

Formelsammlung Physik

Dr. Ruben Mäder

Inhalt

Umgang mit Resultaten.....	1
Fluidstatik	2
Ausdehnung von Körpern und Gasen	3
Wärmelehre.....	4
Kinematik ohne Beschleunigung	5
Kinematik mit konstanter Beschleunigung	6
Würfe und freier Fall.....	7
Gleichförmige Kreisbewegungen.....	8
Kräfte	9
Dynamik.....	10
Statik	11
Statik: Kräfteplan	12
Arbeit und Energieformen.....	13
Energieerhaltung im abgeschlossenen System.....	14
Leistung	14
Schwingungen und Wellen	15
Elektrizität.....	16
Trigonometrie und Vektoren.....	18
Thermische Eigenschaften ausgewählter Stoffe.....	19
Stoffdaten	20

Umgang mit Resultaten

Faustregel für das Runden

Eine Aufgabe wird „exakt“ gerechnet und am Schluss auf drei geltende Ziffern gerundet

Zahl	Geltende Ziffern
25	2
2'500	4
0.00250	3

Angabe einer Einzelmessung

Grösse = Messwert \pm abs. Fehler

Angabe mit absolutem Fehler

$$b = (75.0 \pm 0.8) \text{ mm}$$

Grösse = Messwert $\pm \frac{\text{abs. Fehler}}{\text{Messwert}} \cdot 100\%$
relativer Fehler

Angabe mit relativem Fehler

$$b = 75.0 \text{ mm} \pm 1.1\%$$

Angabe von Messergebnissen aus mehreren Messung

Grösse = Mittelwert \pm Standardabweichung

Um Standardabweichung (Stdv) zu berechnen, siehe unten Excel, TI N'Spire

$$0.5 \cdot (75.0 \pm 0.8) \text{ mm}$$

$$= (37.5 \pm 0.4) \text{ mm} = 37.5 \text{ mm} \pm 1.1\%$$

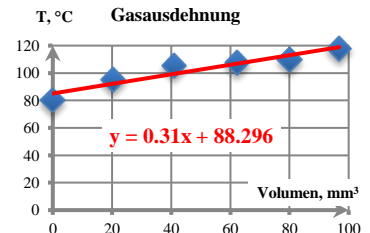
Rechenregeln

Bei Summen und Differenzen werden die absoluten Fehler (abs. Stdv.) addiert

Bei Produkten oder Divisionen werden die relativen Fehler (rel. Stdv.) addiert

Regression oder Ausgleichsgerade

Liegen x und y Datenpunkte vor, wird deren Zusammenhang mit einer Regressionsgerade berechnet (lineare Funktion = Ausgleichsgerade)



Das Diagramm zeigt den Zusammenhang zw. Volumen und Temperatur. Die Regressionsgerade deutet auf einen lineareren Zusammenhang hin.

Microsoft Excel

Mittelwert und Standardabweichung :

=MITTELWERT(B5:B14)

=STABW(B5:B14)

Diagramm: (x-y-Punkt)

Menü „Diagramm“, **Trendlinie** hinzufügen

Typ der Regressionsgerade: linear oder polynomisch,

Optionen: ☒ Gleichung im Diagramm darstellen

TI N'Spire

Haustaste **home**

3: List & Spreadsheet: Daten in einer Spalte eingeben.

Menü 4. Statistics: 1 Stat Calculations, 1 One-Variable Stat.

Mittelwert: \bar{X} , Standardabweichung: σ_x

3: **Linear Regression**

Daten in zwei Spalten

X1 List: a[] (1. Spalte)

Y1 List: b[] (2. Spalte)

Frequency List: 1 (jeder Wert 1 Mal)

Fluidstatik

Dichte

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

Symbol	Grösse	Einheit	
ρ	Dichte	kg/m ³	$1 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
m	Masse	kg	
V	Volumen	m ³	1 ml = 1 cm ³ ; 1 l = 1 dm ³

Druck

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

p	Druck (engl. pressure)	Pa	10 ⁵ Pa = 1000 hPa = 1 bar
F	Kraft (engl. force)	N	1 hPa = 100 Pa = 1 mbar
A	Fläche (engl. area)	m ²	133.3 Pa = 1 mmHg

Prinzip von Pascal

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

In einer ruhenden Flüssigkeit oder einem ruhenden Gas ist der Druck überall gleich gross, auch an den Begrenzungsflächen (ohne Berücksichtigung des Schweredruckes).

Schweredruck

$$p_s = \rho \cdot g \cdot h$$

p_s	Schweredruck	Pa	
ρ	Dichte der Flüssigkeit	kg/m ³	
g	Fallbeschleunigung (Ortsfaktor)	N/kg =m/s ²	(Erde 9,81 N/kg)
h	Tiefe	m	

Gewichtskraft

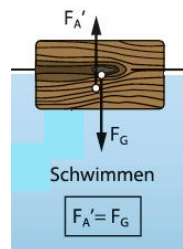
$$F_G = m \cdot g$$

F_G	Gewichtskraft	N
m	Masse	kg

Auftriebskraft

$$F_A = V_V \cdot \rho_M \cdot g$$

F_A	Auftriebskraft	N
V_V	Volumen des verdrängten Mediums (flüssig oder gasförmig)	m ³
ρ_M	Dichte des verdrängten Mediums (flüssig oder gasförmig)	kg/m ³



Nach Archimedes:

Die Auftriebskraft eines Körpers in einem Medium (Flüssigkeit oder Gas) entspricht der Gewichtskraft des vom Körper verdrängten Mediums.

Ein schwimmender Körper taucht genau soweit ein, bis Auftriebs- und Gewichtskraft gleich gross sind. Ein Teil des Körpers kann aus dem Wasser ragen. D.h. nicht das ganze Körpervolumen ist eingetaucht, z.B. Schiff.

Ausdehnung flüssige und feste Körper

Deltazeichen Δ

$$\Delta T = \Delta \vartheta$$

Das Deltazeichen steht für die Differenz zwischen dem Endwert und dem Anfangswert einer physikalischen Grösse. $\Delta T = -30 \text{ K}$ bedeutet, die Endtemperatur eines Stoffs ist um 30 °C tiefer als dessen Anfangstemperatur.
Die Änderung (Ende - Anfang) der Temperatur, gemessen in °C oder Kelvin ist dieselbe. Die Skalen haben die gleiche Schrittweite, nur der Startpunkt ist unterschiedlich, siehe unten.

Temperaturskalen

$$\vartheta = T \cdot \frac{\text{°C}}{\text{K}} - 273.15 \text{ °C}$$

Symbol	Grösse	Einheit
ϑ	Temperatur	°C
T	absolute Temperatur	K

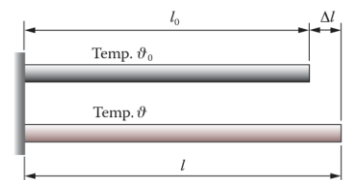
Der absolute Nullpunkt:
 $0 \text{ K} = -273.15 \text{ °C}$

Längenänderung

$$l = l_0 + \Delta l$$

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

l	Gesamtlänge	m
Δl	Längenänderung	m
l_0	Anfangslänge	m
α	Längenausdehnungskoeffizient	$\text{K}^{-1} = \frac{1}{\text{K}}$
ΔT	Temperaturänderung	K



Volumenausdehnung

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

ΔV	Volumenänderung	m^3
V_0	Anfangsvolumen	m^3
γ	Volumenausdehnungskoeffizient	K^{-1}

Für feste Stoffe gilt: $\gamma \approx 3 \cdot \alpha$

Dichte bei Temperaturänderung

$$\rho_{(T+\Delta T)} = \frac{m}{V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T}$$

$$\rho_{(T+\Delta T)} = \frac{\rho_0}{1 + \gamma \cdot \Delta T}$$

$\rho_{(T+\Delta T)}$	Dichte nach einer Temperaturänderung	kg/m^3
ρ_0	Dichte bei 20 °C	kg/m^3
m	Masse	kg
V_0	Anfangsvolumen	m^3
ΔT	Temperaturänderung	K

Die Masse ist von der Temperatur unabhängig

Gase

Gasgleichung für konstante Massen

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

p_1, p_2	absoluter Druck des Zustands 1, 2	Pa
V_1, V_2	Volumen des Zustands 1, 2	m^3
T_1, T_2	Temperatur des Zustands 1, 2 (zwingend in Kelvin)	K

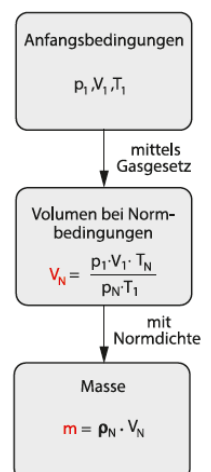
Absoluter Druck

$$p_{\text{abs}} = p_{\text{Luft}} + p_{\text{rel.}}$$

$$p_{\text{Luft}} \approx 1 \text{ bar}$$

Normbedingungen

273.15 K	Normtemperatur T_N
$101'325 \text{ Pa}$	Normdruck p_N



Wärmelehre

Wärme Q

Wärme fliesst von selbst von Körpern mit höherer Temperatur zu Körpern mit niedrigerer Temperatur. Zwei Körper sind im thermischen Gleichgewicht, wenn ihre Temperatur gleich ist. Dann fliesst keine Wärme.

Innere Energie U

Die innere Energie eines Körpers kann erhöht werden, wenn Arbeit an ihm verrichtet oder wenn ihm Wärme zugeführt wird.

Zu oder abgegebene Wärme

	Symbol	Grösse	Einheit	
	Q	Zugeführte oder abgegebene Wärme	J	$1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$
	m	Masse	kg	
$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$	c	spezifische Wärmekapazität	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	
	ΔT	Temperaturänderung	K	
	T_{Ende}	Endtemperatur, meist die Mischtemperatur	K, oder °C	
$\Delta T_n = (T_{\text{Ende}} - T_{\text{Beginn}})$	T_{Beginn}	Anfangstemperatur des Stoffs n	K, oder °C	

Spezifische Schmelz- und Verdampfungswärme

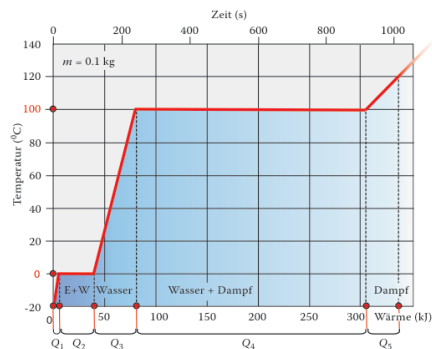
$Q = m \cdot L_f$	L_f	spezifische Schmelzwärme ($f=\text{fest}$)	J/kg
$Q = m \cdot L_v$	L_v	spezifische Verdampfungswärme ($v=\text{verdampfen}$)	J/kg

Wärmebilanzgleichung

Die Wärme in einem isolierten System bleibt erhalten. Energieerhaltungssatz

$$\sum_n Q_n = 0$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_n \dots = 0 \quad Q_n \quad \text{Wärme von Stoff } n \quad \text{J}$$



Daten für H_2O :

$$\begin{aligned} c_{\text{Eis}} &= 2.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \\ L_f &= 333.8 \text{ kJ/kg} \\ c_{\text{Wasser}} &= 4.182 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \\ L_v &= 2256 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

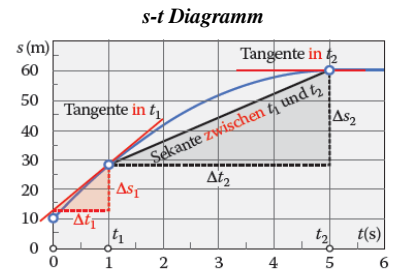
Leistung und Wirkungsgrad siehe Seite 14

Kinematik ohne Beschleunigung

Durchschnittsgeschwindigkeit

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

Symbol	Grösse	Einheit
\bar{v}	Durchschnittsgeschwindigkeit oder mittlere Geschwindigkeit	m/s
Δs	Zurückgelegte Strecke	m
Δt	Benötigte Zeitdauer	s



Steigung der Tangente entspricht der Momentangeschwindigkeit $v(t)$

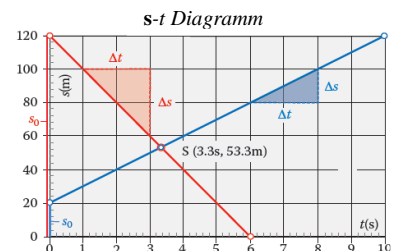
Umrechnung

$$3.6 \text{ km/h} = 1 \text{ m/s}$$

Gleichförmige geradlinige Bewegung

$$s(t) = s_0 + v \cdot t$$

$s(t)$	Position in Abhängigkeit der Zeit t	m
s_0	Position zum Zeitpunkt 0 s	m
t	Zeit (Variable)	s
v	Geschwindigkeit	m/s



Steigung = Geschwindigkeit
 Kreuzen: unterschiedliche Richtungen
 Überholen: gleiche Richtung

Kinematik mit konstanter Beschleunigung

Beschleunigung

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

Symbol	Grösse	Einheit
\vec{a}	Beschleunigung oder Verzögerung	m/s ²
$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$	Geschwindigkeitsänderung	m/s
Δt	Zeitdauer	s

Mittlere Geschwindigkeit

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

\bar{v}	Mittlere Geschwindigkeit	m/s
v_1	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt 1	m/s
v_2	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt 2	m/s

Ort-Zeit-Gesetz

$$s(t) = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$s(t)$	Position	m
t	Zeit (Variable)	s
s_0	Position zum Zeitpunkt 0 s	m
v_0	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt 0 s	m/s

Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz

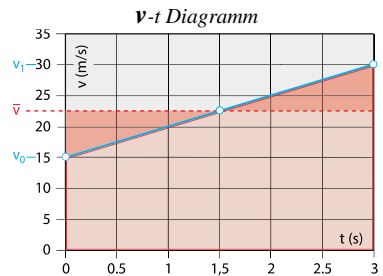
$$v(t) = v_0 + a \cdot t$$

$v(t)$	Momentangeschwindigkeit	m/s
v_0	Anfangsgeschwindigkeit	m/s

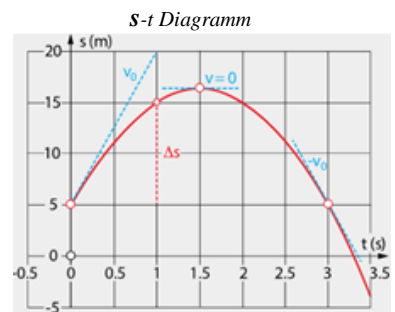
Geschwindigkeit-Weg-Gesetz

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

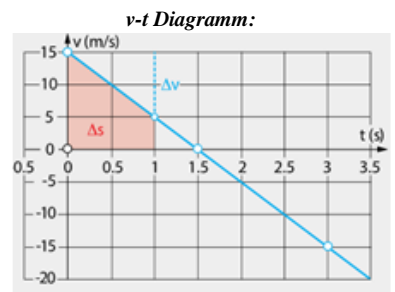
v	Geschwindigkeit nach Δs	m/s
Δs	zurückgelegte Strecke $\Delta s = s - s_0$	m
a	Beschleunigung, falls diese negativ ist, wird $v < v_0$, d.h. Bremsvorgang, oder Verzögerung genannt	m/s ²



Weg (Fläche unter Kurve)
mit mittlerer Geschwindigkeit
berechnen

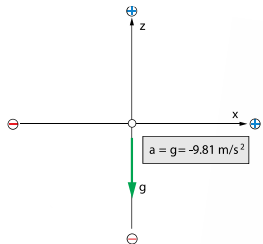


s-t Diagramm zeigt eine Parabel
Steigung = Geschwindigkeit



v-t Diagramm zeigt eine Gerade
Steigung = Beschleunigung
Fläche = zurückgelegte Strecke

Senkrechter Wurf

	Symbol	Grösse	Einheit	
$s_z(t) = s_{z,0} + v_{z,0} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$	$s_{z,0}$	Position Abwurfort	m	Senkrechter Wurf nach oben $v_0 > 0$ Freier Fall: $v_0 = 0$ m/s .
	$v_{z,0}$	Abwurfgeschwindigkeit in z-Richtung zur Zeit $t = 0$ s	m/s	
$v_z(t) = v_{z,0} - g \cdot t$	g	Fallbeschleunigung	m/s ²	$g = +9.81$ m/s ²
$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot \Delta s_z$	Δs_z	Änderung der Höhe	m	Für eine Höhe unterhalb der Abwurfstelle z_0 ist $\Delta z = z - z_0 < 0$.
$t_{\text{Steig}} = \frac{v_{0,z}}{g}$	t_{Steig}	Steigzeit beim senkrechten Wurf	s	
	$v_{z,0}$	Abwurfgeschwindigkeit in z-Richtung zur Zeit $t = 0$ s	m/s	
$s_{z_{\text{max}}} = s_{z,0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{g}$	$s_{z_{\text{max}}}$	Maximale Höhe beim senkrechten Wurf	m	Vorzeichen: nach oben und nach recht positiv nach unten und nach links negativ
	$s_{z,0}$	Position Abwurfort zur Zeit $t = 0$ s	m	

Horizontaler Wurf

x-Richtung

Tipp:

1. z-Richtung: die Fallzeit bestimmen: $s_z = -0.5 \cdot g \cdot t^2$
2. x-Richtung: die Wurfweite berechnen $s_x = v_0 \cdot t$

$$s_x(t) = v_{x,0} \cdot t$$

$s_x(t)$ Position in x-Richtung zum Zeitpunkt t m

$$v_x = v_0 = \text{konstant}$$

$v_{x,0}$ Geschwindigkeit in x-Richtung m/s

z-Richtung

$$s_z(t) = s_{0,z} - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$s_z(t)$ Position in z-Richtung zum Zeitpunkt t m

$$v_z(t) = -g \cdot t$$

$v_z(t)$ Geschwindigkeit in z-Richtung zum Zeitpunkt t m/s

Betrag und Winkel

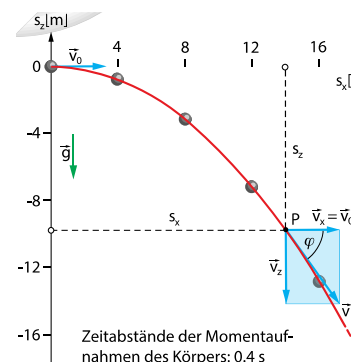
$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$$

$|\vec{v}|$ Geschwindigkeitsbetrag m/s

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_{x,0}^2 + (g \cdot t)^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{v_z(t)}{v_{x,0}} = \frac{-g \cdot t}{v_{x,0}}$$

φ Winkel zum Zeitpunkt t oder beim Aufprall sofern die Zeit beim Aufprall eingesetzt wird z.B. °



Gleichförmige Kreisbewegung

Umfangsgeschwindigkeit

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

$$v = \omega \cdot r$$

Symbol	Grösse	Einheit
v	Umfangsgeschwindigkeit	m/s
Δb	Kreisbogen	m
Δt	Zeitdauer	s
ω	Winkelgeschwindigkeit	rad/s = s ⁻¹
r	Radius der Kreisbahn	m

Winkelgeschwindigkeit

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

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

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$\Delta \varphi$	Winkel im Bogenmass	rad	$2 \cdot \pi = 360^\circ$
Δt	Zeitdauer	s	
T	Umlaufzeit	s	Zeit für eine gesamte Umdrehung

Frequenz

Üblicherweise wird nicht die Frequenz einer Drehbewegung, sondern die Drehzahl angegeben, d.h. die Anzahl Umdrehungen pro Minute $[n] = \frac{1}{60 \cdot s}$

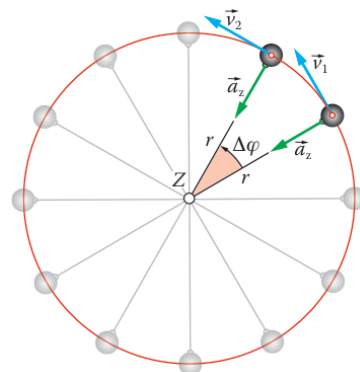
$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{T}$$

f	Frequenz	Hz=1/s
-----	----------	--------

Zentripetalbeschleunigung

$$a_z = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

a_z	Zentripetalbeschleunigung	m/s ²
-------	---------------------------	------------------



Beschleunigung zeigt immer ins
Kreiszentrum

Kräfte

Das Gravitationsgesetz

$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Symbol	Grösse	Einheit
F_G	Gravitationskraft	N
G	Gravitationskonstante Naturkonstante	$\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$
m_1, m_2	Masse	kg
r	Abstand zwischen den Massenmittelpunkten	m

Zwischen zwei Körpern wirkt eine Anziehungskraft, die Gravitationskraft.

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

$$m_{\text{Erde}} = 5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$\text{Erdradius } r_{\text{Erde}} = 6.378 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Gewichtskraft

$$F_G = m \cdot g$$

F_G	Gewichtskraft	N
m	Masse	kg
g	Fallbeschleunigung	m/s ²

Die Gewichtskraft auf der Erde folgt aus dem Gravitationsgesetz: Erdmasse und Erdradius einsetzen.
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Federkraft (Federgesetz nach Hooke)

$$\Delta F = D \cdot \Delta s$$

ΔF	Federkraft	N
D	Federkonstante	N/m
Δs	Federverlängerung	m

Normalkraft F_N

Die Normalkraft F_N ist die Kraft von der Unterlage auf einen Körper. Sie wirkt immer senkrecht zur Unterlage.

Reibungskraft

$$F_R = \mu_R \cdot F_N$$

F_R	Reibungskraft	N
μ_R	Reibungszahl	-
F_N	Normalkraft	N

Es gibt drei Arten von Reibung: Gleitreibung, Haft- und Rollreibung. Sie werden nach derselben Formel berechnet.

Luftwiderstand

$$F_{LW} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_W \cdot A \cdot v^2$$

F_{LW}	Luftwiderstandskraft	N
ρ	Dichte von Luft	kg/m ³
c_W	Luftwiderstandsbeiwert	-
A	Windangriffsfläche	m ²
v	Geschwindigkeit	m/s

bei 20°C ca. 1.22 kg/m³

Je kleiner der Wert umso kleiner die Luftwiderstandskraft (Windschlüpfiger) rechtwinklig zur Windgeschwindigkeit

Schiefe Ebene

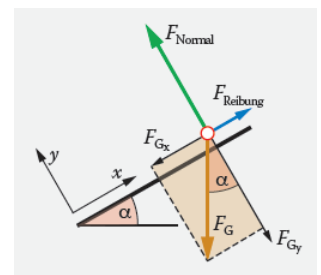
$$\vec{F}_G = (F_{Gx}, F_{Gy})$$

$$F_{Gx} = F_G \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_N = F_G \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_R = \mu_R \cdot F_N$$

\vec{F}_G	Gewichtskraft, in Komponenten zerlegt	N
F_{Gx}	x-Komponente, «Hangabtriebskraft»	N
F_N	Normalkraft	N
F_R	Reibungskraft, Roll- bzw. Gleitreibung wirken entgegen der Bewegungsrichtung.	N



$F_{Gx} > F_{\text{Reibung}}$ und F_{Reibung} nach oben:
Der Körper gleitet nach unten

Dynamik

Grundgesetz der Dynamik

Zweites newtonsches Gesetz

	Symbol	Grösse	Einheit	
$\sum_i \vec{F}_i = m \cdot \vec{a}$	$\sum_i \vec{F}_i$	Vektorsumme aller Kräfte i entspricht der Gesamtkraft	N	Bewegungsgesetz: Die Gesamtkraft, welche auf einen Körper wirkt, ist das Produkt aus Masse und Beschleunigung.
	m	Masse	kg	
	\vec{a}	Beschleunigung	m/s ²	

Trägheitsgesetz

Erstes newtonsches Gesetz

Wenn keine Gesamtkraft auf einen Körper wirkt, so ändert sich seine Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung nicht.

Spezialfall des zweiten newtonschen Gesetzes: $\sum_i \vec{F}_i = m \cdot \vec{a} = 0$, keine Beschleunigung, v bleibt konstant.

Wechselwirkungsgesetz

Drittes newtonsches Gesetz

${}_1\vec{F}_2 = -{}_2\vec{F}_1$	${}_1\vec{F}_2$	Aktionskraft	N	Körper eins wirkt auf Körper zwei
	${}_2\vec{F}_1$	Reaktionskraft	N	Körper zwei wirkt auf Körper eins
Aktions- und Reaktionskraft greifen an verschiedenen Körpern an.				

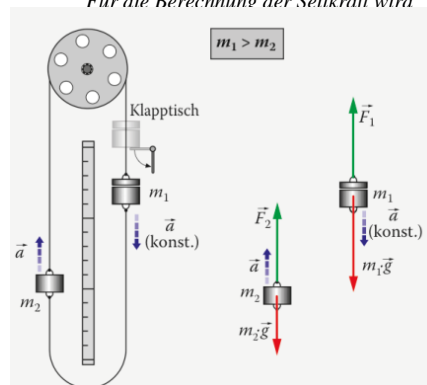
Bezugssystem

Wir wählen für unsere Betrachtungen immer unbeschleunigte Bezugssysteme (Inertialsysteme).

Darin können wir für jede Kraft eine Ursache benennen und es gilt das Bewegungsgesetz (zweites newtonsche Gesetz).

Zweikörpersysteme

$\sum_i \vec{F}_i = (m_1 + m_2) \cdot \vec{a}$	$\sum_i \vec{F}_i$	Summe der Kräfte	N	Die Umlenkrolle lenkt die Krafrichtungen um. Darum ist die Summe der Kräfte die Differenz der Gewichtskräfte. Beide Massen werden mit gleichem Betrag beschleunigt.
	$m_1 + m_2$	Gesamtmasse	kg	
	\vec{a}	Beschleunigung	m/s ²	
$F_i = m_i \cdot a$	F_i	Seilkraft 1 bzw. 2	N	Nach dem Wechselwirkungsgesetz sind die Beträge der Seilkräfte gleich gross. Für die Berechnung der Seilkraft wird
$ \vec{F}_1 = \vec{F}_2 $	$ \vec{F}_i $	Betrag der Seilkraft	N	



Statik

Gleichgewicht

Im statischen Gleichgewicht kann sich ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit geradlinig bewegen oder mit einer konstanten Drehzahl rotieren.

	Symbol	Grösse	Einheit
--	--------	--------	---------

Statik

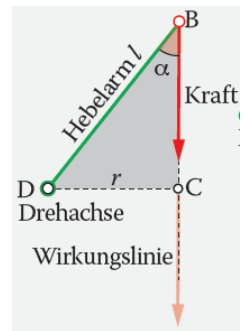
Bedingung 1, Summe aller Kräfte gleich Null

$\sum_i \vec{F}_i = 0$	\vec{F}_i	angreifende Kraft	N
$\sum_i F_{x,i} = 0 \text{ und } \sum_i F_{y,i} = 0$	$F_{x,i}$	Komponente x, bzw. y	N

Die Vektorsumme aller Kräfte ist null.
Dies gilt auch für die einzelnen Komponenten x, y (und z).

Drehmoment

	M	Drehmoment	Nm
	F	Kraft am Hebelende	N
$M = F \cdot r = F \cdot l \cdot \sin(\alpha)$	r	wirksame Hebellänge	m
	l	Hebelarm (Länge)	m
	α	Winkel zwischen Hebel l und Kraft	



Statik

Bedingung 2, Momentengleichung

$\sum_i M_i = 0$	M_i	Drehmoment inklusive Vorzeichen	Nm
------------------	-------	---------------------------------	----

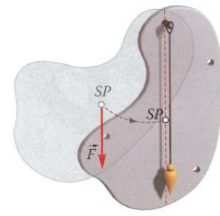
Vorzeichenkonvention
positiv: gegen den Uhrzeigersinn
negativ: im Uhrzeigersinn

Statik: Kräfteplan

Schwerpunkt

Der Punkt eines Körpers, in dem die gesamte Masse vereinigt gedacht werden kann, heisst Schwerpunkt oder Massenmittelpunkt.

Für die Berechnung der Gewichtskraft, des Drehmoments oder der potenziellen Energie kann jeder Körper als Massenpunkt im Schwerpunkt vereinfacht werden.



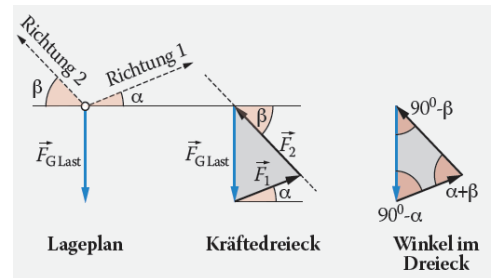
Am Schwerpunkt (SP) eines Körpers greift die Gewichtskraft F_G an. Der SP liegt auf einer Schwerelinie.

Alle Kräfte greifen an einem Punkt an

Die Wirkungslinie (gestrichelt) ist die Gerade, die durch die Richtung des Kraftvektors gegeben ist.

Eine Kraft kann entlang ihrer Wirkungslinie verschoben werden, ohne dass sich die Wirkung der Kraft auf diesen Körper ändert.

Berechnung der Kräfte mit dem Sinussatz und den Winkeln im Dreieck



Mehrere Kräfte, verschiedene Angriffspunkte

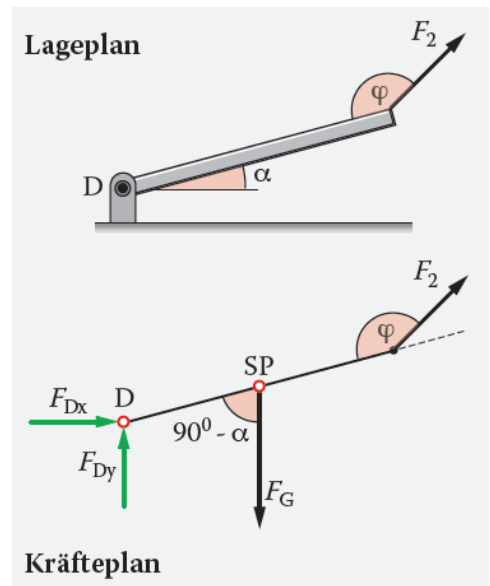
Wenn die Kräfte an unterschiedlichen Punkten angreifen, entstehen Drehmomente.

1: Die Drehachse dort festlegen, wo eine unbekannte Kraft wirkt, Beachte: die unbekannte Kraft verursacht kein Drehmoment, (Hebel = 0 m).

2: Mit der Bedingung 2 der Statik, Momentengleichung, beginnen. Beachte: Winkel φ zwischen Kraft und Hebelarm verwenden.

3: Mit der Bedingung 1 der Statik, Kräftesumme = 0, die restliche Kraft bestimmen.

Beachte: Winkel φ bezüglich der X-Achse angeben.



Arbeit und Energieformen

	Symbol	Grösse	Einheit	
Mechanische Arbeit				
$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$	W	Arbeit	J	$1\text{J} = 1\text{Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
$W = F \cdot \cos(\varphi) \cdot s$	F	Kraft	N	$1\text{kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{J}$
	s	Wegstrecke	m	
Wärme und Arbeit				
<i>Mechanische Arbeit kann in Wärme und Wärme kann in mechanische Arbeit umgewandelt werden. Die beiden physikalischen Grössen sind äquivalent zueinander.</i>				
Unterscheidung zwischen Arbeit und Energie				
<i>Mit der Arbeit wird ein Prozess (Vorgang) beschrieben.</i>				
<i>Beispiel Hubarbeit, Bremsarbeit, (Analogie: Geldverdienen)</i>				
<i>Ein System hat Energie, damit wird ein Zustand beschrieben.</i>				
<i>Beispiel Lageenergie, Bewegungsenergie, (Analogie: Kontostand)</i>				
Potenzielle Energie				
$E_{\text{pot},i} = m \cdot g \cdot h_i$	$E_{\text{pot},i}$	potenzielle Energie, Zustand i	J	Es gibt kein absolutes Mass für die potenzielle Energie.
	m	Masse	kg	Die Bezugshöhe $h = 0$ wird frei gewählt.
	g	Ortsfaktor	N/kg	Für Höhen unterhalb null ist $h_i < 0$
	h_i	Höhe, Zustand i	m	von der Bezugshöhe abhängig
Kinetische Energie				
$E_{\text{kin},i} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_i^2$	$E_{\text{kin},i}$	kinetische Energie, Zustand i	J	Die kinetische Energie kann nie mit der Durchschnittsgeschwindigkeit
	v_i	Geschwindigkeit, Zustand i	m/s	oder einer Geschwindigkeitsdifferenz berechnet werden.
Elastische Energie				
$E_{\text{elast},i} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (\Delta s_i)^2$	$E_{\text{elast},i}$	elastische Energie, Zustand i	J	Die Spannarbeit wird im F-s-Diagramm als Fläche unter der Kurve berechnet.
	D	Federkonstante	N/m	
	Δs_i	Federverlängerung, Zustand i	m	Differenz zum ungespannten Zustand
Brennstoff, Nutzenergie				
$E_{\text{Nutz}} = \eta \cdot m_{\text{Brennstoff}} \cdot H_u$	E_{Nutz}	Nutzenergie	J	Wärme Q oder mechanische Energie
	η	Wirkungsgrad	-	Üblicherweise in Prozent angegeben
	$m_{\text{Br.}}$	Masse Brennstoff	kg	
	H_u	Heizwert	MJ/kg	
		Beim Heizwert H_u ist die Kondensation von Wasserdampf nicht berücksichtigt beim Brennwert H_o jedoch schon. $H_o > H_u$		

Energieerhaltung im abgeschlossenen System

Abgeschlossene Systeme

Ein abgeschlossenes System hat keine Wechselwirkung mit der Umwelt.
In einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtenergie konstant

Energieform	Zustand 1	Zustand 2
potenzielle Energie	$E_{pot} = m \cdot g \cdot h_1$	$E_{pot} = m \cdot g \cdot h_2$
kinetische Energie	$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2$	$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$
elastische Energie	$E_{elast} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (\Delta s_1)^2$	$E_{elast} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (\Delta s_2)^2$
Antriebs-, Treibstoff-Energie... → Zustand 1 entstandene Reibungswärme... → Zustand 2	$E_{Brennstoff} = \eta \cdot m_{Brennstoff} \cdot H_u$ oder $E_{elektrisch}$	$W = F_{Fahrwiderstand} \cdot \Delta s$
Summe	Summe 1	= Summe 2

Senkrechter Wurf:
Im höchsten Punkt gilt
 $E_{kin} = 0$

Leistung

Mittlere Leistung

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

Symbol	Grösse	Einheit
P	Mittlere Leistung	W
$\Delta E, Q$	Energiedifferenz	J
Δt	Zeitdauer	s

$$1W = 1J/s$$

$$1J = 1W \cdot s$$

$$3.6 MJ = 1kWh$$

Momentane Leistung

$$P_{\text{momentan}} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

P_{mom}	Momentane Leistung, bei der Geschwindigkeit v	W
\vec{F}	Kraft	N
\vec{v}	Momentane Geschwindigkeit	m/s

$$1PS = 735 W$$

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{E_{\text{Nutzen}}}{E_{\text{Aufwand}}}$$

η	Wirkungsgrad	-
E_{Nutzen}	genutzte Energie	J
E_{Aufwand}	eingesetzte Energie	J

Schwingungen und Wellen

Harmonische Schwingung

$$y(t) = y_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

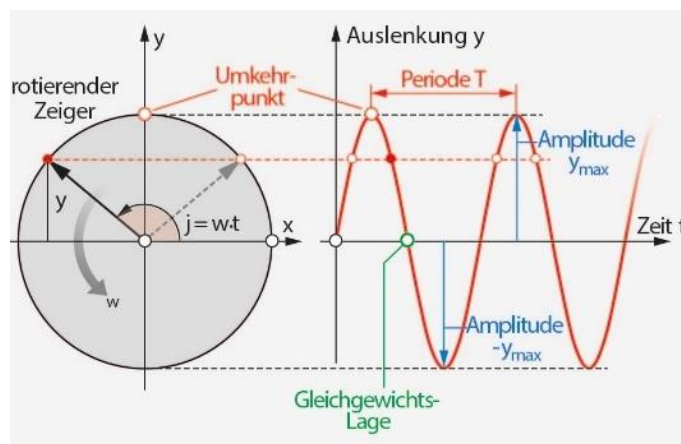
Symbol	Grösse	Einheit
$y(t)$	Elongation (Auslenkung)	m, V, etc.
y_0	Amplitude	maximale Auslenkung
t	Zeit	s

$$y(t) = y_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

Winkel
 $\varphi = 2\pi \cdot f \cdot t$
 $\varphi = \omega \cdot t$
 im Bogenmass!

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

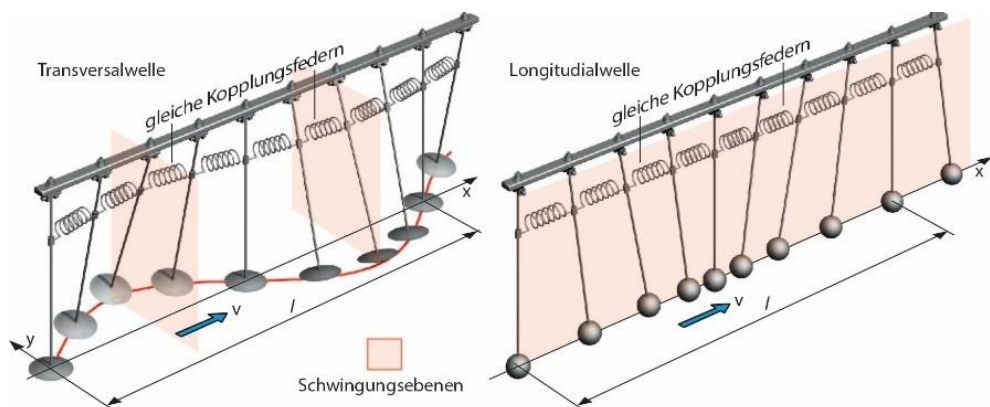
T	Periode	s	
f	Frequenz	Hz	1 Hz = s ⁻¹



Wellen

$$c = \lambda \cdot f = \lambda / T$$

c	Ausbreitungsgeschwindigkeit	m/s
λ	Wellenlänge	m
f	Frequenz	Hz
T	Periode	s



Elektrizität

Das Coulomb Gesetz

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Symbol	Grösse	Einheit
F	Kraft $F > 0$ N Anziehung, $F < 0$ N Abstossung	N
Q	elektrische Ladung	C
r	Abstand der geladenen Körper	m
k	Konstante $k = 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0$	$\frac{N \cdot m^2}{C^2}$

Elementarladung:

$$e = \frac{1}{6.24 \cdot 10^{18}} C = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

$$8.98 \cdot 10^9 \cdot \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Spannung

$$U = \frac{W}{Q}$$

U	Spannung	V
W	Arbeit	Nm, J
Q	Ladung	C

Liegt eine Spannung vor, dann existiert ein Ort mit Elektronenmangel, der Pluspol und ein Ort mit Elektronenüberschuss, welcher als Minuspol definiert wird.

Stromstärke

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

I	Stromstärke	A=C/s
t	Zeit	s

Ohm'sches Gesetz

$$R = \frac{U}{I}$$

R	Widerstand	Ω
I	Stromstärke	A

Widerstand eines Leiters

$$R = \rho_{20} \frac{l}{A}$$

ρ_{20}	Spezifischer Widerstand	$\frac{\Omega \cdot m}{mm^2}$
l	Leiterlänge	m
A	Querschnittsfläche des Leiters	mm ²

Bei 20°C

Bei einem Kabel: Hin- und Rückleitung berücksichtigen

Elektrische Leistung

$$P = U \cdot I$$

P	Elektrische Leistung	W, J/s
-----	----------------------	--------

für Wechselstromkreise mit Kondensatoren und Spulen gilt die Formel $P = U \cdot I$ nicht

Serienschaltung

Die Stromstärke ist in jedem Leiterstück gleich:

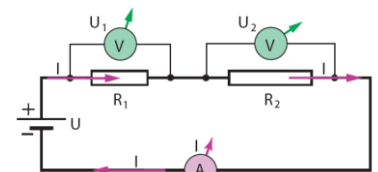
$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

Die Gesamtspannung U ist die Summe der Teilspannungen:

$$U = U_1 + U_2 + \dots$$

Der Gesamtwiderstand R ist die Summe der Einzelwiderstände:

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$



Der Gesamtwiderstand ist grösser als jeder Einzelwiderstand

Parallelschaltung

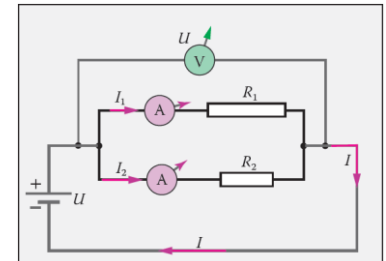
Die Gesamtspannung U ist über jedem Widerstand gleich:

$$U = U_1 = U_2 = \dots$$

Die Gesamtstromstärke I ist die Summe der Teilströme: $I = I_1 + I_2 + \dots$

Für den Gesamtwiderstand R_0 in einer Parallelschaltung gilt:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots}$$

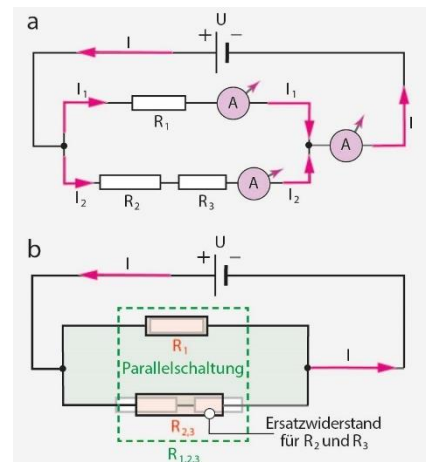


jeder Einzelwiderstand

Verzweigte Stromkreise

Mischungen von seriell und parallel geschalteten Widerständen

1. Alle ausschliesslich in Serie geschalteten Widerstände durch einen Ersatzwiderstand ersetzen.
2. Die parallel geschalteten Widerstände (auch die Ersatzwiderstände aus Serienschaltungen) zu neuen Ersatzwiderständen vereinen



Trigonometrie und Vektoren

Rechtwinklige Dreiecke

$$\sin(\alpha) = \frac{GK}{HY}$$

$$\cos(\alpha) = \frac{AK}{HY}$$

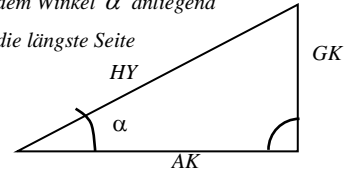
$$\tan(\alpha) = \frac{GK}{AK} = \text{Steigung}$$

Symbol	Grösse	Einheit
GK	Gegenkathete	m
HY	Hypotenuse	m
AK	Ankathete	m
HY	Hypotenuse	m

dem Winkel α gegenüber liegend
die längste Seite

dem Winkel α anliegend

die längste Seite



Beliebige Dreiecke

Sinussatz

$$\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)}$$

a, b, c	Seitenlängen im Dreieck
α, β, γ	Winkel im Dreieck

Tipp: Sinussatz anwenden
für Kräfte im Kräftedreieck zu berechnen

Cosinussatz

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos(\alpha)$$

Zyklisch vertauschbar

Vektoren

$$\vec{F} = (F_x, F_y)$$

\vec{F}	Vektor, z.B. Kraft	N
F_x	x-Komponente	N
F_y	y-Komponente	N
$ \vec{F} $	Vektorbetrag	N
$\angle \varphi$	Winkel	°, rad

vektorielle Grösse

kartesische Darstellung mit
Komponenten x und y

polare Darstellung mit Betrag und
Richtungswinkel
Winkel wird zur positiven x-Achse im
Gegenuhrzeigersinn gemessen

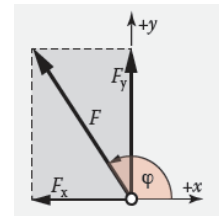
$$F_x = |\vec{F}| \cdot \cos(\varphi)$$

$$F_y = |\vec{F}| \cdot \sin(\varphi)$$

$$|\vec{F}| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$$

F_x	x-Komponente
F_y	y-Komponente
$ \vec{F} $	Vektorbetrag
φ	Winkel



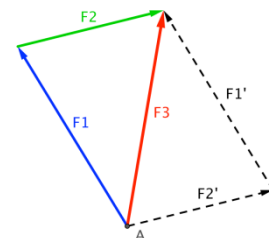
Vektoraddition

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$F_{3,x} = F_{1,x} + F_{2,x}$$

$$F_{3,y} = F_{1,y} + F_{2,y}$$

\vec{F}_3	Vektorsumme
$F_{3,x}$	x-Komponenten addieren
$F_{3,y}$	y-Komponenten addieren



TI-N'Spire

$$\vec{F} = [F_x, F_y]$$

\vec{F}	Vektor in kartesischen Koordinaten
-----------	------------------------------------

Grafisch addieren: parallel verschieben
und anhängen oder Parallelogramm
bilden

$$\vec{F} = [F, \angle \varphi]$$

F	Vektorbetrag, Polarkoordinaten
-----	--------------------------------

$$[F_x, F_y] \triangleright \text{Polar}$$

φ	Winkel, Polarkoordinaten
-----------	--------------------------

Der Befehl «Polar» wandelt einen
Vektor von kartesischen in
Polarkoordinaten um.

Thermische Eigenschaften ausgewählter Stoffe

α Längenausdehnungskoeffizient bei 20 °C
 γ Volumenausdehnungskoeffizient bei 20° C
 c_p spezifische Wärmekapazität bei 20 °C
 ϑ_f Schmelztemperatur

ϑ_v Siedetemperatur
 L_f spezifische Schmelzwärme
 L_v spezifische Verdampfungswärme
 λ Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C

Festkörper	α	c_p	ϑ_f	ϑ_v	L_f	L_v	λ
	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	J/(kg · K)	° C	° C	$10^3 \cdot J/kg$	$10^6 \cdot J/kg$	W/(m · K)
Aluminium	23.8	896	660.1	2467	397	10.9	239
Blei	31.3	129	327.4	1740	23	8.6	34.8
Eis 0°C	37.0	2100	0	100	333.8	2.25	2.2
Eisen chem. rein	12.0	450	1535	2750	277	6.34	80
Stahl ¹	12.0	450	1535	2750			
Glas	8.5	800					1.0
Eisen Invar	0.2-1.6	460	1427		515		11
Kupfer	16.8	383	1083	2567	205	4.79	390
Silber	19.7	235	960.8	2212	104.5	2.35	428
Silizium	7.6	705	1410	2355	165.4	14.05	153
Chromstahl	16.0	510					14
Wolfram	4.3	134	3380	5660	192	4.35	177

Flüssigkeiten	γ	c_p	ϑ_f	ϑ_v	L_f	L_v	λ
	$10^{-3} \cdot K^{-1}$	J/(kg · K)	° C	° C	$10^3 \cdot J/kg$	$10^6 \cdot J/kg$	W/(m · K)
Aceton	1.49	2160	-94.86	56.25	98	0.525	0.162
Benzin	1.06	2020	-50...-30	67...100			0.13
Ethanol (Alkohol)	1.10	2430	-114.5	78.33	108	0.84	0.165
Glyzerin	0.5	2390	18.4	290.5	201	0.854	0.285
Heizöl	0.92		-5	200...350			0.14
Quecksilber	0.182	139	-38.87	356.58	11.8	0.285	8.2
Wasser	0.21	4182	0	100.0	333.8	2.256	0.598

Gase		c_p	ϑ_f	ϑ_v	L_f	L_v	λ
		J/(kg · K)	° C	° C	$10^3 \cdot J/kg$	$10^6 \cdot J/kg$	W/(m · K)
Ammoniak	Für Ausdehnung siehe Gasgleichung	2160	-77.7	-33.35		1.37	0.022
Helium		5230	-272.2	-268.93	500	2	0.143
Kohlendioxid		837	subl.	-78.45	181	0.137	0.015
Luft		1005		-191.4			0.024
Methan		2219	-182.52	-161.5	59	0.51	0.030
Sauerstoff		917	-218.79	-182.97	14	0.213	0.024
Stickstoff		1038	-210.00	-195.82	26	0.198	0.024
Wasserstoff		14'320	-259.20	-252.77	6'000	45	0.171

Heizwert H_u (ohne Kondensation des Wasserdampfs) in MJ/kg

Braunkohle	8.9	Benzin	42	Butan	45.7
Holz, trocken	15.5	Ethanol	26.7	Erdgas	38
Steinkohle	29.3	Heizöl	42.7	Wasserstoff	120

¹Werkstoff, dessen Massenanteil an Eisen grösser ist als der jedes anderen Elementes, dessen Kohlenstoffgehalt im Allgemeinen kleiner als 2,06 % ist und der andere Elemente enthält.

Stoffdaten

Reibungszahl μ

Materialkombination	Gleitreibung	Haftreibung
Holz/Holz	0.4	0.6
Stahl/Stahl	0.1	0.15
Stahl/Eis	0.014	0.027

Materialkombination	Gleitreibung	Haftreibung
Pneu/trockene Strasse	0.6	1.0
Pneu/nasse Strasse	0.3	0.5
Pneu/Eis	0.05	0.1

Dichte ρ

Feste Stoffe bei 20 °C	kg/m ³
Aluminium	2'700
Beton	2'200
Blei	11'340
Buchen- und Eichenholz Trocken	700
Diamant	3'510
Eis (bei 0 °C)	917
Eisen chem. rein	7'860
Glas	2'500
Gold	19'290
Graphit	2'240
Eisen Invar (64% Fe, 36% Ni)	8'000
Kalkstein (Marmor)	2'700
Kork	300
Kupfer	8'920
Messing (65% Cu, 35% Zn)	8'470
Natrium	970
Nickel	8'900
Paraffin	900
Platin	21'450
Plexiglas	1'180
Porzellan	2'400
Quarzglas	2'200
Silber	10'500
Silizium	2'420
Styropor	20
Tannenholz, trocken	500
Uran	18'700
Wolfram	19'300
Ziegelstein	1'600
Zink	7'140
Zinn	7'290

Flüssigkeiten bei 20 °C	kg/m ³
Aceton (CH ₃) ₂ CO	791
Benzol C ₆ H ₆	879
Benzin	744
Diethylether (C ₂ H ₅) ₂ O	714
Ethanol (Alkohol) C ₂ H ₅ OH	789
Glyzerin CH ₃ OH	1261
Heizöl	840
Methanol CH ₃ OH	792
Olivenöl	920
Quecksilber Hg	13'546
Schwefelsäure H ₂ SO ₄	1840
Tetrachlorkohlenstoff CCL ₄	1594
Wasser H ₂ O	998
schweres Wasser D ₂ O	1105

Gase bei 273.15 K und 1.013 10 ⁵ Pa	kg/m ³
Ammoniak NH ₃	0.771
Argon Ar	1.784
Butan C ₄ H ₁₀	2.732
Erdgas	0.83
Helium He	0.1785
Kohlendioxid CO ₂	1.977
Kohlenmonoxid CO	1.250
Luft	1.293
Methan CH ₄	0.717
Neon Ne	0.900
Propan C ₃ H ₈	2.010
Sauerstoff O ₂	1.429
Schwefeldioxid SO ₂	2.926
Stickstoff N ₂	1.250
Wasserstoff H ₂	0.0899
Xenon Xe	5.897

Ausbreitungsgeschwindigkeit c	10 ⁸ m/s
Licht, Vakuum	2.99792458
Licht, Luft	2.99711
Licht, Quarzglas	2.05
Licht, Glas	1.86 – 2.0
Licht, Diamant	1.25
Licht, Wasser	2.25
Licht, Eis	2.29

	m/s
Schall, Luft, 5°C	335
Schall, Luft 15°C	340
Schall, Luft 25°C	346
Schall, Wasser	ca. 1'500
Schall, Kupfer	4'660
Schall, Eisen Fe	5'170
Schall, Aluminium	6'300

Zehnerpotenzen und SI Vorsätze

Faktor	Vorsatz	Zeichen
10 ⁻¹⁸	Atto	a
10 ⁻¹⁵	Femto	f
10 ⁻¹²	Pico	p
10 ⁻⁹	Nano	n
10 ⁻⁶	Mikro	μ
10 ⁻³	Milli	m
10 ⁻²	Zenti	c
10 ⁻¹	Dezi	d

Faktor	Vorsatz	Zeichen
10 ¹	Deka	da
10 ²	Hekto	h
10 ³	Kilo	k
10 ⁶	Mega	M
10 ⁹	Giga	G
10 ¹²	Tera	T
10 ¹⁵	Peta	P
10 ¹⁸	Exa	E

Eigene Notizen (keine gelösten Aufgaben):

Eigene Notizen (keine gelösten Aufgaben):

Physiker in der Physikprüfung.
Prof.: "Sagen Sie: Kann eine Eisenkugel auf Quecksilber schwimmen?"
Stud. (hat fleißig gelernt, kennt die Dichtewerte von Fe und Hg, rechnet kurz und strahlt):
"Ja, Herr Professor. Auf Quecksilber können sogar fast zwei Eisenkugeln schwimmen!"

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!

BMS Bern
Physik