

Thermodynamik Formelsammlung

Bachelorstudiengänge Mechatronik/Umwelt und Technik

2023

Erster Hauptsatz der Thermodynamik allgemein

Energie eines Systems

$$E = U + E^a = U + E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}}$$

Äußere Energien E^a

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

Geschlossene Systeme

$$E_2 - E_1 = Q_{12} + W_{12}$$

Offene Systeme

$$E_2 - E_1 = Q_{12} + W_{12} + \sum m_{\text{ein}} \cdot h_{\text{ein}} - \sum m_{\text{aus}} \cdot h_{\text{aus}}$$

Fließprozess

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} + \dot{W} + \dot{m}_{\text{ein}} \cdot h_{\text{ein}} - \dot{m}_{\text{aus}} \cdot h_{\text{aus}}$$

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

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

Stationärer Fließprozess

$$0 = \dot{Q}_{12} + \dot{W}_{t,12} + \dot{m} \cdot (h_{\text{ein}} - h_{\text{aus}})$$

Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik

Tds-Gleichungen

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

Entropieübertragung durch Wärme

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

Geschlossene Systeme

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

Offene Systeme

$$S_2 - S_1 = S_{Q,12} + S_{\text{irr},12} + \sum m_{\text{ein}} \cdot s_{\text{ein}} - \sum m_{\text{aus}} \cdot s_{\text{aus}}$$

Stationärer Fließprozess

$$0 = \dot{S}_{Q,12} + \dot{S}_{\text{irr},12} + \dot{m} \cdot (s_{\text{ein}} - s_{\text{aus}})$$

Zustandsgleichungen idealer Gase

Ideales Gasgesetz

$$p \cdot v = R_S \cdot T$$

$$p \cdot V = m \cdot R_S \cdot T$$

Innere Energie und Enthalpie

$$u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v dT$$

$$h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p dT$$

$$c_p = c_v + R_S$$

Entropieänderung

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

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

Isentrope Zustandsänderungen von idealen Gasen

$$\kappa = \left(\frac{c_p}{c_v} \right)$$

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

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

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

Zustandsgleichungen inkompressibler fester und flüssiger Körper

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

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

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

$$\eta = \frac{|\sum w_t|}{q_{zu}} = \frac{|\sum W_t|}{Q_{zu}} = \frac{|\sum P|}{\dot{Q}_{zu}}$$
$$\eta_c = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$$

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^*

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