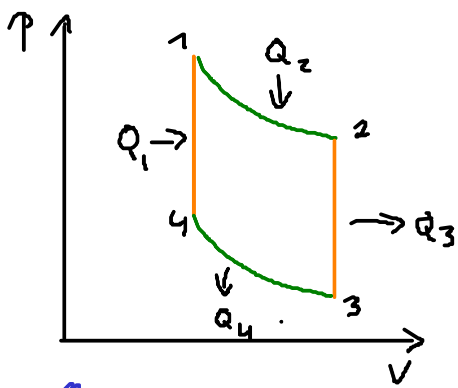
Technische Kreisprozesse:

Stirling-Prozess: (≙ Otto-Motor)

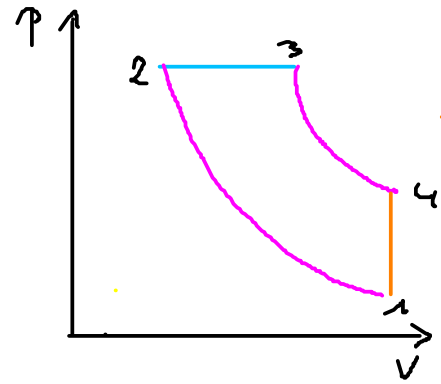


2 Isothermen

2 Isochoren

$\eta_{Stirling} \approx \eta_{Carnot}$ wenn Wärme Q isochor regeneriert wird

Diesel Prozess



1 Isobare

2 Adiabaten

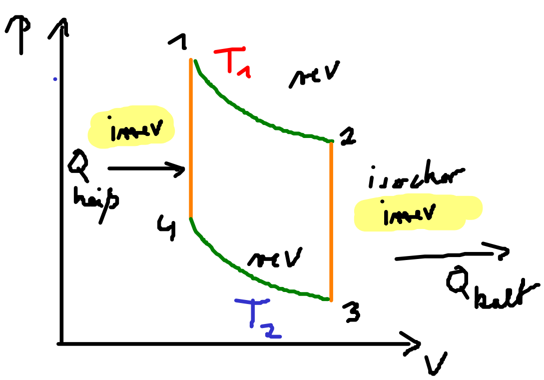
1 Isochore

1 → 2 : hohes Verdichten des Luft-Diesel-Gemisches

2 – 3 Selbstentzündung, isobare Verbrennung

Irreversible Prozesse (Stirling)

Stirling-Prozess:



$\eta < \eta_{carnot}$

Wärmemengen Q_{41} bzw. Q_{23} kompensieren sich, nicht aber die Entropien

Q_{kalt} (Wärmeabgabe ohne Arbeitsleistung → irreversibel)

1 → 2	2 → 3	3 → 4	4 → 1
isotherm	isochor	isotherm	isochor

$$\Delta Q_{Ges} = nRT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + n c_v (T_2 - T_1) + nRT_2 \left(\frac{V_4}{V_3}\right) + n c_v (T_1 - T_2)$$

$$\Delta W_{Ges} = -nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} + 0 \qquad -nRT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} + 0$$

1 → 2 isotherm, 2 → 3 isochor, 3 → 4 isotherm, 4 → 1 isochor

$$\oint_{irrev} \frac{dQ}{T} = nR \ln\frac{V_2}{V_1} - n\frac{c_v}{T_2}(T_1-T_2) + nR\ln\frac{V_1}{V_2} + n\frac{c_v}{T_1}(T_1-T_2)$$

Kontakt mit Reservoir T_1/T_2

$$\boxed{\begin{matrix} V_2 = V_3 \\ V_4 = V_1 \end{matrix}}$$

$$= nc_v \underbrace{(T_1-T_2)}_{>0} \underbrace{\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)}_{<0} \Longrightarrow \boxed{\oint_{irrev} \frac{dQ}{T} < 0}$$

unabhängig von der Durchlaufrichtung

Entropie von Maschine (nicht Gesamt-Entropie) nimmt ab (<0)
→ geht an Umgebung

im Gegensatz:

$$\oint_{rev} \frac{dQ}{T} = 0 = dS \quad \rightarrow \text{Zustandsfunktion!}$$

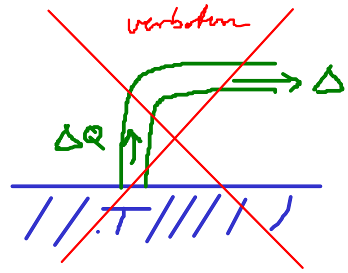
Clausius-Theorem (für Kreisprozesse)

$$\underline{dS = \oint \frac{dQ}{T} \leq 0}$$

→ Entropie isolierter Systeme kann nur zunehmen
→ keine Maschine konstruierbar, deren einziger Effekt Wärme-Transport von einem kalten zu einem warmen Körper ist

4 Äquivalente Formulierungen des 2. HS. der TD

1) Es gibt keine periodisch arbeitende WKM, die nichts weiter bewirkt, als einem Wärmereservoir thermische Energie (Wärmemenge ΔQ) zu entziehen und komplett als Arbeit ($\Delta W = \Delta Q$) nach außen abzugeben.

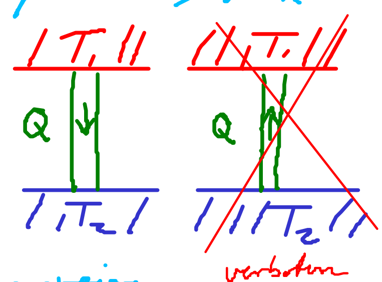


$\Rightarrow$ Perpetuum mobile 2. Art ist unmöglich

2) Bringt man 2 Körper unterschiedlicher Temp. miteinander in therm. Kontakt, so fließt die Wärmeenergie stets (spontan!) vom Körper höherer Temp zum Körper niederer Temp.

bzw

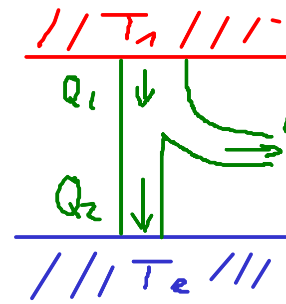
Es ist unmöglich eine Maschine zu konstruieren, die <u>nur</u> (ohne Arbeitsaufwand) thermische Energie von einem kälteren zu einem wärmeren Reservoir transferiert.



3) Es gibt keine periodisch arbeitende WKM, die zwischen 2 Wärmereservoirs mit Temp T_1 und T_2 arbeitet mit einem höheren Wirkungsgrad η, als dem der Carnot-Maschine η_c:

$$\eta = \frac{\Delta W}{Q} \overset{1.HS}{=} \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

(für $\frac{T_2}{T_1} \to 0$ geht $\eta_c \to 1$)



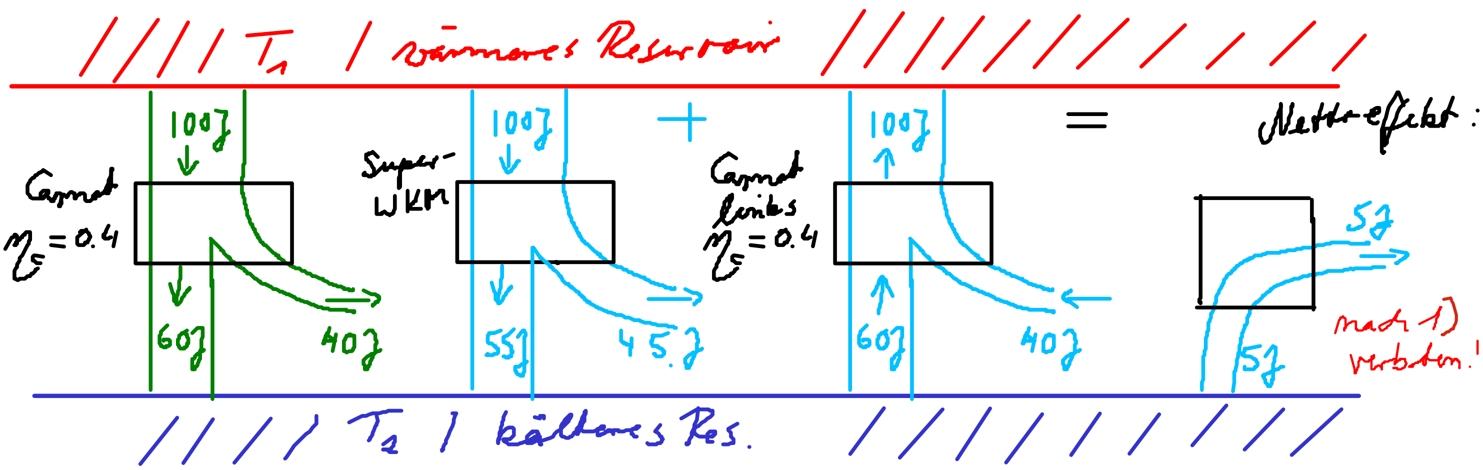
4) In einem <u>abgeschlossenen</u> System kann die Entropie nicht abnehmen $\boxed{\Delta S \geq 0}$

Besonderheit des 2. HS:

– nicht die Größe der Änderung einer physikalischen Größe wird spezifiziert sondern <u>die Richtung</u> der Änderung

Veranschaulichung der Äquivalenz von Formulierung 1) und 3) des 2. HS

Anm.: 3) stimmt nicht → es gibt eine Super-WKM mit $\eta_s > \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, dann kann Arbeit $\Delta W = \eta_s \cdot Q_1$ genutzt werden um eine linksläufige Carnot Kälte-maschine zu betreiben



⟹ alle reversibel arbeitenden WKM haben max: η_{carnot}

aber in der Realität technisch nicht realisierbar:

- Verlust nach Energie durch Reibung, Viskosität ...
- quasistatischer Ablauf wäre nötig: System immer im GG