

## Vorrechenübung

### Aufgabe 11.1 ●●○ Verdampfung von Wasser

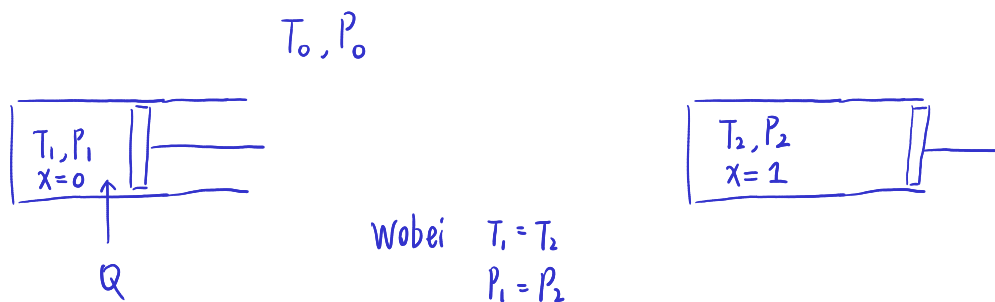
In einem Kolben-Zylinder-System befinden sich  $m = 1 \text{ kg}$  gesättigt flüssiges Wasser bei  $T_1 = 100^\circ\text{C}$ . Das Wasser soll vollständig verdampft werden, sodass der Wasserdampf im Endzustand gesättigt ist. Während dieses Prozesses kann sich der Kolben frei bewegen.

- a) Die Zustandsänderung erfolgt unter Zugabe von Wärme. Der Prozess ist reversibel. Temperatur und Druck sind konstant.

Bestimmen Sie den Exergieverlust  $E_{x,\text{verl}}$ . Berechnen Sie dazu die einzelnen Terme der Exergiebilanz.

#### Annahmen:

- Änderungen der kinetischen und potentiellen Energie können vernachlässigt werden.
- Umgebung:  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ,  $p_0 = 1.014 \text{ bar}$



- Geschlossenes System an einem Kolben:

$$\frac{dE_x}{dt} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j - \left[ \sum_n \dot{W}_{V,n} - p_0 \frac{dV}{dt} \right] - \dot{E}_{x,\text{verl}}$$

$$\Delta E_x = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q - [W_v - p_0 \Delta V] - E_{x,\text{verl}}$$

$$\Delta E_x = \Delta E_{x,\text{Wasser}} = ?$$

↑  
Es ist keine Strömung, sondern ein geschlossenes Sys.

mit  $U \leftarrow E_{x,U} \leftarrow$  geschlossenes Sys.  $\rightarrow U = m \cdot u$   
mit  $H \leftarrow E_{x,H} \leftarrow$  offenes Sys.  $\rightarrow H = m \cdot h$

Exergie der inneren Energie:

$$E_{x,U} = m e_{x,U} = m \left[ u - u_0 - T_0 (s - s_0) + p_0 (v - v_0) \right]$$

$$\Delta E_x = m \cdot (e_{x,u_2} - e_{x,u_1}) = m [u_2 - u_1 - T_0 (s_2 - s_1) + P_0 (v_2 - v_1)]$$

Ansatz mit Stoffmodelle

### Reales Fluid (2-Phasengebiet)

Spezifische Zustandsgrösse  $\phi = v, u, h, s$

Dampfatafeln  $\phi = f(T, p)$

Nassdampf  $\phi = \phi_f + x (\phi_g - \phi_f)$

Dampfgehalt  $x = \frac{m_g}{m_g + m_f}$

Verdampfungsenthalpie  $h_{fg} = h_g - h_f$

Sätt. Wasser  $\rightarrow$  Sätt. Dampf  
auf eine Isotherm

Temp. ist const. geg.

**TABLE A-2**  
Pressure Conversions:  
1 bar = 0.1 MPa  
= 10<sup>2</sup> kPa

**Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table**

| Temp.<br>°C | Press.<br>bar | Specific Volume<br>m <sup>3</sup> /kg |                     | Internal Energy<br>kJ/kg |                     | Enthalpy<br>kJ/kg    |                   |                     | Entropy<br>kJ/kg · K |                     | Temp.<br>°C |
|-------------|---------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------|
|             |               | Sat. Liquid<br>$v_f \times 10^3$      | Sat. Vapor<br>$v_g$ | Sat. Liquid<br>$u_f$     | Sat. Vapor<br>$u_g$ | Sat. Liquid<br>$h_f$ | Evap.<br>$h_{fg}$ | Sat. Vapor<br>$h_g$ | Sat. Liquid<br>$s_f$ | Sat. Vapor<br>$s_g$ |             |
| 100         | 1.014         | 1.0435                                | 1.673               | 418.94                   | 2506.5              | 419.04               | 2257.0            | 2676.1              | 1.3069               | 7.3549              | 100         |

$P = P_1 = P_2$      $v_1$      $v_2$      $u_1$      $u_2$      $s_1$      $s_2$

$$\Delta E_x = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q - [W_v - P_0 \Delta V] - E_{x, \text{verl}}$$

$\uparrow$  Völlig bestimmt  
 $\uparrow$  Energie Bilanz  $\longleftrightarrow$  Volumenänderung von Wasser mit  $m \cdot \Delta v = \Delta V$  bestimmbar  
 $\uparrow$  Sys. Grenze genau um Wasser  $\Rightarrow \bar{T} = 100^\circ\text{C}$

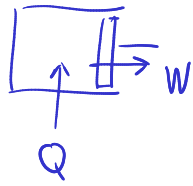
$\Delta E_x$

Alle TAB-Werte aus TAB-A2 einsetzen

$$\Delta E_x = 484,1251891 \text{ kJ}$$

$$M.L. = 484 \text{ kJ}$$

$Q, W_v, \Delta V$



$$\Delta U = m(u_2 - u_1) = Q - W_v$$
$$= Q - P(V_2 - V_1)$$

$$\Delta V = m \cdot (v_2 - v_1)$$
$$= 1,6719565 \text{ m}^3$$

$$\Delta U = 2087,56 \text{ kJ}$$

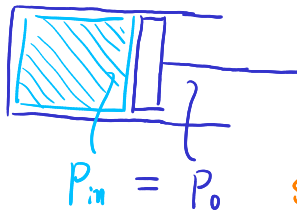
$$P = 101,4 \text{ kPa}$$

$$Q = 2257,096389 \text{ kJ}$$

$$W_v = 169,5363891 \text{ kJ}$$

Bemerkung: Da die Prozess rev. ist,  $\Rightarrow$  Kolben reibungsfrei

$\Rightarrow$



$$P_1 = P_2 = P = P_o = 1,014 \text{ bar}$$

stimmen auch in Aufgabestellung

$[W_v - P_o \Delta V]$  Dieser Term ergibt 0 weil innerer Druck = äußerer Druck

Alle Einsetzen

$$E_{x, \text{verl}} = -0,224 \text{ kJ} \quad \text{Kleine Abweichung irgendwo, M.L. Rundung sus.}$$

$$\text{nicht möglich, } E_{x, \text{verl}} = T_o \cdot S_{\text{erz}} \geq 0$$

$$\text{Deswegen nehmen wir } E_{x, \text{verl}} = 0 \text{ kJ}$$

Bemerkung: Prozess rev.  $\Rightarrow S_{\text{erz}} = 0 \Rightarrow E_{x, \text{verl}} = 0$