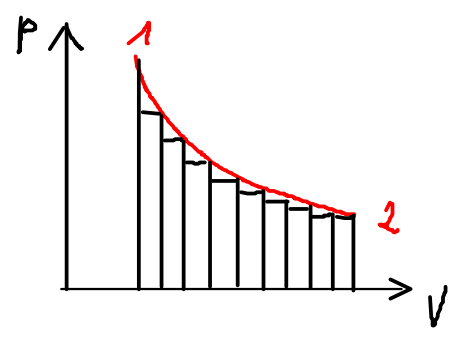
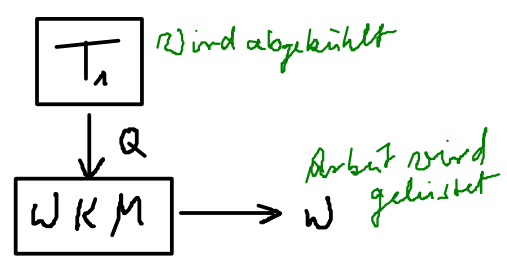


$$\Delta W_A \neq \Delta W_B$$

Aber: mit kleinen Schritten kann ein irreversibler Prozess einem reversiblen angenähert werden



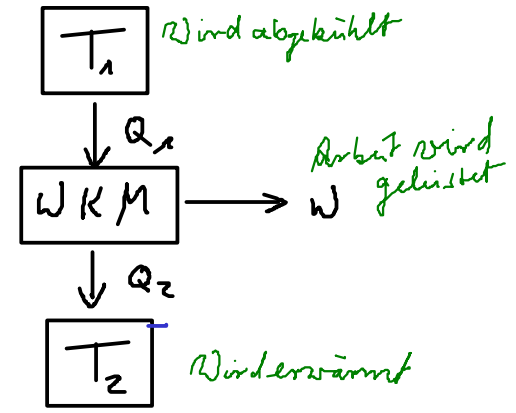
Wunschtraum



nach 2. HS verboten

Die ungeordnete Wärmeenergie lässt sich nicht vollständig in geordnete mechanische Energie überführen

Realität



Maschine bleibt stehen wenn $T_1 - T_2$ erreicht ist.

1. HS: $\Delta W = \Delta Q_1 - \Delta Q_2$

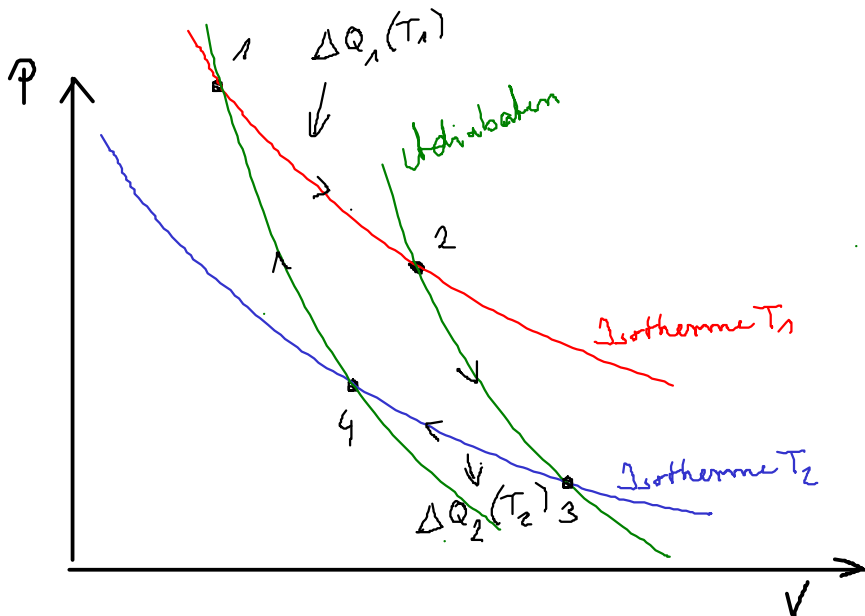
$$\Rightarrow \text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{\Delta W}{\Delta Q} = \frac{\Delta Q_1 - \Delta Q_2}{\Delta Q_1} = 1 - \frac{\Delta Q_2}{\Delta Q_1}$$

typ: WKM $\eta \approx 0,4$ Verbrennungsmotor $\eta \approx 0,5$

Carnot:

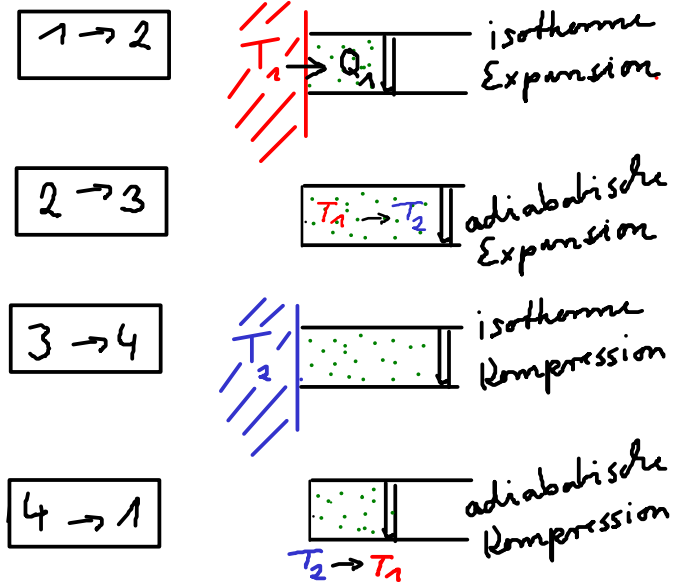
- ideales Gas als Arbeitssubstanz
- abwechselnd am heißen bzw kaltes Reservoir angeschlossen

Arbeitszyklus mit 4 Schritten



rechtsläufiger Carnot Prozess (WKM)
 (linksläufig: Kältemaschine)

4 Zustandsänderungen
 (Voraussetzung: reversible
 Prozessführung)



1 → 2 $V_1 \rightarrow V_2$ $\Delta T = 0$
 $\rightarrow \Delta Q = 0$
 $\rightarrow \Delta Q = -\Delta U$

isotherme
Expansion

$$\Delta Q_1 = n R T_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S_1 = \frac{\Delta Q_1}{T_1}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

2 → 3 $V_2 \rightarrow V_3$ $T_1 \rightarrow T_2$

adiabatische
Expansion

$$\Delta Q = 0 \Rightarrow \Delta S = 0$$

$$\Delta W_2 = \Delta Q_2 = n c_V (T_2 - T_1)$$

$$p_2 V_2^K = p_3 V_3^K$$

$$3 \rightarrow 4 \quad V_3 \rightarrow V_4$$

$$\Delta Q_3 = n R T_2 \cdot \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$\Delta S_3 = \frac{\Delta Q_3}{T_2}$$

$$\Delta T = 0$$

$$P_3 V_3 = P_4 V_4$$

isotherme
Kompression

$$4 \rightarrow 1 \quad V_4 \rightarrow V_3 \quad T_2 \rightarrow T_1$$

$$\Delta W_4 = \Delta U_4 = n c_v (T_1 - T_2) \quad P_4 V_4^K = P_1 V_1^K$$

adiabatische
Kompression

Carnotscher Wirkungsgrad

$$\eta = 1 - \frac{\Delta Q_2}{\Delta Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \cdot \underbrace{\frac{\ln V_3/V_4}{\ln V_2/V_1}}_{=1, \text{ da}}$$

$$\left. \begin{aligned} P_1 V_1 &= P_2 V_2 \\ P_2 V_2^K &= P_3 V_3 \\ P_3 V_3 &= P_4 V_4 \\ P_4 V_4^K &= P_1 V_1^K \end{aligned} \right\}$$

$$P_1 P_2 P_3 P_4 \cdot V_1 V_2^K V_3 \cdot V_4^K = P_1 P_2 P_3 P_4 \cdot V_2 V_3^K V_4 \cdot V_1^K$$

$$\Rightarrow V_2^{K-1} \cdot V_4^{K-1} = V_1^{K-1} \cdot V_3^{K-1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{carnot}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Für $T_2 \rightarrow 0 \text{ Kelvin}$: $\eta \rightarrow 1$,

aber, Reservoir mit $T = 0 \text{ K}$ existiert nicht
(\rightarrow 3. HS)

Beispiel: Arbeitssubstanz H_2O / flüssig

$$T_1 = 373 \text{ K} \quad T_2 = 273 \text{ K} \rightarrow \eta_c^{\text{H}_2\text{O}} = 0,27$$