

# 1 Physikalische Grundlagen

## 1.1 Dichte

$\rho$  ist die Dichte eines Körpers / einer Flüssigkeit / eines Gases,  
 $m$  die Masse des Körpers / der Flüssigkeit / des Gases,  
 $V$  das zugehörige Volumen.

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

## 1.2 Gewichtskraft

$F_G$  ist der Betrag der auf einen Körper wirkenden Gewichtskraft  $\vec{F}_G$ ,  
 $m$  die Masse dieses Körpers,  
 $g$  der Ortsfaktor ( $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ).

$$F_G = m \cdot g$$

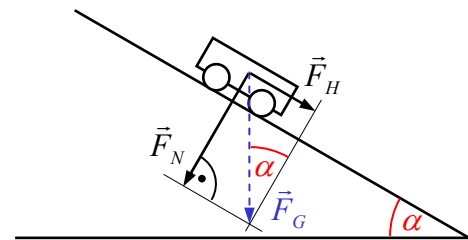
**Einheitenumrechnung:**  $[F] = 1,0 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1,0 \text{ N}$

## 1.3 Normalkraft, Hangabtriebskraft

$\vec{F}_G$  ist die Gewichtskraft,  
 $\vec{F}_H$  die Hangabtriebskraft,  
 $\vec{F}_N$  die Normalkraft.

$\vec{F}_H$  und  $\vec{F}_N$  sind Komponenten von  $\vec{F}_G$ .

Mit der Normalkraft  $\vec{F}_N$  wird ein Körper senkrecht auf eine Unterlage gedrückt.



## 1.4 Hooke'sches Gesetz

$F$  ist der Betrag einer Kraft  $\vec{F}$ , mit der eine Feder gedehnt / gestaucht wird,  
 $D$  die Federkonstante (Federhärte),  
 $s$  die Länge der Dehnung / Stauchung der Feder.

$$F = D \cdot s$$

## 1.5 Druck

$p$  ist der Druck, der auf eine Fläche wirkt,  
 $F_N$  der Betrag einer Kraft  $\vec{F}_N$ , die senkrecht auf die Fläche drückt (Normalkraft),  
 $A$  der Flächeninhalt.

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

## 1.6 Reibungskraft

$F_R$  ist der Betrag der Reibungskraft  $\vec{F}_R$ ,  
 $\mu$  die Reibungszahl,  
 $F_N$  der Betrag der Normalkraft  $\vec{F}_N$ , mit der ein Körper auf eine Unterlage gedrückt wird.

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

### 1.7 Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit

- $v$  ist der Betrag der Geschwindigkeit  $\vec{v}$ , mit der sich ein Körper bewegt,  
 $\Delta s$  die Länge der von dem Körper zurückgelegten Strecke,  
 $\Delta t$  die Länge des Zeitintervalls, in dem die Bewegung erfolgt.

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

**Einheitenumrechnung:**  $[v] = 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

### 1.8 Bewegung mit konstanter Beschleunigung

- $a$  ist der Betrag der Beschleunigung  $\vec{a}$ , die ein Körper erfährt,  
 $\Delta v$  die Änderung des Betrages seiner Geschwindigkeit,  
 $\Delta t$  die Länge des Zeitintervalls, in dem die Bewegung erfolgt.

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

### 1.9 Grundgleichung der Mechanik

- $F$  ist der Betrag der beschleunigenden Kraft  $\vec{F}$ ,  
 $m$  die Masse des beschleunigten Körpers,  
 $a$  der Betrag der Beschleunigung  $\vec{a}$ , die der Körper erfährt.

$$F = m \cdot a$$

## 2 Arbeit, Energie und Leistung

### 2.1 Arbeit

$W$  ist die an einem Körper verrichtete Arbeit,  
 $F$  der Betrag der konstanten Kraft  $\vec{F}$ , die die Arbeit verrichtet,  
 $s$  die Länge des von dem Körper zurückgelegten Weges.

$$W = F \cdot s$$

**Einheitenumrechnung:**  $[W] = 1,0 \text{ Nm} = 1,0 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$

### 2.2 Mechanische Energie

#### 2.2.1 Kinetische Energie

$E_{Kin}$  ist die kinetische Energie eines Körpers,  
 $m$  seine Masse,  
 $v$  der Betrag seiner Geschwindigkeit.

$$E_{Kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

#### 2.2.2 Potentielle Energie (Lageenergie)

$E_{Pot}$  ist die potentielle Energie eines Körpers,  
 $m$  seine Masse,  
 $h$  seine Höhe gegenüber dem Bezugsniveau,  
 $g$  der Ortsfaktor ( $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ).

$$E_{Pot} = m \cdot g \cdot h$$

#### 2.2.3 Spannenergie von Federn

$E_{Sp}$  ist die Spannenergie einer Feder,  
 $D$  die Federkonstante (Federhärte),  
 $s$  die Länge der Dehnung der Feder.

$$E_{Sp} = \frac{1}{2} D \cdot s^2$$

#### 2.2.4 Arbeit- Energie- Prinzip

$W$  ist die am Körper / vom Körper verrichtete Arbeit,  
 $E_2$  die Energie im Endzustand,  
 $E_1$  die Energie im Anfangszustand,  
 $\Delta E$  die Änderung der Energie von  $E_1$  auf  $E_2$ .

$$W = E_2 - E_1 = \Delta E$$

### 2.3 Wärmeenergie

$Q$  ist die einem System zugeführte bzw. entnommene Wärmeenergie,  
 $m$  die Masse eines Körpers / einer Flüssigkeit / eines Gases,  
 $c$  die spezifische Wärmekapazität des Körpers / der Flüssigkeit / des Gases  
 $\Delta T$  die Temperaturänderung des Körpers / der Flüssigkeit / des Gases.

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

$T$  ist die Temperatur in Kelvin (K),  
 $\vartheta$  die Temperatur in Grad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$$T = \left( \frac{\vartheta}{^{\circ}\text{C}} + 273,15 \right) \text{K}$$

## 2.4 Heizwert

### 2.4.1 Gase

$Q$  ist die bei der Verbrennung eines Gases frei werdende Wärmeenergie,  
 $V$  das Volumen des Gases,  
 $H$  der Heizwert des Gases.

$$Q = V \cdot H$$

### 2.4.2 Feststoffe / Flüssigkeiten

$Q$  ist die bei der Verbrennung eines Feststoffes / einer Flüssigkeit frei werdende Wärmeenergie,  
 $m$  die Masse des Feststoffes / der Flüssigkeit,  
 $H$  der Heizwert des Feststoffes / der Flüssigkeit.

$$Q = m \cdot H$$

### Einheitenumrechnung:

**1 Tonne Steinkohleeinheit (tSKE):**  $1 \text{ tSKE} = 29,3 \cdot 10^9 \text{ J} = 8,14 \cdot 10^3 \text{ kWh}$

## 2.5 Elektrische Energie

$E_{El}$  ist elektrische Energie,  
 $U$  die am Leiter anliegende Spannung,  
 $I$  die Stromstärke im Leiter,  
 $t$  die Zeit, in welcher der Strom durch den Leiter fließt.

$$E_{El} = U \cdot I \cdot t$$

**Einheitenumrechnung:**  $[E_{El}] = 1,0 \text{ VAs} = 1,0 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$

## 2.6 Leistung

$P$  ist die Leistung,  
 $\Delta E$  die Änderung der Energie,  
 $W$  die am Körper / vom Körper verrichtete Arbeit,  
 $\Delta t$  die Länge des Zeitintervalls.

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

**Einheitenumrechnung:**  $[P] = 1,0 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1,0 \text{ W}$

## 2.7 Wirkungsgrad

### 2.7.1 Allgemeiner Zusammenhang

$\eta$  ist der Wirkungsgrad,  
 $E_{ab}$  die vom System abgegebene Energie,  
 $E_{zu}$  die dem System zugeführte Energie,  
 $P_{ab}$  die vom System abgegebene Leistung (Nutzleistung),  
 $P_{zu}$  die dem System zugeführte Leistung.

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

### 2.7.2 Gesamtwirkungsgrad von z.B. drei Energiewandlern

$\eta_{Ges}$  ist der Gesamtwirkungsgrad,  
 $\eta_1$  der Wirkungsgrad des ersten Energiewandlers,  
 $\eta_2$  der Wirkungsgrad des zweiten Energiewandlers,  
 $\eta_3$  der Wirkungsgrad des dritten Energiewandlers.

$$\eta_{Ges} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

### 3 Kernenergie

#### 3.1 Kernbausteine: Protonen und Neutronen

$A$  ist die Anzahl der Nukleonen (Massenzahl),  
 $N$  die Anzahl der Neutronen,  
 $Z$  die Anzahl der Protonen (Kernladungszahl, Ordnungszahl).

$$A = N + Z$$

#### 3.2 Atommasse

$m_A$  ist die Atommasse,  
 $A_{rel}$  die relative Atommasse,  
 $u$  die atomare Masseneinheit ( $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ).

$$m_A = A_{rel} \cdot u$$

#### 3.3 Massendefekt

$\Delta m$  ist der Massendefekt,  
 $m_P$  die Masse eines Protons ( $m_P = 1,007276u$ ),  
 $m_N$  die Masse eines Neutrons ( $m_N = 1,008665u$ ),  
 $m_K$  die Masse des Atomkerns.

$$\Delta m = Z \cdot m_P + N \cdot m_N - m_K$$

#### 3.4 Kernbindungsenergie

$E$  ist die Bindungsenergie eines Atomkerns,  
 $\Delta m$  der Massendefekt,  
 $c$  der Betrag der Lichtgeschwindigkeit ( $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ).

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

**Energieäquivalent:**  $1u \cdot c^2 = 931,49 \text{ MeV}$

#### 3.5 Zerfallsgesetz

$N(t)$  ist die Anzahl der zum Zeitpunkt  $t$  noch nicht zerfallenen Kerne,  
 $N_0$  die Anzahl der zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  vorhandenen  
radioaktiven Atome,  
 $\lambda$  die Zerfallskonstante,  
 $T_{1/2}$  die Halbwertszeit.

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

#### 3.6 Halbwertszeit

Die Zeit, nach der die Hälfte aller radioaktiven Kerne zerfallen ist, heißt *Halbwertszeit*.

$T_{1/2}$  ist die Halbwertszeit,  
 $\lambda$  die Zerfallskonstante.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

#### 3.7 Aktivität einer radioaktiven Substanz

$A(t)$  ist die Aktivität einer radioaktiven Substanz zum Zeitpunkt  $t$ ,  
 $\lambda$  die Zerfallskonstante,  
 $N(t)$  die Zahl der zum Zeitpunkt  $t$  noch nicht zerfallenen Kerne.

$$A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

### 3.8 Dosimetrie: Energiedosis und Äquivalentdosis

- $D$  ist die von einem Körper aufgenommene Energiedosis,  
 $E$  die vom Körper absorbierte Energie,  
 $m$  die Masse des Körpers.  
 $H$  ist die Äquivalentdosis,  
 $q$  der biologische Bewertungsfaktor,  
 $D$  die Energiedosis.

$$D = \frac{E}{m}$$

$$H = q \cdot D$$

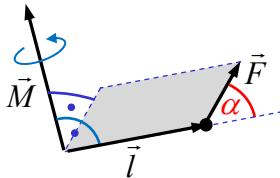
## 4 Technische Mechanik

### 4.1 Statisches Gleichgewicht

Ist die Resultierende aller auf einen punktförmigen Körper wirkenden Kräfte  $\vec{F}_1, \dots, \vec{F}_n$  gleich dem Nullvektor, so befindet sich der Körper im statischen Gleichgewicht.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \vec{0}$$

### 4.2 Drehmoment



$\vec{l}$  ist der zum Angriffspunkt der Kraft  $\vec{F}$  gehörende Ortsvektor. Ist die Kraft  $\vec{F}$  senkrecht zu  $\vec{l}$  gerichtet, dann gilt für den Betrag  $M$  des Drehmoments  $\vec{M}$ :

$M$  ist der Betrag des Drehmoments  $\vec{M}$ ,  
 $l$  der Hebelarm (Kraftarm),  
 $F$  die Betrag der Kraft  $\vec{F}$ .

$$M = l \cdot F$$

**Vorzeichenfestlegung:** Ein Drehmoment  $\vec{M}$  ist *linksdrehend*, wenn es *entgegen dem Uhrzeigersinn* dreht (siehe Skizze).

### 4.3 Grundgleichungen der Statik in der Ebene

Die Summe aller Kräfte, die in x-Richtung wirken, ist Null.

$$\sum F_x = 0$$

Die Summe aller Kräfte, die in y-Richtung wirken, ist Null.

$$\sum F_y = 0$$

Die Summe aller Momente ist Null.

$$\sum M = 0$$

### 4.4 Grundgleichungen der Festigkeitslehre

#### 4.4.1 Normalspannung

$\sigma$  ist die senkrecht zum Profilquerschnitt wirkende Spannung,  
 $F_n$  der Betrag der äußeren Normalkraft,  
 $S$  die Querschnittsfläche des Profils.

$$\sigma = \frac{F_n}{S}$$

#### 4.4.2 Schubspannung

$\tau$  ist die parallel zum Profilquerschnitt wirkende Spannung,  
 $F_t$  der Betrag der Tangentialkraft,  
 $S$  die Querschnittsfläche des Profils.

$$\tau = \frac{F_t}{S}$$

### 4.4.3 Formänderung im elastischen Bereich

#### 4.4.3.1 Hooke'sches Gesetz

$\sigma_z$  ist die Zugspannung,  
 $\varepsilon$  die Dehnung,  
 $E$  der Elastizitätsmodul des Werkstoffes.

$$\sigma_z = \varepsilon \cdot E$$

#### 4.4.3.2 Formänderungsarbeit

$W$  ist die Formänderungsarbeit,  
 $F$  der Betrag der Zugkraft,  
 $\Delta \ell$  die Längenänderung des Körpers.

$$W = \frac{F \cdot \Delta \ell}{2}$$

### 4.5 Beanspruchungsarten

#### 4.5.1 Zugbeanspruchung / Druckbeanspruchung

$\sigma_{z/d}$  ist die senkrecht zum Profilquerschnitt wirkende  
 Zugspannung / Druckspannung,  
 $F_{z/d}$  der Betrag der äußeren Zugkraft / Druckkraft,  
 $S$  die Querschnittsfläche des Profils.

$$\sigma_{z/d} = \frac{F_{z/d}}{S}$$

#### 4.5.2 Biegebeanspruchung

$\sigma_b$  ist die Biegespannung im Profilquerschnitt,  
 $M_b$  das Biegemoment,  
 $W$  das axiale Widerstandsmoment.

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$$

#### 4.5.3 Torsionsbeanspruchung

$\tau_t$  ist die Torsionsspannung im Profilquerschnitt,  
 $M_t$  das Torsionsmoment,  
 $W_p$  das polare Widerstandsmoment.

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p}$$

#### 4.5.4 Scherbeanspruchung

$\tau_a$  ist die Schubspannung im Profilquerschnitt,  
 $F$  der Betrag der Tangentialkraft,  
 $S$  die Querschnittsfläche des Profils.

$$\tau_a = \frac{F}{S}$$

### 4.6 Zulässige Spannungen

$\sigma_{zul}$  ist die zulässige Normalspannung im Profilquerschnitt,  
 $\sigma$  die Normalspannung,  
 $\nu$  die Sicherheitszahl.

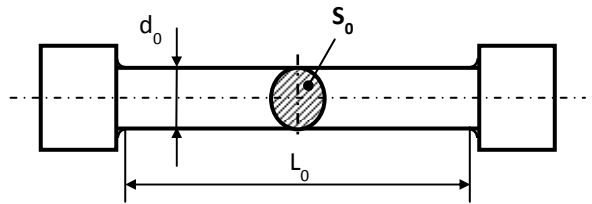
$$\sigma_{zul} = \frac{\sigma}{\nu}$$



## 5 Zugversuch

### 5.1 Zugprobe

$L_0$  ist die Anfangsmesslänge,  
 $S_0$  die Anfangsquerschnittsfläche und  
 $d_0$  der Anfangsdurchmesser der Zugprobe.



### 5.2 Zugspannung

$\sigma_z$  ist die Zugspannung,  
 $F$  der Betrag der Prüfkraft,  
 $S_0$  die Anfangsquerschnittsfläche der Zugprobe.

$$\sigma_z = \frac{F}{S_0}$$

### 5.3 Dehnung

$\varepsilon$  ist die Dehnung,  
 $\Delta L$  die Verlängerung,  
 $L_0$  die Anfangsmesslänge der Zugprobe.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

### 5.4 Elastizitätsmodul

$E$  ist der Elastizitätsmodul des Werkstoffes,  
 $\sigma_z$  die Zugspannung,  
 $\varepsilon$  die elastische Dehnung der Zugprobe.

$$E = \frac{\sigma_z}{\varepsilon}$$

### 5.5 Zugfestigkeit

$R_m$  ist die (maximale) Zugfestigkeit,  
 $F_m$  der Betrag der maximalen Prüfkraft,  
 $S_0$  die Anfangsquerschnittsfläche der Zugprobe.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

#### 5.1.6 Bruchdehnung

$A$  ist die Bruchdehnung in Prozent,  
 $L_u$  die Länge der Zugprobe nach dem Bruch,  
 $L_0$  die Anfangsmesslänge der Zugprobe.

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

#### 5.1.7 Brucheinschnürung

$Z$  ist die Brucheinschnürung in Prozent,  
 $S_0$  die Anfangsquerschnittsfläche der Zugprobe,  
 $S_u$  die Querschnittsfläche der Zugprobe nach dem Bruch.

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100\%$$

## 6 Vorsätze zur Bezeichnung von Zehnerpotenzen und Einheiten

Zehnerpotenz	Wert	Vorsatz	Zeichen
$10^{-9}$	Milliardstel	Nano	n
$10^{-6}$	Millionstel	Mikro	$\mu$
$10^{-3}$	Tausendstel	Milli	m
$10^{-2}$	Hundertstel	Zenti	c
$10^{-1}$	Zehntel	Dezi	d
$10^3$	Tausend	Kilo	k
$10^6$	Millionen	Mega	M
$10^9$	Milliarden	Giga	G
$10^{12}$	Billionen	Tera	T

## 7 Umrechnung von Energieeinheiten

Ausgangseinheit	Faktor zur Umrechnung in <b>J</b>	Faktor zur Umrechnung in <b>kWh</b>	Faktor zur Umrechnung in <b>eV</b>
Joule ( <b>J</b> )	1	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$6,24 \cdot 10^{18}$
Kilowattstunde ( <b>kWh</b> )	$3,60 \cdot 10^6$	1	$2,25 \cdot 10^{25}$
Elektronenvolt ( <b>eV</b> )	$1,60 \cdot 10^{-19}$	$4,45 \cdot 10^{-26}$	1