

# Exercise 1 Solution Proposal

---

(a)

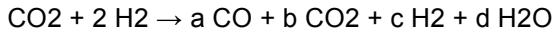
Gemischzusammensetzung zu Beginn

	# Mol	Mol Fraction Xi
CO	0	0
CO <sub>2</sub>	1	0.333
H <sub>2</sub>	2	0.666
H <sub>2</sub> O	0	0
ntot	3	

zu Beginn enthaelt der Gemisch: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>

beim Gleichgewichtszustand enthaelt der Gemisch: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CO

Globale Reaktion:



Basiert auf die globale Reaktion, kann man 3 Atombilanzen (C, H, O) aufstellen. Da die H<sub>2</sub> menge im Gleichgewicht durch die gegebenen Mol Fraktion bestimmt ist, reichen diese 3 Gleichungen um die Gleichgewichtszusammensetzung zu bestimmen:

$$\text{H}_2: \quad X\text{H}_2 = 0.4 \rightarrow n\text{H}_2 = 0.4 * n_{\text{tot}} = 0.4 * (a+b+c+d) = 0.4 * 3 = 1.2 \rightarrow c = 1.2$$

$$\text{C:} \quad 1 = a + b$$

$$\text{O:} \quad 2 = a + 2b + d$$

$$\text{H:} \quad 4 = 2c + 2d$$

Die resultierende Gleichgewichtszusammensetzung:

	# Mol	Mol Fraction Xi
CO	0.8	0.26666
CO <sub>2</sub>	0.2	0.06666
H <sub>2</sub>	1.2	0.4
H <sub>2</sub> O	0.8	0.26666
ntot	3	

(b)

$$K_c = [\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]/[\text{CO}_2][\text{H}_2] \text{ at equilibrium} = 0.8 * 0.8 / (0.2 * 1.2) = 2.6666$$

Since  $K_c \gg 1$  the reaction is product-favoured

(c)

For this reaction the number of moles on either side is the same, hence  $K_c$  and  $K_p$  are equal for a given temperature ( $K_c = K_p \cdot p^{\Delta v}$ ).  $K_p$  is independent of the system pressure and so there is no change.

(d)

$\Delta H = H_{f,\text{products}} - H_{f,\text{reactants}} = (-110530) + (-241280) - (-393520) - (0) = +41110$ . Da  $H_{f,\text{products}} > H_{f,\text{reactants}}$  ist (alternative reasoning:  $K_p \uparrow$  wenn  $T \uparrow$ ; Tab. A-32), ist die Gleichgewichtsreaktion endotherm.

$\ln K(T_2) = \ln K(T_1) + \Delta H / R \cdot (T_2 - T_1) / (T_1 \cdot T_2)$  (van't Hoff equation)

$\ln K(T_2) = \ln(2.6666) + 41110 / 8.314 \cdot (2000 - 1532) / (2000 \cdot 1532)$

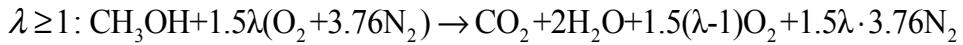
**$K(T_2) = 5.6752$**

Or from Table A-32:

**$K(T_2) = 4.5290 \rightarrow$  The suggested method is however the van't Hoff equation (see script page 43 equation 33)!!!**

# Exercise 2 Solution Proposal

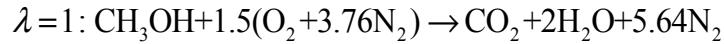
a)



b)

$$\dot{m}_{Luft} = \frac{\dot{m}_{Luft}}{\dot{m}_{CH_3OH}} \Big|_{stoich} \cdot \dot{m}_{CH_3OH} = \frac{1.5 \cdot (M_{O_2} + 3.76 M_{N_2})}{M_{CH_3OH}} \cdot \dot{m}_{CH_3OH} = 4.826 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

c)



$$\begin{aligned} (\Delta H_R) \Big|_{T_x} &= (\Delta H_R) \Big|_{T_{ref}} + \sum_j [(v_j'' - v_j') \cdot [h_j(T_x, p_{ref}) - h_j(T_{ref}, p_{ref})]] \\ &= -h_{f, CH_3OH}^0 + h_{f, CO_2}^0 + 2h_{f, H_2O}^0 \\ &\quad - c_{p, CH_3OH}(T_x - T_{ref}) - 1.5(h_{O_2}(T_x) - h_{O_2}(T_{ref})) \\ &\quad + (h_{CO_2}(T_x) - h_{CO_2}(T_{ref})) + 2(h_{H_2O}(T_x) - h_{H_2O}(T_{ref})) \\ &= -675912 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \triangleq -675.912 \frac{\text{MJ}}{\text{kmol}} \cdot \frac{1}{32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = -21.12 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

	$h_f^0$ [kJ/kmol]	$h(T_{ref}=298K)$ [kJ/kmol]	$h(T_x=320K)$ [kJ/kmol]
CH <sub>3</sub> OH	-200'890	-	-
O <sub>2</sub>	0	8'682	9'325
N <sub>2</sub>	0	8'669	9'306
CO <sub>2</sub>	-393'520	9'364	10'186
H <sub>2</sub> O	-241'820	9'904	10'639

d)

$$\begin{aligned}
\Delta Q &= \Delta H + \Delta W \\
&= \sum_P \dot{n}_P h_P(T_{aus}) - \sum_E \dot{n}_E h_E(T_{ein}) + \Delta W \\
&= \sum_P \dot{n}_P \left( h_{f,P}^0(T_{ref}) + [h_P(T_{aus}) - h_P(T_{ref})] \right) \\
&\quad - \sum_E \dot{n}_E \left( h_{f,E}^0(T_{ref}) + [h_E(T_{ein}) - h_E(T_{ref})] \right) + \Delta W \\
&= \sum_P \dot{n}_P \left( h_P(T_{aus}) - h_P(T_{ein}) \right) + \dot{n}_{CH_3OH} \left( \Delta H_R \right) \Big|_{T_{ein}} + \Delta W \\
&= \dot{n}_{CH_3OH} \left[ \left( h_{CO_2}(T_{aus}) - h_{CO_2}(T_{ein}) \right) \right. \\
&\quad \left. + 2 \left( h_{H_2O}(T_{aus}) - h_{H_2O}(T_{ein}) \right) \right. \\
&\quad \left. + 5.64 \left( h_{N_2}(T_{aus}) - h_{N_2}(T_{ein}) \right) + \left( \Delta H_R \right) \Big|_{T_{ein}} \right] + \Delta W \\
&= \frac{\dot{m}_{CH_3OH}}{M_{CH_3OH}} \left[ \left( h_{CO_2}(T_{aus}) - h_{CO_2}(T_{ein}) \right) \right. \\
&\quad \left. + 2 \left( h_{H_2O}(T_{aus}) - h_{H_2O}(T_{ein}) \right) \right. \\
&\quad \left. + 5.64 \left( h_{N_2}(T_{aus}) - h_{N_2}(T_{ein}) \right) + \left( \Delta H_R \right) \Big|_{T_{ein}} \right] + \Delta W \\
&= -5.38 kW \quad (-4.54 kW)
\end{aligned}$$

	$h(T_{aus}=1100K)$ [kJ/kmol]	$h(T_{ein}=320K)$ [kJ/kmol]
N2	33'426	9'306
CO2	48'258	10'186
H2O	40'071	10'639

e)  $\eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_{CH_3OH}(-\Delta h_R)} = 0.316 \quad (0.333)$

Name	Vorname	Matrikelnummer	Anzahl Blätter

# Zwischenprüfung I

## THERMODYNAMIK II

FS 2015

14. April 2015

### Hinweise:

Erlaubte Hilfsmittel:

- LAV Formelsammlung
- 8 Blätter eigene Zusammenfassung (16 Seiten)
- Tabellen von Moran & Shapiro
- Taschenrechner (gemäss Thermodynamik II Richtlinien)

Jeder Täuschungsversuch wird mit der Note 1 bewertet.

**Jede Aufgabe wird auf einem separaten Blatt bearbeitet.**

**Jedes Blatt ist mit Name und Legi-Nr. zu beschriften.**

Für alle Aufgaben gilt, dass der Lösungsweg nachvollziehbar sein muss. Unmotivierte Lösungsversuche werden nicht bewertet!

Stoffwerte, die in der Aufgabenstellung nicht gegeben sind, sollen wo nicht anders vermerkt den Tabellen aus Moran & Shapiro entnommen werden.

Falls ein Wert nicht gegeben oder bekannt ist, oder ein Zwischenergebnis nicht erreicht wird, kann eine realistische Annahme gemacht werden (und schreibe ausdrücklich, dass es sich um eine Annahme handelt!) um weiter zu rechnen.

Bitte Legi zur Kontrolle auf den Tisch legen.

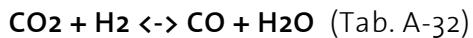
---

Bitte freilassen!

Aufgabe 1	Aufgabe 2	Gesamtpunktzahl	Assistent

## Aufgabe 1: Chemisches Gleichgewicht [8.5 P]

In einem adiabaten konstantem Volumen Reaktor wird ein Gemisch aus CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O aufbereitet. Die Zusammensetzung im Gleichgewicht wird durch folgende Reaktion bestimmt:



Das System enthält zu Beginn 2 mol H<sub>2</sub> und 1 mol CO<sub>2</sub>. Es wird nun in den Gleichgewichtszustand gebracht. In diesem Zustand hat H<sub>2</sub> einen Mol-Anteil von 0.4 und das System befindet sich bei einer Temperatur von 1532 K.

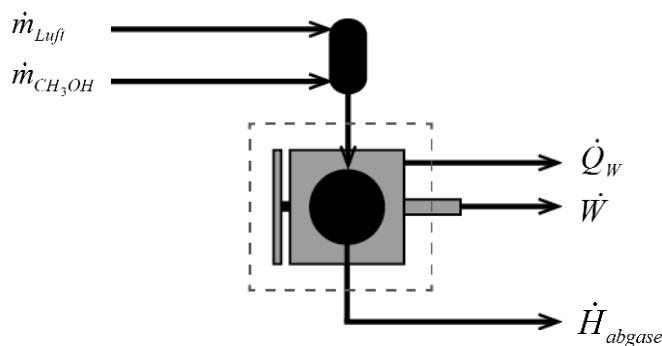
- a) Berechne die Gemischzusammensetzung  $X_i$  bei dem gegebenen Gleichgewichtszustand.  
(Hinweis: zur Lösung muss keine Energiegleichung aufgestellt werden)
- b) Berechne K<sub>c</sub> basierend auf der Gleichgewichtszusammensetzung. Welches ist die dominante Richtung, in der die Reaktion bei der gegebenen Temperatur abläuft?
- c) Was passiert mit der Gleichgewichtskonstanten K<sub>c</sub> dieser Reaktion durch eine Erhöhung des Druckes und warum?
- d) Zeige ob die Reaktion exotherm oder endotherm ist und berechne K<sub>c</sub> bei T = 2000 K.  
(Hinweis: van't Hoff-Gleichung)

### Hinweise/Annahmen:

- Alle Stoffe sind gasförmig und können als ideale Gase behandelt werden.

## Aufgabe 2: Methanol Verbrennung [11.5 P]

An einem heissen Tag in der Wüste beträgt die Umgebungstemperatur 320 K bei  $p=10^5$  Pa. Es wird in einem Motor Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) stöchiometrisch ( $\lambda=1$ ) verbrannt. Dabei wird über die Kurbelwelle eine Leistung  $\dot{W}$  von 5 kW ausgekoppelt um einen Stromgenerator zu betreiben. Der Motor soll als kontinuierlich arbeitend angenommen werden. Es wird ein Massenstrom  $\dot{m}_{\text{CH}_3\text{OH}}$  von 0.75 g/s bei stöchiometrischen Bedingungen zugeführt. Der Abgasmassenstrom hat eine Temperatur von 1100 K. Die Eintrittsbedingungen entsprechen den Umgebungsbedingungen. Verluste gibt es in Form von Abgasenthalpie und Wandwärmeverluste  $\dot{Q}_W$  an das Kühlwasser.



- Gib die Reaktionsgleichung von Methanol mit Luft pro Mol Methanol für magere ( $\lambda>1$ ) Gemische an.
- Bestimme den benötigten Luftmassenstrom  $\dot{m}_{Luft}$  für ein stöchiometrisches Gemisch für den gegebenen Methanolmassenstrom  $\dot{m}_{\text{CH}_3\text{OH}}$ .
- Bestimme die Reaktionsenthalpie  $\Delta H_R$  von Methanol mit Luft bei Umgebungsbedingungen ( $T=320$  K,  $p=1$  bar) pro Kilogramm Brennstoff.  
Falls kein Wert für die Reaktionsenthalpie gefunden werden konnte, so ist im Folgenden  $\Delta H_R=-20\text{ MJ/kg}$  bei Eintrittsbedingungen zu verwenden.
- Bestimme die Wandwärmeverluste  $\dot{Q}_W$  für die gegebenen Bedingungen. Verwende hierzu den 1. Hauptsatz für chemisch reaktive Systeme.
- Berechne den effektiven Wirkungsgrad des Motors  $\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{chem}}$

### Hinweise/Annahmen:

- Alle Komponenten können als gasförmig betrachtet werden
- Luft:  $X_{\text{O}_2}=0.21$ ;  $X_{\text{N}_2}=0.79$
- molare Masse  $\text{O}_2$ : 32 g/mol
- molare Masse  $\text{N}_2$ : 28 g/mol
- molare Masse  $\text{CH}_3\text{OH}$ : 32 g/mol
- cp Methanol: 44.06 J/(mol K)