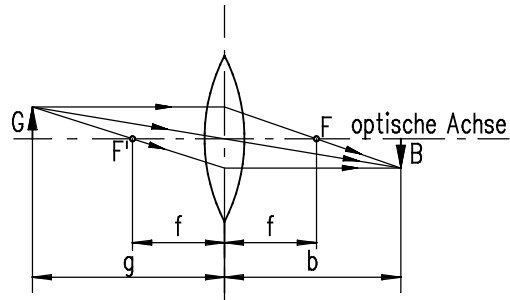
g : Gegenstandsweite

b : Bildweite

B : Bildgröße

G : Gegenstandsgröße

### Sammellinsen



### **Vergrößerung optischer Instrumente**

$$V = \frac{\alpha_m}{\alpha_0}$$

$V$  : Vergrößerung

$\alpha_m$  : Sehwinkel mit Instrument

$\alpha_0$  : Sehwinkel ohne Instrument

### **Vergrößerung der Lupe**

$$V = \frac{s_0}{f}$$

$s_0$  : deutliche Sehweite ( $s_0 = 25 \text{ cm}$ )

$f$  : Brennweite

## 11 Licht als Wellenerscheinung

### Beugung und Interferenz

#### Doppelspalt

##### Maxima

$$\sin \alpha_n = n \cdot \lambda / d$$

##### Minima

$$\sin \alpha_n = (2n + 1) \cdot \lambda / (2 \cdot d)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

#### Gitter

##### Maxima

$$\sin \alpha_n = n \cdot \lambda / d$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

#### Einzelspalt

##### Minima

$$\sin \alpha_n = n \cdot \lambda / d$$

##### Maxima

$$\sin \alpha_n = (2n + 1) \cdot \lambda / (2 \cdot d)$$

$$n = 1, 2, \dots$$

#### Bragg-Gleichung

$$n \cdot \lambda = 2d \sin \vartheta$$

## Anhang

### Griechisches Alphabet

<b>A α</b> Alpha	<b>B β</b> Beta	<b>Γ γ</b> Gamma	<b>Δ δ</b> Delta	<b>E ε</b> Epsilon	<b>Z ζ</b> Zeta
<b>H η</b> Eta	<b>Θ θ</b> Theta	<b>I ι</b> Iota	<b>K κ</b> Kappa	<b>Λ λ</b> Lambda	<b>M μ</b> My
<b>N ν</b> Ny	<b>Ξ ξ</b> Xi	<b>O ο</b> Omikron	<b>Π π</b> Pi	<b>Ρ ρ</b> Rho	<b>Σ σ</b> Sigma
<b>T τ</b> Tau	<b>Υ υ</b> Ypsilon	<b>Φ φ</b> Phi	<b>Χ χ</b> Chi	<b>Ψ ψ</b> Psi	<b>Ω ω</b> Omega

### Zehnerpotenzen und Teile von Einheiten

<b>E</b>	Exa-	10 <sup>18</sup>	<b>M</b>	Mega-	10 <sup>6</sup>	<b>d</b>	Dezi-	10 <sup>-1</sup>	<b>n</b>	Nano-	10 <sup>-9</sup>
<b>P</b>	Peta-	10 <sup>15</sup>	<b>k</b>	Kilo-	10 <sup>3</sup>	<b>c</b>	Zenti-	10 <sup>-2</sup>	<b>p</b>	Pico-	10 <sup>-12</sup>
<b>T</b>	Tera-	10 <sup>12</sup>	<b>h</b>	Hekto-	10 <sup>2</sup>	<b>m</b>	Milli-	10 <sup>-3</sup>	<b>f</b>	Femto-	10 <sup>-15</sup>
<b>G</b>	Giga-	10 <sup>9</sup>	<b>da</b>	Deka-	10 <sup>1</sup>	<b>μ</b>	Mikro-	10 <sup>-6</sup>	<b>a</b>	Atto-	10 <sup>-18</sup>

### Das Periodensystem

3	Ordnungszahl
Li	Elementsymbol
6,9	relative Atommasse

Periode	Hauptgruppen		Nebengruppen										Hauptgruppen						
	I a	II a	III b	IV b	V b	VI b	VII b	VIII	VIII	VIII	I b	II b	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII	
1	1 H 1,0																	2 He 4,0	
2	3 Li 6,9	4 Be 9,0											5 B 10,8	6 C 12,0	7 N 14,0	8 O 16,0	9 F 19,0	10 Ne 20,2	
3	11 Na 23,0	12 Mg 24,3											13 Al 27,0	14 Si 28,1	15 P 31,0	16 S 32,1	17 Cl 35,5	18 Ar 39,9	
4	19 K 39,1	20 Ca 40,1	21 Sc 45,0	22 Ti 47,9	23 V 50,9	24 Cr 52,0	25 Mn 54,9	26 Fe 55,8	27 Co 58,9	28 Ni 58,7	29 Cu 63,5	30 Zn 65,4	31 Ga 69,7	32 Ge 72,6	33 As 74,9	34 Se 79,0	35 Br 79,9	36 Kr 83,8	
5	37 Rb 85,5	38 Sr 87,6	39 Y 88,9	40 Zr 91,2	41 Nb 92,9	42 Mo 95,9	43 Tc 99	44 Ru 101,1	45 Rh 102,9	46 Pd 106,4	47 Ag 107,9	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,8	52 Te 127,6	53 J 126,9	54 Xe 131,3	
6	55 Cs 132,9	56 Ba 137,3	57...71	72 Hf 178,5	73 Ta 180,9	74 W 183,9	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,1	79 Au 197,0	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209,0	84 Po 210	85 At 210	86 Rn (222)	
7	87 Fr 223	88 Ra 226	89...103	104 Ku 261	105 Ha	(gekürzte Darstellung)													

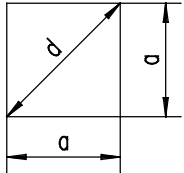
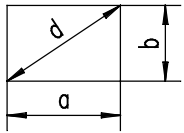
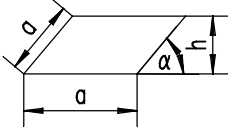
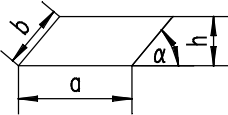
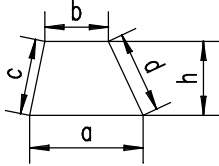
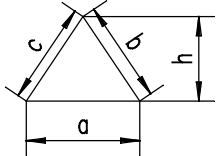
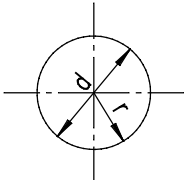
#### Wichtige Elemente mit Kurzzeichen

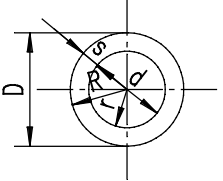
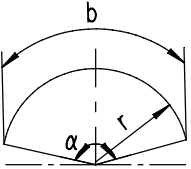
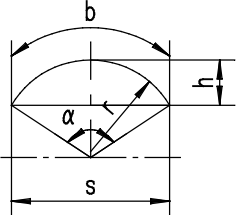
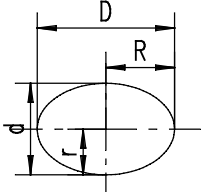
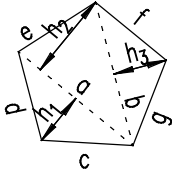
Wasserstoff	H		Natrium	Na	Chlor	Cl	Silber	Ag
Helium	He		Magnesium	Mg	Calcium	Ca	Zinn	Sn
Kohlenstoff	C		Aluminium	Al	Eisen	Fe	Gold	Au
Stickstoff	N		Silicium	Si	Nickel	Ni	Quecksilber	Hg
Sauerstoff	O		Phosphor	P	Kupfer	Cu	Blei	Pb
Neon	Ne		Schwefel	S	Zink	Zn	Uran	U

**Konstanten**

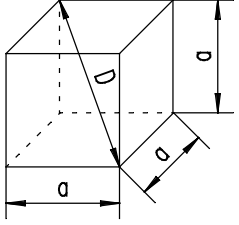
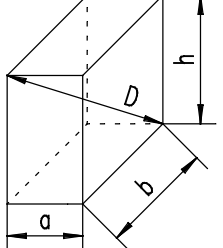
<b>Absoluter Nullpunkt</b>	$T = 0 \text{ K}$ $\vartheta_0 = -273,15 \text{ °C}$
<b>Fallbeschleunigung</b>	$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
<b>Lichtgeschwindigkeit</b>	$c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
<b>Physikalischer Normaldruck</b>	$p_n = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

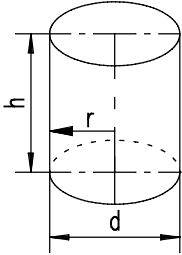
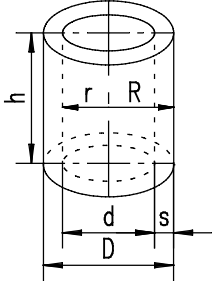
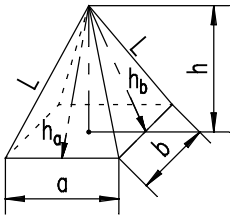
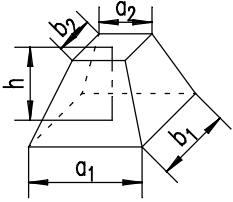
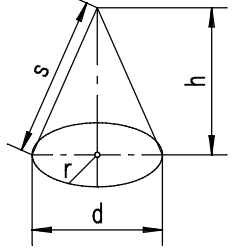
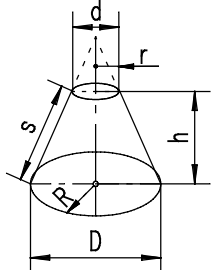
**Flächenberechnung**

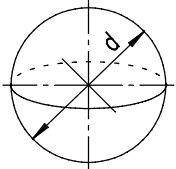
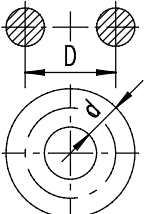
<b>Quadrat</b>		Fläche $A = a^2$ Umfang $U = 4 \cdot a$ $d = \sqrt{2} \cdot a$
<b>Rechteck</b>		$A = a \cdot b$ $U = 2 \cdot (a + b)$ $d = \sqrt{a^2 + b^2}$
<b>Rhombus (Raute)</b>		$A = a \cdot h$ $U = 4 \cdot a$ $h = a \cdot \sin \alpha$
<b>Parallelogramm</b>		$A = a \cdot h$ $U = 2 \cdot (a + b)$ $h = b \cdot \sin \alpha$
<b>Trapez</b>		$A = \frac{a+b}{2} \cdot h$ $U = a + b + c + d$
<b>Dreieck</b>		$A = \frac{a \cdot h}{2}$ $U = a + b + c$
<b>Kreis</b>		$A = \pi \cdot r^2$ $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ $U = \pi \cdot 2 \cdot r = \pi \cdot d$

<b>Kreisring</b>		$A = \pi \cdot (R^2 - r^2)$ $A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ $s = R - r$ $A = \pi \cdot (d + s) \cdot s$
<b>Kreisausschnitt</b>		$A = \frac{b \cdot r}{2}$ $b = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180^\circ}$
<b>Kreisabschnitt</b>		$A = \frac{b \cdot r - s \cdot (r - h)}{2}$ $b = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180^\circ}$ $s = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot h \cdot r - h^2}$ $s = 2 \cdot r \cdot \sin(\alpha / 2)$
<b>Ellipse</b>		$A = \frac{\pi \cdot D \cdot d}{4}$ $U \approx \pi \cdot \frac{D + d}{2}$ $U = \pi \cdot \sqrt{2 \cdot (R^2 + r^2)}$
<b>Vieleck</b>		<p>Zerlegung in Dreiecke:</p> $A = A_1 + A_2 + A_3$ $A = \frac{a \cdot h_1 + a \cdot h_2 + a \cdot h_3}{2}$ $U = c + d + e + f + g$

### Körperberechnung

<b>Würfel (Kubus)</b>		<p>Volumen <math>V = a^3</math></p> <p>Oberfläche <math>A = 6 \cdot a^2</math></p> <p>Kantenlänge <math>a = \sqrt[3]{V}</math></p> <p>Raumdiagonale <math>D = a \cdot \sqrt{3}</math></p>
<b>Prisma</b>		$V = a \cdot b \cdot h$ $A = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h)$ $D = \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}$

<b>Zylinder</b>		$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ $V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$ <p>Mantelfläche <math>A_M</math>:</p> $A_M = \pi \cdot d \cdot h$ <p>Oberfläche <math>A</math>:</p> $A = \pi \cdot d \cdot h + \frac{\pi \cdot d^2}{2}$
<b>Hohlzylinder</b>		$V = \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot h$ $V = \frac{\pi \cdot h}{4} (D^2 - d^2)$ $s = R - r$ $V = \pi \cdot (d + s) \cdot s \cdot h$ $A = \pi \left\{ h \cdot (D + d) + \frac{D^2 - d^2}{2} \right\}$
<b>Pyramide</b>		$V = \frac{a \cdot b \cdot h}{3}$ $h_a = \sqrt{h^2 + 0,25 \cdot b^2}$ $h_b = \sqrt{h^2 + 0,25 \cdot a^2}$ $L = \sqrt{h_b^2 + 0,25 \cdot b^2}$ $A = a \cdot b + b \cdot h_b + a \cdot h_a$
<b>Pyramidenstumpf</b>		$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2) + \sqrt{A_1 \cdot A_2}$ <p>mit: <math>A_1 = a_1 \cdot b_1</math>  <math>A_2 = a_2 \cdot b_2</math></p>
<b>Kegel</b>		$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{12} = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot h$ $s = \sqrt{h^2 + 0,25 \cdot d^2}$ $A = \frac{\pi \cdot d \cdot s}{2} + \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \pi \cdot r \cdot (r + s)$ $A = \frac{\pi \cdot d}{2} \left( \sqrt{h^2 + \frac{d^2}{4}} + \frac{d}{2} \right)$
<b>Kegelstumpf</b>		$V = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$ $s = \sqrt{h^2 + (R - r)^2}$ $A = \frac{\pi \cdot s}{2} (D + d) + \frac{\pi}{4} (D^2 + d^2)$

<b>Kugel</b>		$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$ $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ $A = \pi \cdot d^2$
<b>Zylindrischer Ring</b>		$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \pi \cdot D$ $A = \pi \cdot d \pi \cdot D$

### Dichte $\rho$ fester Stoffe bei 20 °C

Feste Stoffe	Dichte $\rho$ in kg/dm <sup>3</sup>	Feste Stoffe	Dichte $\rho$ in kg/dm <sup>3</sup>
Aluminium (gewalzt)	2,7	Zink (gegossen)	7,20
Blei	11,34	Platin	21,4
Bronze (gewöhnlich)	8,6	Basalt	3,0
Eisen	7,86	Chrom	7,1
Gold	19,3	Kalkstein	2,7
Gusseisen	7,2 bis 7,6	Gips (gebrannt)	1,6 bis 1,8
Konstantan	8,8	Kalk (gebrannt)	0,9 bis 1,2
Kupferdraht (hart)	8,96	Kies (trocken)	1,9 bis 2,0
Magnesium	1,74	Sand (feucht)	1,9 bis 2,1
Messing	8,1 bis 8,6	Sand (trocken)	1,4 bis 1,6
Natrium	0,97	Diamant	3,6
Nickeldraht (hart)	8,76	Eis (0°C)	0,92
Silber	10,40	Kork	0,24
Stahl	7,7 bis 7,86	Granit	2,5 bis 2,7
Titan	4,5	Kristallglas	2,9
Uran	18,7	Quarzglas	2,2
Wolfram	19,3	Gummi	1,1
Wolframstahl	9,0	Balsaholz	0,08 bis 0,2
Zink (gewalzt)	7,15	Buchenholz	0,6 bis 0,9



**Dichte  $\rho$  von Flüssigkeiten bei 20 °C**

Flüssigkeit	Dichte $\rho$ in $\text{kg/dm}^3$	Flüssigkeit	Dichte $\rho$ in $\text{kg/dm}^3$
Äthanol	0,789	Salzsäure (25 %)	1,1
Benzin	0,70 bis 0,74	Salzsäure (40 %)	1,195
Benzol	0,88	Schwefelkohlenstoff	1,26
Diäthyläther	0,72	Schwefelsäure (50 %)	1,40
Dieselöl	0,85 bis 0,88	Schwefelsäure (100 %)	1,83
Glycerin	1,26	Seewasser	1,02
Pentan	0,623	Spiritus	0,83
Petroleum	0,8 bis 0,82	Tetrachlorkohlenstoff	1,598
Quecksilber	13,55	Toluol	0,866
Salpetersäure (50 %)	1,31	Wasser (4 °C)	1,0000
		Wasser (0 °C)	0,9982

**Dichte  $\rho$  von Gasen im Normzustand**

Gas	Dichte $\rho$ in $\text{kg/m}^3$	Gas	Dichte $\rho$ in $\text{kg/m}^3$
Ammoniak	0,771	Ozon	2,22
Acetylen	1,171	Propan	2,0
Chlor	3,23	Sauerstoff	1,429
Helium	0,179	Schwefeldioxid	2,93
Kohlendioxid	1,977	Stadtgas	0,6
Kohlenmonoxid	1,250	Stickstoff	1,250
Luft (trocken)	1,293	Wasserstoff	0,090
Methan	0,717		

**Haftreibungszahlen  $\mu_0$  und Gleitreibungszahlen  $\mu$  verschiedener Werkstoffe**

Stoffe	Haftreibungszahl $\mu_0$	Gleitreibungszahl $\mu$		Rollreibungszahl (f in m)
		trocken	flüssig	
Stahl/Stahl	0,25	0,15	0,06	$5 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$
Stahl/CuSn-Legierung	0,25	0,2	0,05	
Stahl/Grauguss	0,25	0,2	0,08	
Holz/Metall	0,5	0,4	0,1	
Lederdichtung/Metall	0,6	0,2	0,12	
Gummireifen/Asphalt	0,8	0,7	0,3	$2 \cdot 10^{-5}$ bis $3 \cdot 10^{-5}$

### Dynamische Viskosität $\eta$ bei 20 °C

Stoff	Dynamische Viskosität $\eta$ in $10^{-3} \text{ Pa s}$	Stoff	Dynamische Viskosität $\eta$ in $10^{-3} \text{ Pa s}$
Äthanol	1,20	Tetrachlorkohlenstoff	0,97
Benzol	0,648	Toluol	0,585
Diäthyläther	0,24	Ammoniak	0,224
Glycerin	1480	Helium	0,022
Methanol	0,587	Kohlendioxid	0,0147
Motoröl	20 bis $10^4$	Methan	0,0108
Pech	$3 \cdot 10^{10}$	Sauerstoff	0,0203
Petroleum	1,46	Stickstoff	0,0175
Quecksilber	1,554	Wasserstoff	0,013
Schweres Wasser	1,26	Luft	0,0171

### Eigenschaften von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur

$\vartheta$ in °C	0	10	20	30	40	50
$\rho$ in $\text{kg/dm}^3$	0,99984	0,9997	0,9982	0,9957	0,9922	0,9881
$p_s$ in Pa	611	1228	2340	4244	7313	12332
$\sigma$ in $10^{-2} \text{ N/m}$	7,56	7,40	7,25	7,09	6,93	6,78
$\eta$ in $10^{-3} \text{ Pa s}$	1,79	1,31	1,00	0,80	0,65	0,55
$\vartheta$ in °C	60	70	80	90	100	
$\rho$ in $\text{kg/dm}^3$	0,9832	0,9778	0,9718	0,9653	0,9584	
$p_s$ in Pa	19865	31197	42329	70127	101325	
$\sigma$ in $10^{-2} \text{ N/m}$	6,57	6,45	6,30	6,12	5,88	
$\eta$ in $10^{-3} \text{ Pa s}$	0,47	0,40	0,36	0,32	0,28	
$\vartheta$ ; $\rho$ Dichte; $p_s$ Sättigungsdruck; $\sigma$ Kapillaritätskonstante; $\eta$ dynamisch Viskosität						

**Längenausdehnungszahlen**

Stoff	$\alpha$ in $\frac{1}{K}$
Aluminium	$2,40 \cdot 10^{-5}$
Beton	$1,20 \cdot 10^{-5}$
Blei	$2,90 \cdot 10^{-5}$
Eisen	$1,25 \cdot 10^{-5}$
Glas	$0,79 \cdot 10^{-5}$
Gold	$1,43 \cdot 10^{-5}$
Iridium	$0,66 \cdot 10^{-5}$
Kupfer	$1,60 \cdot 10^{-5}$
Messing	$1,80 \cdot 10^{-5}$
Naphthalin	$9,40 \cdot 10^{-5}$
Platin	$0,90 \cdot 10^{-5}$
Plexiglas	$7,00 \cdot 10^{-5}$
Porzellan	$0,35 \cdot 10^{-5}$
PVC	$7,80 \cdot 10^{-5}$ bis $15 \cdot 10^{-5}$
Quarzglas	$0,05 \cdot 10^{-5}$
Silber	$2,00 \cdot 10^{-5}$
Stahl (unlegiert)	$1,20 \cdot 10^{-5}$
Stahl, V2A	$1,60 \cdot 10^{-5}$
Zelluloid	$10,00 \cdot 10^{-5}$
Zink	$3,00 \cdot 10^{-5}$
Zinn	$2,30 \cdot 10^{-5}$

**Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$** 

Stoff	$\lambda$ in $\frac{W}{m \cdot K}$
Aluminium	200
Baustahl	60
Edelstahl	14
Gusseisen	58
Kupfer	380
Silber	410
Stahlbeton	2,1
Ziegel	0,5 ... 0,9
Glas	0,80
Holz (Mittelwert)	0,15
Kork	0,05
Luft (ruhend)	0,023
Schafwolle	0,040
Wärmedämmstoffe	0,025 ... 0,050
Wasserstoff	0,19
Wasser	0,58

### Volumenausdehnungszahlen

Flüssigkeit	$\beta$ in $\frac{1}{K}$
Äther	$16,2 \cdot 10^{-4}$
Alkohol	$11,0 \cdot 10^{-4}$
Azeton	$14,3 \cdot 10^{-4}$
Benzin	$11,0 \cdot 10^{-4}$
Benzol	$10,6 \cdot 10^{-4}$
Glycerin	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Heizöl	$9,6 \cdot 10^{-4}$
Petroleum	$9,6 \cdot 10^{-4}$
Quecksilber	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Wasser	$1,8 \cdot 10^{-4}$

### Heizwert

fester, flüssiger Stoff	H in $\frac{kJ}{kg}$
Benzin	43500
Brikett	17000...20000
Dieselmotortreibstoff	42000
Heizöl	37000...40000
Holz	12500...16000
Spiritus	25000...27000
Steinkohle	30000...36000

Gase	H' in $\frac{kJ}{m^3}$
Acetylen	59000
Propangas	47000
Stadtgas	17500
Wasserstoff	11000

**Spezifische Wärmekapazitäten**

feste Körper	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Aluminium	0,895
Beton	0,84
Blei	0,130
Eis	2,10
Eisen	0,460
Glas	0,66...0,84
Gold	0,131
Iridium	0,129
Konstanten	0,410
Kupfer	0,389
Magnesium	1,006
Messing	0,385
Naphtalin	1,257
Platin	0,132
Quarzglas	0,729
Silber	0,233
Stahl	0,42...0,67
Zink	0,388
Zinn	0,219

Flüssigkeiten	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Alkohol	2,43
Benzol	1,73
Chloroform	0,493
Glycerin	2,388
Öl	1,97
Petroleum	2,14
Quecksilber	0,14
Schwefelsäure	1,45
Terpentinöl	1,80
Wasser	4,19

Gase	$c_p$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$c_v$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Ammoniak	2,19	1,67
Helium	5,24	3,157
Luft	1,01	0,71
Sauerstoff	0,92	0,67
Stickstoff	1,05	0,75
Wasserdampf	1,97	1,394
Wasserstoff	14,3	10,1

$c_p$  : spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck  
 $c_v$  : spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen

### Schmelztemperatur $\vartheta_m$ und spezifische Schmelzwärme $q_m$ einiger Stoffe bei 1013 h Pa Druck

Stoff	$\vartheta_m$ in $^{\circ}\text{C}$	$q_m$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Aluminium	658	398
Blei	327	25
Eis	0	335
Eisen	1530	268
Kupfer	1084	205
Magnesium	650	373
Naphtalin	80,1	151
Nickel	1452	300
Platin	1770	113
Quecksilber	-39	11,7
Silber	960,5	105
Zink	419,4	103
Zinn	232	58,6

**Siedetemperatur  $\vartheta_v$  und spezifische Verdampfungswärme  $r_v$  einiger Stoffe bei 1013 h Pa Druck**

Stoff	$\vartheta_v$ in °C	$r_v$ in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Äther	35	368
Alkohol	78	859
Ammoniak	−34	1344
Benzol	80	393
Chloroform	61	279
Glycerin	64,5	1102
Luft	−193	209
Quecksilber	357	284
Sauerstoff	−183	214
Wasser	100	2257
Wasserstoff	−253	461

**Brechungsindizes  $n$  (bei 20°C)**

Medium	$n$
Äthylalkohol	1,362
Benzol	1,501
Diamant	2,417
Flintglas (F 3)	1,613
Flintglas (SF 2)	1,648
Kanadabalsam	1,544
Kronglas (BK 7)	1,516
Kronglas (SK 1)	1,610
Luft (1013 h Pa)	$1,000272 \approx 1$
Quarzglas	1,458
Schwefelkohlenstoff	1,628
Steinsalz	1,542
Wasser	1,333

## Spektrum der elektromagnetischen Strahlung

