

## Übungsserie 2

### Adiabate Flammmtemperatur

#### Aufgabe 1

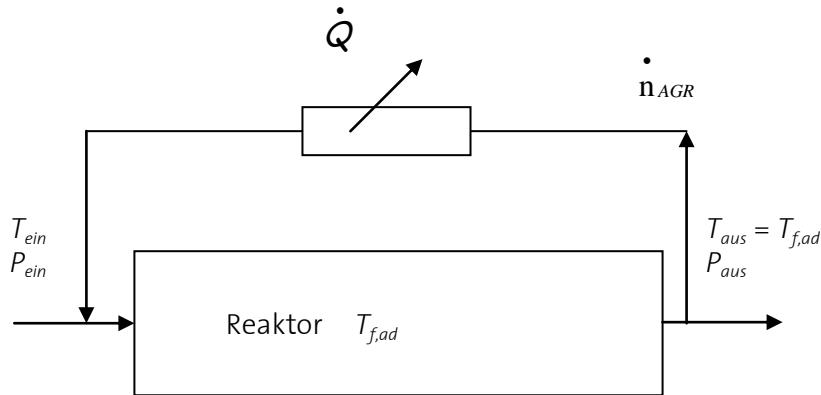
In einem idealen Reaktor wird Wasserstoff ( $H_2$ ) mit Luft stöchiometrisch ( $\lambda = 1$ ) bei einem konstanten Druck von 1 bar verbrannt. Es handelt sich um eine Vormischverbrennung und die Brennkammer kann als adiabat angenommen werden. Die Anfangstemperatur der Reaktanden beträgt  $T_R = 298$  K. Dissoziation kann vernachlässigt werden. Alle Stoffe (Edukte und Produkte) befinden sich im gasförmigen Zustand.

- Berechne die adiabate Flammmtemperatur,  $T_{f,ad}$ .
- Zeichne qualitativ die Abhängigkeit von  $T_{f,ad}$  vom Luftverhältnis  $\lambda$ .
- Was passiert, wenn man den Wasserstoff anstelle von Luft mit reinem Sauerstoff ( $O_2$ ) stöchiometrisch verbrennt? Zeichne qualitativ die Abhängigkeit der adiabaten Flammentemperatur von  $\lambda$  im selben Diagramm wie Aufgabe (b).
- Wie sieht die Abhängigkeit der adiabaten Flammentemperatur von  $\lambda$  aus, wenn man Ar anstelle von  $N_2$  im anfänglichen  $H_2$ /Luft-Gemisch hat? Zeichne erneut die  $T_{f,ad} - \lambda$  Kurve in das selbe Diagramm ein.

Hinweise:

- Beachte, dass die Wärmekapazitäten von  $N_2$  und Ar bei konstantem Druck folgende Abhängigkeit haben:  $C_p(N_2) = 2C_p(Ar)$ .
- Die Luft kann angenommen werden als 21%  $O_2$  und 79%  $N_2$  (Volumenanteile).

## Aufgabe 2



In einem idealen adiabatischen Reaktor wird unter konstantem Druck ( $P_{ein} = P_{aus} = 1 \text{ bar}$ ) ein vorgemischtes Methan-Luft-Gemisch verbrannt. Die Temperatur aller eintretenden Gase am Einlass des Reaktors beträgt  $T_{ein} = 298 \text{ K}$ . Um die adiabate Flammmtemperatur und somit die Emissionen zu reduzieren, wird in diesem System AGR (Abgasrückführung) verwendet. Alle Stoffe (Edukte und Produkte) befinden sich im gasförmigen Zustand.

### Berechne:

- Die adiabate Flammmtemperatur  $T_{f,ad}$  für die Luftverhältnisse  $\lambda = 1$ ,  $\lambda = 2$  und  $\lambda = 0.5$  unter der Annahme, dass kein AGR eingesetzt wird und keine Dissoziationsreaktionen stattfinden.
- Den Anteil AGR (in Molanteil  $X_{AGR}$ ), mit welchem eine adiabate Flammmtemperatur  $T_{f,ad} = 1300 \text{ K}$  mit  $\lambda = 1$  erreicht wird.

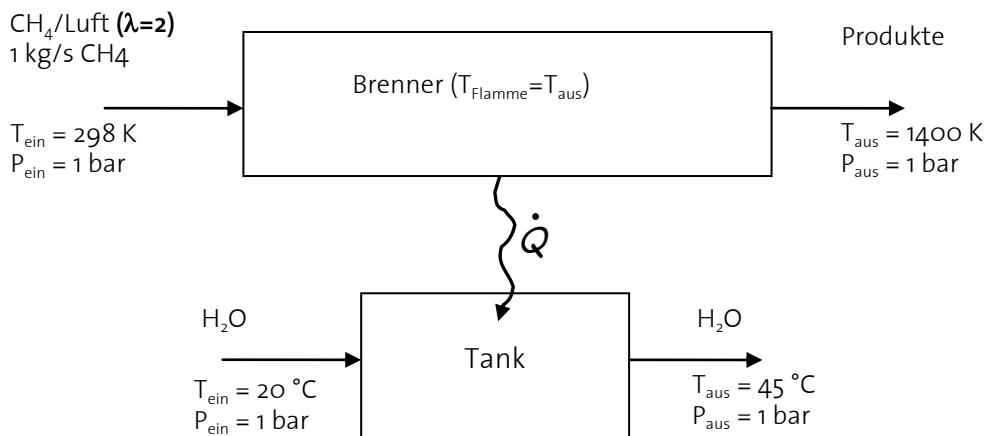
Die Molmassen der in der Reaktion auftretenden Stoffe sind:

$$\begin{aligned} M_{\text{CO}_2} &= 44 \text{ g/mol}, \\ M_{\text{H}_2\text{O}} &= 18 \text{ g/mol}, \\ M_{\text{N}_2} &= 28 \text{ g/mol}, \\ M_{\text{O}_2} &= 32 \text{ g/mol}, \\ M_{\text{CH}_4} &= 16 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

Enthalpien für CH<sub>4</sub>

| T [K] | $h(T)$ [J/mol] | T [K] | $h(T)$ [J/mol] |
|-------|----------------|-------|----------------|
| 298   | 10062          | 1700  | 105882         |
| 1000  | 48188          | 1800  | 114958         |
| 1100  | 55655          | 1900  | 124187         |
| 1200  | 63420          | 2000  | 133553         |
| 1300  | 71457          | 2100  | 143043         |
| 1400  | 79743          | 2200  | 152643         |
| 1500  | 88256          | 2300  | 162342         |
| 1600  | 96975          | 2400  | 172129         |

## Aufgabe 3



In einem **nicht**-adiabaten Brenner wird unter konstantem Druck ( $P_{\text{ein}} = P_{\text{aus}} = 1 \text{ bar}$ ) ein Methan-Luft-Gemisch mit einem konstanten Luftverhältnis  $\lambda=2$  vollständig verbrannt. Der Massenstrom des gasförmig eintretenden Methans beträgt 1 kg/s. Die Temperatur aller eintretenden Gase am Einlass des Brenners beträgt  $T_{\text{ein}} = 298 \text{ K}$ . Die Austrittstemperatur der gasförmigen Produkte beträgt 1400 K. Die vom Brenner abgegebene Wärme  $\dot{Q}$  wird vollständig genutzt, um Wasser zu erwärmen. Alle Stoffe (Edukte und Produkte) befinden sich im gasförmigen Zustand.

### Berechne:

- Die vom Brenner abgegebene Wärme  $\dot{Q}$  (in MW).
- Der an den Wassertank abgegebene Energieanteil (in %) der chemisch freigesetzten Energie.
- Das Volumen Wasser in m<sup>3</sup> pro Tag, welches von 20 °C auf 45 °C erwärmt wird.

Die Molmassen der in der Reaktion auftretenden Stoffe sind:

$$M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ g/mol}, M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}, M_{\text{N}_2} = 28 \text{ g/mol}, M_{\text{O}_2} = 32 \text{ g/mol}, M_{\text{CH}_4} = 16 \text{ g/mol}$$

Angaben für Wasser:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (konstant)}, C_{P,\text{H}_2\text{O}} = 4180 \text{ J/kgK} \text{ (konstant)}$$

Unterer Heizwert für Methan:

$$H_{u,\text{CH}_4} = 50 \text{ MJ/kg}$$

Enthalpien für CH<sub>4</sub>:

| T [K] | h(T) [J/mol] | T [K] | h(T) [J/mol] |
|-------|--------------|-------|--------------|
| 298   | 10062        | 1300  | 71457        |
| 1000  | 48188        | 1400  | 79743        |
| 1100  | 55655        | 1500  | 88256        |
| 1200  | 63420        | 1600  | 96975        |

### Hinweise/Annahmen:

- Alle Gase können als ideale Gase behandelt werden.