8.3. Hauptsätze der Thermodynamik

Der erste Hauptsatz

thermisches Gleichgewicht ↔ Zustandsgrößen p, V, T,...

Verknüpfung der Zustandsgrößen: Zustandsgleichung

Beispiel: Zustandsgleichung des idealen Gases

$$pV = nRT$$

Anzahl der Mole

Energieformen:

ΔQ: dem System zugeführte Wärmeenergie

ΔW: am System verrichtete Arbeit

Beispiel: Druckarbeit vom Systems bei Expansion $= -\Delta W = p \cdot \Delta V$

ΔU: Erhöhung der inneren Energie

vollständiges Differential ⇔

ex. Potential

U(Zustandsgrößen)

- Bewegungsenergie ↔ Temperatur
- Um-/Aufbau von Festkörperstrukturen
- Arbeit gegen chemische Kräfte ...

Beispiel: Ideales Gas $U = c_V M T$ $\Delta U = c_V M \Delta T$

8.3. Erster Hauptsatz

allgemeine Energieerhaltung

In geschlossenen Systemen (d.h. $n = \text{const.}$) gilt:

$$\boxed{\Delta Q = \Delta U - \Delta W}$$

Spezialfall: Gas $\Rightarrow \quad \Delta Q = \Delta U + p\,\Delta V$

Spezialfall: ideales Gas $\Rightarrow \quad \Delta Q = c_V M \Delta T + p\,\Delta V$

Def.: Eine Maschine, die den 1. Hauptsatz verletzt heißt Perpetuum Mobile 1. Art

Folgerung: Es gibt kein Perpetuum Mobile 1. Art

8.3. Zustandsänderungen im idealen Gas

betrachte o.B.d.A. genau 1 mol;

C_p , C_V = spezifische Molwärmen

isochor: $V = \text{const.} \quad \Rightarrow \quad \Delta Q = \Delta U = C_V \cdot \Delta T$

isobar: $p = \text{const.} \quad \Rightarrow \quad \Delta Q = \Delta U + p \cdot \Delta V = C_p \cdot \Delta T$

Def.: Enthalpie $\boxed{H = U + pV} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\Delta H = C_p \cdot \Delta T}$

isotherm: $T = \text{const.} \quad \Rightarrow \quad \Delta U = 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta Q = p \cdot \Delta V$

$$pV = RT \quad \Rightarrow \quad \Delta Q = RT\frac{\Delta V}{V} = RT \cdot \Delta(\ln V)$$

8.3. Adiabatische Prozesse

adiabatisch: $\Delta Q = 0$

- schnelle Vorgänge ohne nennenswerten Wärmeaustausch mit Umgebung
- aber hinreichend langsam für ungestörtes thermisches Gleichgewicht
- enorme technische Bedeutung

$$0 = \Delta U + p\,\Delta V = C_V \cdot \Delta T + \frac{RT}{V} \cdot \Delta V = C_V \cdot \Delta T + (C_p - C_V)T \cdot \frac{\Delta V}{V}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\Delta T}{T} = -(\kappa - 1)\frac{\Delta V}{V} \qquad \text{mit} \quad \kappa = \frac{C_p}{C_V}$$

$\Rightarrow$ Adiabatengleichungen

$$TV^{\kappa-1} = \text{const.}$$
$$pV^{\kappa} = \text{const.}$$
$$Tp^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = \text{const.}$$

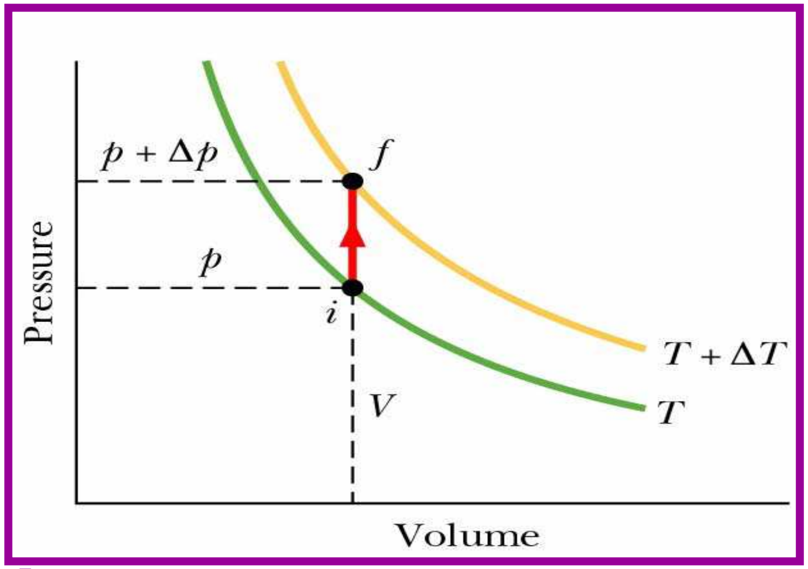
Beispiel: Luft (N_2 , O_2) $\kappa = 7/5 = 1{,}4$

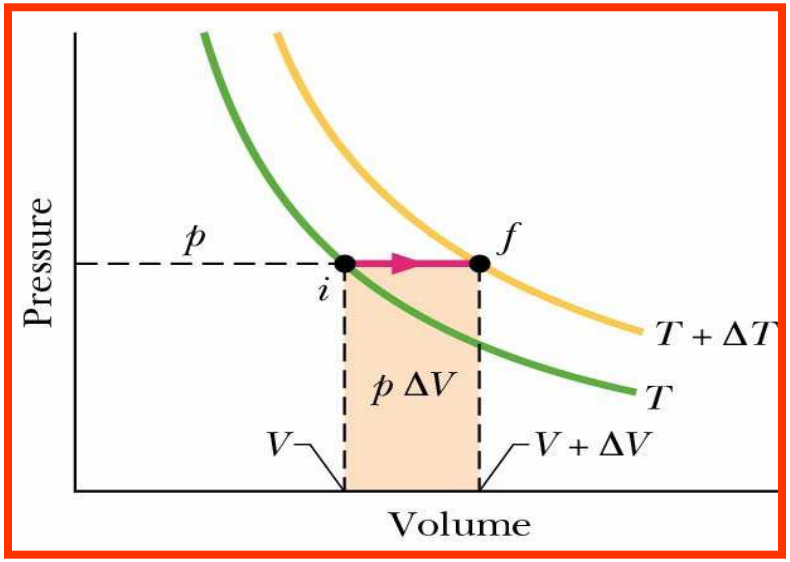
adiabatische Kompression $V \rightarrow 0{,}1\,V$

$\Rightarrow$Erwärmung $T \rightarrow 0{,}1^{1-\kappa}\,T = 10^{0{,}4}\,T \approx 2{,}5\,T$

z.B. $T = 20\,°C \approx 293\,K \rightarrow 795\,K \approx 462\,°C$

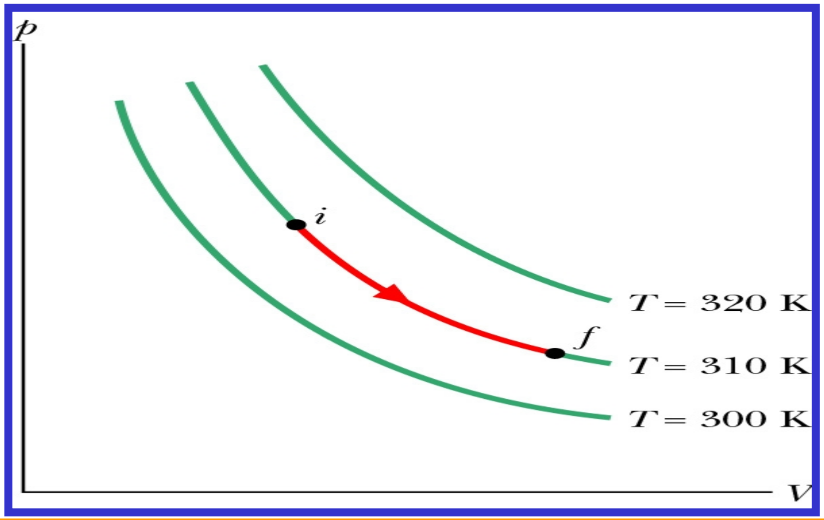
8.3. pV-Diagramme: Zustandsänderung





isochor,
V = const.

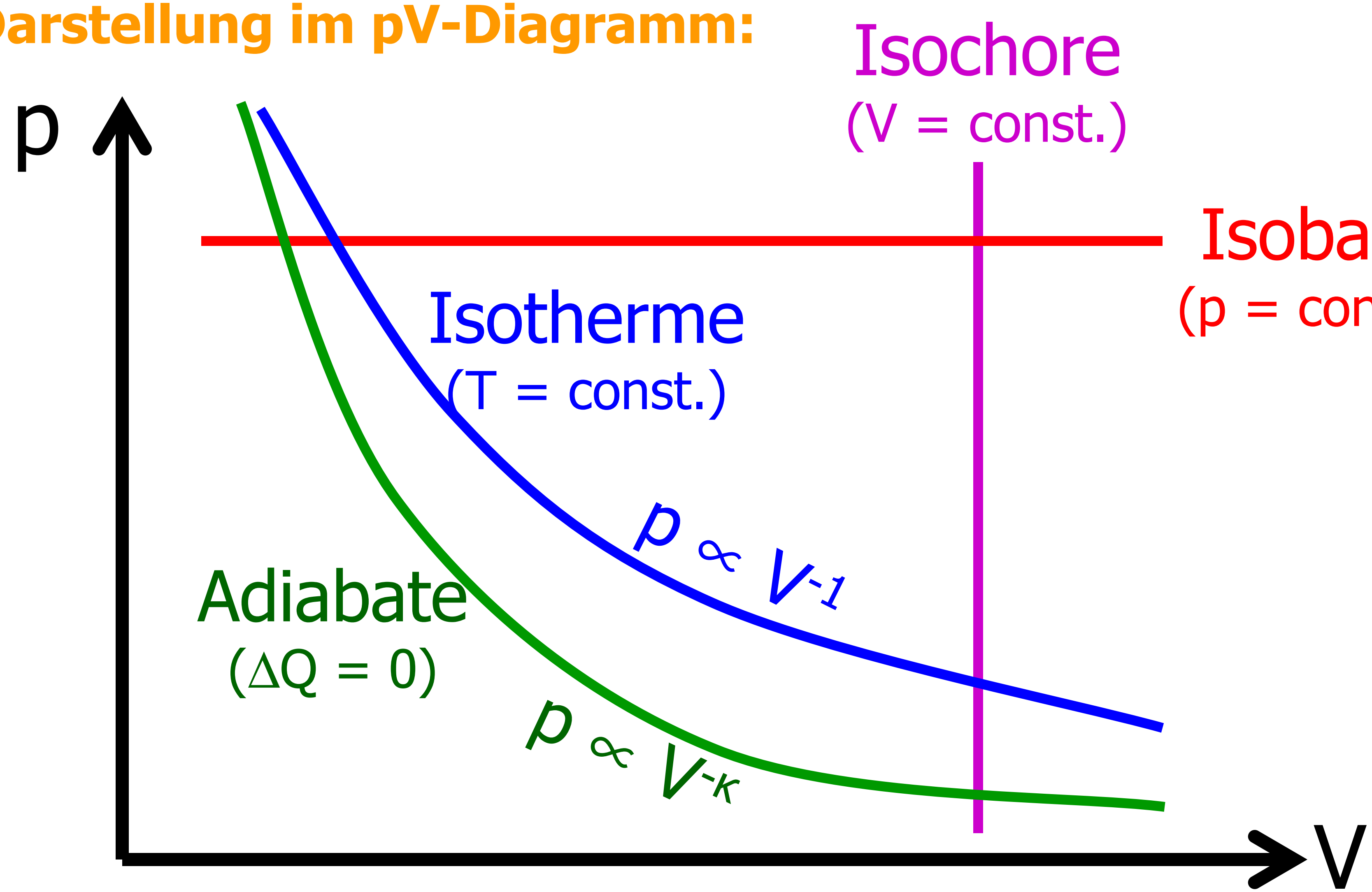
isobar,
p = const.



isotherm,
T = const.

8.3. Adiabatisher Prozess

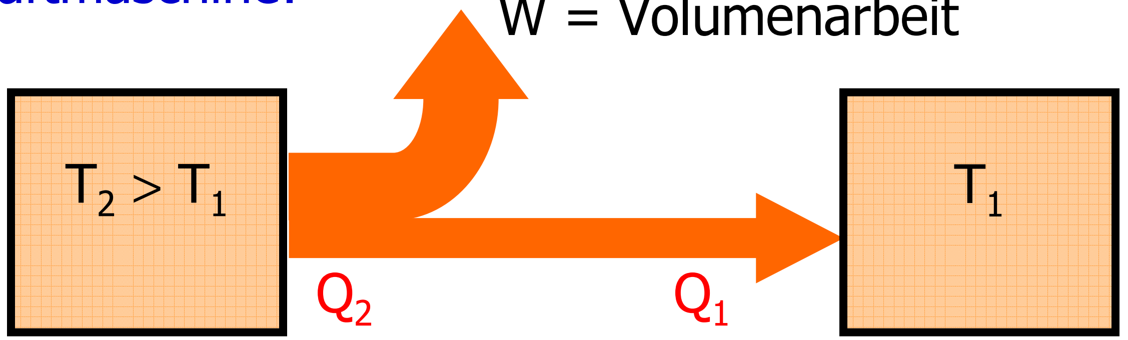
Darstellung im pV-Diagramm:



8.3. Wärmekraftmaschinen

Wärmekraftmaschine:

W = Volumenarbeit



Reservoir 2 (z.B. Verbrennungsgemisch)

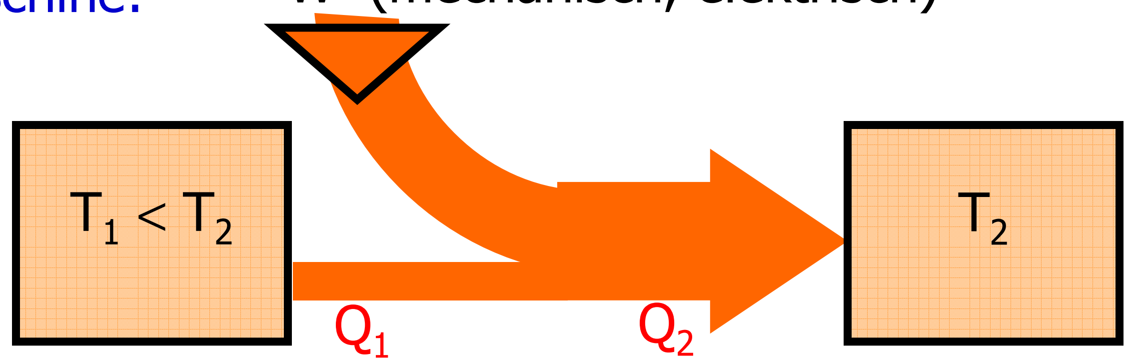
Reservoir 1 (z.B. Auspuffgas)

Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{W}{Q_2}$$

Kältemaschine:

W (mechanisch, elektrisch)



Reservoir 1 ... Reservoir 2

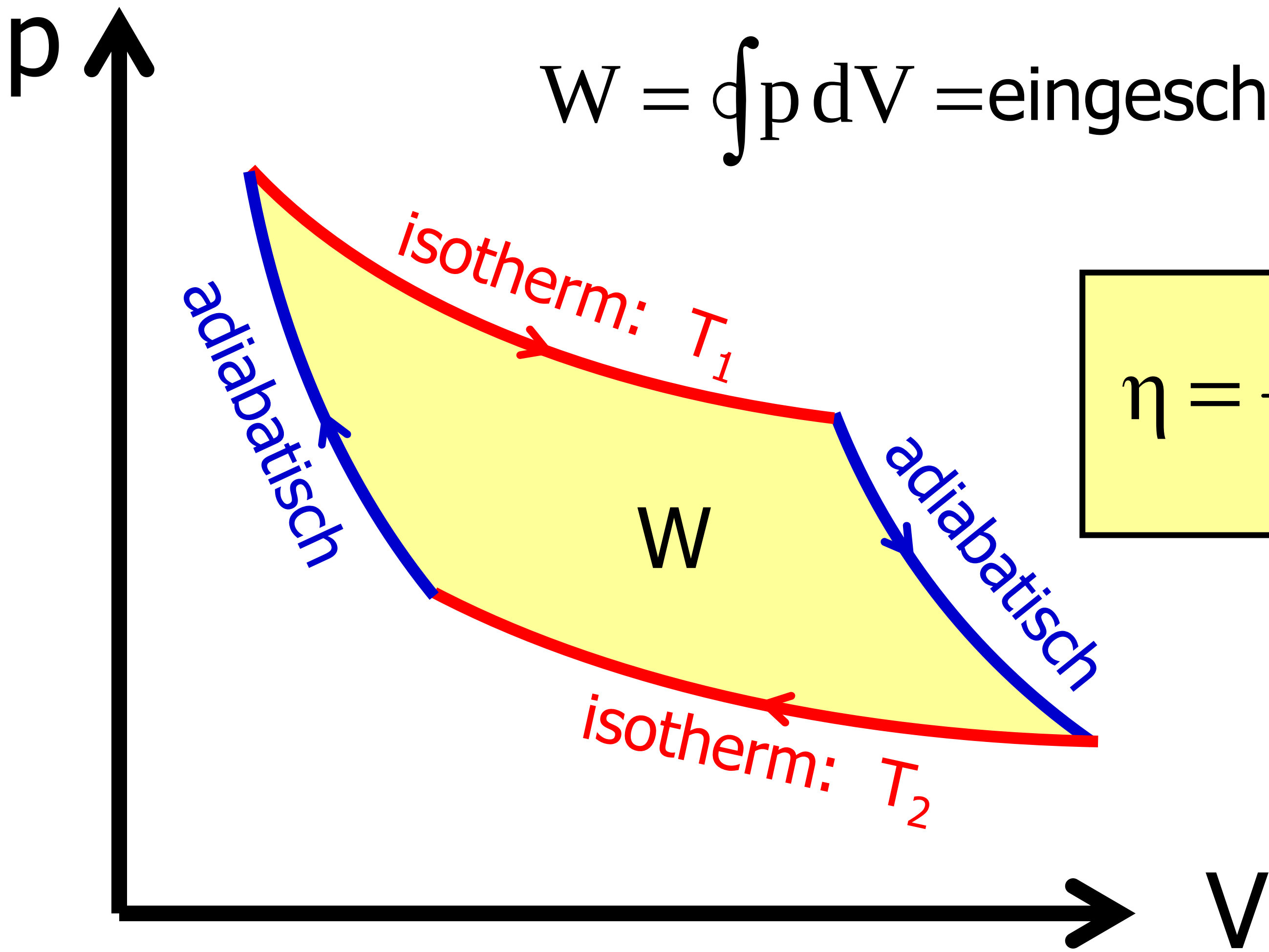
Außenraum .... Heizsystem (Wärmepumpe)

Kühlraum .... Wärmetauscher (Kühlschrank)

8.3. Carnotscher Kreisprozess

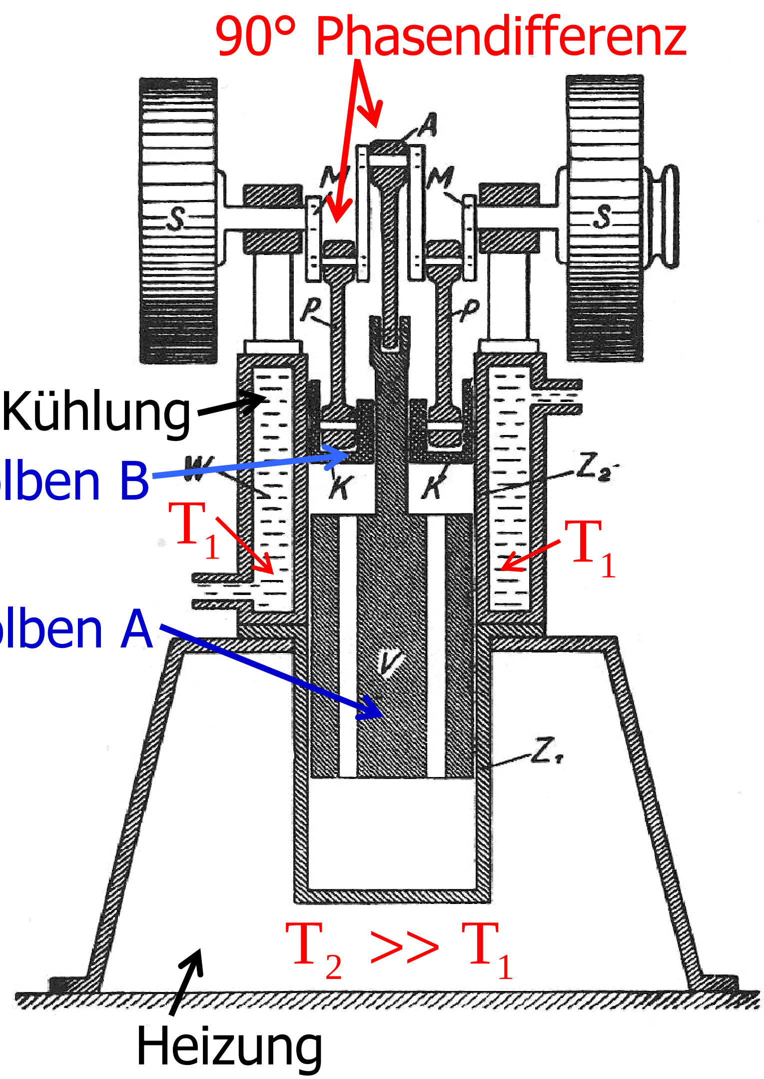
Ideale Maschine (η = max) $\rightarrow$ **Carnotscher Kreisprozess**

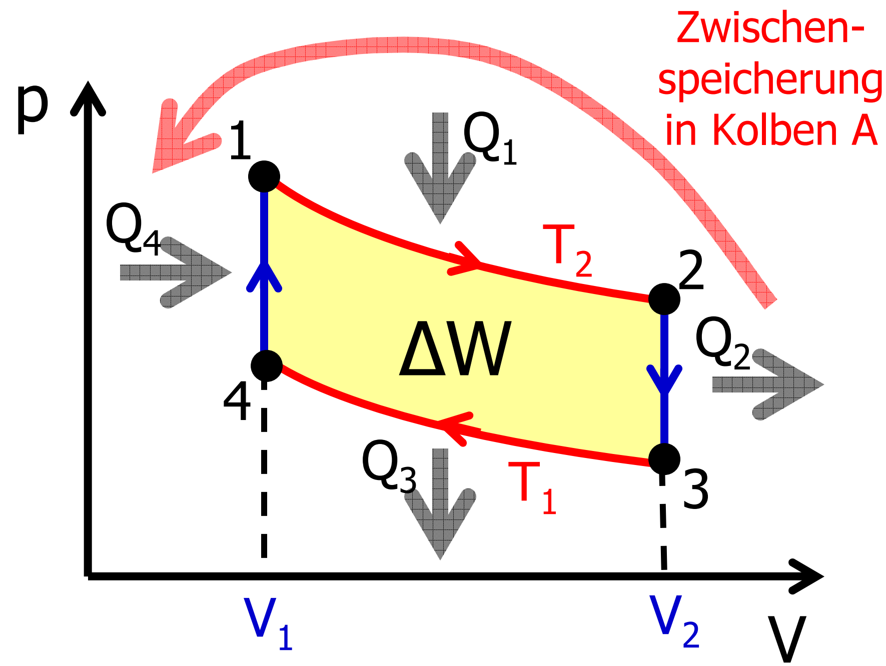
$$W = \oint p\, dV = \text{eingeschlossene Fläche}$$



$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} < 1$$

8.3. Heissluftmotor (Stirling-Maschine)





Schritt	A	B	Typ
$2 \rightarrow 3$	runter	oben	isochor
$3 \rightarrow 4$	unten	runter	isotherm
$4 \rightarrow 1$	hoch	unten	isochor
$1 \rightarrow 2$	oben	hoch	isotherm