

Verbrennungsrechnung

Aufgaben

- 1.) Es sollen der untere Heizwert und der Mindest- sowie der tatsächliche Verbrennungsluftbedarf bei einer Luftüberschusszahl $\lambda = 1,3$ für Braunkohle mit der folgenden Elementaranalyse berechnet werden:

$C = 32\%_{\text{Gew}}$; $H = 3\%_{\text{Gew}}$; $S = 1\%_{\text{Gew}}$; $N = 1\%_{\text{Gew}}$; $O = 8\%_{\text{Gew}}$; Aschegehalt $A = 5\%_{\text{Gew}}$ und Wassergehalt $W = 50\%_{\text{Gew}}$

- 2.) Es sollen die Mengen der Einzelgase sowie die trockene und feuchte Rauchgasmenge für die Braunkohle aus Aufgabe 1.) ermittelt werden.

- 3.) Es sollen Luftbedarf und Rauchgasmenge bei der Verbrennung eines Heizöls EL der folgenden Zusammensetzung mit einer Luftüberschusszahl $\lambda = 1,1$ berechnet werden. Der Luftfeuchtegehalt beträgt $x = 0,009 \text{ kg}_{\text{Dampf}} / \text{kg}_{\text{feuchte Luft}}$:

$C = 86\%_{\text{Gew}}$; $H = 13\%_{\text{Gew}}$; $S = 0,3\%_{\text{Gew}}$; $N = 0,4\%_{\text{Gew}}$; $O = 0,3\%_{\text{Gew}}$

- 4.) Es sollen der Luftbedarf und die Rauchgasmenge bei der Verbrennung eines Erdgases der folgenden Zusammensetzung mit einer Luftüberschusszahl $\lambda = 1,1$ und bei einem Luftfeuchtegehalt $x = 0,009 \text{ kg}_{\text{Dampf}} / \text{kg}_{\text{trockene Luft}}$ berechnet werden:

$CH_4 = 93\%_{\text{Vol}}$; $C_2H_6 = 2\%_{\text{Vol}}$; $C_3H_8 = 3\%_{\text{Vol}}$; $CO_2 = 1\%_{\text{Vol}}$; $N_2 = 1\%_{\text{Vol}}$

- 5.) Für eine Braunkohle mit $CO_{2\text{max}} = 19,8\%_{\text{Vol}}$ wurde $CO_2 = 15,2\%_{\text{Vol}}$ im Abgas gemessen. Wie hoch sind der Sauerstoffgehalt V_{O_2} vom Abgas und die Luftüberschusszahl λ ?

Lösungen

1.) Unterer Heizwert:

$$H_u = 34,8 C + 93,9 H + 10,46 S + 6,28 N - 10,8 O - 2,5 W$$

$$H_u = [34,8 \cdot 0,32 + 93,9 \cdot 0,03 + 10,46 \cdot 0,01 + 6,28 \cdot 0,01 - 10,8 \cdot 0,08 - 2,5 \cdot 0,5] \frac{MJ}{kg}$$

$$\underline{\underline{H_u = 12 \frac{MJ}{kg}}}$$

Mindestluftbedarf:

$$L_{min} = 8,88 C + 26,44 H + 3,33 (S - O)$$

$$L_{min} = [8,88 \cdot 0,32 + 26,44 \cdot 0,03 + 3,33 (0,01 - 0,08)] \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{L_{min} = 3,4 \frac{m^3}{kg}}}$$

Tatsächlich erforderliche Verbrennungsluftmenge:

$$L = \lambda L_{min}$$

$$L = 1,3 \cdot 3,4 \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{L = 4,42 \frac{m^3}{kg}}}$$

2.) Einzelgasmengen:

$$V_{CO_2} = 1,867 C$$

$$V_{CO_2} = 1,867 \cdot 0,32 \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{CO_2} = 0,592 \frac{m^3}{kg}}}$$

$$V_{SO_2} = 0,68 S$$

$$V_{SO_2} = 0,68 \cdot 0,01 \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{SO_2} = 0,007 \frac{m^3}{kg}}}$$

$$V_{N_2} = 0,8 N + 0,79 \lambda L_{min}$$

$$V_{N_2} = [0,8 \cdot 0,01 + 0,79 \cdot 1,3 \cdot 3,4] \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{N_2} = 3,5 \frac{m^3}{kg}}}$$

$$V_{O_2} = 0,21 (\lambda - 1) L_{min}$$

$$V_{O_2} = 0,21 (1,3 - 1) \cdot 3,4 \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{O_2} = 0,214 \frac{m^3}{kg}}}$$

Rauchgasmenge, trocken:

$$V_{trG} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}$$
$$V_{trG} = [0,592 + 0,007 + 3,5 + 0,214] \frac{m^3}{kg}$$
$$\underline{\underline{V_{trG} = 4,313 \frac{m^3}{kg}}}$$

Wasserdampfmenge (Luftfeuchte wird üblicherweise mit $x \approx 0,01 \frac{kg_D}{kg_{fL}}$ angenommen):

$$V_{H_2O} = 11,11 H + 1,24 W + 1,6 x \cdot L$$
$$V_{H_2O} = [11,11 \cdot 0,03 + 1,24 \cdot 0,5 + 1,6 \cdot 0,01 \cdot 4,42] \frac{m^3}{kg}$$
$$\underline{\underline{V_{H_2O} = 1,021 \frac{m^3}{kg}}}$$

Rauchgasmenge, feucht:

$$V_G = V_{trG} + V_{H_2O}$$
$$V_G = [4,313 + 1,021] \frac{m^3}{kg}$$
$$\underline{\underline{V_G = 5,334 \frac{m^3}{kg}}}$$

3.) Mindestluftbedarf:

$$L_{min} = 8,88 C + 26,44 H + 3,33 (S - O)$$
$$L_{min} = [8,88 \cdot 0,86 + 26,44 \cdot 0,13 + 3,33 (0,003 - 0,003)] \frac{m^3}{kg}$$
$$\underline{\underline{L_{min} = 11,07 \frac{m^3}{kg}}}$$

Tatsächlich erforderliche Verbrennungsluftmenge:

$$L = \lambda L_{min}$$
$$L = 1,1 \cdot 11,07 \frac{m^3}{kg}$$
$$\underline{\underline{L = 12,18 \frac{m^3}{kg}}}$$

Einzelgasmengen:

$$V_{CO_2} = 1,867 C$$

$$V_{CO_2} = 1,867 \cdot 0,86 \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{CO_2} = 1,606 \frac{m^3}{kg}}}$$

$$V_{N_2} = 0,8 N + 0,79 L$$

$$V_{N_2} = [0,8 \cdot 0,004 + 0,79 \cdot 12,18] \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{N_2} = 9,626 \frac{m^3}{kg}}}$$

$$V_{H_2O} = 11,11 H + 1,6 x \cdot L$$

$$V_{H_2O} = [11,11 \cdot 0,13 + 1,6 \cdot 0,009 \cdot 12,18] \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{H_2O} = 1,62 \frac{m^3}{kg}}}$$

$$V_{SO_2} = 0,68 S$$

$$V_{SO_2} = 0,68 \cdot 0,003 \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{SO_2} = 0,002 \frac{m^3}{kg}}}$$

$$V_{O_2} = 0,21(\lambda - 1) L_{min}$$

$$V_{O_2} = 0,21(1,1 - 1) \cdot 11,07 \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{O_2} = 0,256 \frac{m^3}{kg}}}$$

Rauchgasmenge, feucht ($= \sum V_i$):

$$V_{trG} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O}$$

$$V_{trG} = [1,606 + 0,002 + 9,626 + 0,256 + 1,62] \frac{m^3}{kg}$$

$$\underline{\underline{V_{trG} = 13,109 \frac{m^3}{kg}}}$$

4.) Mindestluftbedarf:

$$L_{min} = 4,76 \left[2CH_4 + \left(n + \frac{m}{4} \right) C_n H_m \right]$$

$$L_{min} = 4,76 \left[2 \cdot 0,93 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) 0,02 + \left(3 + \frac{8}{4} \right) 0,03 \right]$$

$$\underline{\underline{L_{min} = 9,9}}$$

Tatsächlicher Luftbedarf:

$$L = \lambda L_{min}$$

$$L = 1,1 \cdot 9,9$$

$$\underline{\underline{L = 10,89}}$$

Einzelgasmengen:

$$\begin{aligned}V_{CO_2} &= CO_2 + CH_4 + n C_n H_m \\V_{CO_2} &= 0,01 + 0,93 + 2 \cdot 0,02 + 3 \cdot 0,03 \\V_{CO_2} &= 1,07\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{N_2} &= N_2 + 0,79 L \\V_{N_2} &= 0,01 + 0,79 \cdot 10,89 \\V_{N_2} &= 8,61\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{O_2} &= 0,21(\lambda - 1)L_{min} \\V_{O_2} &= 0,21(1,1 - 1)9,9 \\V_{O_2} &= 0,21\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{H_2O} &= 2 CH_4 + \frac{m}{2} C_n H_m + 1,6 x \cdot L \\V_{H_2O} &= 2 \cdot 0,93 + \frac{6}{2} 0,02 + \frac{8}{2} 0,03 + 1,6 \cdot 0,009 \cdot 10,89 \\V_{H_2O} &= 2,2\end{aligned}$$

Rauchgasmenge, feucht ($= \sum V_i$):

$$\begin{aligned}V_{trG} &= V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O} \\V_{trG} &= 1,07 + 8,61 + 0,21 + 2,2 \\V_{trG} &= 12,09\end{aligned}$$

5.) Sauerstoffgehalt:

$$\begin{aligned}O_2 &= 21 \left(1 - \frac{CO_2}{CO_{2,max}} \right) \\O_2 &= 21 \left(1 - \frac{15,2}{19,8} \right) \\O_2 &= 0,046 = 4,6\%_{Vol}\end{aligned}$$

Luftzahl:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{CO_{2,max}}{CO_2} \\ \lambda &= \frac{19,8}{15,2} \\ \lambda &= 1,3\end{aligned}$$