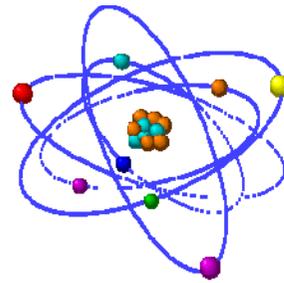


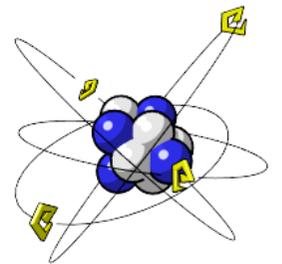
Physik

Formelsammlung



$$E=mc^2$$

Alles ist relativ.



Inhaltsangabe

Grundlagen

Größen Umrechnen	4
Griechisches Alphabet	6
Mengenlehre	7

<u>Physikalische Größen</u>	8
SI-Einheiten und Vorsätze	9

<u>Skalen und Vektoren</u>	10
Zerlegen von Vektoren	11
Addition von Vektoren	12
Subtraktion von Vektoren	13

Mechanik

Kinematik	14
Dynamik	19
Energie	20
Übersicht	22

Notizen

Inhaltsangabe

Reserviert – nicht Löschen

Größen Umrechnen

Notizen

Längeneinheiten

<u>Einheit</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Umrechnung</u>
1nm	Nanometer	$1\text{nm} = 0,001\text{mym} = 10^{-9}\text{ m}$
1mym	Mikrometer	$1\text{mym} = 0,001\text{ mm}$
1mm	Millimeter	$1\text{mm} = 0,001\text{m}$
1cm	Zentimeter	$1\text{cm} = 10\text{mm}$
1dm	Dezimeter	$1\text{dm} = 10\text{cm} = 100\text{mm}$
1m	Meter	$1\text{m} = 10\text{dm} = 100\text{cm} = 1000\text{mm}$
1km	Kilometer	$1\text{km} = 1000\text{m}$

Flächeneinheiten

<u>Einheit</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Umrechnung</u>
1mm^2	Quadratmillimeter	-
1cm^2	Quadratzentimeter	$1\text{cm}^2 = 100\text{mm}^2$
1dm^2	Quadratdezimeter	$1\text{dm}^2 = 100\text{cm}^2 = 10000\text{mm}^2$
1m^2	Quadratmeter	$1\text{m}^2 = 100\text{dm}^2 = 10000\text{cm}^2$
1a	Ar	$1\text{a} = 100\text{m}^2$
1ha	Hektar	$1\text{ha} = 100\text{a}$
1km^2	Quadratkilometer	$1\text{km}^2 = 1000\text{m} \cdot 1000\text{m}$

Volumeneinheiten

<u>Einheit</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Umrechnung</u>
1mm^3	Kubikmillimeter	--
$1\text{cm}^3 / \text{ml}$	Kubikzentimeter = Mililiter	$1\text{cm}^3 = 1000\text{ mm}^3$
$1\text{dm}^3 / \text{l}$	Kubikdezimeter = Liter	$1\text{dm}^3 = 1000\text{ cm}^3$
1 l	Liter	$1\text{l} = 1\text{dm}^3$
1m^3	Kubikmeter	$1\text{m}^3 = 1000\text{ dm}^3$

Zeiteinheiten

<u>Einheit</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Umrechnung</u>
1ms	Millisekunde	
1s	Sekunde	1 s = 1000ms
1min	Minute	1 min = 60 s
1h	Stunde	1 h = 60 min
1d	Tag	1 d = 24 h
1w	Woche	1 w = 7 d
1m	Monat	1 m = 30 d
1a	Jahr	1 a = 12m = 360d

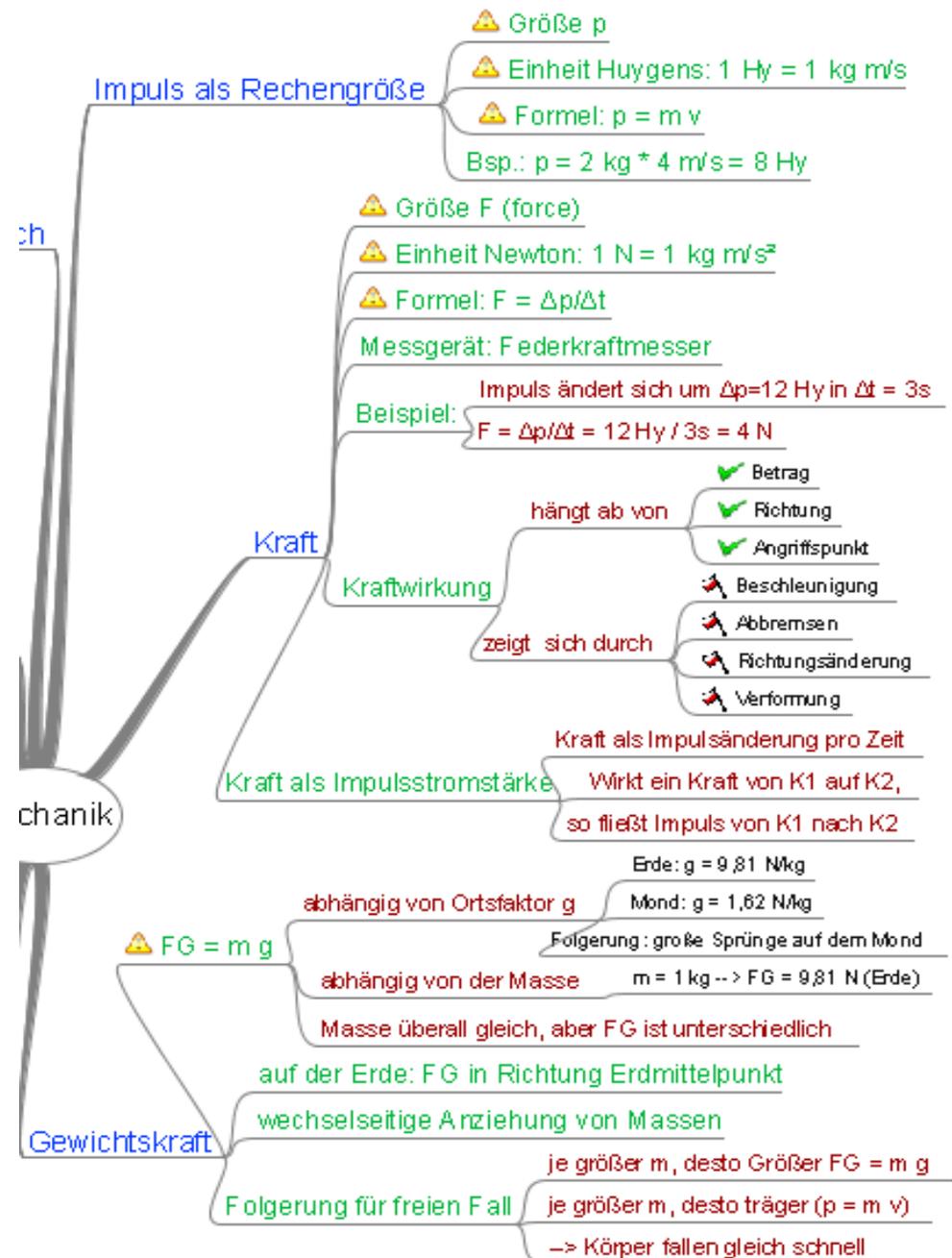
Gewichtseinheiten

<u>Einheit</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Umrechnung</u>
1 ng	Nanogramm	1000^{-12} g
1 myg	Mikrogramm	1 myg = 1000 ng = 10^{-9} kg
1 mg	Milligramm	1 mg = 1000 myg = 10^{-6} kg
1 g	Gramm	1 g = 1000mg = 10^{-3} kg
1 kg	Kilogramm	1kg = 1000g
1 t	Tonne	1 t = 1000kg

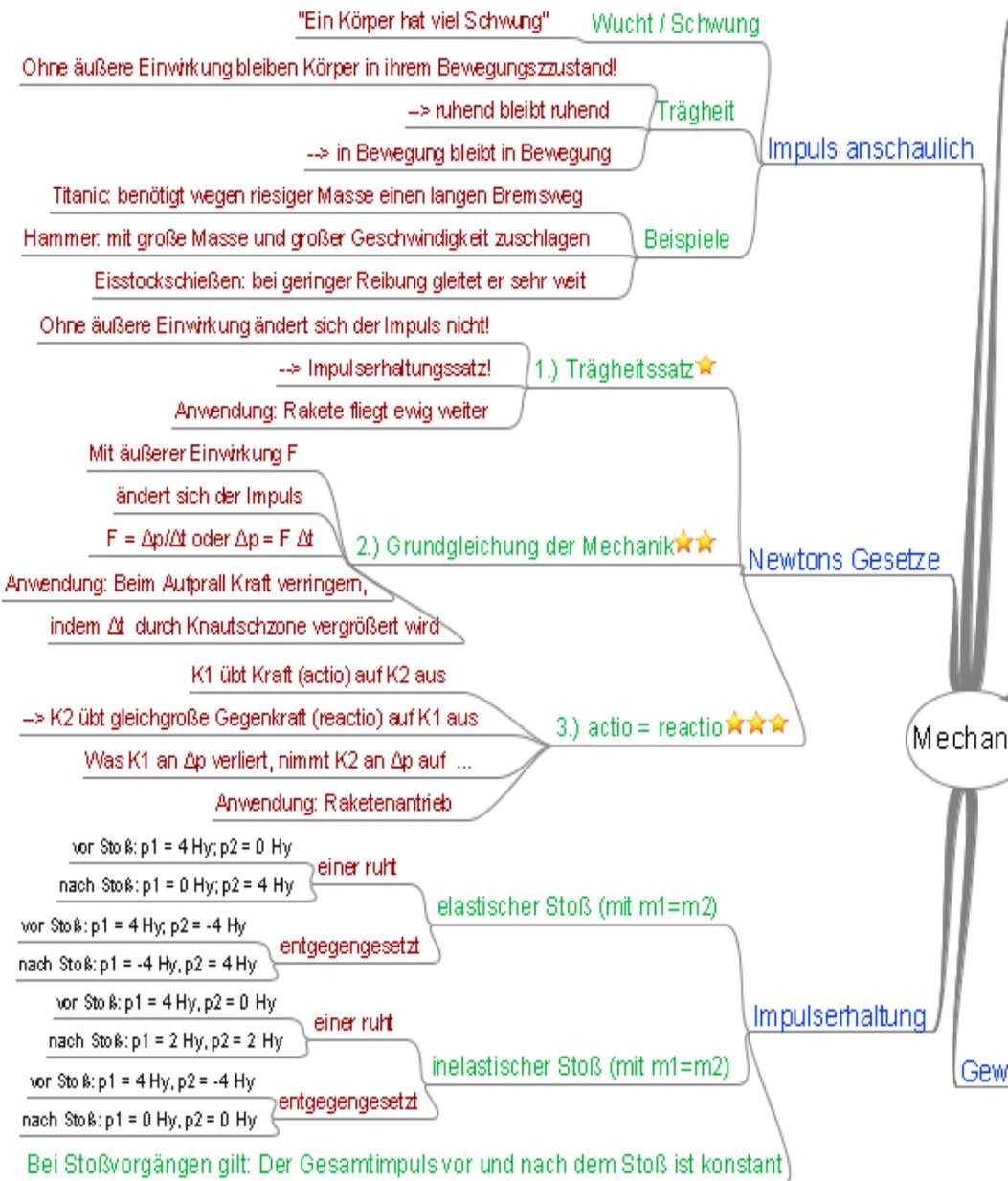
Griechisches Alphabet

A	α	alpha	I	ι	iota	P	ρ	rho
B	β	beta	K	κ	kappa	Σ	σ	sigma
Γ	γ	gamma	Λ	λ	lambda	T	τ	tau
Δ	δ	delta	M	μ	m	Υ	υ	psilon
E	ϵ	epsilon	N	ν	n	Φ	ϕ	phi
Z	ζ	zeta	Ξ	ξ	xi	X	χ	chi
H	η	eta	O	o	omicron	Ψ	ψ	psi
Θ	θ	theta	Π	π	pi	Ω	ω	omega

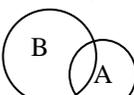
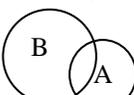
Mechanik



Mechanik



Mengenlehre

- \mathbb{N} = natürliche Zahlen { 1,2,3,... } nur Positiv
 - \mathbb{N}_0 = natürliche Zahlen { 0,1,2,3,... }
 - \mathbb{Z} = ganze Zahlen { ..., -2, -1, 0, 1, 2, ... }
 - \mathbb{Q} = rationale Zahlen { Brüche x/y }
 - \mathbb{R} = reelle Zahlen (alle Zahlen auf Zahlenachse)
-
- \emptyset = Grundmenge
 - \mathcal{D} = Definitionsmenge z.b. $\mathcal{D} = \mathbb{R} \setminus \{-3; 8\}$
 - \mathcal{L} = Lösungsmenge
-
- \notin ist keine Summe von $A \notin B = A$ ist in B überhaupt nicht enthalten
 - \in ist Summe von $A \in B = A$ ist vollständig in B enthalten, 
 - \subset = ist Teilmenge von $A \subset B = A$ ist nicht vollständig in B enthalten, 
 - $\not\subset$ = ist keine Teilmenge von $A \not\subset B = A$ ist nicht vollständig in B enthalten, 
 - \cap = vereinigt $A+B$
 - \cup = nur Schnittmenge $(z.b. A=\{123\}; B=\{256\}; A \cup B = \{2\})$
 - $A \setminus B = \{2, 6, 8\}$ = Das was weggenommen wird
 - $(A \cap B) \setminus (A \cup B)$ = A & B jedoch ohne Schnittmenge
 - $G \setminus (A \cap B)$ = die Gesamtfläche abzüglich A + B sind enthalten
 - $(A \cap C) \setminus B$ $(A + C) - B$
 - $(A \cup C) \setminus B$ (Nur das was in A und C gleichzeitig enthalten ist) - B

- T_n = Teilermenge (Alle Zahlen die durch die n geteilt werden kann. n:1, n:2 usw.)
- $T_{14} = \{1, 2, 7, 14\}$

Gew

Physikalische Grössen

Physikalische Gleichungen sind Verknüpfungen von physikalischen Grössen.

- **G = {G}*[G]; Wert der Grösse= Zahlenwert* Einheit**

- Beispiel: Länge l= 5 m, Masse m= 2 kg, Stromstärke I= 1,5 A, Geschwindigkeit v= 25 m/s

SI-System

Basisgrösse		Basiseinheit	
Symbol	Bezeichnung	Symbol	Bezeichnung
l	Länge	m	Meter
t	Zeit	s	Sekunde
m	Masse	kg	Kilogramm
I	Elektrische Stromstärke	A	Ampère
T	Temperatur	K	Kelvin
n	Stoffmenge	mol	Mol
I _v	Lichtstärke	cd	Candela

Formelsammlung Mechanik-Energie

Potenzielle Energie

Hubarbeit (Gilt nur nahe der

Oberfläche eines Himmelskörpers)

$$W = m \cdot g \cdot h$$

W = Arbeit in Nm (1 Nm = 1 J = 1 Ws)

m = Masse des Körpers in kg

g = Erdbeschleunigung in m / s²

h = Hubhöhe in m

Potenzielle Energie

Potenzielle Energie einer gespannten Feder

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

D = Federkonstante

G = Auslenkung der Feder aus der Ruhelage

Potenzielle Energie

Maximale potenzielle Energie in einem Gravitationsfeld

$$E_{pot.max} = \frac{GMm}{R} = mgR, \text{ mit } GM = gR^2$$

Potenzielle Energie

Potenzielle Energie in einem Gravitationsfeld

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \cdot \frac{R}{r} = \frac{GMm}{R} - \frac{GMm}{r}$$

E_{pot} = Potenzielle Energie in J

M = Masse des Himmelskörpers in kg

R = Radius des Himmelskörpers in m

r = Radius des Himmelskörpers + Hubhöhe (R+h) in m

G = Gravitationskonstante

Formelsammlung Mechanik-Dynamik

Drehmoment

$$\vec{M} = \vec{l} \times \vec{F}$$

\vec{M} = Drehmoment in Nm

\vec{F} = Kraft in N

\vec{l} = Hebelarmlänge in m

Arbeit

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

W = Arbeit in Nm (1 Nm = 1 J = 1 Ws)

\vec{F} = Kraft in N

\vec{s} = Weg in m

Formelsammlung Mechanik-Energie

Leistung

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

P = Leistung in Nm / s (1 Nm / s = 1 J / s = 1 W)

W = Arbeit in Nm (1 Nm = 1 J = 1 Ws)

t = Zeit in s

Kinetische Energie

Beschleunigungsarbeit

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

W = Arbeit in Nm (1 Nm = 1 J = 1 Ws)

m = Masse in kg

v = Geschwindigkeit in m / s

SI-Einheiten und Vorsätze

Yotta	Y	10²⁴	1 000 000 000 000 000 000 000 000
Zetta	Z	10²¹	1 000 000 000 000 000 000 000 000
Exa	E	10¹⁸	1 000 000 000 000 000 000 000
Peta	P	10¹⁵	1 000 000 000 000 000 000
Tera	T	10¹²	1 000 000 000 000 000
Giga	G	10⁹	1 000 000 000
Mega	M	10⁶	1 000 000
Kilo	k	10³	1 000
Hekto	h	10²	1 00
Deca	da	10¹	1 0
Dezi	d	10⁻¹	0,1
Zenti	c	10⁻²	0,01
Milli	m	10⁻³	0,001
Mikro	μ	10⁻⁶	0,000 001
Nano	n	10⁻⁹	0,000 000 001
Piko	p	10⁻¹²	0,000 000 000 001
Femto	f	10⁻¹⁵	0,000 000 000 000 001
Atto	a	10⁻¹⁸	0,000 000 000 000 000 001
Zepto	z	10⁻²¹	0,000 000 000 000 000 000 001
Yocto	y	10⁻²⁴	0,000 000 000 000 000 000 000 001

Skalare und Vektoren

Formelsammlung Mechanik-Dynamik

In der Physik unterteilt man zusätzlich physikalische Grössen in Skalare und Vektoren

Skalare sind „ungerichtete“ Grössen

- Druck p [p] = N/m² (Newton pro Quadratmeter)
- Volumen V [V] = m³ (Kubikmeter)
- Temperatur T [T] = K (Kelvin)
- Zeit t [t] = s (Sekunden)
- Masse m [m] = kg (Kilogramm)
- Arbeit W [W] = J (Joule)
- Widerstand R [R] = Ω (Ohm)
- Spannung U [U] = V (Volt)

Vektoren („Pfeile“) sind gerichtete Grössen,

- eine Richtung und einen Betrag (Masszahl)

- Kraft F [F] = N (Newton, 1 N = 1 kg*m/s²)
- Geschwindigkeit v [v] = m/s (Meter pro Sekunde)
- Beschleunigung a [a] = m/s² (Meter pro Sekunde im Quadrat)
- Elektrische Feldstärke E [E] = N/C (Newton/Coulomb)
- Magnetische Induktion B [B] = V*s/m² oder T (Tesla)

Kennzeichnung der durch Fettdruck: \mathbf{a} , \mathbf{F} , \mathbf{v} ,

Unterricht: Kennzeichnung durch Unterstreichen: \underline{v} , \underline{E} , \underline{a}

Kraft

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

\vec{F} = Kraft in N

m = Masse in kg

\vec{a} = Beschleunigung in m / s²

Gewichtskraft

$$F_G = m \cdot g$$

F_G = Gewichtskraft in N

m = Masse in kg

g = Erdbeschleunigung in m / s²

Gravitationskraft

$$F_G = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

F_G = Gravitationskraftkraft in N

M = Masse des einen Körpers in kg

m = Masse des anderen Körpers in kg

r = Entfernung der Schwerpunkte beider Körper voneinander in m

G = Gravitationskonstante

Reibung

$\vec{F}_{RT} = -\alpha_T$ = trockene Reibung (Gleitreibung)

$\vec{F}_{RN} = -\alpha_N v \vec{v}$ Newtonsche Reibung

$\vec{F}_{RS} = -\alpha_N \vec{v}$ Stokessche Reibung

Hebelgesetz

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

F_1 = Kraft in N

F_2 = Last in N

l_1 = Kraftarmlänge in m

l_2 = Lastarmlänge in m

Formelsammlung Mechanik-Kinematik

Rechnen mit Vektoren

Spulzeit von Tonbändern

Problem: Auffinden einer Bandstelle (in Spielminuten) bei einem Tonband- oder Videorecorder ohne oder nur mit einfachem Zählwerk (Umdrehungszähler).

Bekannte Größen: Bandlänge L in Spielminuten, Umspulzeit bzw. Zählerdifferenz nach vollständigem Umspulen T , Verhältnis des Radius der vollen zur leeren Spule $\rho = R_{\text{voll}} / R_{\text{leer}}$.

Für eine beliebige Bandstelle x in Spielminuten ist die Spulzeit (vom Bandanfang) bzw. der Zählerstand dann

$$t(x) = \frac{T}{\rho - 1} \left(\sqrt{\frac{\rho^2 - 1}{L} x + 1} - 1 \right) = A \left(\sqrt{B x + 1} - 1 \right) .$$

Analog ist die Spulzeit oder Zählwerksdifferenz von der Position x_1 zu x_2 gespult werden, so gilt

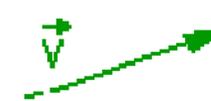
$$t(x_1, x_2) = A \left(\sqrt{B x_2 + 1} - \sqrt{B x_1 + 1} \right) .$$

Für eine typische 90-min-Audiocassette ist $L = 46$ min, $\rho = 25/11$ und $T = 160$ s und somit

$$t(x) \approx 126 \left(\sqrt{0,091 x / \text{min} + 1} - 1 \right) \text{ s} .$$

Einfacher Vektor :

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$



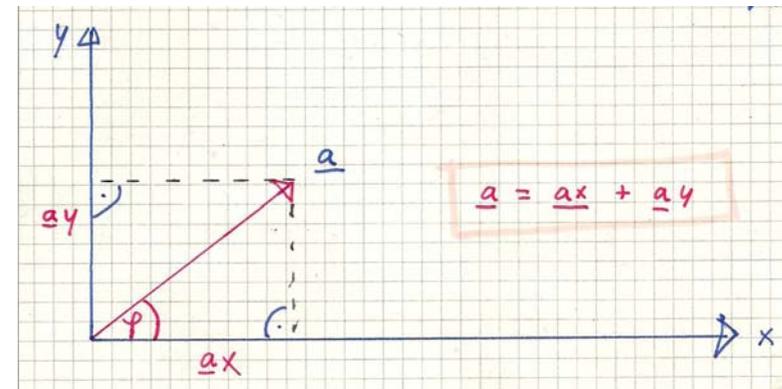
Inverser Vektor :



Zerlegung eines Vektors:

Aus dem Satz von Pythagoras folgt, dass der Betrag eines Vektors folgendermaßen berechnet werden kann:

$$|\vec{a}| = \left| \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix} \right| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$



Beträge von a_x und a_y

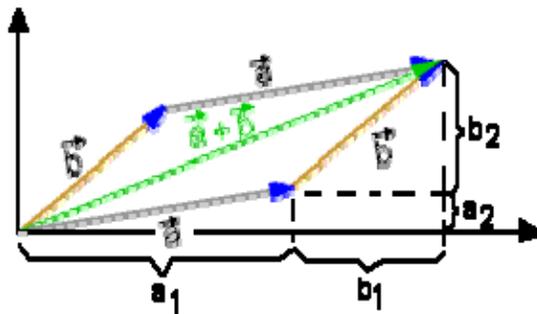
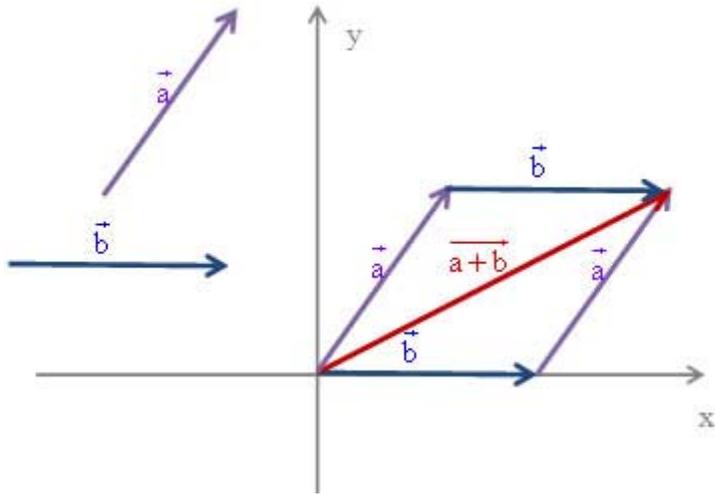
$$a_x = a \cdot \cos(\varphi)$$

$$a_y = a \cdot \sin(\varphi)$$

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad , \quad \tan \varphi = \frac{a_y}{a_x} \quad \text{arcs tan}$$

Addition von Vektoren

$$\vec{a} + \vec{b} = \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a + x_b \\ y_a + y_b \end{pmatrix} \quad \vec{a} + \vec{b} = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3+5 \\ 4+0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 4 \end{pmatrix}$$



$$\vec{a} + \vec{b} = \begin{pmatrix} a_1 + b_1 \\ a_2 + b_2 \end{pmatrix}$$

Formelsammlung Mechanik- Kinematik

Fall 2: Stokes-Reibung

$$h(t) = H + \frac{m}{\alpha} g \left[\frac{m}{\alpha} (1 - e^{-(\alpha/m)t}) - t \right]$$

$$a(t) = -g e^{-\frac{\alpha}{m}t}$$

$$v_g = -\frac{m}{\alpha} g$$

Bremsweg mit zwei Reibungskomponenten

Newton- und trockene Reibung

Gegeben sei eine Reibungsverzögerung der Form

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v \cdot dv}{dx} = \alpha v^2 + \beta$$

Dann ist der Bremsweg Δx von v_0 auf v_1 mit $v_0 \geq v_1 \geq 0$

$$\Delta x(v_0, v_1) = \frac{1}{2\alpha} \ln \frac{\alpha v_0^2 + \beta}{\alpha v_1^2 + \beta}$$

Stokes- und trockene Reibung

Gegeben sei eine Reibungsverzögerung der Form

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v \cdot dv}{dx} = \gamma v + \beta$$

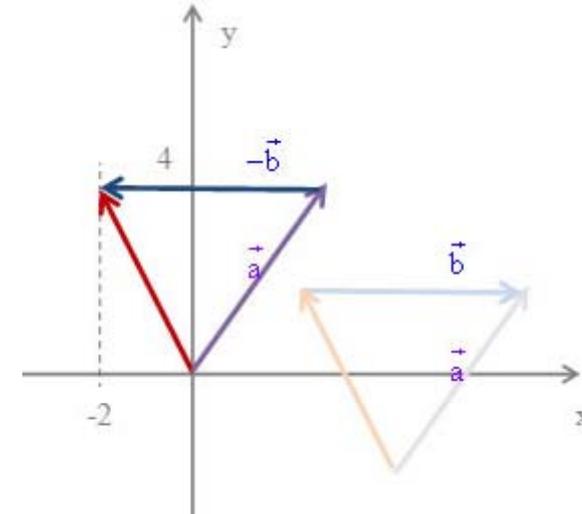
Dann ist der Bremsweg Δx von v_0 auf v_1 mit $v_0 \geq v_1 > 0$

$$\Delta x(v_0, v_1) = \frac{1}{\gamma} \left(v_0 - v_1 - \frac{\beta}{\gamma} \ln \frac{\gamma v_0 + \beta}{\gamma v_1 + \beta} \right)$$

Formelsammlung Mechanik- Kinematik

Subtraktion von Vektoren

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b}) \qquad \vec{a} - \vec{b} = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 5 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3-5 \\ 4-0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 4 \end{pmatrix}$$



Im Newton-Fall ist
 $\alpha = 1/2 \cdot c_w \rho A$, mit
 $c_w =$ Widerstandsbeiwert
 $\rho =$ Luftdichte
 $A =$ Stirnfläche des fallenden Körpers

Freier Fall mit Reibung

Gegeben: Anfangshöhe H , Schwerebeschleunigung g .
 Gesucht: Zeitliche Entwicklung von Momentanhöhe $h(t)$, Geschwindigkeit $v(t)$ und Beschleunigung $a(t)$, Grenzggeschwindigkeit $v(\infty)$
 (negatives Vorzeichen = abwärts gerichtet)

Fall 1: Newton-Reibung

$$h(t) = H - \frac{m}{\alpha} \ln \left[\cosh \left(\sqrt{\frac{\alpha g}{m}} \cdot t \right) \right]$$

$$v(t) = -\sqrt{\frac{mg}{\alpha}} \tanh \left(\sqrt{\frac{\alpha g}{m}} \cdot t \right)$$

$$a(t) = -\frac{g}{\cosh^2 \left(\sqrt{\frac{\alpha g}{m}} \cdot t \right)}$$

$$v_g = -\sqrt{\frac{mg}{\alpha}} = \text{Grenzggeschwindigkeit}$$

Beispiel: Fallschirmspringer mit $m = 80 \text{ kg}$, $c_w \cdot A = 0,6 \text{ m}^2$ springt aus $H = 4000 \text{ m}$ aus einem Ballon (Anfangsgeschwindigkeit = 0). Mittlere Luftdichte = ca. 1 kg/m^3 , ergo $\alpha = 0,3 \text{ kg/m}$. Ferner $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Nach $t = 10 \text{ s}$: $h = 4000 \text{ m} - 332 \text{ m} = 3668 \text{ m}$;

$$v = 49 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 96\% \text{ der Grenzggeschwindigkeit (51 m/s)}$$

$$a = 0,1 \text{ m/s}^2 = 1\% \text{ von } g.$$

Nach $t = 1 \text{ min}$ ist:

$$h = 4000 \text{ m} - 2882 \text{ m} = 1118 \text{ m} \Rightarrow \text{Zeit, die „Wäsche“ rauszulassen!}$$

Zur Genauigkeit: Für obiges Beispiel sind die Fehler im Vergleich zum numerisch Integrierten Modell nach [Standardatmosphäre](#), konstantem c_w und $\rho = \rho(H/2)$ in h kleiner als 100 m (bzw. 2 sek), in v kleiner als 5 m/s und in a kleiner als $0,6 \text{ m/s}^2 = 0,06 g$. Für größere H nehmen die Fehler wegen $\rho(H)$ stark zu. Schwer quantifizierbare Fehler sind in wegen veränderlicher Körperhaltung (Fallschirmspringer) oder strömungsphysikalisch bedingter Veränderlichkeit von c_w (auch z.B. bei starren [Kugeln](#)) zu erwarten.

Formelsammlung Mechanik- Kinematik

Formelsammlung Mechanik- Kinematik

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + t \vec{a}$$

$$\vec{x}(t) = \vec{x}_0 + t \vec{v}_0 + \frac{1}{2} t^2 \vec{a}$$

mit
 $\vec{x}(t)$ = zeitabhängige Position
 \vec{x}_0 = Anfangsposition
 \vec{v} = zeitabhängige Geschwindigkeit
 \vec{v}_0 = Anfangsgeschwindigkeit
 \vec{a} = Beschleunigung
 t = Zeit

Der Spezialfall $\vec{a} = (0, 0, -g)$ entspricht dem schrägen Wurf ohne Luftwiderstand. Die Bewegung in der Ebene ist dann gleichförmig, während die vertikale Bewegung eine gleichförmig beschleunigte ist.

Im weiteren Spezialfall einer gleichförmigen Beschleunigung entlang einer Linie vereinfacht sich der Ausdruck als

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

mittlere Beschleunigung	
Typ	m / s ²
Personenzug	0,15
U-Bahn	0,60
Personenaufzug	2
Rakete	30

s = Strecke

Freier Fall ohne Reibung

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

v = Geschwindigkeit in m / s
 Erdbeschleunigung in m / s²
 h = Fallhöhe

Erdbeschleunigung	
Punkt	m / s ²
Äquator	9,78
Nord- und Südpol	9,83
Normwert	9,80665

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$$

g =
 t = Zeit in s

Gradlinige gleichförmige Bewegung

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

v = Geschwindigkeit in m / s
 s = Strecke in m
 t = Zeit in s

mittlere Geschwindigkeiten	
Typ	m / s
Schnecke	0,002
Fußgänger	1,4
Regentropfen	6
Brieftaube	20
Rennpferd	bis 25
Erde bei 0° Breite	464
Gewehrkuugel	870
Licht	299.792.458

Ungleichförmige Bewegung

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

\bar{v} = mittlere Geschwindigkeit in m / s
 Δs = Strecke in m
 Δt = Zeit in s