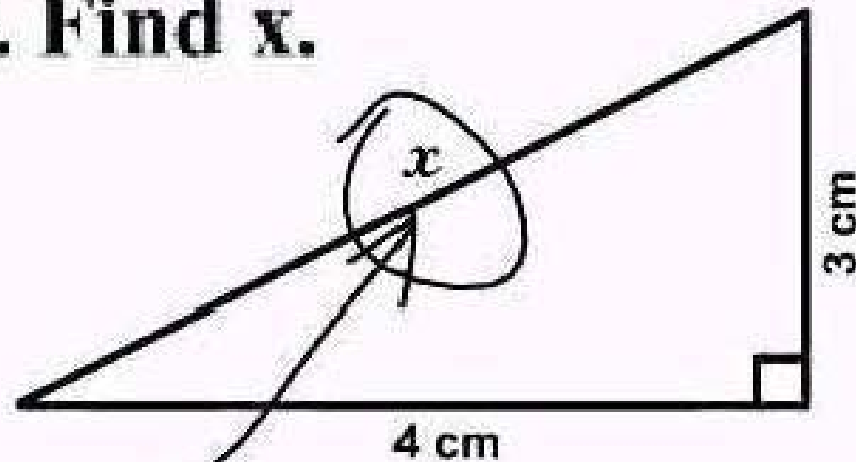


Repetitorium Physik

Christian Hauptmann Oleksandr Popovych



3. Find x .



Here it is



Universität zu Köln



Medizinische Fakultät

[A-Z](#) | [Personen](#) | [Intern](#) | [Kontakt](#) | [Sitemap](#) | [Suche](#) | [Impressum](#) | [Drucken](#) | [English](#)

Uni Köln - Medizinische Fakultät - Lehre/Studium - Humanmedizin - Modellstudiengang - **Vorklinik 1**

Aktuelles

Über die Fakultät

Dekanate

Einrichtungen

Lehre/Studium

- Humanmedizin
 - Modellstudiengang
 - Regelstudiengang
 - Skills Lab
 - Studienberatung
 - Anwärter/Bewerber
 - Ordnungen
 - Mentorenprogramm
 - Fachschaft
- Zahnmedizin
- Molekulare Medizin
- Medizindidaktik
- Neurowissenschaften
- Gesundheitsökonomie
- IMES

Forschung

Modellstudiengang - 1. vorklinisches Semester

Aktuelle Semesterinformationen

Stundenplan

Semesterveranstaltungen / Downloads

Skills Lab

StudiPat

» Aktuelle Semesterinformationen

Das Informationsheft für neue Erstsemester kann hier heruntergeladen werden und enthält alle wichtigen Informationen zum Studienbeginn: [Informationsheft Sommersemester 2008 \[.pdf\]](#)

» Semesterveranstaltungen / Downloads

- Fach / Querschnitt:

- ♦ **Biologie**
- ♦ **Chemie**
 - Allgemeine Informationen
 - Altklausuren zum Download
- ♦ **Einführung in die Allgemeinmedizin**
- ♦ **Physik**
 - Download der Vorlesungsfolien
 - Praktikumsablauf [.pdf]
 - Übungsaufgaben zum Download
 - Vorlesung Repetitorium Physik, Sommersemester 2008
- ♦ **Medizinische Terminologie**

Aufgabensammlungen aus dem Internet:

<http://www.semibyte.de/dokuwiki/nat:physik>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Mechanik>

[http://de.wikiversity.org/wiki/Kurs:Herleitungs-
und_Aufgabensammlung_\(Physik\)](http://de.wikiversity.org/wiki/Kurs:Herleitungs-und_Aufgabensammlung_(Physik))

<http://www.physik.uni-wuerzburg.de/physikonline/>

Elastizität

ist die Eigenschaft eines Körpers oder Werkstoffes, unter Krafteinwirkung seine Form zu verändern und bei Wegfall der einwirkenden Kraft in die Ursprungsform zurückzukehren (Beispiel: Sprungfeder). Eine nach Krafteinwirkung bleibende Formveränderung wird demgegenüber als Plastizität bezeichnet (Beispiel: Knetmasse). Das Teilgebiet der Physik, das sich mit elastischen Verformungen befasst, wird Elastizitätstheorie genannt. Der einfachste Fall, das linear-elastische Verhalten, wird durch das Hookesche Gesetz beschrieben.

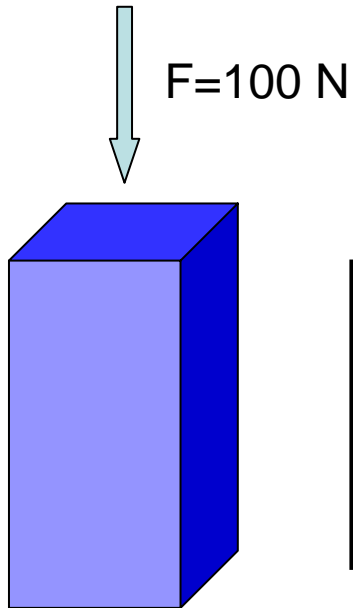
Mechanismus

Wirkt auf einen Körper eine Kraft ein, so werden dessen Abstände zwischen den Atomen um ein geringes Maß vergrößert oder verkleinert. Die dazu aufgewendete mechanische Energie wird gespeichert und das Werkstück ändert seine äußere Form. Nach der Entlastung kehren die Atome wieder an ihre Ausgangsplätze zurück und der Körper nimmt seine ursprüngliche äußere Form wieder an. Die gespeicherte kinetische Verformungsenergie wird teils an den kraft-ausübenden Gegenstand abgegeben, teils kann sie zu einer gegenläufigen Reaktionsbewegung des Körper führen oder anliegenden Körpern eine Stoßbeschleunigung erteilen (Beispiele: springender Ball, Bogen (Waffe)).

Wird bei der Krafteinwirkung ein bestimmter Wert überschritten, so erfolgt statt der elastischen eine plastische Deformation. Dieser Wert ist jeweils materialabhängig und wird als Elastizitätsgrenze bezeichnet. Im Spannungs-Dehnungs-Diagramm ist es der Punkt, in dem die Spannungskurve vom linearen Verlauf abweicht. Dieser Punkt ist aber nicht eindeutig definiert, sondern von der Messmethode abhängig. Daher lässt sich u.a. eine zwingend eindeutige Zuordnung von Körpern und Materialien zu den Eigenschaften Elastizität und Plastizität häufig nicht durchführen, vielmehr gibt es nach Ausmaß, Art und Dauer der Krafteinwirkung eine Kombination aus beiden Eigenschaften oder einen Wechsel von elastischem zu plastischem Verhalten.

Aufgabe:

Auf einen metallischen Quader der Abmessungen h : 10cm, b : 5cm, t : 5cm wird eine Kraft von 100 N auf die Oberseite ausgeübt. Was passiert?

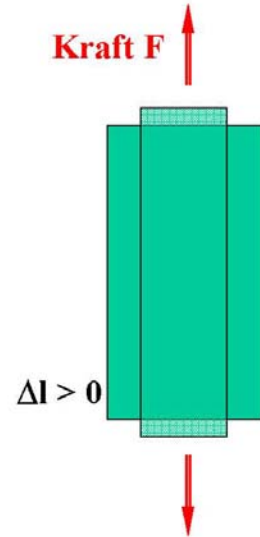


Welche Aussage stimmt?

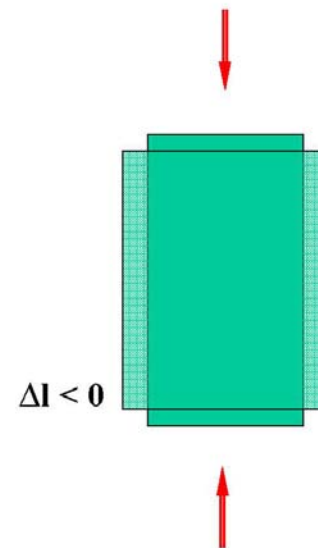
1. Der Quader verändert sich nicht ($h'=h$, $b'=b$, $t'=t$)
2. Der Quader wächst in seiner Höhe ($h' > h$)
3. Der Quader wird kleiner ($h' < h$)
4. Der Quader wird breiter ($b' > b$, $t' > t$)

Elastizität und Deformation fester Körper

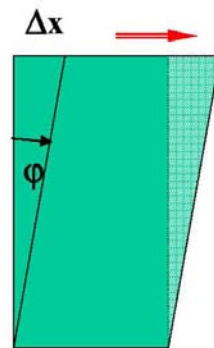
Dehnung



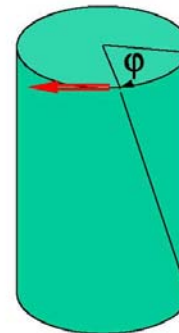
Stauchung



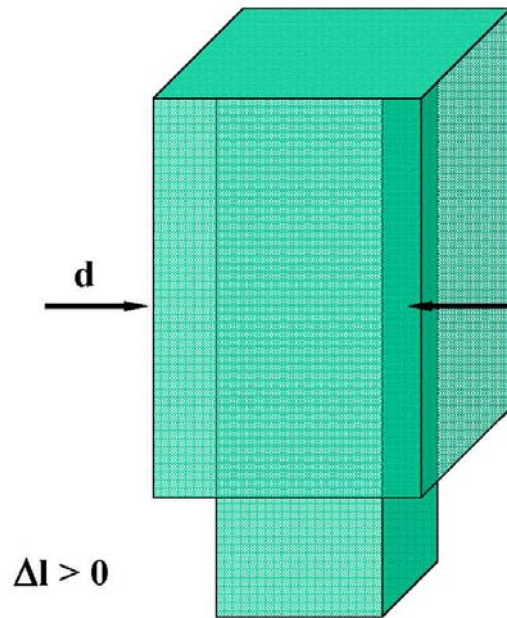
Scherung



Torsion (Verdrillung)



Dehnung



$$\Delta l \propto l \cdot F / A$$

$$\frac{\Delta l}{l} \propto \frac{F}{A}$$

$$\varepsilon \propto \sigma$$

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

σ mech. Spannung

E-Modul Materialkonstante

$[E] = \text{N/m}^2$

Homogene Materialien: $\sigma = \text{const.}$

Stahl $E = 20 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$

Knochen $E = 2 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$

Querkontraktion

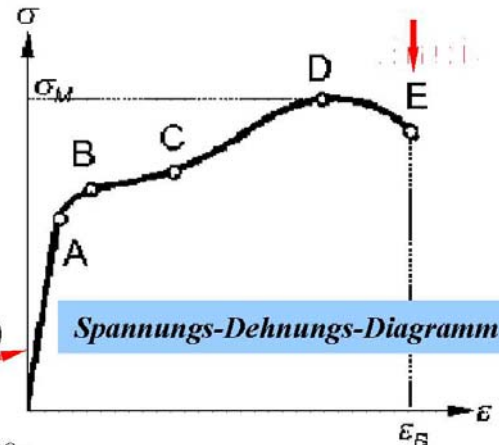
$$\frac{\Delta d}{d} = \mu \frac{\Delta l}{l}$$

μ Poissonzahl typisch 0,2 - 0,5

Elastischer Bereich (bis A):

Dehnung \propto Spannung (Linearität)

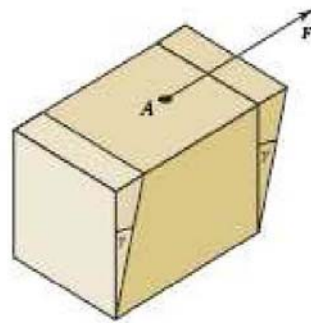
Hook'sches Gesetz



Elastizitätsmodule

Metallische Werkstoffe bei 20 °C		Nichtmetallische Werkstoffe bei 20 °C	
Material	E-Modul in kN/mm^2	Material	E-Modul in kN/mm^2
Ferritischer Stahl	210	CFK parallel zur Faser	150
Austenitischer Stahl	195	Glas	50 bis 90
Sphäroguss	170 bis 185	Glasfaser	55 bis 87
Grauguss	90 bis 155	Beton	22 bis 45
Messing	78 bis 123	Knochen	18 bis 21
Kupfer	120	Holz parallel zur Faser	7 bis 20
Titan	105	CFK quer zur Faser	13
Aluminium	70	Epoxid	~2,5
Magnesium	42	Holz quer zur Faser	0,23 bis 1,33
Blei	16	Silikonkautschuk	0,01 bis 0,1

Scherung und Torsion



$$\tau = \frac{F}{A} = G \cdot \alpha$$

Schub-Modul G Materialkonstante

$$[G] = \text{N/m}^2$$

Stahl $E = 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$

Knochen $E \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$

Torsion eines Stabes



$$\varphi = \frac{2 \cdot l \cdot T}{\pi \cdot G \cdot r^4}$$

φ Verdrehwinkel

l Länge

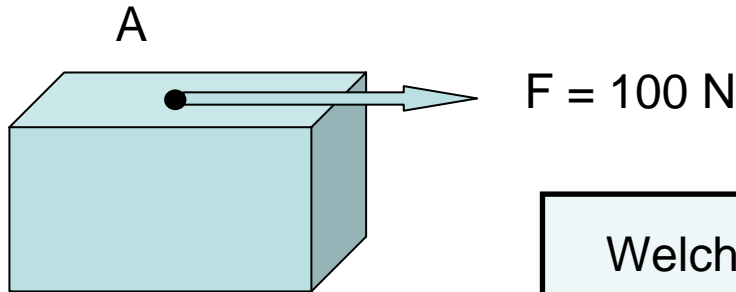
T Drehmoment

r Radius

Knochen	Bruch- drehmoment [Nm]	Bruch- drehwinkel
Oberschenkel	140	1,5°
Schienbein	100	3,4°
Wadenbein	12	35,7°

Aufgabe:

Auf einen metallischen Quader ($E=8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$) der Abmessungen h : 5cm, b : 10cm, t : 5cm wird eine Kraft von $F=100 \text{ N}$ ausgeübt. Um welchen Winkel α wird der Quader geschert? Hilfe: $F/A = E \cdot \alpha$



Welche Antwort stimmt?

1. 0.5 Grad
2. 1.0 Grad
3. 10.0 Grad
4. $2.5 \cdot 10^{-7}$ Grad
5. $2.5 \cdot 10^{-5}$ Grad

$$\alpha = F/(A \cdot E)$$

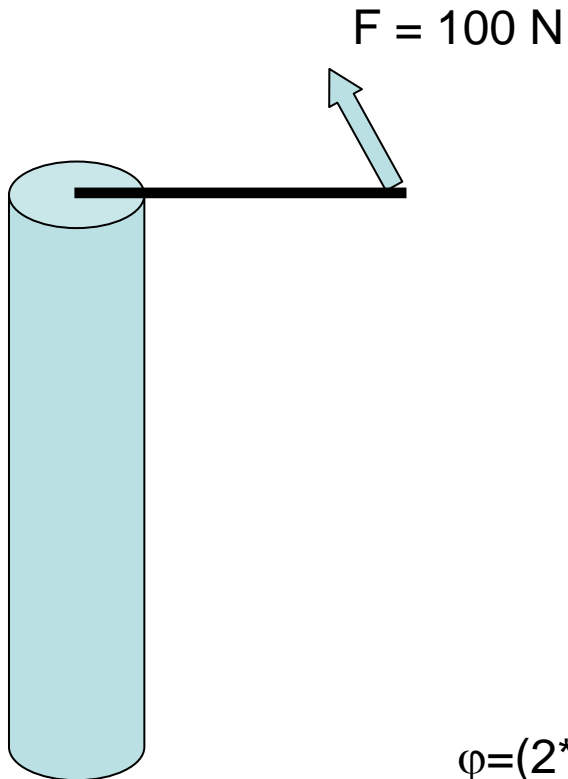
$$\alpha = 100 \text{ N} / (0.1 \text{ m} \cdot 0.05 \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2)$$

$$\alpha = 100 \text{ N} / 4 \cdot 10^8 \text{ N} = 2.5 \cdot 10^{-7} \text{ Grad}$$

Aufgabe:

Auf einen metallischen Stab (Radius 0.2 cm, Laenge 30 cm, $E=8 \cdot 10^{10}$ N/m²) wird mittels eines starren Hebels von 20 cm Laenge eine Kraft von $F=100$ N ausgeübt. Um welchen Winkel α wird der Stab verdreht?

Hilfe: $\varphi = (2LT)/(\pi ER^4)$; T =Drehmoment

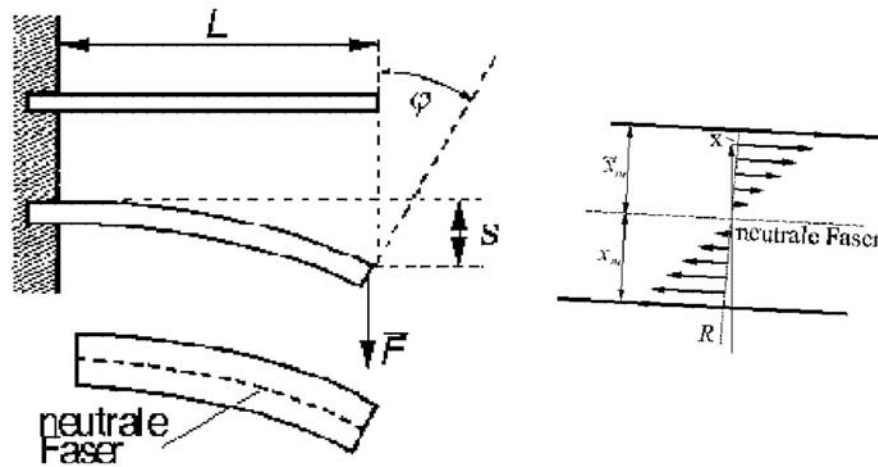


Welche Antwort stimmt?

1. 0 Grad
2. 0.0027 Grad
3. 0.05 Grad
4. 1 Grad
5. 3 Grad

$$\varphi = (2 \cdot 0.3 \text{ m} \cdot 100 \text{ N} \cdot 0.2 \text{ m}) / (\pi \cdot 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \cdot 0.002^4 \text{ m}^4)$$
$$\varphi = 12 \text{ Nm}^2 / 4 \text{ Nm}^2 = 3 \text{ Grad}$$

Biegung



Knickung; Bruch

Röhrenknochen

Halme

leicht und trotzdem stabil

analog für Torsionen

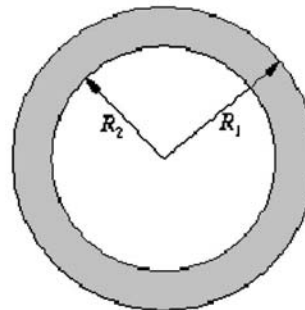
zur Stabilität tragen

hauptsächlich

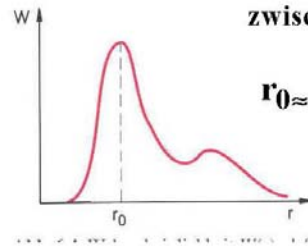
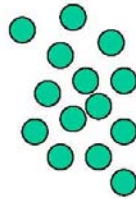
die äusseren

Bereiche bei

$(F_{Knick} \propto r^4/l^2)$



Hydrostatik



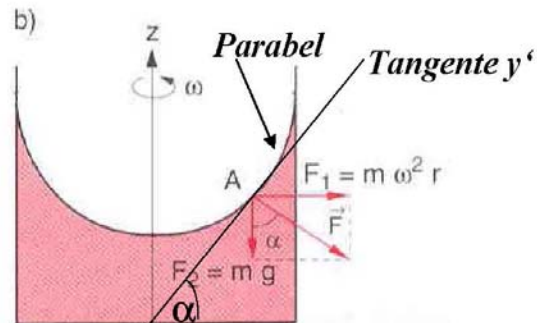
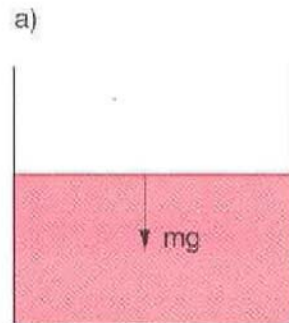
Mittlerer Abstand
zwischen den Teilchen

$$r_0 \approx \sqrt[3]{\frac{V_{\text{Mol}}}{N_A}}$$

Flüssigkeiten sind frei verschiebbar, wenn man die Reibungs- und Oberflächeneffekte vernachlässigen kann.

Daher ist die Oberfläche immer *senkrecht zur Gesamtkraft*.

Solche Flüssigkeiten nennt man *ideale Flüssigkeiten*.



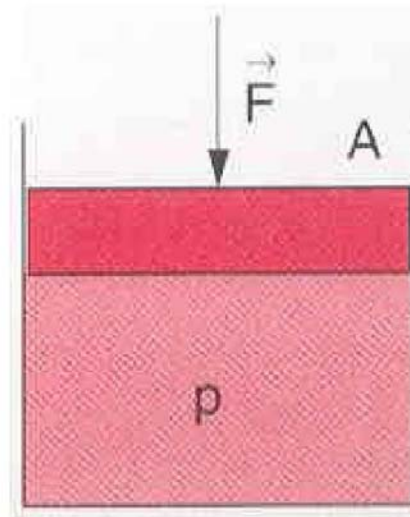
$$\tan \alpha = y' = \frac{\omega^2}{g} r \quad \text{Tangente}$$

$$y = \int \frac{\omega^2}{g} r dr = \frac{\omega^2}{2g} r^2 \quad \text{Oberflächenform}$$

Statischer Druck in einer Flüssigkeit

Hydrostatischer Druck $p = \frac{|\vec{F}|}{A}$ *Skalar!*

Kraftkomponente senkrecht zur Oberfläche.



$p = \text{const.}$

ohne Eigengewicht der Flüssigkeit

$[p] = \text{N/m}^2$

$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa (Pascal)}$

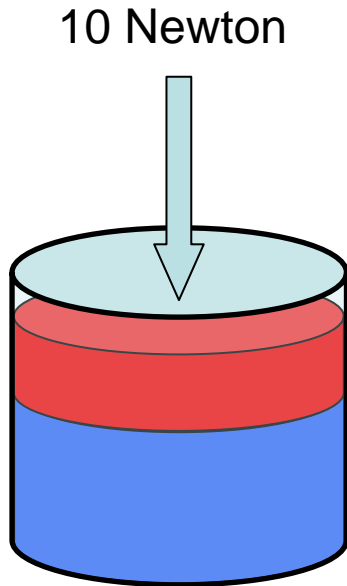
$= 10^{-5} \text{ bar}$

$1 \text{ bar ca. Luftdruck} = 760 \text{ mm Hg}$

$= 760 \text{ Torr}$

Aufgabe:

Auf eine Flüssigkeit (Wasser) in einem zylindrischen Becher (Höhe 10cm, Radius 10cm) wird mit einem Stempel eine Kraft von 10 Newton ausgeübt. Wie groß ist der Druck in der Flüssigkeit wenn der Schweredruck vernachlässigt werden kann?

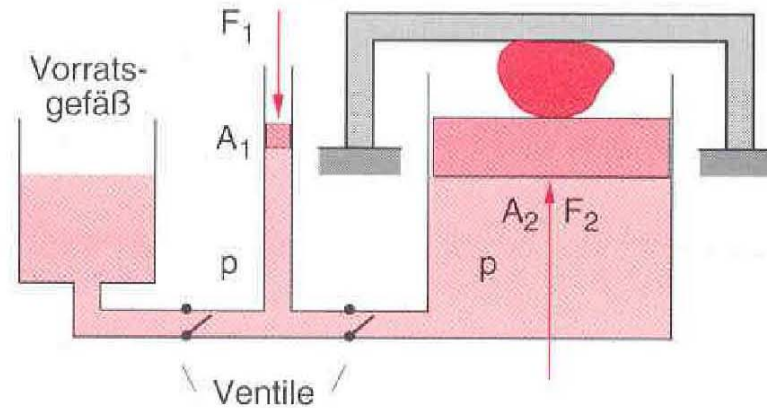


Was ist richtig:

1. 10 N/m²
2. ca. 100 Pascal
3. ca. 318 Pascal
4. ca. 318 N/m²
5. ca. 880 Pascal

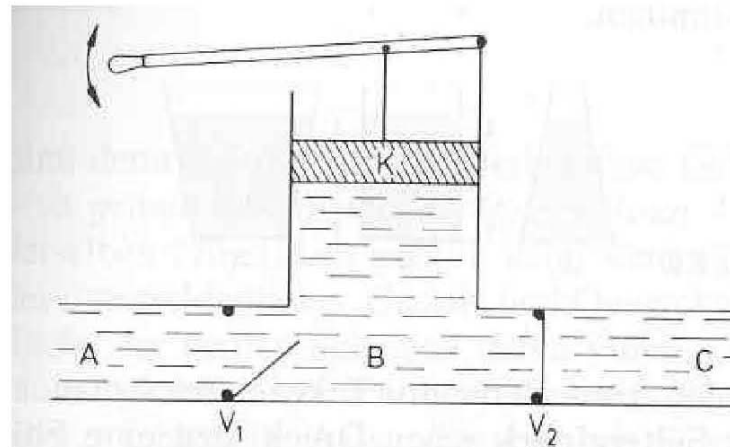
$$p = F/A = 10\text{N}/(\pi R^2) = 10\text{N}/(\pi 0.1^2\text{m}^2) \cong 318 \text{ N/m}^2 = 318 \text{ Pascal}$$

Anwendung: Hydraulische Presse

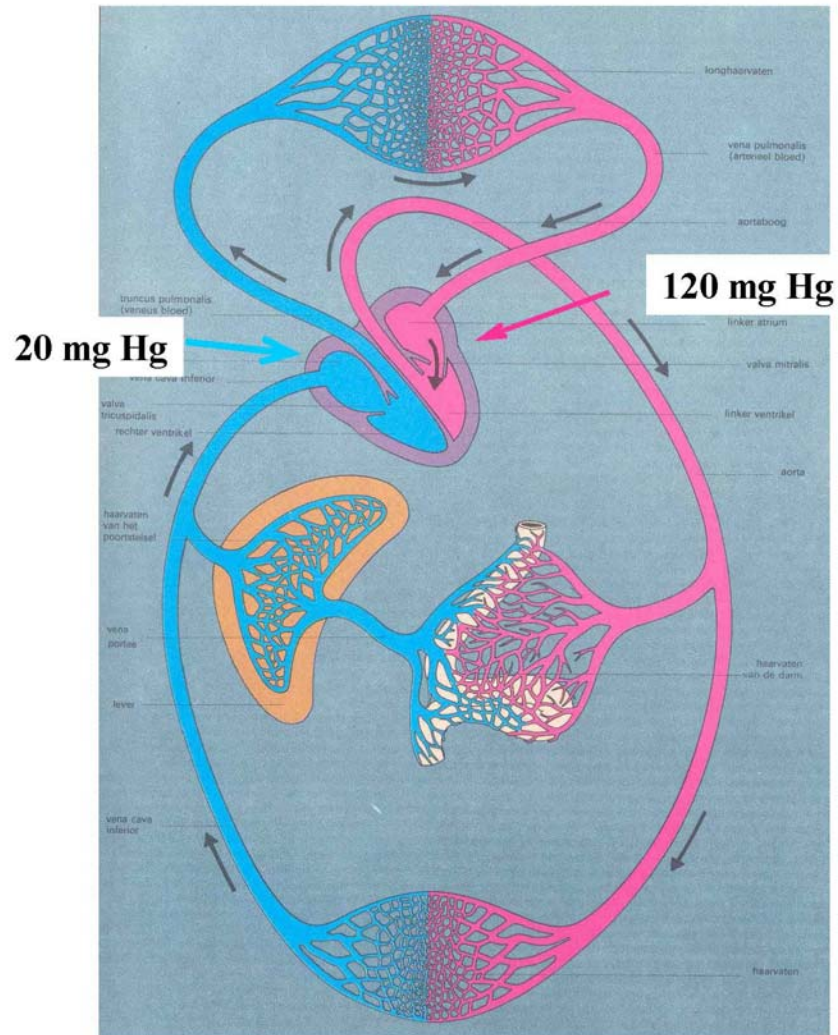


Kräfte $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$ **Arbeit** $W_1 = F_1 \Delta x_1 = F_2 \Delta x_2 = W_2$
 $p \cdot A_1 \Delta x_1 = p \cdot A_2 \Delta x_2$
 $= p \cdot dV$

Kolbenpumpe (Herz)



Blutkreislauf



$$\begin{aligned}
 W &= p \cdot dV \\
 &\approx (20 + 120) \text{ mm Hg} \cdot 70 \text{ cm}^3 \\
 &= 1,3 \text{ J / Herzschlag}
 \end{aligned}$$

$$1 / \text{s} \rightarrow 86400 \times 1,3 \text{ J} = 112 \text{ kJ (ca. 1\% der Energieaufnahme)}$$

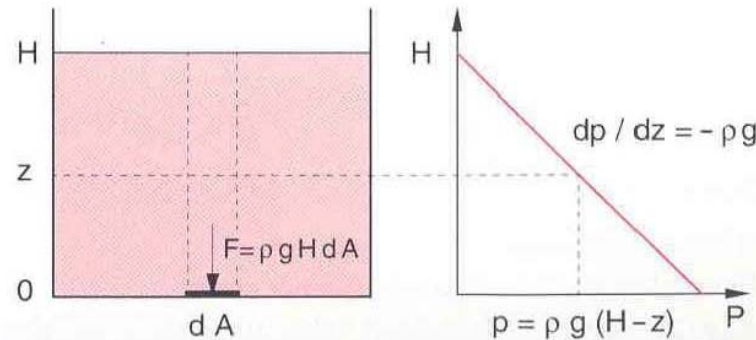
Schweredruck

Eigengewicht eines Volumenelements ist:

$$\rho g dV$$

ρ : Dichte der Flüssigkeit
 $\rho = \text{const}$ (inkompressibel)

Der Druck hängt nur von der Flüssigkeitshöhe H ab



$$\frac{dp}{dz} = \rho g \Rightarrow p(z) = \int_z^H \rho g dz = \rho g (H - z)$$

Kompressibilität von Flüssigkeiten

$$W = -\int p dv$$

$$\kappa = -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}$$

$$= \int_{p_1}^{p_2} \kappa V p dp$$

$$= \frac{1}{2} \kappa V (p_2^2 - p_1^2) \quad \kappa, V \approx \text{const}$$

Ideales Gas: $\kappa = 1/p$
 $= 10^{-5} \text{ m}^2/\text{N} \quad 1 \text{ bar}$

Wasser: $\kappa \approx 5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$

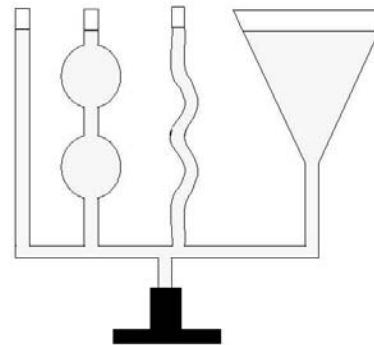
Kommunizierende Röhren

*Schlauchwaage
(Antike, Bauwesen)*



Hydrostatische Paradoxon

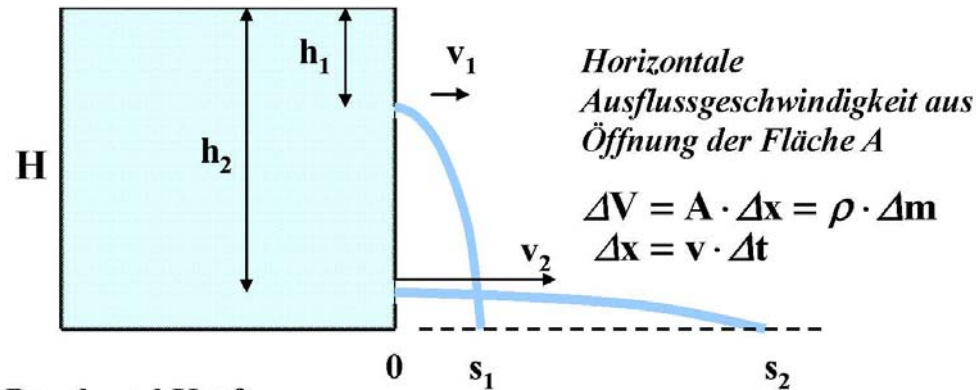
$$p = \rho \cdot g \cdot h$$
$$= F/A$$



Im Trichter ist der Flüssigkeitsstand aufgrund geringerer Kapillarkraft niedriger.
Durch einen Tropfen Spülmittel im Wasser wird dieser Effekt etwas kleiner.

Flüssigkeitsheber

Schweredruck - Torricelli Gesetz



über Druck und Kraft

$$p = F/A = \Delta m \dot{v} / A = \frac{\Delta m}{A} \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$= \frac{\Delta m}{A \cdot v \Delta t} \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\int_0^v v dv = g \int_0^h dh \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{2g \cdot h}$$

einfacher über Energiesatz

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \Delta m v^2 &= p \cdot \Delta V \\ &= \rho \cdot gh \cdot \Delta V \\ &= \frac{\Delta m}{\Delta V} \cdot gh \cdot \Delta V \end{aligned}$$

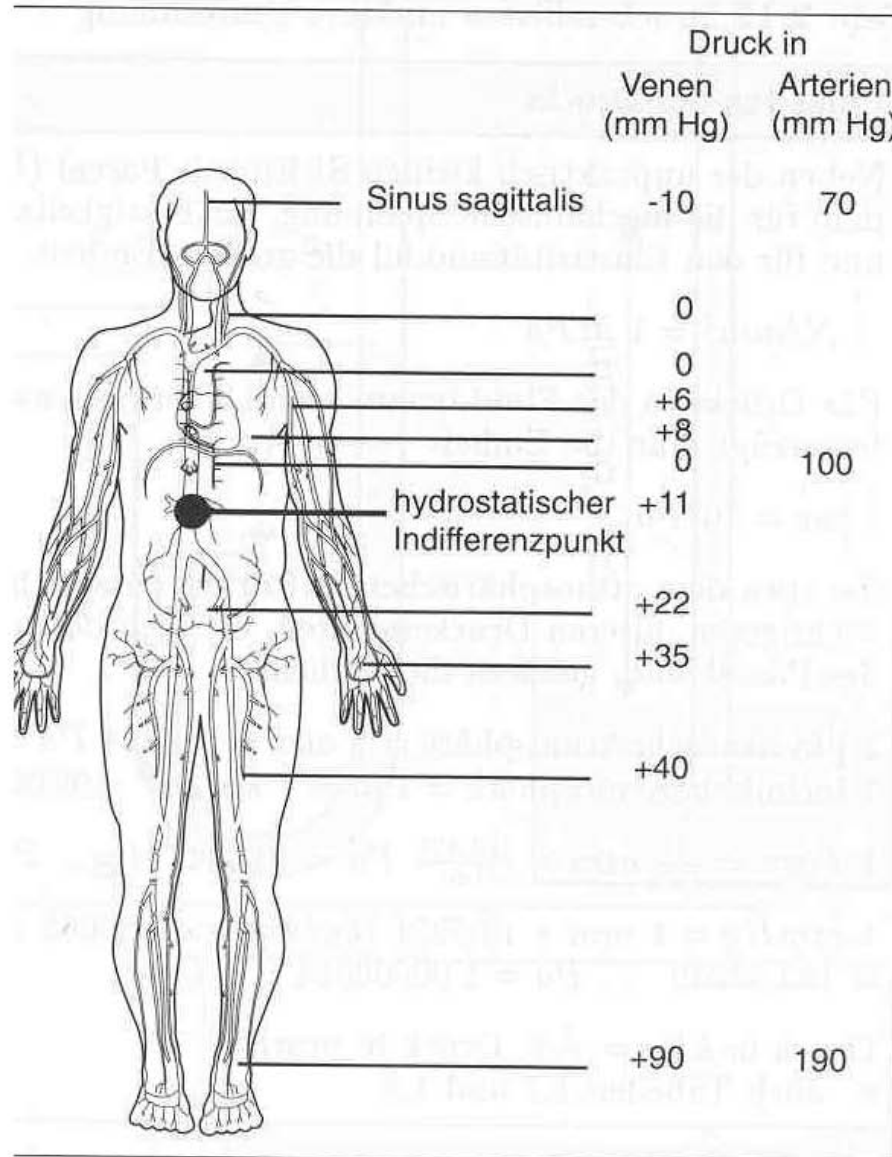
Reichweite s

$$\left. \begin{aligned} s &= v \cdot t \\ H - h &= \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned} \right\}$$

$$s = \sqrt{4(H - h)h}$$

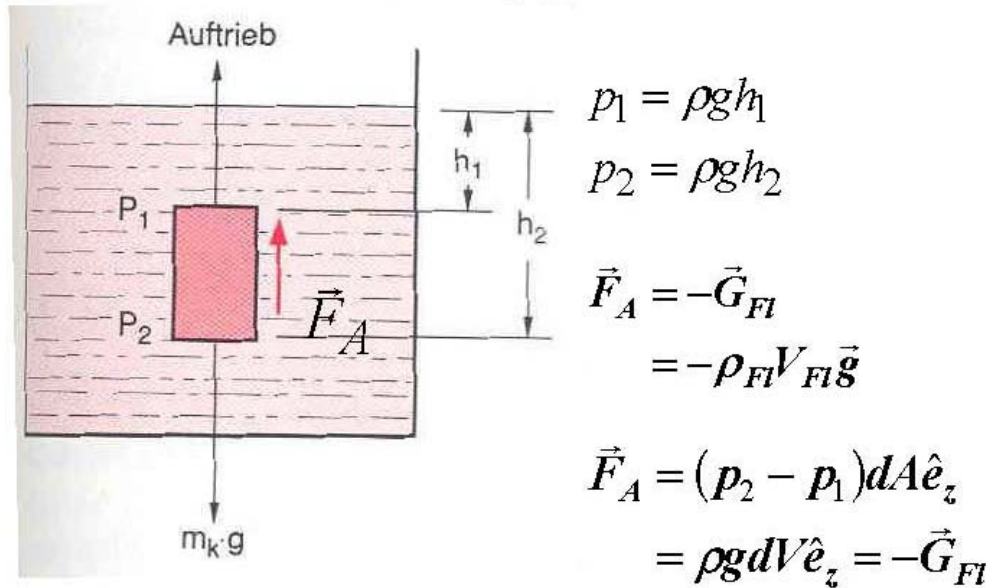
$$\text{mit } \frac{ds}{dh} = 0 \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = s(H/2)$$

Beispiel: hydrostatische Blutdruckänderungen



Archimedisches Prinzip und Auftrieb

In einer Flüssigkeit kompensiert das Gewicht des Flüssigkeitsquaders $\rho g dV$ den Druckunterschied.



Körper mit Dichte ρ_K eintauchen: Dichtemessung

$$\vec{F}_A = \rho g dV \hat{e}_z = -\vec{G}_{Fl}$$

$$\vec{F}_G = -\rho_K g dV \hat{e}_z = \vec{G}_K$$

$$\vec{G} = \vec{G}_K - \vec{G}_{Fl}$$

$\rho_K > \rho_{Fl}$ Körper sinkt bis Boden

$\rho_K < \rho_{Fl}$ Körper taucht auf, bis daß $\vec{G}_K = -\vec{F}_A$

Analog in Gasen (Heißluftballon)

Druckmessung

z.B. Quecksilbermanometer *Torricelli (1608-47)*

$$\cancel{p_0} + p_{Hg} = p$$

für Hg: $p > p_0 = 0.1 \text{ Pa}$

$$\rho_{Hg} g h \cong p$$

$$\rho_{Hg} g h_{Hg} = 13595 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot h_{Hg}$$

Ältere Einheiten

Mittlerer Luftdruck in Meereshöhe ~ 760

1 mm Hg \equiv 1 Torr

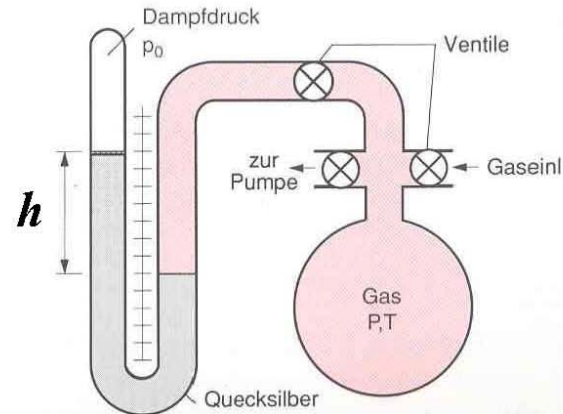
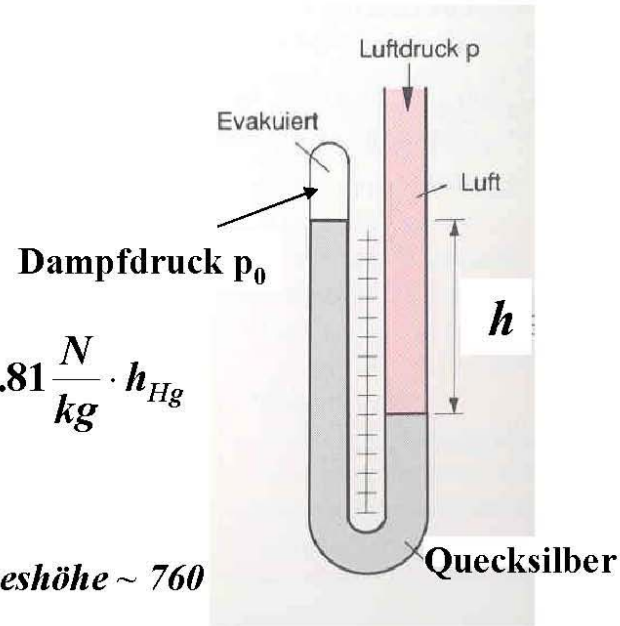
$1 \text{ atm} \equiv 760 \text{ Torr} = 101325 \text{ Pa} = 1013.25 \text{ mbar}$

1 Torr = 133.367 Pa

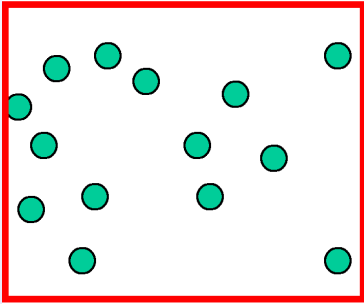
1 mbar = 1 hPa = 100 Pa

1 bar \approx 10 N/cm²

*Versuchsanordnung
Zur Druckmessung*



Gase



V, p, T

Behälter mit **Volumen V**

Druck $p = \frac{|\vec{F}_\perp|}{A}$

Temperatur **T**

Dichte = Masse/Volumen
 $\rho = M / V$

**p, V und T
 M** beschreiben den Zustand,
gibt die Stoffmenge an

Gase

$\rho \neq \text{constant}$ (komprimierbar)

Luft $\rho = 1.2 \text{ g/l} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ $20^\circ\text{C}, 1 \text{ bar}$

Flüssigkeit

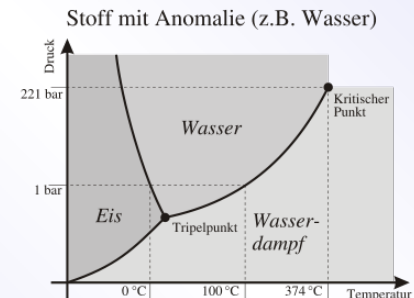
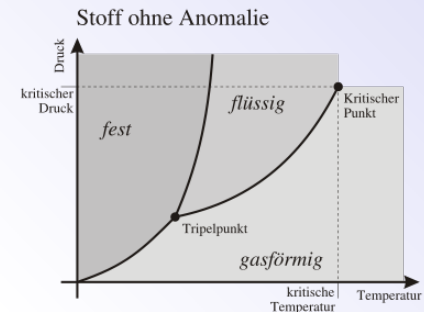
Dichte (fast) unabhängig vom Druck
(fast) keine Volumenänderung ΔV

$\rho = \text{constant}$ (inkompressibel)

Wasser $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

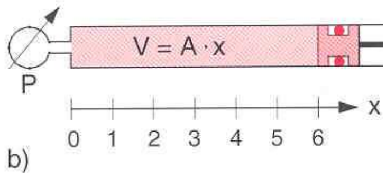
Aggregatzustände:

- **fest:** formstabil bis zum Festigkeitgrenze
- **flüssig:** nicht form-, wohl aber volumenstabil
- **gasförmig:** weder form- noch volumenstabil



Druck und Volumen (Temperatur T konstant)

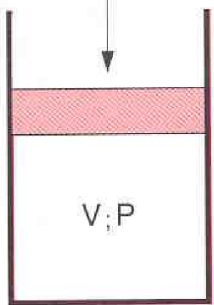
Druckänderung $\Delta p \Leftrightarrow$ Volumenänderung ΔV



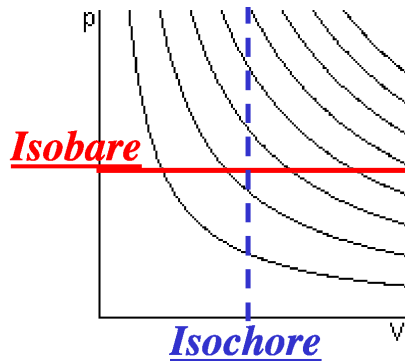
Experiment:

V kleiner $\Leftrightarrow p$ größer

$$F = pA$$



pV – Diagramm



$T = \text{const.}$

Isothermen

T_2

T_1

$$T_1 < T_2$$

Gase lassen sich im Gegensatz zu Festkörpern und Flüssigkeiten expandieren und bis zu einem gewissen Grad auch komprimieren.

Die Dichte von Gasen ist bei Atmosphärendruck etwa um drei Größenordnungen kleiner als in der festen und flüssigen Phase.

Boyle-Mariottesches Gesetz

$$p \cdot V = \text{const.}$$

$$p/\rho = \text{const.}'$$

Ideales Gas

$$[pV] = [W] = \text{Nm}$$

H_2 , He gute Näherung bei Raumtemperatur

Ideales Gas:

Gasteilchen (Massepunkte) stoßen (Wechselwirkungszeit ist klein) vollkommen elastisch

Gasdichte

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\text{const}} \cdot p \quad M \text{ unverändert}$$

Aufgaben

Wieviel Liter Gas kann aus einer 10l Druckgasflasche entnommen werden, wenn das Gas von 200 bar auf 2 bar entspannt wird? Die Temperatur des Gases soll sich dabei nicht ändern. ■

geg.: $V_1 = 10 \text{ l}$, $p_1 = 200 \text{ bar}$, $p_2 = 2 \text{ bar}$, $T = \text{const.}$

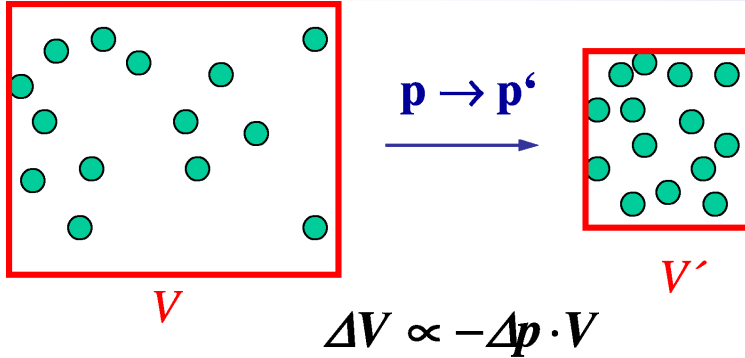
ges.: $V_2 = ?$

I. $p_1 V_1 = p_2 V_2$; $V_2 = \frac{p_1}{p_2} V_1$

II. $V_{\text{entnehmbar}} = V_2 - V_1$ da ein Gasvolumen V_1 in der Druckgasflasche bleibt

$$V_{\text{entnehmbar}} = V_2 - V_1 = \frac{p_1}{p_2} V_1 - V_1 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_2} - 1 \right) = 990 \text{ l}$$

Kompressibilität κ , Kompressionsmodul $K = 1/\kappa$



$$\kappa = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad [\kappa] = \frac{m^2}{N} = \frac{1}{Pa} \quad T = \text{const.}$$

allgemein gültige Definition für alle Aggregatzustände $\kappa K = \kappa K(p, T)$

für Gase, die $pV = \text{const.}$ genügen

$$V = \frac{\text{const}}{p} \Rightarrow \frac{dV}{dp} = -\frac{\text{const}}{p^2} = -\frac{V}{p}$$

$$\kappa = \frac{1}{p}$$

Beispiele für κ : Luft $10^{-5} / Pa$ Zimmertemperatur
Wasser $10^{-9} / Pa$ $10^\circ C$

Der **Kompressionsmodul** beschreibt, welche allseitige Druckänderung nötig ist, um eine bestimmte Volumenänderung hervorzurufen

$$\frac{\Delta V}{V} = -\kappa \Delta p$$

(negatives Vorzeichen, weil V mit p abnimmt)

Kompressionsmodul K :

Stahl: $1,6 \cdot 10^{11} Pa$

Glas: $3,5 \cdot 10^{10} Pa$

Diamant: $4,42 \cdot 10^{11} Pa$

Barometrische Höhenformel

ρ klein

Gase sind komprimierbar: $\frac{dV}{dp} = -\frac{V}{p}$

Eine Gassäule hat eine variable Dichte und übt einen von der Höhe abhängigen Druck aus:

Für gleiche Gasmasse m ergibt das Gesetz von Boyle-Mariotte:

$$p_0 V_0 = pV \quad \text{mit} \quad \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \frac{p_0}{\rho_0} = \frac{p}{\rho}$$

Druckabnahme durch Steigen um dh

$$\begin{aligned} dp &= -\rho(h) \cdot g \cdot dh \\ &= -(\rho_0 / \rho_0) p(h) \cdot g \cdot dh \end{aligned}$$

$$\int_{p(h_0)}^{p(h)} \frac{dp}{p} = - \int_{h_0}^h \frac{\rho_0}{p_0} g dh$$

$$\ln(p/p_0) = -\frac{\rho_0}{p_0} g(h-h_0) \quad p_0 = p(h_0), h_0 = 0$$

$$p(h) = p_0 e^{-\frac{\rho_0}{p_0} gh} \quad h=0 \rightarrow p=p_0$$

Hier Annahme: $T = \text{const.}$

p_0, h_0, ρ_0

ρ groß

Atmosphärischer Luftdruck entsteht durch das Gewicht eines Gases – wie bei Flüssigkeiten – ein Schweredruck.

Als Normdruck bezeichnet man den Druck, den die Lufthülle bei normalen Wetterbedingungen in Meereshöhe auf die Erdoberfläche ausübt:

$$\begin{aligned} 760 \text{ Torr} (760 \text{ mmHg}) &= \\ 1.013,35 \text{ hPa} &= 1.013,35 \text{ mbar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_a^b \frac{dx}{x} &= \ln(x) \Big|_a^b = \\ \ln(b) - \ln(a) &= \ln\left(\frac{b}{a}\right) \end{aligned}$$

$$\text{Für die Dichte } \rho = \rho_0 e^{-\frac{\rho_0}{p_0} gh}$$

Barometrische Höhenformel

$$\rho \neq \text{const.}$$

$$p(h) = p_0 e^{-\frac{\rho_0}{p_0} gh}$$

Skalenhöhe ($p = p_0 e^{-1}$)

$$H = \frac{p_0}{\rho_0 g} = 8005 \text{ m für } T = 0^\circ\text{C}$$

$$\rho = \text{const.}$$

$$p = \rho_{\text{Wasser}} gh$$

$$1 \text{ atm} = p_{\text{Wasser}}(10 \text{ m}) = 10 \text{ N/cm}^2$$

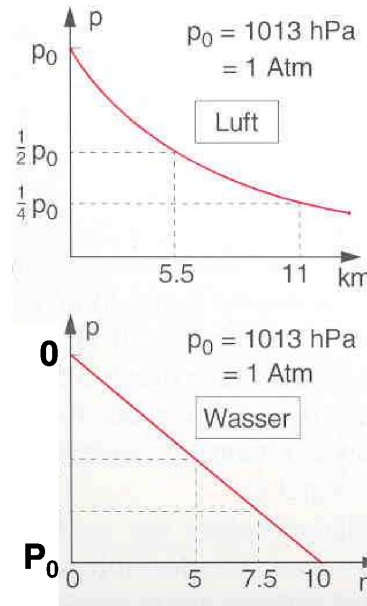
Bemerkungen:

1) Temperatur ist konstant (isotherme Säule).

2) Aus $p \propto \rho$ folgt: Druckverlauf = Dichteverlauf

$$\rho(h) = \rho_0 e^{-\frac{\rho_0}{p_0} gh}$$

$$M_{\text{Ballon}} = V_{\text{Ballon}}(h) \cdot \rho(h)$$



$$h = 0 : p = 1 \text{ bar}$$

$$h = 5.5 \text{ km} : p = 1/2 \text{ bar}$$

$$h = 11 \text{ km} : p = 1/4 \text{ bar}$$

$$h = 15 \text{ km} : p = 1/8 \text{ bar}$$

$$h = 100 \text{ km} : p = 1/1000 \text{ bar}$$

$$h > 200 \text{ km} : \text{kein Luftwiderstand}$$

Die Gesamtmasse der Atmosphäre:

$$5,13 \cdot 10^{18} \text{ kg}$$

Aufgaben

Eine kugelförmige Luftblase steigt im Wasser auf. In einer Tiefe von $20m$ hat sie einen Durchmesser von $1cm$. Welchen Durchmesser hat sie kurz vor Erreichen der Oberfläche? (Temperaturunterschiede können vernachlässigt werden)

Wie gross ist das Volumen der Blase in der Tiefe? Da sie kugelförmig ist, gilt:

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3 = \frac{\pi}{6}cm^3$$

An der Oberfläche des Wassers herrscht der Normaldruck von $p_0 = 10^5 Pa$

Bekannt ist weiterhin, dass der Druck im Wasser pro $10m$ um $10^5 Pa$ steigt. Damit ergibt sich ein Druck in $20m$ Tiefe: $p_1 = p_0 + 2 \cdot 10^5 Pa = 3 \cdot 10^5 Pa$

Über die Zustandsgleichung kommt man zu dem Volumen der Blase an der

Oberfläche: $p_1 V_1 = p_0 V_0 \Rightarrow V_0 = \frac{p_1 V_1}{p_0} = 3V_1 = \frac{\pi}{2}cm^3$

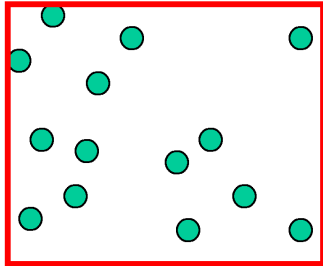
Mit diesem Volumen lässt sich der neue Durchmesser berechnen:

$$V_0 = \frac{1}{6}\pi d_0^3 \Rightarrow d_0 = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}} = \sqrt[3]{3}cm \approx 1,44cm$$

Stoffmenge

$pV = \text{const}$ nur für konstante Stoffmengen

p und V sind also abhängig von der Anzahl Teilchen N



$$pV \propto N = n_M N_A$$

Anzahl
Teilchen

Anzahl
Mole

Anzahl
Teilchen
pro Mol

p, V

Chemie: 1 Mol C = 12 g ^{12}C , 1 Mol He \approx 4 g, 1 Mol $\text{O}_2 \approx$ 32g, etc.

Physik: 1 Mol = $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ Teilchen / Mol

Avogadro-Konstante (Loschmidt-Zahl/Mol)

Chemie: 2 Mol H_2 + 1 Mol O_2 = 2 Mol H_2O

2 x 2g + 1 x 32 g = 2 x 18 g

Physik: 2 H Atome + 1 O Atom = 1 H_2O Molekül

Volumina
Massen
Atome

$$V_{\text{Mol}} = \frac{M_{\text{Mol}}}{\rho}$$

$$= \frac{2 \text{ g}}{0.084 \text{ g/cm}^3} = 22.4 \text{ l / Mol} \quad \text{H}_2$$

$$= \frac{18 \text{ g}}{1 \text{ g/cm}^3} = 18 \text{ cm}^3 / \text{Mol} \quad \text{H}_2\text{O}$$

$$= \frac{56 \text{ g}}{7.9 \text{ g/cm}^3} \approx 7 \text{ cm}^3 / \text{Mol} \quad \text{Fe}$$

Die Stoffmenge 1 Mol enthält ebenso viele Einheiten wie C-12-Atome in 12 Gramm isotopenreinem C-12-Kohlenstoff enthalten sind

In einem Mol einer Stoffportion befinden sich $6,022 \cdot 10^{23}$ Atome (gerundete Avogadro-Zahl)

Atomare Masseneinheit:

$$1 u = 1,660565 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

1 Kohlenstoffatom des Isotops C-12 hat die Atommasse 12 u

Sauerstoff hat die relative Atommasse 15,9994 u

Aufgaben

Berechnen, wieviel Masse eines Moles Na_2CO_3 (Soda oder Natriumcarbonat) aufweist ■

Aus dem Periodensystem oder aus den Tabellen kann abgelesen werden:

Die Atommasse von Na ist 22,990 u, die Atommasse von C ist 12,011 u, die Atommasse von O ist 15,999 u.

Die Verbindung ist aufgebaut aus...	
zwei Atomen Na	$2 \cdot 22,990 \text{ u} = 45,98 \text{ u}$
einem Atom C	$1 \cdot 12,011 \text{ u} = 12,011 \text{ u}$
drei Atomen O	$3 \cdot 15,999 \text{ u} = 47,997 \text{ u}$
Summe:	105,99 u

- 1 Molekül Soda hat damit die Masse 105,99 u ($1 \text{ u} = 1,6 \cdot 10^{-24} \text{ g}$).
- 1 Mol Soda hat damit die Masse 105,99 g
- Man sagt, Soda hat die molare Masse $M = 105,99 \text{ g/mol}$.

Umgekehrt sind beispielsweise 1 kg Soda: $(1000 \text{ g}) / (105,99 \text{ g/mol}) = 9,4 \text{ mol}$

Temperatur T : Messung

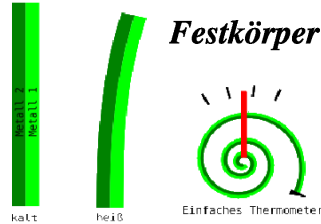
T in °C: 0°/100° Wasser gefriert/verdampft

Messung beruht auf Temperatenausgleich mit Umgebung

Thermometer - Ausdehnung



Fieberthermometer

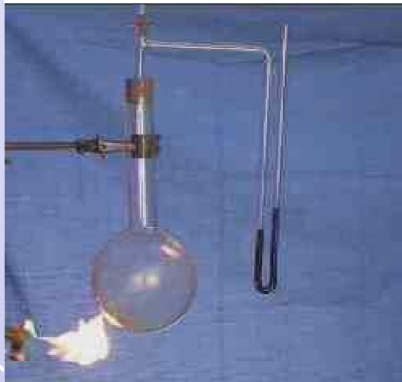


Bi-Metallstreifen

$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$ α : Linear Ausdehnungskoeffizient

$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$ β : Volumen-Ausdehnungskoeffizient $\beta \approx 3\alpha$

bei 20°C	Stahl	Aluminium	Silizium	Glas	Duran
$\alpha/10^{-6}K$	13	23	2	4 - 8	0,1



Gasthermometer

Messung von
 p , V und T

Bei der Temperaturerhöhung ΔT wächst V auf

$$V(1 + \beta \cdot \Delta T) = a^3(1 + \alpha \cdot \Delta T)^3 = a^3[1 + 3\alpha \cdot \Delta T + 3(\alpha \cdot \Delta T)^2 + (\alpha \cdot \Delta T)^3]$$

$\alpha \cdot \Delta T$ allemal klein gegen die eins. Seine höheren Potenzen sind es erst recht und können vernachlässigt werden:
 $1 + \beta \cdot \Delta T \sim 1 + 3\alpha \cdot \Delta T$.

Zwei Möglichkeiten: Entweder misst man in Abhängigkeit von der Temperatur das Volumen einer Gasmenge bei konstantem Druck oder den Druck bei konstantem Volumen

Aufgaben

Der freitragende Teil einer Stahlbrücke sei bei 20°C 200 m lang. Wie viel Längenspiel müssen die Konstrukteure einplanen, wenn die Brücke Temperaturen von -20°C bis $+40^{\circ}\text{C}$ ausgesetzt ist? Der Ausdehnungskoeffizient von Eisen beträgt $12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. ■

Lösung. Da die Kelvin-Skala die gleiche Grad einteilung hat wie die Celsius-Skala könnte man die Einheit des Ausdehnungskoeffizienten auch in $^{\circ}\text{C}$ schreiben.

Die Schrumpfung der Brücke im kältesten Fall wäre:

$$\Delta l = \alpha \cdot 200\text{m} \cdot (-40^{\circ}\text{C}) = -9,6\text{cm}$$

die Ausdehnung

$$\Delta l = \alpha \cdot 200\text{m} \cdot (20^{\circ}\text{C}) = 4,8\text{cm}$$

Es muss also insgesamt ein Spielraum von 14,4 cm eingeplant werden.