



Thermodynamik I - Übung 11

Nicolas Lanzetti

Heutige Themen

- Zusammenfassung letzter Woche;
- Exergetischer Wirkungsgrad.

Zusammenfassung letzter Woche

Exergiebilanz für offene Systeme

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} E_x = & \sum_i \dot{m}_{i,e} \cdot e_{x,i,e} - \sum_i \dot{m}_{i,a} \cdot e_{x,i,a} \\ & + \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \delta \dot{Q} - \left(\dot{W} - p_0 \cdot \frac{dV}{dt}\right) - T_0 \cdot \dot{S}_{\text{erz}}, \end{aligned} \quad (1)$$

wobei:

- $\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \delta \dot{Q}$: Exergietransfer durch Wärme;
- $\dot{W} - p_0 \cdot \frac{dV}{dt}$: Exergietransfer durch Arbeit;
- $T_0 \cdot \dot{S}_{\text{erz}}$: Exergieverlust;
- T_0, p_0 : Umgebungsbedingungen;
- T (oder T_G): Temperatur am Systemgrenze.

Zusammenfassung letzter Woche

Oft ist das Volumen des Systems konstant, also

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} E_x &= \sum_i \dot{m}_{i,e} \cdot e_{x,i,e} - \sum_i \dot{m}_{i,a} \cdot e_{x,i,a} \\ &+ \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \delta \dot{Q} - \dot{W} - T_0 \cdot \dot{S}_{\text{erz}}, \end{aligned} \quad (2)$$

wobei:

- $\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \delta \dot{Q}$: Exergietransfer durch Wärme;
- \dot{W} : Exergietransfer durch Arbeit;
- $T_0 \cdot \dot{S}_{\text{erz}}$: Exergieverlust;
- T_0, p_0 : Umgebungsbedingungen;
- T (oder T_G): Temperatur am Systemgrenze.

Zusammenfassung letzter Woche

Exergiebilanz für halboffene Systeme

$$\Delta E_x = \sum_i \Delta m_{i,e} \cdot e_{x,i,e} - \sum_i \Delta m_{i,a} \cdot e_{x,i,a} + \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \delta Q - (W - p_0 \cdot \Delta V) - T_0 \cdot S_{\text{erz}}, \quad (3)$$

wobei:

- $\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \delta \dot{Q}$: Exergietransfer durch Wärme;
- $\dot{W} - p_0 \cdot \frac{dV}{dt}$: Exergietransfer durch Arbeit;
- $T_0 \cdot \dot{S}_{\text{erz}}$: Exergieverlust;
- T_0, p_0 : Umgebungsbedingungen;
- T (oder T_G): Temperatur am Systemgrenze.

Isentrope Prozesse für ideale Gase

Isentrope Prozesse für ideale Gase

Die Entropieänderung eines idealen Gases ist gegeben durch

$$\Delta s = s_2^0 - s_1^0 - R \cdot \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right). \quad (4)$$

Für isentrope Prozesse ist $\Delta s = 0$, d.h.

$$s_2^0 - s_1^0 = R \cdot \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \quad (5)$$

und, nach $\frac{p_2}{p_1}$ aufgelöst,

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\exp(s_2^0/R)}{\exp(s_1^0/R)} = \frac{p_{r2}}{p_{r1}}, \quad p_r = C \cdot \exp(s^0/R). \quad (6)$$

Zusammenfassung letzter Woche

Analog kann man auch eine Formel für die Volumina herleiten:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_{r2}}{v_{r1}}. \quad (7)$$

Wichtig: p_r und v_r sind **nur** für die Luft tabelliert (A-22).

Also wenn der $\frac{v_2}{v_1}$, v_{r1} bekannt sind und **der Prozess isentrop ist**, kann man v_{r2} bestimmen, und daraus (Tabelle A-22) alle Zustandsgrößen (h , T , u , p_r).

Zusammenfassung letzter Woche

TABLE A-22 (Continued)

 T (K), h and u (kJ/kg), s° (kJ/kg · K)

T	h	p_r	u	v_r	s°
750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
770	789.11	41.31	568.07	53.39	2.67595
780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
790	810.99	45.55	584.21	49.86	2.70400
800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344

Exergetischer Wirkungsgrad

Der thermische Wirkungsgrad ist definiert als

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad (8)$$

Der exergetische Wirkungsgrad ist definiert als

$$\varepsilon = \frac{\text{genutzte Exergie}}{\text{zugeführte Exergie}} \quad (9)$$

Exergetischer Wirkungsgrad - Beispiel

Bei einer isolierten stationären Turbine gilt es

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} E_x &= \sum_i \dot{m}_{i,e} \cdot e_{x,i,e} - \sum_i \dot{m}_{i,a} \cdot e_{x,i,a} \\ &+ \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \delta \dot{Q} - \dot{W} - T_0 \cdot \dot{S}_{\text{erz}}, \end{aligned} \quad (10)$$

das sich zu

$$\dot{m} \cdot (e_{x,e} - e_{x,a}) = \dot{W} + T_0 \cdot \dot{S}_{\text{erz}} \quad (11)$$

vereinfacht. Der exergetische Wirkungsgrad ist somit

$$\varepsilon = \frac{\text{genutzte Exergie}}{\text{zugeführte Exergie}} = \frac{\dot{W}}{\dot{m} \cdot (e_{x,e} - e_{x,a})}. \quad (12)$$

Fragen?