



## Thermodynamik I – Übung 9

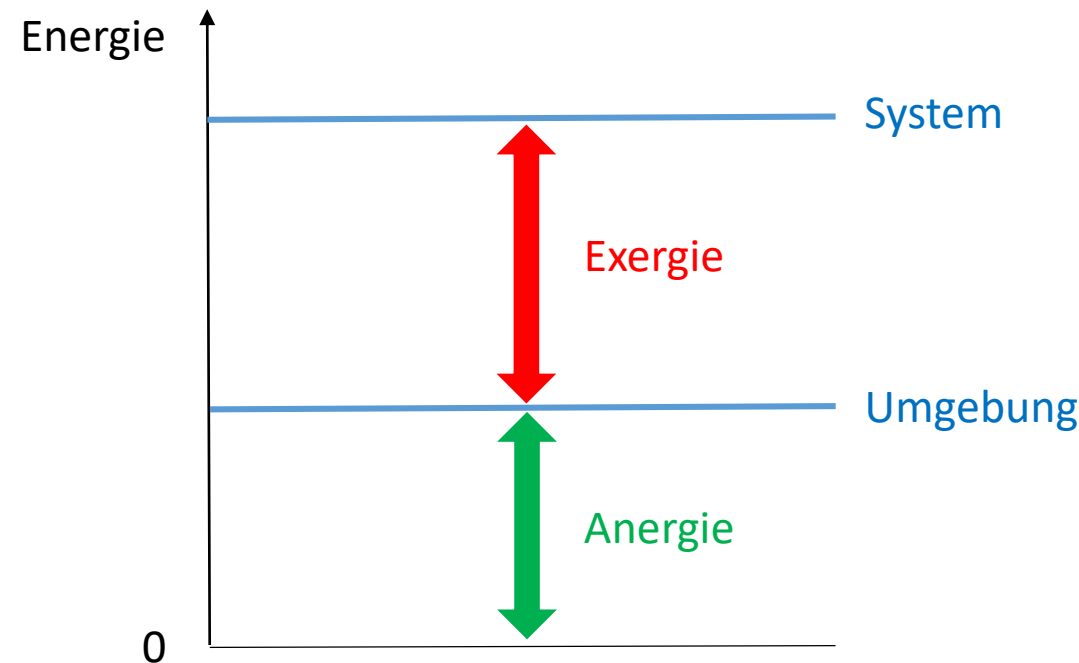
Folien von Dominic Landolf, angepasst durch Pascal Hodel

# Ablauf

- Einführung Exergie
- Exergie im geschlossenen System
- Exergieänderung im geschlossenen System
- Exergieverlust
- Exergiebilanz für geschlossene Systeme

# Exergie

- Exergie ist der Anteil an Energie, der **maximal** (reversibel) in Arbeit umgewandelt werden kann bis zum Ausgleich mit der Umgebung.



- Umgebungsbedingungen** sind deshalb wichtig für Exergie

# Anergie

- **Definition Anergie:**

Der Energieanteil, der nach dem Erreichen des Gleichgewichtes im System zurückbleibt (und nicht mehr in Arbeit umgewandelt werden kann), bezeichnen wir als **Anergie**.

- Das heisst, eine Energiemenge besteht aus Exergie und Anergie

$$\textit{Energie} = \textit{Exergie} + \textit{Anergie}$$

# Exergie im geschlossenen System

- Die Exergie ist also die Arbeit, welche aus einem reversiblen Prozess gewonnen werden kann
- Exergie berechnen, indem man die Energie des Systems mit der Energie der Umgebung (Index 0) vergleicht:

$$E_{x,geschl.} = U - U_0 + p_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) + KE + PE$$

$$e_{x,geschl.} = u - u_0 + p_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) + ke + pe$$

# Exergieänderung im geschlossenen System

- Mit Hilfe der vorherigen Gleichung kann die Exergieänderung zwischen den Zuständen (1) und (2) geschrieben werden als:

$$E_{x,2} - E_{x,1} = U_2 - U_1 + p_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1) + \Delta KE + \Delta PE$$

$$e_{x,2} - e_{x,1} = u_2 - u_1 + p_0(v_2 - v_1) - T_0(s_2 - s_1) + \Delta ke + \Delta pe$$

- Die Exergie ist eine **Zustandsgrösse** und hat die **Einheit J**

# Exergieverlust

- Da Exergie und Entropie beide ein Mass für die Arbeitsfähigkeit eines Systems sind, wollen wir diese nun verbinden
- Der **Exergieverlust** stellt die verlorene Arbeitsmöglichkeit (Differenz zwischen maximal möglicher Arbeit und effektiver Arbeit) dar.
- Gouy-Stodola Beziehung:

$$E_{x,verl} = W_{verl} = W_{rev} - W = T_0 \cdot S_{erz}$$

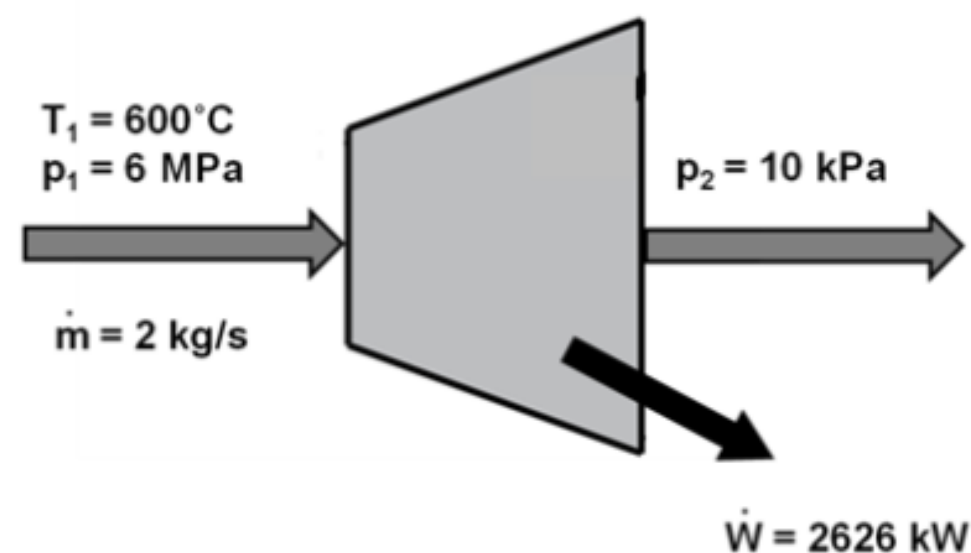
# Exergiebilanz für geschlossene Systeme

- Exergie kann durch Wärme oder Arbeit übertragen werden
- Aus der Kombination von Energie- und Entropiebilanz folgt die Exergiebilanz:

$$\underbrace{E_{x,2} - E_{x,1}}_{\text{Exergieänderung des Systems}} = \underbrace{\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_G}\right) \delta Q}_{\text{Exergietransfer durch Wärmeübertragung}} - \underbrace{\left[W - p_0(V_2 - V_1)\right]}_{\text{Exergietransfer durch Übertragung von Arbeit}} - \underbrace{T_0 \cdot S_{\text{erz}}}_{\text{Exergieverlust durch Entropieerzeugung}}$$

- $T_0$  und  $p_0$  bezeichnen dabei die Umgebungsbedingungen

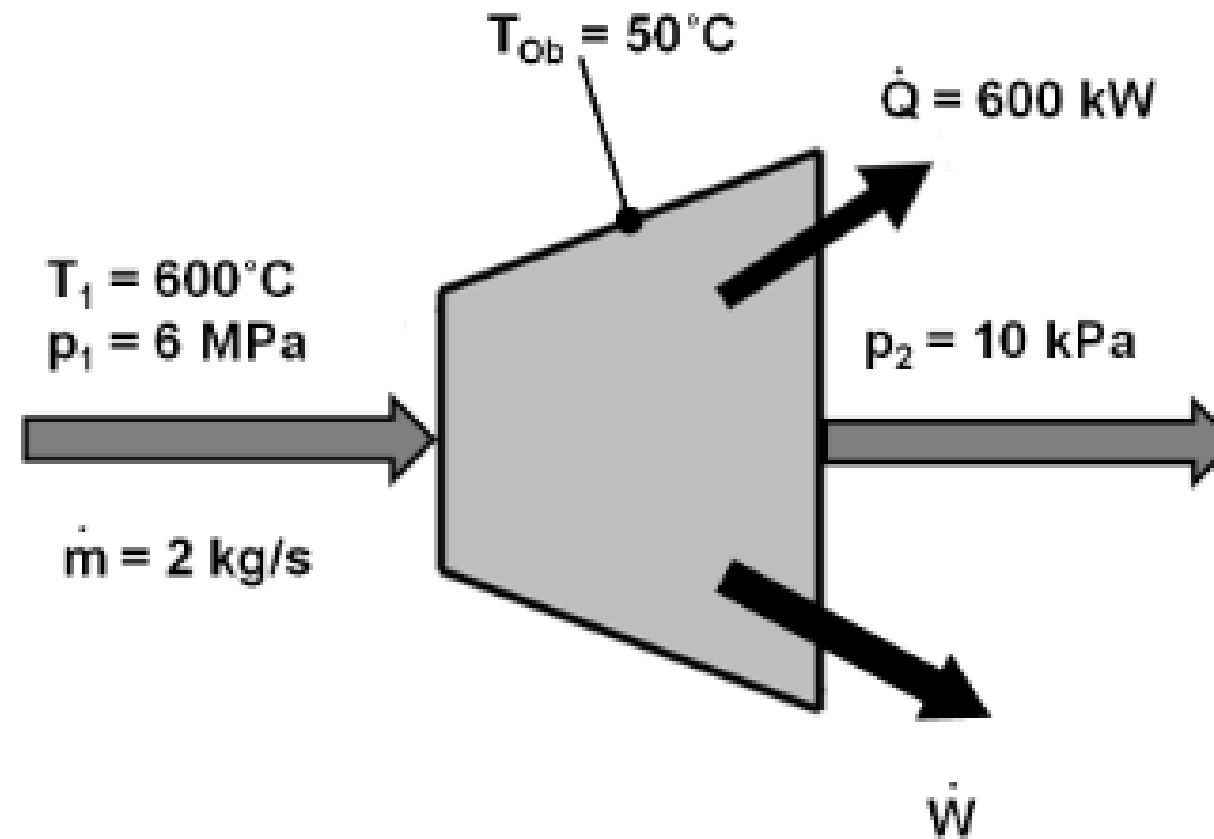


**Aufgabe 1 – (15 Punkte)****Abb. 1:** Stationär arbeitende, isolierte Turbine

Wasserdampf bei einer Temperatur  $T_1 = 600^\circ\text{C}$  und einem Druck  $p_1 = 6\text{ MPa}$  betritt eine perfekt isolierte, stationär arbeitende Turbine und expandiert bis zu einem Druck  $p_2 = 10\text{ kPa}$ . Der Massenfluss durch die Turbine beträgt  $\dot{m} = 2\text{ kg/s}$ . Die Turbine erzeugt dabei eine Leistung  $\dot{W} = 2626\text{ kW}$ . Kinetische und potentielle Effekte können vernachlässigt werden.

- Bestimmen Sie den isentropen Wirkungsgrad der Turbine.
- Berechnen Sie die Entropieerzeugungsrate.

- c) Ohne perfekte Isolation gibt die Turbine den Wärmestrom  $\dot{Q} = 600 \text{ kW}$  bei einer konstanten Oberflächentemperatur von  $T_{\text{ob}} = 50^\circ\text{C}$  ab. Welche Leistung würde diese **Wärme verlierende** Turbine mit den Angaben ( $T_1$ ,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $\dot{m}$ ) aus Teilaufgabe a) im reversiblen Fall erreichen?



**Abb. 2:** Stationär arbeitende, nicht-isolierte Turbine