Aufgabe 1

(a) Die Geradengleichung $F(t)$ erhält man aus der Zweipunkteformel für

- Wertepaar '1': $F_1 = F_0 = 10\text{ N}$ und $t_1 = 0\text{ s}$
- Wertepaar '2': $F_2 = 0\text{ N}$ und $t_2 = T = 5{,}0\text{ s}$

zu

$$\frac{F(t)-F_0}{t-0} = \frac{F_2-F_1}{t_2-t_1} = \frac{0-F_0}{T-0}$$

$$F(t)-F_0 = -\frac{t}{T}F_0$$

$$F(t) = F_0 - \frac{t}{T}F_0 = F_0\,(1-\frac{t}{T}) = 10\text{ N}(1-\frac{t}{5\text{ s}})$$

(b) Nach dem Aktionsgesetz von NEWTON verursachen Kräfte Beschleunigungen

$$F(t) = m \cdot a(t)$$

Daraus ergibt sich

$$a(t) = \frac{F(t)}{m} = \frac{F_0}{m}(1-\frac{t}{T}) = \frac{10\text{ kgms}^2}{0{,}5\text{ kg}}(1-\frac{t}{5\text{ s}}) = 20\text{ ms}^2(1-\frac{t}{5\text{ s}})$$

(c) Für den Beginn der Beschleunigung ($t_1 = 0\text{ s}$) ist die Kraft $F_1 = F_0 = 10\text{ N}$; damit

$$a(t=0) = \frac{F_0}{m} = \frac{10\text{ N}}{0{,}5\text{ kg}} = \frac{10\text{ kgms}^{-2}}{0{,}5\text{ kg}} = 20\text{ ms}^{-2}$$

Für das Ende der Beschleunigung ($t_2 = T = 5{,}0\text{ s}$) ist die Kraft $F_2 = 0\text{ N}$; damit

$$a(t=T) = \frac{F_0}{m}(1-\frac{T}{T}) = 0\,.$$

(d) Lösungsalternative 1

Aus dem Beschleunigungs,Zeit-Gesetz erhält man allgemein durch Integration das Geschwindigkeits,Zeit-Gesetz.

Aus der Definition $a(t) = \dfrac{\mathrm{d}v(t)}{\mathrm{d}t}$ wird $\mathrm{d}v(t) = a(t)\mathrm{d}t$

oder nach Integration

$$\int \mathrm{d}v(t) = \int a(t)\mathrm{d}t$$

Intergration über das Zeitintervall $0\text{s} \le t \le T$ liefert speziell

$$v(T) = \int_0^T \frac{F_0}{m}(1 - \frac{t}{T})\mathrm{d}t + v_0 = \frac{F_0}{m} \cdot (t - \frac{1}{2}\frac{t^2}{T})\Big|_0^T + v_0$$

$$= \frac{F_0}{m} \cdot (T - \frac{1}{2}\frac{T^2}{T}) + v_0 = \frac{F_0}{m} \cdot (\frac{T}{2}) + v_0 = \frac{10\ \mathrm{N}}{0{,}5\ \mathrm{kg}} \cdot (2{,}5\ \mathrm{s}) + 5\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

$$= 50\ \mathrm{m\,s^{-1}} + 5\ \mathrm{m\,s^{-1}} = 55\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

Lösungsalternative 2

Ein einfacherer Weg führt über die Definition des Kraftstosses zum Ziel. Nach NEWTON ist die äußere Kraft ist gleich der zeitlichen Änderung des Impulses.

- in differentieller Darstellung $F_{\text{äuß}} = \frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}t}$
- in integraler Darstellung $\int \mathrm{d}p = \int F_{\text{äuß}}\,\mathrm{d}t$

Das Integral $\int F_{\text{äuß}}\,\mathrm{d}t$ wird repräsentiert durch die Fläche unter der $F(t)$-Kurve. Dies ist für die gegebene lineare Abnahme der Krafteinwirkung die Fläche eines Dreiecks. Damit erhält man für die Impulsänderung

$$\Delta p = p_{\text{end}}(T) - p_0 = \frac{1}{2} \cdot 5\ \mathrm{s} \cdot 10\ \mathrm{N} = 25\ \mathrm{Ns}$$

und mit der Definition des Impulses $p = mv$

$$\Delta p = p_{\text{end}} - p_{\text{anf}} = mv_{\text{end}} - mv_{\text{anf}}$$

für die Endgeschwindigkeit

$$v_{\text{end}}(T) = \frac{25\ \mathrm{Ns}}{0{,}5\ \mathrm{kg}} + 5\ \mathrm{m\,s^{-1}} = 55\ \mathrm{m\,s^{-1}} \qquad [1\,\mathrm{N} = 1\,\mathrm{kg\,m\,s^{-2}}]$$

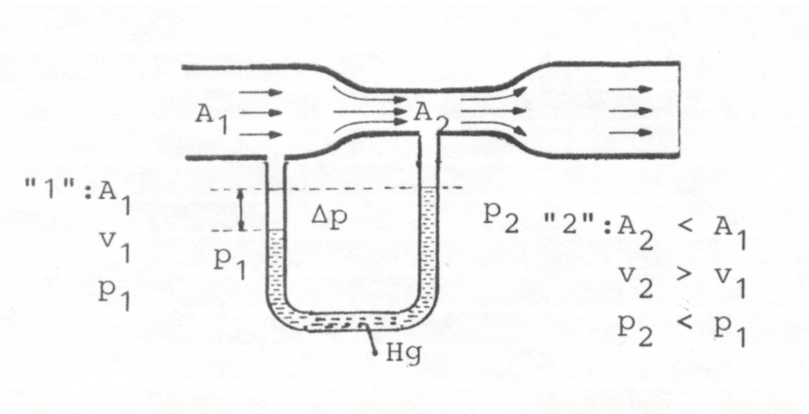
Aufgabe 2

Der Massenstrom $\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$ einer Flüssigkeit der Dichte ρ, die mit der Geschwindigkeit v durch einen Querschnitt A fließt ist gegeben durch

$$\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t} = \rho A v$$

mit $\mathrm{d}m = \rho \mathrm{d}V$ erhält man für den Volumenstrom

$$\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = \dot{V} = Av$$



Es ist

der Querschnitt $A_1 = 100\ \mathrm{cm}^2 = 10^2 \cdot (10^{-2}\ \mathrm{m})^2 = 10^{-2}\ \mathrm{m}^2$

die Durchflussrate $\dot{V} = 10\ \mathrm{l\,s}^{-1} = 10 \cdot (10^{-3}\ \mathrm{m}^3)\mathrm{s}^{-1} = 10^{-2}\ \mathrm{m}^3\,\mathrm{s}^{-1}$

Damit erhält man die Geschwindigkeit v_1 für den Querschnitt A_1

$$v_1 = \frac{\dot{V}}{A_1} = \frac{10^{-2}\ \mathrm{m}^3\,\mathrm{s}^{-1}}{10^{-2}\ \mathrm{m}^2} = 1{,}0\ \mathrm{m\,s}^{-1}$$

Die BERNOULLI Gleichung für eine reibungsfreie Flüssigkeit lautet

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho {v_1}^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho {v_2}^2$$

Zusammengefasst ergibt sich für die beobachtete Druckdifferenz

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho[{v_2}^2 - {v_1}^2] = \frac{1}{2}\rho\,[\frac{{A_1}^2}{{A_2}^2} - 1]{v_1}^2$$

daraus

$$\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot {v_1}^2} + 1 = \frac{{A_1}^2}{{A_2}^2}$$

$$\frac{{A_1}^2}{{A_2}^2} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot {v_1}^2} + 1 = \frac{2 \cdot 75 \cdot 10^2\ \mathrm{Nm}^{-2}}{0{,}80 \cdot 10^3\ \mathrm{kgm}^{-3} \cdot (1{,}0\ \mathrm{m\,s}^{-1})^2} + 1 = 18{,}75 + 1 = 19{,}75$$

$$A_2{}^2 = \frac{A_1{}^2}{19{,}75}$$

$$A_2 = \frac{A_1}{\sqrt{19{,}75}} = 22{,}5\ \mathrm{cm}^2$$

Die Kontinuitätsgleichung

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

liefert für die Geschwindigkeit v_2 des Öls in der Verjüngung (Querschnitt A_2)

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{100\ \mathrm{cm}^2}{22{,}5\ \mathrm{cm}^2} \cdot 1{,}0\ \mathrm{m\,s^{-1}} = 4{,}44\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

Alternativer Lösungsweg: (1) Bestimmung von v_2 (2) Bestimmung von A_2

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho[v_2{}^2 - v_1{}^2]$$

$$\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho} = [v_2{}^2 - v_1{}^2]$$

$$v_2{}^2 = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho} + v_1{}^2 = \frac{2 \cdot 75 \cdot 10^2\ \mathrm{Nm^{-2}}}{0{,}80 \cdot 10^3\ \mathrm{kgm^{-3}}} + (1{,}0\ \mathrm{m\,s^{-1}})^2$$

$$= 18{,}75\ \mathrm{m^2\,s^{-2}} + 1{,}0\ \mathrm{m^2\,s^{-2}} = 19{,}75\ \mathrm{m^2\ ^{-2}}$$

$$v_2 = 4{,}44\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

Damit erhält man aus der Kontinuitätsgleichung

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$A_2 = \frac{v_1}{v_2} \cdot A_1 = \frac{1{,}00\ \mathrm{m\,s^{-1}}}{4{,}44\ \mathrm{m\,s^{-1}}} \cdot 100\ \mathrm{cm}^2 = 22{,}5\ \mathrm{cm}^2$$

oder über den konstanten Volumenstrom

$$\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = \dot{V} = A_2\, v_2$$

$$v_2 = \frac{\dot{V}}{A_2} = \frac{10^{-2}\ \mathrm{m^3\,s^{-1}}}{22{,}5 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2} = 4{,}44\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

Aufgabe 3

(a) für ein lineares Kraftgesetz ist nach HOOKE ist die Auslenkung proportional zur angreifenden Kraft

$F_{\text{äuß}} = c\,y$ (die äußere Kraft wirkt in Richtung der Auslenkung);

damit ist im Gleichgewicht die rücktreibende Kraft der Feder $F_{\text{rück}} = -c\,y$

Die äußere Kraft ist auf die Waagschale wirkende Gewichtskraft

$F_{\text{äuß}} = F_{\text{G}} = mg$

Für die statische Auslenkung aus der Ruhelage der entspannten Feder gilt also

$m\,g = c\,y_{\text{stat}}$

damit

$$y_{\text{stat}} = \frac{m\,g}{c} = \frac{0{,}1\,\text{kg}\cdot 10\,\text{m}\,\text{s}^{-2}}{0{,}1\,\text{N}\,\text{cm}^{-1}} = \frac{0{,}1\,\text{kg}\cdot 10\,\text{m}\,\text{s}^{-2}}{0{,}1\,\text{kg}\,\text{m}\,\text{s}^{-2}(10^{-2}\ \text{m})^{-1}} = 10^{-1}\ \text{m} = 10\ \text{cm}$$

(b) Die Geschwindigkeit der Knetkugel beim Aufprall ergibt sich aus – natürlich alles ohne Luftreibungskräfte – aus dem Energiesatz in der Fassung der Mechanik. Dieser liefert für den Zeitpunkt

des Loslassens	$E_{\text{kin}}(\text{Anfang}) = 0$	$E_{\text{pot}}(\text{Anfang}) = m\,g\,H$
des Aufpralls	$E_{\text{kin}}(\text{Ende}) = \frac{1}{2}m{v_{\text{E}}}^2$	$E_{\text{pot}}(\text{Ende}) = 0$

also gilt

$mgH = \frac{1}{2}m{v_{\text{E}}}^2$ ${v_{\text{E}}}^2 = 2gH = 2\cdot 10\,\text{m}\,\text{s}^{-2}\cdot 0{,}20\ \text{m}$ und $v_{\text{E}} = 2{,}0\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$

Lösungsvariante:

Es gelten ohne Luftreibung die Gesetze des 'freien Falls' mit der konstanten Fallbeschleunigung $g = 10\,\text{m}\,\text{s}^{-2} = \text{const.}$; allgemein:

Weg,Zeit-Gesetz: $h = \frac{1}{2}\cdot g\cdot t^2 + v_0\cdot t + h_0$

Geschwindigkeit,Zeit-Gesetz: $v = g\cdot t + v_0$

Speziell mit den Bedingungen $h_0 = 0$ (Anfangskoordinate im Nullpunkt) und $v_0 = 0$ ('ohne Anfangsgeschwindigkeit') erhält man

$h = \frac{1}{2}\cdot g\cdot t^2$ und $v = g\cdot t$

Beide Beziehungen miteinander kombiniert

$h = \frac{1}{2}\cdot g\cdot\frac{v^2}{g^2} = \frac{1}{2}\cdot\frac{v^2}{g}$ oder $v^2 = 2\cdot g\cdot h$

(c) Die Aussage "die Knetkugel bleibt nach dem Stoß auf der Waagschale liegen" bedeutet; dass sich beide Körper unmittelbar nach dem Stoß mit gleicher, einheitlicher Geschwindigkeit bewegen. Damit liegt – nach der Definition – ein vollständig inelastischer Stoß vor. Es gilt

- der Impulserhaltungssatz;
- der Energiesatz in seiner Fassung der Mechanik.

also

$$mv_E = (M+m)v_0$$

dabei ist v_0 die gemeinsame Anfangsgeschwindigkeit der beiden Körper. Damit wird

$$v_0 = \frac{m}{(M+m)} v_E = \frac{20\ \text{g}}{(100+20)\ \text{g}} \cdot 2{,}0\ \text{m}\,\text{s}^{-1} = 0{,}333\ \text{m}\,\text{s}^{-1}$$

(d) Die Schwingungsdauer des Feder-Masse-Systems wird eindeutig durch die Kenngrößen des schwingungsfähigen Systems bestimmt; diese sind

- Federkonstante c und
- angehängte Masse $(M+m)$

Für Eigenkreisfrequenz ω_0 und Schwingungsdauer T_0 gelten die Beziehungen

$$\omega_0{}^2 = \frac{c}{(M+m)} \qquad \text{und} \qquad T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{(M+m)}{c}}$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{(M+m)}{c}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}120\ \text{kg}}{0{,}1\,\text{kg}\,\text{m}\,\text{s}^{-2}\,(10^{-2}\ \text{m})^{-1}}} = 0{,}688\ \text{s}$$

(e) Die Schwingungen des Feder-Masse-Systems werden durch eine harmonische Funktion beschrieben. Da die Bewegung aus der Ruhelage [$y = 0$] mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_0 startet, wählt man zweckmäßigerweise zur allgemeinen Beschreibung eine Sinus-Funktion

$$y = \hat{y} \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

denn dann wird der Nullphasenwinkel φ_0 vereinfachend gleich Null.

Die Geschwindigkeit für alle Zeiten erhält man durch Ableiten zu

$$v = \dot{y} = \hat{y}\,\omega_0 \cdot \cos(\omega_0 t) \qquad \text{dabei ist } \varphi_0 = 0 \text{ genommen.}$$

Da die harmonischen Funktionen nur Werte im Bereich $-1 \le \sin(\omega_0 t) \le +1$ annehmen können, gibt der Faktor $(\hat{y}\omega_0)$ vor der Kosinus-Funktion die Maximalgeschwindigkeit $v_{\max}$ an; also

$$v_{\max} = \hat{y}\,\omega_0$$

Die Maximalgeschwindigkeit entspricht der Anfangsgeschwindigkeit v_0 unmittelbar nach Aufprall (oder der Geschwindigkeit bei nachfolgenden Nulldurchgängen der Schwingung). Damit bestimmt sich die Amplitude $\hat{y}$ aus

$$v_{\max} = v_0 = \hat{y}\omega_0$$

$$\hat{y} = \frac{v_0}{\omega_0} = v_0 \cdot \frac{T_0}{2\pi} = 0{,}333\ \text{m}\,\text{s}^{-1} \cdot \frac{0{,}688\ \text{s}}{2\pi} = 0{,}0364\ \text{m} = 3{,}6\ \text{cm}$$

Lösungsalternative

Ein zweiter Lösungsweg geht über den Energiesatz in der Formulierung der Mechanik. Die maximale kinetische Energie des Körpers bei Nulldurchgang ist gleich der maximalen potentiellen Energie der gedehnten/gestauchten Feder bei der maximalen Auslenkung $\hat{y}$. Es gilt für

- den Nulldurchgang $E_{\text{kin}}(\text{max}) = \frac{1}{2} m {v_0}^2$ $E_{\text{pot}}(\text{min}) = 0$
- die Umkehrpunkt(e) $E_{\text{pot}}(\text{max}) = \frac{1}{2} c\, \hat{y}^2$ $E_{\text{kin}}(\text{min}) = 0$

Also gilt

$$\frac{1}{2} c\, \hat{y}^2 = \frac{1}{2}(M+m){v_0}^2$$

$$\hat{y}^2 = \frac{(M+m){v_0}^2}{c} = \frac{0{,}120\ \text{kg} \cdot (0{,}333\ \text{m}\,\text{s}^{-1})^2}{10\ \text{kg}\,\text{m}\,\text{s}^{-2}\,\text{m}^{-1}} = 13{,}31 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2$$

$$\hat{y} = 3{,}64 \cdot 10^{-2}\ \text{m} = 3{,}6\ \text{cm}$$

Aufgabe 4

Die Zustandsgrößen für den Anfangszustand 'A' und den Endzustand 'E' des Aufwärmvorgangs sind.

$p_A = p_{auß} = 1{,}0\ \text{bar}$ $\quad$ $p_E = p_{auß} = 1{,}0\ \text{bar}$

$V_A = 0{,}95 \cdot V_{prall} = 0{,}95 \cdot 2000\ \text{m}^3$ $\quad$ $V_E = V_{prall} = 2000\ \text{m}^3$

$T_A = 280{,}2\ \text{K}$

(a) Der Aufwärmvorgang soll ohne Druckänderung, also 'isobar' erfolgen. Die Zustandsgleichung idealer Gase

$$pV = nR_m T$$

liefert für eine isobare Zustandsänderung

$$\frac{V}{T} = \text{const.}$$

Die Temperatur im Zustand 'E' ergibt sich damit aus der Forderung $\frac{V_E}{T_E} = \frac{V_A}{T_A}$

$$T_E = \frac{V_E}{V_A} \cdot T_A = \frac{V_{prall}}{0{,}95 \cdot V_{prall}} \cdot T_A = \frac{1}{0{,}95} \cdot 280{,}2\ \text{K} = 294{,}9\ \text{K}$$

Die Endtemperatur auf der Celsius-Skala ist $\vartheta_E = (294{,}9 - 273{,}2)\ ^\circ\text{C} = 21{,}7\ ^\circ\text{C}$.

Zwischenüberlegung

Die Teilaufgaben (b), (c) und (d) sind nicht unabhängig voneinander. Die Änderung der inneren Energie ΔU, die umgesetzte Wärme Q_{AE} und die umgesetzte Arbeit W_{AE} sind über den 1. Hauptsatz miteinander verkoppelt.

$$\Delta U = U_E - U_A = Q_{AE} + W_{AE}$$

Hat man zwei der physikalischen Größen unabhängig voneinander bestimmt, dann erhält man die Dritte aus dem 1. Hauptsatz. Zur Probe kann natürlich dann die dritte Größe ebenfalls unabhängig bestimmt werden.

Bestimmung der Teilchenmenge n

Auf jeden Fall braucht man die Teilchenmenge n der eingeschlossenen Luft, deren Moleküle als zweiatomig behandelt werden.

Die Teilchenmenge n ergibt sich aus der Zustandsgleichung idealer Gase für den Anfangszustand 'A'

$$p_A V_A = nR_m T_A$$

$$n = \frac{p_A V_A}{R_m T_A} = \frac{1{,}0 \cdot 10^5\ \text{Nm}^{-2} \cdot 0{,}95 \cdot 2{,}0 \cdot 10^3\ \text{m}^3}{8{,}31\ \text{Nm}\,\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot 280{,}2\ \text{K}} = 8{,}16 \cdot 10^4\ \text{mol}$$

(b) Für die umgesetzte Wärme gilt für eine isobare Zustandsänderung

$$Q_{AE} = nC_{mp}(T_E - T_A)$$

Die molare isobare Wärmekapazität C_{mp} bestimmt sich aus der Anzahl f_{ges} der Freiheitsgrade zu

$$C_{mp} = \frac{(f_{ges} + 2)}{2} R_m$$

Für ein ideales zweiatomiges Gas (Model ’starre Hantel) ist die Anzahl der Freiheitsgrade

$$f_{ges} = f_{trans} + f_{rot} = 3 + 2 = 5$$

$$Q_{AE} = nC_{mp}(T_E - T_A) = n \cdot \frac{7}{2} R_m \cdot (T_E - T_A)$$

$$= 8{,}16 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot \frac{7}{2} \cdot 8{,}31 \,\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot (294{,}9 - 280{,}2)\,\text{K}$$

$$= 34{,}9 \cdot 10^6 \text{ J}$$

(c) Die Volumenänderungsarbeit für jeden Prozess $'\text{A}' \to '\text{E}'$ ist gegeben durch die Defintion

$$W_{AE} = -\int_{V_A}^{V_E} p(V)\,dV$$

Für einen isobaren Prozess ist $p(V) = p_{\text{äuß}} = \text{const.}$; also wird

$$W_{AE} = -p_{\text{äuß}} \int_{V_1}^{V_3} dV = -p_{\text{äuß}} \cdot (V_E - V_A)$$

$$= -1{,}0 \cdot 10^5 \,\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot (1{,}0 - 0{,}95) \cdot 2{,}0 \cdot 10^3 \text{ m}^3 = -10 \cdot 10^6 \text{ J}$$

(d) Die innere Energie U eines idealen Gases hängt nur von der absoluten Temperatur ab. Für die Änderung ΔU der inneren Energie gilt

$$\Delta U = U_E - U_A = nC_{mv}(T_E - T_A)$$

Die molare isochore Wärmekapazität C_{mv} bestimmt sich aus der Anzahl f_{ges} der Freiheitsgrade zu

$$C_{mv} = \frac{f_{ges}}{2} R_m .$$

Also wird

$$\Delta U = U_E - U_A = nC_{mv}(T_E - T_A) = n \cdot \frac{5}{2} R_m \cdot (T_E - T_A)$$

$$= 8{,}16 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8{,}31 \,\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot (294{,}9 - 280{,}2)\,\text{K}$$

$$= 24{,}9 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Probe: Verkopplung der Ergebnisse der Teilaufgaben (a), (b) und (c)
Die Änderung der inneren Energie ΔU, die umgesetzte Wärme Q_{AE} und die umgesetzte Arbeit W_{AE} sind über den 1. Hauptsatz miteinander verkoppelt, gemäß

$$\Delta U = Q_{\mathrm{AE}} + W_{\mathrm{AE}}$$

Ergebnis der Teilaufgabe (b) $Q_{\mathrm{AE}} = 34{,}9 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$

Ergebnis der Teilaufgabe (c) $W_{\mathrm{AE}} = -10 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$

Ergebnis der Teilaufgabe (d) $\Delta U = 24{,}9 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$

Aufgabe 5

Die Werte für den Sättigungsdampfdruck sind entnommen:
Kohlrausch, F.: Praktische Physik; Band 3, 24. Auflage, 1996; Stuttgart: B.G. Teubner. Tabelle 3.12 auf S. 352 'Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf im Sättigungszustand'.

(a) und (b). Vervollständigung der Tabelle

$\frac{\vartheta}{^\circ\mathrm{C}}$	100	130	160	190	220	250	290	330	370
$\frac{p_\mathrm{s}}{\mathrm{bar}}$	1,01	2,70	6,18	12,5	23,2	39,8	74,4	129	210
$\frac{T}{\mathrm{K}}$	373	403	433	463	493	523	563	603	643
	2,68	2,48	2,31	2,16	2,03	1,91	1,78	1,66	1,56

(c) Aus $p_\mathrm{s} \sim e^{-\frac{\Delta E}{k \cdot T}}$ folgt durch Logarithmieren $\ln(p_\mathrm{s}) \sim \frac{(-\Delta E)}{k} \cdot \frac{1}{T}$

Die sich ergebende Gerade auf einfach-logarithmischen Papier zeigt damit die exponentielle Abhängigkeit des Sättigungsdampfdrucks von der reziproken absoluten Temperatur. Anmerkung: die Benutzung von Logarithmen zur Basis 10 ist hier unerheblich; bei der Berechnung der Geradensteigung sind aber die Logarithmen zur Basis e zu verwenden!

(d) und (e): Aus der Geradengleichung $\ln(p_\mathrm{s}) \sim \frac{(-\Delta E)}{k} \cdot \frac{1}{T}$

ergibt sich also für die Geradensteigung $m_\mathrm{Gerade} = \frac{(-\Delta E)}{k}$

Man legt zur Bestimmung der Steigung ein möglichst großes Steigungsdreieck fest. Korrespondierende Wertepaare sind z.B.

'2' $p_{\mathrm{s}2} = 730\ \mathrm{bar}$ $T_2^{-1} = 1{,}30 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$

'1' $p_{\mathrm{s}1} = 1\ \mathrm{bar}$ $T_1^{-1} = 2{,}69 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$

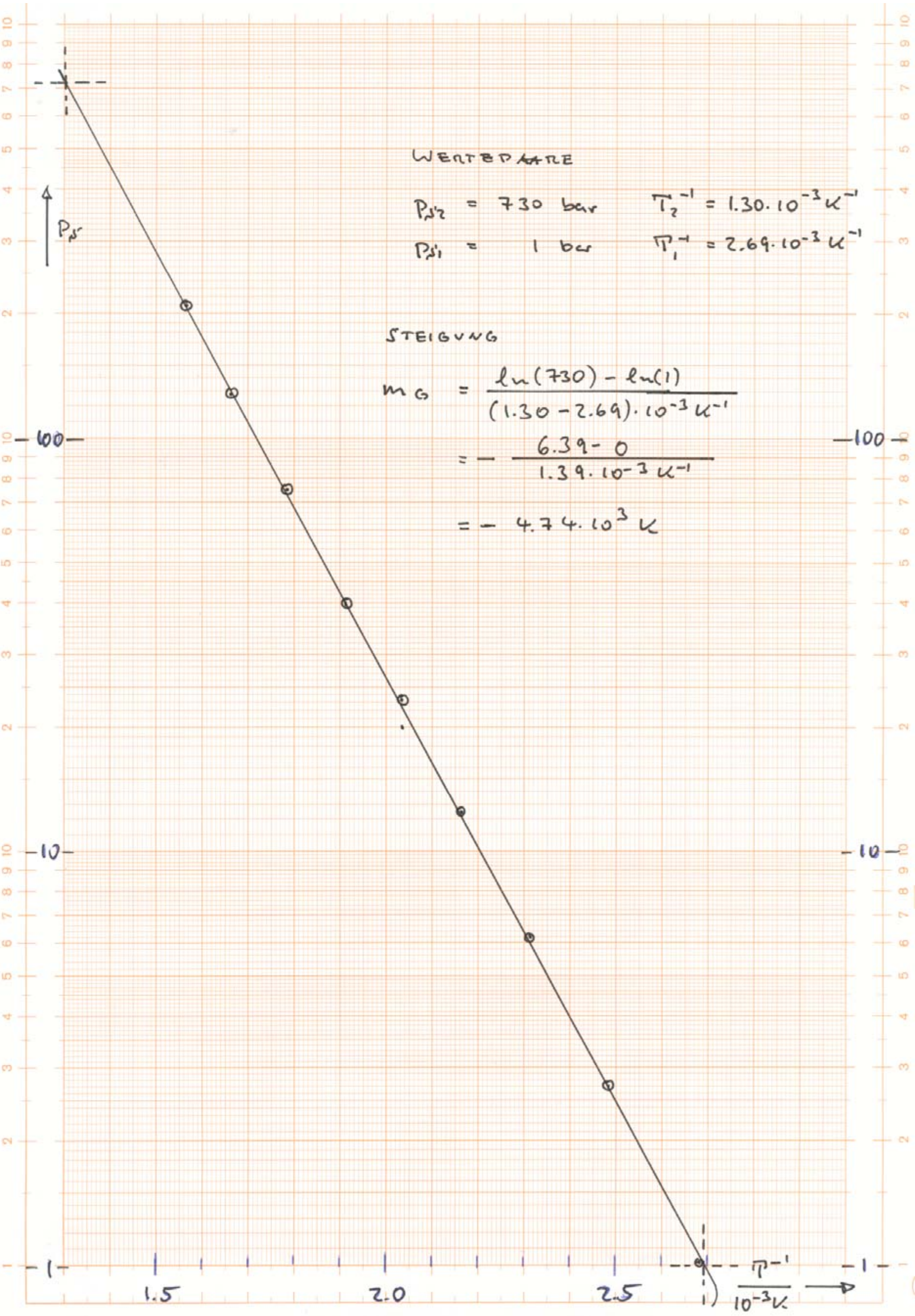
Daraus erhält man die Steigung der Geraden nach der Zwei-Punkte-Formel

$$m_\mathrm{Gerade} = \frac{\ln(730) - \ln(1)}{(1{,}30 - 2{,}69) \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}} = \frac{6{,}39 - 0}{-1{,}39 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}} = -4{,}74 \cdot 10^{3}\ \mathrm{K}$$

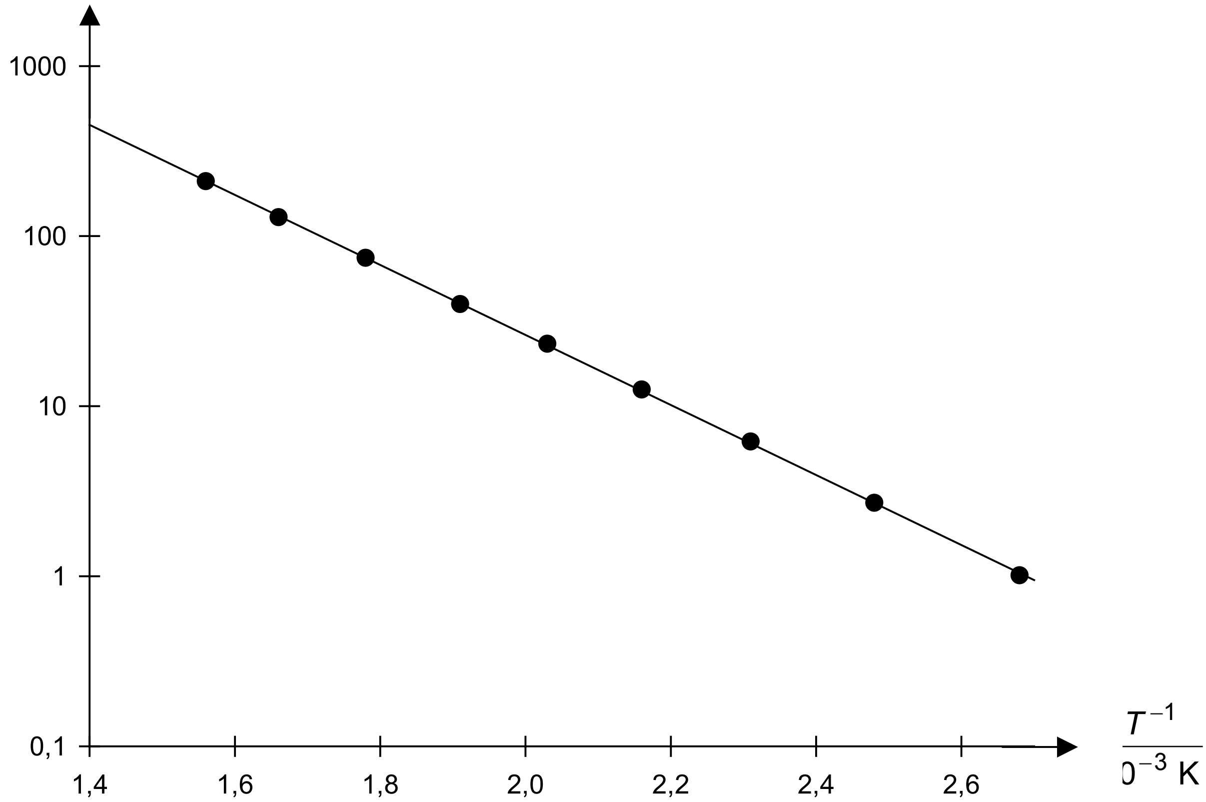
Wegen $m_\mathrm{Gerade} = \frac{(-\Delta E)}{k} = -4{,}74 \cdot 10^{3}\ \mathrm{K}$ wird

$$-\Delta E = -4{,}74 \cdot 10^{3}\ \mathrm{K} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{JK}^{-1}$$

$$\Delta E = 6{,}54 \cdot 10^{-20}\ \mathrm{J}$$



WERTEPAARE
p_{s2} = 730 bar $T_2^{-1} = 1.30 \cdot 10^{-3}\,K^{-1}$
p_{s1} = 1 bar $T_1^{-1} = 2.69 \cdot 10^{-3}\,K^{-1}$
STEIGUNG
$m_G = \frac{\ln(730) - \ln(1)}{(1.30 - 2.69) \cdot 10^{-3}\,K^{-1}}$
$= - \frac{6.39 - 0}{1.39 \cdot 10^{-3}\,K^{-1}}$
$= - 4.74 \cdot 10^{3}\,K$
p_s
100
10
1
1.5
2.0
2.5
$\frac{T^{-1}}{10^{-3} K}$



1000
100
10
1
0,1
1,4
1,6
1,8
2,0
2,2
2,4
2,6
T⁻¹
0⁻³ K