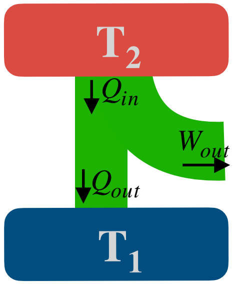
Physik II für Medis 2022

Übungsgruppe

Stunde 6

Intro Frage



Wir möchten eine Wärmekraftmaschine bauen. Dafür haben wir einen Topf mit kochendem Wasser und einen Topf mit kühlerem Wasser. Welche Aussagen stimmen?

A) Um die Maschine effizient zu bauen, sollte das kühlere Wasser nicht zu kalt sein.

B) Der Wirkungsgrad der Maschine lässt sich berechnen durch $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$

C) Der Wirkungsgrad der Maschine lässt sich berechnen durch $\eta = \frac{|W_{out}|}{Q_{in}}$

D) Laut erstem Hauptsatz muss gelten, dass $|W_{out}| = |Q_{in}| + |Q_{out}|$

Themen heute

Thermodynamische Prozesse

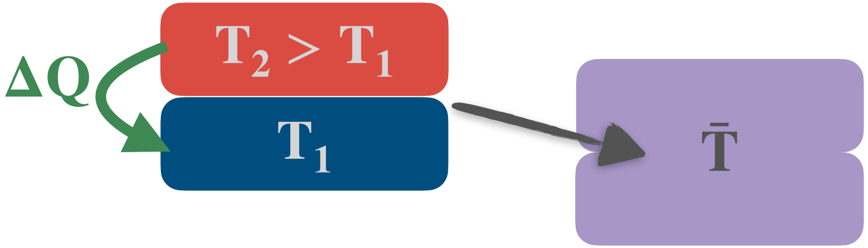
Entropie

Kreisprozesse

Wirkungsgrad

2. Haupsatz der Thermodynamik

In jedem System gleichen sich ohne äußeres Zutun die Temperaturen verschiedener Körper mit der Zeit an. [“Wärme fließt am liebsten bergab”]



Irreversible Prozesse:

- *Lassen sich nicht einfach umkehren*
  Grund: Energie hat sich verteilt /
  ist weniger nutzbar
- *Externe Arbeit nötig für Rückkehr in Ausgangszustand*

Prozesse, die spontan ablaufen, sind grundsätzlich irreversibel
- Energie will sich verteilen!

Reversible Prozesse:

- *Umkehrbar ohne Änderung in Umgebung*
- *Energie bleibt nutzbar*

→ **Gesamte *Entropie* von System und Umgebung ändert sich nicht**

Entropie

Wie stark ist die Energie in einem System “verstreut”?
Wie schwierig ist es, die vorhandene Energie für Arbeit zu nutzen?

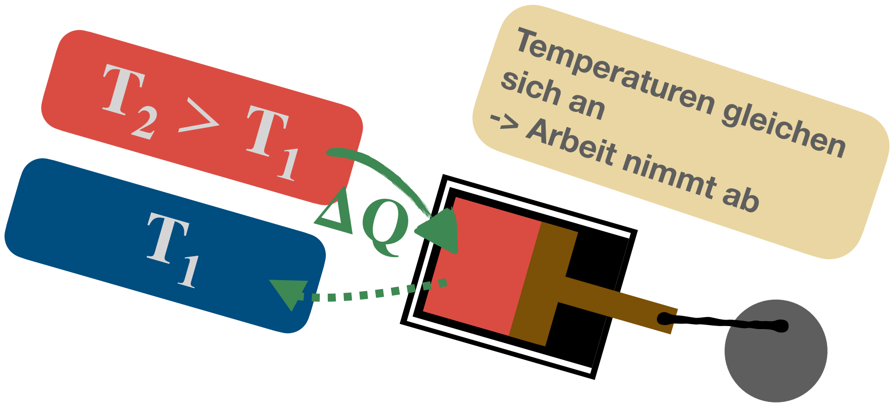
Eigenschaften

- *Entropie ist eine Zustandsgröße!*
- *Für uns ist aber nur ΔS interessant*

Vernachlässige Reibung & Co.

$$\mathrm{d}S = \frac{\delta Q}{T} \quad \cancel{\left[+\frac{\delta W_{diss}}{T}\right]}$$

Entropie kann also über Wärmeaustausch mit Umgebung importiert / exportiert werden.



Irreversible Prozesse:

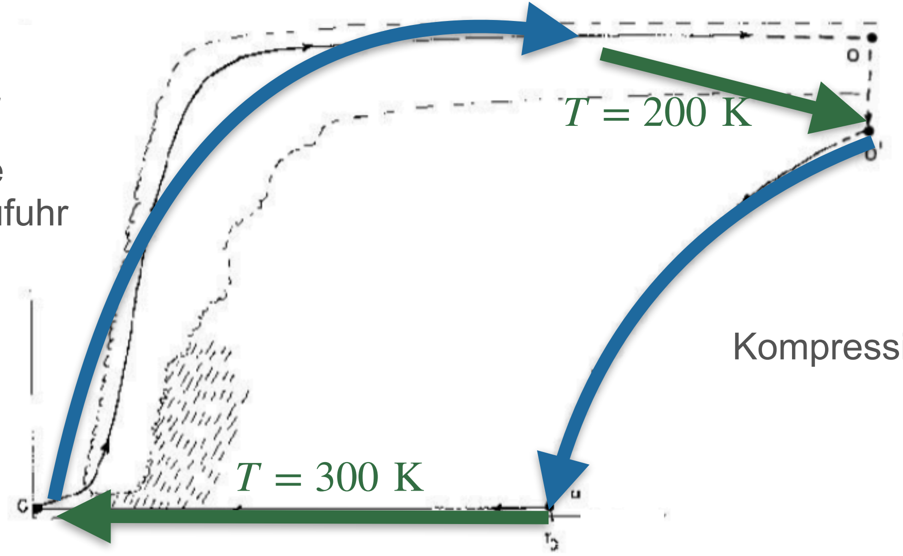
$$\Delta S_{ges} > 0$$

Hurrikan und Carnot-Prozess

Ein Hurrikan kann näherungsweise als Carnot-Prozess betrachtet werden.

Gesättigter Dampf

Ausdehnung ohne äussere Wärmezufuhr



Wärmeabgabe in Troposphäre

Kompression mit Temperaturanstieg

(Wärmeaufnahme über Ozean-Oberfläche)

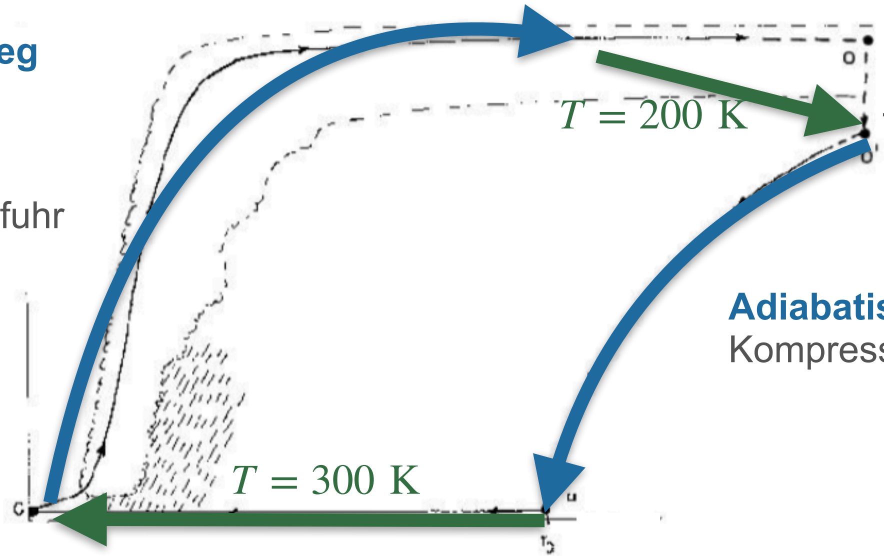
Hurrikan und Carnot-Prozess

Ein Hurrikan kann näherungsweise als Carnot-Prozess betrachtet werden.

Adiabatischer Aufstieg

Gesättigter Dampf

Ausdehnung ohne
äussere Wärmezufuhr

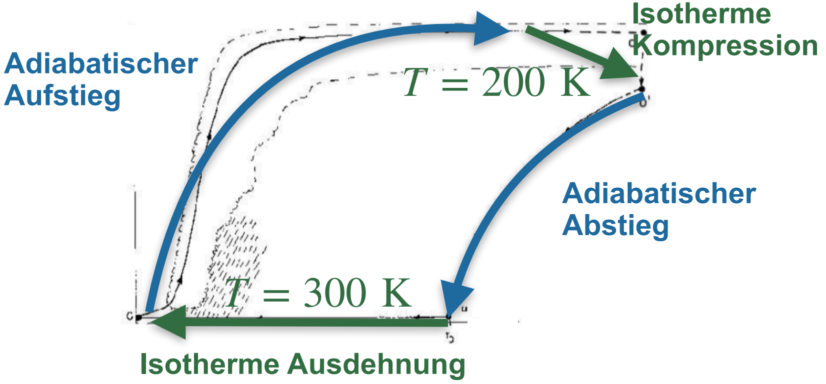


Isotherme Kompression
mit Wärmeabgabe in
Troposphäre

Adiabatischer Abstieg
Kompression mit Temperaturanstieg

Isotherme Ausdehnung
(Wärmeaufnahme über Ozean-Oberfläche)

Hurrikan und Carnot-Prozess



Was ist der Wirkungsgrad des Hurrikans?

$\eta =$

Was ist die kinetische Energie bei durchschnittlicher Windgeschwindigkeit $v = 200\ \mathrm{km/h}$ und Gesamtmasse $m = 10^{11}\ \mathrm{kg}$?

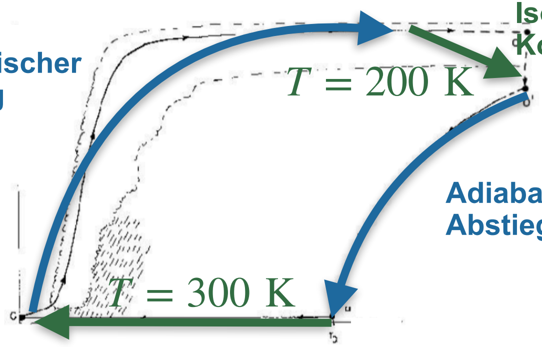
$E_{kin} =$

Wieviel Wärme nimmt der Hurrikan in jedem Umlauf auf?

Annahme: geleistete Arbeit entspricht kinetischer Energie

$\eta = \dots \qquad \rightarrow \Delta Q_{in} =$

Hurrikan und Carnot-Prozess



Was ist der Wirkungsgrad des Hurrikans?

$$\eta = 1 - \frac{200\ \mathrm{K}}{300\ \mathrm{K}} = 0.33$$

Was ist die kinetische Energie bei durchschnittlicher Windgeschwindigkeit $v = 200\ \mathrm{km/h}$ **und Gesamtmasse** $m = 10^{11}\ \mathrm{kg}$**?**

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 10^{11} \cdot \left(200 \cdot 3.6\right)^2\ \mathrm{kgm^2/s^2} = 2.6 \cdot 10^{16}\ \mathrm{J}$$

Wieviel Wärme nimmt der Hurrikan in jedem Umlauf auf?

Annahme: geleistete Arbeit entspricht kinetischer Energie

$$\eta = \frac{\Delta W_{out}}{\Delta Q_{in}} \qquad \Delta Q_{in} = \frac{\Delta W_{out}}{\eta} = 7.8 \cdot 10^{16}\ \mathrm{J}$$

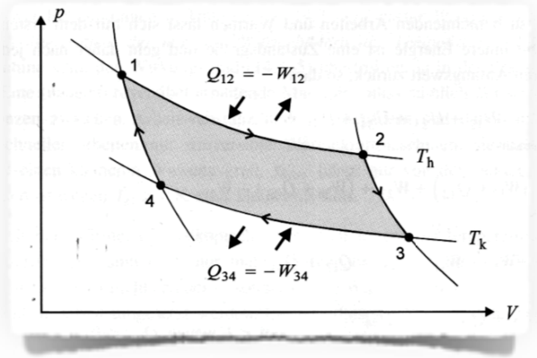
Typischerweise absorbiert ein mittlerer Hurrikan etwa $6 \cdot 10^{14}\ \mathrm{W}$. Das entspricht etwa 40 mal dem weltweiten Energieverbrauch der Menschheit!

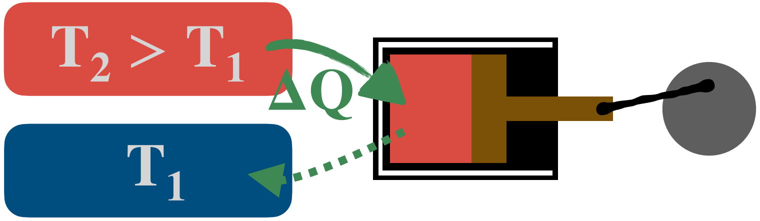
Kreisprozesse und Motoren

Beispiel: Carnotprozess

- *Isotherme und adiabatische Teilprozesse*
- *Reversibler Kreisprozess*

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_k}{T_h}$$



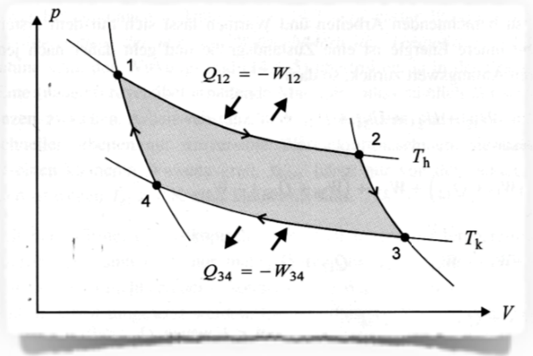


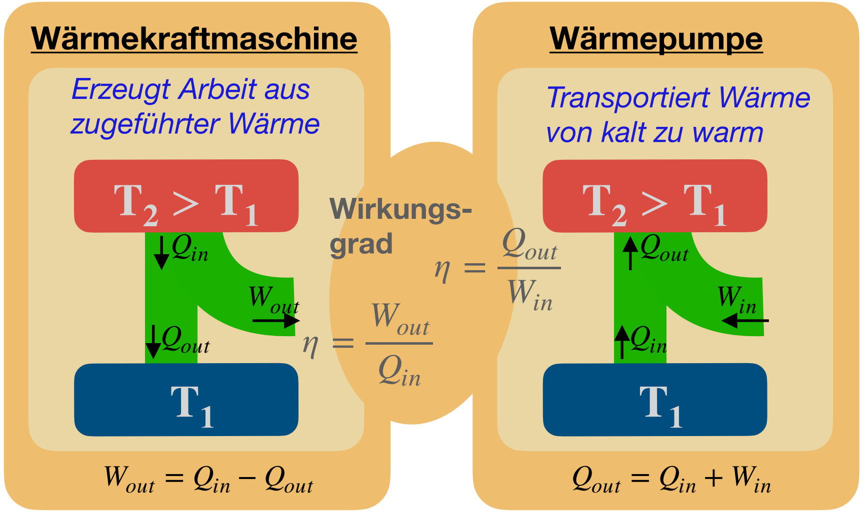
Kreisprozesse und Motoren

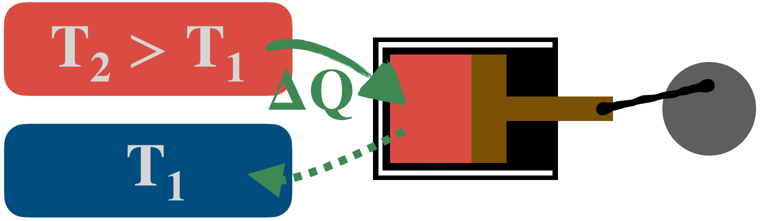
Beispiel: Carnotprozess

- *Isotherme und adiabatische Teilprozesse*
- *Reversibler Kreisprozess*

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_k}{T_h}$$

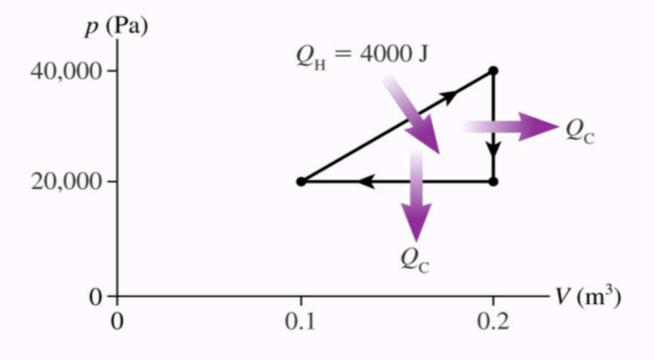






Frage 3

Wie gross ist der thermische Wirkungsgrad dieser Maschine?



a) 4
b) 0.5
c) 0.1
d) 0.25
e) Kann man nicht sagen ohne Q_C zu kennen.

Frage 3

Wie gross ist der thermische Wirkungsgrad dieser Maschine?

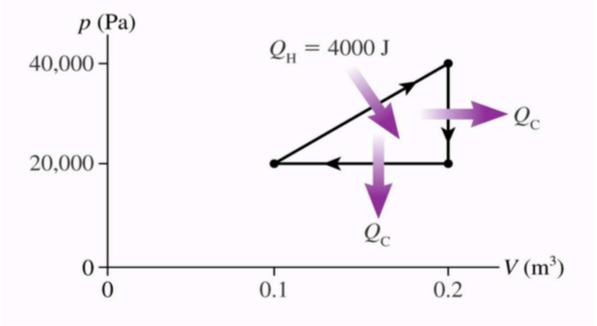
a) 4

b) 0.5

c) 0.1

d) 0.25

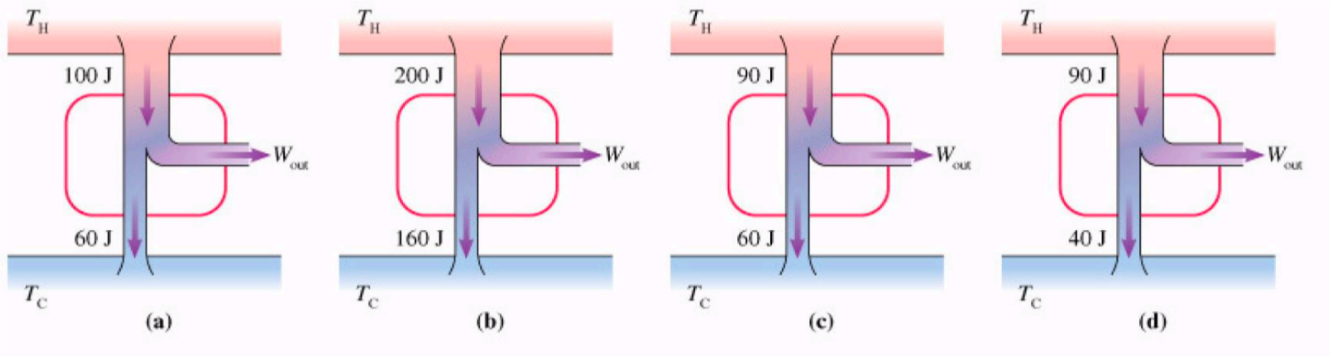
e) Kann man nicht sagen ohne Q_C zu kennen.



Berechne Arbeit: $W = -1000\,J \rightarrow W_{out} = 1000\,J$
Benutze: $Q_{in} = 4000\,J$
Daraus folgt: $\eta = \frac{W_{out}}{Q_{in}} = \frac{1000\,J}{4000\,J} = 0.25$

Frage 5

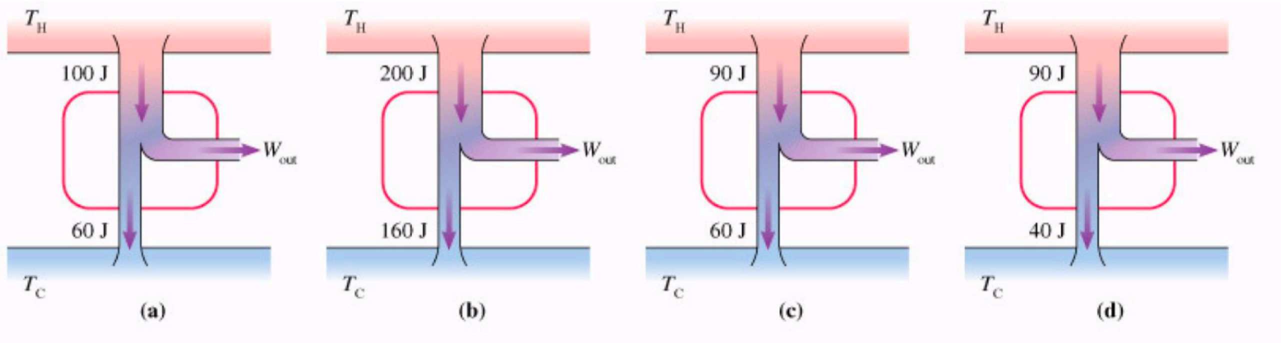
Ordne die folgenden Kreisprozesse nach der Arbeit W_{out} welche sie liefern.



a) $W_b > W_a > W_c > W_d$
b) $W_d > W_a > W_d = W_c$
c) $W_d > W_a > W_b > W_c$
d) $W_d > W_a = W_b > W_c$
e) $W_d > W_a > W_b > W_c$

Frage 5

Ordne die folgenden Kreisprozesse nach der Arbeit W_{out} welche sie liefern.



a) $W_b > W_a > W_c > W_d$

b) $W_d > W_a > W_d = W_c$

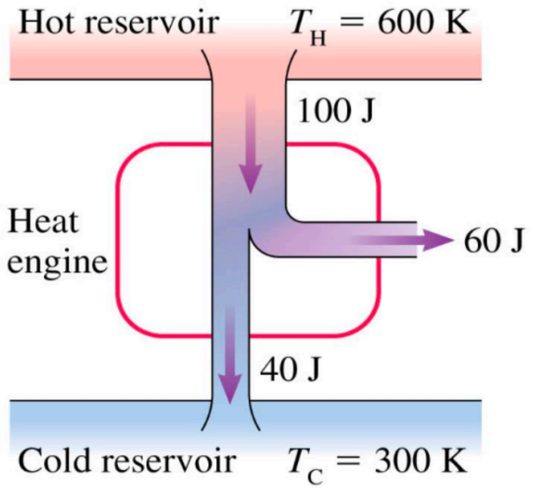
c) $W_d > W_a > W_b > W_c$

d) $W_d > W_a = W_b > W_c$

e) $W_d > W_a > W_b > W_c$

Frage 6

Könnte man diese Wärme-Kraft-Maschine bauen?



a) Ja.

b) Vergiss es.

c) Man muss den Kreisprozess kennen.

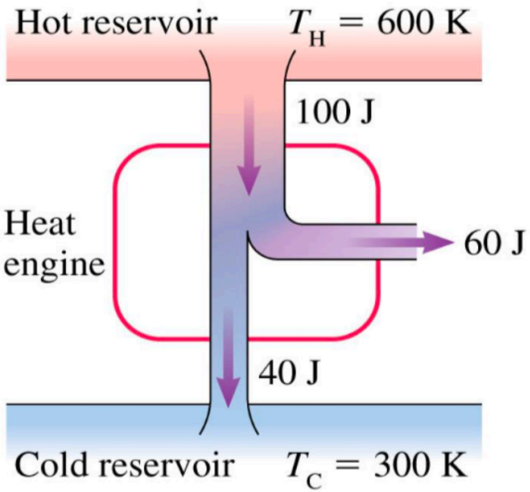
Frage 6

Könnte man diese Wärme-Kraft-Maschine bauen?

a) Ja.

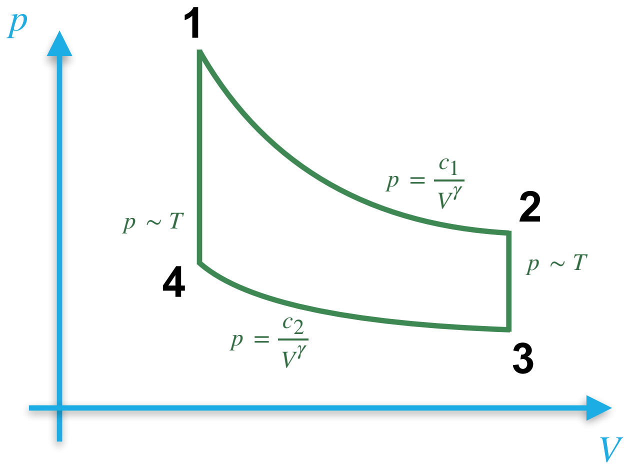
b) Vergiss es.

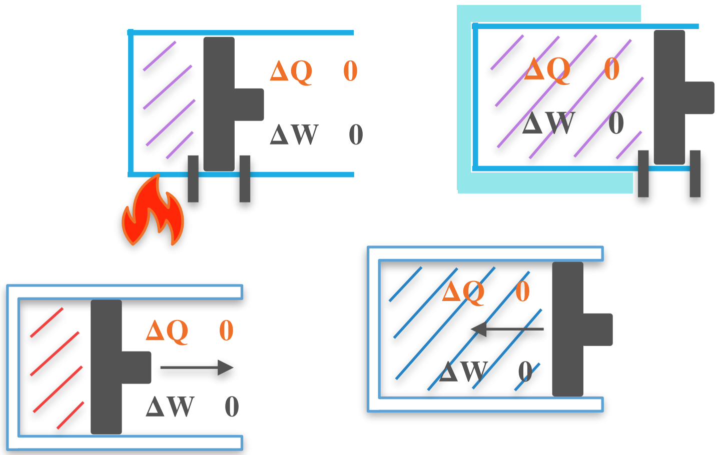
c) Man muss den Kreisprozess kennen.

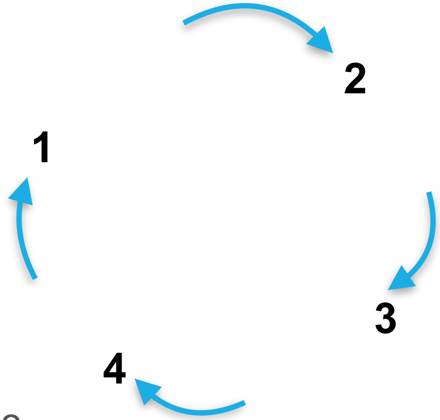


Sie würde einen besseren Wirkungsgrad als der Carnot Prozess haben!

Kreisprozess adiabatisch / isochor







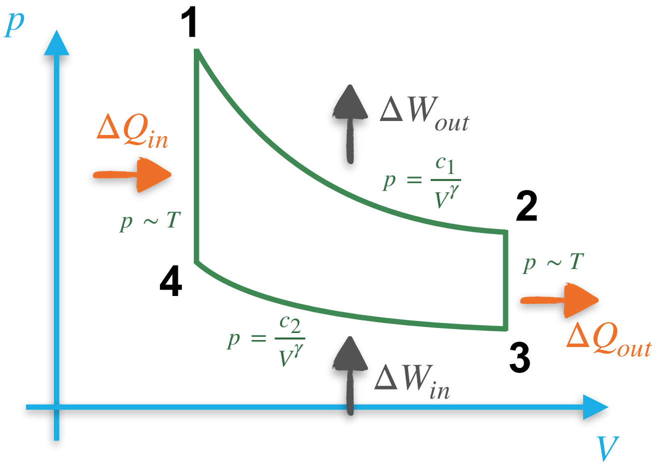
$T_1 \quad T_2 \quad T_3$

Welche Situation des Kolbens gehört an welche Stelle des Kreisprozesses?

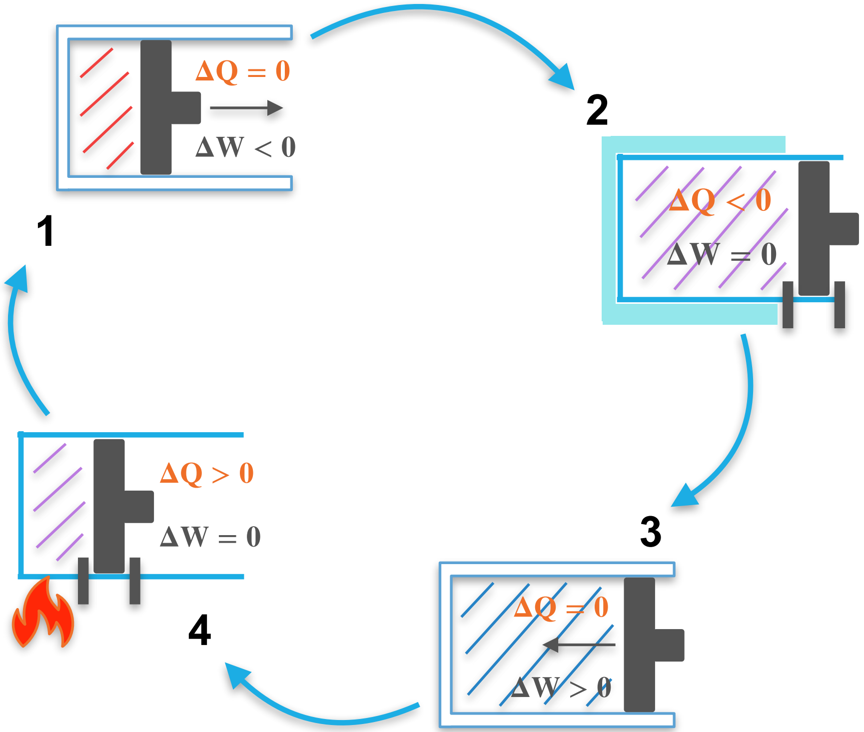
Was sind jeweils die ΔW und ΔQ ?

Wie verhalten sich die Temperaturen zueinander?

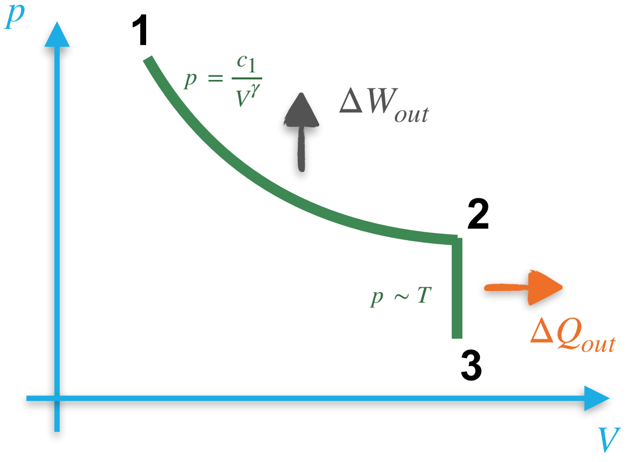
Kreisprozess adiabatisch / isochor



$$T_1 > T_2 > T_3$$



Berechnungen von Arbeit und Entropie



Wie gross ist ΔW_{out} ?

(abhängig von V_1, V_2, γ, c_1)

$$\Delta W_{out} = -\int_{?} p \ldots$$

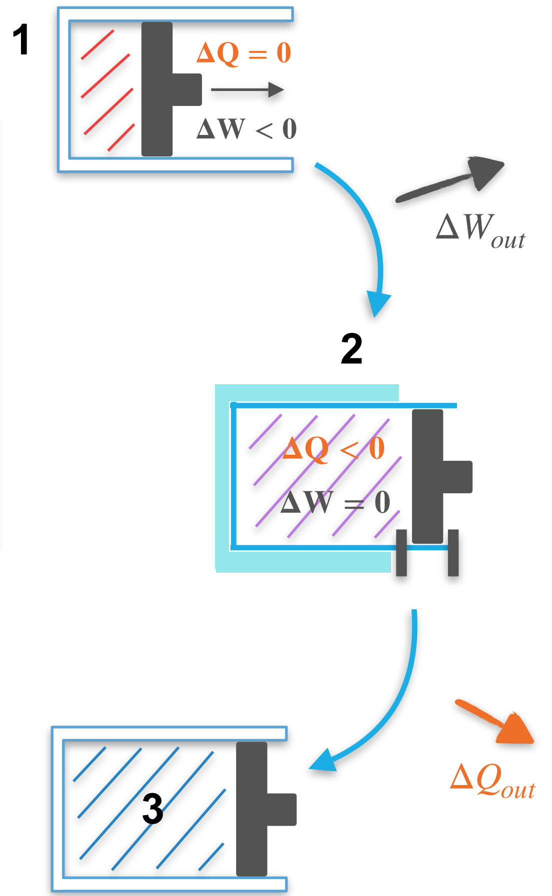
Wie gross ist ΔS_{23} ?

(abhängig von T_2, T_3, f)

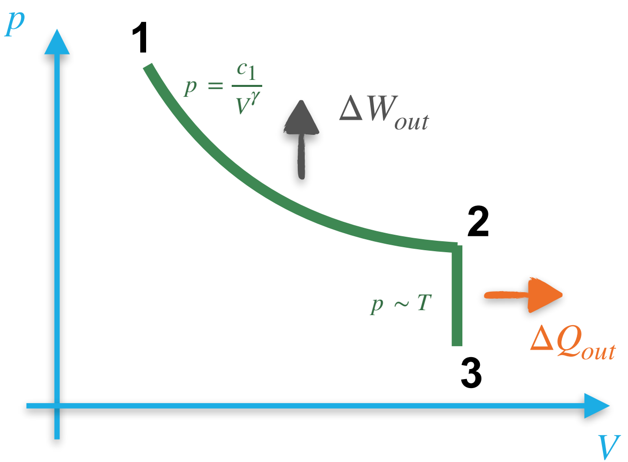
$\Delta Q_{out} =$

$T \; \mathrm{d}S = \ldots \; \mathrm{d}T$ $\quad \rightarrow \int \ldots = \int \ldots$

$\Delta S_{23} =$



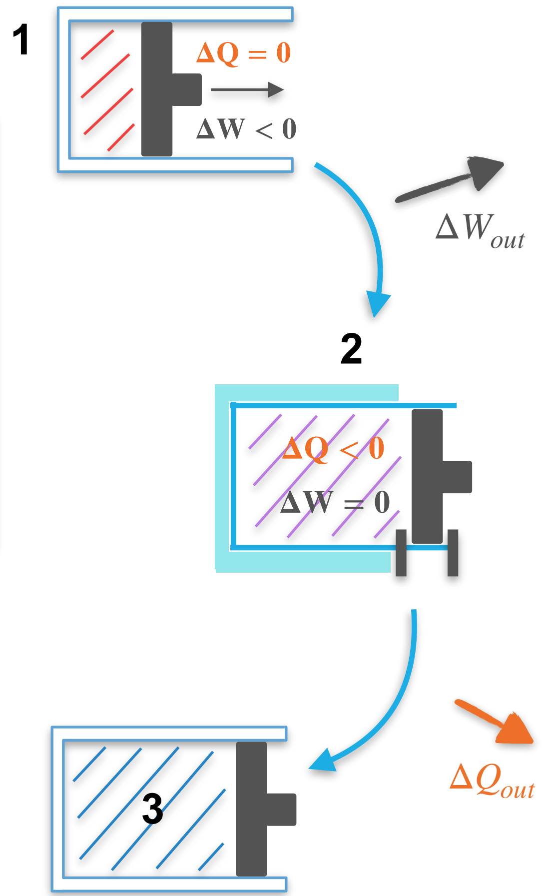
Berechnungen von Arbeit und Entropie



Wie gross ist ΔW_{out} ?

(abhängig von V_1, V_2, γ, c_1)

$$\Delta W_{out} = -\int_{?} p\ldots$$



Wie gross ist ΔS_{23} ?

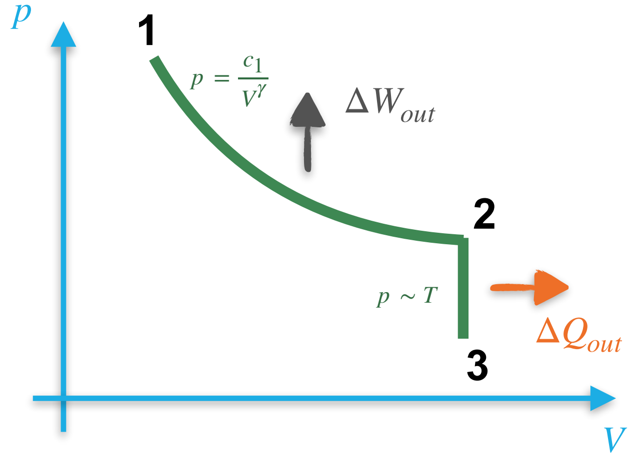
(abhängig von T_2, T_3, f)

$$\Delta Q_{out} = \Delta U_{23}$$

$$T\ \mathrm{d}S = \frac{f}{2} nR\ \mathrm{d}T \qquad \rightarrow \int \ldots = \int \ldots$$

$$\Delta S_{23} =$$

Berechnungen von Arbeit und Entropie

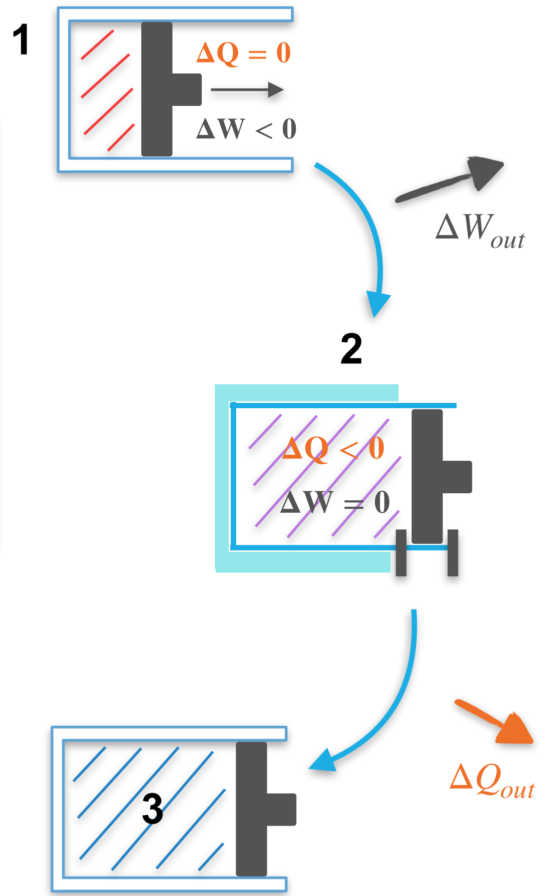


Wie gross ist ΔW_{out} ?

(abhängig von V_1, V_2, γ, c_1)

$$\Delta W_{out} = -\int_{V_1}^{V_2} p \; \mathrm{d}V = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{c_1}{V^\gamma} \; \mathrm{d}V$$

$$\Delta W_{out} = -\frac{c_1}{1-\gamma}\left(V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}\right) < 0$$



Wie gross ist ΔS_{23} ?

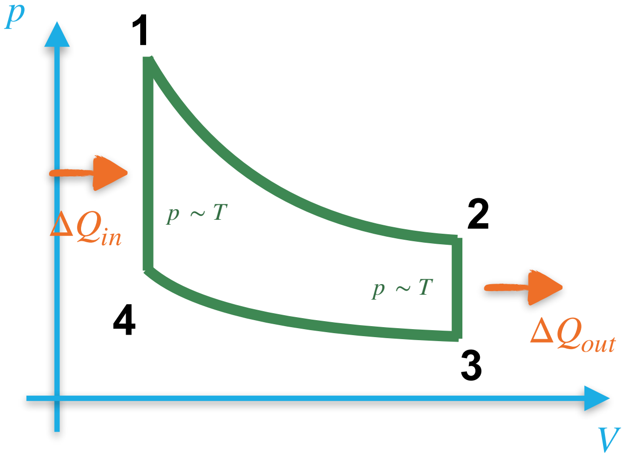
(abhängig von T_2, T_3, f)

$$\Delta Q_{out} = \Delta U_{23}$$

$$T \; \mathrm{d}S = \frac{f}{2} nR \; \mathrm{d}T \quad \rightarrow \quad \int_{S_2}^{S_3} \mathrm{d}S = \frac{f}{2} nR \int_{T_2}^{T_3} \frac{\mathrm{d}T}{T}$$

$$\Delta S_{23} = \frac{f}{2} nR \ln \frac{T_3}{T_2} < 0$$

Adiabatisch / Isochor: reversibel oder nicht?



Vorher berechnet: $\Delta S_{23} = \frac{f}{2} nR \ln \frac{T_3}{T_2}$

Analog gilt $\Delta S_{41} = \frac{f}{2} nR \ln \frac{T_1}{T_4}$

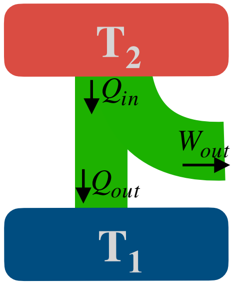
Für Umkehrbarkeit muss gelten: $\Delta S_{23} = -\Delta S_{41}$

Gleichsetzen und Auflösen liefert damit Bedingung $\frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1}$

Diese Bedingung ist erfüllt !
(lässt sich über ideale Gasgleichung und Adiabatengleichung nachrechnen)

$\rightarrow$ **reversibler Kreisprozess!**

Intro Frage



Wir möchten eine Wärmekraftmaschine bauen. Dafür haben wir einen Topf mit kochendem Wasser und einen Topf mit kühlerem Wasser. Welche Aussagen stimmen?

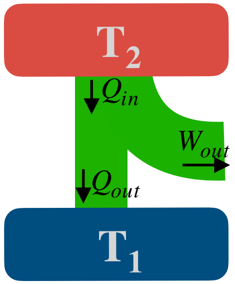
A) Um die Maschine effizient zu bauen, sollte das kühlere Wasser nicht zu kalt sein.

B) Der Wirkungsgrad der Maschine lässt sich berechnen durch $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$

C) Der Wirkungsgrad der Maschine lässt sich berechnen durch $\eta = \frac{|W_{out}|}{Q_{in}}$

D) Laut erstem Hauptsatz muss gelten, dass $|W_{out}| = |Q_{in}| + |Q_{out}|$

Intro Frage



Wir möchten eine Wärmekraftmaschine bauen. Dafür haben wir einen Topf mit kochendem Wasser und einen Topf mit kühlerem Wasser. Welche Aussagen stimmen?

Je kälter, desto besser!

A) Um die Maschine effizient zu bauen, sollte das kühlere Wasser nicht zu kalt sein.

B) Der Wirkungsgrad der Maschine lässt sich berechnen durch $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$

Wir werden keinen Carnot-Prozess realisieren können. Also tiefer!

Der Wirkungsgrad der Maschine lässt sich berechnen durch $\eta = \frac{|W_{out}|}{Q_{in}}$

Achtung: $|W_{out}|$ ist hier <u>insgesamt</u> gewonnene Arbeit.

D) Laut erstem Hauptsatz muss gelten, dass $|W_{out}| = |Q_{in}| + |Q_{out}|$

Richtig ist $|Q_{in}| = |W_{out}| + |Q_{out}|$