Beiträge zum Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik

Michael Reimann, HTW des Saarlandes, Saarbrücken

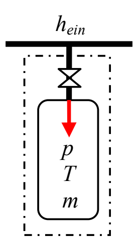
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes – University of Applied Sciences

(a) Entropieproduktion in homogenen, instationären Systemen

Die Entropiestrombilanz für allgemeine, instationäre Vorgänge lautet

$$\boxed{\frac{dS}{d\tau} = \frac{dS_{irr}}{d\tau} + \frac{dS_a}{d\tau}} \quad \text{mit} \quad \frac{dS}{d\tau} = \frac{d}{d\tau}\left(\frac{dU + p\,dV - g_p \sum_i dm_i}{T}\right) \quad \text{und} \quad \frac{dS_a}{d\tau} = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_{a,j}} + \sum_i \dot{m}_i\, s_{a,i}$$

(a1) Einströmen in einen Behälter



1. HS: $dU = h_{ein}\, dm$

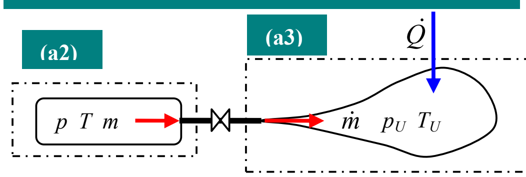
2. HS:

$$dS = \frac{dU - g\, dm}{T} = \frac{(h_{ein} - h + T\, s)\, dm}{T}$$

$$dS_a = s_{ein}\, dm$$

$$\boxed{dS_{irr} = dS - dS_a = \left(\frac{h_{ein} - h}{T} + s - s_{ein}\right) dm}$$

(a2) Ausströmen aus einem Behälter



1. HS $dU = h\, dm$

2. HS $dS = \frac{dU - g\, dm}{T} = \frac{h\, dm - h\, dm}{T} + s\, dm = s\, dm$

$dS_a = s\, dm$ $\quad \boxed{dS_{irr} = dS - dS_a = 0}$ reversibel!

(a3) Befüllen eines Ballons:

1. HS $u_U\, dm = -p_U\, dV + dQ + h\, dm$; mit $p_U\, dV = dm\, R\, T_U$: $dQ = (h_U - h)\, dm$

2. HS $dS = \frac{dU_U + p_U\, dV - g_U\, dm}{T_U} = s_U\, dm$ $\quad dS_a = \frac{dQ}{T_U} + s\, dm$ $\quad \boxed{dS_{irr} = \left(-\frac{h_U - h}{T_U} + s_U - s\right) dm}$

(b) Dissipation bei adiabaten Strömungsvorgängen

1. HS für einfach stationär durchströmte, adiabate Systeme: $w_{t12} = g\,(z_2 - z_1) + \frac{1}{2}\left(\bar{v}_2^{\,2} - \bar{v}_1^{\,2}\right) + h_2 - h_1$;

Für inkompressible Fluide: $h_2 - h_1 = v\,(p_2 - p_1) + u_2 - u_1$; für kompressible Fluide: $h_2 - h_1 = \int_1^2 v(p)\, dp + \int_1^2 T\, ds$

Interpretation: $\boxed{w_{t12} = w_{t\_rev12} + q_{diss12}}$ mit der mechanischen Arbeitsfähigkeit $\boxed{w_{t\_rev12} = g\,(z_2 - z_1) + \frac{1}{2}\left(\bar{v}_2^{\,2} - \bar{v}_1^{\,2}\right) + \int_1^2 v\, dp}$

Strömungsmaschinen: (inkompressibel): reversible Arbeit - der Wasserturbine: $w_{t\_rev12} = g\,(z_2 - z_1)$; - der Pumpe: $w_{t\_rev12} = v\,(p_2 - p_1)$;

Drosselung: $\boxed{q_{diss12} = -w_{t\_rev12}}$; inkompressibel: $q_{dissv12} = -v\,(p_2 - p_1)$; id. Gas: $q_{diss12} = -R\,T \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$; allgemeines Fluid: $q_{diss12} = \int_1^2 T\, ds = -\int_1^2 v(p)\, dp$

(c) Mittlere Temperaturen der Wärmezu- und Wärmeabfuhr bei Kreisprozessen

Kraftmaschinen:

$$T_{mh} = \frac{\sum_{jz} \xi_{jz}\, q_{zu\_jz}}{\sum_j \xi_j\,(s_{\max\_j} - s_{\min\_j})} \quad \text{und} \quad T_{m\ell} = \frac{\sum_j \xi_j\, q_{ab\_j}}{\sum_j \xi_j\,(s_{\min\_j} - s_{\max n\_j})} \quad : \quad \eta_{th} = \frac{\sum_k \xi_k\, w_{t\_k}}{\sum_{jz} \xi_{jz}\, q_{zu\_jz}} = \frac{T_{mh} - T_{m\ell}}{T_{mh}}$$

Bei den Kraftmaschinen werden Entropieflüsse abgegeben, die durch Wärmeabfuhr und Dissipation bedingt werden.

Beispiele: **(c1) Gasturbine mit zweistufiger Verdichtung;** **(c2) DKW mit 5 Anzapfungen**

Arbeitsmaschinen:

$$T_{m\ell} = \frac{\sum_j \xi_j\, q_{zu\_j}}{\sum_j \xi_j\,(s_{\max\_j} - s_{\min\_j})} \quad \text{und} \quad T_{mh} = \frac{\sum_{ja} \xi_{ja}\, q_{ab\_ja}}{\sum_j \xi_j\,(s_{\min\_j} - s_{\max\_j})} \quad : \quad \varepsilon_{KM} = \frac{\sum_j \xi_j\, q_{zu\_j}}{\sum_k \xi_k\, w_{t\_k}} = \frac{T_{m\ell}}{T_{mh} - T_{m\ell}}$$

$$\varepsilon_{WP} = \frac{\sum_{ja} \xi_{ja}\, q_{ab\_ja}}{\sum_k w_{t\_k}} = \frac{T_{mh}}{T_{mh} - T_{m\ell}}$$

Arbeitsmaschinen nehmen nur durch die Wärmezufuhr bedingte Entropieflüsse auf.

Beispiel: **(c3) Zweistufige Kälteanlage**

Fakultät für Ingenieurwissenschaften HTW des Saarlandes Goebenstr. 40 D-66117 Saarbrücken