

Formelsammlung Grundlagen der Thermodynamik und Angewandte Thermodynamik

2022/2023

Erster Hauptsatz der Thermodynamik allgemein

Geschlossene Systeme

$$E_2 - E_1 = U_2 - U_1 + E_{a,2} - E_{a,1} = Q_{12} + W_{12}$$

$$W_{12} = \sum_i W_{i,12}$$

Offene Systeme

$$E_2 - E_1 = U_2 - U_1 + E_{a,2} - E_{a,1} = Q_{12} + W_{12} + \left(\sum m_{\text{ein}} \cdot h_{\text{ein}} - \sum m_{\text{aus}} \cdot h_{\text{aus}} \right)$$

$$W_{12} = \sum_i W_{i,12}$$

Fließprozess

$$\frac{dU}{dt} + \frac{dE_a}{dt} = \dot{Q} + \dot{W} + (\dot{m}_{\text{ein}} \cdot h_{\text{ein}} - \dot{m}_{\text{aus}} \cdot h_{\text{aus}})$$

$$\dot{W} = \frac{dW}{dt} = \sum_i \frac{dW_i}{dt}$$

Äußere Energien E_a

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_{\text{pot}} = mgz$$

Volumenänderungsarbeit und technische Arbeit

$$W_{v,12} = - \int_1^2 p \, dV$$

$$W_{t,12} = m \cdot \int_1^2 v \, dp$$

Erster Hauptsatz der Thermodynamik vereinfacht

Geschlossene Systeme

$$U_2 - U_1 = Q_{12} + W_{v,12}$$

Offene Systeme

$$U_2 - U_1 = Q_{12} + W_{t,12} + (m_{\text{ein}} \cdot h_{\text{ein}} - m_{\text{aus}} \cdot h_{\text{aus}})$$

Stationärer Fließprozess

$$\dot{Q}_{12} + P_{t,12} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik

$$Tds = du + pdv = dh - vdp$$

$$S_{Q,12} = \frac{Q_{12}}{T_{m,12}}$$

Geschlossene Systeme

$$S_2 - S_1 = S_{Q,12} + S_{irr,12}$$

Offene Systeme

$$S_2 - S_1 = \sum_{\text{ein}} m_e \cdot s_e - \sum_{\text{aus}} m_a \cdot s_a + S_{Q,12} + S_{irr,12}$$

Stationärer Fließprozess

$$0 = \sum_{\text{ein}} \dot{m}_e \cdot s_e - \sum_{\text{aus}} \dot{m}_a \cdot s_a + \dot{S}_{Q,12} + \dot{S}_{irr,12}$$

Zustandsgleichungen idealer Gase

Ideales Gasgesetz

$$pv = R_S T$$

$$pV = mR_S T$$

Innere Energie und Enthalpie

$$u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v dT \quad h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p dT$$

$$c_p = c_v + R \quad \kappa = c_p/c_v$$

Entropieänderung

$$s_2 - s_1 = c_v^{iG} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$s_2 - s_1 = c_p^{iG} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Isentrope Zustandsänderungen von idealen Gasen

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^\kappa$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1}$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

Zustandsgleichungen inkompressibler fester und flüssiger Körper

$$v = \text{const.}$$

$$h_2 - h_1 = u_2 - u_1 = \int_1^2 c_F dT \quad s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{c_F}{T} dT$$

Zustandsänderungen

$$p \cdot v^n = \text{const.}$$

Kreisprozesse

Motorvergleichsprozesse

$$\eta = \frac{|\sum w_v|}{q_{zu}} = \frac{|\sum W_v|}{Q_{zu}} = \frac{|\sum P|}{\dot{Q}_{zu}}$$

Rankine Prozess

$$\eta = \frac{|\sum w_t|}{q_{zu}} = \frac{|\sum W_t|}{Q_{zu}} = \frac{|\sum P|}{\dot{Q}_{zu}}$$
$$\eta_c = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}}$$

Wärmepumpe

$$\epsilon_{WP} = \frac{|q_{\text{Nutz}}|}{w_t} = \frac{|Q_{\text{Nutz}}|}{W_t} = \frac{|\dot{Q}_{\text{Nutz}}|}{P}$$
$$\epsilon_{WP,c} = \frac{T_{\max}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

Kältemaschine

$$\epsilon_{KM} = \frac{q_{\text{Nutz}}}{w_t} = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{W_t} = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutz}}}{P}$$
$$\epsilon_{KM,c} = \frac{T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

Isentroper Wirkungsgrad

Turbine

$$\eta_{s,\text{turb}} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2,s} - h_1}$$

Verdichter

$$\eta_{s,\text{verd}} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Dampfgehalt

$$x = \frac{v - v'}{v'' - v'} = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{s - s'}{s'' - s'}$$

Gemische idealer Gase

Molmenge und Molanteil

$$n = \sum_k n_k$$
$$x_k = \frac{n_k}{n}$$

Massenanteil

$$y_k = \frac{m_k}{m}$$

Molare Masse einer Komponente/mittlere molare Masse:

$$M_k = \frac{m_k}{n_k}$$
$$\bar{M} = \sum_k x_k \cdot M_k$$

Gesetz von Dalton

$$\sum_k p_k = p$$

Feuchte Luft

Wassergehalt

$$X = \frac{m_W}{m_L}$$

relative Luftfeuchte

$$\varphi = \frac{p_d}{p_s}$$

Spezifische Enthalpie h^*

$$\frac{H_L + H_W}{m_L} = \frac{m_L + m_W}{m_L} \cdot h = (1 + X) \cdot h := h_{1+x} = h^*$$