

**Webinar:** Thermodynamik  
**Thema:** Carnot-Prozess

**1) Ausführliche Beschreibung der einzelnen Zustandsänderungen des Carnot-Prozesses**

**2) Berechnung der nachfolgenden Aufgabe:**

Mit einer nach dem Carnot-Prozess laufenden Wärmepumpe soll eine Stadtheizungsanlage auf der Temperatur  $t_1$  gehalten werden. Zur Verfügung stehen die elektrische Antriebsleistung  $P$  und ein Fluss, durch dessen Profil Wasser der Stromstärke  $I$  und der Temperatur  $t_2$  fließt.

**(a)** Welche Wärmemenge  $Q_1$  wird je Sekunde an die Stadtheizung abgegeben?

**(b)** Um welche Temperaturdifferenz  $\Delta T$  wird der Fluss abgekühlt?

**Gegeben seien:**  $t_1 = 80^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 5^\circ\text{C}$ ,  $P = 30\text{ MW}$ ,  $I = 400\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $c_w = 4,19\text{ kJ/kg K}$

## Carnot-Prozess

### Zustand 1-2: Isotherme Kompression (reibungsfrei)

$$Q_{12} = -W_v = \int_1^2 p \, dV$$

$$Q_{12} = -W_t^{\text{rev}} = -\int_1^2 V \, dp$$

$$Q_{12} = T_I \cdot (S_1 - S_2)$$

Der resultierende Wert der Wärmemenge wird negativ, d.h. Wärme wird dem System abgeführt.

$$W_{i12}^{\text{rev}} = m R_i T_I \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$W_{i12}^{\text{rev}} = m R_i T_I \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

Das ist die Arbeit die dem System zugeführt wird.

### Zustand 2-3: Isentrope Kompression (reibungsfrei und adiabat)

$$Q_{23} = 0$$

Es handelt sich um eine adiabate Zustandsänderung, d.h. es kann dem System keine Wärme ab- und zugeführt werden.

$$W_{i23}^{\text{rev}} = m c_{pm} \Big|_{T_I}^{T_{II}} (T_{II} - T_I)$$

Das ist die Arbeit die dem System zugeführt wird.

### Zustand 3-4: Isotherme Expansion (reibungsfrei)

$$Q_{34} = -W_v = \int_3^4 p \, dV$$

$$Q_{34} = -W_{i34}^{\text{rev}} = -\int_3^4 V \, dp$$

$$Q_{34} = T_{II} \cdot (S_2 - S_1)$$

Der resultierende Wert der Wärmemenge wird positiv, d.h. Wärme wird dem System zugeführt.

$$W_{i34}^{\text{rev}} = m R_i T_{II} \ln\left(\frac{p_4}{p_3}\right)$$

$$W_{i34}^{\text{rev}} = m R_i T_{II} \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)$$

Das ist die Arbeit die dem System abgeführt wird.

### Zustand 4-1: Isotherme Expansion (reibungsfrei)

$$Q_{41} = 0$$

Es handelt sich um eine adiabate Zustandsänderung, d.h. es kann dem System keine Wärme ab- und zugeführt werden.

$$W_{i23}^{\text{rev}} = m c_{pm} \Big|_{T_{II}}^{T_I} (T_I - T_{II})$$

Das ist die Arbeit die dem System abgeführt wird.

### Nutzarbeit

$$W_c = \sum W_v = \sum W_t^{\text{rev}}$$

$$W_c = -\sum Q$$

Die Nutzarbeit ist die Summe aus zu- und abgeführter Arbeit bzw. die negative Summe aus zu- und abgeführter Wärme

### Wirkungsgrad

$$\eta_c = 1 - \frac{T_I}{T_{II}}$$

Verhältnis aus abgegebener Arbeit und zugeführter Wärme