



Thermodynamikübungsstunde 5

Enthalpie, offene Systeme

Folien von Dominic Landolf, angepasst durch Pascal Hodel und Auf der Maur

Pascal Auf der Maur

Spezifische Wärmekapazitäten

- c_v genutzt für innere Energie $du = c_v dT$
- c_p genutzt für Enthalpie $dh = c_p dT$

Offene Systeme

- **Offene Systeme** besitzen neben dem Austausch von Wärme und Arbeit auch Massenströme über die Systemgrenzen
- Viele technische Komponenten sind offene Systeme (Turbine, Ottomotor, Pumpe, Kompressor, ...)
- Die Massenströme transportieren auch **Energie**, welche wir in unseren Bilanzen berücksichtigen müssen

Enthalpie

- Energien in den Systemgrenzen: ΔU , ΔKE & ΔPE
- Energie der ein- und ausgehenden Massenströme muss charakterisiert werden
- Enthalpie ist definiert durch

$$H = \underbrace{U}_{\text{innere Energie}} + \underbrace{pV}_{\text{Einschubarbeit}}$$

- Enthalpie ist eine **extensive Zustandsgrösse** und hat als Einheit Joule
- Der Term pV beschreibt die Arbeit welche verrichtet werden muss um die ins Kontrollvolumen „aufzuspannen“

Massenstrom-Bilanz

- Masse bleibt in jedem System erhalten, sie wird weder vernichtet noch erzeugt (Quellenfrei)
- Da es in einem offenem System Massenströme gibt, können wir eine Massenstrom-Bilanz aufstellen mit $[\dot{m}] = \frac{kg}{s}$

$$\frac{dM}{dt} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{i,ein} - \sum_{j=1}^k \dot{m}_{j,aus}$$

- Für stationäre Prozesse gilt das der Masseninhalte konstant bleibt. Es gilt:

$$\frac{dM}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}$$

Erster Hauptsatz für offene Systeme

- Auch für offene Systeme stellt der erste Hauptsatz eine Energiebilanz dar
- Dabei müssen auch die Energieströme aufgrund der ein- und austretenden Masse berücksichtigt werden, welche folgende Energieformen mit sich tragen:
 - Kinetische Energie
 - Potentielle Energie
 - Enthalpie

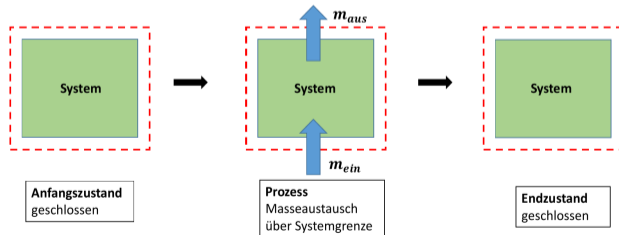
Erster Hauptsatz für offene Systeme - Formel

$$\frac{dE}{dt} = \underbrace{\dot{Q}}_{\text{Wärme}} - \underbrace{\dot{W}_s}_{\text{Schaftarbeit}} + \underbrace{\sum_{i=1}^n \dot{m}_{i,e} \left(h_{i,e} + \frac{v_{i,e}^2}{2} + g \cdot z_{i,e} \right)}_{\text{Energie der eintretenden Masse}} - \underbrace{\sum_{j=1}^k \dot{m}_{j,a} \left(h_{j,a} + \frac{v_{j,a}^2}{2} + g \cdot z_{j,a} \right)}_{\text{Energie der austretenden Masse}}$$

- Dies ist eine Leistungsbilanz mit Einheit Watt

Halboffene Systeme

- Halboffene Systeme sind ein Zwischending aus geschlossenen und offenen Systemen
- Im Gegensatz zu geschlossenen Systemen gibt es Massenströme. Allerdings betrachten wir nicht ein System im stationären Zustand sondern wissen wie viel Masse über die Systemgrenze fließt und bilanzieren über diesen Zeitraum.



Erster Hauptsatz für halboffene Systeme

$$\Delta E = \underbrace{Q}_{\text{Wärme}} - \underbrace{W}_{\text{Arbeit}} + \underbrace{\sum_{i=1}^n \Delta m_{i,e} \left(h_{i,e} + \frac{v_{i,e}^2}{2} + g \cdot z_{i,e} \right)}_{\text{Energie der eintretenden Masse}} - \underbrace{\sum_{j=1}^k \Delta m_{j,a} \left(h_{j,a} + \frac{v_{j,a}^2}{2} + g \cdot z_{j,a} \right)}_{\text{Energie der austretenden Masse}}$$

- Dies ist eine Leistungsbilanz mit Einheit Watt

Massenstrom - Volumenstrom

- Bei vielen Aufgaben ist uns ein Volumenstrom gegeben. Allerdings brauchen wir einen Massenstrom um damit zu bilanzieren.

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{A \cdot w}{v} = \frac{\dot{V}}{v}$$

A: Fläche

w: Geschwindigkeit des Stromes

v: spezifisches Volumen

\dot{V} : Volumenstrom