

Aufgabe 1



keine Überbleibsel von C_3H_8 oder O_2

b) $M \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right] = \frac{m [\text{kg}]}{n [\text{kmol}]}$

$M_{\text{C}_3\text{H}_8} = 44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$; $M_{\text{C}_3\text{H}_8} = 3M_{\text{C}} + 8M_{\text{H}} = 44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$

$n_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0,02273 \text{ kmol}$

$M_{\text{O}_2} = 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$

$n_{\text{O}_2} = 5 \cdot n_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0,11365 \text{ kmol}$

$m_{\text{O}_2} = 3,636 \text{ kg}$

$M_{\text{N}_2} = 28 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$

$n_{\text{N}_2} = 7,87 \cdot n_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0,1796 \text{ kmol} = n'_{\text{N}_2}$

$m_{\text{N}_2} = 5,03 \text{ kg} = m'_{\text{N}_2}$

$M_{\text{CO}_2} = 44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$

$n_{\text{CO}_2} = 3 n_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0,06819 \text{ kmol}$

$m_{\text{CO}_2} = 2,98 \text{ kg}$

$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$

$n_{\text{H}_2\text{O}} = 4 \cdot n_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0,09092 \text{ kmol}$

$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1,637 \text{ kg}$

c) Gesamtmasse : $76,67 \text{ kg} \rightarrow 76,67 \text{ kg}$

Gesamtstoffmenge : $0,5639 \text{ kmol} \rightarrow 0,5639 \text{ kmol}$

Mittel Molmasse : $\frac{76,67 \text{ kg}}{0,5639 \text{ kmol}} = 29,46 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \rightarrow 29,46 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$

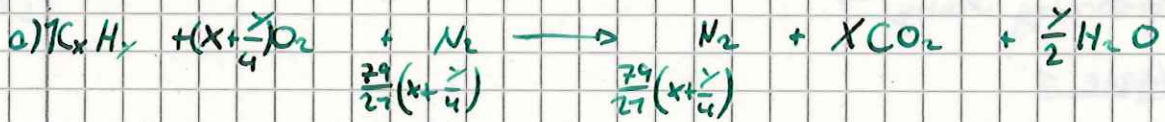
d) $X_i = \frac{n_i}{n_{\text{ges}}}$ $W_i = \frac{m_i}{m_{\text{ges}}}$ Füllen alle...

$X_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0,04037$ $X_{\text{O}_2} = 0,2075$ $X_{\text{N}_2} = 0,7583$

$X'_{\text{N}_2} = 0,7288$ $X'_{\text{CO}_2} = 0,1162$ $X'_{\text{H}_2\text{O}} = 0,155$

W_i genau auf die gleiche Weise berechnen...

Aufgabe 2



$$z \cdot 0 + A \cdot 2 \cdot 0 = 2 \cdot x \cdot 0 + \frac{1}{2} \cdot y \cdot 0 \longrightarrow A = \frac{4x + y - 2z}{4} \quad II$$

$$\longrightarrow B = \frac{29}{27} \left(\frac{4x + y - 2z}{4} \right)$$

b) 1 kg Brennstoff

$$M_{C_x H_y} = (12x + y) \frac{kg}{kmol} \longrightarrow n_{C_x H_y} = \frac{1}{12x + y} \text{ kmol}$$

$$M_{C_x H_y O_z} = (12x + y + 16z) \frac{kg}{kmol} \quad n_{C_x H_y O_z} = \frac{1}{12x + y + 16z} \text{ kmol}$$

$$\text{Methan: } M_{O_2} = M_{O_2} \cdot (x + \frac{y}{4}) n_{C_x H_y} = \frac{8(4x + y)}{12x + y}$$

$$\text{Oktan: } M_{O_2} = \dots = \frac{8(4x + y - 2z)}{12x + y + 16z}$$

$$I \quad M'_{CO_2} = \frac{44x}{12x + y}$$

$$II \quad M'_{CO_2} = \frac{44x}{12x + y + 16z}$$

$$\text{Methan: } M_{O_2} = \frac{8}{4} \text{ kg} \quad M_{CO_2} = 2,75 \text{ kg}$$

$$\text{Oktan: } M_{O_2} = \frac{8}{3,507} \text{ kg} \quad M_{CO_2} = 3,088 \text{ kg}$$

Aufgabe 3



$$3A \cdot 0 = 40 + C \cdot 0 \quad I$$

$$8H + A \cdot H = 2 \cdot C \cdot H \quad II$$

Aufgabe 4

$$a) x_i = \frac{m_i}{m_{ges}} ; M_{CH_4} = 16 \frac{kg}{kmol} ; M_{H_2} = 2 \frac{kg}{kmol}$$

$$m_{ges} = m_{CH_4} + m_{H_2} ; \frac{m_{CH_4}}{m_{ges}} = \frac{32}{33} ; \frac{m_{H_2}}{m_{ges}} = \frac{1}{33}$$

$$n_{ges} = 1 \text{ mol} = \frac{m_{CH_4}}{M_{CH_4}} + \frac{m_{H_2}}{M_{H_2}} \quad \text{LGS aufstellen!}$$

$$m_{ges} = 0,0732 \text{ kg} ; m_{CH_4} = 0,0728 \text{ kg} ; m_{H_2} = 0,0004 \text{ kg}$$

$$n_{ges} = 1 \text{ mol} ; n_{CH_4} = 0,2 \text{ mol} ; n_{H_2} = 0,2 \text{ mol}$$

$= x_{CH_4}$
 $= x_{H_2}$

Verbrennung Übung 7

(3)

b) Luftzahl: $\lambda = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2, \text{stech.}}} = 7 ; \phi = 0,8$

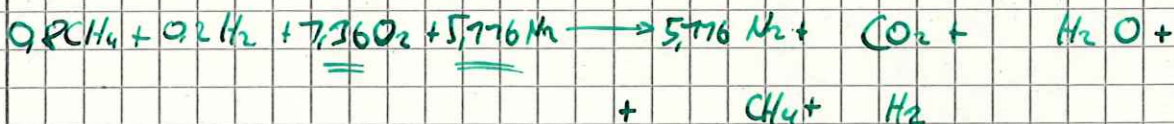
Äquivalentverhältnis: $\phi = 0,8 = \frac{1}{\lambda}$

~~Stoichiometrische~~

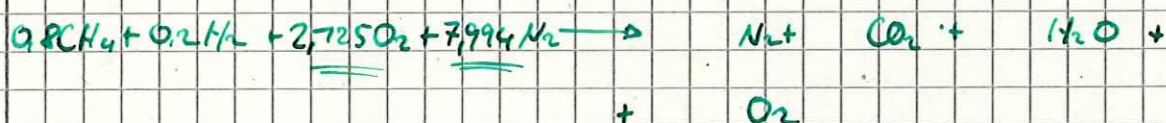
$\lambda = 7$



$\lambda = 0,8$



$\phi = 0,8 \rightarrow \lambda = 7,25$



Aufgabe 5



Standardbildungsenthalpien für Standardbedingungen aus Tabelle:

Species	$H_{m,f}^{\circ}$ [$\frac{kJ}{mol}$]
H_2	0
O_2	0
CO	-110,53
CO_2	-393,50
$H_2O (l)$	-285,83
$H_2O (g)$	-241,87

Ein Reaktionsschritt \rightarrow Es werden einzelne Moleküle betrachtet

$1 \cdot n_i = (6 \cdot 10^{23})^{-1} \text{ mol}$

$\Delta_r H_m^{\circ} = 2 \cdot (6 \cdot 10^{23})^{-1} \cdot (-393,5) + 2 \cdot (6 \cdot 10^{23})^{-1} \cdot (-285,8) - 2 \cdot (6 \cdot 10^{23})^{-1} \cdot 0 - 2 \cdot (6 \cdot 10^{23})^{-1} \cdot (-110,5) - 2 \cdot (6 \cdot 10^{23})^{-1} \cdot 0$
 $= -7,896 \cdot 10^{27} \text{ kJ}$

b) Sinnvolle Standardreaktionsenthalpie mit normierter Reaktionsgleichung und einem mol H_2 : $7 H_2 + 7 CO_2 + 2 O_2 \rightarrow 7 CO_2 + 7 H_2O$

$\Delta_r H_m^{\circ} = (7 \cdot (-393,5) + 7 \cdot (-285,8)) - (7 \cdot (-110,53))$
 $= -568,8 \text{ kJ/mol} = -568,8 \frac{kJ}{mol}$

Verbrennung Übung 2

Aufgabe 1

$$n_{He} = 250 \text{ mol} \quad T = 26,85 \text{ C} \quad P = 1 \text{ bar}$$

$$M_{He} = 4 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \quad c_p = 5,193 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

Isobare Wärmezufuhr von 777 J

a) $H = U + pV$

$$dH = dU + p dV + V dp$$

$$dU = dQ - p dV$$

$$dH = dQ + \cancel{V dp} = 0 \text{ (isobar)}$$

~~Ergebnis~~ $\Delta H = Q_{12} = 777 \text{ J}$

Für Temperatur: c_p Masse normiert: $M_{He} = 4 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot 0,25 \text{ kmol} = 1 \text{ kg}$

$$\frac{dH}{M_{He}} = \frac{c_{p, He} dT}{M_{He}} \rightarrow dT_{He} = 792,6 \text{ K}$$

Gesamttemperatur nach Wärmezufuhr:

$$T_{ges} = T_0 + dT = 492,6 \text{ K}$$

b) $dU = dQ - p dV$
 $L = 777 \text{ J}$

Lösen mit idealer Gasgleichung: $pV = m \cdot R \cdot T$; $pV = n \cdot R_m \cdot T$

$$V = \frac{n R_m T}{p}$$

$$dV = n R_m \frac{dT}{p} (T_2 - T_1)$$

$$dU = dQ - n R_m (T_2 - T_1) = 5,997 \cdot 10^5 \text{ J}$$

c) Durch die Ausdehnung des Gases um dV wird Volumenänderungsarbeit verrichtet $\int p dV = p_{\text{Umgebung}} \Delta V$

d) Isochore Wärmezufuhr

$$dU = dQ - \cancel{p dV} = 0 \text{ (isochor)}$$

$$dU = 777 \text{ J}$$

~~Ergebnis~~

~~Ergebnis~~

~~Ergebnis~~

$$\frac{dU}{n} = \frac{c_v dT}{1}$$

$$c_v = -R_m + c_p = 3775 \frac{J}{kgK}$$

$$dT = 327,0K$$

$$\cancel{T_{ges}} = T_0 + dT = 627,0K$$

$$e) \frac{dH}{H} = U + pV$$

$$dH = dU + p dV + V dp \quad \leftarrow = 0 \text{ (isobar)}$$

$$; dp = \frac{1}{V} n R_m dT \quad (\text{ideales Gas})$$

$$dH = dU + n R_m dT$$

$$\Delta H = U_{T_2} + n R_m T_{T_2}$$

$$\Delta H = 7,667 \text{ MJ}$$

Aufgabe 2

$$H = \sum n_i H_{m,i} = [H] = (U + pV)_{He} + (U + pV)_{Ar}$$

Isobare Wärmezufuhr

$$dH = dU + p dV + V dp$$

$$dU = dQ - p dV$$

$$dH = dQ + V dp \quad \leftarrow = 0 \text{ (isobar)} \quad \rightarrow \Delta H = Q_{T_2}$$

~~$\Delta H_{He} = \int_{T_1}^{T_2} c_{p,He} dT$~~

$$\frac{dH_{He}}{n_{He}} = c_{p,He} dT$$

$$\frac{dH_{Ar}}{n_{Ar}} = c_{p,Ar} dT$$

$$Q_{T_2} = 7 \text{ MJ} = \Delta H_{He} + \Delta H_{Ar}$$

$$Q_{T_2} = \Delta(n_{He} \cdot H_{m,He}) + \Delta(n_{Ar} \cdot H_{m,Ar})$$

$$\rightarrow n_{He}, n_{Ar} = \text{const.}$$

$$Q_{T_2} = n_{He} c_{p,He} \int_{T_1}^{T_2} dT + n_{Ar} c_{p,Ar} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$Q_{T_2} = (T_2 - T_1) (n_{He} c_{p,He} + n_{Ar} c_{p,Ar})$$

$$\text{Mit } c_{p,He} = c_{p,He} \cdot n_{He} = 20,77 \frac{J}{\text{molK}}$$

$$T_2 = 437,5K$$

Aufgabe 3

$$V = 0,03 \text{ m}^3 \quad 7 \text{ mol H}_2$$

$$T' = T'' = 298,2 \text{ K} \quad Q = 57 \text{ kcal} \quad = 238,5 \text{ kJ} \quad \text{ideale Gase}$$

a) ~~Wasserstoffmoleküle~~

~~Wasserstoffmoleküle~~

Auf der Erde tritt Wasserstoff nicht atomar, sondern als Molekül auf



$$P_1 = \frac{n_1 R T_1}{V_1} \quad \text{mit } n = 7,5 \text{ mol}$$

$$P_1 = 1,24 \text{ bar}$$

$$P_2 = 0,8264 \text{ bar}$$

b) Isochor

$$dU = dQ - P dV \quad \delta = 0 \text{ (isochor)} \quad -1 \text{ kcal} = -4,1868 \text{ kJ}$$

$$dU = Q_{12} = -238,5 \text{ kJ}$$

c) Isobar

~~Wasserstoffmoleküle~~

~~Wasserstoffmoleküle~~

Lösen über ideale Gasgleichung: $PV = nRT$

$$\Delta V = \frac{nRT_2}{P_2} - \frac{nRT_1}{P_1} \quad ; \quad P_2 = P_1$$

$$(V_2 - V_1) = \frac{1}{P} R n (n_2 T_2 - n_1 T_1) \quad ; \quad T_2 = T_1$$

$$V_2 = 0,02 \text{ m}^3$$

d) $dQ = dU + P dV$; dU bleibt gleich bei $dU = 57 \text{ kcal}$

~~Wasserstoffmoleküle~~

$$dQ = -57 \text{ kcal} + P(V_2 - V_1)$$

$$dQ = -239,9 \text{ kJ}$$

Aufgabe 4

a) Isober, isotherm $p_0 = 101325 \text{ Pa}$, $T_0 = 298,15 \text{ K}$

$$\Delta_R H_m^\circ = \sum \nu_i'' H_{m,i}^\circ - \sum \nu_i' H_{m,i}^\circ$$



$$\Delta_R H_m^\circ = -7300 \frac{\text{kJ}}{\text{mol C}_2\text{H}_2} \text{ (Flüssig)}$$

$$\Delta_R H_m^\circ = -7256 \frac{\text{kJ}}{\text{mol C}_2\text{H}_2} \text{ (Gasförmig)}$$

b) Oberer Heizwert $\hat{=}$ Brennwert $\hat{=}$ -Standardreaktionsenthalpie (Wasser fl.)

Unterer Heizwert $\hat{=}$ Heizwert $\hat{=}$ -Standardreaktionsenthalpie (Wasser gas.)

$$(H_u)_{\text{molzahl}} = 7300 \frac{\text{kJ}}{\text{mol C}_2\text{H}_2}$$

$$(H_u)_{\text{molzahl}} = 7256 \frac{\text{kJ}}{\text{mol C}_2\text{H}_2}$$

$$; M_{\text{C}_2\text{H}_2} = 26 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

$$(H_u)_{\text{masse}} = 50000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg C}_2\text{H}_2}$$

$$; V = \frac{nRT}{p} \rightarrow \frac{V}{n} = \frac{RT}{p}$$

$$(H_u)_{\text{masse}} = 48370 \frac{\text{kJ}}{\text{kg C}_2\text{H}_2}$$

$$(H_u)_{\text{volumen}} = 53740 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \text{C}_2\text{H}_2}$$

$$(H_u)_{\text{volumen}} = 57340 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \text{C}_2\text{H}_2}$$

Aufgabe 5

$\lambda = 7,575$, isobare Verbrennung
 , Enthalpie const.

$$\frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{N}_2}} = \frac{27}{79}$$



$$\lambda = \frac{V'_{\text{O}_2}}{V_{\text{O}_2, \text{stöchi}}} \rightarrow V'_{\text{O}_2} = 3,75$$



etc

~~$$\frac{7,75}{7,85}$$~~



Enthalpie const. $\Delta H = 0$ (beim Stoffgemisch)

$$n_i' H_i' = n_i'' H_i''$$

$$(nH)'_{\text{C}_2\text{H}_2} + (nH)'_{\text{O}_2} + (nH)'_{\text{N}_2} \stackrel{!}{=} (nH)''_{\text{N}_2} + (nH)''_{\text{O}_2} + (nH)''_{\text{CO}_2} + (nH)''_{\text{H}_2\text{O}} \quad | \cdot \frac{1}{N_A}$$

Gleichung mit Avogadro-Konstante erweitern, um nicht mit

Stoffmengen, sondern Molekül- bzw. Anzahl, zu rechnen

Verbrennung Übung 2

$$H_i(T) = n_i H_{m,i}^0 + \int_{T_0}^T c_{p,i}(U) dU$$

Alternative Gleichung:

$$\sum v_i' H_{m,i}(T) = \sum v_i'' H_{m,i}(T'')$$

~~Nullwert~~
 = 0 weil $T_0 = T'$

$$\sum v_i' (H_{m,i}^0 + \int_{T_0}^{T'} c_{p,i}(U) dU) = \sum v_i'' (H_{m,i}^0 + \int_{T_0}^{T''} c_{p,i}(U) dU)$$

~~Nullwert~~

$$\sum H_{m,i}^0 (v_i' - v_i'') = \sum v_i'' \int_{T_0}^{T''} c_{p,i}(U) dU$$

$$-\Delta_R H_m^0 = \sum v_i'' \int_{T_0}^{T''} c_{p,i}(U) dU$$

$$802,3 = \sum v_i'' \int_{T_0}^{T''} c_{p,i}(U) dU$$

$$= \sum v_i'' (H_m(T'') - H_m(T_0))$$

Vereinfachung?

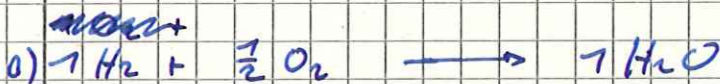
$$= 782,6 \text{ bei } T'' = 1700 \text{ K}$$

$$= 970,7 \text{ bei } T'' = 2000 \text{ K}$$

Interpolation ergibt $802,3 = \frac{970,7 - 782,6}{2000 - 1700} (x - 1700) + 782,6$

$$T'' = 1732 \text{ K}$$

Aufgabe 6



Isobar

$$H_i(T) = n_i H_{m,i}^0 + \int_{T_0}^T c_{p,i}(U) dU$$

$$H_{m,i}(T) = H_{m,i}^0 + R_m \left[3,622T + 0,3687 \frac{T^2}{\text{K}} \cdot 10^{-3} - 0,0655 \cdot 10^{-6} \frac{T^3}{\text{K}^2} \right]_{T_0}^T$$

$$H_{m,\text{O}_2}(T) = R_m (-6,55 \cdot 10^{-8} T^3 + 3,687 \cdot 10^{-4} T^2 + 3,622 T - 77,77)$$

$$H_{m,\text{H}_2}(T) = R_m (-7,755 \cdot 10^{-8} T^3 + 2,556 \cdot 10^{-4} T^2 + 3,77 T - 949,5)$$

$$H_{m,\text{H}_2\text{O}}(T) = R_m (-2,674 \cdot 10^{-8} T^3 + 7,473 \cdot 10^{-4} T^2 + 2,777 T - 917,9) + H_{m,\text{H}_2\text{O}}^0$$

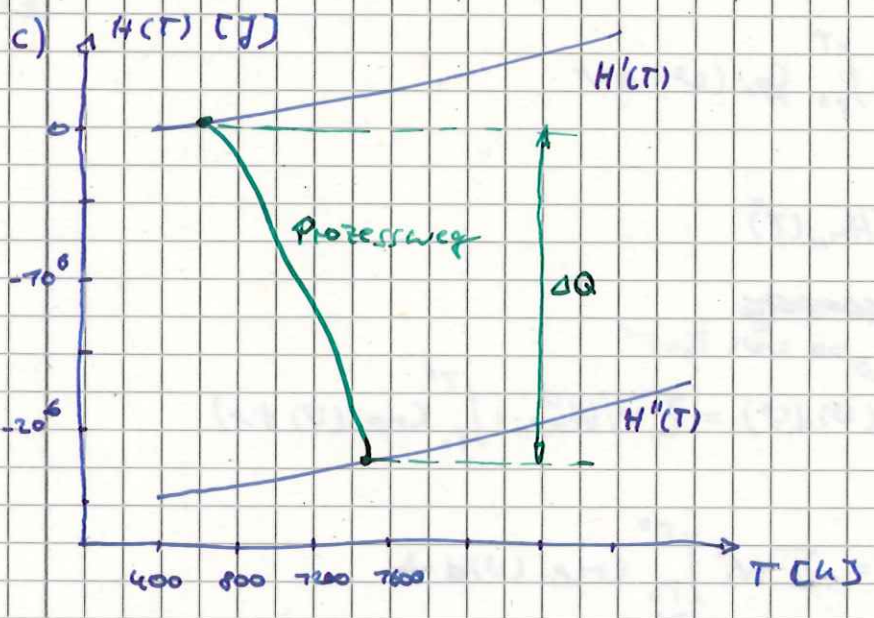
b) $H = \sum n_i H_{m,i}$

Vor der Verbrennung

$$H_0 = 1 \cdot H_{m,\text{H}_2}(T_0) + \frac{1}{2} H_{m,\text{O}_2}(T_0) = \dots$$

Nach der Verbrennung

$$H'' = 1 \cdot H_{m,\text{H}_2\text{O}}(T'') = \dots$$



Verbrennung Übung 3

Aufgabe 1

a) $0 = H''(T_{ad}) - H'(T')$; $T' = T^0$

$0 = \sum v_i'' H_{f,i}(T_{ad}) - \sum v_i' H_{f,i}(T')$



$H_{f,i}(T) = H_{f,i}^0 + \int_{T_1}^{T_{ad}} C_{p,i}(T) dT$

$H_{f,N_2 H_4}(T) = 93,755 + (0,057 T_{ad}^2 + 20,09 T_{ad} - 70520)$

$H_{f,N_2 O_4}(T) = 91670 + (0,057 T_{ad}^2 + 46,92 T_{ad} - 78520)$

$H_{f,H_2 O}(T) = -247,990 + (0,004 T_{ad}^2 + 46,52 T_{ad} - 74230)$

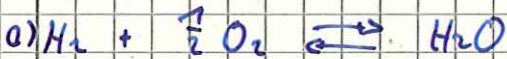
$H_{f,N_2}(T) = 0 + (0,007 T_{ad}^2 + 29,75 T_{ad} - 8959)$

$0 = \frac{3}{2} \left(\int_{298,15}^{T_{ad}} C_{p,N_2}(T) dT \right) + 2 \cdot \left(-247,990 + \int_{298,15}^{T_{ad}} C_{p,H_2 O}(T) dT \right) -$
 $- 1 \cdot \left(93,755 + \int_{298,15}^{400} C_{p,N_2 H_4}(T) dT \right) - \frac{7}{2} \left(91,67 + \int_{298,15}^{400} C_{p,N_2 O_4}(T) dT \right)$

$T_{ad1} = -78760 \text{ K}$

$T_{ad2} = 3673 \text{ K}$

Aufgabe 2



$K_x(p,T) = X_{H_2}^{v_{H_2}} \cdot X_{O_2}^{v_{O_2}} \cdot X_{H_2 O}^{v_{H_2 O}} = 27,93$; $[v_i^0 = v_i'' - v_i']$

$X_{H_2} + X_{O_2} + X_{H_2 O} = 1$

Anzahl der Atome

$\frac{n_{H_2}}{n_{O_2}} = 2$ (Weil stöchiometrische Beziehung der Stoffe:)
 (Ablezen aus Reaktionsgleichung)

$\frac{n_{H_2}}{n_{ges}} = 2 \frac{n_{O_2}}{n_{ges}}$; $x_i = \frac{n_i}{n_{ges}}$

$X_{H_2} = 2 \cdot X_{O_2}$

Drei Gleichungen mit drei unbekanntes

$X_{H_2} = 0,7378$

$X_{O_2} = 0,0689$

$X_{H_2 O} = 0,7933$

$X_{O_2} \neq X_{H_2}$
 b) ~~Stoffgemisch~~, weil sich Zusammensetzung des Stoffgemisches bei nicht-Reaktionstrischer Zersetzung im Laufe der Reaktion ändert

$$n_{O_2} = \frac{1}{2} 2 n_{O_2} + n_{H_2O} = \text{const.}$$

$$n_H = 2 n_{H_2} + 2 n_{H_2O} = \text{const.}$$

Startbedingung aus der Aufgabenstellung: $\frac{n_{O_2}}{n_{H_2}} = 1$

Daraus folgt: $\frac{n_O}{n_H} = 1$

$$\frac{2 n_{O_2} + n_{H_2O}}{2 n_{H_2} + 2 n_{H_2O}} = 1$$

$$2 n_{O_2} + n_{H_2O} = 2 n_{H_2} + 2 n_{H_2O}$$

$$2 \frac{n_{O_2}}{n_{\text{ges}}} - 2 \frac{n_{H_2}}{n_{\text{ges}}} - 2 \frac{n_{H_2O}}{n_{\text{ges}}} = 0$$

$$2 X_{O_2} - 2 X_{H_2} - 2 X_{H_2O} = 0$$

Außerdem gilt, wie vorher

$$X_{O_2} + X_{H_2O} + X_{H_2} = 1$$

$$X_{O_2} + X_{H_2O} + X_{H_2} = 27,93$$

$$X_{H_2O} = 0,6044$$

$$X_{H_2} = 0,0466$$

$$X_{O_2} = 0,3489$$

c) ~~Fall 1~~

$$c_i = c_{\text{ges}} X_i$$

$$c_{\text{ges}} = \frac{n_{\text{ges}}}{V_{\text{ges}}}; \quad V = \left[\frac{n R T}{p} \right] \rightarrow V_{\text{ges}} = n_{\text{ges}} \frac{R T}{p}$$

$$c_{\text{ges}} = 4,009 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Fall 1} \\ c_{H_2O} = 3,778 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$c_{H_2} = 0,5541 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$c_{O_2} = 0,2762 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$K_c = \prod c_i^{v_i}$$

$$K_c = 10,95 \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)^{-0,5}$$

$$\text{Fall 2} \\ c_{H_2O} = 2,423 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$c_{H_2} = 0,1861 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$c_{O_2} = 7,379 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$K_c = 10,97 \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)^{-0,5}$$

Bleibt konstant!

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~

~~XXXXXXXXXXXX~~



$$K_x(P, T)_{H_2O} = X_H^{-2} \cdot X_O^{-7} \cdot X_{H_2O}^1$$

Bekannt sind

$$K_x(P, T)_{H_2} = X_H^{-2} \cdot X_{H_2}^1 = 42,735 = \frac{X_{H_2}}{X_H^2} \quad \text{I}$$

$$K_x(P, T)_{O_2} = X_O^{-2} \cdot X_{O_2}^1 = 56,7798 = \frac{X_{O_2}}{X_O^2} \quad \text{II}$$

$$K_x(P, T)_{H_2O} = X_O^{-7} \cdot X_H^{-1} \cdot X_{OH}^1 = 56,7798 = \frac{X_{OH}}{X_O^7 X_H}$$

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~

$$\frac{X_{H_2O}}{X_H X_O} = \frac{X_{H_2O}}{X_H^2 X_O} = 7033 = K_x(P, T)_{H_2O}$$

Lösung möglich über Umstellen und auflösen von Gl. I und II

Zusammen mit Ergebnissen zur Aufgabenteil b)

e) I $7033 = X_H^{-2} \cdot X_O^{-7} \cdot X_{H_2O}^1$

~~XXXXXXXXXXXX~~

~~XXXXXXXXXXXX~~

II $X_H + X_O + X_{H_2} + X_{O_2} + X_{H_2O} = 1$

III $42,735 = X_H^{-2} X_{H_2}^1$

IV $56,7798 = X_O^{-2} X_{O_2}^1$

V $56,7798 = X_O^{-7} X_H^{-1} X_{OH}^1$

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~

~~XXXXXXXXXXXX~~

~~XXXXXXXXXXXX~~

Stoffmenge der einzelnen Spezies verändern sich im Reaktionsverlauf, aber ~~gesamtenergie~~ ^{der Atome} gesamtenergie ~~bleiben~~ ^{bleiben} gleich!

$$\frac{n_{O,ges}}{n_{H,ges}} = \frac{1}{2} = \frac{n_O + 2n_{O_2} + n_{OH} + n_{H_2O}}{n_H + 2n_{H_2} + n_{OH} + 2n_{H_2O}} \quad (: n_{ges}$$

$$\frac{1}{2}(X_H + 2X_{H_2} + X_{OH} + 2X_{H_2O}) = X_O + 2X_{O_2} + X_{OH} + X_{H_2O}$$

~~XXXX~~

VI $\frac{1}{2} X_H + X_{H_2} - X_O - 2X_{O_2} - \frac{1}{2} X_{OH} = 0$

$$f) X_H = 0,0566$$

Lösen des linearen Gleichungssystems

$$X_H = 0,0566$$

$$X_O = ~~0,02849~~ 0,02849$$

$$X_{H_2} = 0,7369$$

$$X_{O_2} = 0,104559$$

$$X_{OH} = 0,09058$$

$$X_{H_2O} = 0,6478$$

Relativ großer Unterschied zu vorheriger Berechnung zeigt:
bei 3000K spielt Effekt durch Dissoziation eine große Rolle

Aufgabe 3



$$a) X_{Ar} = 0,89$$

$$X_{H_2} + X_{Ar} + X_H = 1$$

$$K_x(p, T) = X_{H_2}^{-7} \cdot X_H^2 \cdot X_{Ar}^0$$

$$K_p(T) = \exp\left(-\frac{\Delta_r G_m(T)}{RT}\right) = ~~0,02384~~ 0,02384$$

$$K_p(T) = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{(-7+2)} \cdot K_x(p, T)$$

$$K_x(p, T) = 0,02476$$

$$X_{H_2} = 0,06973$$

$$X_H = 0,04087$$

$$b) K_c(T) = K_p(T) \cdot \left(\frac{p_0}{RT}\right)^{(-7+2+0)} = 0,09685$$

Aufgabe 1



a)

$$\begin{aligned} \frac{d[\text{OH}]}{dt} &= k_{f,1} (0-2) [\text{OH}]^2 - k_{b,1} (0-2) [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}] \\ &= -2k_{f,1} [\text{OH}]^2 + 2k_{b,1} [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}] \\ \frac{d[\text{H}_2\text{O}]}{dt} &= k_{f,1} (1-0) [\text{OH}]^2 - k_{b,1} (1-0) [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}] \\ &= k_{f,1} [\text{OH}]^2 - k_{b,1} [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}] \\ \frac{d[\text{O}]}{dt} &= k_{f,1} (1-0) [\text{OH}]^2 - k_{b,1} (1-0) [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}] \\ &= k_{f,1} [\text{OH}]^2 - k_{b,1} [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}] \end{aligned}$$

b) Zeitgesetz für eine chem. Reaktion

$$\left(\frac{d[A_i]}{dt} \right)_r = k_{f,r} (v_{r,i}'' - v_{r,i}') \prod_{j=1}^s [A_j]^{v_{r,j}'} - k_{b,r} (v_{r,i}'' - v_{r,i}') \prod_{j=1}^s [A_j]^{v_{r,j}''}$$

Zeitgesetz für R chem. Reaktionen

$$\frac{d[A_i]}{dt} = \sum_{r=1}^R \left(\frac{d[A_i]}{dt} \right)_r \quad R = \text{Anzahl chem. Reaktionen}$$

$$\begin{aligned} \frac{d[\text{OH}]}{dt} &= (-2k_{f,1} [\text{OH}]^2 + 2k_{b,1} [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}]) + \\ &+ (k_{f,2} [\text{O}] [\text{H}] - 0) \end{aligned}$$

$$\frac{d[\text{H}_2\text{O}]}{dt} = k_{f,1} [\text{OH}]^2 - k_{b,1} [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}]$$

$$\frac{d[\text{O}]}{dt} = k_{f,1} [\text{OH}]^2 - k_{b,1} [\text{H}_2\text{O}] [\text{O}] - k_{f,2} [\text{O}] [\text{H}]$$

$$\frac{d[\text{H}]}{dt} = -k_{f,2} [\text{O}] [\text{H}]$$

Aufgabe 2

a) $P = \frac{nRT}{V}$ Anzahl der Teilchen bleibt bei der Reaktion gleich

isochor + isotherm \rightarrow auch isobar

b) $\frac{d[A]}{dt} = -k_{f,1} [A]$ (Rückreaktion vernachlässigt)
 $= -3466 \frac{[A]}{s}$ $PV = nRT$

~~Konzentration zu Beginn: $[A_0] = \frac{1 \text{ Mol}}{1 \text{ Mol}}$~~

$$[A_0] = \frac{nA(T=0)}{V} = \frac{P}{RT} = 6,094 \frac{\text{Mol}}{\text{m}^3}$$

~~Wichtig~~

Verbrennung Übung 4

$$f) [A^*] = [A_0] - [A]$$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k_{f,1}[A] + k_{b,1}[A^*]$$

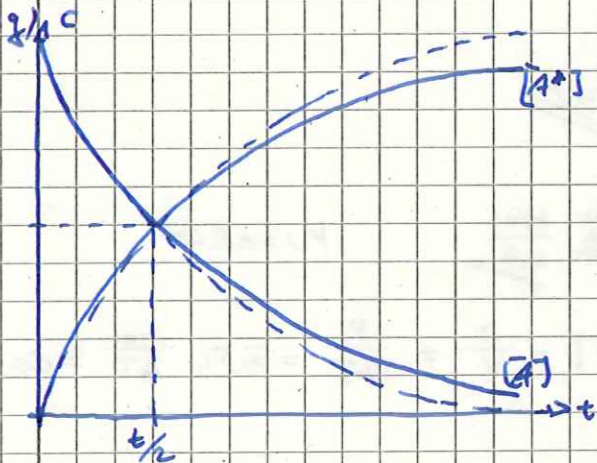
$$" " = -k_{f,1}[A] + k_{b,1}[A_0] - k_{b,1}[A]$$

~~$$\int \frac{d[A]}{(-k_{f,1}[A] + k_{b,1}[A_0] - k_{b,1}[A])} dt$$~~

~~$$\int \frac{d[A]}{k_{b,1}[A_0] - (k_{f,1} + k_{b,1})[A]}$$~~

$$\int \frac{d[A]}{(-k_{f,1}[A] + k_{b,1}[A_0] - [A])} = \int dt$$

$$[A_n](t) = \frac{-k_f[A_0] \exp((-k_f - k_b)t) - k_b[A_0]}{-k_f - k_b}$$



Mit Rückreaktion bleibt ein Teil von [A] erhalten

Halbwertszeit : $[A_n](t = t_h) = \frac{[A_0]}{2} \rightarrow t_h = 0,209 \text{ ms}$

Lebensdauer : $[A_n](t = \tau) = \epsilon[A_0] \rightarrow \tau = 0,372 \text{ ms}$

$$h) \frac{[A](t) - [A_0]}{[A_{gleichg.}] - [A_0]} = 0,95$$

mit $[A_{gleichg.}] = [A_n](t = \tau)$

$$t = 0,789 \text{ ms}$$

Aufgabe 3



$$k_f = 4000 \frac{\text{m}^3}{\text{mol s}}$$

a) Erweiterte Arrhenius-Gleichung:

$$k(T) = k_f = A' T^b \exp\left(-\frac{E_A'}{R T}\right)$$

$$T = \underline{\underline{2200 \text{ K}}}$$

$$b) \frac{d[A]}{dt} = k_f (0 \rightarrow 1) \cdot [A][M]$$

$$d[A] = -k_f [A][M] dt$$

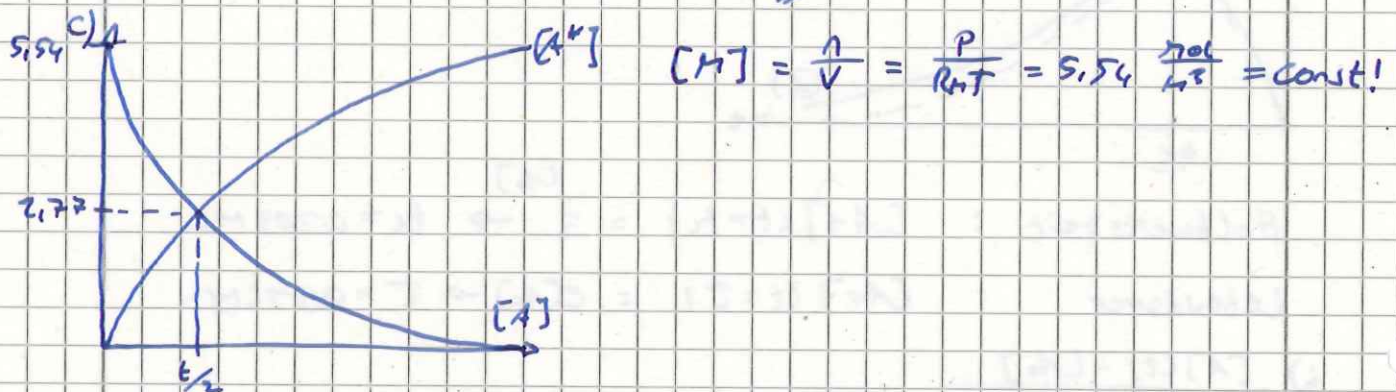
$$\int_{[A_0]}^{[A]} (-k_f [A][M])^{-1} d[A] = \int_{t_0}^{t_1} dt$$

$$[A_1](t_1) = [A_0] \exp(-[M] k_f t_1)$$

~~$$[A_0] = \frac{p_A}{V} = \left(\frac{p_{RT}}{p}\right)^{-1} = 5,54 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$~~

$$[A_0] = \frac{p_A}{V} = \left(\frac{p_{RT}}{p}\right)^{-1} = 5,54 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

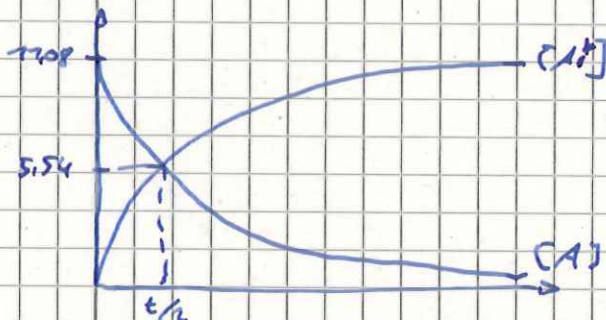
$$pV = nRT$$



Halbwertszeit : $[A_1](t) = \frac{1}{2} [A_0] \Rightarrow t = \frac{\ln 2}{[M] k_f} = 3,128 \cdot 10^{-5} \text{ s}$

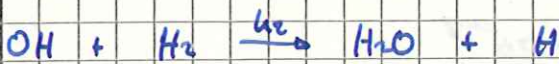
d) $p = 2,027 \text{ bar}$

$$[A_0] = 11,08 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \quad [M] = 11,08 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$



Halbwertszeit $[A_1](t) = \frac{1}{2} [A_0] \Rightarrow t = 7,564 \cdot 10^{-5} \text{ s}$

Aufgabe 4



$$X_{H_2} = 0,78$$

$$X_{O_2} = 0,09$$

$$P = 0,7 \text{ bar}$$

$$T = 700 \text{ K}$$

$$k_1 = 0,544 \frac{\text{cm}^3}{\text{mols}} ; \quad k_2 = 0,563 \cdot 10^{12} \frac{\text{cm}^3}{\text{mols}}$$

$$a) \frac{d[OH]}{dt} = k_1(2-0)[H_2][O_2] + k_2(0-1)[OH][H_2]$$

$$\frac{d[OH]}{dt} = (k_1[H_2][O_2] - k_2[H_2][OH]) dt$$

$$\int_{t_0}^{t_1} dt = \int_{[OH]_0}^{[OH]_1} \frac{d[OH]}{(k_1[H_2][O_2] - k_2[H_2][OH])}$$

k_1 ist klein, deswegen Induktionsphase vernachlässigt werden
absolut

$$[OH]_0 = [OH]_{\infty} \exp(-[H_2]k_2 t_0)$$

k_1 sehr klein $\rightarrow [H_2], [O_2]$ wird als konst. angenommen
in der Induktionsphase.

$$[OH]_1 = \frac{1}{k_2} [(2 \exp([H_2]k_2 t_1) k_1 [O_2] H_2 k_1 [O_2] - k_2 [OH]_0)] \exp(-[H_2]k_2 t_1)$$

$$[OH]_1 = \frac{2k_1[O_2]}{\exp([H_2]k_2 t_1) k_2} - \frac{[OH]_0}{\exp([H_2]k_2 t_1)} + \frac{2k_1[O_2]}{k_2}$$

Für $t_1 \rightarrow \infty$ geht $[OH]_1 \rightarrow \frac{2k_1[O_2]}{k_2}$

Konzentration von $[OH]$ in Quasi-stationäre Zustand ist also $\frac{2k_1[O_2]}{k_2}$

95% $[OH]$ werden erreicht, wenn $f(t) = 0,05 \frac{2k_1[O_2]}{k_2}$

$$X_{H_2} = \frac{[H_2]}{C_{ges}}$$

$$C_{ges} = \frac{P}{R_{MT}} = 7,77 \text{ mol/m}^3$$

$$[H_2] = 0,3092 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$[O_2] = 0,7546$$

$$f(t) = \frac{2k_1[O_2]}{k_2}$$

$$\rightarrow t_{ind} = 0,772 \text{ ns}$$

~~Wird die Induktionsphase vernachlässigt?~~

$[OH] = 0$ funktioniert hier aber nicht.

$$b) [\text{OH}]_{\text{st.}} = \frac{2 \cdot k_1 [\text{O}_2]}{k_2}$$

$$\frac{[\text{OH}]_{\text{st.}}}{c_{\text{ges}}} = \frac{2 k_1 \frac{c_{\text{O}_2}}{c_{\text{ges}}}}{k_2}$$

$$X_{\text{OH, st.}} = \frac{2 k_1 X_{\text{O}_2}}{k_2} = 7,739 \cdot 10^{-7}$$

$$c) \frac{d[\text{H}_2]}{dt} = k_1 (0,2) [\text{H}_2][\text{O}_2] + k_2 (0,2) [\text{OH}][\text{H}_2]$$

~~$$\frac{d[\text{H}_2]}{dt} = k_1 (0,2) [\text{H}_2][\text{O}_2] + k_2 (0,2) [\text{OH}][\text{H}_2]$$~~

~~$$\int_{[\text{H}_2,0]}^{[\text{H}_2,t]} \frac{d[\text{H}_2]}{[\text{H}_2]} = \int_0^t \frac{k_1}{t_0} dt$$~~

Annahme $[\text{OH}] = [\text{OH}]_{\text{st.}}$, bei geringer induktionszeit

bleibt Fehler durch diese Annahme sehr gering

$$\frac{d[\text{H}_2]}{dt} = -k_1 [\text{H}_2][\text{O}_2] - k_2 [\text{H}_2] \frac{2 k_1 [\text{O}_2]}{k_2}$$

$$= -k_1 [\text{H}_2][\text{O}_2] - 2 k_1 [\text{H}_2][\text{O}_2]$$

$$= -3 k_1 [\text{H}_2][\text{O}_2]$$

Weitere Annahme: $[\text{H}_2]$ und $[\text{O}_2]$ sind etwa konstant bei einer Änderung von $[\text{H}_2]$ um 1%.

$$\frac{d[\text{H}_2]}{dt} \Delta t = -0,01 [\text{H}_2] = -3 k_1 [\text{H}_2][\text{O}_2] \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{0,01 [\text{H}_2]}{3 k_1 [\text{H}_2][\text{O}_2]}$$

$$k_1 [\text{O}_2] = c_{\text{ges}} X_{\text{O}_2} = \frac{p}{R \cdot T} X_{\text{O}_2}$$

$$\Delta t = 3,962 \cdot 10^5 \text{ s}$$

Verbrennung Probeklausur 7

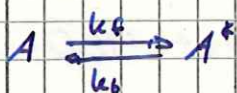
7

Aufgabe 7

$$T = 7000 \text{ K}$$

$$p = 1 \text{ atm}$$

$$pV = nRT$$



isotherm

$$a) [A_0] = \frac{n_{\text{gas}}}{V} = \frac{p}{RT} = 12,19 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$b) k_f = A' T^b \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) = 7,562 \cdot 10^5$$

$$k_b = \quad \quad \quad = 9,779 \cdot 10^6$$

$$c) \frac{d[A]}{dt} = k_f(1-1)[A] - k_b(0-1)[A^*] \\ = -k_f[A] + k_b[A^*]$$

$$\frac{d[A^*]}{dt} = k_f(1-0)[A] - k_b(1-0)[A^*] \\ = k_f[A] - k_b[A^*]$$

$$d) \frac{d[A]}{dt} = (-k_f[A] + k_b[A^*]) dt \\ \int_{t_0}^{t_1} \frac{d[A]}{(-k_f[A] + k_b[A^*])} = \int_{[A_0]}^{[A_1]} \frac{d[A]}{(-k_f[A] + k_b[A^*])}$$

$$[A_1](t) = \frac{1}{k_f} \left(([A_0]k_f - [A_1]k_b) + [A^*]k_b \exp(k_f t) \right) \exp(-k_f t)$$

Vernachlässigung der Rückreaktion

$$[A_1](t) = [A_0] \exp(-k_f t)$$

$$[A_1](t=0,000075) = 2,556 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

Es sind noch 20,97% vorhanden

Aufgabe 2



$$p_0 = 1,01325 \text{ bar} \quad \text{isobar}$$



$$\lambda = \frac{V'_{\text{O}_2}}{V'_{\text{O}_2, \text{stö}}} \rightarrow V'_{\text{O}_2} = 37; + 0 \text{ C}_{10}\text{H}_{22} + \frac{31}{2} \text{ O}_2$$

$$c) 0 = \sum v_i H_{m,i}(T_{\text{ad}}) - \sum v_i H_{m,i}(T')$$

$$H_{m,i, \text{C}_{10}\text{H}_{22}} = H_{m,i, \text{C}_{10}\text{H}_{22}}^0 + \int_{T_0}^{T_{\text{ad}}} C_{p,i, \text{C}_{10}\text{H}_{22}}(\vartheta) d\vartheta =$$

Alles Einsetzen bei $T' = 498,75 \text{ K}$

$$T_{\text{ad}} = \underline{\underline{7630 \text{ K}}}$$

Verbrennung Probeklausur 2

Aufgabe 1



$$b) H' = \sum n_i' H_{m,i}'$$

$$H_{m,i,C_3H_8}' = H_{m,i,C_3H_8}^0 + \int_{T_0}^{T'} C_{p,i,C_3H_8} dT = -703,85 \frac{kJ}{mol}$$

$$H' = -770,4 \frac{kJ}{mol}$$

$$\Delta R H_m^0 = \sum \nu_i' H_{m,i}' - \sum \nu_i'' H_{m,i}'' = -2228 \frac{kJ}{mol}$$

$$c) H''(T_{ad}) - H'(T') = \sum n_i'' H_{m,i}''(T_{ad}) - \sum n_i' H_{m,i}'(T')$$

$$H_{m,CO_2}'' = -393,5 \cdot 10^3 + \int_{T_0}^{T_{ad}} 7R \ln dT = -4,709 \cdot 10^5 + 58,2 T_{ad}$$

$$H_{m,H_2O}'' = -2,592 \cdot 10^5 + 58,2 T_{ad}$$

$$H_{m,N_2}'' = -7,775 \cdot 10^4 + 37,47 T_{ad}$$

$$H''(T_{ad}) = \dots$$

$$= 7258 T_{ad} - 2,774 \cdot 10^6$$

$$d) 0 = H''(T_{ad}) - H'(T')$$

$$T_{ad} = 2069 K$$

Aufgabe 2



Anzahl der Teilchen bleibt über Reaktion

konstant, isochor und isotherm, $\rightarrow V$ und C_{ges} bleibt gleich

$$b) \frac{n}{V} = \frac{p}{RT} = C_{ges} = 4,062 \frac{mol}{m^3}$$

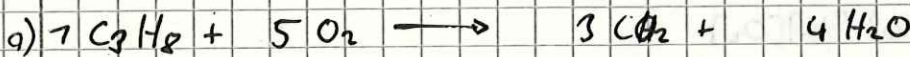
$$[A_0] = [B_0] = 2,031 \frac{mol}{m^3} \quad (\text{weil jeweils } 1 \text{ mol})$$

$$[A_0] = 2,5 \frac{mol}{m^3} \quad [B_0] = 7,5 \frac{mol}{m^3}$$

$$c) k_f = A' T^b \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) = 7,075 \cdot 10^6 = 850000 \frac{m^3}{mol \cdot s}$$

$$k_b = \dots = 6,055 \cdot 10^6 = 680000 \frac{m^3}{mol \cdot s}$$

Aufgabe 1



b) $\Delta_R H_m^\circ = \sum \nu_i H_{m,i}^\circ \text{ (Produkt)} - \sum \nu_i H_{m,i}^\circ \text{ (Reaktant)} = -823,0 \frac{kJ}{mol}$

c) $H_{m,C_3H_8}(T) = H_{m,C_3H_8}^\circ + \int_{T_0}^T C_{m,p,C_3H_8}(U) dU = \cancel{10000} \frac{kJ}{mol} - 7,379 \frac{kJ}{mol}$

$H_{m,O_2}(T) = \dots = 2,954 \frac{kJ}{mol}$

$H_{C_3H_8}(T) = -7379 \frac{kJ}{mol}$

$H_{O_2}(T) = 74770 \frac{kJ}{mol}$

d) $0 = \sum n_i''(H_{m,i}(T_{ad})) - \sum n_i'(H_{m,i}(T'))$

$T_{ad} = 2904 K$

$H_{m,CO_2} = 55 T_{ad} - 4,704 \cdot 10^5$

$H_{m,H_2O} = 37 T_{ad} - 2,530 \cdot 10^5$

Hier vielleicht in TR vertippt, beim alles nochmal eingeben kann aber das ca. richtige raus

Aufgabe 3

a) $X_{CO} = 0,07 \quad X_{CO_2} = 0,19 \quad X_{H_2O} = 0,3 \quad X_{N_2} = 0,48 \quad X_{O_2} = 0,02$

$K_x(p,T) = \prod x_i^{\nu_i} = 78050$

$K_c(T) = K_p(T) \cdot \left(\frac{p_0}{R_m T}\right)^{\sum \nu_i}$

$K_c(T) = \left(\frac{p_0}{p_0}\right)^{\sum \nu_i} K_x(p,T) \cdot \left(\frac{p_0}{R_m T}\right)^{\sum \nu_i} = 725,7 \frac{m^3}{mol}$

b) I $k_{f,1}(T) = 7,2 \cdot 10^{17} \frac{cm^6}{mol^2 s} \cdot T^0 \cdot \exp\left(-\frac{1200}{R_m T}\right)$

II $k_{b,1}(T) = 7,05 \cdot 10^3 \frac{cm^3}{mol s} \cdot T^0 \cdot \exp\left(-\frac{3000}{R_m T}\right)$

III $K_c(T) = \frac{k_{f,1}}{k_{b,1}} = 725,7 \frac{m^3}{mol}$

~~...~~

$\frac{cm^6}{mol^2 s} \rightarrow \frac{m^3}{mol s}$ Umrechnung nicht möglich!

gewollt ist wohl $A_{f,1} = 0,7200 \frac{m^3}{mol}$

$T = 2998,8$ $C_{ges} = \left(\frac{R_m T}{p}\right)^{-1}$

$$c) k_{f,2} = A' T^b \exp\left(-\frac{E_a}{R T}\right) = 8,774 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol s}}$$

$$d) \frac{d[\text{NO}]}{dt} = k_{f,2} (2-0) [\text{N}_2][\text{O}_2]$$

$$\int_{\frac{c_{\text{NO}}}{c_{\text{NO}_0}}}^{\frac{c_{\text{NO}}}{c_{\text{NO}_0}}} \frac{1}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} d[\text{NO}] = \int_{t_0}^{t_1} 2k_{f,2} dt$$

$$[\text{NO}_2] = 0,07623 [\text{N}_2][\text{O}_2] t_1 \quad ; \quad x_{\text{NO}_2, t} = \frac{c_{\text{NO}_2}}{c_{\text{ges}}}$$

~~Es~~

$$x_{\text{NO}_2, 2} - x_{\text{NO}_2, 1} = \frac{0,07623 [\text{N}_2][\text{O}_2] t_2 - 0,07623 [\text{N}_2][\text{O}_2] t_1}{c_{\text{ges}}}$$

$$x_{\text{NO}_2, 2} - x_{\text{NO}_2, 1} = \frac{c_{\text{NO}_2}}{c_{\text{ges}}} (t_2 - t_1) \dots \text{Häää...?}$$

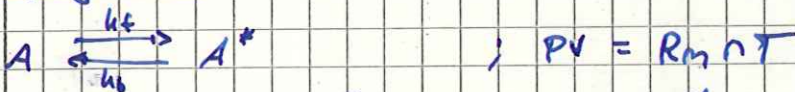
Verbrennung Probeklausur 7

7

Multiple choice

- a) Warum stabilisiert sich eine laminare Flamme an einer bestimmten Position? Weil die Flammgeschwindigkeit gleich der Anströmgeschwindigkeit senkrecht zur Flammfront ist.
- b) Wird 1 mol Stoff isobar 177 J an Wärme zugeführt, dann...
 $dH = dU + p dV + V dp$ $dU = dQ - p dV$...
steigt die Enthalpie um 177 J
- c) Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt vereinfacht ausgedrückt... Die Prozessrichtung thermodynamischer Prozesse und die Entropieänderung während eines thermodynamischen Prozesses.

Aufgabe 7



a) $[A_0] = c_{\text{ges}} = \frac{p}{R_m T} = 12,79 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$

b) $k(T) = A' T^b \exp\left(-\frac{E_a}{R_m T}\right)$

$$k_f = 1,562 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$k_b = 9,779 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

c) $\frac{d[A]}{dt} = k_f (0 \rightarrow 1) [A] - k_b (0 \rightarrow 1) [A^*] = -k_f [A] + k_b [A^*]$

$$\frac{d[A^*]}{dt} = k_f (1 \rightarrow 0) [A] - k_b (1 \rightarrow 0) [A^*] = k_f [A] - k_b [A^*]$$

d) $d[A] = -k_f [A] dt$ (Rückreaktion vernachlässigen)

$$\int_{[A_0]}^{[A_1]} \frac{d[A]}{[A]} = \int_{t_0}^{t_1} -k_f dt$$

$$[A_1](t_1) = 12,79 \exp(-756200 t_1)$$

$$[A_1](t_1 = 0,00007) = 2,556$$

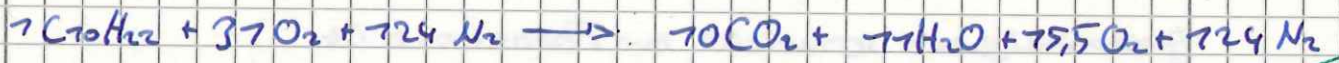
Es sind noch 20,97% von $[A_0]$ vorhanden

Aufgabe 2

(2)



$$b) \lambda = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{O}_2, \text{stoch.}}} = 2 \longrightarrow V_{\text{O}_2} = 37$$



$$c) 0 = \sum v_i H_{m,i}(T_{\text{ad}}) - \sum v_i H_{m,i}(T')$$

$$H_{m,i}(T) = H_{m,i}^0 + \int_{T_0}^T C_{m,i}(\vartheta) d\vartheta$$

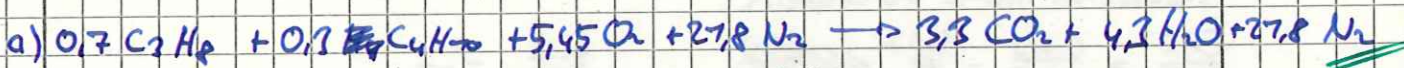
Alles einsetzen und auflösen, nach T_{ad} liefert:

$$T_{\text{ad}} = 7630 \text{ K}$$

Multiple Choice

- a) Welche der folgenden Aussagen über die Eigenschaften und Veränderungen, in einem thermodynamischen System ist korrekt? In einem adiabatischen Prozess wird keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht, und jede Veränderung der inneren Energie erfolgt durch am System geleistete oder von System verrichtete Arbeit.
- b) Welche der folgenden Eigenschaften ist charakteristisch für stationäre, laminare Flammen? Bei Vermischung besteht das Risiko des Flammrückschlags
- c) Welche der folgenden Maßnahmen kann zur unvollständigen Verbrennung und zur Bildung von UHC- und CO-Emissionen in einem Brennkammersystem führen? Sauerstoffmangel
- d) Welche der folgenden Aussagen zu Ruß ist richtig? ~~Rußbildung~~
 Durch Beiräucherung von aromatischen Kohlenwasserstoffen zu n-Allenen wird Rußbildung in Flamme verstärkt

Aufgabe 1



b) $H' = \sum (n_i H_{f,i}^{\circ}) + \int_{T_0}^T c_{p,i}(T) dT = -774,7 \text{ kJ}$
 = 0, weil T=T⁰

$\Delta_r H_m^{\circ} = \sum \nu_i' H_{f,i}^{\circ} - \sum \nu_i H_{f,i}^{\circ} = -2772 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

c) $H''(T_{ad}) = \sum (n_i'' H_{f,i}^{\circ}) + \int_{T_0}^{T_{ad}} c_{p,i}(T) dT = 7085 T_{ad} - 3,707 \cdot 10^6 \text{ J}$

d) $0 = H''(T_{ad}) - H'(T')$

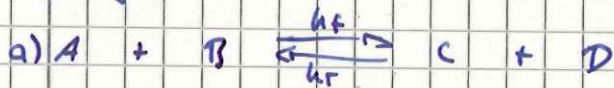
$T_{ad} = 2758 \text{ K}$

Fast jeder Mal vergessen die Ersatzwerte zu verwenden...

In der Mustertlösung aber jeder Mal, daher die Abweichung

Aufgabe 2

41



isochor, isotherm $\rightarrow V, T = \text{konst.}$

$$pV = nRT$$

Anzahl der Teilchen (gesamt) bleibt während Reaktion konstant

\hookrightarrow Volumen und Gesamtkonzentration bleiben ebenfalls konstant

$$b) c_{\text{ges}} = \frac{p}{RT} = 4,062 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$[A_0] = [B_0] = \frac{c_{\text{ges}}}{2} = 2,031 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \quad (\text{weil jeweils } 1 \text{ mol})$$

\hookrightarrow Eigentlich vorher Volumen berechnen, n ist bekannt

$$c) k(T) = A T^b \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)$$

$$k_f = 7,075 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}}$$

$$k_r = 6,055 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}}$$

d) Bei jedem Reaktionsschritt wird die gleiche Anzahl von A und B in C und D umgewandelt, ~~addiert~~ (und umgekehrt), sodass sich die Verhältnisse $\frac{[A]}{[B]}$ und $\frac{[C]}{[D]}$ über den Verlauf der Reaktion nicht verändern.

$$\frac{[A]}{[B]} = \frac{[A_0]}{[B_0]} = \frac{1,667}{3}$$

$$\frac{[C]}{[D]} = 7$$

$$e) k_c(T) = \frac{1}{R} \left(\frac{1}{[A]} \frac{1}{[B]} \frac{[C]}{[D]} \right) = \frac{1}{R}$$

$$c_{\text{ges}} = c_A + c_B + c_C + c_D$$

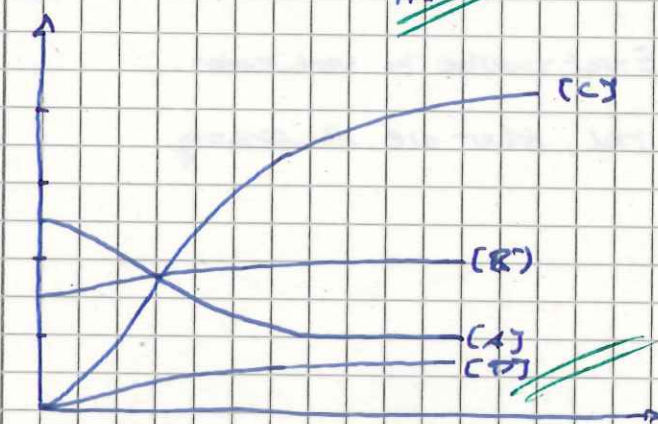
$$c_A = 0,9974 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$c_B = 7,995 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$c_C = 4,379 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$c_D = 0,5259 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

\hookrightarrow In Musterlösung werden Werte aus vorheriger Berechnung verwendet, nicht die vorgegebenen.



~~Wichtig!~~

\hookrightarrow Verhältnisse aus d) nicht beachten!

Verbrennung Probeklausur 2

f) Halbwertszeit [A] und [B]

$$\frac{d[A]}{dt} = -k_f [A][B]$$

$$\frac{d[B]}{dt} = -k_f [A][B]$$

$$\int_{[A_0]}^{[A]} \frac{d[A]}{[A][B]} = \int_{t_0}^{t_1} -k_f dt \quad ; \quad [A] = [B]$$

~~$\frac{d[A]}{dt} = -k_f [A][B]$~~

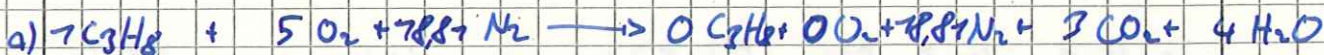
~~$\frac{d[B]}{dt} = -k_f [A][B]$~~

~~$[A](t_1)$~~ ~~$[B](t_1)$~~

$$[A](t_1) = \frac{3,776 \cdot 10^{-6}}{t_1 + 4,706 \cdot 10^{-7}}$$

$$[A](t_1) = [A_0] \cdot \frac{1}{2} \quad \rightarrow \quad t_1 = \underline{\underline{4,706 \cdot 10^{-7} \text{ s}}}$$

Aufgabe 7



b) ~~Anzahl~~ $M_{C_2H_6} = 44 \frac{kg}{kmol} = 0,044 \frac{kg}{mol}$

Bei 7 kg C_2H_6 : 22,73 mol

	n_i [mol]	m_i [kg]	\rightarrow		n_i' [mol]	m_i' [kg]
C_2H_6	22,73	7	\rightarrow	C_2H_6	0	0
O_2	3,637	3,637	\rightarrow	O_2	0	0
N_2	427,6	47,97	\rightarrow	N_2	427,6	47,97
CO_2	0	0	\rightarrow	CO_2	68,79	3
H_2O	0	0	\rightarrow	H_2O	90,92	7,637

c) $M_{ges} = 76,67 \text{ kg} \rightarrow M'_{ges} = 76,67 \text{ kg}$

$n_{ges} = 564,0 \text{ mol} \rightarrow n'_{ges} = 564,0 \text{ mol}$

$M' = \frac{M_{ges}}{n_{ges}} = 0,02445 \frac{kg}{mol} \rightarrow M'_{ges} = 0,02445 \frac{kg}{mol}$

d) $X'_{C_2H_6} = 0,0403 \quad X''_{C_2H_6} = 0$

$X'_{O_2} = 0,2076 \quad X''_{O_2} = 0$

$X'_{N_2} = 0,7522 \quad X''_{N_2} = 0,7289$

$X'_{CO_2} = 0 \quad X''_{CO_2} = 0,1762$

$X'_{H_2O} = 0 \quad X''_{H_2O} = 0,1550$

$W'_{C_2H_6} = 0,0602 \quad W''_{C_2H_6} = 0$

$W'_{O_2} = 0,2790 \quad W''_{O_2} = 0$

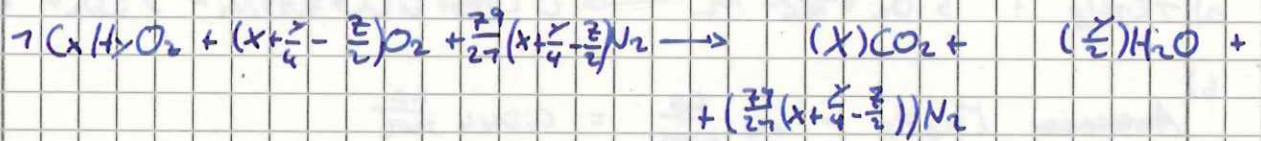
$W'_{N_2} = 0,7202 \quad W''_{N_2} = 0,7207$

$W'_{CO_2} = 0 \quad W''_{CO_2} = 0,1806$

$W'_{H_2O} = 0 \quad W''_{H_2O} = 0,09856$

Aufgabe 2

$$(3,762x + 0,9405y)$$



Aufgabe 3

a)



1 mol $C_2 H_6 N_2$ auf 4 mol O_2



Verbrennung-Übung 2 - Wiederholung

Aufgabe 1

0) ~~Wärmeabfuhr~~ T''

$$H_{He} = U_{He} + P_{He} V$$

$$dH_{He} = dU_{He} + P_{He} dV + V_{He} dp$$

$$dH_{He} = dQ_{He} + V_{He} dp$$

$$\Delta H_{He} = 717 \text{ J}$$

Einsetzen in obere Gleichung liefert:

$$\Delta H_{He} =$$

$$\Delta H_{He} = C_{p,He} (T'' - T_0)$$

$$\Delta H_{He} = C_{p,He} (T'' - T_0)$$

$$dH_{He} = C_{p,He} (T) dT$$

$$\Delta H_{He} = C_{p,He} (T'' - T_0) \rightarrow T'' = 492,6 \text{ K}$$

b) ~~Wärmeabfuhr~~

$$dH = dU + P dV + V dP = 0$$

$$dU = dH - P dV$$

$$\Delta U = \Delta H - P (V'' - V_0) \quad ; \quad PV = n R T$$

$$= \Delta H - P \left(\frac{n R T''}{P''} - \frac{n R T_0}{P_0} \right) \quad \text{isobar}$$

$$\Delta U = \Delta H - n R m (T'' - T_0) = 5,997 \cdot 10^5 \text{ J}$$

c) Durch Ausdehnung des Gases wird Volumenänderungsarbeit verrichtet

Aufgabe 2

$$H_{ges} = U + P V$$

$$dH_{ges} = dU + P dV + V dP \quad ; \quad dU = dQ - P dV$$

$$dH_{ges} = 717 \text{ J}$$

~~Wärmeabfuhr~~
(Aufgaben)

$$\Delta H = \Delta Q = \Delta H_{He} + \Delta H_{Ar} = C_{p,He} (T'' - T_0) + C_{p,Ar} (T'' - T_0) \stackrel{!}{=} 717 \text{ J}$$

$$C_{p,He} = 5793 \quad ; \quad C_{p,Ar} = C_{m,Ar} \cdot n_{Ar} = 2079$$

$$T'' = 437,5 \text{ K}$$

Aufgabe 4



$$\Delta_r H_m^\circ = -1256 \frac{kJ}{mol} \quad (\text{gasförmiges Wasser})$$

$$\Delta_r H_m^\circ = -1300 \frac{kJ}{mol} \quad (\text{flüssiges Wasser})$$

b)...

Verbrennung Übung 3 - Wiederholung

Aufgabe 2



$$H_{T_1, N_2H_4} = H_{T_1, N_2H_4}^0 + \int_{T_0}^{T_1} a_{N_2H_4} T + b_{N_2H_4} dT = 82266 \text{ kJ/mol}$$

$$H_{T_1, N_2O_4} = \quad = 82567 \text{ kJ/mol}$$

$$H_{T_1, H_2O} = \quad = 81000 \text{ kJ/mol}$$

$$H_{T_1, N_2} = \quad = 81000 \text{ kJ/mol}$$

$$0 = \sum n_i' H_{T_1}(T_1) - \sum n_i'' H_{T_1}(T_0)$$

$$T_0 = 3673 \text{ K}$$

Aufgabe 3

$$a) \quad \Delta_R G_m^0(T) = \sum [v_i (H_{T_1}(T) - T S_{T_1}^0(T))] = 93790 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$



$$K_p(T) = \exp\left(-\frac{\Delta_R G_m^0(T)}{R_m T}\right) = 0,02384$$

$$K_p(T) = \left(\frac{P}{P_0}\right)^{2-1} K_x(P, T)$$

$$K_x(P, T) = 0,02384 = X_{H_2}^{-1} \cdot X_H^2 \cdot \frac{P_{Ar}}{P} \cdot \frac{P}{P_{Ar}}$$

$$X_{Ar} + X_{H_2} + X_H = 1$$

$$X_{H_2} = 0,04066 \quad X_H = 0,06934$$

$$b) \quad K_c(T) = K_x(P, T) \left(\frac{P}{R_m T}\right)^1 = 0,0955$$

Verbrennung Übung 4 - Wiederholung

Aufgabe 1

$$a) \frac{d[OH]}{dt} = k_{f,1}(-2)[OH] - k_{b,1}(-2)[H_2O][O]$$

$$\frac{d[H_2O]}{dt} = k_{f,1}(-1)[OH] - k_{b,1}(-1)[H_2O][O]$$

$$\frac{d[O]}{dt} = k_{f,1}(-1)[OH] - k_{b,1}(-1)[H_2O][O]$$

$$b) \frac{d[OH]}{dt} = -2k_{f,1}[OH] + 2k_{b,1}[O][H_2O] + k_{f,2}[O][H]$$

$$\frac{d[H_2O]}{dt} = k_{f,1}[OH] - k_{b,1}[O][H_2O]$$

$$\frac{d[O]}{dt} = k_{f,1}[OH] - k_{b,1}[O][H_2O] - k_{f,2}[O][H]$$

$$\frac{d[H]}{dt} = -k_{f,2}[O][H]$$

Aufgabe 2

a) Isochor und isotherm \rightarrow Prozess mit konst. Volume und Temperatur

~~und der Druck bleibt nicht konstant~~ $PV = nRT$

Auch der Druck bleibt konstant. $PV = nRT$

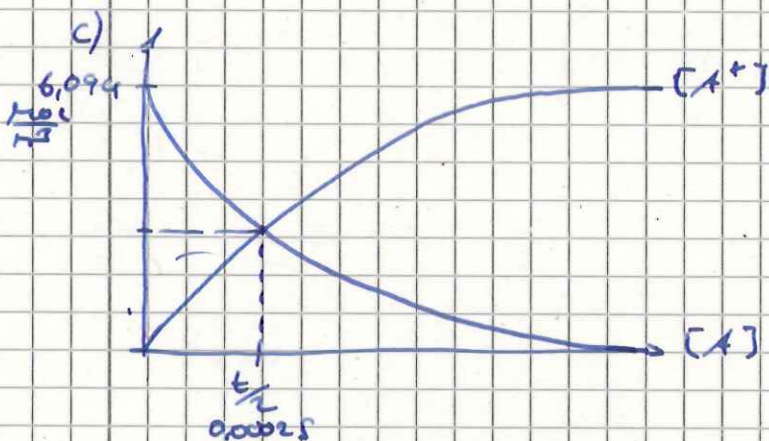
$$b) [A_0] = \frac{P}{R \cdot T} = 6.094 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k_f[A] + k_b[A^*] \quad \text{noch nicht berücksichtigt}$$

$$d[A] = -k_f[A] + k_b[A^*] dt$$

$$\int_{[A_0]}^{[A_1]} \frac{d[A]}{-k_f[A] + k_b[A^*]} = \int_{t_0}^{t_1} dt$$

$$[A_1](t) = [A_0] \exp(-3466 t)$$



Verbrennung Übung 4 - Wiederholung

Aufgabe 2

c) Halbwertszeit: $\frac{1}{2} [A_0] = [A_1](t_{1/2})$

$t_{1/2} = 0,00025 \text{ s}$

Lebensdauer: $\frac{1}{e} [A_0] = [A_1](t_1)$

$t_1 = 0,0002885 \text{ s}$

d) $0,05 [A_0] = [A_1](t_{1/4})$

$t_{1/4} = 0,0008643 \text{ s}$

Aufgabe 3

a) $k_1(T) = A T^b \exp\left(-\frac{E_A}{R T}\right) \stackrel{!}{=} 4000 \frac{\text{m}^3}{\text{mol s}}$

$T = 2200 \text{ K}$

b) Bei $t = 0$ gibt es nur Teilchen von A

$[A_0] = \frac{p}{R T} = 5,54 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$

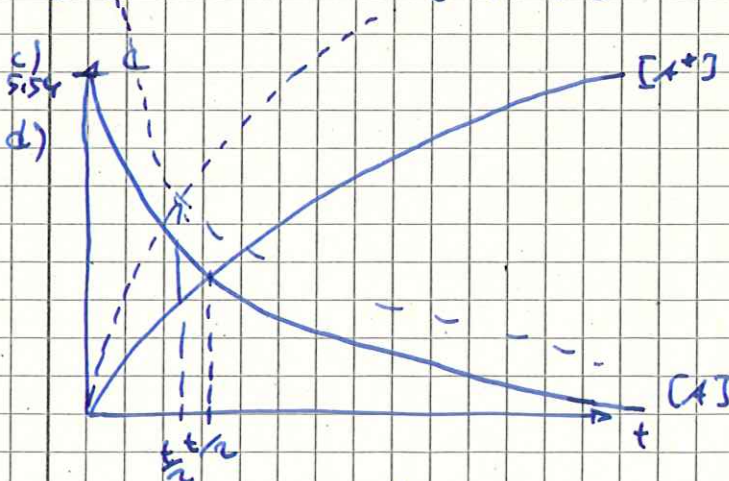
$\frac{d[A]}{dt} = k_1(0-T) [A][M]$

$\int_{[A_0]}^{[A_1]} \frac{d[A]}{[A][M]} = \int_{t_0}^{t_1} -k_1 dt$

$[A_1](t_1) = [A_0] \exp(-4000 [M] t_1)$

Konzentration von M ist über die Reaktion konstant $[M] = \frac{p}{R T}$

$[A_1](t_1) = [A_0] \exp[-22760 t_1]$



Halbwertszeit: $\frac{1}{2} [A_0] = [A_1](t_{1/2})$; $t_{1/2} = 3,086 \cdot 10^{-5} \text{ s}$

e) Halbwertszeit bei 2000 K : $\frac{1}{2} [A_0] = [A_1](t_{1/2})$; $t_{1/2} = 7,156 \cdot 10^{-5} \text{ s}$