

**Aufgabe 1.)** ( 2 Punkte)

- a.) Wie beeinflussen in einer Verbrennungsreaktion Brennstoffe in fester bzw. flüssiger Phase das chemische Gleichgewicht? Begründung!
- b.) Wie ist der Zusammenhang zwischen der Gleichgewichtskonstante  $K_P$  und dem Molenbruch  $X_i$  ? Wann gilt  $K_P = K_x$ ? Geben Sie ein Beispiel einer chemischen Reaktion für die gilt  $K_P = K_x$ !
- c.) Die Aktivierungsenergie einer chemischen Reaktion werde durch einen Katalysator erniedrigt. Verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung der Ausgangsstoffe oder in Richtung der Endstoffe?

**Aufgabe 2.)** ( 1 Punkt)

- a.) Nennen Sie die Reaktionsmechanismen, die zur  $\text{NO}_x$ -Bildung führen!
- b.) Geben Sie Elementarreaktionen an, die zu NO führen!

**Aufgabe 3.)** ( 1 Punkt)

Wodurch kommt der unterschiedliche Verlauf der „Viehe-Kurven“ für Otto- und Dieselmotoren zustande?

**Aufgabe 4.)** ( 1,5 Punkte)

- a.) Nennen Sie charakteristische Kenngrößen für den Zündprozess!
- b.) Was ist die Zündverzugszeit und warum tritt sie auf?
- c.) Warum ist die Zündtemperatur von  $C_6H_6$  deutlich höher als von  $n-C_5H_{12}$ ?

**Aufgabe 5.)** ( 1 Punkt)

Charakterisieren Sie den Einfluß einer erhöhten Sauerstoffkonzentration, Inertgaszusatz, Zusatz von Löschmitteln, Druck- und Temperaturerhöhung auf die Zündgrenzen eines Brennstoff- Oxidatorgemisches.

**Aufgabe 6.)** ( 2 Punkte)

- a.) Nennen Sie wesentliche Kennzeichen (jeweils min. zwei) der Diffusions- und Vormischverbrennung!
- b.) Skizzieren Sie die Abhängigkeit der turbulenten Flammengeschwindigkeit von der Reynoldszahl und dem Rohrdurchmesser bei der Vormischverbrennung!
- c.) Es werde eine runde Diffusionsfreistrahlf Flamme betrachtet. Wie hängt die Flammenlänge von dem Brennstoff-Volumenstrom und vom Brennerdurchmesser ab? Skizze!

**Aufgabe 7.)** ( 1,5 Punkte)

- a.) Erklären Sie in wenigen Stichworten den Begriff der Dissoziation in Flammen.
- b.) Wann tritt sie verstärkt auf und welchen Einfluss hat sie auf die Verbrennung?
- c.) Welchen Einfluss hat der Druck auf die Dissoziation?

**Aufgabe 8.)** ( 7,5 Punkte)

Durch die Abgasleitung eines Zylinders strömt (vollentwickelte Strömung) das heiße Abgas (1500°C) aus dem Zylinder eines Motors heraus. Die Abgasleitung kann als gerades Rohr mit einer Wandstärke von 1cm angenommen werden. Da die Leitung am Unterboden des Fahrzeuges entlang geführt wird, kann die Temperatur um die Leitung herum als Umgebungstemperatur (25°C) angenommen werden. Berechnen Sie in Teil a) den Wärmestrom pro Meter Abgasleitung durch Wärmeleitung (Abgas in Ruhe ( $u=0\text{m/s}$ )). In Teil b) soll die Wanddicke erforderliche Wanddicke berechnet werden, wenn nur noch die Hälfte des Wärmestroms aus Teil a) übertragen werden soll. In Teil c) die Temperatur an der Außenseite des Rohres, wenn das Abgas mit 25m/s durch die Leitung strömt und ein Wärmestrom von 10kW angenommen werden kann.

Folgende Daten sind bekannt:

$$\lambda = 14,7 \text{ W/mK}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$\lambda_G(1500^\circ\text{C}) = 0,137 \text{ W/mK}$$

$$v_G(1500^\circ\text{C}) = 398 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$a(1500^\circ\text{C}) = 589 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

(Deckel und Boden sind zu vernachlässigen)

$$a) Q/l = 0,7472 \text{ MW}; b) s = 0,022 \text{ m}; c) T_w = 700,45 \text{ K}$$

**Aufgabe 9.)** ( 6,5 Punkte)

- a.) Nennen Sie den Unterschied zwischen Brennwert und Heizwert!
- b.) Bestimmen Sie den molaren Heiz- und Brennwert bei Standardbedingungen und stöchiometrischer Umsetzung von Erdgas der Zusammensetzung:

Methan( $\text{CH}_4$ )	89,6 Vol.-%	Ethan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )	1,2 Vol.-%
Propan( $\text{C}_3\text{H}_8$ )	0,6 Vol.-%	Stickstoff	5,8 Vol.-%
Kohlendioxid	2,8 Vol.-%		

Spezies $i$	Kohlendioxid	Wasser (flüssig)	Wasser (gasförmig)	Methan	Ethan	Propan
$H_{B,i}^0$ [kJ/mol]	-393,509	-285,83	-241,818	-74,81	-84,68	-103,8

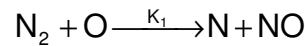
**Tabelle 1:** Bildungsenthalpien bei  $p = 1,01325 \text{ bar}$  und  $T = 298,15 \text{ K}$

$$b) H_u = 748,3 \text{ KJ/mol}; H_o = 829,81 \text{ KJ/mol}$$

**Aufgabe 10.)**

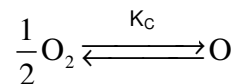
(6 Punkte)

Die Thermische NO - Bildung erfolgt über den Zeldovich - Mechanismus. Die Startreaktion lautet:



a.) Welche Gleichung ergibt sich für die NO-Bildungsrate  $\frac{d_{C_{\text{NO}}}}{dt}$ , wenn nur obige Gleichung berücksichtigt wird?

b.) In vielen Flammen gilt, dass die Sauerstoffradikale mit dem molekularen Sauerstoff im Gleichgewicht vorliegen, d.h. es gilt mit der Gleichgewichtskonstanten  $K_C$  die Gleichung:



I.) Wie lautet der Zusammenhang zwischen  $K_C$  und den Konzentrationen von O und  $\text{O}_2$ ?

II.) Ersetzen Sie die Konzentration  $C_O$  aus der Lösung des Aufgabenteils a.) durch  $K_C$  und  $C_{\text{O}_2}$  ! Wie lautet die Bildungsrate  $\frac{d_{C_{\text{NO}}}}{dt}$  dann?

c.)  $\text{N}_2$  liegt in einer Flamme im Überschuss vor und kann mit  $C_{\text{N}_2} = 33 \text{ mol/m}^3$  als konstant angesehen werden. Ebenso sei die  $\text{O}_2$ -Konzentration konstant mit  $C_{\text{O}_2} = 1,3 \text{ mol/m}^3$ . Die NO-Konzentration zum Zeitpunkt  $t=0$  sei:  $C_{\text{NO}, t=0} = 0$ .

Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante  $k_1$  kann über einen Arrhenius - Ansatz abgebildet werden:

$$k_1 = A \cdot \exp\left[-\frac{E}{R \cdot T}\right]; \quad A = 1,8 \cdot 10^8 \text{ m}^3 / (\text{mol} \cdot \text{s})$$

I.) Integrieren Sie  $\frac{d_{C_{\text{NO}}}}{dt}$  unter diesen Voraussetzungen! Wie hängt  $C_{\text{NO}}$  von der Zeit  $t$  ab?

- II.) Welche  $\text{NO}_x$  - Konzentration ergibt sich für eine Verweilzeit von 1s und einer Verbrennungstemperatur von 1500K und 2200K?

$$E = 3,19 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$$

$$R = 8,3143 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

$$K_{C,1500K} = 3,61 \cdot 10^{-8} (\text{mol/m}^3)^{0,5}$$

$$K_{C,2200K} = 1,98 \cdot 10^{-5} (\text{mol/m}^3)^{0,5}$$

$$c) c_{\text{NO},1500K} = 1,902E-09 \text{ mol/m}^3; c_{\text{NO},2200K} = 3,575E-03 \text{ mol/m}^3$$

### Aufgabe 11.)

( 7,5 Punkte)

In einem Dieselmotor werden 2kg Dieselöl mit folgender Zusammensetzung verbrannt:

C	85,9 Gew.-%
H	13,3 Gew.-%
S	0,5 Gew.-%

- a.) Bestimmen Sie den minimalen Sauerstoff- und Luftbedarf! Wie hoch ist der tatsächliche Luftbedarf, wenn im Abgas ein Kohlendioxidgehalt von 12 Vol-% gemessen wurde?
- b.) Berechnen Sie die trockene und feuchte Abgasmenge!

$$a) O_{2,min} = 4,6898 \text{ m}^3_{\text{O}_2}/\text{kg}_{\text{Brst}}; L_{min} = 22,3324 \text{ m}^3_{\text{Luft}}/\text{kg}_{\text{Brst}}; L = 29,5636 \text{ m}^3_{\text{Luft}}/\text{kg}_{\text{Brst}}$$

$$b) V_{tr} = 26,5582 \text{ m}^3_{\text{Abg}}/\text{kg}_{\text{Brst}}; V_f = 31,0217 \text{ m}^3_{\text{Abg}}/\text{kg}_{\text{Brst}}$$

### Aufgabe 12.)

( 6 Punkte)

Der Vergaser eines Motors (1 Zylinder) ist auszulegen. In dem Vergaser wird Benzin ( $y_C=0,83$ ;  $y_H=0,17$ ) in die angesaugte Luft ( $d_L=6\text{cm}$ ) eingedüst und vergast. Berechnen Sie den erforderlichen Düsendurchmesser, wenn nach der Verbrennung im Zylinder  $15,34 \text{ m}^3$  trockenes Abgas pro kg Brennstoff entstehen.

Folgende Daten sind bekannt:

$$\rho_L = 1,18 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{Br} = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$\psi_L = 0,8$$

$$\psi_{Br} = 0,85$$

$$d_B = 2,474 \text{ mm}$$

**Aufgabe 13.)** ( 6,5 Punkte)

Mit einem einfachen Düsenbrenner wird Butan  $C_4H_{10}$  in einer Diffusionsflamme verbrannt. Die adiabate Flammentemperatur beträgt  $T_F=1895^\circ C$ . Die Umgebungstemperatur beträgt  $T_0=25^\circ C$ .

Folgende Daten sind bekannt:

Düsendurchmesser	$d = 2\text{mm}$
Volumenstrom	$V = 0,4 \text{ m}^3/\text{h}$
Dichte des Butan	$\rho_{Br} = 2,476\text{kg}/\text{m}^3$
Dichte der Luft	$\rho_L = 1,168\text{kg}/\text{m}^3$
Dyn. Viskosität von Butan	$\eta_{Br} = 0,744 \cdot 10^{-5} \text{Ns}/\text{m}^2$
Molmasse von Butan	$M_{Br} = 58,12 \text{ kg}/\text{kmol}$

Berechnen Sie mit den gegebenen Daten die Flammenlänge.

$$L = 1,56 \text{ m}$$