

# Aufgaben Skript Thermodynamik

Seite 2, Thermometer

$$T_c(l) = \frac{l - l_0}{l_{100} - l_0} \cdot 100^\circ\text{C} \quad | \quad l_0 = 20\text{cm}, \quad l_{100} = 22\text{cm}$$
$$= \frac{l - 0.2\text{m}}{0.22\text{m} - 0.2\text{m}} \cdot 100^\circ = \frac{l - 0.2\text{m}}{0.02\text{m}} \cdot 100^\circ = \left( \frac{l}{0.02\text{m}} - 10 \right) \cdot 100^\circ$$

$$T_c(l) = (50 \cdot l \cdot \text{m}^{-1} - 10) \cdot 100^\circ\text{C}$$

$$T_c(0.21\text{m}) = (10.5 - 10) \cdot 100^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$$

$$T_c(0.205\text{m}) = 25^\circ\text{C}$$

$$T_c(0.23\text{m}) = 150^\circ\text{C}$$

$$T_c(0.19\text{m}) = -50^\circ\text{C}$$

Länge bei  $-10^\circ\text{C}$ :

$$T_c(l) = -10^\circ\text{C} = (50l \cdot \text{m}^{-1} - 10) \cdot 100^\circ\text{C}$$

$$-10 = 5000l \cdot \text{m}^{-1} - 1000 \quad | +1000$$

$$990 = 5000l \cdot \text{m}^{-1} \quad | : 5000 \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\frac{990}{5000} \text{m} = \underline{\underline{0.198\text{m} = l}}$$



II

## Seite 5: Thermische Ausdehnung

① Stahlbrücke:  $T_1 = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 30^\circ\text{C}$ ,  $l = 1000\text{ m}$

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T; \quad \alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$= 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \cdot 1000 \text{ m} \cdot 30 \text{ K}$$

$$= \underline{\underline{0.33 \text{ Meter}}}$$

②  $T_1 = 10^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 30^\circ\text{C}$ ,  $V = 1\text{ l}$ ,

$$\alpha_{\text{Pyrex}} = 3.2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \quad \gamma_{\text{Ethanol}} = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Ausdehnung des Glases:

$$\alpha_{\text{Pyrex}} = 3.2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}; \quad \gamma_{\text{Pyrex}} = 3 \alpha_{\text{Pyrex}} = 9.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

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

$$= 9.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \cdot 1\text{ l} \cdot 20 \text{ K} = 0.000192 \text{ l}$$

$$= 0.192 \text{ ml}$$

→ Ausdehnung des Glases kann vernachlässigt werden

$$\gamma_{\text{Eth.}} = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta V = \gamma \cdot V \cdot \Delta T = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot 1\text{ l} \cdot 20 \text{ K}$$

$$= 0.022 \text{ l} = 22 \text{ ml}$$

mit Ausdehnung Glass: 21.808 ml

ohne " " " 22 ml



III

③  $T = 300^\circ\text{C}$ ;  $A = \text{Querschnitt des Stabes}$ ;  $F = \text{Reissspannungskraft}$

$$E = \frac{F/A}{\Delta l/l_0} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta l}{l_0}} = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l} \quad (\text{E-Modul})$$

$$\Rightarrow \Delta l = \frac{F \cdot l_0}{E \cdot A} \quad \text{Längenänderung, welche eine Kraft in Höhe der Reisspannung bewirkt}$$

Diese Längenänderung wird mit der thermischen Längenausdehnung gleichgesetzt:

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

$$\Rightarrow d \cdot l_0 \cdot \Delta T = \frac{F \cdot l_0}{E \cdot A} \quad | : l_0$$

$$d \cdot \Delta T = \frac{F}{E \cdot A} \quad | :$$

$$\Delta T = \frac{F}{E \cdot A \cdot d} = \frac{F}{A} \cdot \frac{1}{E \cdot d} = \frac{\sigma}{E \cdot d}$$

$\frac{F}{A}$  ist die Reisspannungskraft pro Querschnitt  
(vgl.  $\sigma$ : Zugspannung pro Querschnitt)

$$\sigma_{\text{Kupfer}} = 230 \cdot 10^6 \text{ Nm}^{-2}$$

$$E_{\text{Kupfer}} = 116 \cdot 10^9 \text{ Nm}^{-2}$$

$$\Delta T = \frac{\sigma}{E \cdot d} \approx 123 \text{ K}$$

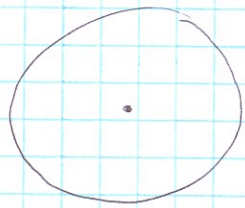
Stab reißt, wenn  $T$  um  $123 \text{ K}$  abnimmt

$$\Rightarrow \underline{\underline{T_{\text{reiss}} = 177^\circ\text{C}}}$$



Seite 6, Guericke

Druck:  $p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$



$d = 50 \text{ cm}$

$$p = F/A ; \text{ Kraft pro Fläche}$$

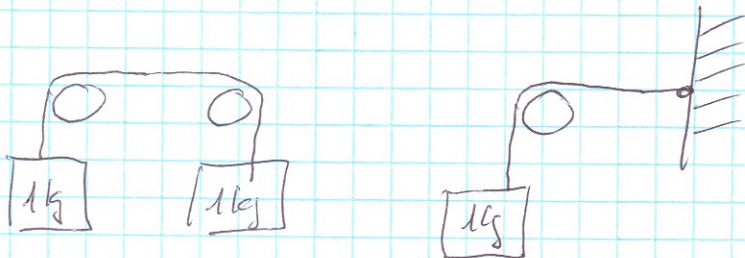
$$\Rightarrow p \cdot A = F ; A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \pi (0.25 \text{ m})^2 = \underline{\underline{6'250 \text{ Newton}}}$$

Das entspricht der Gewichtskraft einer Masse von etwa  $637 \text{ kg}$ !

16 Pferde: dient nur zur Show!

Es hätte auch bloss 8 Pferde nehmen können und das andere Ende an einen Baum oder Felsen binden!



↳ in beiden Fällen ist die Kraft auf die Schnur

$$F = m \cdot g = 1 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = \underline{\underline{9.81 \text{ N}}}$$



# Seite 6: Boyle-Mariotte

①  $p \cdot V = \text{const.}$ ;  $p = 10 \text{ bar}$ ,  $V = 10 \text{ l}$

$\Rightarrow p \cdot V = 10 \text{ bar} \cdot \text{l} = c$  (konstante)

$p$  in bar       $V$  in l

10              1

5                2

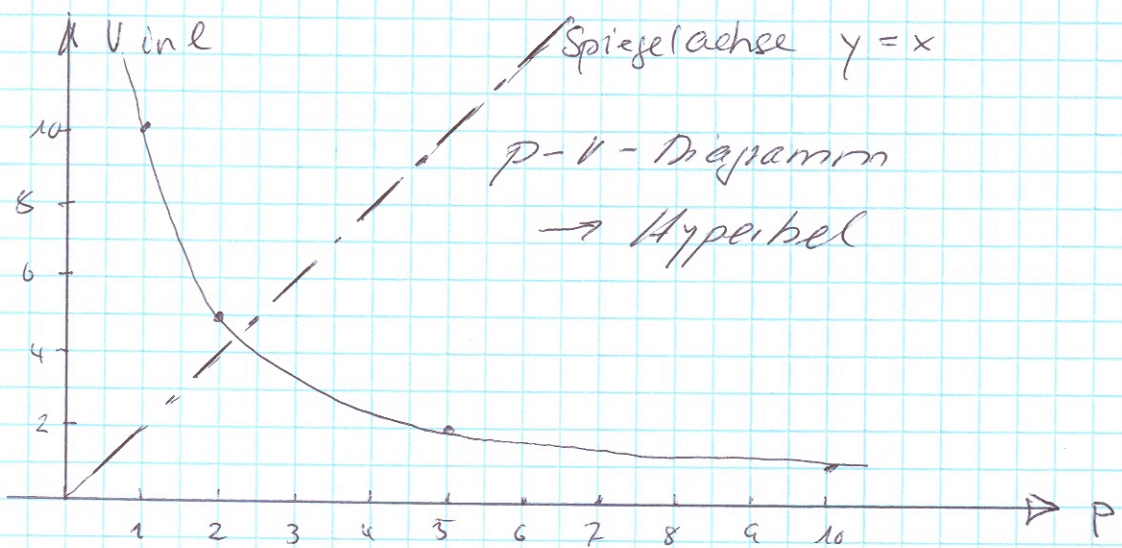
2                5

1                10

0.5             20

0.2             50

0.1             100



$V-p$  entsteht, indem an Winkelhalbierenden ( $y=x$ ) gespiegelt wird



② Es gilt  $p \cdot V = c = \text{const.}$

Druck: Querschnitt des Zylinders ist  $A \rightarrow p = \frac{F}{A}$

Volumen:  $V = A \cdot x$

$$\Rightarrow p \cdot V = \frac{F}{A} \cdot A \cdot x = F \cdot x = c$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{F = \frac{c}{x}}} \Leftrightarrow \underline{\underline{x = \frac{c}{F}}}$$

Auslenkung  $x$  und Kraft  $F$  sind zueinander umgekehrt proportional.

③  $[p] = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $[V] = \text{m}^3$

$$[pV] = \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} \text{ (Energie)}$$

Seite 8

①  $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \cong \underline{\underline{22.4 \text{ Liter}}}$$

$$n = 1$$

$$T = 273.15 \text{ K}$$

$$p = 1 \text{ atm} = 1.0133 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

② aus ①: 22.4 Liter pro Mol

$$\Rightarrow 4.46 \cdot 10^{-5} \text{ mol} / \text{cm}^3$$

$$1 \text{ Mol} = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ Moleküle}$$

$$\Rightarrow 2.7 \cdot 10^{19} \text{ Moleküle} / \text{cm}^3 !$$



③ Zustand 1:  $T_1 = 30^\circ\text{C}$ ,  $V_1 = 2\text{ l}$ ,  $p_1 = 1\text{ atm}$

Zustand 2:  $T_2 = 60^\circ\text{C}$ ,  $V_2 = 1.5\text{ l}$ ,  $p_2 = ?$

$$p_1 V_1 = n \cdot R T_1$$

$$p_2 V_2 = n R T_2$$

$$\Rightarrow \frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{n R T_1}{n R T_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\Rightarrow p_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{V_2 T_1} = 1\text{ atm} \cdot \frac{2\text{ l} \cdot 333\text{ K}}{303\text{ K} \cdot 1.5\text{ l}} = 1.47\text{ atm}$$

Achtung: hier wird zwar mit Liter gerechnet, im allgemeinen geht das aber NICHT! Hier geht es, weil

$\frac{V_1}{V_2}$  als Quotient auftaucht!

$$\frac{2\text{ l}}{1.5\text{ l}} = \frac{0.002\text{ m}^3}{0.0015\text{ m}^3}$$

!!

④  $\text{CO}_2$ :  $44\text{ g/mol}$        $m = 100\text{ g}$ ,  $1\text{ atm} = 1.0133\text{ bar}$

$p_1 = 1\text{ atm}$ ,  $V = 55\text{ l}$

a)  $pV = nRT \Rightarrow T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R}$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{100\text{ g}}{44\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \approx 2.27\text{ mol}$$

$$\Rightarrow T \approx$$