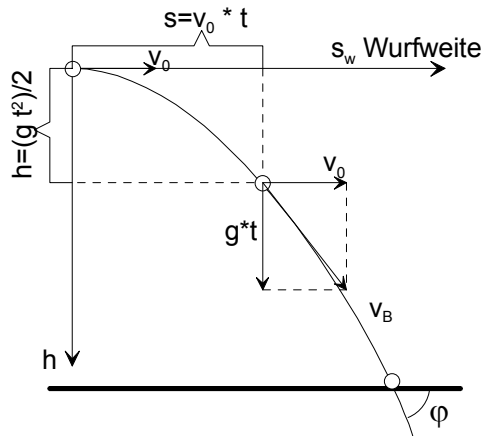


PH



Formelsammlung

Berufsmaturitätsschule Luzern

Rainer Meier
Käserei
6288 Schongau
skybeam@skybeam.ch

Klasse: 4
1997 - 2001

1. Inhaltsverzeichnis	2
1. Inhaltsverzeichnis	2
2. Physikalische Basisgrössen	5
2.1. Basisgrössen	5
2.2. Dezimalvorsätze	5
2.3. Einige abgeleitete physikalische Grössen und Ihre Einheiten	5
2.4. Dichte ρ	5
3. Statik	6
3.1. Kraft	6
3.1.1. Kräfte in gleicher Richtung	6
3.1.2. Kräfte in entgegengesetzter Richtung	6
3.1.3. Kräfte die rechtwinklig aufeinandertreffen	6
3.1.4. Beschleunigung	6
3.1.5. Wirkungen einer Kraft	6
3.2. Vektor und Skalar	6
3.2.1. Vektorielle Grösse	6
3.2.2. Skalare Grösse	6
3.2.3. Rechnen mit Vektoren	6
3.3. Axiome von Isaac Newton	7
3.3.1. Beschleunigung	7
3.3.2. Trägheit	7
3.4. Gewichtskraft	7
3.5. Gravitationsgesetz	7
3.6. Federkraft FF	8
3.7. Steigung	8
3.8. Kräfte am Hang	8
3.8.1. Hangabtriebsbeschleunigung	8
3.9. Drehmoment (F senkrecht angreifend)	9
3.9.1. Drehmoment (allgemeine Lösung)	9
3.9.2. Momentensatz (Gleichgewicht)	9
3.9.3. Hebelgesetz	9
4. Kinematik	10
4.1. Gleichförmige Bewegung	10
4.1.1. a-t-Diagramm	10
4.1.2. v-t-Diagramm	10
4.1.3. s-t-Diagramm	10
4.2. Ungleichförmige Bewegung ohne Anfangsgeschw.	10
4.2.1. a-t-Diagramm	10
4.2.2. v-t-Diagramm	10
4.2.3. s-t-Diagramm	10
4.3. Ungleichförmige Bewegung mit Anfangsgeschw.	11
4.3.1. a-t-Diagramm	11
4.3.2. v-t-Diagramm	11
4.3.3. s-t-Diagramm	11
4.4. Gleichmässig verzögerte Bewegung	11
4.4.1. a-t-Diagramm	11

Physik	Formelsammlung	Seite 3
4.4.2.	v-t-Diagramm	11
4.4.3.	s-t-Diagramm	11
4.5.	Der freie Fall	12
4.6.	Senkrechter Wurf	12
5.	Dynamik	14
5.1.	Trägheitskraft F_T	14
5.2.	Reibung	14
5.2.1.	Reibungsgesetz	14
5.2.2.	Reibung am Hang	14
5.3.	Zentralbewegung	14
5.3.1.	Drehzahl	14
5.3.2.	Umlaufdauer	14
5.3.3.	Drehwinkel	14
5.3.4.	Winkelgeschwindigkeit	15
5.3.5.	Zusammenhänge	15
5.4.	Bewegung auf einer Kreisbahn	15
5.4.1.	Die Bahngeschwindigkeit v_b	15
5.4.2.	Weg auf der Kreisbahn	15
5.5.	Zentripetal und Zentrifugalkraft	15
5.5.1.	Die Zentripetalkraft F_z	15
5.5.2.	Zentrifugalkraft F_z	16
5.6.	Physikalische Arbeit	16
5.6.1.	Allgemein	16
5.6.2.	Hubarbeit	16
5.6.3.	Reibarbeit	17
5.6.4.	Beschleunigungsarbeit	17
5.6.5.	Deformationsarbeit (Federspannarbeit)	17
5.7.	Physikalische Leistung	17
5.7.1.	Allgemein	17
5.7.2.	4.7.2 Mittlere Leistung	17
5.7.3.	Leistung aus Kraft und Geschwindigkeit	17
5.8.	Wirkungsgrad	18
5.8.1.	Allgemein	18
5.9.	Arbeit und Energie	18
5.9.1.	Allgemein	18
5.9.2.	Potentielle Energie	18
5.9.3.	Kinetische Energie, Bewegungsenergie	18
5.9.4.	Spannungsenergie (Feder)	18
5.10.	Energieerhaltungsgesetz	18
5.10.1.	Allgemein	18
5.11.	Hydrostatik	19
5.11.1.	Druck	19
5.11.2.	Gebräuchliche Druckeinheiten	19
5.11.3.	Druckbereiche	19
5.11.4.	Satz von Pascal	19
5.11.5.	Der Schweredruck	20

Physik	Formelsammlung	Seite 4
5.11.6.	Die Bodendruckkraft F_B	20
5.11.7.	Die Seitendruckkraft F_s	21
5.11.8.	Kommunizierende Gefäße	21
5.11.9.	Hydraulische Druckübersetzung	22
5.11.10.	Der Auftrieb	22
5.11.11.	Resultierende Auftriebskraft	22
5.11.12.	Schwimmen	23
5.12.	Aerostatik	23
5.12.1.	Allgemein	23
5.12.2.	Barometerformel	23
5.13.	Wärmelehre	23
5.13.1.	Wärmedehnung	23
5.13.2.	Längenausdehnung	23
5.13.3.	Flächenausdehnung	24
5.13.4.	Volumenausdehnung	24
5.13.5.	Auswirkungen auf die Dichte	24
5.13.6.	Relative Raumausdehnung	24
5.13.7.	Raumausdehnung von Gasen	24
5.14.	Wärmeenergie	25
5.14.1.	Berechnung	25
5.14.2.	Wärmemischung	25
5.14.3.	Energie und Aggregatzustände	25
5.14.4.	Schmelzwärme	25
5.14.5.	Verdampfungswärme	25

2. Physikalische Basisgrössen

2.1. Basisgrössen

Basisgrösse	Abkürzung	Einheit
Länge	s	m
Masse	m	kg
Zeit	t	s
Elektrische Stromstärke	I	A
Temperatur	T	K (oder °C)
Stoffmenge	n	
Lichtstärke	J	

2.2. Dezimalvorsätze

Vorsatz	Wert	Abk.
Yacto	10 ⁻²⁴	y
Zepto	10 ⁻²¹	z
Atto	10 ⁻¹⁸	a
Femto	10 ⁻¹⁵	f
Piko	10 ⁻¹²	p
Nano	10 ⁻⁹	n
Mikro	10 ⁻⁶	μ
Milli	10 ⁻³	m
Zenti	10 ⁻²	c
Dezi	10 ⁻¹	d
Deka	10 ¹	da
Hekto	10 ²	h
Kilo	10 ³	k
Mega	10 ⁶	M
Giga	10 ⁹	G
Tera	10 ¹²	T
Peta	10 ¹⁵	P
Exa	10 ¹⁸	E
Zetta	10 ²¹	Z
Yotta	10 ²⁴	Y

2.3. Einige abgeleitete physikalische Grössen und Ihre Einheiten

Physikalische Grösse	Berechnung	Einheit
Fläche	$A = l \cdot b$	m ²
Winkel	$\varphi = \frac{\text{Bogen}}{\text{Radius}}$	$\frac{m}{m} = \text{rad}$
Frequenz	$f = \frac{1}{\text{Periodendauer}}$	
Geschwindigkeit	$v = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$	$\frac{m}{s}$
Beschleunigung	$a = \frac{\Delta v}{t}$	$\frac{m}{s^2}$
Kraft	$F = m \cdot a$	$\frac{kg \cdot m}{s^2} = N$
Arbeit, Energie	$W = F \cdot s$	$\frac{kg \cdot m^2}{s^2} = J$
Leistung	$P = \frac{W}{t}$	$\frac{kg \cdot m^2}{s^3} = W$

2.4. Dichte ρ

$$\rho = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} = \frac{m}{V}$$

$$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

3. Statik

3.1. Kraft

Die Kraft hat einen Betrag und eine Richtung.

$$\text{allg.: } F = m \cdot a$$

3.1.1. Kräfte in gleicher Richtung

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 \dots$$

3.1.2. Kräfte in entgegengesetzter Richtung

$$F_R = F_1 - F_2 - F_3 \dots$$

3.1.3. Kräfte die rechtwinklig aufeinander treffen

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

3.1.4. Beschleunigung

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

3.1.5. Wirkungen einer Kraft

- Geschwindigkeitsänderung
- Richtungsänderung
- Deformation

3.2. Vektor und Skalar

3.2.1. Vektorielle Grösse

Hat eine physikalische Grösse nicht nur einen Betrag, sondern auch eine **Richtung**, So spricht man von einer gerichteten, sog. **vektoriellen Grösse**. Diese kann als Vektor (Pfeil) dargestellt werden.

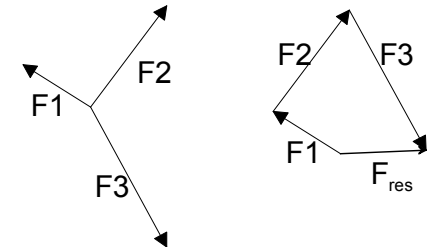
3.2.2. Skalare Grösse

Von skalaren Grössen spricht man, wenn eine Grösse nur einen **Betrag**, jedoch **keine Richtung** hat.

3.2.3. Rechnen mit Vektoren

Vektoren in gleicher Richtung können addiert werden.

liegen die Kräfte nicht in gleicher Richtung, müssen sie vektoriell addiert werden:



3.3. Axiome von Isaac Newton

3.3.1. Beschleunigung

$$a = \frac{\text{Geschwindigkeitsänderung}}{\text{benötigteZeit}}$$

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left[\frac{m}{s \cdot s} = \frac{m}{s^2} \right]$$

3.3.2. Trägheit

$$F = m \cdot a$$

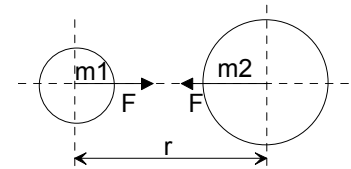
→ Wird die Beschleunigung a grösser, So wird auch die Kraft entsprechend grösser (bei gleichbleibender Masse).

3.4. Gewichtskraft

$$F_g = m \cdot g$$

3.5. Gravitationsgesetz

Zwei Massen ziehen sich gegenseitig mit einer Kraft F an, welche direkt proportional zum Produkt dieser beiden Massen ist und indirekt proportional zum Quadrat ihres Schwerpunktabstandes r!



$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

- a Beschleunigung [m/s²]
- v Geschwindigkeit [m/s]
- t Zeit [s]

- F Kraft [N]/[kg*m/s²]
- m Masse [kg]
- a Beschleunigung [m/s²]

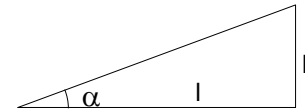
- F Kraft [N]/[kg*m/s²]
- m Masse [kg]
- g Erdbeschleunigung 9.81 [m/s²]

- F Massenanziehungskraft [N]/[kg*m/s²]
- γ Gravitationskonstante [6.67*10⁻¹¹ m³/kg*s²]
- m₁ Masse1 [kg]
- m₂ Masse2 [kg]
- r Schwerpunktabstand der Massen [m]

3.6. Federkraft FF

$$D = \frac{F}{\Delta l}$$

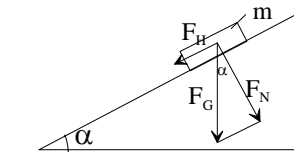
3.7. Steigung



$$\text{Steigung} = \frac{h}{l}$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{l}$$

3.8. Kräfte am Hang



Hangabtriebskraft

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha$$

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

3.8.1. Hangabtriebsbeschleunigung

$$a_H = g \cdot \sin \alpha$$

$$a_N = g \cdot \cos \alpha$$

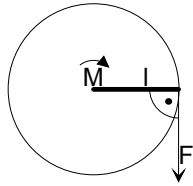
- D Federkonstante [N/m]
- F Kraft [N]
- Δl Längenänderung [m]

- h Vertikale Höhe [m]
- l Horizontale Länge [m]
- α Steigungswinkel [°]

- F_H Hangabtriebskraft [N]
- F_G Gewichtskraft [N]
- F_N Normalkraft [N]
- m Masse [kg]
- α Steigungswinkel [°]

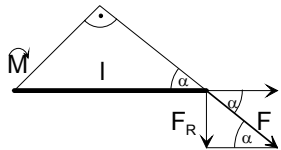
- a_H Hangabtriebsbeschleunigung [m/s²]
- a_N Normalbeschleunigung [m/s²]
- α Steigungswinkel [°]

3.9. Drehmoment (F senkrecht angreifend)



$$M = F \cdot l$$

3.9.1. Drehmoment (allgemeine Lösung)



$$M = F_R \cdot l$$

$$\Rightarrow M = F \cdot \sin \alpha \cdot l$$

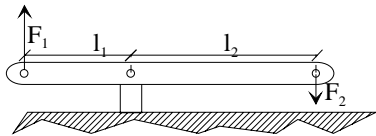
3.9.2. Momentensatz (Gleichgewicht)

Gleichgewicht herrscht, wenn:

$$\sum M = 0$$

$$\sum \vec{M} = \sum \vec{M}$$

3.9.3. Hebelgesetz



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

M	Drehmoment	[Nm]
F	Senkrecht angreifende Kraft	[N]
l	Länge des Hebelarms	[m]

M	Drehmoment	[Nm]
F	Angreifende Kraft (nicht senkr.)	[N]
F _R	Resultierende, senkrechte Kraft	[N]
l	Länge des Hebelarms	[m]
α	Angriffswinkel	[°]

M	Drehmoment	[N]
$\sum M$	Summe aller M	
$\sum \vec{M}$	Summe aller rechtsdrehenden Momente	
$\sum \vec{M}$	Summe aller linksdrehenden Momente	
F ₁	Kraft 1	[N]
F ₂	Kraft 2	[N]
l ₁	Hebellänge 1	[m]
l ₂	Hebellänge 2	[m]

4. Kinematik

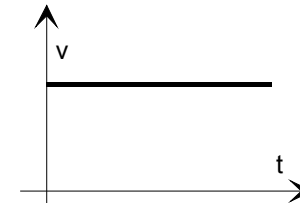
4.1. Gleichförmige Bewegung

4.1.1. a-t-Diagramm



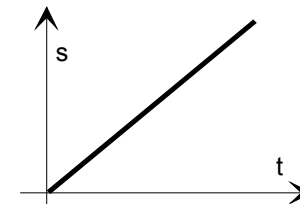
a=0
a Beschleunigung [m/s²]
t Zeit [s]

4.1.2. v-t-Diagramm



v=konstant
v Geschwindigkeit [m/s]
t Zeit [s]

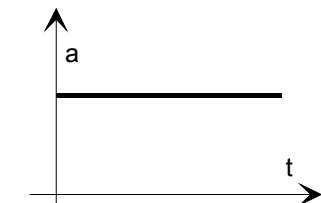
4.1.3. s-t-Diagramm



$s = v \cdot t$
s Strecke [m]
v Geschwindigkeit [m/s]
t Zeit [s]

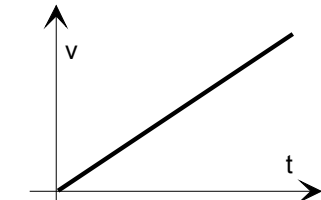
4.2. Ungleichförmige Bewegung ohne Anfangsgeschw.

4.2.1. a-t-Diagramm



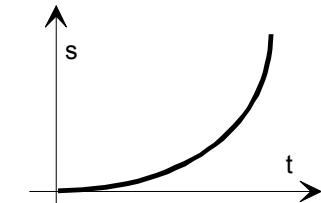
a=konstant
a Beschleunigung [m/s²]
t Zeit [s]

4.2.2. v-t-Diagramm



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

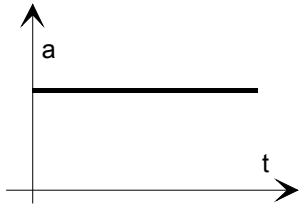
4.2.3. s-t-Diagramm



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

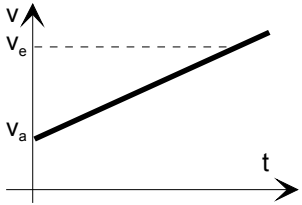
4.3. Ungleichförmige Bewegung mit Anfangsgeschw.

4.3.1. a-t-Diagramm



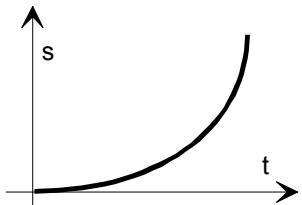
a=konstant
a Beschleunigung [m/s²]

4.3.2. v-t-Diagramm



$v_e = v_a + a \cdot t$
 $v_e = \sqrt{v_a^2 + 2 \cdot a \cdot s}$
v_e Endgeschwindigkeit [m/s]
v_a Anfangsgeschwindigkeit [m/s]

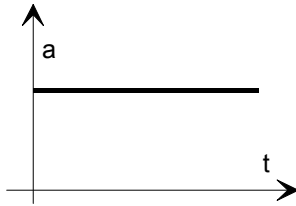
4.3.3. s-t-Diagramm



$s = v_a \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$
 $s = \frac{v_A + v_E}{2} \cdot t$

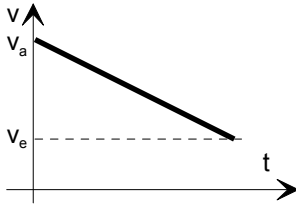
4.4. Gleichmäßig verzögerte Bewegung

4.4.1. a-t-Diagramm



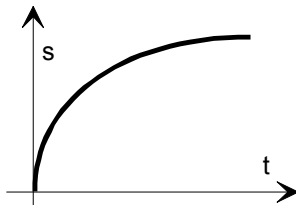
a=konstant (negativ)
a Beschleunigung [m/s²]

4.4.2. v-t-Diagramm



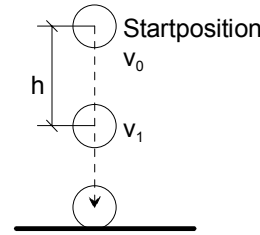
$v_e = v_a - a \cdot t$
 $v_e = \sqrt{v_a^2 - 2 \cdot a \cdot s}$
s Strecke [m]
t Zeit [s]

4.4.3. s-t-Diagramm



$s = v_a \cdot t - \frac{a \cdot t^2}{2}$
 $s = \frac{v_A + v_E}{2} \cdot t$

4.5. Der freie Fall



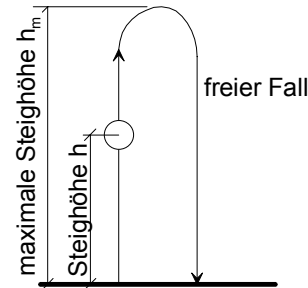
$h = \frac{v_1 \cdot t}{2}$

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

$v_1 = g \cdot t$

$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

4.6. Senkrechter Wurf



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

$v = v_0 - g \cdot t$

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

$h_m = \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$

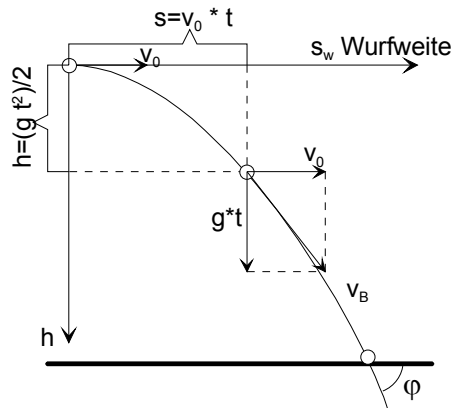
$t_{hm} = \frac{v_0}{g}$

- h Zurückgelegter Weg nach t sec [m]
- v Geschwindigkeit [m/s]
- v₀ Anfangsgeschwindigkeit 0 [m/s]
- v₁ Endgeschwindigkeit [m/s]
- t Zeit [s]
- g Erdbeschleunigung 9.81 [m/s²]

Wichtig: Die Masse m hat überhaupt keinen Einfluss.

- h_m Maximale Steighöhe [m]
- h Steighöhe [m]
- v₀ Startgeschwindigkeit [m/s]
- v Zeitpunktgeschwindigkeit [m/s]
- t_{hm} Zeit bis zur max. Steighöhe [s]

Horizontaler Wurf



- s_w Wurfweite [m]
- v_0 Anfangsgeschwindigkeit [m/s]
- t Wurfzeit [s]
- h Abwurfhöhe [m]
- v_b Bahngeschw. [m/s]
- φ Auftreffwinkel [°]

$$s_w = v_0 \cdot t$$

$$s_w = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$v_b = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

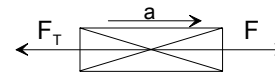
$$h = \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$h = \frac{g \cdot s^2}{2v_0^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{g \cdot t}{v_0}$$

5. Dynamik

5.1. Trägheitskraft F_T



$$F_T = -m \cdot a$$

5.2. Reibung

5.2.1. Reibungsgesetz

$$F_R = F_N \cdot \mu$$

Für die Berechnung der Normalkraft F_N siehe Kräfte am Hang

5.2.2. Reibung am Hang

$$F_R = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu$$

$$\tan \alpha = \mu_0 \rightarrow \text{Haftreibung}$$

5.3. Zentralbewegung

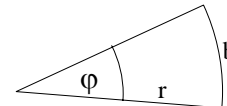
5.3.1. Drehzahl

$$n = \frac{\text{Anzahl Umdrehungen}}{1 \cdot \text{Sekunde}} = f$$

5.3.2. Umlaufdauer

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

5.3.3. Drehwinkel



$$\varphi = \frac{b}{r}$$

für die Berechnung von b siehe Trigonometrie.

- F_T Trägheitskraft [N]
- m Masse des Körpers [kg]
- a Beschleunigung des Körpers [m/s²]

- F_R Reibungskraft (wirkt entgegen der Bewegungsrichtung) [N]
- F_N Normalkraft (Kraft senkrecht auf die Kontaktfläche) [N]
- μ Reibungskoeffizient []
- μ_0 Haftreibungskoeffizient []
- m Masse des Körpers [kg]
- g Erdbeschleunigung [9.81 m/s²]
- α Anstiegswinkel der schiefen Ebene [°]

- f Drehfrequenz [1/s]
- n Drehfrequenz [1/s]

- T Frequenzdauer, Periodendauer [s]

- b Bogenlänge [m]
- r Radius [m]
- φ Drehwinkel [1] (rad)

5.3.4. Winkelgeschwindigkeit

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

5.3.5. Zusammenhänge

$$\varphi = 2 \cdot \pi \cdot N$$

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

5.4. Bewegung auf einer Kreisbahn

5.4.1. Die Bahngeschwindigkeit v_b

$$v_b = d \cdot \pi \cdot f = \omega \cdot r$$

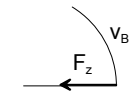
5.4.2. Weg auf der Kreisbahn

$$s_B = \varphi \cdot r$$

$$s_B = \omega \cdot t \cdot r$$

5.5. Zentripetal und Zentrifugalkraft

5.5.1. Die Zentripetalkraft F_z



$$F_z = m \cdot \frac{v_b^2}{r}$$

$$F_z = m \cdot \omega \cdot r$$

$$F_z = \frac{m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot r}{t^2}$$

$$a_z = \frac{v_b^2}{r}$$

$$a_z = \omega^2 \cdot r$$

$$a_z = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r}{t^2}$$

ω	Winkelgeschwindigkeit [1/s] [rad/s]
φ	Drehwinkel [1] [rad]
t	Zeit [s]

φ	Drehwinkel (gesamter) [] [rad]
N	Anzahl Umdrehungen []

f	Frequenz [1/s] [Hz]
---	---------------------

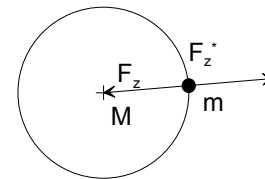
d	Durchmesser der Kreisbahn [m]
f	Frequenz [1/s] [Hz]
v_b	Bahngeschwindigkeit [m/s]

s_B	Zurückgelegter Weg auf der Kreisbahn [m]
r	Radius der Kreisbahn [m]

F_z	Zentripetalkraft [N]
m	Masse des Objektes [kg]
r	Radius der Kreisbahn

a_z	Zentripetalbeschleunigung [m/s ²]
t	Zeit zum durchfahren des Bogens[s]

5.5.2. Zentrifugalkraft F_z^*



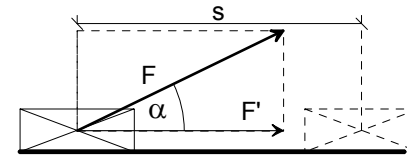
$$F_z^* = -m \cdot a_z$$

5.6. Physikalische Arbeit

5.6.1. Allgemein

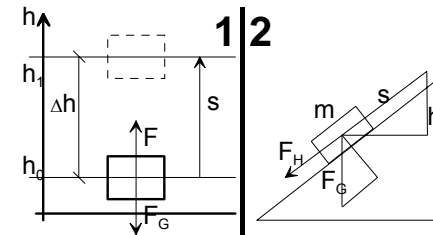
$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

bzw.



$$W = F \cdot \cos \alpha \cdot s$$

5.6.2. Hubarbeit



1.

$$W_H = m \cdot g \cdot \Delta h$$

$$W_H = F_G \cdot (h_1 - h_0)$$

2.

$$W_H = F_G \cdot h =$$

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

F_z^*	Zentrifugalkraft [N]
m	Masse des Körpers [kg]
a_z	Zentripetalbeschleunigung [m/s ²]

W	Physikalische Arbeit [Nm]
F	Kraft in Wegrichtung [N]
s	Strecke [m]
α	Steigungswinkel der Kraft [°]

W_H	Hubarbeit [Nm]
m	Masse [kg]
g	Gravitationskonstante [9.81 m/s ²]
Δh	Höhenänderung [m]
h_0	Höhe im Punkt 0 [m]
h_1	Höhe im Punkt 1 [m]
F_G	Gravitationskraft der Masse [N]
s	zurückgelegte Strecke [m]

5.6.3. Reibarbeit

$$W_R = F_R \cdot s = F_N \cdot \mu \cdot s$$

5.6.4. Beschleunigungsarbeit

$$W_B = F \cdot s = m \cdot a \cdot s$$

Für F in **Bewegungsrichtung**

$$W_B = m \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

**5.6.5. Deformationsarbeit (Feder-
spannarbeit)**

$$W_D = \frac{D \cdot s^2}{2}$$

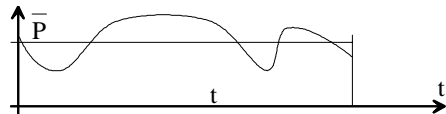
$$W_D = \frac{D \cdot (s_2^2 - s_1^2)}{2}$$

5.7. Physikalische Leistung

5.7.1. Allgemein

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

5.7.2. 4.7.2 Mittlere Leistung



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

**5.7.3. Leistung aus Kraft und Ge-
schwindigkeit**

momentane Leistung

$$P = F \cdot v$$

mittlere Leistung

$$\bar{P} = F \cdot \bar{v}$$

W_R	Reibungsarbeit	[Nm]
F_R	Reibungskraft	[N]
F_N	Normalkraft (am Hang siehe Kräfte am Hang)	[N]
W_B	Beschleunigungsarbeit	[Nm]
F	Kraft in Wegrichtung	[N]
s	Weg in Krafrichtung	[m]
m	Masse des Körpers	[kg]
v_1	Anfangsgeschwindigkeit	[m/s]
v_2	Endgeschwindigkeit	[m/s]

W_D	Federspannarbeit	[Nm]
D	Federkonstante	[N/cm]
s	Deformationsstrecke	[m]

P	Physikalische Leistung	[Nm/s]=[J/s]=[W]
W	Physikalische Arbeit	[Nm]
t	Zeit	[s]

\bar{P} Mittlere physikalische Leistung [W]

v	Geschwindigkeit	[m/s]
\bar{v}	Mittlere Geschwindigkeit	[m/s]

5.8. Wirkungsgrad

5.8.1. Allgemein

$$\eta = \frac{P_{zu} - P_{verlust}}{P_{zu}} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Wirkungsgrad in %

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \cdot 100\%$$

$$\eta_G = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots$$

5.9. Arbeit und Energie

Was ist Energie:

- Gespeichertes Arbeitsvermögen.
- Die Fähigkeit eines Körpers, physikalische Arbeit zu verrichten.

5.9.1. Allgemein

Die Energie ist gespeichertes Arbeitsvermögen, deshalb sind die Formulierungen gleich wie bei der Arbeit

5.9.2. Potentielle Energie

$$W_P = m \cdot g \cdot h$$

**5.9.3. Kinetische Energie, Bewe-
gungsenergie**

$$W_K = \frac{m \cdot (v_2^2 - v_1^2)}{2}$$

5.9.4. Spannungsenergie (Feder)

$$W_S = \frac{D \cdot s^2}{2}$$

5.10. Energieerhaltungsgesetz

5.10.1. Allgemein

$$W_P + W_K + U = \text{konstant\$}$$

$$W_{P1} + W_{K1} + U_1 = W_{P2} + W_{K2} + U_2$$

η	Wirkungsgrad	[] (in %)
P_{zu}	Zugeführte Leistung	[W]
P_{ab}	Abgegebene Leistung	[W]
$P_{verlust}$	Verlustleistung	[W]
W		$\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$

η_G Gesamtwirkungsgrad des Systems []

W_P	Potentielle Energie	[J]/[kg*m ² /s ²]
h	Hubhöhe	[m]

W_K	Kinetische Energie	[J]
v_2	Endgeschwindigkeit	[m/s]
v_1	Anfangsgeschwindigkeit	[m/s]
m	Masse	[kg]

D	Federkonstante	[N/cm]
---	----------------	--------

U Innere Energie (Wärmeenergie) [J]

5.11. Hydrostatik

5.11.1. Druck

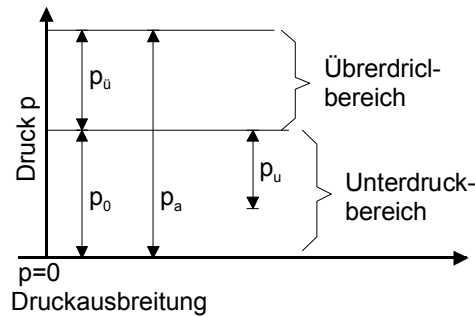
$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}}$$

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

5.11.2. Gebräuchliche Druckeinheiten

Pascal	Pa	1Pa=1N/m ²
Bar	bar	1bar=10 ⁵ Pa
Millibar	mbar	1mbar=100Pa
Hektopascal	hPa	1hPa=100Pa=1mbar

5.11.3. Druckbereiche



5.11.4. Satz von Pascal

In ruhenden, idealen Flüssigkeiten, die der Schwerkraft nicht unterworfen sind, herrscht überall der gleiche Druck.

Druckkräfte wirken stets senkrecht auf die gedrückten Flächen ein.

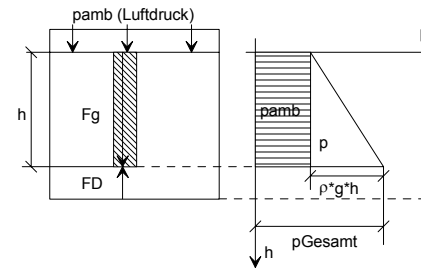
Druckkräfte auf gewölbte Flächen:

Die Druckkraft F_D auf eine gewölbte Fläche ist das Produkt aus dem Druck und der in Krafrichtung projizierten Fläche der Wölbung!!

$$[p] = \frac{N}{m^2} = Pa$$

- p_a Absolutdruck, ist auf das absolute Vakuum bezogen [Pa]
- p₀ Bezugsdruck, willkürlich zu wählender Druck [Pa]
- p_ü Überdruck, wird auf den Bezugsdruck p₀ bezogen [Pa]
- p_u Unterdruck, wird auf den Bezugsdruck p₀ bezogen [Pa]

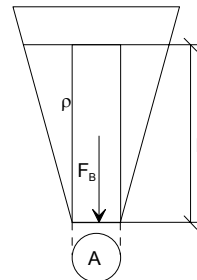
5.11.5. Der Schweredruck



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

$$p_{Gesamt} = p_{amb} + p = p_{amb} + \rho \cdot g \cdot h$$

5.11.6. Die Bodendruckkraft F_B



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

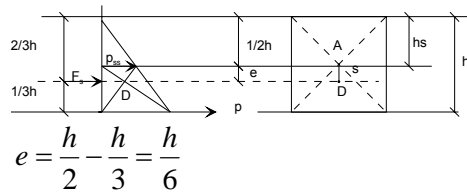
- ρ Dichte der Flüssigkeit [kg/m³]
- g Erdbeschleunigung [m/s²]
- h Flüssigkeitstiefe [m]
- p hydrostatischer Schweredruck [N/m²]

- ρ Dichte der Flüssigkeit [kg/m³]
- g Erdbeschleunigung [m/s²]
- h Flüssigkeitstiefe [m]
- A Fläche des Gefäßbodens [m²]
- F_B Kraft auf den Gefäßboden [N]
- ρ Dichte der Flüssigkeit [kg/m³]

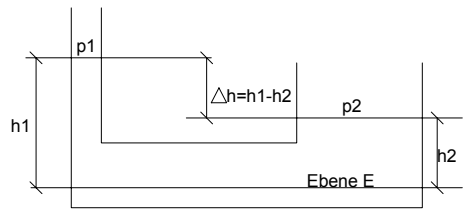
5.11.7. Die Seitendruckkraft F_s

a) $F_s = h_s \cdot \rho \cdot g \cdot A$

b) Angriffspunkt der Seitendruckkraft



5.11.8. Kommunizierende Gefäße



$p = p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2$

$\rightarrow p_2 - p_1 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$

$\rightarrow p_2 - p_1 = \rho \cdot g \cdot (\Delta h)$

F_s Seitendruckkraft [N]

h_s $h_s = \frac{h}{2}$; halbe Flüssigkeitstiefe [m]

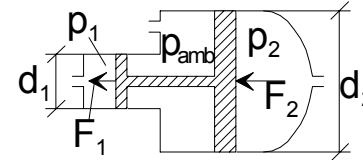
ρ Dichte der Flüssigkeit [kg/m³]

g Erdbeschleunigung [m/s²]

A Fläche der Gefäßwand [m²]

e Abstand des Druckmittelpunktes vom Schwerpunkt []

5.11.9. Hydraulische Druckübersetzung

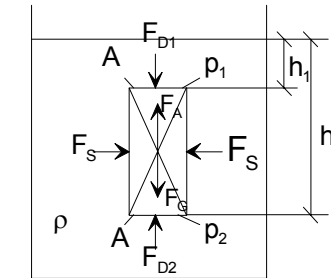


$F_1 = F_2$

$\rightarrow p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2$

$\rightarrow p_1 \cdot d_1^2 = p_2 \cdot d_2^2$

5.11.10. Der Auftrieb



$V_K = V_{Fl}$

$F_A = V_K \cdot \rho_{Fl} \cdot g$

5.11.11. Resultierende Auftriebskraft

$F_{AR} = V_K \cdot g \cdot (\rho_{Fl} - \rho_K)$

HINWEIS: Gilt nur für voll eingetauchte Körper!

F Kraft [N]

p Druck [N/m²]

A Fläche [m²]

d Durchmesser Kolben [m]

p_1 Schweredruck an der Deckfläche [N/m²]=[Pa]

p_2 Schweredruck an der Bodenfläche [Pa]

h_1 Flüssigkeitshöhe Deckfläche [m]

h_2 Flüssigkeitshöhe Bodenfläche [m]

F_{D1} Druckkraft auf Deckfläche [N]

F_{D2} Druckkraft auf Bodenfläche [N]

F_s Seitendruckkraft [N]

ρ Dichte der Flüssigkeit [kg/m³]

A Deck-/Bodenfläche d. Körpers [m²]

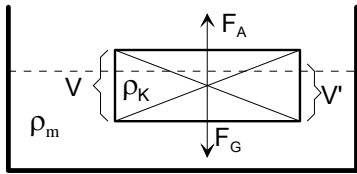
V_K Volumen des Körpers [m³]

V_{Fl} Volumen der verdrängten Flüssigkeit [m³]

F_G Gewichtskraft des Körpers [N]

F_A Auftriebskraft [N]

5.11.12. Schwimmen



$$\frac{V}{V'} = \frac{\rho_m}{\rho_K}$$

5.12. Aerostatik

5.12.1. Allgemein

$p \cdot V = \text{konstant}$

$\rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

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

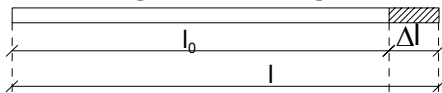
5.12.2. Barometerformel

$$p_h = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot h}{p_0}}$$

5.13. Wärmelehre

5.13.1. Wärmedehnung

5.13.2. Längenausdehnung



$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$$

bzw.

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

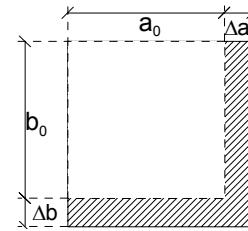
- V Volumen des Körpers [m³]
- V' Verdrängungsvolumen [m³]
- ρ_m Dichte des Mediums [kg/m³]
- ρ_K Dichte des Körpers [kg/m³]

- p Druck [Pa],[bar]
- p₁ Druck vor Veränderung [Pa],[bar]
- p₂ Druck nach Veränderung [Pa],[bar]
- V₁ Volumen vor Veränderung [m³]
- V₂ Volumen nach Veränderung [m³]
- T₁ Temperatur vor Veränderung [K]
- T₂ Temperatur nach Veränderung [K]

- ρ_h Druck in der Höhe h [Pa],[bar]
- ρ₀ Druck in der Höhe 0 [Pa],[bar]
- ρ₀ Luftdichte (1,225 kg/m³) [kg/m³]

- Δϑ Temperaturänderung [K]
- ϑ₁ Temperatur vor Veränderung [K]
- ϑ₂ Temperatur nach Veränderung [K]
- α Längenausdehnungskoeffizient[1/K]
- l₁ Länge nach Temperaturänderung[m]
- l₀ Länge vor Temperaturänderung [m]

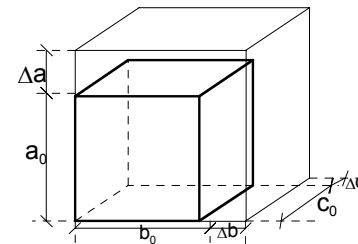
5.13.3. Flächenausdehnung



$$A = A_0 (1 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

$$\Delta A = A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$$

5.13.4. Volumenausdehnung



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

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

5.13.5. Auswirkungen auf die Dichte

$$\rho_T = \frac{m}{V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta)}$$

5.13.6. Relative Raumausdehnung

$$\Delta V_{rel} = V_0 \cdot \Delta \vartheta \cdot \gamma_{rel}$$

$$\gamma_{rel} = \gamma_{fl} - \gamma_G$$

5.13.7. Raumausdehnung von Gasen

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273.16K} \cdot \Delta \vartheta \right)$$

- A Fläche nach Temperaturänderung[m²]
- ΔA Flächenänderung [m²]
- A₀ Fläche vor Temperaturänderung[m²]
- α Längenausdehnungskoeffizient[1/K]
- Δϑ Temperaturänderung [K]

- V Volumen nach Veränderung [m³]
- V₀ Volumen vor Temperaturveränderung [m³]
- γ Raumausdehnungskoeffizient (3α)[1/K]

- m Masse des Objekts [kg]
- ρ_T Dichte des erwärmten Objektes [kg/m³]

- ΔV_{rel} Relative Volumenänderung unter Berücksichtigung der Gefäßausdehnung [m³]
- γ_{fl} Raumausdehnungskoeffizient der Flüssigkeit [1/K]
- γ_G Raumausdehnungskoeffizient des Gefäßes [1/K]

5.14. Wärmeenergie

5.14.1. Berechnung

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

$$Q = m \cdot c \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

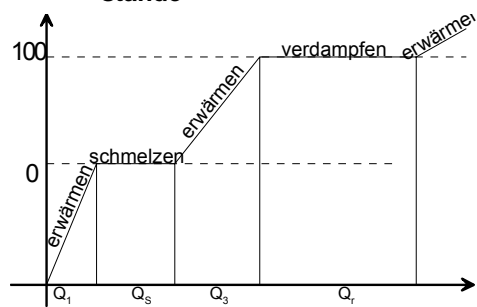
5.14.2. Wärmemischung

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots = Q_m$$

$$n_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot T_2 =$$

$$T_m (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2)$$

5.14.3. Energie und Aggregatzustände



$$Q_{total} = Q_1 + Q_s + Q_2 + Q_3$$

5.14.4. Schmelzwärme

$$Q_s = m \cdot q_s$$

5.14.5. Verdampfungswärme

$$Q_r = m \cdot r$$

Q Wärmeenergie [J]=[Ws]=[Nm]
 c spezifische Wärmekapazität [J/kg K]
 $\Delta\vartheta$ Temperaturänderung [K]

Q_m Mischenergie [J]
 T Temperatur [K]

Q_s Schmelzwärme (Energie) [J]
 m Masse [kg]
 q_s Spez. Schmelzwärme (Tabellenbuch) [J/kg]
 r Spez. Verdampfungswärme (TB)[J/kg]