

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

$$0.5 \cdot (75.0 \pm 0.8) \text{ mm} \\ = (37.5 \pm 0.4) \text{ mm} = 37.5 \text{ mm} \pm 1.1\%$$

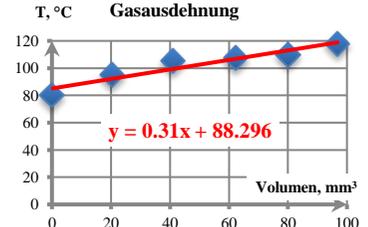
Rechenregeln

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	
m	Masse	kg	$1 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
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

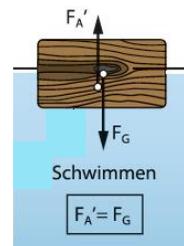
$$F_G = m \cdot g$$

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



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.

Nach Archimedes:

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

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 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ tiefer als dessen Anfangstemperatur.

Die Änderung (Ende - Anfang) der Temperatur, gemessen in $^\circ\text{C}$ oder Kelvin ist dieselbe. Die Skalen haben die gleiche Schrittweite, nur der Startpunkt ist unterschiedlich, siehe unten.

Temperaturskalen

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

Symbol	Grösse	Einheit
ϑ	Temperatur	$^\circ\text{C}$
T	absolute Temperatur	K

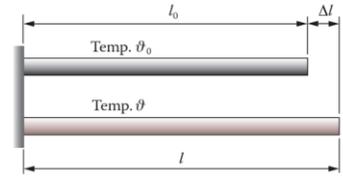
Der absolute Nullpunkt:
 $0 \text{ K} = -273.15 \text{ }^\circ\text{C}$

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 $20 \text{ }^\circ\text{C}$	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

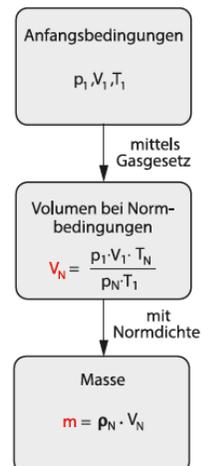
Absoluter Druck

$$P_{abs} = P_{Luft} + P_{rel.}$$

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

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

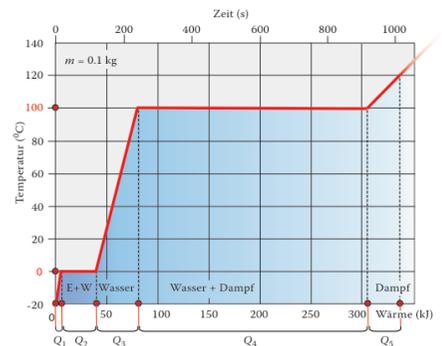
$Q = m \cdot L_f$	L_f	spezifische Schmelzwärme (f=fest)	J/kg
$Q = m \cdot L_v$	L_v	spezifische Verdampfungswärme (v=verdampfen)	J/kg

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 :

$$c_{\text{Eis}} = 2.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$L_f = 333.8 \text{ kJ/kg}$$

$$c_{\text{Wasser}} = 4.182 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$L_v = 2256 \text{ kJ/kg}$$

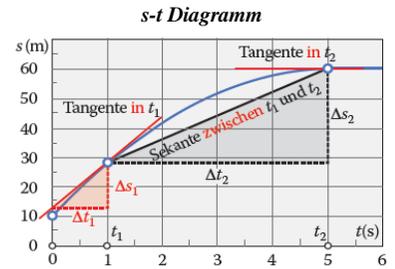
Leistung und Wirkungsgrad siehe Seite 14

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 $v(t)$

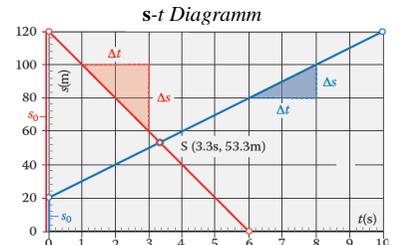
Umrechnung

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

Gleichförmige geradlinige Bewegung

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

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



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
$\Delta \vec{v}$	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

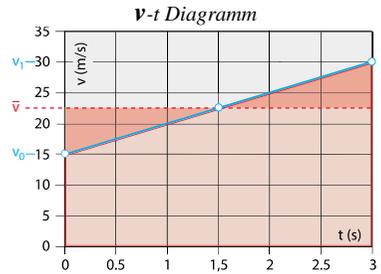
$$v(t) = v_0 + a \cdot t$$

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

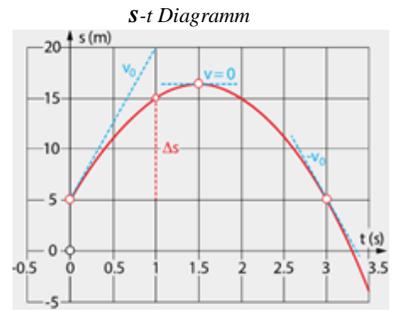
Geschwindigkeit-Weg-Gesetz

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

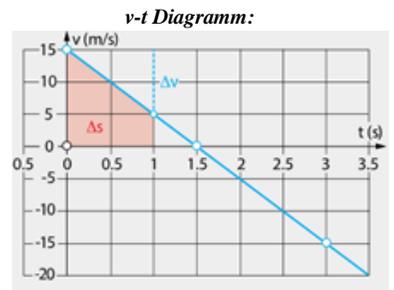
v	Geschwindigkeit nach Δs	m/s
Δs	zurückgelegte Strecke $\Delta s = s - s_0$	m
a	Beschleunigung, falls diese negativ ist, wird $v < v_0$, d.h. Bremsvorgang, oder Verzögerung genannt	m/s ²



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	
	$s_{z,0}$	Position Abwurfort zur Zeit $t = 0$ s	m	

Vorzeichen:
nach oben und nach recht positiv
nach unten und nach links negativ

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 $s_x = v_0 \cdot t$

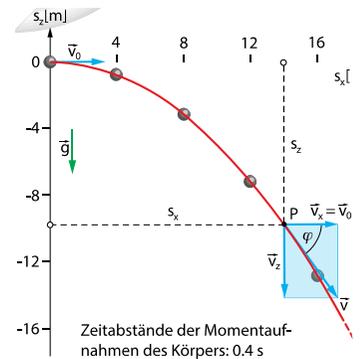
$s_x(t) = v_{x,0} \cdot t$	$s_x(t)$	Position in x-Richtung zum Zeitpunkt t	m
$v_x = v_0 = \text{konstant}$	$v_{x,0}$	Geschwindigkeit in x-Richtung	m/s

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 $[n] = \frac{1}{60 \cdot s}$

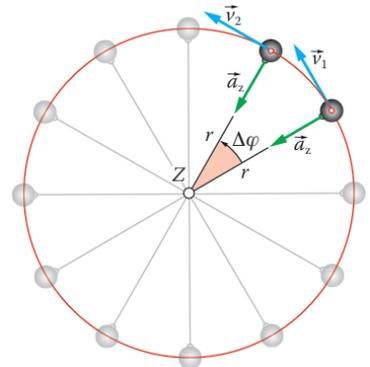
$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{T}$$

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

	Symbol	Grösse	Einheit	
	F_G	Gravitationskraft	N	Zwischen zwei Körpern wirkt eine Anziehungskraft, die Gravitationskraft.
$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	G	Gravitationskonstante Naturkonstante	$\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$	$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$
	m_1, m_2	Masse	kg	$m_{\text{Erde}} = 5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
	r	Abstand zwischen den Massenmittelpunkten	m	Erdradius $r_{\text{Erde}} = 6.378 \cdot 10^6 \text{ m}$

Gewichtskraft

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

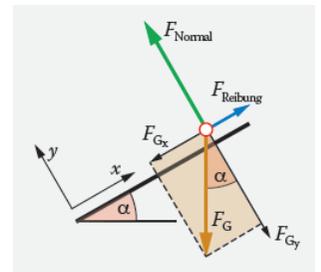
$F_R = \mu_R \cdot F_N$	F_R	Reibungskraft	N	Es gibt drei Arten von Reibung: Gleitreibung, Haft- und Rollreibung. Sie werden nach derselben Formel berechnet.
	μ_R	Reibungszahl	-	
	F_N	Normalkraft	N	

Luftwiderstand

$F_{LW} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$	F_{LW}	Luftwiderstandskraft	N	bei 20°C ca. 1.22 kg/m ³ Je kleiner der Wert umso kleiner die Luftwiderstandskraft (Windschlüpfiger) rechtwinklig zur Windgeschwindigkeit
	ρ	Dichte von Luft	kg/m ³	
	c_w	Luftwiderstandsbeiwert	-	
	A	Windangriffsfläche	m ²	
	v	Geschwindigkeit	m/s	

Schiefe Ebene

$\vec{F}_G = (F_{Gx}, F_{Gy})$	\vec{F}_G	Gewichtskraft, in Komponenten zerlegt	N
$F_{Gx} = F_G \cdot \sin(\alpha)$	F_{Gx}	x-Komponente, «Hangabtriebskraft»	N
$F_N = F_G \cdot \cos(\alpha)$	F_N	Normalkraft	N
$F_R = \mu_R \cdot F_N$	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

$\sum_i \vec{F}_i = m \cdot \vec{a}$	$\sum_i \vec{F}_i$	Vektorsumme aller Kräfte i entspricht der Gesamtkraft	N	<i>Bewegungsgesetz: Die Gesamtkraft, welche auf einen Körper wirkt, ist das Produkt aus Masse und Beschleunigung.</i>
	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
				<i>Aktions- und Reaktionskraft greifen an verschiedenen Körpern an.</i>

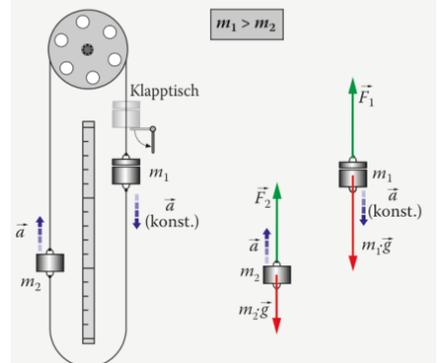
Bezugssystem

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



Statik

Gleichgewicht

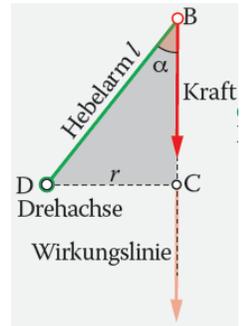
Im statischen Gleichgewicht kann sich ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit geradlinig bewegen oder mit einer konstanten Drehzahl rotieren.

	Symbol	Grösse	Einheit
Statik			
<i>Bedingung 1, Summe aller Kräfte gleich Null</i>			
$\sum_i \vec{F}_i = 0$	\vec{F}_i	angreifende Kraft	N
$\sum_i F_{x,i} = 0$ 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
------------------	-------	---------------------------------	----

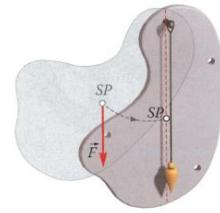
Vorzeichenkonvention
positiv: gegen den Uhrzeigersinn
negativ: im Uhrzeigersinn

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.



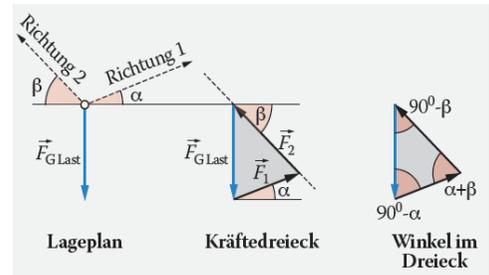
Am Schwerpunkt (SP) eines Körpers greift die Gewichtskraft F_G an. Der SP liegt auf einer Schwerelinie.

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

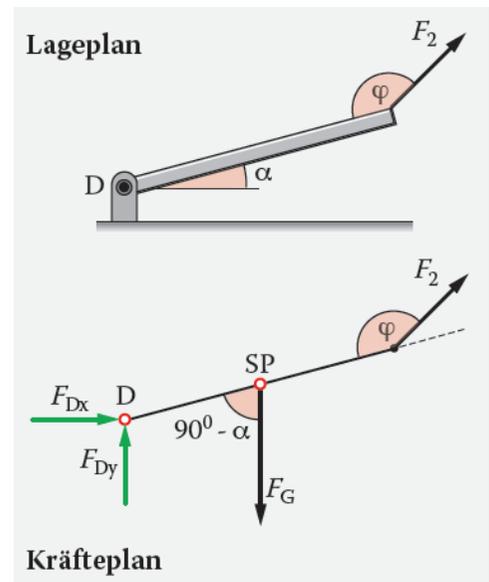
Wenn die Kräfte an unterschiedlichen Punkten angreifen, entstehen Drehmomente.

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

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

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	$E_{Brennstoff} = \eta \cdot m_{Brennstoff} \cdot H_u$	$W = F_{Fahrwiderstand} \cdot \Delta s$
entstandene Reibungswärme... → Zustand 2	oder $E_{elektrisch}$	
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

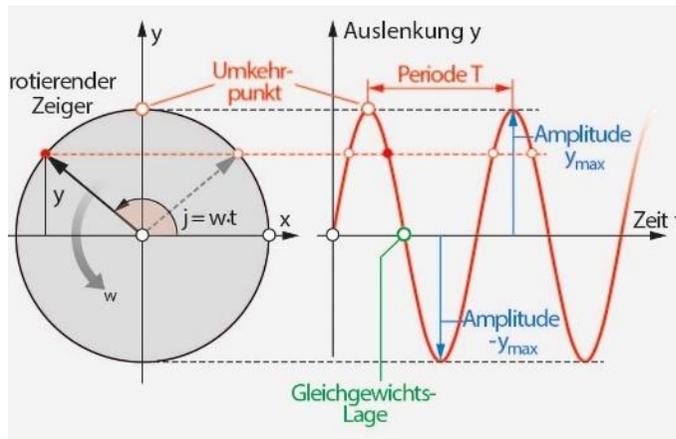
Harmonische Schwingung

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

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

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

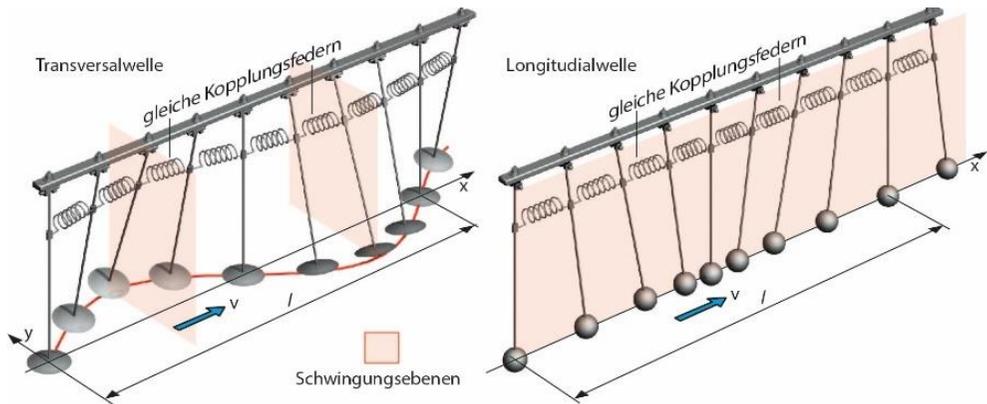
Symbol	Grösse	Einheit
$y(t)$	Elongation (Auslenkung)	m, V, etc.
y_0	Amplitude	maximale Auslenkung
t	Zeit	s
	Winkel	$\varphi = 2\pi \cdot f \cdot t$ $\varphi = \omega \cdot t$ im Bogenmass!
T	Periode	s
f	Frequenz	Hz
		1 Hz = s ⁻¹



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	Elementarladung: $e = \frac{1}{6.24 \cdot 10^{18}} \text{C} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
Q	elektrische Ladung	C	
r	Abstand der geladenen Körper	m	
k	Konstante $k = 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0$	$\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$	$8.98 \cdot 10^9 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$

Spannung

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

U	Spannung	V	Liegt eine Spannung vor, dann existiert ein Ort mit Elektronenmangel, der Pluspol und ein Ort mit Elektronenüberschuss, welcher als Minuspol definiert wird.
W	Arbeit	Nm, J	
Q	Ladung	C	

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	$\frac{\Omega \cdot \text{m}}{\text{mm}^2}$	Bei 20°C
l	Leiterlänge	m	Bei einem Kabel: Hin- und Rückleitung berücksichtigen
A	Querschnittsfläche des Leiters	mm ²	

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:

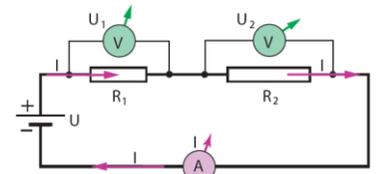
$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

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

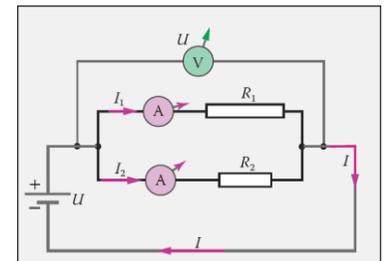
Die Gesamtspannung U ist über jedem Widerstand gleich:

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

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

Für den Gesamtwiderstand R_0 in einer Parallelschaltung gilt:

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

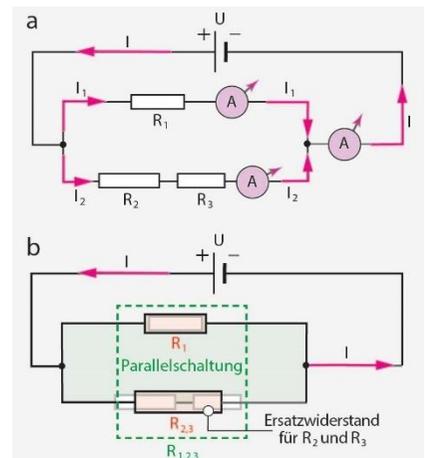


jeder Einzelwiderstand

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

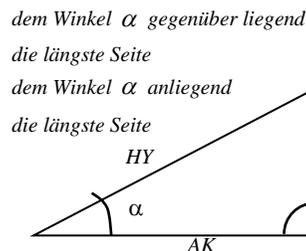
Rechtwinklige Dreiecke

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

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

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

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



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

vektorielle Grösse

kartesische Darstellung mit Komponenten x und y

$$\vec{F} = (|\vec{F}|, \angle\varphi)$$

$ \vec{F} $	Vektorbetrag	N
$\angle\varphi$	Winkel	°, rad

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

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

x-Komponente

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

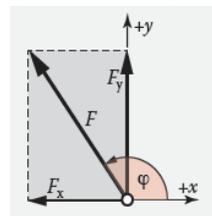
y-Komponente

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

Vektorbetrag

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

φ	Winkel
-----------	--------



Vektoraddition

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

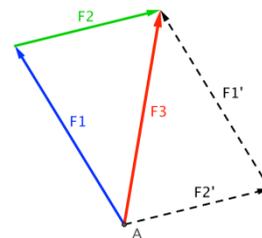
\vec{F}_3	Vektorsumme
-------------	-------------

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

$F_{3,x}$	x-Komponenten addieren
-----------	------------------------

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

$F_{3,y}$	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
	$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	J/(kg · K)	° C	° C	$10^3 \cdot \text{J/kg}$	$10^6 \cdot \text{J/kg}$	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
	$10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$	J/(kg · K)	° C	° C	$10^3 \cdot \text{J/kg}$	$10^6 \cdot \text{J/kg}$	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	$10^3 \cdot \text{J/kg}$	$10^6 \cdot \text{J/kg}$	W/(m · K)
Ammoniak		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	Für Ausdehnung siehe Gasgleichung	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	Materialkombination	Gleitreibung	Haftreibung
Holz/Holz	0.4	0.6	Pneu/trockene Strasse	0.6	1.0
Stahl/Stahl	0.1	0.15	Pneu/nasse Strasse	0.3	0.5
Stahl/Eis	0.014	0.027	Pneu/Eis	0.05	0.1

Dichte ρ

Feste Stoffe bei 20 °C		kg/m ³	Flüssigkeiten bei 20 °C		kg/m ³
Aluminium		2'700	Aceton	(CH ₃) ₂ CO	791
Beton		2'200	Benzol	C ₆ H ₆	879
Blei		11'340	Benzin		744
Buchen- und Eichenholz Trocken		700	Diethylether	(C ₂ H ₅) ₂ O	714
Diamant		3'510	Ethanol (Alkohol)	C ₂ H ₅ OH	789
Eis (bei 0 °C)		917	Glyzerin	CH ₃ OH	1261
Eisen chem. rein		7'860	Heizöl		840
Glas		2'500	Methanol	CH ₃ OH	792
Gold		19'290	Olivenöl		920
Graphit		2'240	Quecksilber	Hg	13'546
Eisen Invar (64% Fe, 36% Ni)		8'000	Schwefelsäure	H ₂ SO ₄	1840
Kalkstein (Marmor)		2'700	Tetrachlorkohlenstoff	CCL ₄	1594
Kork		300	Wasser	H ₂ O	998
Kupfer		8'920	schweres Wasser	D ₂ O	1105
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			

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	m/s
Licht, Vakuum	2.99792458	335
Licht, Luft	2.99711	340
Licht, Quarzglas	2.05	346
Licht, Glas	1.86 – 2.0	ca. 1'500
Licht, Diamant	1.25	4'660
Licht, Wasser	2.25	5'170
Licht, Eis	2.29	6'300
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	Faktor	Vorsatz	Zeichen
10 ⁻¹⁸	Atto	a	10 ¹	Deka	da
10 ⁻¹⁵	Femto	f	10 ²	Hekto	h
10 ⁻¹²	Pico	p	10 ³	Kilo	k
10 ⁻⁹	Nano	n	10 ⁶	Mega	M
10 ⁻⁶	Mikro	μ	10 ⁹	Giga	G
10 ⁻³	Milli	m	10 ¹²	Tera	T
10 ⁻²	Zenti	c	10 ¹⁵	Peta	P
10 ⁻¹	Dezi	d	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