

Vorrechenübung

Aufgabe 10.1 ●●○ Exergie in einem Verdichter

In einem Verdichter wird $\dot{m} = 0.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ Luft vom Zustand 1 ($p_1 = 0.1 \text{ MPa}$, $T_1 = 320 \text{ K}$) isotherm auf $p_2 = 0.7 \text{ MPa}$ verdichtet. Dabei wird eine technische Leistung von $|\dot{W}_{t,12}| = 100 \text{ kW}$ aufgenommen. Die Umgebungstemperatur beträgt $T_0 = 298.15 \text{ K}$.

Annahmen:

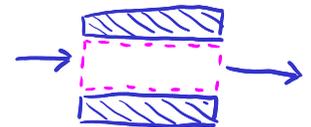
- Die Luft soll als **ideales Gas** mit einer molaren Masse von $M = 28.964 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ betrachtet werden.
- Die Änderungen der **potentiellen und kinetischen Energien** sind zu vernachlässigen.

a) Bestimmen Sie den Exergieverlust $\dot{E}_{x,\text{verl}}$ und die Dissipation $\dot{\Phi}_{12}$ im Verdichter.

Aus ZF

- Exergieverlust:

$$\dot{E}_{x,\text{verl}} = T_0 \dot{S}_{\text{erz}}$$



Aus ZF

- Stationärer Fließprozess mit einem Massenstrom:

$$0 = \overbrace{\dot{m} [h_e - h_a - T_0 (s_e - s_a) + \Delta ke + \Delta pe]}^{-\Delta \dot{E}_{x,\text{str}} = \dot{E}_{x,\text{str},e} - \dot{E}_{x,\text{str},a}} + \sum_j \overbrace{\left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j}^{E_{x,Q,j}} - \sum_n \dot{W}_{t,n} - \dot{E}_{x,\text{verl}}$$

$$\frac{dE_x}{dt} = \dot{m} [h_e - h_a - T_0 (s_e - s_a)] + \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - \dot{W}_t - \dot{E}_{x,\text{verl}}$$

stationär isotherm.
IG, h(T)

1, $s_e - s_a$?

ZF.

Bei Verwendung von Tabellenwerten:

$$s^{\text{ig}}(T_2, p_2) - s^{\text{ig}}(T_1, p_1) = s^0(T_2) - s^0(T_1) - R \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

$$s_e - s_a = \underbrace{s^0(T_2) - s^0(T_1)}_{\text{isotherm. } \circ} - R \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

$s^0(T)$: TAB wert

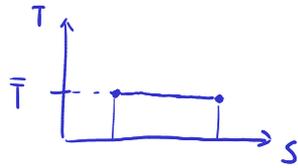
$$R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}}{28.964 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$s_e - s_a = 0.5585657 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Abweichung kommt hier.

2. \bar{T}

$$T_1 = T_2$$



isotherme Wärmeübertragung

$$\bar{T} = T_1 = T_2 = 320 \text{ K}$$

3. \dot{Q}

Ansatz E.B.

$$\underbrace{\frac{dE}{dt}}_{\text{stationär}} = \dot{m} \underbrace{(h_e - h_a)}_{\text{isotherm}} + \dot{Q} - \dot{W}_t \Rightarrow \dot{Q} = \dot{W}_t$$

Verdichter nimmt Arbeit auf, negative Arbeit.

$$\dot{Q} = -100 \text{ kW} = \dot{W}_t$$

4. Alle einsetzen und lösen.

$$\begin{aligned} \dot{E}_{x,\text{verl}} &= \dot{m} [-T_0 (s_e - s_a)] + \left(1 - \frac{T_0}{\bar{T}}\right) \dot{Q} - \dot{W}_t \\ &= \underline{9,9037 \text{ kW}} \\ \text{ML. } 9,92 \text{ kW} & \quad \left. \vphantom{\dot{E}_{x,\text{verl}}} \right] \sim 1,63\% \end{aligned}$$

Exergieverlust:

$$\dot{E}_{x,\text{verl}} = T_0 \dot{S}_{\text{erz}}$$

$$0 = \dot{m} (s_e - s_a) + \underbrace{\frac{\dot{Q}}{\bar{T}}}_{\text{innere}} + \dot{S}_{\text{erz}} \quad \checkmark 9,9037$$

Dieser Ansatz funktioniert

$$w_{12} = w_{12}^{\text{rev}} - \varphi_{12} \quad \text{mit } \varphi_{12}: \text{Dissipation}$$

Spezifische technische Arbeit
(reversibler stationärer
Fließprozess)

$$w_{t,12}^{\text{rev}} = \frac{\dot{W}_{t,12}^{\text{rev}}}{\dot{m}} = - \left(\int_1^2 v dp + \Delta ke + \Delta pe \right)$$

$$w_t^{\text{rev}} = - \left(\int_1^2 v dp \right) \quad \text{mit IG} \quad PV = RT \quad v = \frac{RT}{P}$$

$$\begin{aligned} & \text{Temp.} = \text{const.} \quad RT = \text{const} \\ & = - \int_1^2 \frac{RT}{P} dP = - RT \ln(P) \Big|_{P_1}^{P_2} = - RT [\ln(P_2) - \ln(P_1)] = RT \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \end{aligned}$$

$$= -178,7123 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{W}_t^{\text{rev}} = \dot{m} \dot{w}_t^{\text{rev}} = -89,356194 \text{ kW}$$

\uparrow
 $0,5 \text{ kg/s}$

$$\dot{W}_t = -100 \text{ kW}$$

$$\dot{I} = \dot{W}_t^{\text{rev}} - \dot{W}_t = \underline{\underline{10,6438 \text{ kW}}}$$

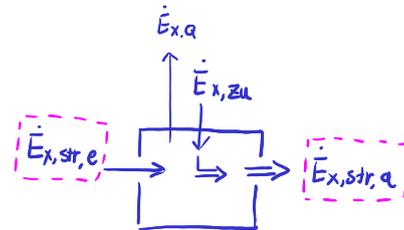
$$\text{ML} = 10,63 \text{ kW}$$

Damn it ! Es liegt wahrscheinlich an meine $R = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

- b) Bestimmen Sie den exergetischen Wirkungsgrad ε , wobei die Exergieerhöhung des Enthalpiestroms als Nutzen anzusehen ist.

Exergetischer Wirkungsgrad $\varepsilon = \frac{\dot{E}_{x,\text{nutz}}}{\dot{E}_{x,\text{zu}}}$

$$\underbrace{-\Delta \dot{E}_{x,\text{str}} = \dot{E}_{x,\text{str},e} - \dot{E}_{x,\text{str},a}}_{\dot{m} [h_e - h_a - T_0 (s_e - s_a) + \Delta ke + \Delta pe]}$$

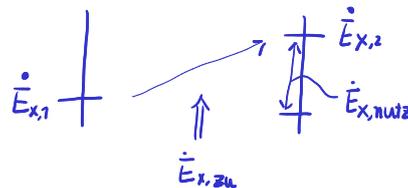


$$\dot{E}_{x,\text{nutz}} = \dot{E}_{x,\text{str},a} - \dot{E}_{x,\text{str},e}$$

$$= \dot{m} [-T_0 (s_a - s_e)]$$

$$s_a - s_e = -R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = -\frac{8,314}{28,964} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \ln\left(\frac{7}{1}\right) = -0,5585657 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$= 0,5 \text{ kg/s} [-298,15 \text{ K} (s_a - s_e)] = 83,26818196 \text{ kW}$$



Elektrizität, Mechanische Arbeit, Potential ... keine Exergie

$$\dot{E}_{x,\text{zu}} = |\dot{W}_t| = 100 \text{ kW}$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{x,\text{nutz}}}{|\dot{W}_t|} = \underline{\underline{0,83268}}$$

0,8325

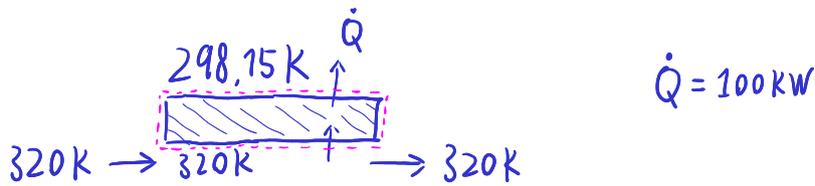
Wieso bin ich immer daneben ?

Ahhh ~

Mach bisschen Übungen über
"Nutzen" "Aufwand"

Für Pumpe, Turbine, Wärmepumpe, Kältemaschine, ...

c) Bestimmen Sie die Entropieerzeugung \dot{S}_{erz} beim Wärmetransfer an die Umgebung.



$$\dot{Q} = 100 \text{ kW}$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\dot{Q}_{\text{zu}}}{T_{\text{in}}} - \frac{\dot{Q}_{\text{ab}}}{T_{\text{a}}} + \dot{S}_{\text{erz}}$$

Stationär

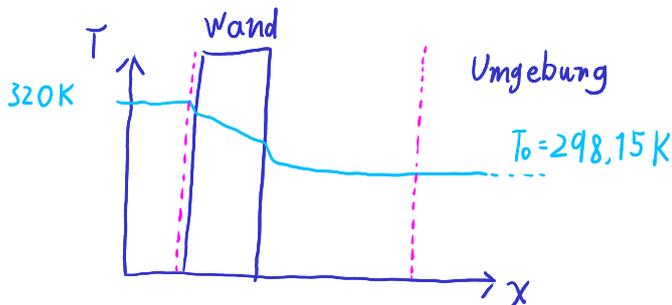
$$\dot{S}_{\text{erz}} = \frac{\dot{Q}_{\text{ab}}}{T_{\text{a}}} - \frac{\dot{Q}_{\text{zu}}}{T_{\text{in}}} = 0,0229 \frac{\text{kW}}{\text{K}} = 22,9 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

M.L. $22,9 \frac{\text{W}}{\text{K}}$

• Wieso $T_{\text{ab}} = T_0$?

Entropieerzeugung \dot{S}_{erz} beim Wärmetransfer an die Umgebung.

Spiel mit den Wörter



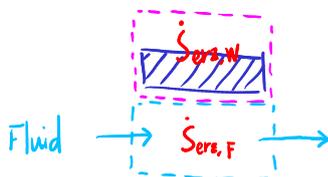
Wissen aus Thermo II

Wärmeübertragung findet beim Temp. Gradient statt.

• Wieso nicht $\dot{E}_{\text{verl}} = T_0 \dot{S}_{\text{erz}}$? Werte aus a) verwenden ?

\dot{E}_{verl} aus a) war im Verdichter (im Fluid)

Hier ist um der Wand und Umgebung



Entropie Erzeugung passiert in Fluid und in der Wand

In aufgabe a) haben wir nur die Entropie Erzeugung in Fluid berechnet.

Deswegen kann man nicht die Ergebnis aus a) nehmen: $\dot{E}_{\text{verl}} = T_0 \dot{S}_{\text{erz}}$

Ausserdem betrachten wir hier ja ein anderes Sys.