



# Thermodynamik I – Übung 8

Folien von Dominic Landolf, angepasst durch Pascal Hodel

# Ablauf

- Recap: Entropie
- Recap: Entropiedifferenzen
- Recap: Entropiebilanz für geschlossene Systeme
- Recap: Entropiebilanz für offene Systeme
- Eigenschaften technischer Komponenten

# Entropie

- Die **Entropie  $S$**  ist eine **Zustandsgrösse**.
- **Entropiedifferenz  $S_1 - S_2$**  ist **unabhängig** ob reversibler oder irreversibler Prozess
- Ein Prozess wird spontan immer in **Richtung zunehmender Entropie** verlaufen
- **erzeugte Entropie  $S_{\text{erz}}$**  ist jedoch **keine Erhaltungsgrösse**. Entropie wird bei irreversiblen Prozessen erzeugt und kann nicht vernichtet werden.  
**Beispiel:** Nach einem Zyklus in einem Kreisprozess nimmt Zustandsfunktion  $S$  wieder den selben Wert an. Ist der Kreisprozess jedoch nicht reversibel, wurde Entropie erzeugt und folglich  $S_{\text{erz}} > 0$ .

# Entropiedifferenzen

- **Wichtig:** Sprechen wir von Entropiedifferenzen  $\Delta S = S_2 - S_1$  betrachten wir, wie sich die Zustandsfunktion  $S$  zweier Zustände unterscheidet
- Es gibt folgende Möglichkeiten um Entropiedifferenzen zu berechnen:
  - Reale Stoffe: Tabellen
  - Ideale Gase: 1.) Tabellen  
2.) Formel mit spezifischen Wärmekapazitäten
  - Inkompressible Flüssigkeiten: Formel mit spezifischen Wärmekapazitäten
  - TdS-Gleichungen

# Entropiedifferenzen – ideale Gase

- Bestimmung mit Tabellen:

$$s(T_2, p_2) - s(T_1, p_1) = s^0(T_2) - s^0(T_1) - R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

- Bestimmung mit Formel:

$$s(T_2, v_2) - s(T_1, v_1) = \int_{T_1}^{T_2} c_v(T) \frac{dT}{T} + R \cdot \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right)$$
$$s(T_2, p_2) - s(T_1, p_1) = \int_{T_1}^{T_2} c_p(T) \frac{dT}{T} - R \cdot \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right)$$

# Entropiedifferenzen – inkompressible Flüssigkeiten

- Für inkompressible Stoffe gilt  $v \approx \text{const}$ :

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} c(T) \cdot \frac{dT}{T}$$

Resp. für  $c = \text{const}$ :

$$s_2 - s_1 = c \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$$

# Entropiebilanz für geschlossene Systeme

- Die Entropiebilanz für einen Prozess  $1 \rightarrow 2$  in einem geschlossenen System mit konstanten Temperaturen an Systemgrenzen lautet:

$$S_{\text{erz}} = S_2 - S_1 - \sum_{j=1}^l \frac{Q_j}{T_{G,j}}$$

$S_{\text{erz}} = 0$	→ reversibler Prozess
$Q = 0$	→ adiabater Prozess
$S_2 - S_1 = 0$	→ isentroper Prozess

- $T_G$ : Temperatur an Systemgrenze, bei welcher Wärme übertragen wird
  - **Ein adiabater und reversibler Prozess ist gleichzeitig isentrop!**
  - Gleichung hat Einheit **J/K**
- Clausius Ungleichung:  $\oint \frac{\delta Q}{T_G} \leq 0$

# Entropiebilanz für offene Systeme

- Analog zur Energie wird auch Entropie über Massenströme in ein System hineingeführt
- Die Entropiebilanz für offene Systeme lautet:

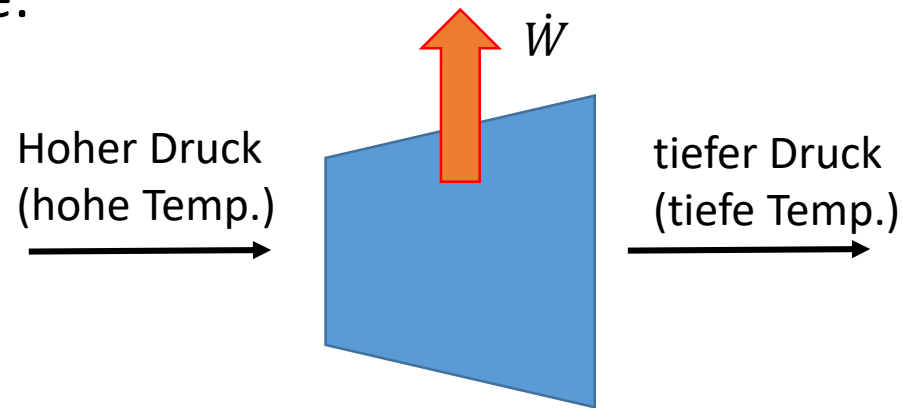
$$\dot{S}_{erz} = \frac{dS}{dt} - \sum_{j=1}^l \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum_{k=1}^m \dot{m}_{k,a} \cdot s_{k,a} - \sum_{i=1}^n \dot{m}_{i,e} \cdot s_{i,e}$$

- Die Gleichung hat die Einheit **W/K**



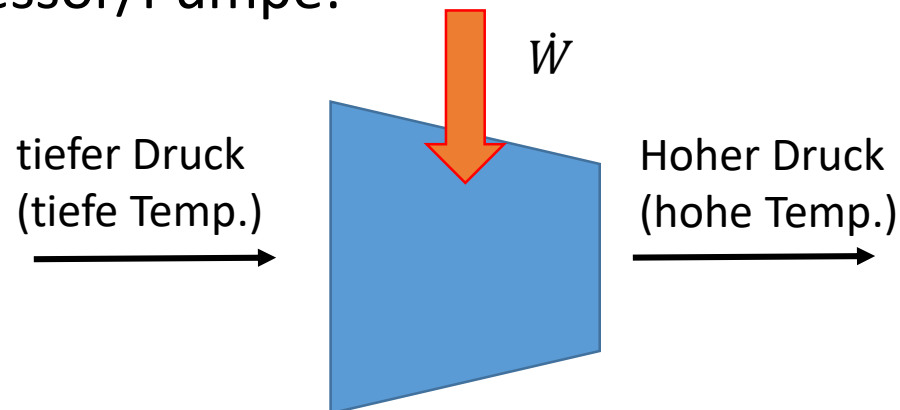
# Eigenschaften technischer Komponenten

- Turbine:



Fluid entspannt sich von hohen auf tieferes Druckniveau und leistet dabei Arbeit.

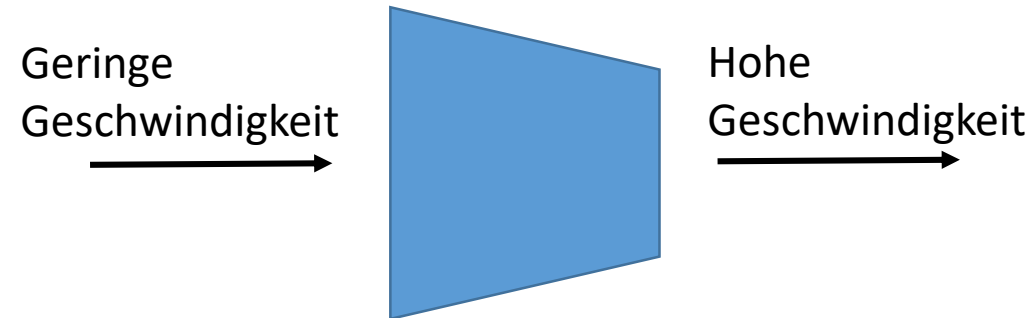
- Kompressor/Pumpe:



Durch Arbeit am Fluid wird dessen Druck erhöht. Bei der Pumpe interessiert uns der geförderte Massenstrom und beim Kompressor der Druckanstieg.

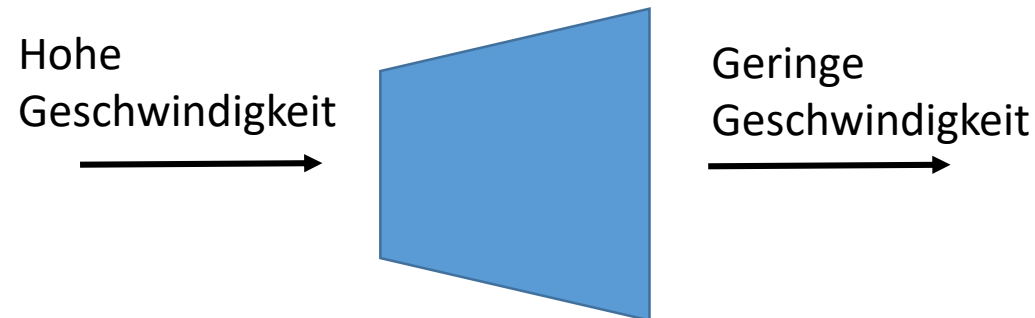
# Eigenschaften technischer Komponenten

- Düse:



Verengung der Strömung und somit Beschleunigung des Fluids durch Druckdifferenz. Dabei wird keine Arbeit geleistet.

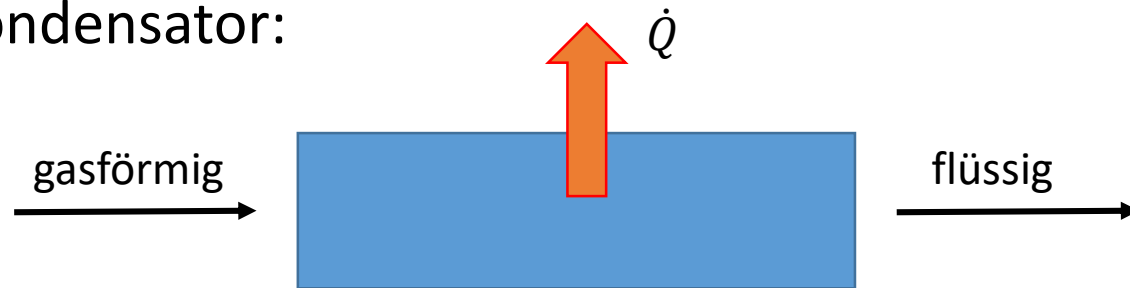
- Diffusor:



Erweiterung des Strömungsquerschnitts und somit Abbremsung des Fluids. Keine Arbeit geleistet.

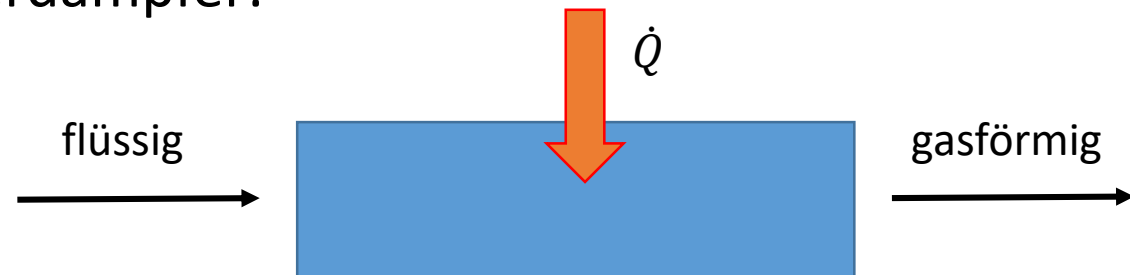
# Eigenschaften technischer Komponenten

- Kondensator:



Fluid wird meist durch Abkühlen von gasförmigen in flüssigen Aggregatzustand überführt. Keine Arbeit wird geleistet.

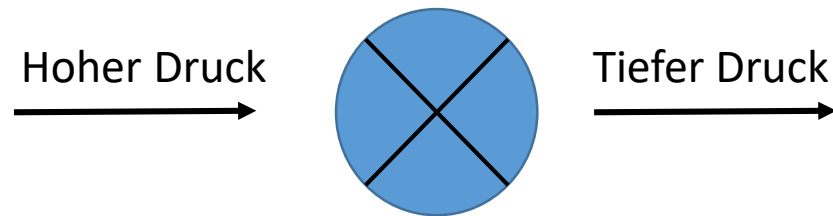
- Verdampfer:



Durch Zuführen thermischer Energie wird Fluid von flüssigen in gasförmigen Zustand umgewandelt. Keine Arbeit wird geleistet.

# Eigenschaften technischer Komponenten

- Drosselement / Ventil:



Fluid entspannt sich von hohem Druck auf tiefen Druck ohne Arbeit zu leisten.

Wenn adiabat und keine KE sowie PE gilt  
gemäss 1. HS für offene Systeme:

$$0 = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

Das heisst Drosselemente sind oft **isenthalp**!